



ISSN 1997-3225
DOI 10.55170/1997-3225

Известия

САМАРСКОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

2024

ОКТАБРЬ-ДЕКАБРЬ

№4 (76)

16+



ИЗВЕСТИЯ

Самарской государственной
сельскохозяйственной академии

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

№ 4 (76) 2024

Самара 2024

BULLETIN

Samara State
Agricultural Academy

OCTOBER-DECEMBER

№ 4 (76) 2024

Samara 2024

УДК 63
ИЗЗ

Известия

Самарской государственной
сельскохозяйственной академии

№ 4 (76) 2024

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ:
ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

Главный редактор: Машков Сергей Владимирович

Редакционно-издательский совет:

Машков Сергей Владимирович – кандидат экономических наук, доцент, главный редактор, председатель редакционно-издательского совета; Самарский ГАУ.
Мишанин Александр Леонидович, кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора; Самарский ГАУ.
Васин Василий Григорьевич – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой растениеводства и земледелия Самарского ГАУ.
Троц Наталья Михайловна – д-р с.-х. наук, проф. кафедры землеустройства, почвоведения и агрохимии Самарского ГАУ.
Шевченко Сергей Николаевич – академик РАН, д-р с.-х. наук, директор СамНЦ РАН.
Баталова Галина Аркадьевна – академик РАН, проф., д-р с.-х. наук, зам. директора по селекционной работе ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого.
Каплин Владимир Григорьевич – д-р биол. наук, проф., ведущий научный сотрудник Всероссийского НИИ защиты растений.
Виноградов Дмитрий Валериевич – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой агрономии и агротехнологий Рязанского ГАУ им. П. А. Костычева.
Еськов Иван Дмитриевич – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой защиты растений и плодовоовощеводства Саратовского ГАУ им. Н. И. Вавилова.
Мальчиков Петр Николаевич – д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией селекции яровой твердой пшеницы Самарского НИИ сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова.
Баймишев Хамидулла Балтукханович – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой анатомии, акушерства и хирургии Самарского ГАУ.
Гадиев Ринат Равилович – д-р с.-х. наук, проф. кафедры пчеловодства, частной зоотехнии и разведения животных Башкирского ГАУ.
Карамеев Сергей Владимирович – д-р с.-х. наук, проф. кафедры зоотехнии Самарского ГАУ.
Белев Валерий Анатольевич – д-р ветеринар. наук, проф. кафедры терапии и фармакологии Ставропольского ГАУ.
Еремин Сергей Петрович – д-р ветеринар. наук, проф., зав. кафедрой частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных Нижегородской ГСХА.
Сейтов Марат Султанович – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой незаразных болезней животных Оренбургского ГАУ.
Никulin Владимир Николаевич – д-р с.-х. наук, проф., декан факультета биотехнологии и природопользования, проф. кафедры химии Оренбургского ГАУ.
Варакин Александр Тихонович – д-р с.-х. наук, проф. кафедры частной зоотехнии Волгоградского ГАУ.
Крючин Николай Павлович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой механики и инженерной графики Самарского ГАУ.
Курочкин Анатолий Алексеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры пищевых производств Пензенского ГТУ.
Иншаков Александр Павлович – д-р техн. наук, проф. кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин Национального Исследовательского Мордовского ГУ им. Н. П. Огарева.
Уханов Александр Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры технического сервиса машин Пензенского ГАУ.
Курдюмов Владимир Иванович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой агротехнологий, машин и безопасности жизнедеятельности Ульяновского ГАУ им. П. А. Столыпина.
Коновалов Владимир Викторович – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий машиностроения Пензенского ГТУ.
Траисов Балуаш Бакишевич – академик КазНАЕН, КазАСХН, д-р с.-х. наук, проф., директор департамента животноводства НАО «Западно-Казакстанский АТУ им. Жангир хана».
Боинчан Борис Павлович – д-р с.-х. наук, проф., зав. отделом устойчивых систем земледелия, НИИ полевых культур «Селекция», г. Балца, Республика Молдова.

Редакция научного журнала:

Федорова Л. П. – ответственный редактор
Бабушкина Н. Ю. – технический редактор, корректор

Адрес редакции, издателя: 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 (доб. 608)
E-mail: ssaariz@mail.ru

Отпечатано в типографии ООО «Слово»
Адрес типографии: 443070, Самарская область, г. Самара, ул. Песчаная, 1
Тел.: (846) 267-36-82
E-mail: izdatkniga@yandex.ru

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 84460
Цена свободная

Подписано в печать 28.10.2024
Формат 60×84/8. Печ. л. 14,0
Дата выхода в свет 30.10.2024

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 23 мая 2019 года
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-75814

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2024

UDC 63
I33

Bulletin

Samara State
Agricultural Academy

№ 4 (76) 2024

In accordance with Order of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Russian Ministry of Education and Science (VAK) the journal was included in the list of the peer-reviewed scientific journals, in which the major scientific results of dissertations for obtaining Candidate of Sciences and Doctor of Sciences degrees should be published.

ESTABLISHER and PUBLISHER:
FSBEI HE Samara SAU

Chief Editor: Mashkov Sergey Vladimirovich

Editorial and publishing council:

Mashkov Sergey Vladimirovich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Chief Editor, Editorial Board Chairman; Samara SAU.
Mishanin Alexander Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy. Chief Editor; Samara SAU.
Vasin Vasily Grigorevich – Dr. of Ag. Sci., Professor, Head of the Department of Plant Growing and Agriculture Samara SAU.
Trots Natalia Mikhailovna – Dr. of Ag. Sci., Professor of the Department of Land Management, Soil Science and Agrochemistry Samara SAU.
Shevchenko Sergey Nikolaevich – Academician of the RAS, Dr. of Ag. Sci., Director of the Samara Scientific Center RAS.
Batalova Galina Arkadievna – Academician of the RAS, professor, Dr. of Ag. Sci., Breeding work deputy director of the Federal Agrarian Scientific Center of the North-East, named after N. V. Rudnitsky.
Kaplin Vladimir Grigorevich – Dr. of Biol. Sci., Professor, leading researcher at the All-Russian Research Institute of Plant Protection.
Vinogradov Dmitry Valerievich – Dr. of Biol. Sci., Professor, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnologies of the Ryazan State University named after P. A. Kostychev.
Eskov Ivan Dmitrievich – Dr. of Ag. Sci., Professor, Head of the Department of Plant Protection and Horticulture Saratov SAU named after N. I. Vavilov.
Malchikov Petr Nikolaevich – Dr. of Ag. Sci., Chief Researcher, Head of laboratory of spring durum wheat breeding of Samara Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov.
Baimishev Hamidulla Baltukhanovich – Dr. of Biol. Sci., Professor, Head of the Department of Anatomy, Obstetrics and Surgery Samara SAU.
Gadiev Rinat Ravilovich – Dr. of Ag. Sci., Professor of the Department of Beekeeping, Private Animal Husbandry and Animal Breeding of the Bashkir SAU.
Karamaev Sergey Vladimirovich – Dr. of Ag. Sci., Professor of the Department of Animal Science of Samara SAU.
Belyaev Valery Anatolevich – Dr. of Vet. Sci., Professor of the Department of Therapy and Pharmacology Stavropol SAU.
Eremin Sergey Petrovich – Dr. of Vet. Sci., Professor, Head of the Department of Private Zootechny and breeding of farm animals of the Nizhny Novgorod SAA.
Seitov Marat Sultanovich – Dr. of Biol. Sci., Professor, Head of the Department of Non-infectious Animal Diseases of the Orenburg SAU.
Nikulin Vladimir Nikolaevich – Dr. of Ag. Sci., Professor, Dean of the Faculty of Biotechnology and Nature Management, Professor of the Chemistry Department Orenburg SAU.
Varakin Alexander Tikhonovich – Dr. of Ag. Sci., Professor of the Department of private zootechny Volgograd SAU.
Krjuchin Nikolay Pavlovich – Dr. of Tech. Sci., Professor, Head of the Mechanics and Engineering Schedules department Samara SAU.
Kurochkin Anatoly Alekseevich – Dr. of Tech. Sci., Professor of the Department Food Manufactures, Penza STU.
Inshakov Alexander Pavlovich – Dr. of Tech. Sci., Professor of the Department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines of the National Research Mordovian SU named after N. P. Ogarev.
Ukhanov Alexander Petrovich – Dr. of Tech. Sci., Professor of the Department of Technical Service of Machines of the Penza SAU.
Kurdyumov Vladimir Ivanovich – Dr. of Tech. Sci., Professor, Head of the Department Safety of Ability to Live and Power Ulyanovsk SAU named after P. A. Stolypin.
Konovall Vladimir Viktorovich – Dr. of Tech. Sci., Professor of the Department of Engineering Technology Penza STU.
Traisov Baluash Bakishevich – Academician of KazNAS, KazAAS, Dr. of Ag. Sci., Professor, Director of the Animal Husbandry Department of the SAU «West Kazakhstan ATU named after Zhanqir Khan».
Boinchan Boris Pavlovich – Dr. of Ag. Sci., Professor, Head of the Department of Sustainable Agricultural Systems, Research Institute of Field Crops «Selection», Balti t., Republic of Moldova.

Edition science journal:

Федорова Л. П. – editor-in-chief
Бабушкина Н. Ю. – technical editor, proofreader

Editorial office, publisher: 446442, Samara Region, settlement Ust-Kinelskiy, Uchebnaya street, 2
Tel.: 8 939 754 04 86 (ext. 608)
E-mail: ssaariz@mail.ru

Printed in Print House LLC «Слово»
Address Print House: 443070, Samara Region, Samara, Peschanaya street, 1
Tel.: (846) 267-36-82
E-mail: izdatkniga@yandex.ru

Subscription index in the United catalog «Press of Russia» – 84460

Price undefined

Signed in print 28.10.2024
Format 60×84/8. Printed sheets 14.0
Print run 1000. Edition № 2136
Publishing date 30.10.2024

The journal is registered Supervision Federal Service of Telecom sphere, information technologies and mass communications (Roscomnadzor) May 23, 2019
The certificate of registration of the PI number FS77-75814

© FSBEI HE Samara SAU, 2024

Научная статья
УДК 631.42:631.445.4
doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-3-8

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА И КАЛИЯ В ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ САМАРСКОГО АГРАРНОГО КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА

Наталья Михайловна Троц¹, Галина Игнатьевна Чернякова², Анна Алексеевна Бокова^{3✉},
Евгений Евгеньевич Суворов⁴

1, 2, 3, 4 Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия.
1, 2, 3, 4 Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Россия.
¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>
²chernyakovagi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1339-4769>
³anuta1998b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5193-364X>
⁴ee_suvorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5702-0246>

Резюме. Цель исследований – оценка изменения содержания подвижных форм калия и фосфора в почвах для последующего контроля и выявления признаков, влияющих на почвенное плодородие черноземных почв центральной агроклиматической зоны Самарской области. В процессе исследований проводился сбор фондовых данных почвенного обследования за 1992 г. и 2002 г., анализ собранного материала, в 2022 году было проведено обследование земель сельскохозяйственного назначения и отобрано для анализа 54 образца из 9 разрезов (глубиной 0,90-1,0 м), 5 полуям (глубиной 0,60-0,65 м), 1 прикопки. Изучено изменение содержания подвижного фосфора и обменного калия в почвах на территории аграрного карбонового полигона. По результатам исследования можно отметить повышение содержания подвижного фосфора в 2022 году в большинстве почв по сравнению с обследованиями 1992 и 2002 гг в среднем на 27-198%. Наибольшая прибавка отмечена на черноземе обыкновенном остаточно-луговатом среднегумусном среднесуглинистом. За период 1992-2002 гг почвы характеризовались высокой и очень высокой степенью обеспеченности калием, за исключением лугово-черноземной карбонатной среднегумусной среднемогучей тяжелосуглинистой, которая относится к среднему уровню обеспеченности подвижным калием. В 2022 году в большинстве исследуемых почв произошли изменения в сторону снижения содержания подвижного калия за 20-30 летний период в среднем на 18-95%. За исключением лугово-черноземной карбонатной среднегумусной среднемогучей тяжелосуглинистой почвы, где выявлено повышение количества калия на 16% относительно обследования 2002 года. В связи с этим большинство почв за период 2002-2022 гг характеризовались средней и низкой обеспеченностью калием.

Ключевые слова: плодородие почвы, почвенные обследования, подвижный фосфор, обменный калий.

Для цитирования: Троц Н. М., Чернякова Г. И., Бокова А. А., Суворов Е. Е. Динамика содержания фосфора и калия в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, №4. С.3-8. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-3-8

Original article

DYNAMICS OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM CONTENT IN CHERNOZEM SOILS OF THE SAMARA AGRARIAN CARBON POLYGON

Natalya M. Trots¹, Galina I. Chernyakova², Anna A. Bokova^{3✉}, Evgenij E. Suvorov⁴

1, 2, 3, 4 Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia
1, 2, 3, 4 Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia
¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>
²chernyakovagi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1339-4769>
³anuta1998b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5193-364X>
⁴ee_suvorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5702-0246>

Abstract. The purpose of the research is to assess changes in the content of mobile forms of potassium and phosphorus in soils for subsequent monitoring and identification of features affecting the soil fertility of chernozem soils of the central agroclimatic zone of the Samara region. During the research, the collection of soil survey data for 1992 and 2002 was carried out, the collected material was analyzed, in 2022, a survey of agricultural lands was carried out and 54 samples were selected for analysis from 9 pits (0,90-1,0 m deep), 5 semi-pits (0,60-0,65 m deep), 1 trench. The change in the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium in soils in the territory of the agricultural carbon polygon was studied. According to the results of the study, an increase in the content of mobile phosphorus in 2022 in most soils can be noted compared to the surveys of 1992 and 2002 by an average of 27-198%. The greatest increase was noted on ordinary residual meadow medium-humus medium-deep medium-loamy chernozem. For the period 1992-2002,

the soils were characterized by a high and very high degree of potassium supply, with the exception of meadow-chernozem carbonate medium-humus medium-deep heavy loamy, which belongs to the average level of mobile potassium supply. In 2022, in most of the studied soils, changes occurred towards a decrease in the content of mobile potassium over a 20-30 year period by an average of 18-95%. With the exception of meadow-chernozem carbonate medium-humus medium-deep heavy loamy soil, where an increase in the amount of potassium by 16% was revealed according to the state of 2002. In this regard, most soils for the period 2002-2022 were characterized by medium and low potassium supply.

Key words: soil fertility, soil surveys, mobile phosphorus, exchangeable potassium.

For citation: Trotz, N. M., Chernyakova G. I., Bokova A. A. & Suvorov E. E. (2024). Dynamics of phosphorus and potassium content in chernozem soils of the Samara agrarian carbon polygon. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4, 3-8. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-3-8 (in Russ.).

Создание оптимального уровня содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, является одной из важнейших задач земледелия. Фосфор и калий – одни из основных элементов питания, потребляемых в наибольших количествах. При этом их усвоение происходит лишь из доступных форм, количество которых определяет эффективное плодородие почв [1, 2]. Интенсивность и направленность динамики содержания подвижных фосфатов определяется влажностью почвы, ее температурным режимом, а также применением удобрений. Факторы внешней среды (температура, условия увлажнения) и приемы агротехники действуют и на сезонную динамику содержания обменного калия в почве. Повышения температуры среды, сопровождающееся высушиванием почвы в естественных условиях, обуславливают изменение состояния коллоидов и физических свойств многослойных минералов, что является одной из причин иммобилизации обменного калия в определенные периоды. Поэтому важно контролировать содержание элементов питания и следить за динамикой изменения обеспеченности почв подвижными формами калия и фосфора, чтобы в дальнейшем разрабатывать мероприятия по регулированию питательного режима почв под различные сельскохозяйственные культуры [3].

Цель исследования – оценка изменения содержания подвижных форм калия и фосфора в почвах для последующего контроля и выявления признаков, влияющих на почвенное плодородие черноземных почв центральной агроклиматической зоны Самарской области.

В задачи исследования - оценка изменений содержания подвижных форм фосфора и калия при использовании практик почвозащитного ресурсосберегающего земледелия; уточнение классификации почв по степени обеспеченности питательными элементами.

Материал и методы исследований. Исследовательские работы велись по почвам черноземного типа в центральной агроклиматической зоне Самарской области. По природно-ландшафтному районированию территория района относится к двум почвенно-климатическим зонам – к южной лесостепи Высокого Заволжья и к северной степи Заволжья. Климатические условия района характеризуются резкими температурными контрастами: холодной зимой, жарким летом, быстрым переходом от зимы к лету, коротким весенним периодом, неустойчивостью атмосферных осадков. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,8...+4 °С. Сумма температур выше 10 °С составляет от 2500 на севере до 2700 на юге района. По количеству выпадающих осадков Кинельский район относится к зонам умеренного (на севере) и пониженного (на юге) увлажнения. Значение ГТК – 0,7-0,9.

В процессе исследований проводился сбор фондовых данных почвенного обследования за 1992 г. и 2002 г, анализ собранного материала, в 2022 году было проведено обследование земель сельскохозяйственного назначения и отобрано для анализа 54 образца из 9 разрезов (глубиной 0,90-1,0 м), 5 полуям (глубиной 0,60-0,65 м), 1 прикопки. Каждая точка копания координировалась, проводилась фиксация, заполнялся полевой журнал с морфологическим описанием строения почвенного профиля [4]. Лабораторные исследования проводили по общепринятым методикам и опирались на протоколы MRV Verge, ФАО, руководствовались методикой МГЭИК, в соответствии с которыми на объекте была проведена оценка содержания подвижных форм основных элементов питания.

Результаты исследований. В ходе проделанной работы исследованы показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения за период между обследованиями 1992 г и 2002 г и заложены точки копания 2022 г (табл. 1). Исследуемая территория состоит из трех массивов, два из которых расположены по разные стороны р. Б. Кинель, вблизи его впадения в р. Самару, третий, небольшой по площади – в пойме р. Самары.

Правобережная часть относится к лесостепной зоне. Она расположена на южных склонах реки Большой Кинель и отличается относительно возвышенным эрозионноопасным рельефом. Здесь сформировались черноземы выщелоченные, типичные, типичные карбонатные, типичные остаточно-карбонатные и типичные остаточнo-луговатые. Небольшую площадь занимают аллювиальные почвы.

Таблица 1

Перечень почвенных разновидностей Самарского аграрного карбонового полигона

№	Название почв	Почвообразующие породы	Условия залегания по рельефу
1	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднесуглинистый	Древнеаллювиальные карбонатные суглинки	Надпойменная терраса р.Б.Кинель
2	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднесуглинистый		
3	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый		
4	Лугово-черноземная карбонатная малогумусная среднесуглинистая		Возвышения в виде гряд и бугров на надпойменной террасе р. Б. Кинель
5	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый		Надпойменная терраса р.Б.Кинель
6	Комплекс: 1. Лугово-черноземная карбонатная солончаковая сильнозасоленная малогумусная среднесуглинистая; 2. Солонец лугово-черноземный солончаковый очень сильно засоленный многонариевый средний легкогоглинистый (10-25%)	Древнеаллювиальные засоленные глины	Пониженные участки надпойменных террас рек Б. Кинель и Самара
7	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый	Древнеаллювиальные карбонатные суглинки	Надпойменная терраса р. Б. Кинель
8	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый		
9	Комплекс: 1. Солончак луговой глубоко профильный корковый легкогоглинистый; 2. Луговая карбонатная солончаковая очень сильно засоленная среднесолонцеватая среднесуглинистая маломощная легкогоглинистая (25-50%)	Древнеаллювиальные засоленные глины	Понижения на надпойменной террасе р. Самара с хорошо выраженным микрорельефом
10	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднесуглинистый	Древнеаллювиальные карбонатные глины	Надпойменные террасы рек Б. Кинель и Самара
11	Чернозем обыкновенный малогумусный среднесуглинистый	Дельювиальные карбонатные суглинки	Плато увалов и пологие (1-2°) западные и юго-западные и южные склоны
12	Чернозем обыкновенный малогумусный среднесуглинистый		
13	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый	Древнеаллювиальные карбонатные суглинки	Надпойменная терраса р. Б. Кинель

Левобережная часть, геоморфологически относится к степной зоне, расположена на надпойменной террасе и в пойме реки Большой Кинель, а также на территориально примыкающей к ним части надпойменной террасы реки Самара. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными, обыкновенными остаточно-луговатыми, лугово-черноземными и аллювиальными почвами. Значительное распространение имеют солонцеватые и засоленные почвы, а также солонцы и солончаки, чему способствовало неглубокое залегание минерализованных грунтовых вод (1-3 м). На участке, находящемся в пойме реки Самара, сформировались аллювиальные почвы.

В правобережной части большую площадь занимают эродированные почвы, среди которых преобладают слабосмытые, распространенные на слабопокатых склонах. На покатых и крутых склонах сформировались средне и сильносмытые черноземы, занимающие меньшую площадь. К сильноэродированным землям относятся также смытые и намытые почвы оврагов и балок.

По итогам проделанной работы по ретроспективному анализу состояния за период между почвенными обследованиями 1992-2002-2022 гг. получены показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения, что позволило выявить и установить динамику изменения основных свойств и признаков почв. В таблице 2 представлены данные по содержанию подвижных форм калия и фосфора в различных почвах с глубины 0-30 см.

Содержание подвижных форм фосфора в почве верхнего пахотного горизонта (0-30) за период между обследованиями 1992-2002 гг в большей части осталась без изменения и относится к IV классу повышенной

обеспеченности. Лишь чернозем обыкновенный остаточно-луговатый среднегумусный среднетощный среднесуглинистый, лугово-черноземная карбонатная среднегумусная среднетощная тяжелосуглинистая и чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный глубокосолончаковый тучный среднетощный тяжелосуглинистый относятся к III классу средней обеспеченности фосфором.

Значительные изменения произошли в содержании подвижных форм фосфора в почве верхнего пахотного горизонта (0-30 см) за период между обследованиями 2002-2022 гг. в сторону повышения классности до V и VI высокой и очень высокой обеспеченности.

Таблица 2

Динамика изменения обеспеченности почв подвижным фосфором и калием

Номер разреза	Агрохимические показатели по годам исследования					
	Содержание подвижного фосфора по Чирикову, мг/кг			Содержание подвижного калия по Чирикову, мг/кг		
	1992	2002	2022	1992	2002	2022
1	122	148	163	305	143	53
2	79	85	236	210	148	172
3	*	130	32,6	180	116	58
4	55	69	70	-	78	90
5	-	172	25	300	204	150
6	-	108	43	-	114	82
7	-	172	65	300	172	20
8	-	89	225	300	76	104
9	-	110	183	-	181	9
10	108	130	107	-	130	32
11	131	114	181	195	130	66
12	131	122	232	195	129	71
13	-	172	245	-	204	137
НСР	3,66	4,52	11,24	7,91	5,50	6,63

Примечание* – не определялось

В черноземе обыкновенном остаточно-луговатом карбонатном среднегумусном среднетощном среднесуглинистом и высокогумусном среднетощном тяжелосуглинистом, в комплексе лугово-черноземной карбонатной солончаковой сильно-засоленной тучной среднетощной среднесуглинистой с солонцом, а также в черноземе обыкновенном остаточно-луговатом карбонатном солончаковом очень сильно засоленном тучном среднетощном тяжелосуглинистом произошло снижение с IV класса повышенной обеспеченности до II класса низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором. Лугово-черноземная карбонатная среднегумусная среднетощная тяжелосуглинистая почва и чернозем обыкновенный остаточно-луговатый высокогумусный среднетощный легкосуглинистый остались в той же градации обеспеченности.

В целом можно отметить повышение содержания подвижного фосфора в 2022 году в большинстве почв по сравнению с обследованиями 1992 и 2002 гг в среднем на 27-198%. Наибольшая прибавка отмечена на черноземе обыкновенном остаточно-луговатом среднегумусном среднетощном среднесуглинистом. Однако на черноземе обыкновенном остаточно-луговатом карбонатном среднегумусном среднетощном среднесуглинистом, высокогумусном среднетощном тяжелосуглинистом и солончаковом очень сильно засоленном тучном среднетощном тяжелосуглинистом, на лугово-черноземной карбонатной солончаковой сильнозасоленной тучной среднетощной среднесуглинистой почве в комплексе с солонцом произошли изменения в сторону снижения количества подвижного фосфора на 61-85%. На черноземе обыкновенном остаточно-луговатом высокогумусном среднетощном легкосуглинистом содержание фосфора в 2022 г уменьшилось на 1,3% относительно значения 1992 г.

Показателем обеспеченности растений калием считается содержание в почве обменного калия. Результаты испытаний представлены в таблице 2. За период 1992-2002 гг почвы характеризовались высокой и очень высокой степенью обеспеченности калием, за исключением лугово-черноземной карбонатной среднегумусной среднетощной тяжелосуглинистой, которая относится к среднему уровню обеспеченности подвижным калием. Однако, в 2022 году произошли изменения в сторону снижения содержания подвижного калия за 20-30 летний период в среднем на 18-95% за исключением лугово-черноземной карбонатной среднегумусной среднетощной тяжелосуглинистой почвы, где выявлено повышение количества калия на 16% относительно обследования 2002 года. В связи с этим большинство почв за период 2002-2022 гг характеризовались средней и низкой обеспеченностью калием. За исключением чернозема обыкновенного остаточно-луговатого среднегумусного среднетощного среднесуглинистого, чернозема обыкновенного остаточно-луговатого карбонатного высокогумусного среднетощного тяжелосуглинистого и тучного среднетощного тяжелосуглинистого, где обеспеченность калием оценивается как

высокая. Лугово-черноземная карбонатная среднегумусная среднетяжелосуглинистая, комплекс лугово-черноземной карбонатной солончаковой сильно-засоленной тучной среднетяжелосуглинистой почвы и солонца лугово-черноземного солончакового очень сильно засоленного многонариевого легкоглинистого (10-25%) и чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный глубокосолончаковатый тучный среднетяжелосуглинистый характеризуются повышенным содержанием подвижных форм калия за период с 2002 по 2022 годы.

По результатам исследования проведена статистическая обработка полученных данных и посчитан коэффициент корреляции (r) [5-7] между содержанием фосфора и калием в почве по годам исследования (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционная зависимость содержания калия и фосфора в почве

Годы исследований	Коэффициент корреляции, r	Степень зависимости	Уравнение регрессии
1992	0,04	слабая	$y = 0,07x + 217,75$
2002	0,76	сильная	$y = 0,93x + 24,98$
2022	0,22	слабая	$y = 0,13x + 62,00$
1992-2022	0,10	слабая	$y = 0,12x + 110,60$

Анализ данных показал, что наиболее тесная связь наблюдается в 2002 году, коэффициент корреляции равен 0,76, что указывает на прямую положительную зависимость. В 1992 и в 2022 годах выявлена слабая зависимость между содержанием калия и фосфора в почве, r соответственно равнялись 0,04 и 0,22. Значения коэффициента регрессии, близкого к нулю в данном случае говорит о почти полном отсутствии линейной зависимости между показателями. Слабая прямая зависимость подтверждается и при анализе данных за весь период исследования – коэффициент корреляции в этом случае равен 0,1.

Заключение. По итогам проделанной работы по ретроспективному анализу состояния за период между почвенными обследованиями 1992-2002-2022 гг. получены показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Проведенный анализ по содержанию подвижных форм фосфора и калия по 3-м турам обследования позволяет сделать следующее заключение: за период между обследованиями 1992-2022 гг. наблюдается тенденция повышения содержания подвижного фосфора в 2022 году в большинстве почв по сравнению с обследованиями 1992 и 2002 гг в среднем на 27-198 %. Только на черноземе обыкновенном остаточно-луговатом карбонатном среднегумусном среднетяжелосуглинистом, высокогумусном среднетяжелосуглинистом и солончаковатом очень сильно засоленном тучном среднетяжелосуглинистом, на лугово-черноземной карбонатной солончаковой сильнозасоленной тучной среднетяжелосуглинистой почве в комплексе с солонцом произошли изменения в сторону снижения количества подвижного фосфора на 61-85%. В период 1992-2002 гг почвы характеризовались высокой и очень высокой степенью обеспеченности калием. Однако, в 2022 году произошли изменения в сторону снижения содержания подвижного калия за 20-30 летний период в среднем на 18-95% за исключением лугово-черноземной карбонатной среднегумусной среднетяжелосуглинистой почвы, где выявлено повышение количества калия на 16% относительно обследования 2002 года. В связи с этим большинство почв за период 2002-2022 гг характеризовались средней и низкой обеспеченностью калием. По значению коэффициента корреляции, равному 0,1 выявлена слабая прямая зависимость между содержанием в почве фосфора и калия.

Список источников

1. Хасанов, А. Н., Асылбаев, И. Г., Рафиков, Б. В., Киселева, А. А., Шацкая, С. И. Ретроспективный анализ состояния плодородия почв Южной лесостепи Республики Башкортостан за длительный период использования // Известия Горского государственного аграрного университета. 56(1). С. 30-36.
2. Орлова Л. В., Захарова Е. А., Троц Н. М. Оценка состояния агрохимического состояния почвы с помощью вегетационного индекса // Инновации в сельском хозяйстве и экологии : сб. науч. тр. Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. С. 281-286.
3. Орлова Л. В., Фомин А. А., Тойгильдин А. Л. Новая парадигма развития сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 3(399). С. 357-360.
4. Троц, Н. М., Троц В. Б. Динамика состояния морфологического строения профиля черноземных почв при нулевой обработке // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК : сб. науч. тр. Курган : Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева, 2022. С. 97–100.
5. Троц Н. М., Бокова А.А. Корреляционный анализ урожайности и количества пожнивных и корневых остатков в севооборотах // Инновационные достижения науки и техники АПК : сб. науч. тр. Кинель : ИБЦ Самарского ГАУ, 2023. С. 14-19.
6. Троц Н. М., Орлов С. В., Герасимов Е. С., Бокова А. А. Накопление пожнивных и корневых остатков в севооборотах при применении технологии No-till в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. №1. С. 25–31.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Khasanov, A. N., Asylbaev, I. G., Rafikov, B. V., Kiseleva, A. A., & Shatskaya, S. I. (2019). Retrospective analysis of the state of soil fertility in the Southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan for a long period of use. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 56(1), 30-36. (in Russ).
2. Orlova, L. V., Zakharova, E. A., & Trots, N. M. (2023). Assessment of the state of the agrochemical condition of the soil using the vegetation index. *Innovations in agriculture and ecology 23' : collection of scientific papers*. (pp. 281-286). Ryazan (in Russ).
3. Orlova, L. V., Fomin, A. A. & Toygildin, A. L. (2024). *A new paradigm for the development of agriculture. Mezhdunarodnyj sel'skokozyajstvennyj zhurnal (International Agricultural Journal)*, 3(399), 357-360 (in Russ).
4. Chichiginarov, V. V., Petrova, I. I. & Sivtsev, V. V. (2023). Assessment of soil fertility indicators of agricultural lands of Biette-agro LLC in Yakutia. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii (Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy)*, 2(62), 76–81 (in Russ).
5. Trots, N. M. & Bokova, A. A. (2023). Correlation analysis of yield and the amount of stubble and root residues in crop rotations. *Innovative achievements of science and technology of the agro-industrial complex 23' : collection of scientific papers*. (pp. 14-19). Kinel (in Russ).
6. Trots, N. M., Orlov, S. V., Gerasimov, E. S. & Bokova, A. A. (2023). Accumulation of stubble and root residues in cropped rotations when using the No-till technology in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 1, 25-31 (in Russ).
7. Dospikhov, B. A. (1985). *Field experiment methodology*. Moscow : Agropromizdat (in Russ).

Информация об авторах:

Н. М. Троц – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник;
Г. И. Чернякова – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник;
А. А. Бокова – аспирант, младший научный сотрудник;
Е. Е. Суворов – аспирант, младший научный сотрудник.

Information about the authors:

N. M. Trots – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher
G. I. Chernyakova – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher;
A. A. Bokova – Postgraduate Student, Junior Researcher;
E. E. Suvorov – Postgraduate Student, Junior Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 4.09.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 4.09.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 631.8 : 631.812 : 633.11

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-9-16

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ БАТР ГУМ И БАТР МАКС В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Марат Фуатович Амиров^{1✉}, Айрат Ягъфарович Сафиуллин²^{1,2} Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия¹m.f.amirof@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8585-1186>²airatsafiullin1996@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0005-2044-1676>

Резюме. Исследования проводили с целью изучения особенностей влияния минеральных удобрений и концентрированных органоминеральных комплексных жидких удобрений на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы сортов Аль Варис и Ульяновская 105. Работу выполняли в 2021-2023 годы в Предкамской зоне Республике Татарстан. Почва опытного участка светло-серая лесная, среднесуглинистая. Агрохимические показатели: содержание гумуса по Тюрину составляло 1,9%, подвижного фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО – соответственно 145 мг/кг и 127 мг/кг, кислотность почвы – 6,4 рН. Дозы внесения минеральных удобрений устанавливали расчётно-балансовым методом на урожайность зерна 3 т/га, которые составили N₁₀₆P₂₇K₄₁. Кроме минеральных удобрений оценивали влияние концентрированных органоминеральных комплексных жидких удобрений Батр Гум, Батр Макс производства «Сервис Агро». Применение расчётных доз минеральных удобрений существенно увеличил урожайность и качество зерна яровой пшеницы у обоих сортов по сравнению с контролем. Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы в среднем за три года отмечалась в варианте NPK на получение 3 т/га зерна + Батр (0,5 л/т + 1 л/га + 1 л/га) – 3,76 у сорта Аль Варис и 3,20 т/га у сорта Ульяновская 105. Наибольшее значение сырой клейковины в 2023 году получили при внесении минеральных удобрений и использовании Батр Гум, Батр Макс – 29,4 % у сорта Аль Варис. Самая высокая прибавка урожайности яровой пшеницы сорта Аль Варис в среднем за 2021 – 2023 гг. была при использовании минеральных удобрений, Батр Гум и Батр Макс составившая 1,63 т/га.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L), сорта, обработка семян, удобрения, опрыскивание растений, урожайность, качество зерна.

Для цитирования: Амиров М. Ф., Сафиуллин А. Я. Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы при использовании минеральных удобрений Батр Гум и Батр Макс в условиях Республики Татарстан // Известия Самарской государственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 9-16. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-9-16

Original article

YIELD AND GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT VARIETIES USING MINERAL FERTILIZERS BAR GUM AND BATR MAX IN THE CONDITIONS OF TATARSTAN REPUBLIC

Marat F. Amirov^{1✉}, Airat Ya. Safiullin²^{1,2} Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.¹m.f.amirof@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8585-1186>²airatsafiullin1996@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0005-2044-1676>

Abstract. The research was carried out in order to study the peculiarities of mineral fertilizers effect and concentrated organomineral complex liquid fertilizers on the yield and grain quality of spring soft wheat varieties Al Varis and Ulyanovsk 105. The work was carried out in 2021-2023 in the Pre-Kama zone of Tatarstan Republic. The soil of the experimental site is light gray forest, medium loamy. Agrochemical indicators: the content of humus according to Tyurin was 1.9%, mobile phosphorus and potassium according to Kirsanov in the modification of TSINAO – 145 mg/kg and 127 mg/kg, respectively, soil acidity – 6.4 pH. The doses of mineral fertilizers were determined by the calculation and balance method for grain yield of 3 t/ha, which amounted to N₁₀₆P₂₇K₄₁. In addition to mineral fertilizers, the effect of concentrated organomineral complex liquid fertilizers Batr Gum, Batr MaX produced by Service Agro was evaluated. The use of calculated doses of mineral fertilizers significantly increased the yield and quality of spring wheat grain in both varieties. The maximum yield of spring wheat grain in an average of three years was noted in the NPK variant for obtaining 3 t/ha of grain + Batr (0.5 l/t + 1 l/ha + 1 l/ha) – 3.76 for the Al Varis variety and 3.20 t/ha for the Ulyanovsk 105 variety. The highest value of crude gluten in 2023 was obtained when applying mineral fertilizers and using Batr Gum, Batr MaX – 29.4% in the Al Varis variety. The highest increase in the yield of spring wheat of the Al Varis variety on average for 2021-2023 was with the use of mineral fertilizers, Batr Gum and Batr MaX amounting to 1.63 t/ha.

Keywords: spring wheat (*Triticum aestivum* L), varieties, seed treatment, fertilizers, plant spraying, yield, grain quality.

For citation: Amirov, M. F. & Safiullin, A. Ya. (2024). Yield and grain quality of spring wheat varieties using mineral fertilizers Batr Gum and Batr Max in the conditions of Tatarstan Republic. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4. 9-16. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-9-16

В решении задач агропромышленного комплекса по повышению урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы важную роль играет приспособленность сорта к условиям выращивания [1].

Высокий урожай зерновых можно получить при выращивании посевов с сбалансированным питанием растений и при выращивании регионально адаптированных сортов. Этой важной задачей занимаются аграрии Республики Татарстан. Важное место в решении этой задачи занимает формирование выровненных всходов [2]. В современных условиях важно создавать хорошо адаптированные как к различным вариациям местных климатических факторов, так и к применяемым технологиям возделывания сорта пшеницы [3].

Бесспорно, для увеличения урожайности и качества необходимо создать оптимальные условия в соответствии с биологическими особенностями сорта [4]. Для эффективного развития корней пшеницы в начале вегетации необходимо создание оптимальных условий в корнеобитаемом слое почвы – наличие влаги, воздуха, элементов питания, высокая биологическая активность микроорганизмов [5]. Кроме того, по мнению ряда ученых, важным условием представляется повышение активности самих растений с использованием стимуляторов роста при предпосевной обработке семян и в наиболее интенсивные периоды роста и развития вегетирующих растений [6]. Ряд ученых склонны считать, что стимуляторы роста прежде всего влияют на биометрические показатели растения, а качество продукции зависит от их использования не существенно [7]. Биопрепараты не только повышают продуктивность растений за счет ростостимулирующего эффекта и снижения поражения болезнями, но и могут оказывать выраженное влияние на формирование корневой системы сельскохозяйственных культур и повышение качества продукции [8]. Важен сейчас и другой вопрос – насколько реально на практике, в различных агроклиматических зонах республики, получать зерно яровой пшеницы с хорошими хлебопекарными качествами [9].

Цель исследований: совершенствование элементов технологии при возделывании яровой мягкой пшеницы сортов Аль Варис и Ульяновская 105.

Задачи исследований: изучить влияние минеральных удобрений и концентрированных органоминеральных комплексных жидких удобрений на сохранность и структуру урожая яровой пшеницы; определить урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы на изучаемых вариантах.

Материал и методы исследований. Работу выполняли в 2021–2023 годы на поле ООО АФ «Аю» Арского района Республики Татарстан (РТ). Почва участка, на котором проводили опыт, светло-серая лесная, по гранулометрическому составу – среднесуглинистая. В пахотном слое содержание гумуса по Тюрину составляло 1,9% (ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества») подвижного фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО – соответственно 145 мг/кг и 127 мг/кг (ГОСТ 26207-84 «Почвы. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО»), кислотность почвы – 6,4 pH (ионометрическим методом, ГОСТ 24483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО»). Дозы внесения минеральных удобрений устанавливали расчётно-балансовым методом на урожайность зерна 3 т/га, они составили $N_{106}P_{27}K_{41}$ [10]. Адаптивный сорт обладает экологической пластичностью, сочетает стабильно высокую продуктивность с качеством зерна, устойчив к различным биотическим и абиотическим стрессорам, и важнейшая задача селекции как науки на ближайшую перспективу создание таких агроэкологических сортов [11]. Материалом для исследований были сорта яровой мягкой пшеницы Аль Варис и Ульяновская 105, которые размещали в севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – яровой ячмень – овёс. Используемая в полевых опытах агротехника общепринятая в РТ, за исключением изучаемых вариантов. Оценивали влияние минеральных удобрений и концентрированных органоминеральных комплексных жидких удобрений Батр Гум, Батр Макс производства «Сервис Агро».

В состав препарата Батр Гум входят аминокислоты – 5%, гуминовые кислоты – 50 г/л, комплекс органических кислот (янтарная, лимонная, аскорбиновая) – 20 г/л, MgO – 0,5%, SO₃ – 1,2%, Zn – 0,05%, Cu – 0,05%, Fe – 0,02%, Mn – 0,05%, B – 0,18%, Mo – 0,05%, Se – 0,001%. Батр Макс содержит аминокислоты – 7%, гуминовые кислоты – 10 г/л, комплекс органических кислот (янтарная, лимонная, аскорбиновая) – 20 г/л, N – 5%, P₂O₅ – 6%, K₂O – 9%, MgO – 0,15%, SO₃ – 2,3%, Zn – 0,05%, Cu – 0,05%, Fe – 0,02%, Mn – 0,05%, B – 0,018%, Mo – 0,02%, Se – 0,001%.

Схема полевого опыта предусматривала следующие варианты:

1. Без предпосевной обработки семян, опрыскивание в фазе кущения яровой пшеницы гербицидом, опрыскивание в фазе выхода в трубку инсектицидом – контроль;

2. Без удобрений, обработка семян препаратом Батр Гум в дозе 0,5 л/т, опрыскивание в фазе кущения гербицидом + Батр Макс 1 л/га, опрыскивание в фазе выхода в трубку инсектицидом + Батр Макс 1 л/га;
3. НРК на 3 т/га зерна, без предпосевной обработки семян, опрыскивание в фазе кущения яровой пшеницы гербицидом, опрыскивание в фазе выхода в трубку инсектицидом;
4. НРК на 3 т/га зерна, обработка семян препаратом Батр Гум в дозе 0,5 л/т, опрыскивание в фазе кущения гербицидом + Батр Макс 1 л/га, опрыскивание в фазе выхода в трубку инсектицидом + Батр Макс 1 л/га.

Яровую пшеницу высевали рядовым способом с нормой 6 млн всхожих семян на 1 га на глубину 5 см сеялкой СЗП-3,6А. Обработку семян проводили за один день до посева. Площадь делянки – 54×250 м. Повторность опытов 3-кратная. Обработку посевов выполняли прицепным опрыскивателем ОМПШ-2500 [12]. Наблюдения за ростом и развитием растений в посевах осуществляли по методике Государственного сортоиспытания: отмечали календарные даты посева, начала и полных всходов. Анализ биологического урожая и его структуры проводили сноповым методом (сохранность растений, продуктивная кустистость, масса зерна, масса соломиистой части образца, масса 1000 зерен). Уборку урожая осуществляли в фазе полной спелости поделочно прямым способом. Учёт фактической урожайности по делянкам выполняли с пересчётом на 14% влажность и 100% чистоту зерна. Количество клейковины в зерне определяли по ГОСТ Р 54478-2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице» в лаборатории Россельхозцентра РТ. Расчёты экономической эффективности изучаемых агроприемов и статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.) (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.).

Метеорологические условия 2021 года в период вегетации яровой пшеницы характеризовались в мае выпадением 110% нормы осадков, в июне низким ГТК – 0,32 ед. (табл. 1). В 2022 году в мае максимальная температура воздуха была лишь 17 °С, в июне и июле – 24-26 °С, сумма осадков в мае и июне составляла меньше климатической нормы за этот период. В 2023 году в мае минимальная температура воздуха была 2 °С, в 4,5 раза меньше многолетних значений, гидротермический коэффициент за июнь составил всего 0,09 ед. самый низкий показатель за время исследования.

Таблица 1

Метеорологические условия в период вегетации яровой пшеницы

Показатель	Месяц			
	Май	Июнь	Июль	Август
2021 г.				
Осадки, мм	39	25	30	13,2
Максимальная температура воздуха, °С	+ 32	+ 35	+ 32	+ 31
Минимальная температура воздуха, °С	+ 8	+ 14	+ 14	+ 17
Сумма активных температур, °С	619	785	851	373
Гидротермический коэффициент	0,63	0,32	0,35	0,35
2022 г.				
Осадки, мм	22	28,2	70	15
Максимальная температура воздуха, °С	+ 17	+ 24	+ 28	+ 31,15
Минимальная температура воздуха, °С	1	+ 6	+ 6	+ 12,2
Сумма активных температур, °С	342	638	769	859
Гидротермический коэффициент	0,64	0,44	0,91	0,17
2023				
Осадки, мм	32	5,6	53	4
Максимальная температура воздуха, °С	+ 30	+ 28	+ 33	+ 33
Минимальная температура воздуха, °С	+2	+10	+13	+16
Сумма активных температур, °С	532	564	766	135
Гидротермический коэффициент	0,60	0,09	0,69	0,29
Средние многолетние значения (климатическая норма)				
Осадки, мм	35	61	68	40
Максимальная температура воздуха, °С	15,8	19,6	23,3	22,2
Минимальная температура воздуха, °С	9,2	12,8	16,1	14,7
Сумма активных температур, °С	240	599	1030	1275
Гидротермический коэффициент	1,46	1,02	0,66	0,314

Результаты исследований. Количество всходов на единице площади, сохранность растений до уборки урожая и элементы структуры во многом определяют величину и качество урожая. Бесспорно, на эти показатели влияют сортовые особенности культуры, наличие влаги и элементов питания в доступных для растения формах в отдельные фазы развития и за весь период вегетации.

На формирование высокопродуктивных посевов оказывает влияние полевая всхожесть семян. В наших исследованиях густота всходов и полевая всхожесть семян зависели как от сортовых особенностей, так и метеорологических условий, складывавшихся в период посев – всходы.

Таблица 2

Сохранность посевов яровой пшеницы в зависимости от обработки семян и посевов на фоне без удобрений

Показатель	Без удобрений			
	Аль Варис		Ульяновская 105	
	1. Контроль	2. Батр (0,5 л/т+1 л/га+1 л/га)	1. Контроль	2. Батр (0,5 л/т+1 л/га+1 л/га)
2021 год				
Число всходов, шт./м ²	395	399	387	392
Полевая всхожесть, %	65,8	66,5	64,5	65,3
Число растений к уборке, шт./м ²	288	324	286	324
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	307	349	289	330
Сохранность всходов, %	72,9	81,2	73,9	82,6
Общая сохранность к уборке, %	48,0	54,0	47,7	54,0
2022 год				
Число всходов, шт./м ²	425	433	423	450
Полевая всхожесть, %	70,8	72,2	70,5	75,0
Число растений к уборке, шт./м ²	375	383	354	378
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	385	396	362	390
Сохранность всходов, %	88,2	88,4	83,7	84,0
Общая сохранность к уборке, %	62,5	63,8	59,0	63,0
2023 год				
Число всходов, шт./м ²	457	478	448	449
Полевая всхожесть, %	79,2	79,7	74,7	74,8
Число растений к уборке, шт./м ²	351	368	340	361
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	386	406	379	381
Сохранность всходов, %	76,8	76,9	75,9	76,1
Общая сохранность к уборке, %	58,5	61,3	56,7	57,0

В годы исследований полевая всхожесть яровой пшеницы на контроле была невысокой 65,8–79,2% на фоне естественного плодородия у сорта Аль Варис, 64,5–74,7% у Ульяновской 105 (табл.2). Обработка семян перед посевом Батр Гум улучшила этот показатель на фоне без удобрений на 0,1–4,5% у обоих сортов, а на удобренном фоне – на 0,2–15,7% (табл.3).

Таблица 3

Сохранность посевов яровой пшеницы в зависимости от обработки семян и посевов на удобренном фоне

Показатель	НРК на 3 т зерна			
	Аль Варис		Ульяновская 105	
	3. Контроль	4. Батр (0,5 л/т+1 л/га+1 л/га)	3. Контроль	4. Батр (0,5 л/т+1 л/га+1 л/га)
1	2	3	4	5
2021 год				
Число всходов, шт./м ²	408	459	401	438
Полевая всхожесть, %	68,0	76,5	66,8	73,0
Число растений к уборке, шт./м ²	335	389	330	380
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	350	410	340	396
Сохранность всходов, %	82,1	84,8	82,3	86,8
Общая сохранность к уборке, %	55,8	64,8	55,0	63,3
2022 год				
Число всходов, шт./м ²	436	530	455	521
Полевая всхожесть, %	72,6	88,3	75,8	86,8
Число растений к уборке, шт./м ²	387	478	385	458
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	415	515	410	490

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5
Сохранность всходов, %	88,8	90,2	84,6	87,9
Общая сохранность к уборке, %	64,5	79,6	64,2	76,3
2023 год				
Число всходов, шт./м ²	495	507	510	511
Полевая всхожесть, %	82,5	84,5	85,0	85,2
Число растений к уборке, шт./м ²	382	393	389	390
Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	443	468	445	449
Сохранность всходов, %	77,1	77,5	76,2	76,3
Общая сохранность к уборке, %	63,7	65,5	64,8	65,0

Важный показатель, определяющий формирование урожайности, является общая сохранность растений, при определении которой учитываются и полевая всхожесть, и сохранность всходов до уборки. Анализы посевов яровой пшеницы по общей сохранности показали, что использование Батр на фоне без применения удобрений увеличили этот показатель в зависимости от метеорологических условий года по сорту Аль Варис от 1,3 до 6,0%, а по сорту Ульяновская 105 от 0,3 до 6,3%. На удобренном фоне, применение Батр Гум и Батр Макс способствовали увеличению общей сохранности по сорту Аль Варис на 1,8...15,1%, по Ульяновская 105 – 0,2...12,1%.

Озерненность колоса была высокой и за три года варьировала от 18,9 до 28,7 зерен у сорта Аль Варис и у Ульяновской 105 от 15,9 до 25,9 зерен (табл. 4). Максимальной она была в 2023 году 28,7 зерен у Аль Вариса. Предпосевная обработка семян обработка посевов увеличивала озерненность колоса на 0,4-2,5 зерна на удобренном фоне и на 1,1-3,9 зерна на фоне без удобрений. Масса 1000 зерен варьировала от 29,7 до 35,8 у сорта Аль Вариса, от 28,8 до 39 г – у сорта Ульяновская 105. Обработка Батр повышала массу 1000 зерен у всех сортов и во все годы исследований. Масса зерна с колоса варьировала в пределах 0,56-0,83 г на фоне без удобрений, а на удобренном 0,58-1,0 г у сорта Аль Варис. У сорта Ульяновская 105 на фоне без удобрений 0,57-0,72 г, на удобренном 0,74-0,81 г.

Таблица 4

Элементы структуры урожая яровой пшеницы в зависимости от фона питания и обработки семян и посевов

Сорт	Фон питания	Фон обработки	Число продуктивных стеблей к уборке, шт./м ²	Число зерен в колосе, штук	Масса зерна с одного колоса, грамм	Масса 1000 зерен, грамм
2021 год						
Аль Варис	Без удобрений	1. Без обработки	307	18,9	0,56	29,7
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	349	22,8	0,7	30,6
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	350	18,9	0,58	30,8
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	410	20,2	0,68	33,5
Ульяновская 105	Без удобрений	1. Без обработки	289	15,9	0,57	35,8
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	330	19,3	0,71	36,9
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	340	19,8	0,74	37,3
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	396	20,6	0,80	39,0
2022 год						
Аль Варис	Без удобрений	1. Без обработки	385	20,5	0,67	32,7
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	396	22,5	0,75	33,3
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	415	21,8	0,76	35,2
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	515	23,8	0,85	35,8
Ульяновская 105	Без удобрений	1. Без обработки	362	18,9	0,60	31,6
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	390	21,0	0,70	33,3
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	410	23,0	0,79	34,6
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	490	23,5	0,81	34,8
2023 год						
Аль Варис	Без удобрений	1. Без обработки	386	24,5	0,78	32,1
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	406	25,6	0,83	32,7
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	443	28,2	0,98	35,0
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	468	28,7	1,0	35,2
Ульяновская 105	Без удобрений	1. Без обработки	379	23,6	0,67	28,8
		2. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	381	24,7	0,72	29,5
	NPK на 3 т зерна	3. Без обработки	445	25,5	0,77	30,4
		4. Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	449	25,9	0,81	31,4

Внесение расчетной дозы NPK на получение 3 т/га зерна оказали наибольшее влияние на повышение урожайности и количества клейковины в зерне яровой пшеницы сорта Аль Варис в среднем за 2021-2023 гг. на 1,17 т/га и 5,1% (табл. 5). Применение Батр Гум, Батр Макс повысили урожайность и количество клейковины в зерне яровой пшеницы на фоне без удобрений на 0,51 т/га и 1,6%, а на удобренном на 0,47 т/га и 3,4%.

Таблица 5

Урожайность и количество клейковины в зерне яровой пшеницы сорта Аль Варис в зависимости от фона питания, предпосевной обработки семян и опрыскивания посевов

Варианты	2021 г.		2022 г.		2023 г.		Средняя за 2021-2023 гг.		Прибавка,	
	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	т/га	%
1. Без удобрений, без обработки (Контроль)	1,42	17,8	2,20	16,8	2,73	22,4	2,12	19,0	-	-
2. Без удобрений, Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	2,11	20,2	2,70	18,6	3,07	22,9	2,63	20,6	0,51	1,6
3. NPK на 3 т зерна, без обработки семян и посевов	2,38	23,6	3,42	20,0	4,07	28,6	3,29	24,1	1,17	5,1
4. NPK на 3 т зерна, Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	3,05	29,2	3,92	24,0	4,30	29,4	3,76	27,5	1,64	8,5
Средняя	2,24		3,06		3,54		2,95		-	
НСР ₀₅	0,23		0,39		0,35		-		-	

Средняя урожайность за годы исследований по сорту Аль Варис составили 2,95 т/га, а по сорту Ульяновская 105 – 2,52 т/га (табл.6). Расчетные дозы NPK на 3 т/га увеличили урожайность и содержание клейковины в зерне по сорту Ульяновская 105 на 0,96 т/га и 5,7%. Использование концентрированных органоминеральных комплексных жидких удобрений Батр Гум, Батр Макс повысили урожайность и содержание клейковины в зерне сорта Ульяновская 105 на фоне без удобрений на 0,39 т/га и 1,4%, а на удобренном на 0,43 т/га и 3,9%.

Таблица 6

Урожайность и количество клейковины в зерне яровой пшеницы сорта Ульяновская 105 в зависимости от фона питания, предпосевной обработки семян и опрыскивания посевов

Варианты	2021 г.		2022 г.		2023 г.		Средняя за 2021-2023 гг.		Прибавка,	
	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	Урожайность, т/га	Количество клейковины, %	т/га	%
1. Без удобрений, без обработки (Контроль)	1,32	16,2	1,82	16,4	2,28	17,2	1,81	16,6	-	-
2. Без удобрений, Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	1,99	17,6	2,34	18,6	2,54	17,8	2,20	18,0	0,39	1,4
3. NPK на 3 т зерна, без обработки семян и посевов	2,17	21,4	2,99	19,8	3,16	25,6	2,77	22,3	0,96	5,7
4. NPK на 3 т зерна, Батр (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га)	2,79	28,6	3,44	23,2	3,37	26,8	3,20	26,2	1,39	9,6
Средняя	2,07		2,65		2,84		2,52		-	
НСР ₀₅	0,25		0,36		0,42		-		-	

Заключение. По итогам трехлетних исследований посевов яровой пшеницы мы пришли к выводу, что применение расчётных доз минеральных удобрений существенно увеличил урожайность и качество зерна яровой пшеницы у обоих сортов по сравнению с контролем. Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы в среднем за три года отмечалась при внесении NPK на получение 3 т/га зерна и обработке семян и посевов Батр Гум, Батр Макс (0,5 л/т +1 л/га +1 л/га) – 3,76 у сорта Аль Варис и 3,20 т/га у сорта Ульяновская 105. Наибольшее значение сырой клейковины в 2023 году получили при внесении минеральных удобрений и использовании Батр Гум, Батр Макс – 29,4% у сорта Аль Варис.

Список источников

1. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Оценка адаптивного потенциала перспективных сортов яровой мягкой пшеницы // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук* 2019. № 10-1 (37). С. 145–149.
2. Амиров М. Ф., Толочков Д. И. Формирование урожая яровой пшеницы в зависимости от использования минеральных удобрений, микроэлементов и гербицида в условиях Республики Татарстан // *Плодородие*. 2020. № 3 (114). С. 6-9. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.01.
3. Новохатин В. В., Драгавцев В. А. Научное обоснование эколого-генетической селекции мягкой яровой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 12. С. 39-46. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11206.
4. Маркин, В. Д., Маркин, П. В., Щекочихина, Ю. В., Щетинин, П. Б. Устойчивость сортов озимой пшеницы к неблагоприятным условиям произрастания и их урожайность // *Наука и образование*. 2021. Т. 4, № 3. С. 15-18.
5. Агиева, Г. Н., Нижегородцева, Л. С., Диабанкана, Р. Ж. К., Абрамова, А. А., Сафин, Р. И., Хисматуллин, М. М. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. № 15(4). С. 5-9.
6. Власова Т. А., Блинохvatова Ю. В. Влияние водорастворимых удобрений на урожай и качество озимой пшеницы // *Сурский вестник*. 2022. № 1(17). С. 13-17. doi: 10.36461/2619-1202_2022_01_003.
7. Диабанкана Р. Ж. К., Комиссаров Э. Н., Сафин Р. И. Влияние применения биопрепарата на основе эндофитных бактерий на формирование урожая яровой пшеницы // *Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ*. Казань : Изд-во Казанского ГАУ, 2021. С. 131-136.
8. Сафин Р.И., Валиев А.Р., Колесар В.А. Современное состояние и перспективы развития углеродного земледелия в Республике Татарстан // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 7-13.
9. Valiev, A. A., Ibyatov, R. I., Novikova, S. V., Kiseleva, N. G. Calculation of making doses of fertilizers under planned yield of spring wheat using an artificial neural network. In *BIO Web of Conferences*. 2020 Vol. 27, p. 00120. EDP Sciences.
10. Шатилов И.С., Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М., 1975.
11. Алабушев А.В. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013. № 2 (6). С. 47-51.
12. Амиров М.Ф., Сафиуллин А.Я., Гилязов М.Ю., Захаров В.Г., Кадырова Ф.З. Оценка эффективности предпосевной обработки семян и посевов биологически активными веществами на яровой пшенице в условиях Предкамья Республики Татарстан // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 5-12.

References

1. Kincharov, A. I., Demina, E. A., Taranova, T. Yu., Mullayanova, O. S. & Chekmasova, K. Yu. (2019). Assessment of the adaptive potential of promising varieties of spring soft wheat. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 10-1 (37). 145-149 (in Russ).
2. Amirov, M. F. & Toloknov, D. I. (2020). Formation of spring wheat yield depending on the use of mineral fertilizers, microelements and herbicides in the conditions of the Republic of Tatarstan. *Plodородie (Fertility)*. 3 (114). 6-9 (in Russ).
3. Novokhatin, V. V. & Dragavtsev, V. A. (2020). Scientific substantiation of ecological and genetic breeding of soft spring wheat. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*. 34, 12. 39-46. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11206.
4. Markin, V. D., Markin, P. V., Shchekochikhina, Yu. V., & Shchetinin, P. B. (2021). Resistance of winter wheat varieties to unfavorable growing conditions and their yield. *Nauka i Obrazovanie (Science and Education)*, 4(3) (in Russ).
5. Agieva, G. N., Nizhegorodtseva, L. S., Diabankana, R. Zh. K., Abramova, A. A., Safin, R. I. & Khismatullin, M. M. (2020). Methods of increasing the effectiveness of biological preparations in crop production. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of Kazan State Agrarian University)*, 15(4), 5-9.
6. Vlasova, T. A. & Blinokhvatoва, Yu. V. (2022). The influence of water-soluble fertilizers on the yield and quality of winter wheat. *Sursky vestnik*. 1(17). 13-17. doi: 10.36461/2619-1202_2022_01_003 (in Russ).
7. Diabankana, RZh. K., Komissarov, E. N. & Safin, R. I. (2021). Influence of the use of a biological product based on endophytic bacteria on the formation of the spring wheat crop. *Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu kafedry agrokhimii i pochvovedeniya Kazanskogo GAU*. (pp.131-136). Kazan. (in Russ).
8. Safin, R. I., Valiev, A. R. & Kolesar, V. A. (2021). Current state and prospects for the development of carbon farming in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of Kazan State Agrarian University)*, 16 (3-63). 7-13. (in Russ).

9. Valiev, A. A., Ibyatov, R. I., Novikova, S. V., & Kiseleva, N. G. (2020). Calculation of making doses of fertilizers under planned yield of spring wheat using an artificial neural network. In BIO Web of Conferences (Vol. 27, p. 00120). EDP Sciences.

10. Shatilov, I. S. & Kayumov, M. K. (1975). Programming of agricultural crops. Moscow (in Russ).

11. Alabushev, A. V. (2013). Adaptive potential of grain crops varieties. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury (Leguminous and cereal crops)*. 2 (6). 47-51 (in Russ).

12. Amirov, M. F., Safiullin, A. Ya., Gilyazov, M. Yu., Zakharov, V. G. & Kadyrova, F. Z. (2023). Evaluation of the effectiveness of pre-sowing treatment of seeds and crops with biologically active substances on spring wheat in the conditions of the Ancestral region of the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of Kazan State Agrarian University)*, 18. 2 (70). 5-12 (in Russ).

Информация об авторах

М. Ф. Амиров – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А. Я. Сафиуллин – аспирант.

Information about the authors

M. F. Amirov– Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

A. Ya. Safiullin– postgraduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 22.07.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 22.07.2024; approved after reviewing 24.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 547.96 : 633.11.«321»:631.51: 632.51

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-17-22

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА И ЕГО ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ В ЗЕРНЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА КИНЕЛЬСКАЯ ЮБИЛЕЙНАЯ

Наталья Павловна Бакаева^{1✉}, Ангелина Владимировна Егорцева²^{1,2} Самарский государственный аграрный университет, Кинель¹ bakaevanp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4784-2072>² avdoangelina@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0005-2428-0785>

Резюме. Цель исследования – изучить содержание общего белка и его отдельных фракций в зерне яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная для определения сбалансированности хозяйственного комплекса. Посев яровой пшеницы осуществлялся весной после вспашки на глубину 20-22 см, масса высеванных семян составила 180 кг/га. В среднем за годы исследования была получена урожайность зерна 2,59 т/га, величина массы 1000 зерен 39,2 г. Выделение из одного грамма зерна отдельных белковых фракций и определение в них белка показало, что в альбуминах содержится 37,1%, в глобулинах – 9,8%, в проламинах – 29,3%, в глютелинах – 23,8%. Полученные результаты отношения сумм низкомолекулярных фракций альбуминов и глобулинов к сумме высокомолекулярных проламинов и глютелинов составляют 1:1,1, а клейковинные белки проламиновой фракции к глютелиновой фракции как 1,2:1, что характеризует муку полученную из зерна яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, как муку с высокими хлебопекарными свойствами. Определение содержания общего белка в зерне было равным 14,2%. Сумма сахаров в зерне оказалась равной 1,72%. Показатель эффективности поглощения азота и его использование в урожайности и белковости – это содержание азота в зерне, которое равнялось 2,42%. Значения выноса белка и азота с урожаем, а также азота с белком, и сумма сахаров взаимосвязанные показатели, дающие представление о балансе соотношения C: N, сопоставление между энергетическими продуктами, представленными углеродом, часто глюкозой, углеводами и материалом для построения белка, представленным азотом.

Ключевые слова: пшеница яровая, урожайность, зерно, масса 1000 зерен, белок, белковые фракции, сахара, азот.

Для цитирования: Бакаева Н. П., Егорцева А. В. Содержание белка и его отдельных фракций в зерне яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная // Известия Самарской государственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 17-22. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-17-22

Original article

PROTEIN CONTENT AND ITS FRACTIONAL COMPOSITION IN THE GRAIN OF SPRING WHEAT OF THE KINELSKAYA JUBILEE VARIETY

Natalia P. Bakaeva^{1✉}, Angelina V. Yegortseva²^{1,2} Samara State Agrarian University, Kinel¹ bakaevanp@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4784-2072>² avdoangelina@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0005-2428-0785>

Abstracts. The purpose of the study is to study the content of total protein and its individual fractions in the grain of spring wheat of the Kinelskaya Jubilee variety to determine the balance of the economic complex. Sowing of spring wheat was carried out in the spring after plowing to a depth of 20-22 cm, the weight of the sown seeds was 180 kg /ha. On average, over the years of the study, a grain yield of 2.59 t/ha was obtained, the weight of 1000 grains was 39.2 g. The isolation of individual protein fractions from one gram of grain and the determination of protein in them showed that albumins contain 37.1%, globulins – 9.8%, prolamins – 29.3%, and glutelins – 23.8%. The obtained results show that the ratio of the sums of low molecular weight fractions of albumins and globulins to the sum of high molecular weight prolamins and glutelins is 1:1.1, and the gluten proteins of the prolamine fraction to the glutelin fraction is 1.2:1, which characterizes flour obtained from the grain of spring soft wheat of the Kinelskaya Jubilee variety as flour with high baking properties. The determination of the total protein content in the grain was equal to 14.2%. The amount of sugars in the grain turned out to be 1.72%. The indicator of the efficiency of nitrogen absorption and its use in yield and protein content is the nitrogen content in grain, which was 2.42%. The values of protein and nitrogen removal with harvest, as well as nitrogen with protein and the sum of sugars are interrelated indicators that give an idea of the balance of the C:N ratio, a comparison between energy products represented by carbon, often glucose, carbohydrates and protein building material represented by nitrogen.

Key words: spring wheat, yield, grain, weight of 1000 grains, protein, protein fractions, sugars, nitrogen.

For citation: Bakaeva, N. P. & Yegortseva, A. V. (2024). Protein content and its fractional composition in the grain of spring wheat of the Kinelskaya Jubilee variety. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4. 17-22. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-17-22

Яровая пшеница является одной из самых значимых продовольственных зерновых культур, которая даёт около 30% мирового производства зерна. Более половины населения Земли употребляют в пищу зерно пшеницы. Популярность её объясняется многообразным использованием ценного по качеству зерна. Одним из основных путей повышения пищевой и биологической ценности хлеба является внедрение в производство высококачественных сортов пшеницы, формирующих зерно с повышенным содержанием белка. Зерно яровой пшеницы кроме белков содержит углеводы, клетчатку, липиды, витамины, минералы, фитохимические и др. вещества, обеспечивающие здоровое питание человека [1].

Наиболее важными биохимическими показателями, по которым оценивают качество зерна, является содержание фракций в составе белка – альбумины, глобулины, проламины и глютелины. Альбумины и глобулины низкомолекулярные, хорошо растворимые белки образуются и накапливаются в начале формирования и при созревании зерна реутилизируются в состав высокомолекулярных фракций [2]. Проламины и глютелины высокомолекулярные белки относятся к запасным белкам, которые накапливаются в эндосперме и семядолях, служат при этом источником питательных веществ для прорастания семян, а также являются клейковинообразующими белками от их количества зависят хлебопекарные свойства муки и вкус выпекаемого хлеба [3].

По описанию, изучаемый сорт яровой пшеницы Кинельская Юбилейная характеризуется комплексной устойчивостью к стрессовым факторам, формирует крупное зерно с массой 1000 зерен до 39,4 г, с повышенным содержанием белка до 19,5%, при обычной агротехнике в Средневолжском регионе дает 22,5 ц/га. Отсюда, возделывание данного сорта по общепринятой технологии в лесостепи Среднего Поволжья, изучение фракционного состава, содержание белка и сахаров в зерне, а также показателей для определения сбалансированности хозяйственного комплекса яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная является актуальным.

Цель исследования: изучить содержание общего белка и его отдельных фракций в зерне яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная для определения сбалансированности хозяйственного комплекса.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований являлся сорт яровой мягкой пшеницы Кинельская Юбилейная, включенный в Реестр селекционных достижений РФ по Средневолжскому и Уральскому регионам с 2016 г. Сорт среднеспелый. Вегетационный период от всходов до восковой спелости составляет 76-83 дня. Высота растений 75 см, продуктивная кустистость в условиях недостаточного увлажнения в среднем 1,8. Сорт характеризуется высокой засухо- и жаростойкостью. Сорт устойчив к полеганию, осыпанию и прорастанию зерна на корню, а также к болезням. Характеризуется комплексной устойчивостью к стрессовым факторам. Формирует зерно со стекловидностью до 95 %, крупное с массой 1000 зерен до 39,4 г, выполненное с натурным весом до 824 г/л, с повышенным содержанием белка до 19,5% и клейковиной до 40,4%. При обычной агротехнике возделывания формирует зерно не ниже 3 класса. Предназначен для производства продовольственного зерна, отличается белой мукой и высокими вкусовыми качествами хлеба [4]. Средняя урожайность в Средневолжском регионе – 22,5 ц/га [5].

Исследовалось зерно в полной спелости и влажностью 14%, выращенное в 2022-2023 годах на опытном поле научно-исследовательской лаборатории «Агроэкология» Самарского ГАУ. Опытное поле расположено в центральной зоне Самарской области или южной части лесостепи Заволжья. Почва поля – чернозем типичный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый. Данная почва имеет реакцию среды (pH) близкую к нейтральной, среднее содержание гумуса, сравнительно большую поглотительную способность. Почва по своим физико-химическим и водным свойствам вполне отвечает требованиям успешного возделывания полевых культур. Рельеф поля выровненный [6].

Технология возделывания яровой мягкой пшеницы Кинельская Юбилейная общепринятая для Среднего Поволжья, в пятипольном севообороте: чистый пар (внесение азотных удобрений), озимая пшеница, горох (азотфиксация и накопление азота в почве), яровая пшеница, ячмень. Посев осуществлялся весной после вспашки на глубину 20-22 см и других принятых агротехникой мероприятий. Масса высеянных семян составила 180 кг/га.

Метеорологические условия на основе представленных данных Метеорологической станцией «Усть-Кинельская» в период проведения исследований характеризовались как контрастные с перепадами температур и осадков, однако позволяющие нормально выращивать яровые культуры.

Отбор снопов для определения урожайности (ГОСТ 13586.5- 2015 «Зерно. Метод определения влажности»), проводился на закрепленных площадках по 0,25 м² в четырех местах деланки по всем повторностям.

Белковые фракции выделялись по методу Починок Х. Н. (1976) [7], состоящего из последовательного растворения шрота, полученного из 1 г измельченного зерна, в соответствующих растворителях и полного осаждение многократным центрифугированием. Все процедуры были выполнены без потери количественной массы и измерения объемов при растворении. Были получены фракции водорастворимая альбуминовая, солерастворимая в 10% хлористом натрия – глобулиновая, труднорастворимая спиртовая в 70% этаноле – проламиновая и щелочерастворимая в 0,2% гидроксиде натрия – глютелиновая.

Количественное содержание белка во фракциях определяли колориметрическим методом по Г.А. Кочетову (1971) [8], микроопределением с использованием реактива Бенедикта на фотоколориметре КФК-2. С прибора снимали показания в экстинкциях (Е) и по калибровочному графику переводили в мг на 1 г зерна (шрота). Повторность аналитических методов выделения и определения трёхкратная.

Статистическая обработка данных и вычисление ошибки среднеквадратической с доверительным интервалом на 95% уровне значимости была произведена по Б.А. Доспехову (1985) с помощью программы «STAT-1» [9].

Результаты исследований. Результаты определения содержания белка во фракциях в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание белка во фракциях в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, в среднем за период исследования

Фракционный состав белка	Е, в 1 г зерна	Содержание белка во фракциях, в мг / 1 г зерна	Содержание белка во фракциях, %
Альбумины	3,04	5,27±0,13	37,1
Глобулины	0,80	1,40±0,21	9,8
Проламины	2,37	4,16±0,18	29,3
Глютелины	1,93	3,38±0,16	23,8

Среди полученных фракций, альбумины и глобулины относятся к низкомолекулярным фракциям. Они образуются из аминокислот и накапливаются в зерне с начала его формирования. В процессе созревания, содержание этих фракций уменьшается. В дальнейшем происходит синтез и накопление запасных высокомолекулярных проламинов и глютелинов, их количество увеличивается за счет оттока азотистых веществ, главным образом аминокислот, из вегетативных органов и ранее образованных низкомолекулярных фракций. Известно, что около 2/3 белка в зерне пшеницы синтезируется в результате оттока (реутилизации) из вегетативных органов азотистых веществ, накопленных в них к началу цветения, а 1/3 – за счет потребления азота корневой системой в период формирования, налива и созревания зерна [10, 11]. Проведенное определение содержания белка во фракциях показало, что в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная в альбуминах содержится 37,1% белка, в глобулинах – 9,8%, в проламинах – 29,3%, в глютелинах – 23,8%.

Сумму проламинов и глютелинов называют клейковинными фракциями, так как их содержание обеспечивает её качество. От соотношения данных фракций белка в зерне и будет зависеть качество выпекаемого хлеба. Лучшим по хлебопекарным показателям будет соответствовать белок фракций если соотношение легорастворимых и труднорастворимых фракций будет относиться как 1:1 [12, 13]. Полученные результаты отношения сумм фракций альбуминов и глобулинов к сумме проламинов и глютелинов составляют 1:1,1. Отношение труднорастворимой фракции проламинов к щелочерастворимой фракции глютелинов также должно быть близким к 1:1 [13, 14]. В нашем случае из усредненных результатов за период исследования, отношение содержания белка во фракции проламинов к содержанию белка во фракции глютелинов составляет 1,2:1.

Так, усредненные результаты за период исследования величин содержания белка во фракциях альбуминов, глобулинов, проламинов и глютелинов распределились следующим образом, отношение сумм низкомолекулярных к сумме высокомолекулярных относятся как 1:1,1; а клейковинных белков проламиновой фракции к глютелиновой фракции как 1,2:1. Такое соотношение фракций характеризует муку полученную из зерна яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, как муку с высокими хлебопекарными свойствами.

Урожайность, содержание белка, суммы сахаров в зерне и показателей хозяйственного комплекса при возделывании яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, в среднем за два года представлены в таблице 2.

Таблица 2

Урожайность, содержание белка, суммы сахаров в зерне и показателей хозяйственного комплекса, в среднем за период исследования

Показатель	Величина	Статистическая обработка результатов
Урожайность в среднем, т/га	2,59	НСР ₀₅ = 1,23 ц/га, влияние фактора достоверно
Масса 1000 зерен, г	39,2	Коэффициент вариации C _v = 8,6%
Содержание белка в зерне, %	14,2	Коэффициент вариации C _v = 4,6%
Содержание суммы сахаров в зерне, %	1,72	Коэффициент вариации C _v = 6,6%
Содержание N в зерне, %	2,42	Коэффициент вариации C _v = 8,3%
Вынос белка с урожаем, т/га	0,368	Коэффициент вариации C _v = 1,6%
Общий вынос N урожаем, т/га	0,060	Коэффициент вариации C _v = 1,04%
Вынос азота с белком, %	1,18	Коэффициент вариации C _v = 3,1%

В среднем, урожайность зерна сорта Кинельская Юбилейная оказались на уровне 2,59 т/га, что оказалось больше приводимой в описании сорта на 3,4 ц/га. Масса 1000 зерен 39,2 г – оказалась сравнимой с приводимой в описании сорта и весьма высокой для зерновых яровых культур, показатель высокого усвоения азота после цветения в период формирования зерна, при котором обеспечивается увеличение массы зерна.

Зерно характеризовалось качественным показателем – содержанием общего белка, которое равнялось 14,2%, что оказалось меньше приводимой в описании сорта Кинельская Юбилейная на 5,3%. Меньшее значение содержания общего белка по сравнению с приводимой в описании сорта вероятно было обусловлено большей величиной урожайности, полученной в годы исследований. От содержания массовой доли белка в пшенице зависят питательная и товарная ценность, технологические и мукомольно-хлебопекарные свойства зерна, а также оценка качества зерна пшеницы. Содержание белка в зерне может варьироваться и зависит от многих факторов – погодных условий, содержания минеральных веществ в почве, сортовых особенностей пшеницы, соблюдения технологических условий при выращивании, водного баланса и др. [15, 16]. Зерно пшеницы распределяется на классы в зависимости от содержания белка, так, если содержание массовой доли белка 14,5%, в пересчете на сухое вещество, то его относят к первому классу. Определение суммы сахаров в зерне дало величину 1,72%. Содержание белка в зерне зависит от содержания минеральных веществ в почве, а точнее азотосодержащих и в дальнейшем – накопление азота в период созревания зерна. Содержание азота в зерне – это показатель эффективности поглощения азота и его использование в урожайности и белковости [17, 18]. Содержание азота в зерне составляет 2,42%, это достаточно для того, чтобы накопить 14,2-14,5% белка.

Значения выноса белка, азота с урожаем и азота с белком взаимосвязанные показатели, дающие представление о балансе соотношения C:N, сопоставление между энергетическими продуктами (представленными углеродом, часто глюкозой и суммой углеводов) и материалом для построения белка (представленным азотом) [19, 20].

Так, урожайность зерна, полученная за период изучения, оказалась на уровне 2,59 т/га, величина массы 1000 зерен 39,2 г, показатель высокого уровня усвоения азота после цветения при формировании зерна, что обеспечило полученную массу зерна. Содержание общего белка было равным 14,2%, по поэтому показателю распределяется зерно пшеницы на классы, что соответствует первому классу мягкой яровой пшеницы. Содержание белка в зерне зависит от содержания азотосодержащих минеральных веществ в почве и в дальнейшем – накопление азота в зерна в период его созревания. Содержание азота в зерне – это показатель эффективности поглощения азота и его использование в урожайности и белковости [21, 22]. Содержание азота в зерне составляет 2,42%, это достаточно для того, чтобы накопить 14,2-14,5% белка. Значения выноса белка и азота с урожаем, а также азота с белком взаимосвязанные показатели, дающие представление о балансе соотношения C:N, сопоставление между энергетическими продуктами (представленными углеродом, часто глюкозой и углеводами) и материалом для построения белка (представленным азотом).

Заключение. Урожайность зерна яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, полученная за период исследования, оказалась на уровне 2,59 т/га. Величина массы 1000 зерен – 39,2 г, показатель высокого уровня усвоения азота после цветения при формировании зерновки. Содержания белка во фракциях альбуминов, глобулинов, проламинов и глютелинов распределилось следующим образом: отношение сумм низкомолекулярных к сумме высокомолекулярных относятся как 1:1,1; а клейковинных белков проламиновой фракции к глютелиновой фракции как 1,2:1, что характеризует муку полученную из зерна яровой мягкой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная, как муку с высокими хлебопекарными свойствами. Содержание общего белка в зерне было равным 14,2%. Определение суммы сахаров в зерне – 1,72%. Показатель эффективности поглощения азота и его использование в урожайности и белковости – это содержание азота в зерне, которое равно 2,42%. Значения выноса белка и азота с урожаем, а также азота с белком взаимосвязанные показатели, дающие представление о балансе соотношения C:N, сопоставление между энергетическими продуктами (представленными углеродом, часто глюкозой и углеводами) и материалом для построения белка (представленным азотом).

Список источников

1. Bakaeva, N. P., Saltykova, O. L., Korzhavina, N. Y., & Prikazchikov, M. S. Economics of spring wheat production in the Middle Volga. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol. 315, No. 2, p. 022056. IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/315/2/022056. EDN GLQLYV.

2. Егорцева, А. В. Динамика содержания минеральных форм азота и подвижной серы в почве при возделывании яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная // Константиновские чтения : сборник научных трудов. Кинель, 2024. С. 163-168. EDN KKKSRK

3. Бакаева, Н. П. Влияние погодных условий, систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы / Н. П. Бакаева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 12-19. doi: 10.12737/33173. EDN OXVYWS.
4. Починок, Х. Н. Методы биохимического исследования растений. Киев, 1976.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : ИД Альянс, 2011. 352 с.
6. Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л., Нечаева Е. Х. Влияние азотсодержащих удобрений на азотный режим почвы, ростовые и продукционные процессы яровой пшеницы // Агрофизика. 2022. №. 2. С. 20-27. doi: 10.25695/AGRP.2022.02.04. EDN CXYTBE.
7. Поползухина Н. А., Якунина Н. А., Баяхметова С. Е. Формирование качества зерна яровой мягкой пшеницы в различных экологических условиях // Евразийский Союз Ученых. 2014. №. 6-4. С. 137-139. EDN XGXITF.
8. Горянин О. И., Мадякин Е. В. Урожайность и качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. №. 3 (63). С. 26-32. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-26-32. EDN RCMDAY.
9. Глуховцев, В. В., Санина Н. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Успехи современной науки и образования. 2015. № 4. С. 13-16. EDN VBSAPT.
10. Волков С. А., Тамбовский М. А. Экологическая оценка зерна яровой пшеницы по некоторым показателям качества // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 110-115. EDN IZOJEB.
11. Исайчев В. А., Андреев Н. Н. Влияние некорневой подкормки препаратом Мегамикс на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Нива Поволжья. 202. № 4 (57). С. 9-15. doi: 10.36461/NP.2020.57.4.002. EDN BOJVVD.
12. Демина, И. Ф. Физические и мукомольные показатели качества зерна сортов мягкой яровой пшеницы // Сурский вестник. 2019. № 4(8). С. 9-12. EDN WNXMVC.
13. Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н., Бекетова Г. А., Андреева Л. В. Аспекты качества зерна яровой мягкой пшеницы // Зернобобовые и крумяные культуры. 2023. № 2(46). С. 117-124. doi: 10.24412/2309-348X-2023-2-117-124. EDN POOTZD.

References

1. Bakaeva, N. P., Saltykova, O. L., Korzhavina, N. Y., & Prikazchikov, M. S. (2019, August). Economics of spring wheat production in the Middle Volga. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 315, 2, 022056). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/315/2/022056. EDN GLQLYV.
2. Yegortseva, A. V. (2024) Dynamics of the content of mineral forms of nitrogen and mobile sulfur in the soil during the cultivation of spring wheat of the Kinelskaya Yubileynaya variety. *Konstantinovsky readings '24* : collection of scientific papers. (pp. 163-168). Kinel. EDN KKKSRK. (in Russ)
3. Bakaeva, N. P. (2019). Influence of weather conditions, tillage systems, and fertilizers on the crop structure and grain quality of spring wheat. *Izvestia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, (4), 12. doi: 10.12737/33173. EDN OXVYWS. (in Russ).
4. Pochinok, H. N. (1976) Methods of biochemical research of plants. Kiev. (in Russ)
5. Dospikhov, B. A. (2011) Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). – Moscow : Alliance Publishing House. (in Russ)
6. Bakaeva, N. P., Saltykova, O. L., & Nechaeva, E. Kh. (2022). Influence of nitrogen-containing fertilizers on the nitrogen regime of the soil, growth and production processes of spring wheat. *Agrofizika (Agrophysics)*. 2. 20-27. doi: 10.25695/AGRP.2022.02.04. EDN CXYTBE. (in Russ)
7. Popolzukhina, N. A., Yakunina, N. A., & Bayakhmetova, S. E. (2014). Formation of grain quality of spring soft wheat in various ecological conditions. *Evrazijskij Soyuz Uchenyh (Eurasian Union of Scientists)*, 6-4, 137-139. (in Russ). EDN XGXITF.
8. Goryanin, O. I., & Madyakin, E. V. (2023). Grain yield and quality of new varieties of spring wheat in the Volga region. *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii (Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy)*, 3 (63), 26-32. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-26-32. EDN RCMDAY. (in Russ).
9. Glukhovtsev, V. V. & Sanina, N. V. (2015). The influence of mineral fertilizers on the yield and quality of spring wheat grain. *Uspexhi sovremennoj nauki i obrazovaniya (Successes of modern science and education)*, 4, 13-16. EDN VBSAPT. (in Russ).
10. Volkov, S. A., & Tambovsky, M. A. (2020). Ecological assessment of spring wheat grain by some quality indicators. *Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex-healthy food products*, 4, 110-115. EDN IZOJEB. (in Russ).
11. Isaichev, V. A., & Andreev, N. N. (2020). Effect of foliar top dressing with Megamix on the yield and grain quality of spring wheat. *Niva Povolzh'ya (Niva of the Volga region)*, 4 (57), 9-15. doi: 10.36461/NP.2020.57.4.002. EDN BOJVVD. (in Russ).
12. Demina, I. F. (2019) Physical and milling indicators of grain quality of varieties of soft spring wheat. *Sursky vestnik*, 4(8), 9-12. EDN WNXMVC. (in Russ).

13. Kulevatova, T. B., Zlobina, L. N., Beketova, G. A. & Andreeva L. V. (2023). Aspects of grain quality of spring soft wheat. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury (Legumes and cereals)*, 2(46), 117-124. doi: 10.24412/2309-348X-2023-2-117-124. EDN POOTZD. (in Russ).

Информация об авторах

Н. П. Бакаева – доктор биологических наук, профессор;
А. В. Егорцева – аспирант.

Information about the authors

N. P. Bakaeva – Doctor of Biological Sciences, professor;
A. V. Egortseva – graduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 7.09.2024; одобрена после рецензирования 18.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 7.09.2024; approved after reviewing 18.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 631.51

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-23-28

**ДИНАМИКА ПОДВИЖНЫХ ФОРМ НИТРАТНОГО И АММОНИЙНОГО АЗОТА
В ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ САМАРСКОГО АГРАРНОГО КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА**Наталья Михайловна Троц¹, Галина Игнатьевна Чернякова², Анна Алексеевна Бокова^{3✉},Евгений Евгеньевич Суворов⁴

1.2.3.4 Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия.

1.2.3.4 Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Россия.

¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>²chernyakovagi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1339-4769>³anuta1998b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5193-364X>⁴ee_suvorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5702-0246>

Резюме. Цель исследований: дать оценку динамики подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах при различных способах обработки в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области. В статье приведена динамика изменения содержания нитратного, аммонийного азота и соотношение C:N в пахотных почвах при разных технологиях обработки - традиционной классической и ресурсосберегающей нулевой технологии No-till, расположенных на полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» Кинельского района Самарской области и хозяйства ООО «Орловка АИЦ» Похвистневского района. На территории ООО «Орловка-АИЦ» на мониторинговых площадках № 1, 2 и 3 произошло повышение содержания нитратного азота в почве в 2023 году по сравнению с показателями 2021 года в 5,4, 1,9 и 1,1 раз соответственно, однако на всех исследуемых почвах произошло снижение содержания аммиачной формы азота в 1,7-9,6 раза. Анализ результатов по содержанию минеральных форм азота на полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет», позволяет отметить, что за 2021-2023 гг. произошло увеличение концентрации нитратной формы азота в почве в среднем в 2,4-9,7 раза, а содержание аммиачного азота увеличилось в 1,3-2,0 раза. Полученные результаты соотношения C:N в почвах при ресурсосберегающих технологиях находятся в пределах от 19-32, что указывает на обогащение гумуса азотом. Значения соотношения C:N в почвах при традиционной обработке почвы в 2021 г составили от 42-53, что указывает на преимущественное накопление углерода в сравнении с азотом. В 2023 году произошло изменение в сторону обогащения гумуса азотом с варьированием соотношения C:N от 14 до 33.

Ключевые слова: азот, подвижная форма, обработка почвы, классическая технология, нулевая (No-till) технология, мониторинг земель, класс обеспеченности, питательная ценность.

Для цитирования: Троц Н. М., Чернякова Г. И., Бокова А. А., Суворов Е. Е. Динамика подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 23-28. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-23-28

Original article

**DYNAMICS OF MOBILE FORMS OF NITRATE AND AMMONIUM NITROGEN
IN CHERNOZEM SOILS OF THE SAMARA AGRARIAN CARBON POLYGON**Natalya M. Trots¹, Galina I. Chernyakova² Anna A. Bokova^{3✉}, Evgenij E. Suvorov⁴

1.2.3.4 Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia

1.2.3.4 Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia

¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>²chernyakovagi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1339-4769>³anuta1998b@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5193-364X>⁴ee_suvorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5702-0246>

Abstract. The purpose of the research is to assess the dynamics of mobile forms of nitrate and ammonium nitrogen in chernozem soils with different methods of cultivation in the conditions of the central agroclimatic zone of the Samara region. The article presents the dynamics of changes in the content of nitrate, ammonium nitrogen and the C:N ratio in arable soils with different cultivation technologies - traditional classical and resource-saving zero technology No-till, located in the fields of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara Agrarian University" of the Kinelsky District of the Samara Region and the farm LLC "Orlovka AIC" of the Pokhvistnevsky District. On the territory of Orlovka-AIC LLC, at monitoring sites № 1, 2 and 3, there was an increase in the content of nitrate nitrogen in the soil in 2023 compared to 2021 by 5,4, 1,9 and 1,1 times respectively, however, on all

studied soils, there was a decrease in the content of ammoniacal nitrogen by 1.7-9.6 times. Having analyzed the results on the content of mineral forms of nitrogen in the fields of the Samara Agrarian University, it can be noted that in 2021-2023, there was an increase in the concentration of nitrate form of nitrogen in the soil by an average of 2.4-9.7 times, and the content of ammoniacal nitrogen increased by 1.3-2.0 times. The obtained results of the C:N ratio in soils with resource-saving technologies are in the range of 19-32, which indicates the enrichment of humus with nitrogen. The C:N ratio values in soils under conventional tillage in 2021 ranged from 42-53, indicating a preferential accumulation of carbon compared to nitrogen. In 2023, there was a change towards enrichment of humus with nitrogen, with C:N fluctuating from 14 to 33.

Key words: nitrogen, mobile form, soil cultivation, classical technology, zero (No-till) technology, land monitoring, provision class, nutritional value.

For citation: Trotz, N. M., Chernyakova, G. I., Bokova, A. A. & Suvorov, E. E. (2024). Dynamics of mobile forms of nitrate and ammonium nitrogen in chernozem soils of the Samara agrarian carbon polygon. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4, 23-28. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-23-28 (in Russ).

Одной из особенностей современного земледелия является усиление негативного антропогенного влияния на почву, что приводит к снижению почвенного плодородия, связанного с нерациональным использованием пашни, сокращением применения органических и минеральных удобрений, интенсивными механическими обработками почвы. В связи с чем особое значение приобретают вопросы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, ресурсоэкономичности, экологической безопасности и рентабельности сельскохозяйственного производства [1].

В Самарской области в последние годы сократились площади среднегумусных черноземов, на 10 % увеличились площади малогумусных и слабогумусированных черноземов. Пахотные земли бедны подвижным азотом и фосфором [2]. Большой интерес для разработки мероприятий по этой проблеме представляют исследования в длительных стационарных опытах по изучению динамики питательных веществ в почве, баланса гумуса, влияния на эти показатели структуры посевов, погодных условий, способа обработки почвы и др. факторов для разработки новых приемов повышения почвенного плодородия.

Важно контролировать содержание азота в почве, которое зависит от количества органического вещества, прежде всего гумуса [3]. Следовательно, чем больше гумуса содержат почвы, тем больше в них азота. При проведении почвенного мониторинга одним из показателей оценки обеспеченности почв агроценозов органическим углеродом и азотом, доступным для минерализации является соотношение C:N. Чем оно меньше, тем богаче гумус азотом и тем выше его питательная ценность [4].

Цель исследований: дать оценку динамики подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах при различных способах обработки в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области.

Задачи исследований: определить степень обеспеченности агроценозов органическим углеродом и подвижными формами азота; рассчитать соотношение C:N в почвах при использовании практик традиционного и почвозащитного ресурсосберегающего земледелия.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования являлись пахотные почвы, на которых проводится традиционная обработка, расположенные на опытных полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет», представленные черноземами обыкновенными, остаточнo-луговатыми, карбонатными и солончаковыми; и почвы, расположенные на территории растениеводческого хозяйства ООО «Орловка АИЦ» в Похвистневском районе Самарской области, представленные черноземом типичным и выщелоченным, типичным карбонатным перерытым и остаточнo-карбонатным, а также аллювиальной дерновой остепеняющейся почвами, на которых практикуют нулевую обработку почвы с 2012 года [5, 6].

Для проведения аналитического исследования на полях ООО «Орловки АИЦ» и ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» были выбраны по пять мониторинговых площадок (табл. 1) по показателям разнообразия почвенных типов (черноземы, аллювиальные дерновые насыщенные), подтипов (выщелоченные, типичные), родов (обыкновенные, карбонатно перерытые, остаточнo-карбонатные), подтипов (аллювиальные дерновые насыщенные остепеняющиеся), механического состава (легкоглинистый, тяжелосуглинистый, среднесуглинистый), содержания гумуса в верхнем горизонте и его запас, а также учитывалась занимаемая площадь в процентном отношении, способ обработки почвы, степень освоенности. Размер мониторинговой площадки согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017 [7] составил 1 га, размер пробной площадки 10×10 м. Образцы на содержание в почве нитратного, аммонийного и общего азота отбирались в 2021-2023 гг. с глубины 0-20 см.

Почвы аграрного полигона ФГБОУ ВО Самарский ГАУ представлены в основном черноземом обыкновенным остаточнo-луговатым со средним запасом гумуса 150 т/га, содержанием гумуса 4,9%, рН_{вод} 6,5-6,9, подвижного фосфора 170 мг/кг, подвижного калия 140 мг/кг.

Почвы аграрного полигона ООО «Орловка АИЦ» относятся к черноземам выщелоченным и типичным и характеризуются высоким запасом гумуса 180 т/га, содержанием гумуса 6,7%, рНвод =5,9-7,2, подвижного фосфора 140 мг/кг, подвижного калия 173 мг/кг.

Таблица 1

Почвенные разновидности мониторинговых площадок
опытных полей ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» и ООО «Орловки АИЦ»

№ мониторинговой площадки	Почвы на полях ООО «Орловки АИЦ»	Почвы на полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет»
1	Чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный слабосмытый легкоглинистый	Чернозем обыкновенный остаточнолуговатый солончакватый слабозасоленный хлоридный среднегумусный среднемощный легкосуглинистый
2	Чернозем типичный карбонатный перерытый малогумусный маломощный среднесмытый легкоглинистый	Чернозем обыкновенный остаточнo-луговатый среднегумусный среднемощный среднесуглинистый
3	Чернозем типичный среднегумусный маломощный легкоглинистый	Чернозем обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный тучный среднемощный тяжелосуглинистый
4	Чернозем типичный остаточнo-луговатый среднегумусный маломощный среднеглинистый	Чернозем обыкновенный солончакватый слабозасоленная хлоридная малогумусный среднемощный среднесуглинистый
5	Аллювиальная дерновая насыщенная остепняющаяся слабогумусная маломощная среднесуглинистая	Чернозем обыкновенный остаточнолуговатый среднегумусный среднемощный легкосуглинистый

Результаты исследований. Азот органического вещества почвы непосредственно недоступен для растений, поэтому об обеспеченности растений почвенным азотом судят по содержанию в почве минерального азота: нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-); аммиачной формы (NH_4^+). По результатам исследования содержание нитратного и аммиачного азота на мониторинговых площадках ООО «Орловка-АИЦ» и ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» градация почв за исследуемый период не изменилась и характеризуются низкой и очень низкой обеспеченностью.

На территории ООО «Орловка-АИЦ» на мониторинговых площадках № 1, 2 и 3 произошло повышение содержания нитратного азота в почве в 2023 году по сравнению с показателями 2021 года в 5,4, 1,9 и 1,1 раз соответственно, обеспеченность нитратной формой азота осталась очень низкой. На мониторинговой площадке № 4 содержание нитратного азота не изменилось и равнялось 1,1 мг/кг, что характеризуется низкой степенью обеспеченности. На площадке № 5 отмечено снижение концентрации нитратного азота в 2 раза, что по степени обеспеченности соответствует очень низкому содержанию. В исследуемых почвах произошло снижение содержания аммиачной формы азота в среднем в 1,7-9,6 раза. Исходя из полученных результатов, обеспеченность почв классифицировалась из градации низкой в очень низкую за исключением 3 мониторинговой площадки, где выявлено повышение концентрации аммиачной формы азота в 1,3 раза (на 30 %), и почва характеризуется низкой степенью обеспеченности аммиачным азотом.

По результатам исследований содержания минеральных форм азота на полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет», можно отметить, что за исследуемый период произошло увеличение концентрации нитратной формы азота в почве в среднем в 2,4-9,7 раза. Наибольший рост содержания отмечен на площадке № 5, которая была введена в сельскохозяйственный оборот в 2023 году после многолетней залежи и используется для выращивания культур с применением классической системы обработки почвы.

В целом, почвы характеризуются очень низкой степенью обеспеченности нитратным азотом. Несмотря на то, что за период 2021-2023 гг содержание аммиачного азота в почвах увеличилось в 1,3-2,0 раза по существующей градации обеспеченности аммиачным азотом изменилась из очень низкой в низкую степень. На мониторинговой площадке № 2 произошло снижение концентрации аммиачной формы азота в 2,1 раз, и почва перешла из градации низкой в очень низкую обеспеченность.

Содержание общего азота в почвах ООО «Орловка-АИЦ» варьировало в пределах 0,19-0,47 %. На мониторинговых площадках 1, 2 и 3 выявлено повышение концентрации общего азота в почве на 0,03-0,13 %. На площадках 4 и 5 произошло снижение содержания азота на 0,04 и 0,13 % соответственно. В почвах на опытных полях ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» отмечено увеличение концентрации общего азота на 0,01-0,20 %.

Общий азот ($N_{\text{общ}}$) показывает общее содержание азота в почве, как органического, так и минерального и не дает четкого представления о содержании доступных форм азота растениям. При проведении почвенного

мониторинга одним из показателей оценки обеспеченности почв агроценозов органическим углеродом и азотом, доступным для минерализации является соотношение С : N. Чем меньше отношение С : N, тем богаче гумус азотом и тем выше его питательная ценность.

На мониторинговых площадках ООО «Орловка-АИЦ» полученные результаты соотношения С : N колебались в пределах 19-32 (рис. 1), что указывает на обогащение гумуса азотом и повышает его питательную ценность.

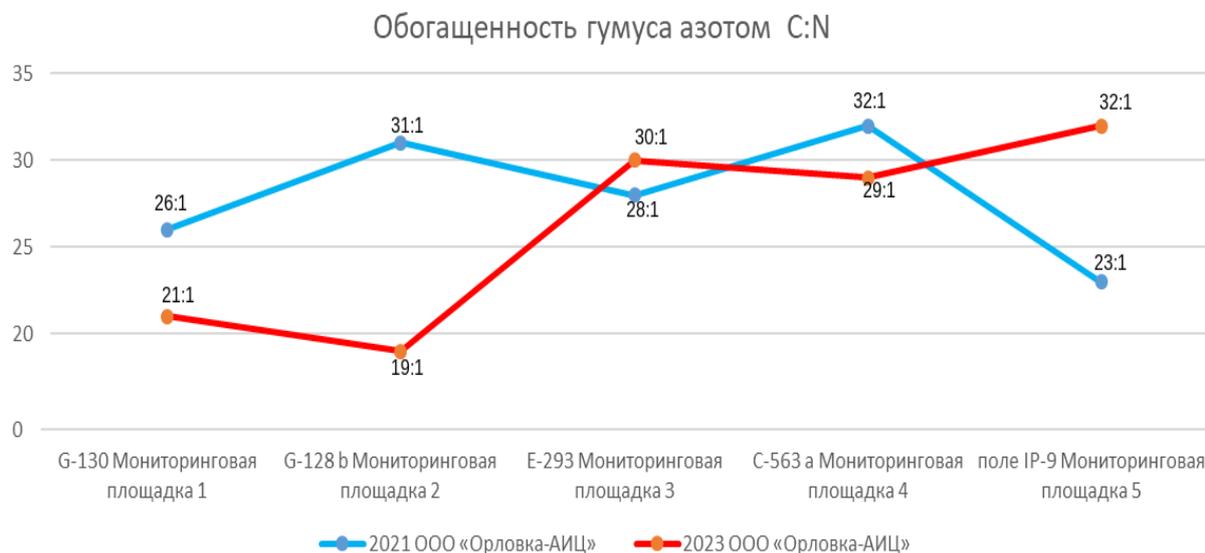


Рис. 1. Обогащенность гумуса азотом почв мониторинговых площадок ООО «Орловка АИЦ»

На мониторинговых площадках ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» полученные результаты соотношения С : N колеблются в 2021 г. в пределах 42-53 (рис. 2), что свидетельствует о достаточном количестве в почве углерода и низком содержании азота. Однако по результату 2023 года произошло изменение в сторону обогащения гумуса азотом с колебанием С : N от 14 до 33, что указывает на повышение питательной ценности гумуса.

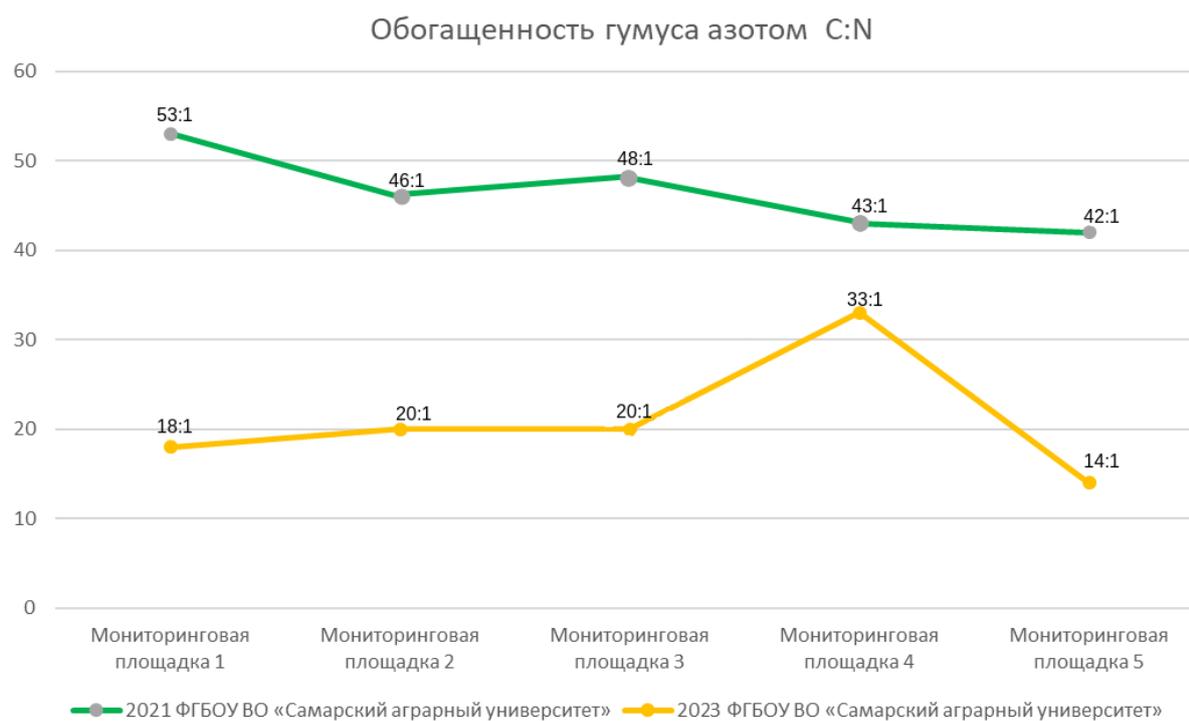


Рис. 2. Обогащенность гумуса азотом почв мониторинговых площадок ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет»

Заключение. Исследования черноземных почв, проведенные на мониторинговых площадках в Похвистневском районе ООО «Орловка АИЦ» и Кинельском районе ФГБОУ ВО «Самарский аграрный университет» при применении различных технологий обработки почв, позволяют сделать следующие основные выводы. Обеспеченность почв нитратным и аммиачным азотом остается неизменной и классифицируется в основном низкой и очень низкой обеспеченностью, почвы относятся к градации очень низкой обеспеченности, содержание аммонийного азота оценивается как очень низкое и низкое, а в 2023 году низкое, за исключением чернозема обыкновенного остаточно-лугового среднегумусного среднесуглинистого, в котором произошло снижение содержания аммонийной формы азота в 2,1 раза. При ресурсосберегающих технологиях обработки почв содержание нитратного азота оценивается как очень низкое, а аммонийного азота низкое и очень низкое.

Полученные результаты соотношения C:N в почвах при ресурсосберегающих технологиях находятся в пределах от 19-32, что указывает на обогащение гумуса азотом. Значения соотношения C:N в почвах при традиционной обработке почвы в 2021 г составили от 42-53, что указывает на преимущественное накопление углерода в сравнении с азотом, а в 2023 году произошло изменение в сторону обогащения гумуса азотом с колебанием C:N от 14 до 33.

Список источников

1. Сушко, С. В., Балашов, Е. В., Бучкина, Н. П., Моисеев, К. Г., Нечаева, Е. Х., Платонов, В. И., ... & Орлова, Л. В. Оценка эффективности ресурсосберегающих технологий в повышении секвестрации органического углерода сельскохозяйственными почвами в условиях Среднего Поволжья (на примере нулевой обработки почвы) // Современные проблемы почвозащитного земледелия. 2022. С. 130-134.
2. Обущенко С. В. Шевченко С. Н. Пути сохранения и воспроизводство плодородия почв Самарской области. Самара: издательство Самарского федерального исследовательского центра РАН, 2020, 220 с.
3. Иващенко К. В., Сушко С. В., Дворников Ю. А. Запасы почвенного органического углерода при нулевой обработке почвы в условиях среднего Поволжья // Агрохимия. 2023. № 12. С. 47-56.
4. Цыганова, А. А. Процессы гумификации, оценка соотношения углерода и азота в почве // Наука – образованию, производству, экономике : сборник научных трудов. Минск : БНТУ, 2017. С. 361.
5. Орлова Л. В., Троц Н. М., Платонов В. И. Оценка эмиссии парниковых газов и запасов углерода при нулевой обработке чернозема в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Агрохимия. 2023. № 7. С. 44-54.
6. Беляев В. И., Варлагин А. В., Дридигер В. К. Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 1.
7. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Межгосударственный стандарт Охрана природы ПОЧВЫ. Общие требования к отбору проб М.: Стандартинформ, 2018, 5 с.

References

1. Sushko, S. V., Balashov, E. V., Buchkina, N. P., Moiseev, K. G., Nechaeva, E. Kh., Platonov, V. I.,... & Orlova, L. V. (2022). Evaluation of the effectiveness of resource-saving technologies in increasing organic carbon sequestration by agricultural soils in the Middle Volga region (on the example of zero tillage). *Modern problems of soil conservation agriculture 22' : collection of scientific papers.* (pp. 130-134) Kursk (in Russ).
2. Obushchenko, S. V. & Shevchenko, S. N. (2020). *Ways to preserve and restore soil fertility in the Samara region.* Samara: Publishing House of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (in Russ).
3. Ivaschenko, K. V., Sushko, S. V. & Dvornikov, Yu. A. (2023). Soil organic carbon reserves under zero tillage in the conditions of the middle Volga region. *Agrohimiya (Agrochemistry)*, 12, 47-56 (in Russ).
4. Tsyganova, A. A. (2017). Humification processes, assessment of the ratio of carbon and nitrogen in the soil. *Science – for education, production, economics 17' : collection of scientific papers.* (pp. 361). Minsk (in Russ).
5. Orlova L. V., Trots N. M. & Platonov V. I. (2023). Assessment of greenhouse gas emissions and carbon stocks during no-tillage of chernozem in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Agrohimiya (Agrochemistry)*, 7, 44-54 (in Russ).
6. Belyaev, V. I., Varlagin, A. V. & Dridiger, V. K. (2022). Global climate agenda. Soil conservation resource-saving (carbon) agriculture as a standard of transnational and national strategies for soil conservation and agricultural carbon markets. *International Agricultural Journal*, 65, 1 (in Russ).
7. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Interstate standard Nature protection of SOILS. General requirements for sampling. Moscow: Standartinform. (in Russ).

Информация об авторах:

Н. М. Троц – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник;
Г. И. Чернякова – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник;
А. А. Бокова – аспирант, младший научный сотрудник;
Е. Е. Суворов – аспирант, младший научный сотрудник.

Information about the authors:

N. M. Trots – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher;
G. I. Chernyakova – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher;
A. A. Bokova – Postgraduate Student, Junior Researcher;
E. E. Suvorov – Postgraduate Student, Junior Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научные результаты, представленные в статье, соответствуют научной специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 10.09.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 10.09.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 631.46

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-29-36

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ
САМАРСКОГО АГРАРНОГО КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА****Наталья Михайловна Троц¹, Елена Хамидулловна Нечаева², Юлия Владимировна Степанова^{3✉},
Джамиля Рашидовна Ермолаева⁴**^{1, 2, 3, 4}Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия^{1, 4} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева,¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>²EXNechaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5818-8638>³Yul8075@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9791-4690>⁴ermolaeva.djamilya@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7710-5560>

Резюме. Важное биологическое свойство почвы – ее регенеративная способность, являющаяся основой сельскохозяйственного воспроизводства плодородия почвы. Она зависит не только от отдельных химических или физических показателей, но и от функционирования почвенной биоты, цикличности процессов в системе «растение–почва». Смена растительного покрова приводит к изменению состава почвенной биоты, нарушению круговорота веществ и снижению биопродуктивности. Цель исследований – изучить биологическую активность микробного сообщества почвы аграрного карбонового полигона, расположенных в центральной агроэкологической зоне Самарской области. Диагностику численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп проводили классическим методом посева на агаризованные селективные питательные среды различного состава. Определяли численность организмов-аммонификаторов – деструкторов белка различной природы, амилотических микроорганизмов – иммобилизаторов легкодоступного углерода, ассимилирующих минеральные формы азота, учет количества микромицетов проводили на среде Чапека, актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре. Определен количественный состав почвенных микроорганизмов, населяющих наиболее характерные для региона черноземные почвы в естественных экосистемах, а также в градиенте их изменения от естественных к пахотным. Изучена биологическая активность почвы, затронутых сельскохозяйственной деятельностью, и почв природной экосистемы. Установлено, что антропогенная нагрузка оказывает негативный эффект на численность микроорганизмов, населяющих почвы агроценозов. Коэффициент минерализации почвы под сельскохозяйственными культурами (яровая пшеница, озимая пшеница, горох, подсолнечник) варьировал в пределах от 1,2 до 1,9, что свидетельствует об усилении активности почвенной микрофлоры, направленной на минерализацию соединений азота в почве при антропогенной нагрузке.

Ключевые слова: микробное сообщество, почвенные микроорганизмы, агроценоз, антропогенная нагрузка, коэффициент минерализации, Среднее Поволжье.

Для цитирования: Троц Н. М., Нечаева Е. Х., Степанова Ю. В., Ермолаева Д. Р. Биологическая активность черноземных почв Самарского аграрного карбонового полигона // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 29-36. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-29-36

Original article

BIOLOGICAL ACTIVITY OF CHERNOZEM SOILS OF THE SAMARA AGRARIAN CARBONIC POLYGON**Natalya M. Trots¹, Elena Kh. Nechaeva², Yulia V. Stepanova^{3✉}, Jamila R. Ermolaeva⁴**^{1, 2, 3, 4} Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia^{1, 4} Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia¹troz_shi@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>²EXNechaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5818-8638>³Yul8075@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9791-4690>⁴ermolaeva.djamilya@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7710-5560>

Abstracts. An important biological property of the soil is its regenerative ability, which is the basis for agricultural reproduction of soil fertility. It depends not only on individual chemical or physical parameters, but also on the functioning of the soil biota, the cycle of processes in the “plant–soil” system. The change of vegetation cover leads to a change in the composition of soil biota, disruption of the circulation of substances and a decrease in bioproductivity. The purpose of the research is to study the biological activity of the microbial community of soils of an agricultural carbon landfill located in the central agroecological zone of the Samara region. The diagnosis of the number of microorganisms of various ecological and trophic groups was carried out by the classical method of sowing on agarized elective nutrient media of various composition. The number of organisms-ammonifiers – protein destructors of various natures, amylolytic microorganisms – immobilizers of readily available carbon, assimilating mineral forms of nitrogen, accounting for

the number of micromycetes was carried out on Chapek medium, actinomycetes - on starch-ammonia agar. The quantitative composition of soil microorganisms inhabiting the chernozem soils most characteristic of the region in natural ecosystems, as well as in the gradient of their change from natural to natural, has been determined. The biological activity of soils affected by agricultural activity and soils of the natural ecosystem has been studied. It has been established that anthropogenic load has a negative effect on the number of microorganisms inhabiting the soils of agrocenoses. The coefficient of soil mineralization under agricultural crops (spring wheat, winter wheat, peas, sunflower) varied from 1.2 to 1.9, which indicates an increase in the activity of soil microflora aimed at mineralization of nitrogen compounds in the soil under anthropogenic load.

Key words: microbial community, soil microorganisms, agrocenosis, anthropogenic load, mineralization coefficient, Middle Volga region.

For citation: Trots, N. M., Nechaeva, E. Kh., Stepanova, Yu. V. & Ermolaeva, D. R. (2024). Biological activity of chernozem soils of the samara agrarian carbonic polygon. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4, 29-36. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-29-36 (in Russ).

Современное преобразование почвенного покрова чаще всего осуществляется под антропогенным воздействием, в результате чего формируются антропогенно преобразованные экосистемы. Антропогенная нагрузка оказывает весомое влияние на микробное сообщество почвы, нарушая важные экологические функции в биосфере, связанные с круговоротом элементов питания, регуляцией газового состава атмосферы и формированием почвенной структуры. Микробиологические показатели почвы той или иной территории, в том числе с разными экосистемами, характеризуются высокой пространственной вариабельностью, что затрудняет их использование для биологической оценки почв. Поэтому пространственное изменение микробиологических показателей почвы изучают часто вдоль трансекты (катены), обусловленной климатом, положением в ландшафте, землепользованием или сукцессией растительности, что и позволяет рассматривать их вариабельность под влиянием этих факторов. Почвенные микроорганизмы выполняют системообразующие функции в таких процессах, как почвообразование, разложение почвенного органического вещества, стимуляция роста и обеспечение защиты растений от патогенной микрофлоры. Почвенный микробиом (микробные сообщества) является непосредственным источником формирования микрофлоры, которая определяет питание растений, их устойчивость к патогенам и абиотическим стрессам.

Таким образом, исследования, направленные на изучение биологической активности почвы в рамках оценки влияния агротехнологий на депонирование углерода в агрофитоценозах в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья являются актуальными.

Цель исследований: изучить биологическую активность микробного сообщества почв в зависимости от типа экосистемы и степени антропогенной нагрузки.

Материал и методы исследований. Объектом исследований являются почвенные образцы аграрного карбонового полигона – территории опытных полей ФГБОУ ВО Самарский аграрный университет, расположенных в центральной агроэкологической зоне Самарской области.

Диагностику численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп проводили классическим методом посева на агаризованные элективные питательные среды различного состава.

Отбор образцов почвы проводили методом конверта на глубину пахотного слоя (0-30 см), все работы проводили с соблюдением максимальной стерильности в начале (май), середине (июль) и конце вегетации большинства сельскохозяйственных культур (сентябрь).

Определяли численность организмов-аммонификаторов – деструкторов белка различной природы (посев на мясо-пептонном агаре, МПА), амилитических микроорганизмов – иммобилизаторов легкодоступного углерода, ассимилирующих минеральные формы азота (посев на крахмало-аммиачном агаре, КАА), учет количества микромицетов проводили на среде Чапека, актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре. После посева чашки инкубировались в термостате при температуре +27 °С. Разведение составляет: для бактерий – 1:10⁵, для актиномицетов – 1:10⁴, для микромицетов – 1:10³. Количественный учет численности бактерий проводится на 3-5 день после посева, актиномицетов – на 7-10 день, микромицетов – на 10-14 день.

По полученным данным рассчитывали коэффициент минерализации: $K_m = \text{КОЕ}_{\text{КАА}}/\text{КОЕ}_{\text{МПА}}$, где $\text{КОЕ}_{\text{КАА}}$ и $\text{КОЕ}_{\text{МПА}}$ – численность микроорганизмов на средах КАА и МПА соответственно.

Определение целлюлозоразлагающей активности почвы проводилось методом целлюлозных стандартов в пахотном слое почвы. Обшитые хлопчатобумажной тканью стеклянные пластины (10×30 см) закладывались сроком на один месяц в трехкратной повторности.

Результаты исследований. Численность микроорганизмов является показателем их активности в данный период времени в исследуемой почве и может быть критерием интенсивности процессов, которые эти микроорганизмы осуществляют. По всем вариантам опыта особую активность проявили микроорганизмы углеродного цикла, преобразующие органические вещества: иммобилизаторы легкодоступного углерода (среда КАА),

а также гетеротрофные аммонификаторы, участвующие в разложении сложных белковых веществ вплоть до аммония (среда МПА) и актиномицеты, разлагающие сложные органические вещества почвы до простых соединений.

В среднем за вегетацию (табл. 1) по всем вариантам опыта количество аммонифицирующих бактерий изменялось не значительно и находилось на уровне 1203-3033 тыс. КОЕ/гр. почвы что соответствует бедной и средней обогащенности почвы данной микрофлорой по Д.Г. Звягинцеву.

Таблица 1

Среднее значение численности микроорганизмов и коэффициент минерализации
в слое почвы 0-30 см за вегетационный период, тыс. КОЕ/ 1 гр. абс. сух. почвы

Вариант	Численность микроорганизмов, тыс. КОЕ на 1 г почвы					K _{мин}
	бактерии, на МПА	микроорганизмы на КАА	микромикеты	актиномицеты	общая биогенность	
1	2	3	4	5	6	7
№ 1 Культура – пар (предшественник - подсолнечник). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый малогумусный среднeмощный легкoсуглинистый	2258	3713	20	1219	5991	1,6
№ 2 Культура – пар (предшественник - подсолнечник). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый малогумусный среднeмощный среднесуглинистый	2950	3889	23	1151	6862	1,3
№ 3 Культура – яровая пшеница (предшественник – подсолнечник). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный малогумусный среднeмощный среднесуглинистый	1789	3327	22	1849	5138	1,9
№ 4 Культура – яровая пшеница (предшественник – подсолнечник). Тип почвы – лугово-чернозёмная карбонатная малогумусная среднeмощная тяжело-суглинистая	2554	4405	25	2185	6984	1,7
№ 5 Культура – горох (предшественник-яровая пшеница). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный малогумусный среднeмощный тяжелосуглинистый	3303	4820	27	1994	8151	1,5
№ 6 Луговая растительность Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный малогумусный среднeмощный тяжелосуглинистый	2618	5715	19	1173	8352	2,2
№ 7 Подсолнечник (предшественник - целина). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный малогумусный среднeмощный тяжело-суглинистый	3104	4791	19	1289	7914	1,5
№ 8 Культура – горох (предшественник – целина). Тип почвы - комплекс: 1. Лугово-чернозёмная карбонатная солончаковая сильнозасолённая малогумусная среднeмощная среднесуглинистая 2. Солонец лугово-чернозёмный солончаковый очень сильнозасолённый многонариевый средний легкoглинистый (10-25%)	2312	2108	25	1682	4445	0,9
№ 9 Солонец Тип почвы - комплекс: 1. Солончак луговой глубокопрофильный корковый легкoглинистый 2. Луговая карбонатная солончаковая очень сильно засолённая среднесолонцеватая среднегумусная маломощная легкoглинистая (25-50%)	2390	1987	25	1199	4402	0,8
№ 10 Луговая растительность (сенокос) Тип почвы – луговая солончаковая слабозасолённая среднегумусная среднeмощная среднесуглинистая	1204	2230	16	913	3450	1,9
№ 11 Луговая растительность (сенокос) Тип почвы – луговая солончаковая слабозасолённая среднегумусная среднeмощная среднесуглинистая	2102	3648	9	985	5759	1,7

1	2	3	4	5	6	7
№ 13 Озимая пшеница. Тип почвы - чернозём обыкновенный малогумусный среднесуглинистый	3514	4465	15	1328	7994	1,3
№ 14 Лесная растительность Тип почвы - чернозём обыкновенный малогумусный среднесуглинистый	2236	5266	25	3135	7527	2,4
№ 15 Культура – яровая пшеница (после гороха.) Тип почвы – чернозём обыкновенный остаточнo-луговатый карбонатный малогумусный среднесуглинистый	2071	3352	21	1817	5444	1,6
№ 16 No-till	3057	3685	14	1435	6756	1,2

Численность амилोलитиков в вариантах с луговой растительностью №6 – 5266 тыс. КОЕ/гр. почвы, с лесной растительностью № 14 – 5715 тыс. КОЕ/гр. почвы по шкале оценки степени обогащенности почвы микроорганизмами по Д. Г. Звягинцеву относится к средней степени (5-10 млн ед./1 г абсолютно сухой почвы), по другим участкам степень обогащенности почвы микрофлорой бедная (3329-4981 тыс. КОЕ/гр. почвы), наименьшие значения 1987-2230 тыс. КОЕ/гр. почвы наблюдались по вариантам № 8 (культура – горох (предшественник – целина), тип почвы – комплекс: 1) лугово-чернозёмная карбонатная солончаковая сильнозасолённая малогумусная среднесуглинистая 2) солонец лугово-чернозёмный солончаковый очень сильнозасолённый многонариевый средний легко-глинистый (10-25%)), № 9 (солонец, тип почвы – комплекс: 1) солончак луговой глубокопрофильный корковый легкоглинистый 2) луговая карбонатная солончаковая очень сильно засолённая среднесолонцеватая среднегумусная маломощная легкоглинистая (25-50%), № 10 (луговая растительность (сенокос), тип почвы – луговая солончаковая слабозасолённая среднегумусная среднесуглинистая).

В среднем за вегетацию наибольшее количество актиномицетов отмечено в варианте № 14 – лесная растительность (5266 тыс. КОЕ/гр. почвы), по другим вариантам опыта данный показатель изменялся от 913 до 2185 тыс. КОЕ/гр. почвы. До 70-80% актиномицетов, обитающих в почве, имеют особенность продуцирования пигментов, из них около 50% видов способны выделять пигменты бурого и черно-бурого цвета меланоидного типа. Меланоиды актиномицетов представляют собой новообразованные гуминоподобные вещества, близкие к почвенным гуминовым и фульвокислотам.

Кроме того, аминокислотный состав этих веществ достаточно разнообразен (до 17 аминокислот) и схож с таковым гумуса почвы. За счет наличия у лучистых грибов широкого спектра ферментов они считаются полисапротрофными микроорганизмами. При этом всех ярче у актиномицетов выражена протеолитическая, амилолитическая и инвертазная активность. Поэтому изучение численности данной группы микроорганизмов в почве, подобно учету грибов, позволяет судить об общем состоянии агроэкосистемы в целом, а также о скорости процесса гумификации растительных остатков.

Численность микромицетов изменялась в пределах от 14 до 27 тыс. КОЕ/гр. почвы, наименьшее значение отмечено в варианте № 11 – луговая растительность (сенокос), тип почвы – луговая солончаковая слабозасолённая среднегумусная среднесуглинистая. В целом, грибы считаются жесткими всесторонними деструкторами вещества почвы, но, при этом, различным классам микроскопических грибов (микромицетов) присуща своя предрасположенность к химическому составу пищевого субстрата. Путем регуляции почвообразовательных процессов, состава органического вещества почвы, ее оструктуренности, кислотности и подвижности элементов питания в почвенном растворе, микромицеты осуществляют значимую работу в формировании плодородия целинных и окультуренных земель. В вопросе о роли микромицетов в синтезе гумусовых веществ особое внимание привлекают виды, способные продуцировать темноокрашенные пигменты типа меланинов – полимеров фенольной природы. Меланины являются сложными химическими образованиями, которые формируются в клетках многих микроорганизмов, но больше всего меланинов продуцируется гифами и репродуктивными органами (спорами) грибов. Меланины представляют собой высокополимерные соединения черного и коричневого цвета с молекулярной массой в несколько тысяч или десятков тысяч а.е.м., образующиеся при ферментативном окислении фенолов и индолов (пирокатехина, тирозина, диоксииндола и т.п.) с последующей полимеризацией продуктов окисления. Наибольшее количество меланинов и других видов пигментов образуют грибы р. *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cenococcum*, *Cladosporium*, *Dicoccium*, *Diplococcium*, *Fusarium*, *Helmintosporium*, *Mucor*, *Mycogone*, *Nadsoniella*, *Penicillium*, *Stahybotris*, *Stemphylium* и других родов. В наших исследованиях чаще всего встречались представители родов *Mucor*, *Penicillium*, *Aspergillus*.

Анализ значимости почвенно-биологических процессов, проводили по суммарной численности различных групп микроорганизмов, культивируемых на селективных средах по всем вариантам опыта (рис. 1).

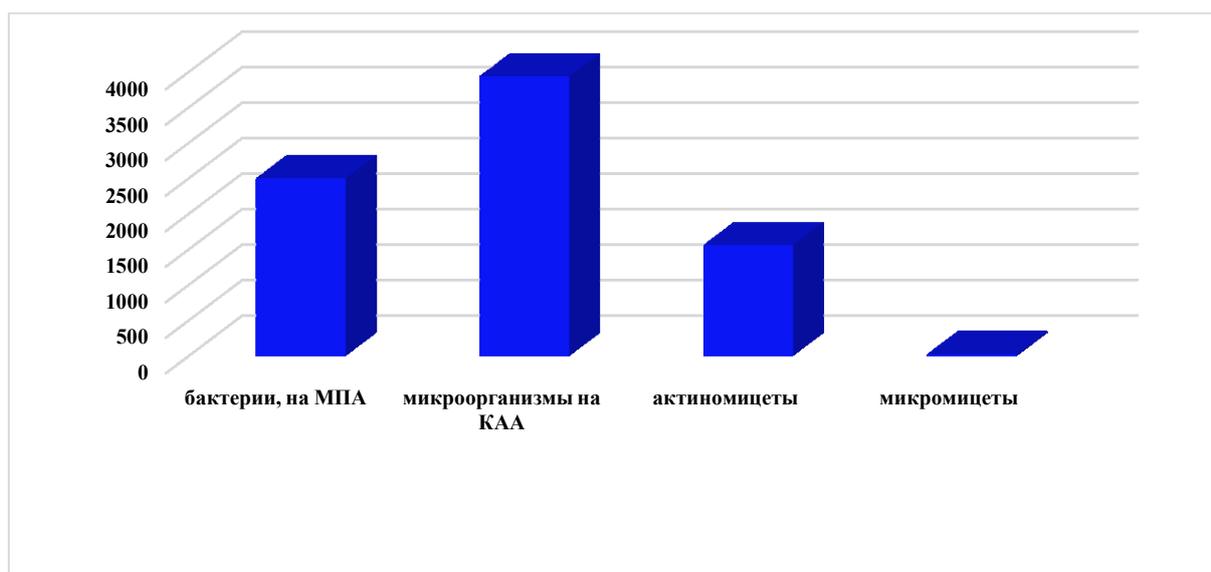


Рис. 1. Значимость суммарной численности микроорганизмов, культивируемых на различных эколого-трофических селективных средах

Численность микроорганизмов является показателем их активности в данный период времени в исследуемой почве и может быть критерием интенсивности процессов, которые эти микроорганизмы осуществляют. По всем вариантам опыта особенную активность проявили микроорганизмы углеродного цикла, преобразующие органические вещества: иммобилизаторы легкодоступного углерода (среда КАА) а также гетеротрофные аммонификаторы, участвующие в разложении сложных белковых веществ вплоть до аммония (среда МПА) и актиномицеты, разлагающие сложные органические вещества почвы до простых соединений.

Коэффициент минерализации и иммобилизации Мишустина, определяемый отношением численности микроорганизмов, учтенных посевом на крахмало-аммиачном агаре (КАА) и характеризующий процесс преобразования аммиачного азота, к численности микробов, учтенных посевом на мясо-пептонном агаре (МПА), характеризующий превращение белковых веществ почвы в наших исследованиях варьировал на необрабатываемых участках, представленных лесной и луговой растительностью (варианты №6 и №14) находилась на уровне 2,2-2,4, наименьшие значения отмечены на солонцах (варианты № 8,9), $K_{мин}$ в среднем 0,8-0,9. Коэффициенты минерализации на землях сельскохозяйственного назначения (в посевах подсолнечника, яровой и озимой пшеницы, гороха) варьировали в пределах от 1,2 до 1,9, что соответствует средней интенсивности мобилизационных процессов. Это свидетельствует о тенденции усиления активности почвенной микрофлоры, направленной на минерализацию соединений азота в длительно и интенсивно используемой почве.

Была проанализирована зависимость численности микроорганизмов, различных функциональных групп в слое почвы 0-30 см с эмиссией углекислого газа $мг/(м^2 \cdot час)$ по некоторым вариантам опыта (табл. 2).

Таблица 2

Эмиссия CO_2 в течении вегетационного периода, $м_2 \cdot час$

Вариант	в начале вегетации	в середине вегетации	в конце вегетации
№1 Культура – пар (предшественник - подсолнечник). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднемощный легкосуглинистый	43,37	116,04	48,88
№2 Культура – пар (предшественник - подсолнечник). Тип почвы - чернозём обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднемощный среднесуглинистый	60,10	102,54	88,27
№15 Культура – яровая пшеница (после гороха.) Тип почвы – чернозём обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый.	52,21	217,25	66,91
№13 Озимая пшеница. Тип почвы - чернозём обыкновенный малогумусный среднемощный среднесуглинистый	44,31	51,87	42,74
№16 No-till	81,17	183,41	237,05

Наблюдается слабая отрицательная корреляция между численностью аммонификаторов, амилолитических микроорганизмов, микроскопических грибов, актиномицетов и эмиссией CO_2 , что свидетельствует о том, что в проанализированных вариантах сельскохозяйственного использования земель, увеличение численности изучаемых групп микроорганизмов приводит к некоторому снижению эмиссии углекислого газа. Это является косвенным показателем участия микроорганизмов в закреплении углерода в почве. Многие авторы отмечают, что в контексте глобального изменения климата большое внимание привлекает роль почвы как источника или, наоборот, поглотителя парниковых газов. Микроорганизмы способны как потреблять органическое вещество почвы с высвобождением значительных запасов углекислого газа, так и закреплять в почве углерод в виде трудно-разлагаемых веществ (секвестрация углерода).

Самым распространённым методом определения актуальной биологической активности почвы является определение целлюлозоразлагающей способности почвы.

Метод аппликаций свидетельствует об интенсивности разрушения клетчатки и об активности целлюлозных микроорганизмов, но, поскольку активность последних в значительной степени определяется присутствием в почве доступных питательных веществ, в первую очередь, азотных, то можно полагать, что происходит отображение напряженности хода микробиологических процессов вообще.

В наших исследованиях определение целлюлозоразлагающей активности почвы показало, что в целом данный показатель в начале вегетации в слое 0-30 см был на достаточно высоком уровне (рис. 2). По степени разложения целлюлозы все варианты можно разделить на группы.

В вариантах № 1 и 2 – пар (предшественник – подсолнечник, тип почвы - чернозём обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднемощный легкосуглинистый), № 3 и 4- яровая пшеница (предшественник – подсолнечник, тип почвы - чернозём обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднемощный среднесуглинистый и тяжелосуглинистый) а так же в варианте № 7- подсолнечник (предшественник – целина, тип почвы - чернозём обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый) степень разложения хлопчатобумажного полотна была наибольшей и составляла в среднем по слою 0-30 см 20,9 – 22,5%, причем отмечено достаточно равномерное разложение во всем пахотном слое, что объясняется достаточной влажностью почвы в начале вегетации и высокой степенью аэрации в нижних слоях почвы.

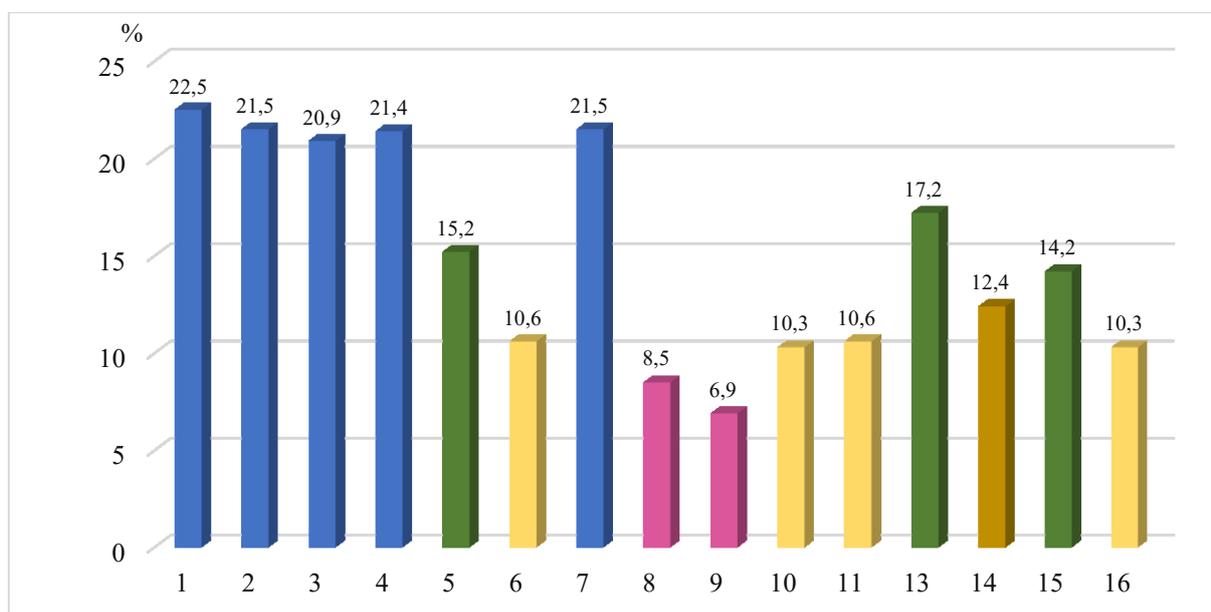


Рис. 2. Целлюлозоразлагающая активность в слое почвы 0-30 см, %

При возделывании гороха (№ 5), яровой пшеницы – вариант № 15, и озимой пшеницы (№ 13) целлюлозоразлагающая способность в слое 0-30 см находилась на уровне 14,2-17,2%, наблюдается равномерная степень разложения целлюлозы по слоям почвы.

Под лесной растительностью (варианты №14) степень разложения хлопчатобумажного полотна – 12,4%, причем в верхнем слое происходило более интенсивное разложение ткани – 20,2%, по сравнению с нижними слоями 10,8-6,1%.

В почве под луговой растительностью (варианты №6, 10 и №11) и в варианте с нулевой обработкой почвы(№16), целлюлозоразлагающая активность была на достаточно низком уровне и составляла 10,3-10,6%.

Самый низкий показатель целлюлозной активности наблюдался на солонцах (№ 8 и 9) – 8,5-6,9%, повышение концентрации солей подавляло активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Заключение. Поскольку черноземы являются плодородными, устойчивыми к внешним воздействиям высоко буферными почвами за счет высокого содержания гумусовых веществ, благоприятной зернистой структуры, оптимальных физических и химических показателей, резко изменить или катастрофически сузить состав микробного сообщества за счет внешних воздействий практически невозможно. Однако задача сохранения и преумножения биоразнообразия является одной из приоритетных для сбережения и спасения естественного плодородия и почвенного биологического потенциала черноземных почв.

Проведенные исследования показали, в условиях вегетационного периода количество микроорганизмов углеродного цикла, особенно аммонификаторов, участвующих в трансформации свежих органических остатков и растительных экссудатов соответствует бедной и средней обогащенности почвы данной микрофлорой по Д.Г. Звягинцеву. Численность амилolitikов в лесных почвах относится к средней степени, а в почвах сельскохозяйственного назначения – бедная. Почвы под лесной растительностью также характеризуются повышенным содержанием актиномицетов и микромицетов, по сравнению с почвами других экосистем.

Коэффициенты минерализации на землях сельскохозяйственного назначения (в посевах подсолнечника, яровой и озимой пшеницы, гороха) варьировали в пределах от 1,2 до 1,9, что соответствует средней интенсивности мобилизационных процессов. Это свидетельствует о тенденции усиления активности почвенной микрофлоры, направленной на минерализацию соединений азота в длительно и интенсивно используемой почве. На участках, представленных лесной и луговой растительностью $K_{\text{мин}}$ в среднем за вегетационный период находился на уровне 2,2-2,4, наименьшие значения отмечены на солонцах – 0,8-0,9.

В почве залежи (лес, луг) отмечено степени разложения льняного полотна в 1,8 раза, по сравнению с землями сельхоз назначения.

Увеличение степени засоления почв снижало показатели биологической активности почвы.

В условиях вегетационного периода выявлена слабая отрицательная корреляция численности микроорганизмов, изучаемых функциональных групп с эмиссией углекислого газа по вариантам сельскохозяйственного использования земель: в паровых полях, при выращивании озимой и яровой пшеницы, а также в варианте с применением технологии No-till.

Список источников

1. Орлова Л. В., Фомин А. А., Тойгильдин А. Л. и др. Новая парадигма развития сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 3(399). С. 357-360. DOI 10.55186/25876740_2024_67_3_357.
2. Троц Н. М., Бокова А. А. Корреляционный анализ урожайности и количества пожнивных и корневых остатков в севооборотах // Инновационные достижения науки и техники АПК : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Кинель : Самарский государственный аграрный университет, 2023. С. 14-19.
3. Орлова Л. В., Захарова Е. А., Троц Н. М. и др. Оценка состояния агрохимического состояния почвы с помощью вегетационного индекса // Инновации в сельском хозяйстве и экологии : Материалы II Международной научно-практической конференции. Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, 2023. С. 281-286.
4. Редин Д. В., Ермакова Н. А., Степанова Ю. В. Защита хвойных растений от солнечных ожогов в условиях Среднего Поволжья // Самара Агровектор. 2023. Т. 3. № 3. С. 38-43. doi: 10.55170/29493536_2023_3_3_38.
5. Иващенко К. В., Сушко С. В., Дворников Ю. А. и др. Запасы почвенного органического углерода при нулевой обработке почвы в условиях среднего Поволжья // Агрехимия. 2023. № 12. С. 47-56. DOI 10.31857/S0002188123110066.
6. Минин А.Н., Нечаева Е.Х., Степанова Ю.В. Селекция и сортоизучение черешни в условиях лесостепной зоны Самарской области // Вестник Ульяновской ГСХА. 2021. № 3. С. 112-118. DOI 10.18286/1816-4501-2021-3-112-118.
7. Кошеляев В.В., Кухарев О.Н., Кошеляева И.П., Ильина Г.В. Выживаемость растений озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // Нива Поволжья. 2023, 4 (68), с. 1003. DOI 10.36461/NP.2023.68.4.004
8. Орлова Л. В., Троц Н. М., Платонов В. И. и др. Оценка эмиссии парниковых газов и запасов углерода при нулевой обработке чернозема в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Агрехимия. 2023. № 7. С. 44-54. DOI 10.31857/S0002188123070086.
9. Троц Н. М., Орлов С. В., Герасимов Е. С., Бокова А. А. Накопление пожнивных и корневых остатков в севооборотах при применении технологии No-till в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1. С. 25-31. DOI 10.55170/19973225_2023_8_1_25.
10. Сушко С. В., Балашов Е. В., Бучкина Н. П. и др. Оценка эффективности ресурсосберегающих технологий в повышении секвестрации органического углерода сельскохозяйственными почвами в условиях Среднего Поволжья (на примере нулевой обработки почвы) // Современные проблемы почвозащитного земледелия : Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции. Курск : Курский федеральный аграрный научный центр, 2022. С. 130-134.
11. Беляев В. И., Варлагин А. В., Дригидер В. К. и др. Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 1. DOI 10.55186/25876740-2022-6-1-26.

References

1. Orlova, L. V., Fomin, A. A. & Toigildin, A. L. et al. (2024). A new paradigm for the development of agriculture. *International Agricultural Journal*. (3(399)). 357-360. DOI 10.55186/25876740_2024_67_3_357 (in Russ).
2. Trots, N. M. & Bokova, A. A. (2023). Correlation analysis of yield and quantity of crop and root residues in crop rotations . Innovative achievements of science and technology of agroindustrial complex 23' : *collection of scientific papers of the International scientific and practical conference*. (pp. 14-19). Kinel : Samara State Agrarian University (in Russ).
3. Orlova, L. V., Zakharova, E. A. & Trots, N. M. et al. (2023). Assessment of the state of the agrochemical state of the soil using the vegetation index. Innovations in agriculture and ecology 23': *collection of scientific papers*. (pp. 281-286). Ryazan : Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (in Russ).
4. Redin, D. V., Ermakova, N. A. & Stepanova, Yu. V. (2023). Protection of coniferous plants from sunburn in the conditions of the Middle Volga region. *Samara AgroVektor (Samara AgroVector)*, 3, 3, 38-4. doi: 10.55170/29493536_2023_3_3_38 (in Russ).
5. Ivashchenko, K. V., Sushko, S. V. & Dvornikov, Yu. A. et al. (2023). Reserves of soil organic carbon at zero tillage in the conditions of the Middle Volga region. *Agrochemistry*. (12). 47-56. DOI 10.31857/S0002188123110066 (in Russ).
6. Minin A.N., Nechaeva E. Kh., Stepanova Yu. V. (2021). Breeding and variety research of sweet cherry in the conditions of the forest-steppe zone of Samara region (*Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy*), 3, 112-118. DOI 10.18286/1816-4501-2021-3-112-118 (in Russ).
7. Koshelev, V. V., Kukharev, O. N., Kosheleva, I. P. & Ilyina, G. V. (2023). The survival rate of winter wheat plants at different levels of mineral nutrition (*Field of the Volga region*), 4 (68), 1003. DOI 10.36461/NP.2023.68.4.004 (in Russ).
8. Orlova, L. V., Trots, N. M. & Platonov, V. I. et al. (2023). Assessment of greenhouse gas emissions and carbon reserves with zero processing of chernozem in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Agrochemistry*. (7). 44-54. DOI 10.31857/S0002188123070086 (in Russ).
9. Trots, N. M., Orlov, S. V., Gerasimov, E. S. & Bokova, A. A. (2023). Accumulation of crop and root residues in crop rotations using No-till technology in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. (1). 25-31. DOI 10.55170/19973225_2023_8_1_25 (in Russ).
10. Sushko, S. V., Balashov, E. V. & Buchkina, N. P. et al. (2022). Assessment of the effectiveness of resource-saving technologies in increasing the sequestration of organic carbon by agricultural soils in the conditions of the Middle Volga region (on the example of zero tillage). *Modern problems of soil protection agriculture 22': Collection of reports of the VI International Scientific and Practical Conference*. (pp. 130-134). Kursk : Kursk Federal Agrarian Scientific Center (in Russ).
11. Belyaev, V. I., Varlagin, A.V. & Dridiger, V. K. et al. (2022). The global climate agenda. Soil protection resource-saving (carbon) agriculture as a standard of international and national strategies for soil conservation and agricultural carbon markets. *International Agricultural Journal*. (65(1)). DOI 10.55186/25876740-2022-6-1-26 (in Russ).

Информация об авторах:

Н. М. Троц – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
Е. Х. Нечаева – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Ю. В. Степанова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Д. Р. Ермолаева – кандидат технических наук.

Information about the authors:

N. M. Trots – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
E. Kh. Nechaeva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
Yu. V. Stepanova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
D. R. Ermolaeva – Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.09.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 10.09.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 664.769

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-37-46

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОВАКУУМНОЙ ЭКСТРУЗИИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ПРОДУКТА

Дмитрий Иванович Фролов¹, Анатолий Алексеевич Курочкин², Максим Александрович Потапов³^{1, 2, 3} Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия¹surr@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9166-1132>²anatolii_kuro@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3824-4364>³makcpotapov@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-8632-8447>

Резюме. В статье рассмотрено влияние вакуумной экструзионной обработки на физические и физико-химические свойства экструдированной кормовой смеси. Было изучено влияние переменных факторов экструзионного процесса на кормовую смесь, полученную посредством обработки смеси ржи и пажитника с помощью термовакuumной и обычной экструзии. В качестве исследуемых факторов были выбраны температура цилиндра, частота вращения шнека, влажность сырья и уровень вакуума в камере на выходе из матрицы экструдера. Анализ их влияния на процесс термовакuumной экструзии был выполнен с помощью методологии поверхности отклика. Для эксперимента использовали модернизированный экструдер ЭК-40, оснащенный рабочим шнеком диаметром 40 мм, с отношением длины шнека к его диаметру 4:1 и температурным режимом 70-100 °С. Смеси для экструзии готовили из ржи (2 части) и пажитника (1 часть), а содержание влаги в них изменялась в пределах интервала от 25 до 35%. Частота вращения шнека варьировала от 200 до 350 об/мин, вакуум в вакуумной камере в диапазоне 0-400 мм рт. ст. С помощью дисперсионного анализа и методологии поверхности отклика был проведен анализ влияния температуры цилиндра, частоты вращения шнека, влажности сырья и уровня вакуума на индекс водопоглощения, насыпную плотность, удельную механическую энергию, общее содержание фенолов и коэффициент расширения экструдатов. В ходе исследования были получены следующие оптимальные параметры экструзии: температура цилиндра 77,5 °С, влажность смеси 32,5 %, частота вращения шнека 350 об/мин и уровень вакуума 300 мм рт. ст. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что термовакuumная экструзия оказывает более заметное влияние на коэффициент расширения, насыпную плотность и индекс водопоглощения экструдатов по сравнению с обычной экструзией. Полученный экструдат содержал значимое для организма животных количество антоцианов С3G, Р3G и других полезных веществ, обычно разрушающихся под действием высоких температур. Объясняется это тем, что пониженное давление в вакуумной камере способствует расширению экструдированной смеси при более низких температурах, чем при «классической» горячей экструзии, что способствует сохранению биоактивных соединений обрабатываемого сырья.

Ключевые слова: экструзия, вакуум, пажитник, антоцианы, рожь, коэффициент расширения.

Для цитирования: Фролов Д. И., Курочкин А. А., Потапов М. А. Влияние термовакuumной экструзии на физические и физико-химические свойства получаемого продукта // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 37-46. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-37-46

Original article

INFLUENCE OF THERMAL VACUUM EXTRUSION ON THE PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE RESULTING PRODUCT

Dmitry I. Frolov¹, Anatoly A. Kurochkin², Maxim A. Potapov³^{1, 2, 3} Penza State Technological University, Penza, Russia¹surr@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9166-1132>²anatolii_kuro@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3824-4364>³makcpotapov@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-8632-8447>

Abstracts. The article considers the effect of vacuum extrusion processing on the physical and physicochemical properties of the extruded feed mixture. The influence of the variable factors of the extrusion process on the feed mixture obtained by processing the mixture of rye and fenugreek using thermal vacuum and conventional extrusion was studied. The barrel temperature, screw rotation speed, raw material moisture content and the vacuum level in the chamber at the outlet of the extruder matrix were selected as the studied factors. The analysis of their influence on the thermal vacuum extrusion process was performed using the response surface methodology. For the experiment, a modernized EK-40 extruder equipped with a working screw with a diameter of 40 mm, with a screw length to diameter ratio of 4:1 and a temperature regime of 70-100 °C was used. The mixtures for extrusion were prepared from rye (2 parts) and fenugreek (1 part), and the moisture content in them varied within the range from 25 to 35%. The screw speed was varied from 200 to 350 rpm, and the vacuum in the vacuum chamber was in the range of 0-400 mmHg. Using the analysis of variance and response surface methodology, the influence of barrel temperature, screw speed, feedstock moisture content, and vacuum level on

the water absorption index, bulk density, specific mechanical energy, total phenol content, and expansion coefficient of the extrudates was analyzed. The following optimal extrusion parameters were obtained during the study: barrel temperature of 77,5 °C, mixture moisture of 32,5%, screw speed of 350 rpm, and vacuum level of 300 mmHg. The results of the study allow us to conclude that thermal vacuum extrusion has a more noticeable effect on the expansion coefficient, bulk density, and water absorption index of the extrudates compared to conventional extrusion. The resulting extrudate contained a significant amount of anthocyanins C3G, P3G and other useful substances for the animal organism, which are usually destroyed by high temperatures. This is explained by the fact that the reduced pressure in the vacuum chamber promotes the expansion of the extruded mixture at lower temperatures than with "classic" hot extrusion, which helps preserve the bioactive compounds of the processed raw materials.

Keywords: extrusion, vacuum, fenugreek, anthocyanins, rye, expansion coefficient.

For citation: Frolov, D. I., Kurochkin, A. A. & Potapov, M. A. (2024). Influence of thermal vacuum extrusion on the physical and physicochemical properties of the obtained product. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4, 37-46. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-37-46 (in Russ).

Экструзия растительного сырья представляет собой кратковременный высокотемпературный процесс, включающий в себя процессы разминания, нагревания материала при высоком давлении и продавливания его через узкое отверстие с целью механической и тепловой обработки [1, 2, 3]. Экструзия – это сложный процесс, в котором небольшие изменения в условиях обработки влияют на переменные процесса экструзии, а также на качество производимых кормов [8, 11]. Качество корма с точки зрения структуры и питательных свойств значительно различается в зависимости от типа экструдера, конфигурации шнека, температуры цилиндра, содержания жира и влаги в смеси [9, 14]. Преимущества экструзии заключаются в измельчении корма для лучшего пищеварения, денатурации белков под воздействием высокой температуры и давления, что повышает его энергетическую ценность, а также в снижении содержания антинутриентов и токсинов [12, 19]. Экструзия эффективно стерилизует корм, уничтожая бактерии и плесень, продлевая срок хранения [5, 13]. Процесс также способствует желированию крахмала, улучшая усвояемость углеводов, и позволяет гомогенизировать компоненты корма, придавая ему нужную форму, особенно при достаточном содержании крахмала [10]. Структурные свойства экструдатов имеют большое значение при производстве качественных кормов. Сохранение функционального качества экструдированных кормов затруднено из-за высокотемпературной обработки, которая стимулирует нежелательные эффекты, вызывающие потери термолабильных биоактивных соединений, окисление липидов, разрушение или снижение доступности аминокислот и других термочувствительных питательных веществ. Поэтому сохранение биоактивных соединений в экструдированных кормах остается проблемой для практической технологии переработки растительного сырья с помощью экструзионных методов [4].

Добавление бобовых в злаковые культуры, является перспективным направлением в совершенствовании экструзионных процессов и улучшения состава кормов [6, 7]. Например, пажитник содержит уникальные биоактивные соединения: диосгенин – стероидный сапонин с противовоспалительными свойствами; тригонеллин – алкалоид с антидиабетическим эффектом; 4-гидроксиизолейцин – аминокислота, улучшающая чувствительность к инсулину; галактоманнан - растворимое пищевое волокно, снижающее уровень холестерина. Пажитник богат витаминами (А, Е, С, РР), минералами (фосфор, железо, магний), эфирными маслами и антиоксидантами [16]. В животноводстве пажитник ценится за его способность улучшать пищеварение, благодаря наличию клетчатки и энзимов, а также повышать иммунитет. Он также способствует укреплению здоровья животных, снижает уровень плохого холестерина и улучшает общее состояние организма. Одно из важных преимуществ пажитника в кормах заключается в том, что он может улучшать аппетит и стимулировать пищеварение у сельскохозяйственных животных, что особенно важно для повышения продуктивности в молочном и мясном животноводстве. Кроме того, пажитник помогает снижать уровень токсинов в организме и обладает противовоспалительными свойствами.

Также кормовая смесь на основе ржи и пажитника содержит значительное количество антоцианов, фенольных кислот, флавонов и витаминов. При этом практически все эти соединения являются термолабильными и разрушаются во время термической обработки. Экструзия считается кратковременным высокотемпературным процессом, при котором большинство фенольных соединений разрушаются. Поэтому для обработки кормовых ингредиентов с высоким содержанием биоактивных соединений, может быть использована гибридная система экструзии, основанная на нескольких иных физических принципах, чем ее классический аналог. В нескольких исследованиях представлена информация, о том, что использование сверхкритической жидкости во время экструзии снижает потери различных биоактивных соединений [15, 17, 18, 20]. Однако нет подробных отчетов о влиянии термовакуумной экструзии на физико-химические и фитохимические свойства расширенных экструдированных продуктов на основе ржи и пажитника.

Влияние процесса термовакуумной экструзии на характеристики корма зависит от нескольких переменных экструзии, таких как частота вращения шнека, влажность сырья, температура цилиндра и уровень вакуума.

Конфигурация экструдера также влияет на качество получаемой кормовой смеси. Поэтому для получения оптимальных условий процесса для получения высококачественного корма предпосылкой является выяснение связей и важности переменных в процессе экструзии.

Цель исследования: повышение качества экструдата смеси ржи и пажитника с помощью термовакуумной экструзии и их сравнение с обычной экструзией.

Задачи исследований: анализ переменных факторов процесса термовакуумной экструзии с помощью методологии поверхности отклика. Исследование влияния термовакуумной экструзии на физические и физико-химические свойства экструдированных продуктов на основе ржи и пажитника.

Материал и методы исследований. Смеси для экструзии готовили из ржи (2 части) и пажитника (1 часть), а содержание влаги варьировалось от 25% до 35%. Частота вращения шнека (200–350 об/мин), температура цилиндра (70-100 °С) и вакуум в вакуумной камере (0-400 мм рт. ст.) во время экструзии варьировались, как показано в таблице 1. Использовался одношнековый экструдер с вакуумной камерой, разработанный на кафедре «Пищевые производства» ПензГТУ (рисунок 1). Экструдер имеет симметричную конфигурацию в секции смешивания, сжатия и дозирования, с соотношением длины к диаметру шнека (L/D) 4:1, диаметром шнека 40 мм, шагом шнека 2 мм и отверстием матрицы 6×3 мм. Экструдат сушили при 60 °С в течение 2 часов для достижения содержания влаги 10%.



Рис. 1. Общий вид термовакуумного экструдера

Таблица 1

Матрица эксперимента: независимые и зависимые факторы

№	Температура ствола (°С)	Частота вращения шнека (об/мин)	Содержание влаги (%)	Вакуум (мм рт. ст., изб.)	Индекс водопоглощения	Насыпная плотность (кг/м ³)	Удельная механическая энергия (кДж/кг)	Общее содержание фенолов (мг GAL/100 г)	Коэффициент расширения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	70	300	30	200	4,45	624	131	35,7	1,17
2	92,5	350	32,5	300	4,68	533	160	20,1	1,18
3	92,5	250	27,5	300	4,97	507	115	29,3	1,51
4	85	300	30	200	4,98	623	151	34,3	1,44
5	77,5	250	32,5	100	4,45	638	108	33,8	1,02
6	92,5	250	32,5	100	4,91	533	121	26,5	1,22
7	85	200	30	200	4,02	615	102	38,5	1,59
8	85	300	30	200	4,52	653	145	29,3	1,34
9	92,5	350	27,5	100	5,03	588	166	22,9	1,07
10	92,5	250	32,5	300	4,97	487	105	30,9	1,14
11	92,5	350	27,5	300	4,77	477	151	29,6	1,33

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	92,5	350	32,5	100	3,64	574	160	29,8	1,08
13	77,5	250	27,5	100	3,86	732	135	38,5	1,05
14	77,5	350	32,5	100	4,11	585	113	30,6	0,98
15	85	300	30	200	4,06	632	141	30,3	1,14
16	77,5	350	27,5	100	5,08	688	148	22,1	1,18
17	85	300	30	200	4,78	662	143	38,3	1,54
18	77,5	250	27,5	300	4,93	598	152	54,1	0,99
19	92,5	250	27,5	100	4,05	579	116	41,5	1,11
20	85	300	30	200	4,03	642	146	34,3	1,14
21	77,5	250	32,5	300	4,29	601	101	36,6	1,88
22	85	300	30	200	4,98	636	148	30,3	1,39
23	85	300	25	200	5,17	626	145	24,9	1,02
24	77,5	350	27,5	300	8,08	534	158	34,9	1,51
25	77,5	350	32,5	300	5,98	582	124	48,1	1,89
26	100	300	30	200	4,44	438	120	26,7	1,12
27	85	300	30	0	4,69	616	148	37,9	1,07

Индекс водопоглощения — это объем, занимаемый гранулой или полимером крахмала после набухания в воде. В то время как индекс растворимости в воде определяет количество свободного полисахарида или высвобождения полисахарида из гранулы при добавлении избытка воды. Измельченный экструдат суспендировали в воде при комнатной температуре (28 ± 2 °C) в течение 30 минут и перемешивали, а затем центрифугировали при 3000 об/мин в течение 15 минут. Индекс водопоглощения представлял собой массу геля, полученного после удаления супернатанта, на единицу массы исходных сухих твердых веществ. Индекс растворимости в воде представлял собой вес сухих твердых веществ в супернатанте, выраженный в процентах от исходного веса образца.

Насыпная плотность образца определялась в трех повторностях. Образцы экструдата длиной 5 см помещались в мерный цилиндр объемом 500 мл и уплотнялись путем постукивания. Насыпная плотность образца определялась как масса экструдатов, деленная на объем и выражалась в кг/м^3 .

Общая удельная механическая энергия была рассчитана (уравнение 1) на основе частоты вращения шнека (об/мин), крутящего момента двигателя (Н·м) и массового расхода (г/мин) по следующей формуле:

$$\text{УМЭ} = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{MR} \quad (1)$$

где n — частота вращения шнека, об/мин;
 T — номинальный крутящий момент двигателя, Н·м;
 MR — массовый расход, г/мин.

Потребление электроэнергии оценивали путем мониторинга электрического тока во время экспериментов по экструзии.

Суммарное содержание фенольных антиоксидантов было определено с помощью метода Фолина-Чокальтеу. Один миллилитр реагента ФЧ добавляли к 0,2 мл образца. Через 4 мин добавляли 0,8 мл насыщенного раствора Na_2CO_3 и инкубировали в течение 30 мин при комнатной температуре. Поглощение смеси измеряли при 765 нм на спектрофотометре Unicо 1201. Результаты выражали в мг эквивалента галловой кислоты/100 г образца.

Содержание антоцианов в образце определялось с использованием дифференциальных методов рН. Поглощение образца измерялось при 515 и 700 нм на спектрофотометре Unicо 1201. Содержание антоцианов рассчитывалось с использованием следующего уравнения:

$$SA = \frac{A \cdot M \cdot DF \cdot 1000}{e \cdot C} \quad (2)$$

где SA — содержание антоцианов, мг СЗГ/л;
 A — поглощение, $(A_{515} - A_{700})_{\text{pH}1,0} - (A_{515} - A_{700})_{\text{pH}4,5}$;
 M — молекулярная масса цианидин-3-глюкозида (449,2);
 DF — коэффициент разбавления образца;
 e — молярная поглощательная способность цианидин-3-глюкозида (26 900);
 C — концентрация буфера в мг/мл.

Коэффициент расширения экструдата определяли как отношение диаметра поперечного сечения образца к диаметру отверстия матрицы.

Состав образца определялся с точки зрения крахмала, пищевых волокон и белка. Крахмал (ГОСТ 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала»), пищевые волокна (ГОСТ Р 54014-2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом») и белок (ГОСТ 10846-91 «Зерно и продукты его переработки») образца определялись стандартными методами.

План эксперимента представлял собой четырехфакторную вращающуюся центральную композитную конструкцию, которая была применена для исследования влияния температуры цилиндра, скорости шнека, влажности сырья и уровня вакуума на такие функции отклика, как индекс водопоглощения, насыпную плотность, удельную механическую энергию, общее содержание фенолов и коэффициент расширения. Было проведено 27 экспериментов для определения влияния переменных факторов и оптимальных значений параметров экструзии (таблица 1).

Планирование эксперимента и анализ результатов проводились с использованием программного обеспечения Statistica 10. Для всех статистических тестов уровень значимости был $p < 0,05$. Для оптимизации использовался многоцелевой инструментарий оптимизации.

Результаты исследований. На рисунке 2 показано влияние переменных факторов экструзии на индекс водопоглощения экструдатов. Значения индекса водопоглощения экструдатов варьируются от 3,64 до 8,08 г/г, в то время как контрольный образец (без экструзии) имеет 3,33 г/г. Увеличение содержания влаги до 30% увеличивает индекс водопоглощения; однако обратная тенденция происходит после 30%. Индекс водопоглощения измеряет степень поглощения воды крахмалом после набухания в избытке воды и сохраняет целостность образца в водной дисперсии. Увеличение содержания влаги в смеси приводит к снижению индекса водопоглощения из-за результирующей смазки шнеков, следовательно, происходит снижение сдвига и трения, что приводит к меньшему испарению влаги и, в конечном итоге – к получению нерасширенной структуры. Температура цилиндра также вызывает снижение индекса водопоглощения из-за увеличения деградации и декстринизации крахмала.

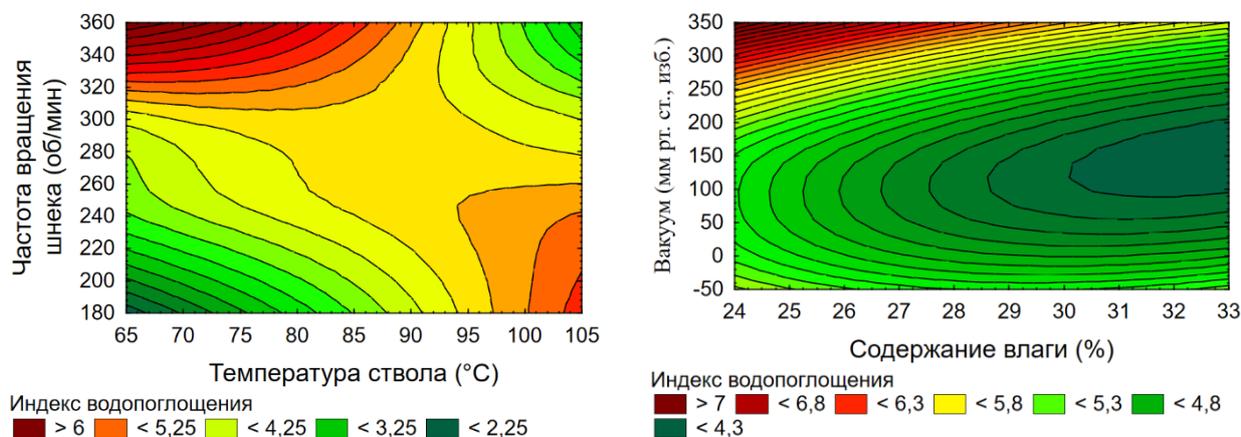


Рис. 2. Диаграммы влияния температуры цилиндра, частоты вращения шнека, влажности сырья и уровня вакуума на индекс водопоглощения

Индекс водопоглощения также уменьшается с ростом температуры цилиндра, если декстринизация или плавление крахмала преобладают над явлением желатинизации. Уровень вакуума также оказывает значительное влияние на индекс водопоглощения экструдатов. Увеличение вакуума способствует росту индекса водопоглощения возможно из-за образования пористой структуры, что приводит к увеличению поглощения воды. Однако частота вращения шнека оказывает отрицательное влияние на индекс водопоглощения. Это может быть связано с деградацией крахмала, которая вызывает снижение водоудерживающей способности молекул в результате уменьшения их размера.

На рисунке 3 показано влияние параметров экструзии на насыпную плотность экструдатов. Насыпная плотность экструдатов варьировалась от 438 до 732 кг/м³. Все независимые параметры оказали значительное влияние на насыпную плотность с высоким коэффициентом детерминации (0,85). Насыпная плотность экструдата уменьшалась с увеличением температуры цилиндра. Во время экструзии повышение температуры цилиндра увеличивает количество перегретого пара, который интенсифицирует образование пузырьков и снижает вязкость расплава, что способствует образованию продукта с низкой насыпной плотностью.

Повышение уровня вакуума, по-видимому, снижает насыпную плотность экструдатов. Если применяется вакуум, то влага, присутствующая в смеси, испаряется при низкой температуре, так что объем экструдатов увеличивается, что приводит к снижению насыпной плотности. Увеличение уровня вакуума также способствует росту количества пузырьков воздуха, присутствующих в смеси, что приводит к снижению насыпной плотности.

Насыпная плотность образца повышается с увеличением содержания влаги. Молекулярная структура амилопектина изменяется из-за содержания влаги во время экструзии ингредиентов смеси, и, таким образом, эластичность расплава уменьшается, его выход влиял на желатинизацию и, таким образом, уменьшал расширение и увеличивал плотность экструдата. Частота вращения шнека также влияет на насыпную плотность экструдатов: ее рост способствует увеличению насыпной плотности. Это связано с тем, что увеличение частоты вращения шнека во время обработки сокращает время пребывания сырья в экструдере и, таким образом, уменьшает степень желатинизации крахмала и снижает его водоудерживающую способность, что приводит к увеличению насыпной плотности получаемого экструдата.

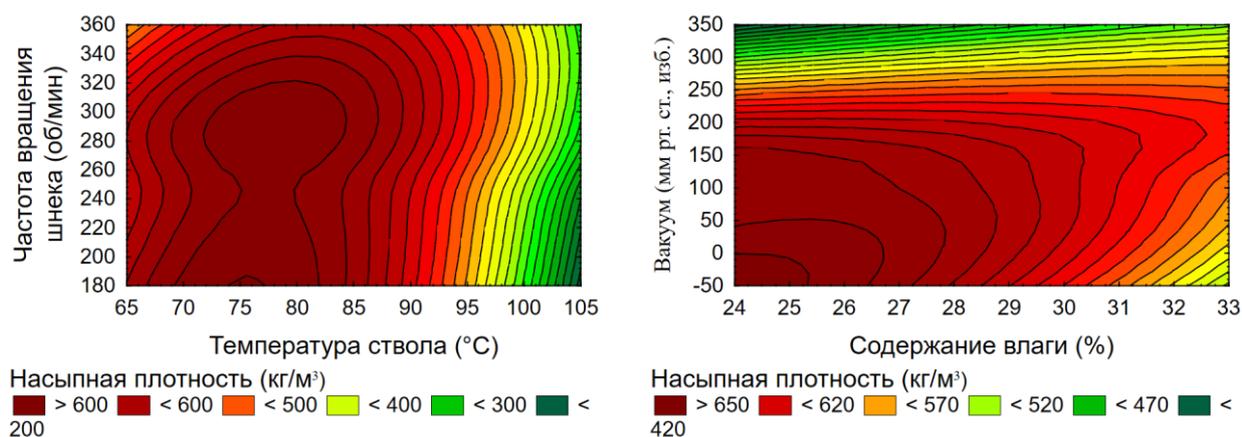


Рис. 3. Диаграммы влияния температуры цилиндра, частоты вращения шнека, влажности сырья и уровня вакуума на насыпную плотность

Удельная механическая энергия представляет собой энергию, поступающую в систему экструзии через вязкую диссипацию, и ее количество варьировалось от 101 до 166 кДж/кг. Содержание влаги в корме оказывает значительное влияние на удельную механическую энергию. Увеличение содержания влаги в смеси значительно снижает удельную механическую энергию процесса экструзии (рисунок 4). Высокое содержание влаги в смеси подразумевает смазочный эффект, что приводит к снижению потребности в энергии и, следовательно, снижает удельную механическую энергию. Повышение температуры экструзии также снижает удельную механическую энергию. Высокотемпературная экструзия облегчает преобразование твердого потока в вязкоупругий поток, в основном за счет желатинизации крахмала. Таким образом, она снижает вязкость расплава, что, в свою очередь, снижает удельную механическую энергию. Частота вращения шнека приводит к значительному увеличению удельной механической энергии процесса экструзии, поскольку оба эти показателя находятся в линейной зависимости. Вместе с этим применяемый вакуум не оказывает существенного влияния на удельную механическую энергию.

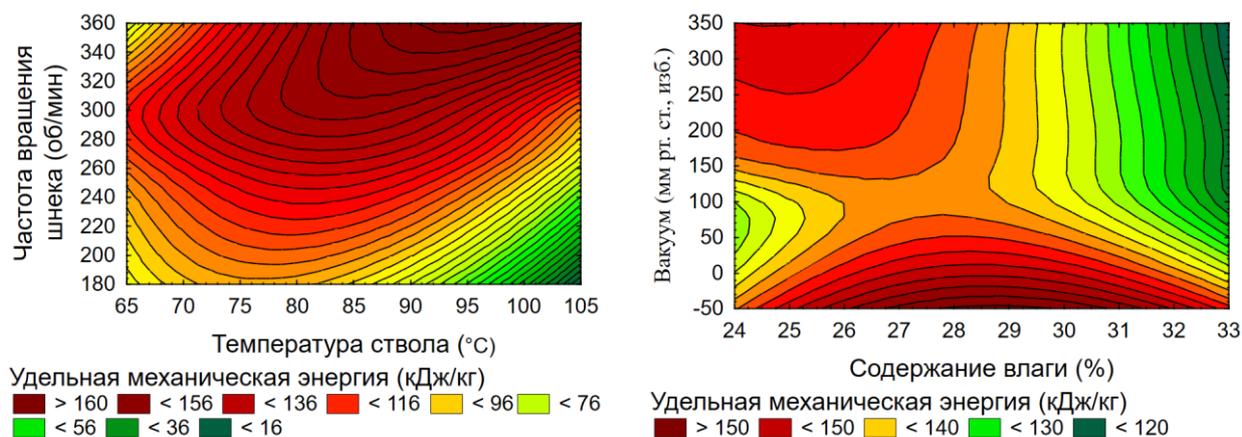


Рис. 4. Диаграммы влияния температуры цилиндра, частоты вращения шнека, влажности сырья и уровня вакуума на удельную механическую энергию

Общее содержание фенолов в экструдатах варьировалось от 20,1 до 54,1 мг ГАЕ/100 г. На рисунке 5 показано, что увеличение влажности исходного сырья приводит к увеличению общего содержания фенолов экструдированного продукта. Увеличение содержания влаги снижает трение и сдвиговые силы во время экструзии, что приводит к снижению нагрева, так что удержание фенольных соединений увеличивается. Увеличение фенольных соединений в экструдированной смеси можно объяснить увеличением свободных форм из-за разрушения клеточной стенки во время экструзии. Увеличение температуры цилиндра изначально увеличивает общее содержание фенолов, но показывает обратную тенденцию на более поздней стадии. Во время начальной термической обработки повреждения клеточных структур позволяют легче извлекать растворимые фенольные соединения из сырья, таким образом, общее количество фенольных соединений увеличивается. Однако при дальнейшем повышении температуры экструзии общее содержание фенолов уменьшается из-за термической деградации фенольных соединений. Общее содержание фенолов уменьшается в экструдированной смеси во время экструзии, особенно при повышении температуры экструзии со 100 до 120 °С. Увеличение уровня вакуума немного снижает общее содержание фенолов в экструдатах. Возможно, потому что при вакууме имеется уменьшенное количество перегретого пара, присутствующего в расплаве, и тем самым регулируется потеря фенольных соединений из-за увеличения температуры. Увеличение частоты вращения шнека обеспечивает более высокое трение и сдвигающие силы, так что выделяется больше тепла, что приводит к разрушению фенольных соединений.

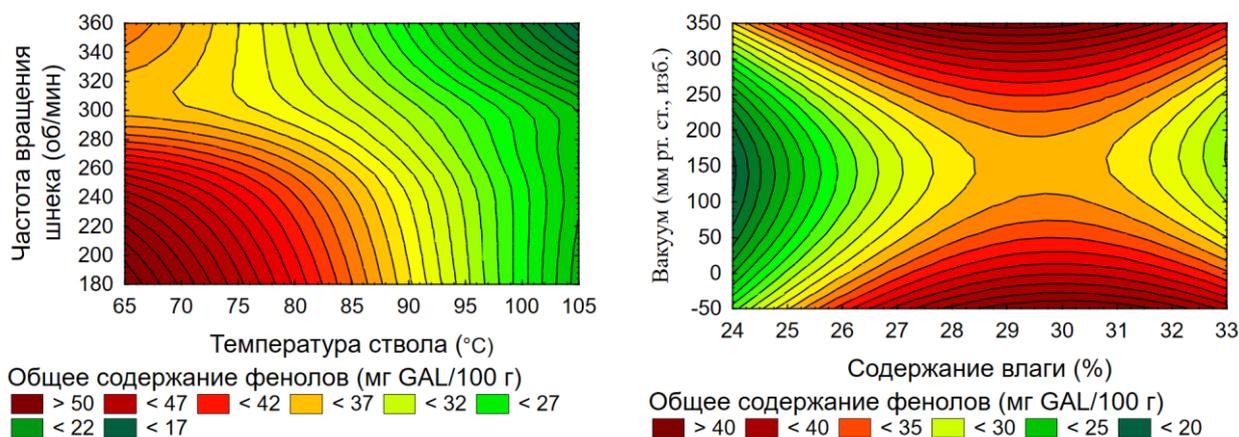


Рис. 5. Диаграммы влияния температуры цилиндра, частоты вращения шнека, влажности сырья и уровня вакуума на общее содержание фенолов

На коэффициент расширения экструдата значительно влияли параметры процесса вакуумной экструзии (рисунок 6). Температура цилиндра, влажность, частота вращения шнека и вакуум оказывают значительное влияние на коэффициент расширения, имея высокий коэффициент детерминации (0,88), а значения коэффициента расширения варьируются от 0,98 до 1,89. Повышение температуры цилиндра и вакуума значительно увеличивает коэффициент расширения готового продукта. Коэффициент расширения в основном зависит от степени желатинизации. Повышение температуры экструзии снижает вязкость смеси, что усиливает образование пузырьков во время экструзии. Более того, степень перегрева пара в экструдере может увеличиваться при более высокой температуре, что способствует улучшенному расширению. Коэффициент расширения экструдатов увеличивается с содержанием влаги в сырье до определенного предела, за которым происходит обратная тенденция. Степень желатинизации крахмала увеличивается с содержанием влаги в сырье до 30%, что увеличивает коэффициент расширения. Дальнейшее увеличение влажности сырья обеспечивает смазочный эффект и снижает эластичность расплава, так что коэффициент расширения уменьшается. Значительное влияние уровня вакуума на коэффициент расширения возможно связано с падением давления, вызывающим обширное вытеснение водяного пара из расплава, таким образом, он появляется в виде пузырьков и обеспечивает расширение расплавленных экструдатов, вызывая увеличение объема экструдатов. Расширение экструдата зависит от разницы давления между матрицей и атмосферой, а также от способности выходящего продукта поддерживать расширение. Частота вращения шнека оказывает умеренное влияние на расширение. Увеличение частоты может вызвать деградацию структуры амилопектина и изменить реологию расплава сырья, что влияет на расширение продукта.

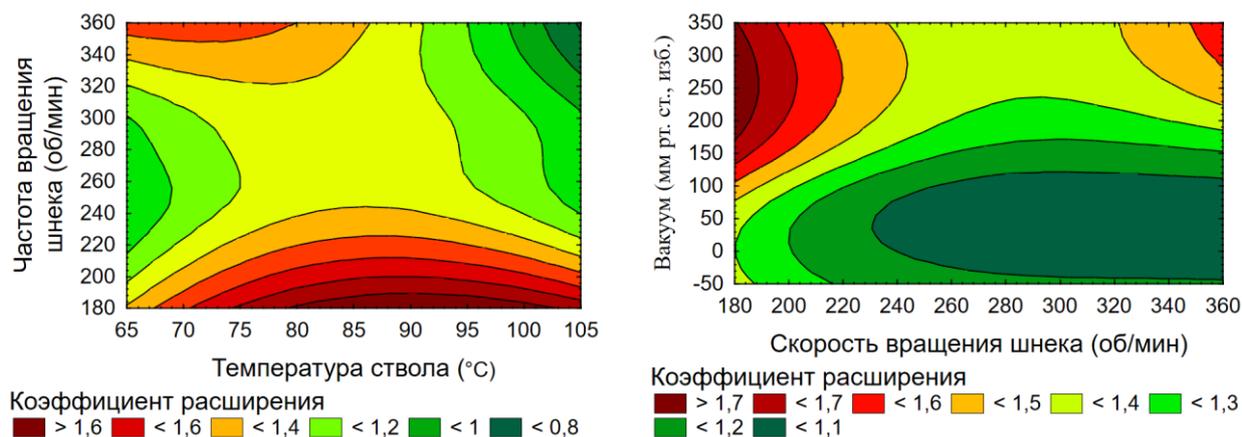


Рис. 6. Диаграммы влияния температуры цилиндра, скорости шнека, влажности сырья и уровня вакуума на коэффициент расширения

Вакуумная экструзия сравнивалась с обычной экструзией при оптимальных условиях. Было отмечено, что без вакуума экструдат имел более низкий коэффициент расширения. При термовакуумной экструзии из-за более высокого перепада давления после фильеры происходило обширное удаление водяного пара из расплава, что усиливало расширение расплавленного экструдата и, таким образом, увеличивало объем экструдатов. Однако насыпная плотность 616 кг/м^3 и индекс водопоглощения $4,69 \text{ г/г}$ были выше для обычных экструдатов. В присутствии вакуума скорость испарения влаги из сырья увеличивается даже при низкой температуре. Следовательно, увеличивается объем экструдата и происходит образование пористой структуры. Твердость экструдата была ниже (152 Н), чем у обычного экструдата (162 Н). Поскольку пористость экструдата, полученного с помощью вакуума, была выше, твердость была ниже по сравнению с обычным экструдатом.

Исследование физико-химических свойств показало, что экструдат смеси ржи и пажитника, полученный с помощью термовакуумной экструзии, содержал $0,02 \text{ мг/100 г СЗГ}$ и $3,2 \text{ мг/100 г РЗГ}$, тогда как обычный экструдат содержал $0,01 \text{ мг/100 г СЗГ}$ и $1,92 \text{ мг/100 г РЗГ}$. Содержание антоциана составило $3,9 \text{ мг СЗГ/л}$, а индекс растворимости в воде – $2,8\%$. Результат обозначил превосходство термовакуумной экструзии над обычной.

Заключение. Экструдированная кормовая смесь на основе ржи и пажитника была получена с использованием термовакуумной экструзии, рабочие параметры которой оценивались и подвергались оптимизации с использованием регрессионной модели поверхности отклика. Анализ полученной модели позволяет рекомендовать для этого вида термопластической технологии следующие оптимальные параметры: температура цилиндра $77,5 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность смеси $32,5 \%$, частота вращения шнека 350 об/мин и уровень вакуума 300 мм рт. ст. . Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что термовакуумная экструзия оказывает более заметное влияние на коэффициент расширения, насыпную плотность и индекс водопоглощения экструдатов по сравнению с обычной экструзией. Полученный в экспериментах экструдат содержал значимое для организма животных количество антоцианов СЗГ, РЗГ и других полезных веществ, обычно разрушающихся под действием высоких температур «классической» горячей экструзии. Таким образом, можно сделать вывод, что термовакуумная экструзия является эффективным способом получения экструдатов из зерновых культур с целью получения кормов с высоким содержанием фитохимических веществ.

Список источников

1. Алферников О. Ю., Щубко А. С. Технология и оборудование экструзионной обработки животного и растительного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. № 3. С. 87-89.
2. Бахарев, В. В., Воронина, М. С., Гуляева, А. Н., Нафикова, О. А. Исследование физико-химических показателей свекольных выжимок после их дегидратации с последующей экструзией // Индустрия питания/ Food Industry. 2022. Т. 7. № 3. С. 25-31.
3. Бахчевников О. Н., Брагинцев С. В. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 4. С. 690-706.
4. Белов, А. Г., Шахов, В. А., Путрин, А. С., Козловцев, А. П., Филатов, М. И., Борулько, В. Г. Инновационная разработка технологии и оборудования для производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 155-158.
5. Бурмага А. В., Крючков А. М. Основы теории процесса экструдирования кормов // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. 2016. С. 95-100.

6. Годжиев Р. С., Гогаев О. К., Тукфатулин Г. С. Повышение молочной продуктивности коров при использовании в рационе высокоэнергетических кормов // Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 3. С. 37-41.
7. Зарудный В. А., Бардаш В. В. Использование нетрадиционных кормов в кормлении птицы // Эффективное животноводство. 2024. № 3 (193). С. 92-95.
8. Коробов В. П., Ситников В. А., Славнов Е. В. Экструзия озимой ржи – один из путей развития кормовой базы на Урале // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2009. № 3. С. 56-63.
9. Минаева Л. В., Минаева Т. В., Кравцова Е. В. Ресурсосберегающие технологии переработки комбикормов с использованием процесса экструзии // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. 2013. С. 374-377.
10. Минаева Л. В., Алексеев Г. В., Синявский Ю. В. Математическое моделирование процесса динамической экструзии при производстве высокобелковых продуктов // The refrigerant's future: the phase down of hfc's and its consequences. С. 330.
11. Николаев В. Н., Яворский В. И. Анализ процесса экструзии кормов и совершенствование экструдера // Вестник ЧГАА. 2015. Т. 71. С. 61-66.
12. Передня В. И., Барановский И. В., Чумаков В. В. Экструзионные технологии в кормопроизводстве // Техника и технологии в животноводстве. 2015. № 4 (20). С. 60-63.
13. Сложенкина М., Суторма О. Влияние нетрадиционных кормов на показатели безопасности и пищевой адекватности мясного сырья // Молочное и мясное скотоводство. 2013. № 8. С. 30-31.
14. Фролов, В. Ю., Сысоев, Д. П., Припоров, И. Е., Горб, С. С. Технологии и технические средства приготовления концентрированных кормов с использованием соевого белка // World science. 2016. Т. 1. № 3 (7). С. 53-58.
15. Челомбитко М. А., Корко В. С., Назаренко Р. А. Применение сверхкритического диоксида углерода при экструзии в пищевой промышленности // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. 2021. С. 61-63.
16. Шелюто Б. В., Нестерова И. М. Пажитник греческий (*Trigonella foenum graecum* L.) – перспективная кормовая культура для Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1. С. 88-91.
17. Vamidele O. P., Emmambux M. N. Encapsulation of bioactive compounds by «extrusion» technologies: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Т. 61. № 18. С. 3100-3118.
18. Iqbal A., Hosseini A. F., Rizvi S. S. H. Supercritical fluid extrusion of dairy and fruit products to generate GOS-enriched and nutritionally superior snack puffs // Food and Bioproducts Processing. 2024. Т. 147. С. 441-448.
19. Kurmanov A. K., Kabdusheva A. S. Обоснование конструкции шнека экструдера для производства кормов // Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin. 2021. № 4 (111). С. 90-96.
20. Manzoor S. et al. The use of extrusion technology for encapsulation of bioactive components for their improved stability and bioavailability // Nutrition & Food Science. 2023. Т. 53. № 6. С. 959-976.

References

1. Alfernikov, O. Yu., & Shchubko, A. S. (2007). Technology and equipment for extrusion processing of animal and plant raw materials. News of higher educational institutions. Food technology, (3), 87-89. (in Russ.).
2. Bakharev, V. V., Voronina, M. S., Gulyaeva, A. N., & Nafikova, O. A. (2022). Study of physicochemical parameters of beet pomace after their dehydration followed by extrusion. Food Industry, 7(3), 25-31. (in Russ.).
3. Bakhchevnikov, O. N., & Braginets, S. V. (2020). Extrusion of plant raw materials for food products (review). Food Production Engineering and Technology, 50(4), 690-706. (in Russ.).
4. Belov, A. G., Shakhov, V. A., Putrin, A. S., Kozlovtshev, A. P., Filatov, M. I., & Borulko, V. G. (2019). Innovative development of technology and equipment for the production of extruded feed with ultrafine particles. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University, (5 (79)), 155-158. (in Russ.).
5. Burmaga, A. V., & Kryuchkov, A. M. (2016). Fundamentals of the theory of the feed extrusion process. In Mechanization and electrification of technological processes in agricultural production (pp. 95–100). (in Russ.).
6. Godzhiev, R. S., Gogaev, O. K., & Tukfatulin, G. S. (2018). Increasing milk productivity of cows when using high-energy feed in the diet. Bulletin of the Gorsk State Agrarian University, 55(3), 37-41. (in Russ.).
7. Zarudny, V. A., & Bardash, V. V. (2024). Use of non-traditional feeds in poultry feeding. Effective Animal Husbandry, (3 (193)), 92-95. (in Russ.).
8. Korobov, V. P., Sitnikov, V. A., & Slavnov, E. V. (2009). Winter rye extrusion – one of the ways of developing the forage base in the Urals. Bulletin of the Perm Federal Research Center, (3), 56-63. (in Russ.).
9. Minaeva, L. V., Minaeva, T. V., & Kravtsova, E. V. (2013). Resource-saving technologies for processing compound feed using the extrusion process. In Technologies and equipment for chemical, biotechnological and food industries (pp. 374-377). (in Russ.).
10. Minaeva, L. V., Alekseev, G. V., & Sinyavskiy, Yu. V. Mathematical modeling of the dynamic extrusion process in the production of high-protein products. The refrigerant's future: the phase down of hfc's and its consequences, 330. (in Russ.).
11. Nikolaev, V. N., & Yavorsky, V. I. (2015). Analysis of the feed extrusion process and improvement of the extruder. Bulletin of the ChGAA, 71, 61-66. (in Russ.).
12. Perednya, V. I., Baranovsky, I. V., & Chumakov, V. V. (2015). Extrusion technologies in feed production. Machinery and technology in animal husbandry, (4 (20)), 60-63. (in Russ.).

13. Slozhenkina, M., & Sutorma, O. (2013). The influence of non-traditional feeds on the safety and nutritional adequacy of meat raw materials. Dairy and beef cattle breeding, (8), 30-31. (in Russ.).
14. Frolov, V. Yu., Sysoev, D. P., Priporov, I. E., & Gorb, S. S. (2016). Technologies and technical means for the preparation of concentrated feeds using soy protein. World science, 1(3 (7)), 53-58. (in Russ.).
15. Chelombitko, M. A., Korko, V. S., & Nazarenko, R. A. (2021). Application of supercritical carbon dioxide in extrusion in the food industry. In Processing and quality management of agricultural products (pp. 61-63). (in Russ.).
16. Shelyuto, B. V., & Nesterova, I. M. (2011). Greek fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) – a promising forage crop for Belarus. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy, (1), 88-91. (in Russ.).
17. Bamidele, O. P., & Emmambux, M. N. (2021). Encapsulation of bioactive compounds by “extrusion” technologies: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61(18), 3100-3118.
18. Iqbal, A., Hosseini, A. F., & Rizvi, S. S. (2024). Supercritical fluid extrusion of dairy and fruit products to generate GOS-enriched and nutritionally superior snack puffs. Food and Bioproducts Processing, 147, 441-448.
19. Kurmanov, A. K., & Kabdusheva, A. S. (2021). Justification of the design of the extruder screw for feed production. Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, (4 (111)), 90-96.
20. Manzoor, S., Hussain, S. Z., Amin, T., Bashir, O., Naseer, B., Jabeen, A., ... & Khan, U. (2023). The use of extrusion technology for encapsulation of bioactive components for their improved stability and bioavailability. Nutrition & Food Science, 53(6), 959-976.

Информация об авторах

Д. И. Фролов – кандидат технических наук, доцент;
А. А. Курочкин – доктор технических наук, профессор;
М. А. Потапов – аспирант.

Information about the authors

D. I. Frolov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. A. Kurochkin – Doctor of Technical Sciences, Professor;
M. A. Potapov – post-graduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 6.09.2024; одобрена после рецензирования 4.10.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 6.09.2024; approved after reviewing 4.10.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 632.08

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-47-54

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Сергей Владимирович Машков¹, Павел Александрович Ишкин²✉, Николай Александрович Ивлиев³, Андрей Романович Макаров⁴

^{1,2} Самарский государственный аграрный университет, Самарская область, Усть-Кинельский, Россия

^{3,4} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, Самара, Россия

¹ mash_ser@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9941-3803>

² ishkin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7490-9300>

³ ivlievn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7539-556X>

⁴ andre_makar@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5435-550X>

Резюме: Цель исследований: разработка гиперспектрального метода оценки состояния растений в условиях защищенного грунта, для выявления внутренних изменений в растениях, которые влияют на их урожайность. В статье представлены результаты исследования метода оценки состояния растительности на основе использования гиперспектральных изображений (ГСИ), полученных с помощью сканирующей щелевой гиперспектральной камеры с оптической схемой Оффнера. В качестве классификатора используется многостадийная обработка ГСИ с первоначальной компенсацией вариаций освещения, отбору зоны интереса растительности индексным методом и далее оценка на основе обученной пространственно-спектральной сверточной нейронной сети. Процесс съёмки был организован таким образом, чтобы за один кадр можно было получить набор характеристик спектра, соответствующих только одному столбцу формируемого гиперспектрального изображения. Щелевая диафрагма ограничивает область пространства, свет из которой раскладывается в спектр. Это позволяет одновременно получать до 2040 спектров за один кадр. В процессе сканирования пространства и серийной синхронной съёмки регистрировались спектры последовательно меняющихся областей пространства. По результатам исследований был разработан алгоритм классификации гиперспектральных изображений высокого разрешения с учётом как пространственных, так и спектральных характеристик. В качестве классификатора использовалась сверточная нейронная сеть с архитектурой, модифицированной для лучшего учёта изменений освещения сцены. Для подготовки обучающих данных предлагается использовать вегетационные индексы, которые позволяют выполнить первичную бинарную сегментацию гиперспектрального изображения. Было показано, что предложенный подход эффективен. Точность полученной классификации по уровню хлороза составила более 83%. Проведенные эксперименты показывают эффективность предложенного подхода для оценки состояния растений в условиях защищенного грунта.

Ключевые слова: гиперспектрометр, спектральный метод, спектральный индекс, состояние растений, защищенный грунт, гиперспектральная съёмка.

Для цитирования: Машков С. В., Ишкин П. А., Ивлиев Н. А., Макаров А. Р. Гиперспектральный метод оценки состояния растений защищенного грунта // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т 9, № 4. С. 47-54. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-47-54

Original article

HYPERSPECTRAL METHOD FOR ASSESSING THE CONDITION OF PROTECTED SOIL PLANTS

Sergey V. Mashkov ¹, Pavel A. Ishkin²✉, Nikolai A. Ivliev ³, Andrey R. Makarov ⁴

^{1,2} Samara State Agrarian University, Samara Region, Ust-Kinelsky, Russia

^{3,4} Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia

¹ mash_ser@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9941-3803>

² ishkin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7490-9300>

³ ivlievn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7539-556X>

⁴ andre_makar@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5435-550X>

Abstracts. The purpose of the research is to develop a hyperspectral method for assessing the condition of plants in conditions of protected soil, to identify internal changes in plants that affect the yield. The article presents the results of the investigation of vegetation condition assessment based on the use of hyperspectral images (HSI) acquired with a scanning slit-lamp hyperspectral camera with Offner optical scheme. The classifier used is a multi-stage GSI processing with initial compensation of lighting variations, selection of the vegetation area by the index method and further evaluation based on a trained spatial spectral convolutional neural network. The shooting process was organized in such a way that in one frame it was possible to obtain a set of spectrum characteristics corresponding to only one column of the hyperspectral image being formed. The slit diaphragm restricts the area of space from which the light is decomposed into a spectrum. It allows simultaneously to receive up to 2040 spectra in a single frame. In the process of space scanning and serial synchronous imaging, spectra of sequentially changing regions of space were recorded.

Based on the results of the research, an algorithm for classifying high-resolution hyperspectral images was developed, taking into account both spatial and spectral features. A convolutional neural network with an architecture modified to better account for changes in scene lighting was used as a classifier. To prepare the training data, it is proposed to use vegetation indexes, which allow to perform primary binary segmentation of the hyperspectral image. It was shown that the proposed approach is effective. The accuracy of the classification obtained by the level of chlorosis was more than 83%. The conducted experiments show the effectiveness of the proposed approach for assessing the condition of plants in protected soil conditions.

Keywords: hyperspectrometer, spectral method, spectral index, plant condition, protected soil, hyperspectral survey.

For citation: Mashkov, S. V., Ishkin, P. A., Ivliev, N. A. & Makarov, A. R. (2024). Hyperspectral method for assessing the condition of protected soil plants. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*. 9, 4. 47-54. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-47-54 (in Russ).

Современные технологии мультиспектрального и гиперспектрального дистанционного мониторинга успешно применяются в растениеводстве открытого грунта, где источником исходного света является Солнце [1]. Данные технологии позволяют выявлять внутренние изменения в растениях, такие как хлороз и др., которые влияют на урожайность. Однако в условиях защищенного грунта культивационных сооружений с применением системы искусственного освещения и гидропоники, исходный спектр света и реакция растений на него иная.

В связи с этим актуальным является разработка гиперспектрального метода оценки состояния растений, выращиваемых в закрытом грунте с применением системы искусственного освещения и гидропоники. Проводимые исследования согласуются с программой исследований по проекту «Агрокибернетика» комитета «Умное Агро» межрегионального научно-образовательного центра «Инженерия будущего».

Цель исследований – разработка гиперспектрального метода оценки состояния растений в условиях защищенного грунта для выявления внутренних изменений в растениях, которые влияют на урожайность.

Задача исследований – определить спектральные признаки изменения состояния растений в условиях защищенного грунта для выявления внутренних изменений в растениях, которые влияют на урожайность.

Объект исследований. Исследования проводились на светокультуре в условиях защищенного грунта ООО «Тепличный» с помощью малогабаритной гиперспектральной камеры сканирующего типа на базе оптической схемы Оффнера [2-4]. Оптическая схема гиперспектральной камеры представлена на рис. 1.

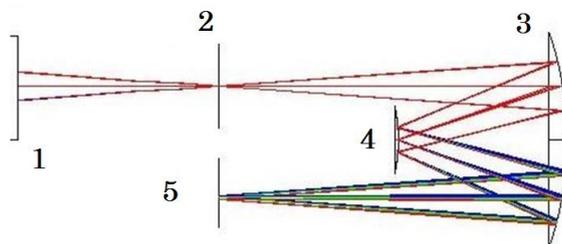


Рис. 1. Оптическая схема гиперспектрометра на основе схемы Оффнера:
1 – объектив; 2 – щелевая диафрагма; 3 – сферическое зеркало;
4 – дифракционная отражающая решетка; 5 – фотоприемное устройство видимого диапазона

Камера сканирующего типа разработана и изготовлена в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева. Гиперспектральная камера, представленная на рис. 2, использовалась для получения спектральных признаков состояния растений в условиях защищенного грунта.



Рис. 2. Гиперспектральная камера на базе оптической схемы Оффнера

Для исследований применялась гиперспектральная камера со следующими характеристиками:

1. Поле зрения камеры в вертикальной плоскости – 20° ;
2. Диапазон регистрируемых спектров по длине волны – 420-980 нм;
3. Спектральное разрешение (ширина спектрального канала) – 2,5 нм;
4. Разрешение матрицы вдоль щели 2040 пкс;
5. Масса гиперспектральной камеры – 2,64 кг;
6. Габаритные размеры камеры – 370×136×130 мм.

Для применения камеры в различных условиях съемки изготовлен специальный шарнирный кронштейн со штативом, а также различные приспособления линейного или кругового перемещения камеры с заданной скоростью.

Методы экспериментальных исследований. Процесс съемки был построен таким образом, что за один кадр можно получить набор спектральных характеристик, соответствующих лишь одному столбцу формируемого гиперспектрального изображения. Щелевая диафрагма ограничивает область пространства, свет от которого складывается в спектр. Это позволяет одновременно получать до 2040 спектров за один кадр. В процессе сканирования пространства и серийной синхронной съемкой осуществляется регистрации спектров последовательно изменяющихся областей пространства, как показано на схеме сканирования ниже на рисунке 3.

Во время съемки щель располагалась перпендикулярно вектору сканирования, а сканирование осуществлялось линейным перемещением с помощью каретки на направляющих, формируя панорамное изображение области съемки. Сама камера расположена под углом относительно горизонта, угол установки варьировался в пределах $30-60^\circ$. Высота расположения камеры составляла 2,2 м. Данная высота при угле зрения камеры 20° обеспечивает захваты лишь части растения, а именно область около 0,5 м, что обеспечивает пространственное разрешение вдоль листа около 0,25 мм. Однако, в процессе сканирования со скоростью около 0,06 м/с и частотой кадров около 18 к/с, неизбежно существует смаз, вызванный движением в процессе экспозиции одного кадра. Величина смаза в таком случае около 3мм. Для решения этой проблемы использовалась съемка с использованием режима матрицы «биннинг», что является по сути объединением пикселей для увеличения чувствительности и уменьшению размера кадра. В таком случае при объединении пикселей 2в1, была уменьшена размерность матрицы вдоль щели до 1020 пкс. Таким образом экспозиция была уменьшена в 2 раза и достигнута частота кадров до 36 к/с, а при той же скорости перемещения каретки смаз уменьшен до 1,5 мм, в то время как проекция пикселя увеличилась из-за биннинга с 0,25 до 0,5мм. Съемка в любом режиме обеспечивает получение панорамных изображений без промежутков, смаз лишь приводит к некоторому усреднению спектра в области проекции пикселя, что позволяет наблюдать за мельчайшими элементами растений, листов, стеблей и находить повреждения и области с измененным спектром с размером до 0,5×1,5мм. На рисунке 3б показан процесс экспериментальной съемки растений в условиях защищенного грунта ООО «Тепличный».



Рис. 3. Сканирование гиперспектральной камерой:

- а) схема сканирования гиперспектральной камерой;
- б) экспериментальный процесс гиперспектральной съемки растений в условиях защищенного грунта

Точное время экспозиции было выбрано в соответствии с гистограммой во время съемки с камерой, фиксирующей кадр, направленный на белую область откалиброванной цветовой шкалы видео X-Rite ColorChecker. После получения большого количества последовательных кадров данные наборы спектров сшивались специализированным ПО в гиперкубы. Реконструкция гиперкуба из полученной видеопоследовательности была выполнена в соответствии с ранее разработанными алгоритмами, описанными в [5, 6]. Полученный гиперкуб имеет 250 спектральных каналов, равномерно распределенных в диапазоне 420-980 нм. Частота кадров во всех сценах фиксирована и соответствует 30-36 кадрам в секунду, что обеспечивает постоянство пространственного разрешения.

Примеры внешнего вида панорамных изображений из гиперспектральных изображений (ГСИ) трех видов растений выращиваемых культур показаны на рисунке 4.

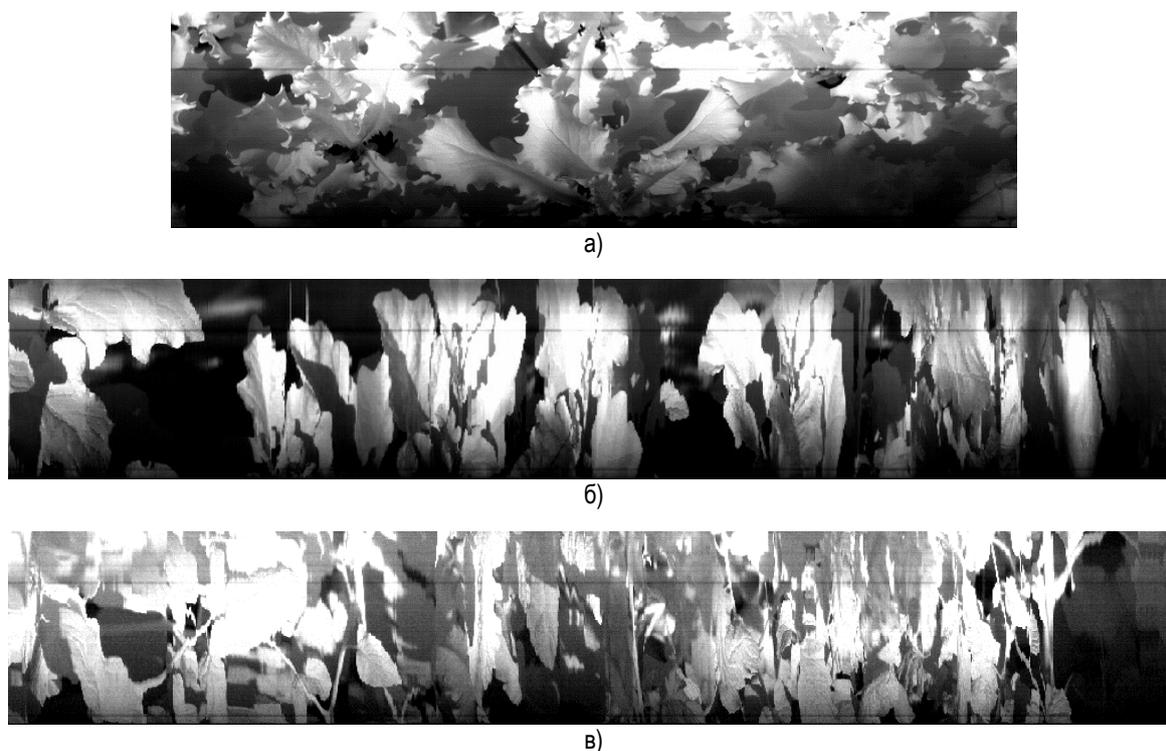


Рис. 4. Изображение на длине волны 720 нм из панорамного ГСИ:
а) салат; б) баклажан; в) томат

В каждом пикселе высокоразрешающих ГСИ имеются спектральные характеристики всех элементов растений: стебля, листа на разных уровнях, прожилок, соцветий. Сравнение спектральных характеристик листьев разных культур под солнечным светом показано на примере баклажана и томата на рисунке 5.

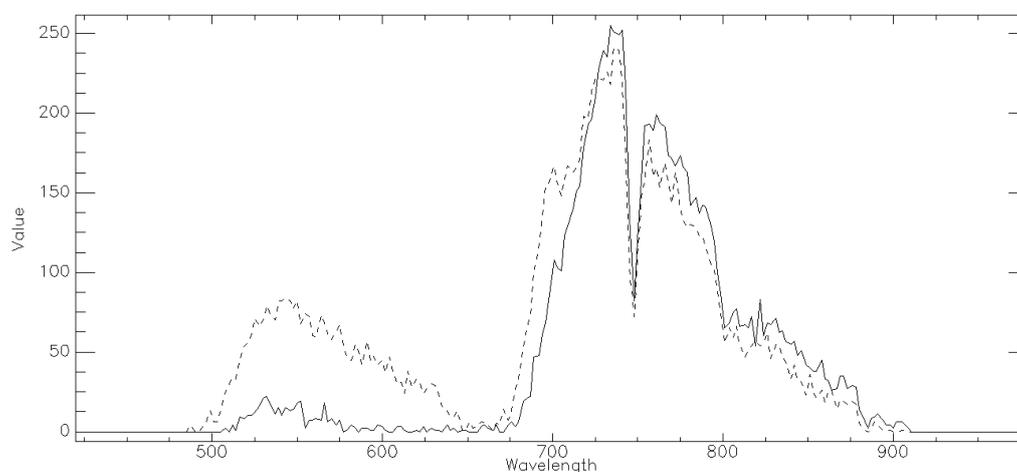


Рис. 5. Сравнение спектральных характеристик отражения томата (нижний спектр) и баклажана (верхний график).

Таким образом, в результате проведения серии опытов по получению спектральных данных состояния растений в условиях защищенного грунта сформирована база гиперспектральных снимков для создания обучающей выборки с целью определения спектральных признаков, позволяющих с высокой долей вероятности идентифицировать состояние растений в условиях защищенного грунта для выявления внутренних изменений в растениях, которые влияют на урожайность.

Результаты экспериментальных исследований. Для задачи бинарной сегментации «растение» и «шпалера» рассматривались два вегетационных индекса: NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) [7] и EVI (улучшенный вегетационный индекс) [8]. Эти индексы используются для определения фотосинтетически активной биомассы:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (1)$$

$$EVI = 2,5 \frac{NIR-RED}{NIR+6RED - 7,5BLUE + 1}, \quad (2)$$

где NIR – ближняя инфракрасная область спектра; RED – красная область спектра; BLUE – синяя область спектра. Конкретный спектральный диапазон в (1) и (2) выбирается исходя из особенностей факторов, влияющих на состояние растений.

Рассчитанные маски индексов подвергаются пороговой обработке таким образом, что все пиксели, принадлежащие классу «шпалера», обнуляются, оставляя значения больше нуля только в классе «растение».

Поскольку разница в результатах расчета индексов NDVI и EVI минимальна, то для последующих расчетов в качестве индекса растительности был выбран NDVI, как более простой для расчетов.

Изменение спектрального состава освещения оказывает существенное влияние на результат гиперспектральной съемки [8]. Съемка растений закрытого грунта проводится днем в условиях открытого солнечного освещения и досветки натриевыми лампами, поэтому основными факторами, влияющими на спектральный состав освещенности, являются угол возвышения солнца и его затенение, вызванное облаками, а также спектральное излучение натриевых ламп.

Чтобы компенсировать влияние освещения на спектральный состав съемки, были использованы два подхода к нормализации спектрального состава гиперкуба. Следуя гипотезе о сером контуре [9], нормализация к спектру наиболее яркой части изображения может быть выполнена на этапе предварительной обработки:

$$HSI_{LightNorm}^{(i)} = \frac{HSI^{(i)}}{MAX(HSI^{(i)})} \times 255, \quad (3)$$

Кроме того, компенсация эффектов изменения освещения может быть выполнена с использованием дополнительного уровня пакетной нормализации [9] в архитектуре нейронной сети. В рамках данной работы реализованы оба подхода, их эффективность исследуется в экспериментальном разделе.

В данной работе использована модификация нейросетевого классификатора [10-11]. Эта сеть представляет собой комбинацию сверточных 3D-слоев для анализа 1D и 2D срезов гиперспектральных изображений (рис. 6). На вход нейросетевой классификатор принимает патч данных, размеры которого определяются количеством каналов В и пространственными координатами (высотой и шириной) H и W соответственно. Такой подход позволяет не только идентифицировать особенности одного гиперпикселя, но и найти его зависимости с соседними.

Сеть состоит из набора трехмерных сверточных слоев, после каждого из которых, для компенсации эффекта неоднородности освещения и стабильности обучения классификатора, были добавлены слои пакетной нормализации.

Для формирования обучающей выборки были использованы участки из нескольких гиперспектральных изображений. Конечный размер составлял 900×2730 гиперпикселей, что составляет примерно треть всех данных, после чего 90% пикселей были взяты в обучающий набор и 10% – в набор проверки. Такой подход сводит к минимуму разницу в освещенности при анализе различных гиперспектральных изображений.

Обучение проводилось с использованием оптимизатора Adagrad. Параметр скорости обучения был равен 0,01, а параметр импульса оптимизатора был установлен на 0,01. Размер минимального пакета был равен 40. Размер блока был $7 \times 7 \times 250$. Процесс обучения сети занял 50 эпох для полной стабилизации.

Были исследованы четыре различных подхода к задаче классификации по уровню хлороза: классическая архитектура 3D-DCNN [10-11] без предварительной обработки и с ней, модификация M3D-DCNN, предложенная в этой статье, без предварительной обработки и с ней.

Анализ полученных изображений позволяет сделать вывод, что предварительная обработка гиперспектральных изображений существенно не улучшает качество классификации по уровню хлороза. Использование пакетной нормализации в качестве нормализации освещенности уменьшает размер областей ошибочной классификации.

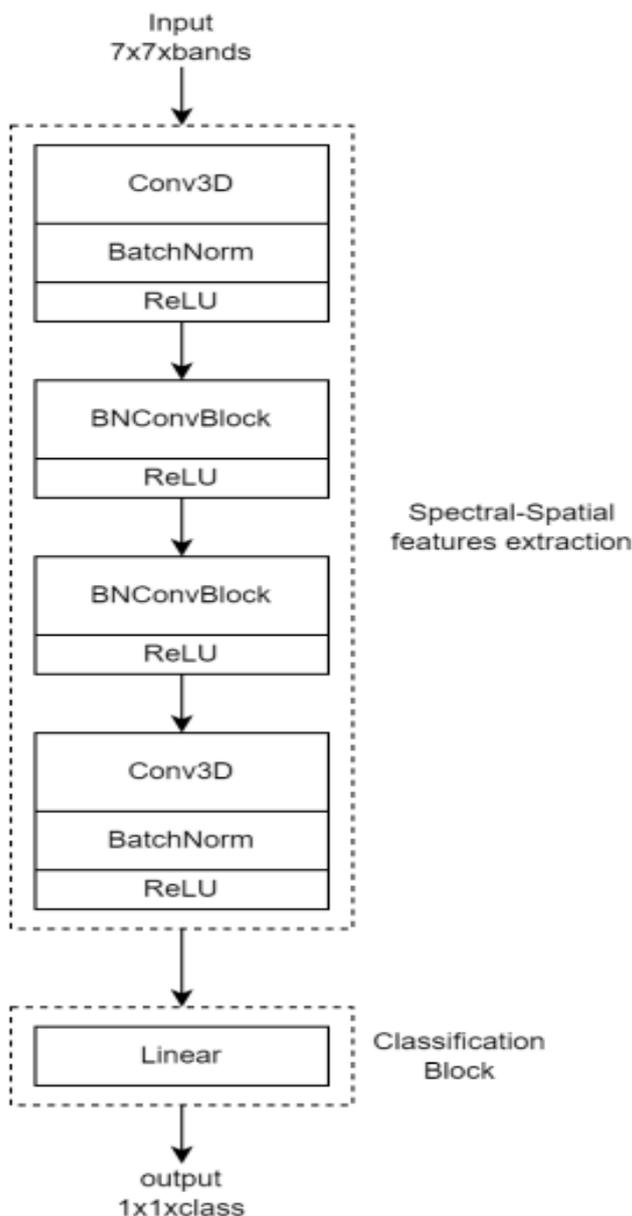


Рис. 6. Архитектура нейросетевого классификатора

Для более строгого контроля качества точность классификации была рассчитана для трех гиперспектральных изображений для каждого предлагаемого подхода (табл. 2).

Таблица 2

Точность классификатора и его модификаций
для исходных и предварительно обработанных гиперспектральных изображений

	3D-DCNN		M3D-DCNN	
	-	Предварительная обработка	-	Предварительная обработка
HSI_1	84,3%	82,7%	84%	85%
HSI_2	83,4%	81,5%	84,1%	85%
HSI_3	81,2%	80%	81,5%	80,7%
Среднее	83,0%	81,4%	83,2%	83,6%

На основании полученных данных можно сделать вывод, что предварительная обработка в виде нормализации гиперспектральных изображений по освещенности не дает повышения точности классификации по уровню хлороза. Напротив, использование пакетной нормализации для этой цели дает наилучшие результаты среди представленных.

По итогам проведенных исследований, представлен алгоритм классификации гиперспектральных изображений высокого разрешения с учетом как пространственной, так и спектральной составляющих. В качестве классификатора использована сверточная нейронная сеть с архитектурой, основанной на [10-11], модифицированная для лучшего учета изменений в освещении сцены. Для подготовки обучающих данных предлагается использовать вегетационные индексы, которые допускают первичную бинарную сегментацию гиперспектрального изображения. Показана эффективность предложенного подхода. Точность полученной классификации по уровню хлороза составила более 83%.

Заключение. Представленная модель обладает точностью классификации выше, чем у существующих методов, и позволяет использовать этот алгоритм для задач определения спектральных признаков изменения состояния растений в условиях защищенного грунта и выявления внутренних изменений в растениях, которые влияют на урожайность.

Список источников

1. Дивин А. Г., Мищенко С. В., Жиркова А. А. Неразрушающий бесконтактный тепловой метод контроля качества объектов растительного происхождения // Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях. 2018. 105-110. EDN YQUMXB.
2. Никоноров А., Петров М., Бибиков С., Кутикова В., Якимов П., Морозов А. (2018) 10-й семинар IAPR по распознаванию образов в дистанционном зондировании (PRRS) IEEE. 1-9.
3. Гедель А. В., Подлипнов В. В., Ивлиев Н. А., Парингер Р. А., Ишкин П. А., Машков С. В., Скиданов Р. В. Набор данных для гиперспектральной визуализации сельскохозяйственных культур // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47. №. 3. С. 442-450.
4. Карпеев, С. В., Хонина, С. Н., Мурдагулов, А. Р., & Петров, М. В. Юстировка и исследование макетного образца гиперспектрометра по схеме Оффнера // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15. №. 1. С. 197-206.
5. Jung A., Kardevan P., Tókei L. Hyperspectral Technology in Vegetation Analysis // *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 2006. Vol 2, № 1. P. 93-115.
6. Kwan, C., Gribben, D., Ayhan, B., Li, J., Bernabe, S., Plaza, A. *Remote Sensing*. 2020. № 12(23). P. 3880-3888.
7. Hu, W., Huang, Y., Wei, L., Zhang, F., Li, H. // *Journal of Sensors*. 2015. P. 30-42.
8. Manea, D., Calin, M. A. // *Imaging Science Journal*. 2015. № 63(4). P. 214-219.
9. Van De Weijer J, Gevers T. // *IEEE International Conference on Image Processing*. 2005. № 2. P. 2-722.
10. Mingyi He, Bo Li, Huahui Chen // *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2017. P. 3904-3908.
11. Фирсов Н. А., Подлипнов, В. В., Ивлиев, Н. А., Николаев, П. П., Машков, С. В., Ишкин, П. А., Никоноров, А. В. Нейросетевая классификация гиперспектральных изображений растительности с формированием обучающей выборки на основе адаптивного вегетационного индекса // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 6. С. 887-896. doi: 10.18287/2412-6179-CO-1038. EDN UOOVII.

References

1. Divin, A. G., Mishchenko, S. V. & Zhirkova, A. A. (2018). Non-destructive non-contact thermal method for quality control of objects of plant origin. Information-sensory systems in thermophysical research: *Eleventh International Thermophysical School, Tambov State Technical University*. 105-110. EDN YQUMXB. (in Russ).

2. Nikonorov, A., Petrov, M., Bibikov, S., Kutikova, V., Yakimov, P. & Morozov A. (2018). 10th IAPR Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing (PRRS) IEEE. 1-9. (in Russ).
3. Gaidel, A.V., Podlipnov, V. V., Ivlev, N. A., Paringer, R. A., Ishkin, P. A., Mashkov, S. V., Skidanov, R. V. (2023). Data set for hyperspectral visualization of agricultural plants. *Computer Optics*, 47(3), 442-450. (in Russ).
4. Karpeev, S. V., Khonina, S. N., Murdagulov, A. R., & Petrov, M. V. (2016). Alignment and study of the hyperspectrometer prototype according to the Offner scheme. *Bulletin of the Samara University. Aerospace Engineering, Technologies and Mechanical Engineering*, 15(1), 197-206. (in Russ).
5. Jung, A., Kardevan, P., & Tókei, L. (2006). Hyperspectral Technology in Vegetation Analysis. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 2. 1. 93-115.
6. Kwan, C., Gribben, D., Ayhan, B., Li, J., Bernabe, S. & Plaza, A. (2020). *Remote Sensing*. 12(23). 3880-3888.
7. Hu, W., Huang, Y., Wei, L., Zhang, F. & Li, H. (2015). *Journal of Sensors*. 30-42.
8. Manea, D. & Calin, M. A. (2015). *Imaging Science Journal*, 63(4), 214-219.
9. Van De Weijer J, Gevers T. (2005). *IEEE International Conference on Image Processing*. 2. 2-722.
10. Mingyi He, Bo Li, Huahui Chen (2017) *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 3904-3908.
11. Firsov, N. A., Podlipnov, V. V., Ivliev, N. A., Nikolaev, P. P., Mashkov, S. V., Ishkin, P. A. & Nikonorov, A. V. (2021). Neural network classification of hyperspectral images of vegetation with the formation of a training sample based on the adaptive vegetation index. *Computer Optics*. 45. 6. 887-896. doi: 10.18287/2412-6179-CO-1038. EDN UOOVII. (in Russ).

Информация об авторах:

С. В. Машков – кандидат экономических наук, доцент;
П. А. Ишкин – кандидат технических наук;
Н. А. Ивлиев – кандидат технических наук, доцент;
А. Р. Макаров – научный сотрудник.

Information about the authors:

S. V. Mashkov – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
P. A. Ishkin – Candidate of Technical Sciences;
N. A. Ivliev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. R. Makarov – Research Associate.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; одобрена после рецензирования 4.10.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 16.09.2024; approved after reviewing 4.10.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 665.32

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-55-64

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ЗАГУЩАЮЩЕЙ ДОБАВКИ
ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА****Олег Станиславович Володько¹, Александр Павлович Быченин^{2✉}, Василий Алексеевич Едуков³**^{1,2}Самарский государственный аграрный университет, Самара, Россия³Самарский государственный технический университет, Самара, Россия¹volodko-75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8478-1358>²bap63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8896-7547>³tgvsamgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9208-4410>

Резюме. Цель исследований – теоретически обосновать рациональный размер частиц загущающей добавки (Литол-24) к растительному смазочному материалу (РСМ) на основе рапсового масла при формировании смазочной композиции, предназначенной для использования в агрегатах тракторных механических трансмиссий. Существует актуальная научная проблема повышения физико-химических и трибологических свойств РСМ, в частности, увеличения его вязкости. Добиться этого эффекта возможно применением специальных загущающих добавок, например, Литол-24. В статье приведен анализ процессов осаждения частиц загущающей добавки в гравитационном поле и при работе агрегатов тракторной трансмиссии. Предложены теоретические зависимости для определения рационального размера частиц загущающей добавки в статическом режиме из условия длительного (до 6 месяцев) хранения сельскохозяйственной техники, а также в динамическом режиме из условия витания частицы в объеме РСМ. Проанализировано влияние конструктивных особенностей агрегатов трансмиссии распространенных в сельскохозяйственном производстве моделей тракторов на процесс осаждения частиц загущающей добавки в статическом и динамическом режиме, даны рекомендации по определению размера частиц с учетом этого параметра. С учетом ограничивающих факторов расчетным методом определен рациональный размер частиц загущающей добавки, исключающий их быстрое осаждение как при хранении, так и в процессе выполнения транспортных и полевых работ. Рациональным признан размер частиц добавки в диапазоне $1,08 \cdot 10^{-6} \dots 1,2 \cdot 10^{-6}$ м.

Ключевые слова: растительный смазочный материал, загущающая добавка, режим, статический, динамический, осаждение, витание, размер.

Для цитирования: Володько О. С., Быченин А. П., Едуков В. А. Обоснование рационального размера частиц загущающей добавки Литол-24 для растительного смазочного материала на основе рапсового масла // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Т. 9, № 4. С. 55-64. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-55-64

Original article

**JUSTIFICATION OF RATIONAL PARTICLE SIZE OF THICKENING ADDITIVE FOR
VEGETABLE LUBRICANT BASED ON RAPESEED OIL****Oleg S. Volodko¹, Alexander P. Bychenin^{2✉}, Vasily A. Edukov³**^{1,2} Samara State Agrarian University, Samara, Russia³ Samara State Technical University, Samara, Russia¹volodko-75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8478-1358>²bap63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8896-7547>³tgvsamgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9208-4410>

Abstracts. The aim of the research is to theoretically substantiate the rational particle size of the thickening additive (Litol-24) to the vegetable lubricant based on rapeseed oil when forming a lubricant composition intended for use in tractor mechanical transmission units. There is an urgent scientific problem of increasing the physicochemical and tribological properties of plant lubricant, in particular, increasing its viscosity. This effect can be achieved by using special thickening additives, for example, Litol-24. The article provides an analysis of the processes of precipitation of thickening additive particles in the gravitational field and during the operation of tractor transmission units. Theoretical dependences for determination of rational particle size of thickening additive in static mode from the condition of long-term (up to 6 months) storage of agricultural machinery, as well as in dynamic mode from the condition of particle hovering in the volume of RSM are offered. The influence of design features of transmission units of tractor models widespread in agricultural production on the process of thickening additive particles deposition in static and dynamic mode is analyzed, recommendations on determination of particle size taking into account this parameter are given. Taking into account the limiting factors, the rational particle size of the thickening additive was determined by the calculation method, excluding their rapid deposition both during storage and during transportation and field work. The particle size of the additive in the range of $1.08 \cdot 10^{-6} \dots 1.2 \cdot 10^{-6}$ m was recognized as rational.

Keywords: vegetable lubricant, thickening additive, mode, static, dynamic, precipitation, swirling, size.

For citation: Volodko, O. S., Bychenin, A. P. & Edukov, V. A. (2024). Justification of rational particle size of thickening additive for Vegetable lubricant based on rapeseed oil. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4. 55-64. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-55-64 (in Russ).

В настоящее время не теряет актуальности проблема экономии топливо-смазочных материалов (ТСМ) нефтяного происхождения, в том числе путем их частичной замены на альтернативные ТСМ [1-5], а также снижения вредного воздействия ТСМ на окружающую среду при утечках из смазочных и гидравлических систем [6-8]. В отличие от ТСМ нефтяного происхождения, смазочные композиции на основе растительного сырья (рапсового масла) обладают полной биоразлагаемостью за короткое время [9]. Однако такие смазочные композиции требуют применения пакетов присадок различного действия – загущающих, антиокислительных, противоизносных, противозадирных – так как физико-химические и трибологические свойства растительных масел не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к смазочным маслам. Одним из ключевых свойств смазочного материала, в том числе и альтернативного, является кинематическая вязкость. У рапсового масла она недостаточная, следовательно, при его использовании в качестве основы смазочной композиции необходимо повысить вязкостные свойства, например, легированием частицами загущающей добавки (Литол-24) [10, 11].

Цель исследований: теоретически обосновать рациональный размер частиц загущающей добавки к растительному смазочному материалу (PCM) при формировании смазочной композиции для использования в тракторных механических трансмиссиях.

Задачи исследований: проанализировать процесс осаждения частиц загущающей добавки в гравитационном поле PCM в статическом режиме; проанализировать движение частиц загущающей добавки в объеме PCM в динамическом режиме при работе агрегатов трансмиссии; проанализировать движение частиц загущающей добавки в PCM с учетом конструктивных особенностей агрегатов трансмиссии распространенных в сельском хозяйстве моделей тракторов; определить рациональный размер частиц загущающей добавки в составе PCM при формировании смазочной композиции для использования в тракторных механических трансмиссиях.

Материал и методы исследований. Для решения первой задачи был проведен теоретический анализ процесса осаждения частиц загущающей добавки в гравитационном поле PCM в статическом режиме. Растительный смазочный материал на основе рапсового масла предполагает наличие в составе растворенной загущающей добавки, в качестве которой использован Литол-24. Так как плотность частиц добавки больше, чем плотность растительного смазочного материала, то возможно их осаждение – естественный процесс, который имеет место как при функционировании трансмиссии энергетического средства при выполнении транспортных и полевых работ (динамический режим), так и при достаточно длительном его хранении в межсезонье (статический режим). Рассмотрим процесс осаждения частиц под действием гравитационных сил в состоянии покоя PCM с учетом следующих ограничений: частица имеет шарообразную форму с некоторым радиусом r_i ; осаждение происходит с некоторой средней скоростью U_{oc} ; на частицу действуют сила тяжести, Архимедова сила и сила Стокса (рис. 1).

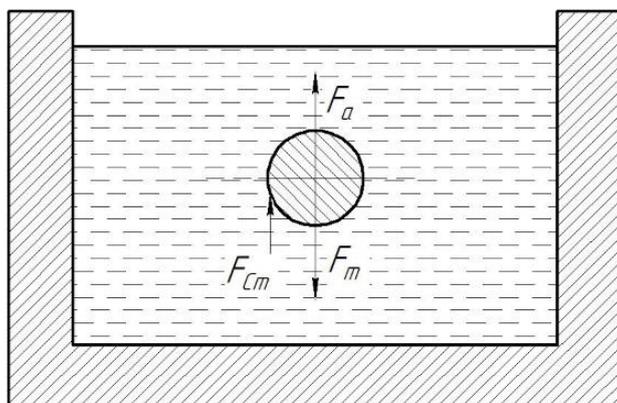


Рис. 1. Силы, действующие на частицу загущающей добавки в состоянии покоя:
 F_m – сила тяжести, Н; F_a – выталкивающая сила, действующая со стороны PCM на частицу (Архимедова сила), Н;
 F_{Cm} – сила сопротивления осаждению частицы (сила Стокса), Н

Условие осаждения частицы, принятой в качестве анализируемого элемента, в объеме РСМ выражается неравенством [10]:

$$F_m > F_a + F_{Cm} \quad (1)$$

При этом

$$F_a = V'_q g \rho_m; F_{Cm} = 6\pi r_q U_{oc} \mu, \quad (2)$$

где m_q – масса анализируемого элемента, кг;

g – гравитационная постоянная, м/с²;

V'_q – объем анализируемого элемента, м³;

U_{oc} – скорость осаждения анализируемого элемента в применяемой среде, м/с;

μ – коэффициент динамической вязкости применяемой среды, кг/(м·с²).

$$m_q = V'_q \rho_q = \frac{4}{3} \pi r_q^3 \rho_q, \text{ кг}; \quad (3)$$

$$\mu = \nu_m \cdot \rho_m \cdot 10^{-6}, \text{ кг/(м·с}^2\text{)}, \quad (4)$$

где ρ_q , ρ_m – плотности анализируемого элемента и применяемой среды, кг/м³;

ν_m – кинематическая вязкость применяемой среды, мм²/с.

С учетом зависимостей (2), (3) и (4) выражение (1) приобретает следующий вид:

$$\frac{4}{3} \pi r_q^3 \rho_q g > \frac{4}{3} \pi r_q^3 g \rho_m + 6\pi r_q U_{oc} \mu. \quad (5)$$

Из выражения (5) выводим граничное условие для скорости осаждения:

$$U_{oc} < \frac{2r_q^2 g (\rho_q - \rho_m)}{9\nu_m \rho_m}. \quad (6)$$

Очевидно, что на скорость осаждения частиц также влияет их долевое содержание в РСМ (N_q), т.е.

$$U_{oc} < \frac{2r_q^2 g (\rho_q - \rho_m) N_q}{9\nu_m \rho_m}. \quad (7)$$

Из выражения (7) находим рациональный радиус частицы r_q при осаждении:

$$r_q^{oc} < 3 \sqrt{\frac{\nu_m U_{oc} \rho_m}{2g N_q (\rho_q - \rho_m)}}. \quad (8)$$

Время осаждения частицы с рациональным радиусом r_q можно определить по выражению:

$$\tau_{oc} = \frac{H_m}{U_{oc}}, \quad (9)$$

где H_m – высота слоя масла, м.

Подставив неравенство (7) в выражение (9), получим:

$$\tau_{oc} < \frac{9H_M \nu_M \rho_M}{2r_q^2 g N_q (\rho_q - \rho_M)}. \quad (10)$$

Неравенство (10) справедливо для условия теплового равновесия РСМ с окружающей средой, т. е. когда температура РСМ и окружающей среды равны. Это возможно, например, при длительном хранении РСМ с поддерживаемой одинаковой температурой в течение всего времени.

Таким образом, факторами, влияющими на скорость осаждения частиц добавки Литол-24, являются температура при хранении, которая соответствует температуре отапливаемого помещения, то есть не достигает рабочих значений, и теплообменные свойства добавки и РСМ. При условии отсутствия теплообмена РСМ с окружающей средой скорость и время осаждения частиц определяется по формулам (7) и (10) (условие длительного хранения) [10].

Для решения второй задачи проанализировано движение частиц загущающей добавки в объеме РСМ в динамическом режиме при работе агрегатов трансмиссии. В процессе работы агрегатов трансмиссии на частицу, находящуюся в РСМ, действуют силы, по своим величинам большие, чем при хранении. В связи с этим перемещение слоев РСМ и движение частиц загущающей присадки (Литол-24) характеризуется большей интенсивностью. Рассмотрим процесс осаждения частиц загущающей присадки при работе РСМ в смазочной системе агрегатов трансмиссии (например, в коробке передач). Примем следующие ограничения (рис. 2): в начале процесса частицы равномерно распределены по всему объему РСМ; при вращении зубчатых колес происходит перемещение слоев РСМ с образованием в объеме коробки передач девяти характерных зон [10, 11].

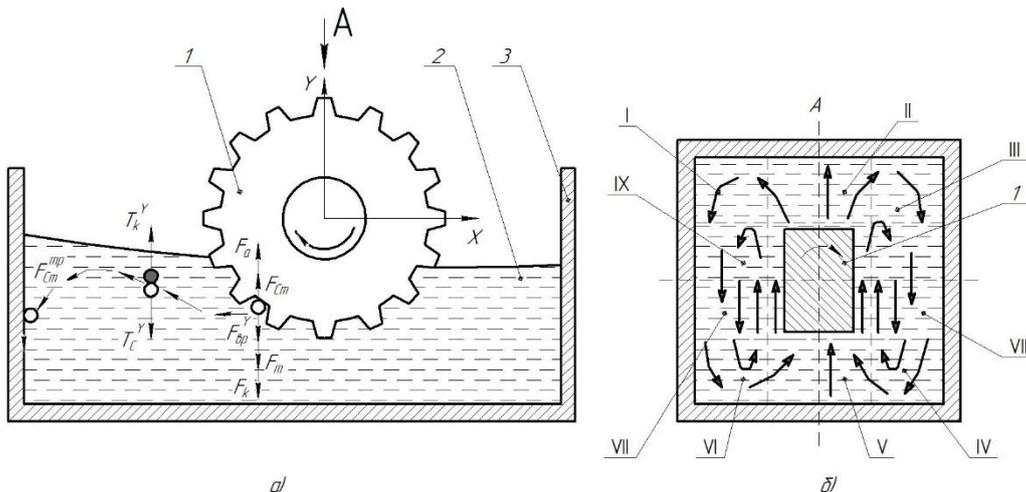


Рис. 2. Схема перемещений РСМ в объеме коробки передач:

а) силы, действующие на частицу в процессе работы; б) схема зон движения РСМ;
1 – шестерня, 2 – РСМ; 3 – корпус редуктора, I-IX – характерные зоны движения РСМ

Анализ принципиальной схемы (рис. 2) показывает, что в зонах I, III, IV и VI существует вероятность накопления загущающей добавки в углах корпусных деталей трансмиссии. Для зоны II характерен повышенный уровень РСМ в связи с его перемещением внутри корпусной детали под воздействием вращающейся шестерни 1. В зоне V уровень РСМ ниже, чем в зоне II, так как из этой области осуществляется забор РСМ шестерней. Для зон VII и VIII характерно вихревое движение РСМ вследствие воздействия на него шестерни, а также заданной конфигурацией корпусной детали траектории. В зоне IX осуществляется захват и направление РСМ зубьями шестерни для смазывания других элементов коробки передач.

Допустим, что вращающимся зубчатым колесом из зоны V забирается некоторый объем РСМ dV_5 и подается в зону II. Тогда при прохождении зон VII и VIII возникают завихрения, где скапливаются объемы РСМ dV_7 и dV_8 ($dV_7 = dV_8$), т. е.

$$dV_2 = dV_5 - \left(\frac{dV_7 + dV_8}{2} \right) - dV_9. \quad (11)$$

Далее РСМ отражается от стенки коробки передач, меняет направление и ударяется в углы коробки передач в зонах I и III, т. е.

$$dV_3 = dV_1 = \frac{dV_2}{2}. \quad (12)$$

Затем РСМ завихряется в зонах VII и VIII и движется в зоны IV и VI, т. е.

$$dV_4 = dV_6 = dV_3 - \frac{dV_7}{2}. \quad (13)$$

Перемещаясь далее, РСМ подвергается воздействию шестерни и попадает сначала в зону V, а затем в зону II:

$$dV_5' = dV_6 + dV_4 = dV_5 - 2dV_7 - dV_9. \quad (14)$$

Из приведенных выше соотношений следует, что при функционировании коробки передач объемы РСМ в различных зонах изменяются со временем. На частицу в общем случае будут действовать объемные и поверхностные силы, представленные на схеме (рис. 3).

Ввиду малости значений сил F_{κ} , F_{mp}^{cm} , T_{κ} и T_c по сравнению с другими силами, ими можно пренебречь. Равнодействующая сил инерции $F_{\Sigma u}$ определяется такими параметрами, как скорость движения энергетического средства, его вибрации при выполнении технологической операции, характеристик опорной поверхности и т.д. Поэтому данный показатель имеет случайный характер и может быть приравнен к нулю для упрощения методики расчета.

Условие витания анализируемого элемента в РСМ при функционировании агрегата трансмиссии на примере коробки передач примет следующий вид [11]:

$$F_a + F_{Cm} - F_m - F_{ep} = 0. \quad (15)$$

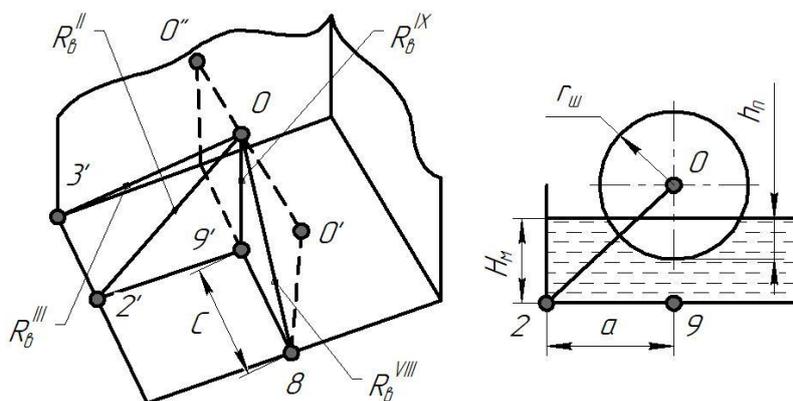


Рис. 3. Схема определения конструктивных размеров коробки передач, влияющих на процесс осаждения загущающих частиц в РСМ:

O – центр вращения шестерни; a , c – конструктивные размеры коробки передач; h_n – глубина погружения шестерни в РСМ; H_m – высота слоя РСМ в коробке передач; OO'' – ось вращения вала шестерни; F_m – сила тяжести, Н; F_{ep} – центробежная сила инерции, направленная от оси вращения, Н; F_{κ} – Кориолисова сила, Н; $F_{\Sigma u}$ – равнодействующая от действия сил инерции (в том числе включает силу от вибрации трактора при работе двигателя), Н; F_a – выталкивающая сила (Архимедова), Н; F_{Cm} – сила сопротивления движению частиц в масле, Н; F_{mp}^{cm} – сила трения о металлические стенки коробки передач, Н; T_{κ} и T_c – силы трения качения и скольжения о твердые частицы осаждения (например, абразивные примеси), Н

Составляющие уравнения определяются следующими зависимостями:

$$F_a = \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_m; F_{Cm} = C_x \rho_m \frac{v_m^2}{2} S_c; F_m = \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_c g; F_{ep} = m_c \cdot a_{ep} = m_c \cdot \frac{v_{ep}^2}{2} = \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_c \omega^2 R_g, \quad (16)$$

где C_x – безразмерный эмпирический коэффициент сопротивления (зависит от числа Рейнольдса);

v_m – скорость движения растительного смазочного материала, м/с;

S_c – характерная площадь частицы (для шара $S_c = \pi r_c^2$), м²;

a_{ep} – ускорение вращения частицы, м/с²;

v_{ep} – скорость вращения частицы, м/с;

ω – угловая скорость вращения зубчатого колеса, с⁻¹;

R_g – радиус вращения для частиц, м.

Скорость движения масла определится из уравнения:

$$v_m = U_{oc} \frac{\omega^2 r_c}{g}. \quad (17)$$

Подставив уравнения (16) и (17) в уравнение (15), получим:

$$\frac{4}{3} \pi r_c^3 g \rho_m + C_x \rho_m \frac{v_m^2}{2} \pi r_c^2 - \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_c g - \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_c \omega^2 R_g = 0. \quad (18)$$

Путем математических преобразований получим:

$$v_m = 2 \sqrt{\frac{2r_c(g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_c R_g)}{3C_x \rho_m}}; \quad (19)$$

$$r_c = \frac{8g^2(g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_c R_g)}{3C_x \rho_m U_{oc}^2 \omega^4}, \quad (20)$$

где $\Delta\rho = \rho_c - \rho_m$ – разность плотностей материала частицы добавки и растительного смазочного материала, кг/м³.

Если подставить формулу (7) в уравнение (20), получим:

$$r_c < \sqrt[5]{\frac{54v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_c R_g)}{C_x \omega^4 N_c^2 \Delta\rho^2}}. \quad (21)$$

Коэффициент C_x в свою очередь зависит от числа Рейнольдса Re :

$$C_x = \frac{d}{Re^m}, \quad (22)$$

где d и m – величины, определяемые опытным путем.

При функционировании энергетического средства в агрегатах трансмиссии от вращающихся шестерен возникает турбулентный режим движения РСМ, характеризующийся значениями числа Рейнольдса в пределах 1000...200000 (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость числа Рейнольдса от режима движения масла

Число Рейнольдса Re	Значения величин		Режим движения масла
	d	m	
0...1	24	1	ламинарный
1...50	25	3/4	ламинарный
50...1000	4	3/10	переходный
1000...200000	0,45	0	турбулентный

С учетом данных таблицы 1 запишем:

$$C_x = \frac{0,45}{Re^0} = 0,45. \quad (23)$$

Подставив значение (23) в выражение (21), получим:

$$r_q < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_q R_g)}{4\omega^4 N_q^2 \Delta\rho^2}}. \quad (24)$$

По результатам теоретического анализа можно заключить, что $v_m = f_1(r_q, \rho_q, \rho_m, \omega, R_g)$, $r_q = f_2(v_m, \omega, \rho_q, \rho_m, R_g, N_q)$, т.е. v_m и r_q , определяются главным образом физико-химическими свойствами анализируемых элементов и среды в виде РСМ, а также рабочими режимами и конструктивными особенностями агрегатов трансмиссии энергетического средства.

Анализ рисунка 3 позволяет заключить, что линейный размер анализируемого элемента (радиус частиц r_q) стремится к максимальным значениям в точках 2', 3', 8' и 9', расположенных в характерных зонах II, III, VIII и IX.

Для этих зон соответственно имеем:

$$R_g^{IX} = H_m + r_{iu} - h_n = b, \quad r_q^{IX} < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_q b)}{4\omega^4 N_q^2 \Delta\rho^2}}; \quad (25)$$

$$R_g^{VIII} = \sqrt{b^2 + c^2}, \quad r_q^{VIII} < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_q \sqrt{b^2 + c^2})}{4\omega^4 N_q^2 \Delta\rho^2}}; \quad (26)$$

$$R_g^{II} = \sqrt{b^2 + a^2}, \quad r_q^{II} < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_q \sqrt{b^2 + a^2})}{4\omega^4 N_q^2 \Delta\rho^2}}; \quad (27)$$

$$R_g^{III} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, \quad r_q^{III} < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_q \sqrt{a^2 + b^2 + c^2})}{4\omega^4 N_q^2 \Delta\rho^2}}. \quad (28)$$

При сравнении значений радиусов частиц r_c для разных зон, видно, что $r_c^{IX} < r_c^{VIII}$, $r_c^{VIII} < r_c^{III}$, $r_c^{II} < r_c^{III}$, $r_c^{IX} < r_c^{II}$. Таким образом, во время функционирования агрегатов трансмиссии на частицу загущающей присадки, находящуюся в движении, с увеличением расстояния турбулентные слои РСМ оказывают большее воздействие. В частности, при комплексном воздействии на РСМ нескольких шестерен одновременно. Как следствие, размер анализируемых элементов в состоянии витания также увеличивается.

Таким образом, для того, чтобы частица в масле во время работы находилась в процессе витания, необходимо, чтобы ее размер был $r_c^{sum} \leq r_c^{IX}$, т.е.:

$$r_c^{sum} < 3 \cdot \sqrt[5]{\frac{15v_m^2 \rho_m (g \cdot \Delta\rho + \omega^2 \rho_c b)}{4\omega^4 N_c^2 \Delta\rho^2}} \quad (29)$$

В наиболее распространенных марках сельскохозяйственных тракторов агрегаты трансмиссии (коробка передач, задний мост) оборудованы объединенными масляными емкостями в виде ванн. Соответственно, угловая скорость зубчатых зацеплений главных передач меньше, чем зубчатых зацеплений коробок передач. Таким образом, из-за конструкции коробки передач и задних мостов, размер частиц добавки Литол-24, находящихся в процессе витания, следует определять для условий коробки передач по выражению (29) [10].

Для решения третьей задачи был проведен анализ процесса движения частиц загущающей добавки в РСМ в статическом и динамическом режимах с учетом конструктивных особенностей агрегатов трансмиссии распространенных в сельском хозяйстве моделей тракторов. Сельскохозяйственные тракторы длительное время могут находиться на хранении (3...6 месяцев в осенне-зимний период) при колебании температуры в пределах +20...-20 °С и ниже. В условиях минусовых температур изменяются физические свойства РСМ, такие как кинематическая вязкость и плотность, результатом чего является увеличение длительности процесса осаждения элементов загущающей присадки (зависимость 9). В связи с этим при выявлении оптимального размера исследуемых частиц загущающей присадки в случае длительного хранения техники $r_{c^{oc}}$ возникает необходимость учета температуры окружающей среды +20 °С, а также длительность пребывания техники на хранении. Рассчитаем линейные характеристики частиц загущающей присадки (формула 10) для статического режима в режиме хранения РСМ, а также определим эти же параметры для частиц загущающей присадки в динамическом режиме при работе механической коробки передач распространенных моделей тракторов в зависимости от их конструктивных особенностей.

В рамках решения четвертой задачи по результатам теоретических исследований предлагается считать рациональным размером частиц добавок к РСМ, удовлетворяющим конструктивным особенностям коробок передач распространенных тракторов и условию хранения РСМ в течение 6 месяцев при температуре окружающего воздуха +20 °С, $r_{c^{pac}} = r_{c^{sum}} (1,08...1,2) \cdot 10^{-6}$ м.

Результаты исследований. При условии отсутствия теплообмена РСМ с окружающей средой скорость и время осаждения частиц определяется по формулам (7) и (10) (условие длительного хранения). Из-за конструкции коробки передач и задних мостов размер частиц добавки Литол-24, находящихся в процессе витания, следует определять для условий коробки передач по выражению (29). Результаты расчета линейных характеристик частиц загущающей присадки для статического режима в режиме хранения РСМ представлены в таблице 2. Результаты расчета этих же параметров для частиц загущающей присадки в динамическом режиме при работе механической коробки передач распространенных моделей тракторов в зависимости от их конструктивных особенностей представлены в таблице 3 [10].

Таблица 2

Размер частиц добавок при условии хранения растительного смазочного материала

Значения показателей	Марка трактора			
	ДТ-75	Т-402-01	BELARUS 80.1/82.3	ЛТЗ-60
Высота слоя масла, $H_m, \cdot 10^{-3}$ м	110	110	120	100
Отношение объема масла к площади масляной ванны, $10^{-4} \text{ м}^3 / \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$	9,9/9	7,5/6,8	14,4/12	6/6
Размер неосевших частиц, $r_{c^{oc}}, \cdot 10^{-6}$ м, менее	2,96	2,96	3,09	2,82

Таблица 3

Размер частиц добавок при условии работы растительного смазочного материала

Значения показателей	Марка трактора			
	ДТ-75	T-402-01	BELARUS 80.1/82.3	ЛТЗ-60
Конструктивный размер b , 10^{-3} м	139	126	144	104
Угловая скорость вращения, ω , c^{-1}	184,1	179	235,1	187,3
Размер частиц, r_i^{sum} , $\cdot 10^{-6}$ м, менее	1,179	1,171	1,079	1,109

В идентичных условиях в процессе хранения со временем частицы, не осевшие полностью на дно корпуса агрегата трансмиссии в течение полугода, увеличиваются в размерах. Наряду с этим в РСМ во взвешенном состоянии останутся лишь частицы загущающей присадки, уступающие в размерах осевшим на дно (таблица 2). Из представленных данных видно, что РСМ в тракторах с большей высотой слоя H_M обладает после хранения лучшими триботехническими свойствами, чем в тракторах с меньшей высотой слоя H_M .

Из таблицы 3 видно, что на размер частиц, подвергающихся динамическому воздействию с переходом в режим витания, наиболее значительно влияет угловая скорость пары шестерен. Заданный конструктивно линейный параметр b при этом оказывает крайне незначительное влияние. Объяснить это явление можно тем, что на витающую в толще РСМ частицу загущающей присадки сильнее влияют силы, возникающие при вращении зубчатых пар (параметр ω), чем гравитационное поле (параметр b).

Анализ таблиц 2 и 3 показывает, что $r_i^{oc} > r_i^{sum}$. Линейный параметр неосевших частиц загущающей присадки r_i^{oc} изменяется в широком диапазоне, коррелируя с моделью энергетического средства, и не удовлетворяет условию работы РСМ. В то же время линейный параметр витающих частиц загущающей присадки r_i^{sum} удовлетворяет сразу двум условиям: работы РСМ в агрегатах трансмиссии энергетических средств сельскохозяйственного назначения и хранения этих же энергетических средств. Следовательно, рациональный линейный параметр частиц загущающей присадки можно обосновать, исходя из выражения (24). Рациональный размер частиц добавок к РСМ $r_i^{pac} = r_i^{sum} (1,08...1,2) \cdot 10^{-6}$ м.

Заключение. Таким образом, можно заключить, что при формировании РСМ на основе рапсового масла для увеличения вязкости в состав смазочной композиции рационально ввести добавку Литол-24. Так как Литол-24 имеет плотность больше, чем плотность растительного смазочного материала, то происходит его осаждение с течением времени. Теоретически определенный размер частиц добавки должен удовлетворять не только условию хранения РСМ (до 6 месяцев включительно), но и условию его работы в агрегатах трансмиссии, когда на частицу действуют большие по значению силы, чем гравитационное поле. В результате экспериментальных исследований триботехнических свойств растительного смазочного материала необходимо экспериментально подтвердить полученный аналитическими расчетами рациональный размер частиц добавки, равный $r_i^{pac} = (1,08...1,2) \cdot 10^{-6}$ м. Триботехнические свойства РСМ можно в дальнейшем улучшить путем обработки ультразвуковым и комплексным излучением (лазерным, инфракрасным излучением и магнитным полем) за счет усиления метаболических реакций в РСМ и увеличения эффекта от их совместного использования.

Список источников

1. Болдашев Г. И., Быченин А. П., Володько О. С. Использование альтернативных топливно-смазочных материалов в автотракторной технике : монография. Кинель : РИО СГСХА, 2017. 169 с.
2. Бухвалов А. С., Быченин А. П., Володько О. С. Повышение ресурса ходовой системы гусеничных машин : монография. Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2021. – 157 с.
3. Приказчиков М. С. Повышение ресурса гидроподжимных муфт коробок передач с гидроуправлением улучшением режима трения фрикционных дисков : дисс. ... канд. техн. наук. Пенза, 2013. 197 с.
4. Уханов А. П., Володько О. С., Быченин А. П., Ерзамаев М. П. Показатели физико-химических, теплотворных, триботехнических свойств масла крамбе абиссинской и дизельного смесового топлива // Нива Поволжья. 2018. №2(47). С. 141-148.
5. Володько О. С., Быченин А. П., Родкин И. С. Сравнительная оценка физико-химических и триботехнических свойств минерального и рапсового масла // Самара Агровектор. 2024. №2. С. 5-11.
6. Ефимов В. В. Обеспечение эксплуатационной надежности гидросистем сельскохозяйственной техники при альтернативном использовании рапсового масла в качестве рабочей жидкости : дисс. ... канд. техн. наук. Саранск, 2000. 218 с.
7. Сергатенко С. Н., Федорова И. Л., Игнатова Т. Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. №3(59). С. 83-88.

8. Едуков Д. А. Снижение скорости изнашивания зубчатых передач тракторных трансмиссий применением магнитогидродинамической обработки растительно-минерального смазочного материала : дисс. ... канд. техн. наук. Пенза, 2009. 252 с.
9. Жорник В. И., Ивахник А. В., Запольский А. В. Современные тенденции в создании экологически безопасных био-разлагаемых смазочных материалов // Актуальные вопросы машиноведения. 2023. Т. 12. С. 313-319.
10. Едуков В. А. Снижение энергетических затрат в тракторных трансмиссиях путем использования легированного рапсового масла : дисс. ... канд. техн. наук. Пенза, 2003. 224 с.
11. Ленивец Г. А., Едуков В. А. Теоретическое определение оптимальных размеров частиц добавок, находящихся в процессе витания в масле // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. 2003. С. 135-139.

References

1. Boldashev, G. I., Bychenin, A. P. & Volodko, O. S. (2017) Use of alternative fuel and lubricants in automotive equipment. Kinel : RIO SSAA (in Russ).
2. Bukhvalov, A. S., Bychenin, A. P. & Volodko, O. S. (2021) Increasing the resource of the running system of tracked vehicles. Kinel: RIO SSAU (in Russ).
3. Prikazchikov, M. S. (2013) Increasing the resource of hydraulic clutches of gearboxes with hydro-control improving the friction mode of friction discs. *Candidate's thesis*. Penza. 197 p. (in Russ).
4. Ukhanov, A. P., Volodko, O. S., Bychenin, A. P. & Yezamaev, M. P. (2018) Indicators of physicochemical, calorific, tribological properties of crambe oil of Abyssinian and diesel mixed fuel. *Niva Volga region (Niva Povolzh'ya)*, 2(47), 141-148 (in Russ).
5. Volodko, O. S., Bychenin, A. P. & Rodkin, I. S. (2024) Comparative assessment of the physicochemical and tribological properties of mineral and rapeseed oil. *Samara Argovector (Samara Argovektor)*, 2, 5-11 (in Russ).
6. Efimov, V. V. (2000) Ensuring the operational reliability of hydraulic systems of agricultural machinery with the alternative use of rapeseed oil as a working fluid. *Candidate's thesis*. Saransk. 218 p. (in Russ).
7. Sergatenko, S. N., Fedorova, I. L. & Ignatova, T. D. (2022) Influence of oil pollution on the activity of soil enzymes of classes of oxidoreductases and hydrolases. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy (Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii)*, 3(59), 83-88 (in Russ).
8. Edukov, D. A. (2009) Reduction of wear rate of gear transmissions of tractor transmissions using magnetohydrodynamic treatment of vegetable-mineral lubricant. *Candidate's thesis*. Penza. 252 p. (in Russ).
9. Zhornik, V. I., Ivakhnik, A. V. & Zapolsky, A. V. (2023) Modern trends in the creation of environmentally friendly biodegradable lubricants. *Current issues of mechanical engineering (Aktual'nye voprosy mashinovedeniya)*, 12, 313-319 (in Russ).
10. Edukov, V. A. (2003) Reducing energy costs in tractor transmissions by using doped rapeseed oil. *Candidate's thesis*. Penza. 224 p. (in Russ).
11. Lenivtsev, G. A. & Edukov, V. A. (2003) Theoretical determination of the optimal particle size of additives in the process of floating in oil. *Sovremennye tekhnologii, sredstva mekhanizacii i tekhnicheskoe obsluzhivanie v APK : sbornik nauchnyh trudov Povolzhskoj mezhvuzovskoj konferencii* (Modern technologies, mechanization tools and maintenance in the agro-industrial complex: a collection of scientific works of the Volga Intercollegiate Conference), 135-139 (in Russ).

Информация об авторах:

О. С. Володько – кандидат технических наук;
А. П. Быченин – кандидат технических наук;
В. А. Едуков – кандидат технических наук.

Information about the authors:

O. S. Volodko – Candidate of Technical Sciences;
A. P. Bychenin – Candidate of Technical Sciences;
V. A. Edukov – Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 1.09.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 1.09.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья
УДК 629.4.016.2:631.31
doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-65-71

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТУРБОДИСКОВЫХ КУЛЬТИВАТОРОВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Игорь Евгеньевич Припоров¹✉, Владимир Станиславович Курасов², Владимир Игоревич Бацунов³

^{1, 2, 3} Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

¹i.priporov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>

²kurasoff@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>

³vovasvovas70@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>

Резюме. Целью исследований является проведение энергетической оценки серийных турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. Оценку турбодисковых культиваторов проводили путем анализа характеристик турбодисковых культиваторов фирм Агрифест-Экспресс (12 моделей) и Salford (21 модель). Рассмотрены показатели турбодисковых культиваторов, к которым отнесены: ширина захвата, требуемая мощность и производительность. На основе данных показателей определены энергетические показатели турбодисковых культиваторов фирм Агрифест-Экспресс и Salford в зависимости от глубины обработки. К данным показателям отнесли: энергоёмкость турбодискового культиватора, его удельную эффективность при глубине обработки, удельную мощность на 1 м ширины захвата турбодискового культиватора. Приведены статистические значения характеристик турбодисковых культиваторов фирм «Агрифест-Экспресс» и Salford. Определены энергетические показатели турбодисковых культиваторов фирм Агрифест-Экспресс и Salford. Турбодисковые культиваторы фирмы Salford имеют больше ширину захвата по сравнению с культиваторами Агрифест-Экспресс, а также для них необходимы тракторы мощностью свыше 310 л.с., диапазон изменения требуемой мощности – 96...604 л.с., а их производительность ниже по сравнению с Агрифест-Экспресс. Средние значения энергетических показателей турбодисковых культиваторов фирмы Salford выше по сравнению с Агрифест-Экспресс с разницей: $E = 45 \%$, $N_{y\partial} = 19...76 \%$ при разной глубине обработки и $K_{y\partial} = 19 \%$. При всем их многообразии наибольшее распространение получила модель ТДК-1420/96 фирмы Агрифест-Экспресс, которая имеет следующие энергетические показатели: энергоёмкость – 12,95 кВт·ч/га, удельная эффективность – 383,28 кВт/га, удельная мощность на 1 м ширины захвата – 19,16 кВт/м. При этом, данная модель позволяет обрабатывать площадь 0,000071...0,000288 га с разной глубиной обработки – 0,05...0,06 м.

Ключевые слова: вертикальная обработка почвы, статистические значения, турбодисковый культиватор, глубина обработки, энергетические показатели, волнистый диск.

Для цитирования Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И. Энергетическая оценка турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Т. 9, № 4. С. 65-71. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-65-71

Original article

ENERGY ASSESSMENT OF TURBODISC CULTIVATORS FOR VERTICAL TILLAGE

Igor E. Priporov¹✉, Vladimir S. Kurasov², Vladimir I. Batsunov³

^{1, 2, 3} Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

¹i.priporov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>

²kurasoff@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>

³vovasvovas70@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>

Abstracts. The purpose of the research is to conduct an energy assessment of serial turbodisc cultivators for vertical tillage. Turbodisc cultivators were evaluated by analyzing the characteristics of turbodisc cultivators from Agrifrest-Express (12 models), Salford (21 models). The indicators of turbodisc cultivators are considered, which include the width of the grip, the required power and productivity. Based on these indicators, the energy indicators of the turbodisc cultivators of the companies Agrifrest-Express and Salford were determined, depending on the depth of processing. These indicators included the energy intensity of the turbodisc cultivator, its specific efficiency at the processing depth, the specific power per 1 m of the width of the turbodisc cultivator. The statistical values of the characteristics of turbodisc cultivators from the companies "Agrifrest-Express" and Salford are given. The energy indicators of turbodisc cultivators from Agrifrest-Express and Salford companies have been determined. Salford turbodisc

cultivators have a larger grip width compared to the Agrifest Express, and they also require tractors with a capacity of over 310 hp, the range of required power is 96 ...604 hp, their productivity is lower compared to the Agrifest Express. The average energy values of Salford turbodisc cultivators are higher compared to the Agrifest Express with a difference $E = 45\%$, $N = 19...76\%$ at different processing depths and $K_d = 19\%$. With all their diversity, the TDK-1420/96 model of the Agrifest-Express company has become the most widespread, which has the following energy indicators: energy intensity – 12.95 kWh/ha, specific efficiency – 383.28 kW/ha, specific power per 1 m of width – 19.16 kW/m. At the same time, this model will allow processing an area of 0.000071...0.000288 hectares with different processing depths – 0.05...0.06 m.

Keywords: vertical tillage, statistical values, turbodisc cultivator, processing depth, energy indicators, wavy disk.

For citation: Priporov, I. E., Kurasov, V. S. & Batsunov, V. I. (2024). Energy assessment of turbodisc cultivators for vertical tillage. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, № 4. С. 65-71. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-65-71 (in Russ).

Вертикальная обработка почвы (ВОП) [1] появилась в США по системе no-till для выращивания кукурузы. Оборудование для ВОП разработано многими сельскохозяйственными производителями: Great Plains, McFarlane Manufacturing, Salford Group, Summers Manufacturing, Thurston Manufacturing, Earth Master, Kuhn Krause, Environmental Tillage Systems, HCC Inc., Case IH, Landoll Corp., Kongskilde Industries, Maschio и Sunflower [2].

ВОП имеет преимущества, которые заключаются в лучшем измельчении почвы и остатков, удалении их без полного заделывания [2].

Среди конструкций дисковых рабочих органов (ДРО) наибольший интерес представляют волнистые диски (ВД), у которых волны искривлены под углом, что позволяет ей заглубляться вертикально, а выглубляться горизонтально для измельчения растительных остатков (РО). Однако при этом существует проблема по измельчению и сгуживанию пожнивных остатков (ПО); забиванию ДРО почвой и РО и недостаточное ее крошение [3].

Известные ВД распространены на турбодисковых культиваторах (ТДК) фирм Salford, Агрифест-Экспресс и др., которые обрабатывают почву без формирования в ней уплотненного слоя [4].

Наибольшего успеха в производстве ВД, которые измельчают пожнивные остатки после уборки кукурузы, достигла фирма «Great Plains». ВД заглубляются до 15 см (Turbo-Coulter) для измельчения корневой системы. Турбодисковые культиваторы с ВД модели RTS фирмы «Salford» имеют высокую скорость – до 19 км/ч, что позволяет повысить производительность агрегата, но они не обеспечивают качественное измельчение РО в продольном направлении [5].

На серийных ТДК фирмы «Агрифест-Экспресс» установлены дисковые турбодиски (колтеры) [6] для рыхления почвы и измельчения РО [7].

Пружинные стойки на ТДК «Экспресс» работают на каменистых почвах.

Недостатки ТДК: сложная конструкция, высокая стоимость. При обработке почвы без растительных остатков путем многократного действия ДРО образуются эрозивно-опасные частицы [7].

Повысить качество ВОП [8] возможно путем снижения энергетических показателей ТДК.

Цель исследований: провести энергетическую оценку серийных ТДК для вертикальной обработки почвы.

Задача исследований: определить энергетические показатели ТДК при вертикальной обработке почвы в зависимости от глубины обработки.

Материал и методы исследований. Оценку ТДК проводили путем анализа их характеристик. Для анализа использовали ТДК фирм Агрифест-Экспресс (12 моделей) и Salford (21 модель).

Рассматривали следующие показатели: B – ширина захвата, м; P – требуемая мощность, кВт; W – производительность, га/ч; E – энергоёмкость, кВт·ч/га; $N_{уд}$ – удельная эффективность, кВт/га; $K_{уд}$ – удельная мощность на 1 м ширины захвата, кВт/м.

Результаты исследований. Статистические значения характеристик ТДК фирм «Агрифест-Экспресс» и Salford представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Характеристики ТДК фирмы Агрифест-Эксперсс

Наименование показателя	В, м	Р, кВт	W, га/ч	Е, кВт·ч/га	N _{уд} , кВт/га		K _{уд} , кВт/м
					0,05м	0,06м	
Среднее значение	8,26	167,35	11,96	14,09	406,05	100,16	20,30
Среднеквадратическое отклонение σ	2,86	57,08	4,36	0,92	16,41	6,05	0,82
$S_{\bar{x}}^*$	0,826	16,478	1,259	0,267	4,738	1,746	0,237
V, %*	34,64	34,11	36,46	6,56	4,04	6,04	4,04
$S_{\bar{x}}\%$ *	10,00	9,85	10,53	1,89	1,17	1,74	1,17
Максимальное значение	14,20	272,13	21	16,55	427,30	110,33	21,36
Минимальное значение	3,90	80,9	6	12,96	383,28	92,01	19,16

* $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней; V, % - коэффициент вариации, %; $S_{\bar{x}}\%$ - относительная ошибка выборочной средней

Таблица 2

Характеристики ТДК фирмы Salford

Наименование показателя	В, м	Р, кВт	W, га/ч	Е, кВт·ч/га	N _{уд} , кВт/га		K _{уд} , кВт/м
					0,05м	0,06м	
Среднее значение	9,21	228,29	9,03	25,56	500,91	417,42	25,05
Среднеквадратическое отклонение σ	4,11	109,05	4,03	5,21	102,08	85,06	5,10
$S_{\bar{x}}$	0,896	23,796	0,878	1,136	22,275	18,562	1,114
V, %	44,59	47,77	44,59	20,38	20,38	20,38	20,38
$S_{\bar{x}}\%$	9,73	10,42	9,73	4,45	4,45	4,45	4,45
Максимальное значение	15,54	444	15,23	35,86	702,79	585,66	35,14
Минимальное значение	3,66	70,5	3,59	19,66	385,25	321,04	19,26

Анализ представленных в таблицах 1 и 2 данных показывает, что:

1. ширина захвата ТДК составляет 8,26...9,21 м с ошибкой выборочной средней 0,826...0,896 м. Максимальное значение – 14,2...15,54 м и минимальное в пределах 3,66...3,90 м. Разница между минимальными значениями не существенная;
2. требуемая мощность трактора находится в пределах 167,35...228,29 кВт (228...310 л.с.) с ошибкой выборочной средней 16,478...23,796 кВт. Максимальное значение – 272,13...444 кВт и минимальные – 70,5...80,9 кВт;
3. производительность ТДК – 9,03...11,96 га/ч с ошибкой выборочной средней 0,878...1,259 га/ч. Максимальное значение – 15,23...21,0 га/ч и минимальное – 3,59...6,0 га/ч. Разница составила 24,5 % при относительной ошибке выборочной средней 9,73...10,53 %;
4. энергоёмкость варьируется в пределах 14,09...25,56 кВт·ч/га с ошибкой выборочной средней 0,267...1,136 кВт·ч/га. При этом относительная ошибка выборочной средней – 1,89...4,45 %, то есть точность результатов высокая;
5. удельная его эффективность при глубине обработки 0,05 м составляет 406,05...500,91 кВт/га и 0,06 м – 100,16...417,42 кВт/га при $S_{\bar{x}}\% = 1,17 \dots 4,45 \%$, точность результатов высокая;
6. удельная мощность на 1 м ширины захвата – 20,30...25,05 кВт/м при $S_{\bar{x}}\% = 1,17 \dots 4,45 \%$, то есть точность результатов высокая.

Энергетические показатели ТДК фирм Агрифест-Экспресс и Salford приведены на рисунках 1 и 2.

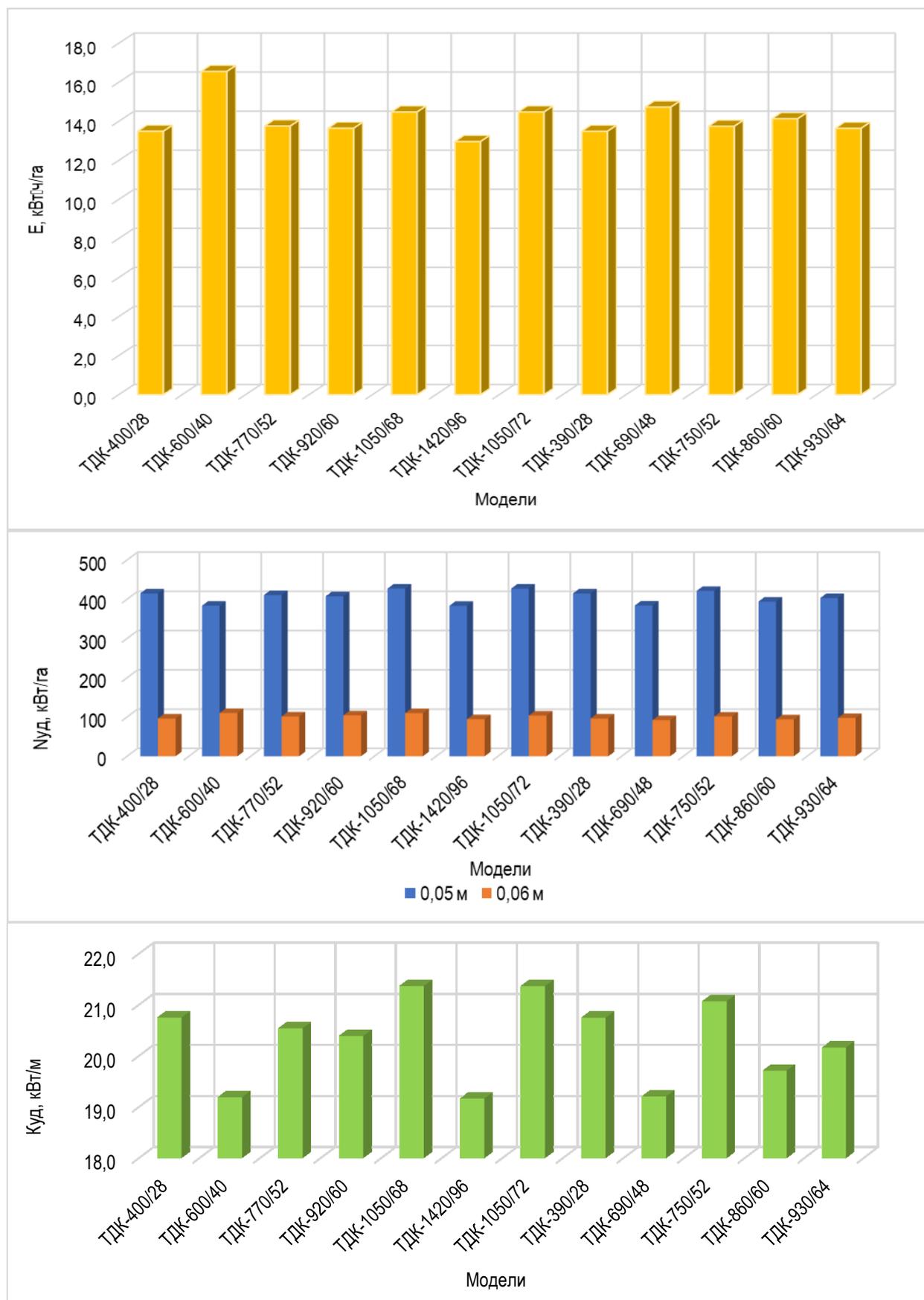


Рис. 1. Энергетические показатели ТДК фирмы Агрифест-Экспресс

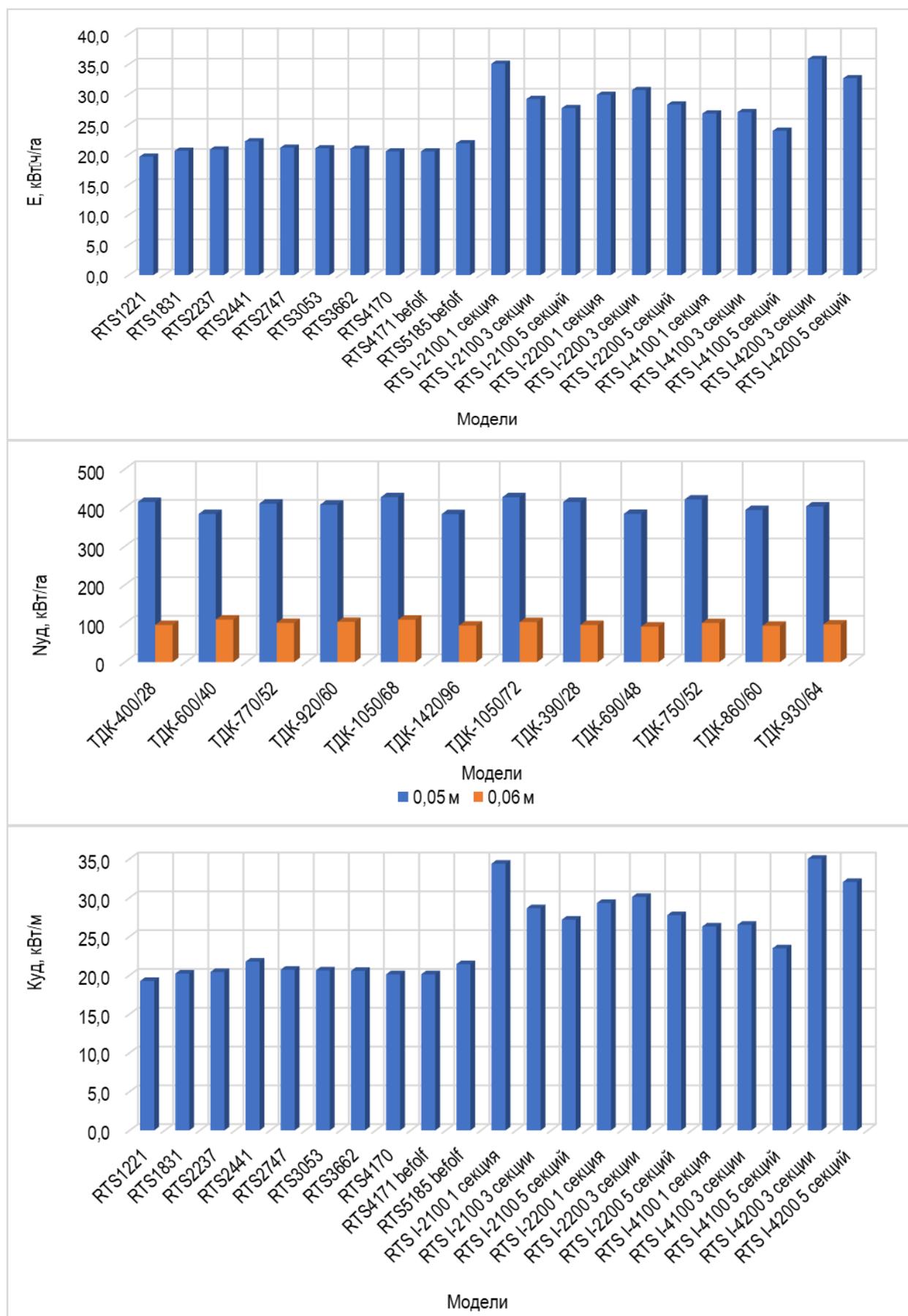


Рис. 2. Энергетические показатели ТДК фирмы Salford

По данным сайта «Агробаза» производство турбодисковых культиваторов RTS1221...5185 befolf прекращено в 2014 г. Наименьшая энергоёмкость ТДК фирмы Агрифест-Экспресс (рис. 1) наблюдается у марки ТДК-1420/96 (12,95 кВт·ч/га), наибольшая – у ТДК-600/40 при площади обработки 0,000071...0,000288 га по сравнению с 0,0000345...0,00012 га. Удельная эффективность – ТДК-690/48 составляет 92,01 кВт/га, ТДК-1420/96 – 383,28 кВт/га по сравнению с марками ТДК-600/40 (110,33 кВт/га), ТДК-1050/72 (427,24 кВт/га) при разной глубине обработки. При этом удельная мощность на 1 м ширины захвата ТДК минимальна у ТДК-1420/96 (19,16 кВт/м), ТДК-600/40 (19,19 кВт/м), ТДК-690/48 (19,20 кВт/м) в сравнении с ТДК-750/52 (21,07 кВт/м) и ТДК-1050/68 (21,36 кВт/м).

Наименьшие энергетические показатели у модели RTS1221 фирмы Salford (рисунок 2), который способен при ВОП обработать площадь 0,000018...0,000022 га по сравнению с RTS I-4200 3 секции – 0,000039...0,000047 га.

Заключение. Турбодисковые культиваторы фирмы Salford имеют больше ширину захвата по сравнению с Агрифест-Экспресс, а также для них необходимы тракторы мощностью свыше 310 л.с., диапазон изменения требуемой мощности – 96...604 л.с., также их производительность ниже по сравнению с Агрифест-Экспресс. Средние значения энергетических показателей ТДК фирмы Salford выше по сравнению с Агрифест-Экспресс с разницей: $E = 45$, $N_{уд} = 19...76$ % при разной глубине обработки и $K_{уд} = 19$ %.

При всем многообразии моделей наибольшее распространение получила модель ТДК-1420/96 фирмы Агрифест-Экспресс, которая имеет следующие энергетические показатели: энергоёмкость – 12,95 кВт·ч/га, удельная эффективность – 383,28 кВт/га, удельная мощность на 1 м ширины захвата – 19,16 кВт/м. Данный ТДК позволяет обработать площадь 0,000071...0,000288 га при глубине обработки 0,05...0,06 м с минимальными энергетическими затратами.

При постоянной глубине обработки использование ВОП повышает площадь обработки.

Список источников

1. Zeng Z., Thoms D., Chen Y., Ma X. Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage // *Scientific Reports*. 2021, Vol. 11(1). P. 2537. DOI:10.1038/s41598-021-82270-9.
2. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical tillage and vertical seeding // *Paper CSBE16-090*. In: CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Halifax, NS, Canada. 2016. July 3-6.
3. Лепешкин Н.Д., Мижурин В.В. Теоретическое обоснование параметров дискового рабочего органа к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2023. № 1(56). С. 101-106.
4. Лепешкин Н.Д. К обоснованию типа дискового рабочего органа почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2022. № 55. С. 148-157.
5. Козлов Н.С. Обзор и анализ конструкций рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для измельчения растительных остатков // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. №1. С. 123-125. EDN: ZBATAT.
6. Zeng, Z.; Chen, Y. The performance of a fluted coulter for vertical tillage as affected by working speed // *Soil & tillage research*. 2018. Vol. 175. Pp. 112–118. doi: 10.1016/j.still.2017.08.006.
7. Бабицкий Л.Ф., Куклин В.А. Анализ и тенденции развития орудий для экологического земледелия // *Научные труды южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»*. 2013. №156. С. 19-25. EDN: SXIQOP.
8. Reynolds CH. M. A, Capetillo B. A, Cadena Z. M., López L. J. A, Zetina L. R. Vertical tillage technology for primary soil preparation // *Global journal of agricultural innovation, research & development*. 2022. Vol. 9. Pp. 10-19. doi: 10.15377/2409-9813.2022.09.2.

References

1. Zeng, Z., Thoms, D. & Chen, Y. et. al. (2021). Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. *Scientific Reports*, 11(1), 2537. doi:10.1038/s41598-021-82270-9
2. Chen, Y. & Damphousse, S., Li H. (2016). Vertical tillage and vertical seeding. *Paper CSBE16-090*. CSBE/SCGAB Annual Conference. Halifax, NS, Canada, July 3-6.
3. Lepeshkin, N. D. & Mizhurin, V. V. (2023). Theoretical substantiation of the parameters of a disk working organ for a tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands. *Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo khozyajstva (Mechanization and electrification of agriculture)*, 1(56), 101-106 (in Russ).
4. Lepeshkin, N. D. (2022). To substantiate the type of disk working organ of a tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands. *Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo khozyajstva (Mechanization and electrification of agriculture)*, 55, 148-157. (in Russ).

5. Kozlov, N. S. (2017). Review and analysis of designs of working bodies of tillage units for crushing plant residues. *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii (Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy)*, 1, 123-125. EDN: ZBATAT. (in Russ).

6. Zeng, Z. & Chen, Y. (2018). The performance of a fluted coulter for vertical tillage as affected by working speed. *Soil & tillage research*, 175, 112-118. doi:10.1016/j.still.2017.08.006

7. Babitsky, L. F. & Kuklin, V. A. (2013). Analysis and trends in the development of tools for ecological agriculture. *Nauchnye trudy yuzhnogo filiala Natsional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovaniya Ukrainy «Krymskij agrotekhnologicheskij universitet» (Scientific papers of the southern branch of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine "Crimean Agrotechnological University")*, 156, 19-25. EDN: SXIQOP.

8. Chávez, M. R., Burela, A. C., Zapata, M. C., López, J. L., & Lezama, R. Z. (2022). Vertical Tillage Technology for Primary Soil Preparation. *Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development*, 9, 10-19. doi: <https://doi.org/10.15377/2409-9813.2022.09.2>

Информация об авторах

И. Е. Припоров – кандидат технических наук, доцент;

В. С. Курасов – доктор технических наук, профессор;

В. И. Бацунов – аспирант.

Information about the authors

I. E. Priporov – Candidate of Technical Sciences;

V. S. Kurasov – Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. I. Batsunov – Postgraduate.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.07.2024; одобрена после рецензирования 23.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.

The article was submitted 31.07.2024; approved after reviewing 23.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 628.511.633.85

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-72-80

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ

Андрей Борисович Чебанов¹, Николай Иванович Стручаев², Светлана Викторовна Адамова³✉,

Юлия Васильевна Чебанова⁴

^{1, 2, 3, 4} Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия,

¹chebanov-ab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8457-0574>

²usun105@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8891-4960>

³adamova164@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4857-4524>

⁴Chebanovafeb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8748-9627>

Резюме. Цель исследований – повышение эффективности обрушивания семян клещевины и разделение ее рушанки в общем технологическом процессе переработки материала. В технологии переработки клещевины важное место занимает операция обрушивания и разделения её рушанки, которая должна предотвратить попадание в конечный продукт переработки ядовитых веществ, таких как рицин, рикнин и аллерген. При применении электрофизических способов воздействия на семена клещевины необходимо иметь представление об электрических свойствах компонентов семян клещевины, таких как ядро и лузга. Знание таких свойств необходимо для разработки устройств, которые будут использовать электрические поля в технологических операциях обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки. Однако, так как семена сельскохозяйственных культур относятся к диэлектрикам, а в любом диэлектрике протекают процессы поляризации, то без понимания этих процессов применительно к семенам клещевины обосновать их электрические свойства не представляется возможным. Поэтому целью статьи является установление процессов в компонентах семян клещевины, протекающих под действием приложенного к ним напряжения путем обоснования параметров электрической схемы замещения. В результате проведенного обоснования, получены уравнения для определения параметров электрической схемы замещения для ядра и семян клещевины, а именно: ёмкости, обусловленной электронной и ионной поляризацией, ёмкости, обусловленной дипольной и структурной поляризацией, сопротивления, обусловленного дипольной и структурной поляризацией, сопротивления току сквозной проводимости. Такие уравнения позволят в процессе исследований установить электрические свойства (тангенс угла диэлектрических потерь, относительную диэлектрическую проницаемость и электропроводность) ядра и лузги семян клещевины с учетом влажности семян, температуры и частоты питающей сети.

Ключевые слова: обрушивание, семена клещевины, рушанка, лузга, ядро, электрофизическое воздействие, переработка клещевины.

Для цитирования: Чебанов А. Б., Стручаев Н. И., Адамова С. В., Чебанова Ю. В. Обоснование параметров электрической схемы замещения компонентов семян клещевины // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. Т. 9, № 4. С. 72-80 doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-72-80

Original article

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF ELECTRICAL SUBSTITUTION DIAGRAM FOR CASTORE SEED COMPONENTS

Andrey B. Chebanov¹, Nikolai I. Struchaev², Svetlana V. Adamova³✉, Yulia V. Chebanova⁴

^{1, 2, 3, 4} Melitopol State University, Melitopol, Russia

¹chebanov-ab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8457-0574>

²usun105@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8891-4960>

³adamova164@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4857-4524>

⁴Chebanovafeb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8748-9627>

Abstract. The purpose of the research is to increase the efficiency of hulling castor bean seeds and separating its crushed seeds in the general technological process of material processing. In the technology of castor bean processing, an important place is occupied by the operation of hulling and separating its crushed beans, which should prevent toxic substances such as ricin, ricinin and allergen from entering the final product of processing. When applying electrophysical methods of influencing castor bean seeds, it is necessary to have an understanding of the electrical properties of the components of castor bean seeds, such as the kernel and husk. Knowledge of such properties is necessary for the development of devices that will use electric fields in the technological operations of hulling

castor bean seeds and separating its crushed grain. However, since the seeds of agricultural crops are dielectrics, and polarization processes occur in any dielectric, it is not possible to substantiate their electrical properties without understanding these processes in relation to castor bean seeds. Therefore, the purpose of the article is to establish processes in the components of castor bean seeds that occur under the influence of voltage applied to them by substantiating the parameters of the electrical equivalent circuit. As a result of the justification, equations were obtained to determine the parameters of the electrical equivalent circuit for the kernel and seeds of castor beans, namely: capacitance due to electronic and ionic polarization, capacitance due to dipole and structural polarization, resistance due to dipole and structural polarization, resistance to through conduction current. Such equations will make it possible in the process of research to establish the electrical properties (dielectric loss tangent, relative dielectric constant and electrical conductivity) of the kernel and husk of castor bean seeds, taking into account the moisture content of the seeds, temperature and frequency of the power supply network.

Key words: hulling, castor bean seeds, rushanka, husk, kernel, electrophysical impact, castor bean processing.

For citation: Chebanov, A. B., Struchaeв, N. I., Adamova, S. V. & Chebanova, Yu. V. (2024). Justification of parameters of electrical substitution diagram for castore seed components. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 9, 4. 72-80. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-72-80

Масличные культуры имеют важное народнохозяйственное значение, поскольку являются источником получения ценных продовольственных и технических продуктов. Среди масличных культур важное место занимает клещевина, основной продукт переработки которой является касторовое масло, используемое для химической, электротехнической, медицинской, авиационной и других отраслей промышленности [1].

Качество тех или иных продуктов переработки клещевины в значительной степени зависит от принятой технологии. В технологии переработки клещевины важное место занимает операция обрушивания и разделения рушанки семян клещевины, которая призвана предотвратить попадание в конечный продукт переработки ядовитых веществ, таких как рицин, рицинин и аллерген [2]. При применении электрофизических способов воздействия на семена клещевины необходимо иметь представление об электрических свойствах [3] компонентов семян клещевины, таких как ядро и лузга. Знание таких свойств необходимы для разработки устройств, которые будут использовать электрические поля в технологических операциях обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки.

Цель исследований: повышение эффективности обрушивания семян клещевины и разделение её рушанки в общем технологическом процессе переработки материала.

Задачи исследований: изучение процессов, протекающих в составных частях семян клещевины и определение параметров схемы замещения для этих компонентов с целью установления их электрических свойств, связанных с процессами поляризации.

Так как семена сельскохозяйственных культур относятся к диэлектрикам [4], а в любом диэлектрике протекают процессы поляризации, то без понимания этих процессов применительно к семенам клещевины, обосновать их электрические свойства не представляется возможным, что и является актуальной задачей данной статьи.

Материал и методы исследований. Важнейшими электрическими свойствами диэлектриков [4], к которым относятся семена сельскохозяйственных культур, являются тангенс угла диэлектрических потерь, относительная диэлектрическая проницаемость и электропроводность этих материалов.

Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$, а также угол диэлектрических потерь характеризует способность диэлектрика рассеивать энергию в электрическом поле. Чем больше будет рассеиваться мощность в диэлектрике, переходящая в тепло, тем больше будет угол диэлектрических потерь δ и его функция $tg\delta$ [5]. В общем случае, выражение для мощности рассеяния энергии в единице объёма диэлектрика (удельные диэлектрические потери), определится по формуле [6]

$$P_{уд} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta E^2, \quad (1)$$

где $P_{уд}$ – удельные потери, Вт/м³;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота, рад/с;

f – частота сети, Гц;

ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м [7];

E – напряженность электрического поля, В/м;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость, о.е.

Относительная диэлектрическая проницаемость ε в выражении (1) будет показывать, во сколько раз поле ослабляется диэлектриком, количественно характеризуя свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле [5]. Процессы поляризации обуславливаются протеканиями токов внутри семени, вследствие которых и поглощается энергия от источника поля [8]. Количество же этой поглощенной энергии будет сильно зависеть, в том числе, от напряженности и частоты сети (1), что также подтверждено в [9,10].

У всех диэлектрических материалов в большей или меньшей степени проявляется электрическая проводимость. Появление электропроводности обусловлено тем, что под воздействием не меняющегося во времени напряжения, такие материалы пропускают очень незначительный ток. Количественно электропроводность характеризуется удельной объёмной проводимостью $\gamma_{об}$ куба размером $1 \times 1 \times 1$ м, причем, постоянный ток проходит через куб между двумя противоположными гранями [11]:

$$\gamma_{об} = \frac{I}{SE}, \quad (2)$$

где I – сила тока, А;

S – площадь поперечного сечения, м²;

E – напряженность электрического поля, В/м;

В прикладных целях электропроводность можно характеризовать величиной обратной удельной объёмной проводимости по физическому смыслу, а именно, удельным объёмным электрическим сопротивлением ρ_v [11]:

$$\rho_v = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (3)$$

где R – объёмное сопротивление исследуемого образца, Ом;

l – толщина образца, м.

Конечной целью при операциях обрушивания семян клещевины и разделения её рушанки является получение чистого ядра без присутствия в нём лузги. На эффективность этих операций с использованием электрофизических способов воздействия будут влиять электрические свойства отдельных компонентов семян (лузги и ядра семени) с учётом их влажности и температуры. При этом, необходимо учитывать тот факт, что с повышением температуры и влажности удельное объёмное сопротивление таких материалов сильно уменьшается. У нейтральных диэлектриков (абсолютно сухой материал лузги и ядра семян клещевины) диэлектрическая проницаемость слабо зависит от температуры, а у полярных (влага) – возрастает с увеличением температуры [12].

В общем понимании, поляризация обуславливается протеканием через диэлектрик токов под действием приложенного к ней напряжения [13]. Но существует большое количество видов поляризации, в результате чего протекают и разные токи в таком диэлектрике [14]. Виды протекающих поляризаций, конечно же, будут зависеть от вида диэлектрика.

Для семян клещевины или их компонентов (лузга и ядро), общий ток, который будет проходить через них под действием приложенного синусоидального напряжения, будет складываться из следующих составляющих:

1. Токов, обусловленных ионной и электронной поляризацией семян. Такие виды поляризации присущи всем твердым диэлектрикам (такими являются и семена клещевины). Явления носят чисто упругий характер, поэтому при таких поляризациях создается только реактивный ток емкостного характера [14]. Наличие процессов ионной и электронной поляризации в семенах сельскохозяйственных культур подтверждается и в [15].

2. Токов, обусловленных дипольной и структурной поляризацией семян. Дипольная поляризация присуща всем полярным диэлектрикам, а структурная – связана с неоднородностью диэлектрика (наличие примесей, слоистость диэлектрика), помещенного в электрическое поле [14]. Все семена сельскохозяйственных культур имеют сложную слоисто-неоднородную структуру [16], что объясняет присутствие структурной поляризации. Семена клещевины обладают определенной начальной влажностью. Кроме этого, в процессе увлажнения их показатель влажности будет увеличиваться. С учётом [15], влагу в семенах можно рассматривать, как полярный диэлектрик, которому будет присуще явление дипольной поляризации.

3. Тока сквозной проводимости, обусловленного его протеканием по каналам сплошной проводимости в общей структуре диэлектрика. Все диэлектрические материалы под воздействием постоянного напряжения пропускают некоторый незначительный ток, называемый током утечки [7].

Учитывая изложенное, можно определить эквивалентную схему замещения (рис.1) такого диэлектрика (для ядра и лузги семян клещевины).

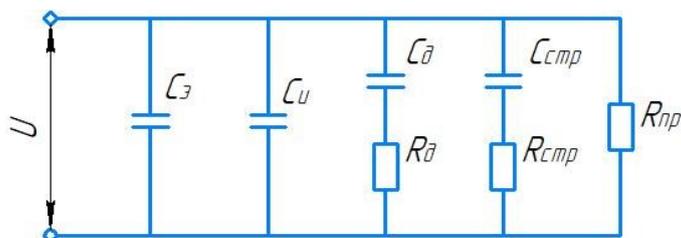


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема замещения для лузги и ядра семян клещевины:
 $C_э$ – ёмкость, обусловленная электронной поляризацией; $C_и$ – ёмкость, обусловленная ионной поляризацией;
 $C_д, R_д$ – ёмкость и сопротивление, обусловленное дипольной поляризацией; $C_стр, R_стр$ – ёмкость и сопротивление, обусловленное структурной поляризацией; $R_пр$ – сопротивление току сквозной проводимости

Результаты исследований. При расчете параметров схемы замещения вводим упрощения:

1. Ионная и электронная поляризации относятся к процессам быстрой поляризации, поэтому расчет ёмкости, обусловленной электронной и ионной поляризацией $C_{эи}$, будет производиться в целом для этих двух процессов.
2. Дипольная и структурная поляризация относятся к процессам медленной поляризации, поэтому расчет ёмкости $C_{д.стр}$ и $R_{д.стр}$ сопротивления, обусловленных дипольной и структурной поляризацией, будет также производиться в целом для этих двух процессов.

Учитывая введенные упрощения, составлена упрощенная эквивалентная электрическая схема замещения для лузги и ядра семян клещевины (рис. 2).

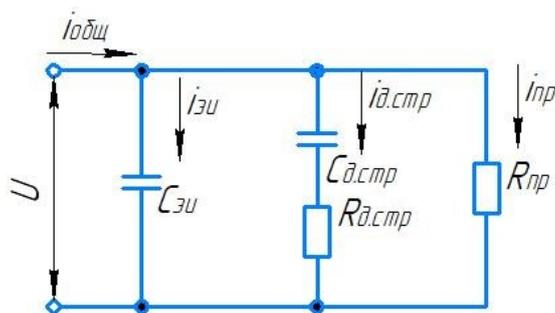


Рис. 2. Упрощенная эквивалентная электрическая схема для ядра и лузги для семян клещевины:
 $C_{эи}$ – ёмкость, обусловленная электронной и ионной поляризацией;
 $C_{д.стр}, R_{д.стр}$ – ёмкость и сопротивление, обусловленное дипольной и структурной поляризацией

Ёмкость, обусловленную электронной и ионной поляризацией $C_{эи}$, будем определять методом комплексных проводимостей при подключении к источнику переменного тока. Используя такой метод, для схемы (рис. 2), полная проводимость Y выразится выражением:

$$Y = -\frac{1}{j\omega C_{эи}} + \frac{1}{R_{пр}} + \frac{1}{R_{д.стр} - \left(\frac{j}{\omega C_{д.стр}}\right)}, \quad (4)$$

Умножив числитель и знаменатель третьей составляющей уравнения (4) на $R_{д.стр} + \left(\frac{j}{\omega C_{д.стр}}\right)$, получим:

$$Y = -\frac{1}{j\omega C_{эи}} + \frac{1}{R_{пр}} + \frac{R_{д.стр} + \left(\frac{j}{\omega C_{д.стр}}\right)}{R_{д.стр}^2 + \left(\frac{1}{\omega^2 C_{д.стр}^2}\right)}. \quad (5)$$

Вычислим реактивную составляющую проводимости уравнения (5) в комплексной форме

$$B = j\omega C_{эи} + j \left(\frac{\left(\frac{1}{\omega C_{д.стр}}\right)}{R_{д.стр}^2 + \left(\frac{1}{\omega^2 C_{д.стр}^2}\right)} \right). \quad (6)$$

Так как

$$B = -\frac{1}{j\omega C_{\text{общ}}}, \quad (7)$$

где $C_{\text{общ}}$ – общая ёмкость в цепи переменного тока для эквивалентной схемы замещения диэлектрика (рис. 2), Ф; то, подставив уравнение (7) в (6), получим:

$$\omega C_{\text{общ}} = \omega C_{\text{Эи}} + \frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}} R_{\text{д.стр}}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)}. \quad (8)$$

Разделив каждую составляющую уравнения (8) на ω , получим:

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{Эи}} + \frac{1}{\omega^2 C_{\text{д.стр}} R_{\text{д.стр}}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)}. \quad (9)$$

С учетом того, что $\omega = 2\pi f$, ёмкость $C_{\text{Эи}}$, обусловленная электронной и ионной поляризацией определится так

$$C_{\text{Эи}} = C_{\text{общ}} - \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_{\text{д.стр}} R_{\text{д.стр}}^2 + \left(\frac{1}{C_{\text{д.стр}}}\right)}, \quad (10)$$

где f – частота сети, Гц.

Активное сопротивление $R_{\text{д.стр}}$ и ёмкость $C_{\text{д.стр}}$, обусловленные структурной и дипольной поляризацией, определим методом комплексных проводимостей при подключении к источнику переменного тока, выразив из уравнения (5) активную составляющую проводимости в комплексной форме

$$G = \frac{1}{R_{\text{изм}}} = \frac{1}{R_{\text{пр}}} + \frac{R_{\text{д.стр}}}{R_{\text{д.стр}}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)^2}, \quad (11)$$

где $R_{\text{изм}}$ - измеренное активное сопротивление, Ом.

Введем обозначение Δ :

$$\Delta = G - \frac{1}{R_{\text{пр}}} = \frac{1}{R_{\text{изм}}} - \frac{1}{R_{\text{пр}}}. \quad (12)$$

Тогда, с учетом выражения (11), получим

$$\Delta R_{\text{д.стр}}^2 + \Delta \left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)^2 = R_{\text{д.стр}}. \quad (13)$$

Определим $\left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)^2$ из выражения (13):

$$\left(\frac{1}{\omega C_{\text{д.стр}}}\right)^2 = \frac{R_{\text{д.стр}}}{\Delta} - R_{\text{д.стр}}. \quad (14)$$

Если при ω_1 измеряем $R_{\text{изм}1}$, а при ω_2 измеряем $R_{\text{изм}2}$, то получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{C_{\text{д.стр}}}\right)^2 = \frac{\omega_1^2 R_{\text{д.стр}}}{\Delta_1} - (\omega_1 R_{\text{д.стр}})^2 \\ \left(\frac{1}{C_{\text{д.стр}}}\right)^2 = \frac{\omega_2^2 R_{\text{д.стр}}}{\Delta_2} - (\omega_2 R_{\text{д.стр}})^2 \end{cases}. \quad (15)$$

где $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega_2 = 2\pi f_2$ – угловая частота при соответствующих частотах сети f_1 и f_2 , рад/с;

$$\Delta_1 = \frac{1}{R_{изм1}} - \frac{1}{R_{пр}}; \Delta_2 = \frac{1}{R_{изм2}} - \frac{1}{R_{пр}}.$$

Приравниваем первое и второе уравнение системы (15) и получаем:

$$\frac{\omega_1^2 R_{д.стр}}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2 R_{д.стр}}{\Delta_2} = (\omega_1 R_{д.стр})^2 - (\omega_2 R_{д.стр})^2. \quad (16)$$

Каждое слагаемое в выражении (16) разделим на $R_{д.стр}$ и получим:

$$\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2} = R_{д.стр}(\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad (17)$$

Из формулы (17) определяем общее активное сопротивление дипольной и структурной поляризации $R_{д.стр}$:

$$R_{д.стр} = \frac{\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)}. \quad (18)$$

Емкость дипольной и структурной поляризации $C_{д.стр}$ будем определять из уравнения (11) с учётом частоты сети f_1 (уравнение 15). Для этого, используя уравнение (18), выразим составляющую $\left(\frac{1}{\omega_1 C_{д.стр}}\right)^2$:

$$\left(\frac{1}{\omega_1 C_{д.стр}}\right)^2 = \frac{\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}}{\Delta_1(\omega_1^2 - \omega_2^2)} - \left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right)^2, \quad (19)$$

или

$$\left(\frac{1}{\omega_1 C_{д.стр}}\right)^2 = \frac{\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}}{\Delta_1} - \left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right)^2. \quad (20)$$

Приводим к общему знаменателю правую часть уравнения (20)

$$\left(\frac{1}{\omega_1 C_{д.стр}}\right)^2 = \frac{(\omega_1^2 - \omega_2^2)\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right) - \Delta_1\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right)^2}{\Delta_1(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2}, \quad (21)$$

после умножения на ω_1^2 , получим:

$$\left(\frac{1}{C_{д.стр}}\right)^2 = \frac{\omega_1^2(\omega_1^2 - \omega_2^2)\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right) - \Delta_1\omega_1^2\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right)^2}{\Delta_1(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2}, \quad (22)$$

откуда выразим емкость структурной и дипольной поляризации $C_{д.стр}$:

$$C_{д.стр} = \sqrt{\frac{\Delta_1(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2}{\omega_1^2(\omega_1^2 - \omega_2^2)\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right) - \Delta_1\omega_1^2\left(\frac{\omega_1^2}{\Delta_1} - \frac{\omega_2^2}{\Delta_2}\right)^2}}. \quad (23)$$

Сопротивление току сквозной проводимости $R_{пр}$ будем определять методом проводимостей при подключении к источнику постоянной электродвижущей силы $E_{ист}$. Тогда упрощенная эквивалентная электрическая схема замещения для ядра и лузги семян клещевины (рис. 3) будет иметь вид:

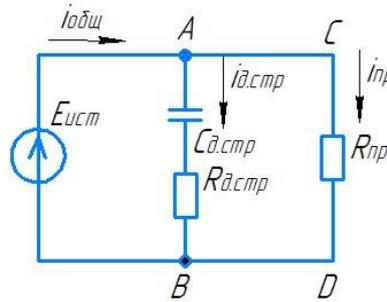


Рис. 3. Упрощенная эквивалентная электрическая схема замещения для ядра и лузги клещевины при подключении к источнику постоянной электродвижущей силы (э.д.с)
 $E_{уст}$ – источник постоянного тока

Исходя из определения, что активная проводимость – это величина, обратная активному сопротивлению, определим общую активную проводимость:

$$G = \frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_{пр}} + \frac{1}{R_{д.стр} e^{\frac{t}{\tau}}}, \quad (24)$$

- где G – активная проводимость, $1/\text{Ом}$;
 $R_{д.стр}$ – активное сопротивление, обусловленное структурной и дипольной поляризацией, Ом ;
 $R_{общ}$ – общее активное сопротивление в цепи постоянной э.д.с.;
 $R_{пр}$ – активное сопротивление току сквозной проводимости $i_{пр}$, Ом ;
 t – время процесса, с;
 $\tau = R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}$ – постоянная времени цепи;
 $C_{д.стр}$ – ёмкость, обусловленная структурной и дипольной поляризацией, Ом .

Тогда, общее активное сопротивление в цепи постоянного тока определится по формуле:

$$R_{общ} = \frac{R_{пр} \cdot R_{д.стр}}{R_{пр} + R_{д.стр} e^{\frac{t}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}}}}. \quad (25)$$

После преобразования получим

$$R_{общ} \cdot R_{пр} = (R_{пр} \cdot R_{д.стр} - R_{общ} \cdot R_{д.стр}) e^{\frac{t}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}}} \quad (26)$$

Логарифмируем по основанию e :

$$\ln(R_{общ} \cdot R_{пр}) = \ln(R_{пр} \cdot R_{д.стр} - R_{общ} \cdot R_{д.стр}) + \frac{t}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}}, \quad (27)$$

или

$$\ln \frac{R_{общ} \cdot R_{пр}}{R_{пр} \cdot R_{д.стр} - R_{общ} \cdot R_{д.стр}} = \frac{t}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}}. \quad (28)$$

Если при исследованиях через время t_1 измеряем R_1 , а через время t_2 измеряем R_2 , то получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \ln \frac{R_1 \cdot R_{пр}}{R_{пр} \cdot R_{д.стр} - R_1 \cdot R_{д.стр}} = \frac{t_1}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}} \\ \ln \frac{R_2 \cdot R_{пр}}{R_{пр} \cdot R_{д.стр} - R_2 \cdot R_{д.стр}} = \frac{t_2}{R_{д.стр} \cdot C_{д.стр}} \end{cases} \quad (29)$$

где R_1 – измеренное активное сопротивление в диэлектрике в момент времени t_1 , Ом ;
 R_2 – измеренное активное сопротивление в диэлектрике в момент времени t_2 , Ом .

Отсюда:

$$\frac{t_2}{t_1} = \ln \frac{R_2 \cdot R_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{д.стр}} - R_2 \cdot R_{\text{д.стр}}} - \ln \frac{R_1 \cdot R_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{д.стр}} - R_1 \cdot R_{\text{д.стр}}}, \quad (30)$$

или

$$\frac{t_2}{t_1} = \ln \frac{R_2 \cdot R_{\text{пр}} (R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{д.стр}} - R_1 \cdot R_{\text{д.стр}})}{R_1 \cdot R_{\text{пр}} (R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{д.стр}} - R_2 \cdot R_{\text{д.стр}})}, \quad (31)$$

После сокращения на $R_{\text{пр}}$ и $R_{\text{д.стр}}$, получим:

$$\frac{t_2}{t_1} = \ln \frac{R_2 (R_{\text{пр}} - R_1)}{R_1 (R_{\text{пр}} - R_2)}. \quad (32)$$

Потенцируем уравнение (32) по основанию e

$$e^{\frac{t_2}{t_1}} = \frac{R_2 (R_{\text{пр}} - R_1)}{R_1 (R_{\text{пр}} - R_2)}. \quad (33)$$

Выражаем активное сопротивление току сквозной проводимости $R_{\text{пр}}$:

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_2 R_1 (e^{\frac{t_2}{t_1}} - 1)}{R_1 e^{\frac{t_2}{t_1}} - R_2}. \quad (34)$$

Уравнение (10) по определению электронной и ионной поляризации $C_{\text{эи}}$, уравнение (23) по определению ёмкость структурной и дипольной поляризации $C_{\text{д.стр}}$ и уравнение (34) по определению активного сопротивления току сквозной проводимости $R_{\text{пр}}$ дают возможность описать изменения этих параметров для упрощенной эквивалентной электрической схемы в ядре и лузге семян клещевины (рис. 2).

Заключение. Получены уравнения для определения параметров электрической схемы замещения для ядра и семян клещевины: ёмкости, обусловленной электронной и ионной поляризацией; ёмкости, обусловленной дипольной и структурной поляризацией; сопротивления, обусловленного дипольной и структурной поляризацией, сопротивления току сквозной проводимости. Такие данные позволят в процессе исследований установить электрические свойства (тангенс угла диэлектрических потерь, относительную диэлектрическую проницаемость и электропроводность) ядра и лузги семян клещевины.

Список источников

1. Didur V., Kyurchev V., Chebanov A., Aseev A. Increasing the efficiency of the technological process of processing castor oil seeds into castor oil. Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG. P.17-28 doi: 10.1007/978-3-030-14918-5_3
2. Дидур В. А., Чебанов А. Б. Методика определения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при обрушении семян клещевины // Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь, 2009. Т. 2., № 9. С. 169-175.
3. Шмигель В. И., Козлов А. С. Удаление семян пшеницы из ячеистой поверхности при наложении электростатического поля // Послеуборочная обработка зерновых культур. ЧИМЭСХ. 1972. Вып. 69. С. 139-144.
4. Лавров И. М., Шмигель В. Н. О механизме заряжения семян в электростатическом поле // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. Вып. 12. С. 42-43.
5. Фрелих Г. Теория диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. 1960. 251 с.
6. Рез И. С., Поплавко Ю. М., Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.
7. Прищеп Л. Г., Цатурян А. И. Электрические явления в сыпучих средах и их применение // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. №1. С.32-36.
8. Пашинский В. А., Бондарчук О.В. Воздействие неоднородного электрического поля на экстрактивность пивоваренного ячменя // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19 международной научной конференции, Минск, 23-24 мая 2019 г. В 3 ч. Ч. 3. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. С. 148-151.
9. Коренков Д. А. Повышение энергоэффективности электротехнологических комплексов вакуумно-высокочастотной сушки древесины. Дис...канд. техн. наук. Орёл. 2017. 155 с.
10. Княжевская В. С. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. Л. : Машиностроение. Ленингр. Отделение. 71 с.
11. Ляпин В. Г. Исследование электрических свойств растительной ткани в электромагнитном поле // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. № 4. С. 14-16.
12. Бородин И., Шмигель В. Электричество на очистке и сепарации семян // Сельский механизатор. 1997. № 10. С. 20-22.

13. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. Гостехиздат.
14. Болога М. К. Берилл И. И. Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле: монография. Ch.: I.E.P. «Stiinta», 2004. 216 с.
15. Зубова Р. А. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты : автореф. дис.: канд. техн. наук. / Р. А. Зубова. Красноярск. 2017. 141 с.
16. Тарушкин В. И. Воздействие пандемоторных сил на семена при сепарации // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Минск. 1983. Вып. 12. С. 35-39.

References

1. Didur, V., Kyurchev, V., Chebanov, A. & Aseev, A. (2019). Increasing the efficiency of the technological process of processing castor-oil seeds into castor oil. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 17-28. doi: 10.1007/978-3-030-14918-5_3
2. Didur, V. A. & Chebanov A. B. (2009). Methodology for determining the concentration of dust in the air of the working area during the collapse of castor seeds. *Proceedings of the Taurida State Agrotechnological University '09*. (pp. 169-175). Melitopol.
3. Shmigel, V. I. & Kozlov, A. S. (1972). Removal of wheat seeds from a cellular surface when applying an electrostatic field // *Posleuborochnaja obrabotka zernovyh kul'tur*. *ChIMJeSH*. 69. 139-144 (in Russ).
4. Lavrov, I. M. & Shmigel, V. N. (1983). On the mechanism of seed charging in an electrostatic field // *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 12, 42-43 (in Russ).
5. Frelich, G. (1960). Theory of dielectrics. Permittivity and dielectric losses.
6. Rez IS, P. Y. (1989). Dielectrics: basic properties and applications in electronics. Fig.
7. Prishchep, L. G. & Tsaturyan, A. I. (1980). Electrical phenomena in granular media and their application. *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. 1, 32-36 (in Russ).
8. Pashinsky, V. A. & Bondarchuk O. V. (2019). The impact of a non-uniform electric field on the extractivity of malting barley // *Saharovskie chtenija 2019 goda: jekologicheskie problemy XXI veka: materialy 19 mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*, At 3 hours. Part 3. Minsk: IVC Minfina, 148-151 (in Russ).
9. Korenkov, D. A. (2017). *Increasing the energy efficiency of electrical technological complexes for vacuum-high-frequency wood drying*. Orjol. (in Russ).
10. Knyazhevskaya, V. S. (1980). *High-frequency heating of dielectric materials*. Leningrad: Mechanical Engineering. Leningr. department (in Russ).
11. Lyapin, V. G. (2008). Study of the electrical properties of plant tissue in an electromagnetic field. *Vestnik FGOU VPO MGAU*. 4. 14-16 (in Russ).
12. Borodin, I. & Shmigel, V. (1997). Electricity in the cleaning and separation of seeds. *Sel'skij mehanizator*. 10. 20-22 (in Russ).
13. Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1957). *Electrodynamics of continuous media* (Vol. 68). Gostekhizdat. (in Russ).
14. Bologa, M. K. & Berill, I. I. (2004). *Refining sunflower oil in an electric field*. Ch.: I.E.P. "Stiinta" (in Russ).
15. Zubova, R. A. (2017). *Justification of the modes of pre-sowing treatment of seeds with a hard shell with ultrasound and an ultra-high frequency electromagnetic field*. Krasnoyarsk (in Russ).
16. Tarushkin, V. I. (1983). The impact of pandemotor forces on seeds during separation // *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva*. Minsk. 12. 35-39 (in Russ).

Информация об авторах

А. Б. Чебанов – кандидат технических наук, доцент;
Н. И. Стручаев – кандидат технических наук, доцент;
С. В. Адамова – научный сотрудник;
Ю. В. Чебанова – кандидат географических наук, доцент.

Information about the authors

A. B. Chebanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
N. I. Struchaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. V. Adamova – Researcher;
Yu. V. Chebanova – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.06.2024; одобрена после рецензирования 1.10.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 26.06.2024; approved after reviewing 1.10.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 619:618.19

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-81-85

ПРИМЕНЕНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРА ПРИ МАСТИТЕ У КОРОВ

Мурат Хамидуллоевич Баймишев¹, Владимир Александрович Теняков², Хамидулла Балтуханович Баймишев^{3✉}^{1, 2, 3} Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия¹ baimishev_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3350-3187>² tenykov72@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9288-1009>³ baimishev_hb@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1944-5651>

Резюме. Цель исследований: разработка оптимальной дозы препарата «Иммунофарм» для лечения серозного мастита у высокопродуктивных коров. Для проведения исследований из числа коров с диагнозом серозный мастит на основании клинического обследования молочной железы и реакции молока на Масттест, было сформировано 4 группы животных по 10 голов в каждой. Препарат «Иммунофарм» вводили интрацистернально с интервалом 72 часа до исчезновения симптомов серозного мастита. Первой подопытной группе животных вводили препарат в дозе 5,0 мл, 2-подопытной группе животных вводили препарат в дозе 10,0 мл, 3-подопытной группе животных вводили препарат в дозе 15,0 мл. контрольную группу животных лечили с использованием препарата «Мастисан» в дозе 5,0 мл с интервалом 24 часа. Использование препарата «Иммунофарм» в дозе 10,0 мл внутрцистернально в молочную железу с интервалом 24 часа способствует угасанию воспалительного процесса: нормализация местной температуры происходит на 1,95 дня раньше, исчезновение болезненности вымени проявляется на 2,43 дня раньше, отсутствие сгустков и хлопьев в молоке сокращается на 1,35 дня, восстановление молочной продуктивности наступает на 1,43 дня раньше по сравнению с контролем. Между показателями использования препарата «Иммунофарм» в дозе 10,0 мл и 15,0 мл достоверной разницы не установлено. Продолжительность лечения у животных 2-подопытной группы на 2,90 дня меньше, эффективность лечения на 20,0 % больше. Использование оптимальной дозы препарата «Иммунофарм» обеспечивает более раннюю нормализацию кислотности, плотности молока, содержания соматических клеток, повышение молочной продуктивности переболевших животных на 7,90 кг молока.

Ключевые слова: мастит, молоко, иммуномодулятор, терапия, доля.

Для цитирования: Баймишев М. Х., Теняков В. А. Баймишев Х. Б. Применение иммуномодулятора при мастите у коров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 81-85. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-81-85

Original article

USE OF IMMUNOMODULATOR FOR MASTITIS IN COWS

Murat Kh. Baimishev¹, Vladimir A. Tenyakov², Khamidulla B. Baimishev^{3✉},^{1, 2, 3} Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara Region, Russia¹ baimishev_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3350-3187>² tenykov72@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9288-1009>³ baimishev_hb@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1944-5651>

Abstract. The purpose of the research is the development of optimal dose of “Immunofarm” preparation for treatment of serous mastitis in high-yielding cows. To conduct research, 4 groups of 10 animals each were formed from cows diagnosed with serous mastitis on the basis of clinical examination of the mammary gland and milk reaction to Masttest. The drug “Immunopharm” was administered intracisternally at intervals of 72 hours until the disappearance of symptoms of serous mastitis. The first experimental group of animals was administered the drug in a dose of 5.0 ml, the 2nd experimental group of animals was administered the drug in a dose of 10.0 ml, the 3rd experimental group of animals was administered the drug in a dose of 15.0 ml. The control group of animals was treated with the drug “Mastisan” in a dose of 5.0 ml with an interval of 24 hours. The use of the preparation “Immunofarm” at a dose of 10.0 ml intracisternally into the mammary gland with an interval of 24 hours contributes to the fading of the inflammatory process: normalization of local temperature occurs 1.95 days earlier, the disappearance of udder soreness appears 2.43 days earlier, the absence of clots and flakes in the milk is reduced by 1.35 days, the recovery of milk productivity comes 1.43 days earlier compared to the control. No significant difference was found between the indicators of using the preparation “Immunofarm” in the dose of 10.0 ml and 15.0 ml. Duration of treatment in animals of the 2nd experimental group is 2.90 days less, the treatment efficiency is 20.0% more. The use of the optimal dose of “Immunofarm” provides earlier normalization of acidity, milk density, somatic cell content, increasing the milk productivity of overdosed animals by 7.90 kg of milk.

Key words: mastitis, milk, immunomodulator, therapy, share.

For citation: Baimishev, M. Kh. & Tenyakov V. A. Baimishev, Kh. B. (2024). Use of immunomodulator for mastitis in cows. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4. 81-85. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-81-85

Воспаление молочной железы является одним из основных проблем для интенсивной технологии производства молока. Мастит проявляется в любой сезон года и наносит большой экономический ущерб, который складывается из-за снижения уровня молочной продуктивности, качественных показателей молока, питательных свойств и непригодности его для технологической переработки [1, 5, 8]. С целью терапии коров с заболеванием мастит в основном применяются химиотерапевтические средства, что способствует проявлению побочных заболеваний у людей и животных (аллергия, ринит, дерматит). Частое использование антибиотиков бессистемно приводит к образованию лекарственно-устойчивых штаммов микрофлоры, и возникновению воспаления молочной железы грибковой этиологии, а также нарушает органогенез в эмбриональный период [6, 7, 9, 12]. В последние годы многие исследователи все больше внимание уделяют методам нетрадиционного лечения используя препараты, обладающие достаточно высокой эффективностью, воздействия на патологический процесс, способствуя регуляции нарушения гемостаза, активизируют и улучшают функциональное состояние различных органов и систем, а также защитные силы организма [2, 3, 4, 10, 11]. В связи с чем поиск и разработка алгоритмов терапии серозного мастита у коров является актуальной.

Цель исследований: Разработка оптимальной дозы иммуномодулятора органического происхождения «Иммунофарм» для лечения серозного мастита у высокопродуктивных коров. На основании поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) изучить эффективность использования разных доз препарата «Иммунофарм» при терапии серозного мастита у коров.
- 2) изучить влияние доз препарата «Иммунофарм» на лабораторные показатели молока исследуемых групп коров после лечения.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования служили высокопродуктивные коровы с диагнозом серозный мастит. На основании клинического исследования молочной железы и реакции молока на Масттест. В последующем из их числа коров была сформировано 4 группы животных по 10 голов в каждой. Для терапии серозного мастита с момента установки диагноза использовали препарат «Иммунофарм» интрацистернально с интервалом 72 часа до исчезновения симптомов серозного мастита в 1-подопытной группе животных вводили препарат в дозе 5,0 мл, во 2-подопытной группе животных вводили препарат в дозе 10,0 мл, в 3-подопытной группе животных вводили препарат в дозе 15,0 мл. в контрольной группе животных лечили с использованием препарата «Мастисан» в дозе 5,0 мл с интервалом 24 часа внутрцистернально.

В процессе эксперимента у животных исследуемых групп изучалась динамика угасания клинических признаков и изменения состава молока (нормализация местной температуры, отсутствие болезненности молочной железы, отсутствие очагов уплотнения вымени, отсутствие сгустков и хлопьев в молоке, восстановление молочной продуктивности). Эффективность терапии используемых доз препарата «Иммунофарм» в процентах от числа выздоровевших. У исследуемых групп животных после лечения проводился лабораторный анализ молока для определения санитарных, физико-химических свойств молока, содержание соматических клеток и реакции на димастиную пробу.

Весь полученный цифровой материал проведенных исследований, обработан с применением методом биометрии и статического анализа с определением критерия достоверности по Стьюденту с помощью программного Microsoft Excel ($P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$).

Результаты исследований. На основании экспериментальных исследований при использовании препарата «Иммунофарм» установлено, что угасание симптомов серозного мастита у животных исследуемых групп в зависимости от дозы было не одинаковым (табл. 1).

Нормализация местной температуры молочной железы, у коров контрольной группы (лечение традиционным способом мастисан) наступила на 6,20 день, что больше, чем у животных 1 подопытной группы на 1,10 дня, и на 1,95 дня больше, чем у 2-подопытной группы коров и на 1,92 дня больше, чем в 3-подопытной группе животных. Отсутствие болезненности у животных подопытных групп наблюдалось раньше, чем в контрольной во 2-подопытной группе на 2,43 дня, в 3-подопытной группе на 1,72 дня, чем у животных в 1-подопытной группе на 1,17 дня. Разница между показателями у животных 2-подопытной группы по сравнению с 3-подопытной группой составила 0,01 день. Отсутствие очагов уплотнения молочной железы отмечалось в 3-подопытной группе на 3,52 день, что на 0,06 дня позже, чем у животных 2-подопытной группы, на 0,93 дня позже, чем в 1-подопытной группе и на 2,63 дня позже, чем у животных контрольной группы. Отсутствие сгустков и хлопьев в молоке обнаружилось у животных 1-подопытной группы на 4,85 день, что на 0,35 дня раньше, чем в контрольной группе животных, на 1,35 дня позже, чем у животных 2-подопытной группы и на 1,45 дня позже, чем у животных 3-подопытной группы.

Восстановление молочной продуктивности у переболевших животных отмечалось в 3-подопытной группе на 6,97 день, что на 0,15 дня раньше, чем во 2-подопытной группе, на 1,43 дня раньше, чем 1-подопытной группе, на 3,23 дня раньше, чем в контрольной группе животных. Продолжительность лечения при использовании дозы «Иммунофарм» 10,0 мл составила 4,32 дня, что на 0,05 дня позже, чем в 3-подопытной группе, на 1,98 дня раньше, чем в 1-подопытной группе и на 2,92 дня раньше, чем в контрольной группе животных. Эффективность лечения во второй и третьей подопытных группах составила 100%, что на 10% больше чем в 1-подопытной группе и на 20% больше, чем в контрольной группе животных.

Таблица 1

Эффективность лечения серозного мастита у коров исследуемых групп

Показатель	Группа			
	Контрольная	1-подопытная	2-подопытная	3-подопытная
Нормализация местной температуры, дней	5,20±0,40	4,10±0,35	3,25±0,24	3,28±0,27
Отсутствие болезненности вымени, дней	4,15±0,32	3,60±0,34	2,43±0,36	2,42±0,29
Отсутствие очагов уплотнений вымени, дней	6,15±0,65	4,45±0,48	3,46±0,52	3,52±0,38
Отсутствие сгустков и хлопьев в молоке, дней	5,20±0,36	4,85±0,27	3,50±0,40	3,40±0,33
Восстановление продуктивности	10,20±1,23	8,40±1,46	7,12±0,82	6,97±0,73
Продолжительность лечения, дней	7,24±1,62	5,30±1,25	4,32±0,89	4,27±0,88
Терапевтическая эффективность, %	80,0	90,0	100,0	100,0

Сравнительным лабораторным анализом молока коров после лечения установлено, что количественные и качественные показатели молока зависят от дозы использования препарата «Иммунофарм» у исследуемых групп (табл. 2).

Исследованием молока после окончания лечения установлено, что цвет у животных контрольной и 1-подопытной групп был белым, а у животных 2- и 3- подопытных групп цвет молока был желтоватый, что соответствует норме. Консистенция молока у всех исследуемых групп коров была однородная, а текучесть более выражена у животных контрольной и 1-одопытной групп. Плотность молоко у контрольной группы животных составила 1022,42 кг/м³, что на 4,3 кг/м³ больше, чем плотность молока 1-подопытной группы и на 22,95 кг/м³ и 24,87 кг/м³, меньше, чем плотность молока коров 2- и 3- подопытных групп соответственно.

Таблица 2

Сравнительный лабораторный анализ молока коров в процессе терапии и после у исследуемых групп (на 10 день)

Показатель	Группа			
	Контрольная	1-подопытная	2-подопытная	3-подопытная
Цвет	Белый	Белый	Желтоватый	Желтоватый
Консистенция	Однородная, жидкая	Однородная, жидкая	Однородная	Однородная
Кислотность, °Т	16,20±0,05	16,50±0,06	18,32±0,04	18,21±0,05
Плотность, кг/м ³	1022,42±28,60	1018,12±22,33	1045,37±18,16	1047,29±19,02
Кетоновые тела, мг/100 мл	10,22±1,16	9,54±1,08	7,05±1,01	6,90±1,12
Проба отстаивания	Осадка нет	Осада нет	Осадка нет	Осада нет
Количество соматических клеток, тыс/см ³	649,42±84,52	482,19±67,89	276,92±51,13	268,43±49,57
Проба с 5 % димастиним	Положительная	Отрицательная	Отрицательная	Отрицательная
Среднесуточный удой через 10 дней	14,60±2,60	16,70±2,45	20,50±2,12	19,80±1,95
Среднесуточный удой через 1 месяц	21,60±3,13	24,30±3,07	29,50±2,45	29,20±2,20

Исследованием молока пробы отстаивания установлено, что в молоке всех групп животных осадки отсутствовали. Содержание в молоке у исследуемых групп коров соматических клеток было неодинаковым. У животных 2- и 3- подопытных групп содержание соматических клеток в молоке составило 276,92 тыс/см³ и 268,43 тыс/см³ соответственно, что ниже показателей содержания соматических клеток в молоке у контрольной группы коров на 372,50 тыс/см³ и 380,99 тыс/см³ соответственно и на 205,27 тыс/см³, 213,76 тыс/см³ ниже, чем показатель соответственно у коров 1- подопытной группы. На 10 день после лечения реакция молока на субклинический мастит была положительной только в контрольной группе коров. Среднесуточный удой через 10 дней после лечения у коров 2-подопытной группы превышал надой контрольной группы на 5,9 кг молока и на 3,8 кг; на 0,7 кг превышал удой коров 1-подопытной и 3- подопытной групп коров. Через 30 дней после лечения удой коров 2-подопытной группы

составлял 29,50 кг, что на 7,9 кг больше, чем у коров контрольной группы и на 5,2 кг больше, чем у коров 1-подопытной группы.

Заключение. На основании проведенных исследований мы отмечаем, что использование препарата «Иммунофарм» в дозе 10,0 мл и 15,0 мл способствует сокращению срока лечения и восстановления молочной продуктивности у коров. Разница между показателями эффективности лечения коров больных маститом 2- и 3-подопытных групп статистически не достоверна.

Использование препарата «Иммунофарм» в дозе 10,0 мл внутривенно в молочную железу с интервалом 24 часа способствует угасанию воспалительного процесса: нормализация местной температуры на 1,95 дня. Исчезновение болезненности вымени 2,43 дня, отсутствие сгустков и хлопьев в молоке на 1,35 дня, восстановление молочной продуктивности на 1,43 дня. Сокращает продолжительность лечения на 2,90 дня, повышает эффективность лечения на 20,0 %, а также обеспечивает нормализацию кислотности, плотности молока, содержания соматических клеток. Молочная продуктивность переболевших животных при применении препарата «Иммунофарм» больше, чем в контроле на 7,90 кг молока.

Список источников

1. Альтергот В. В., Баймишев Х. Б. Технология эксплуатации импортных коров голштинской породы в условиях Самарской области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1. С. 116-119.
2. Баймишев М. Х., Баймишев Х. Б., Шарипова Д. Ю. Иммуномодулятор в профилактике мастита у коров // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2023. № 11. С. 16-22.
3. Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Теняков В. А. Биохимические показатели крови коров и проявление мастита при использовании препарата «Иммунофарм» // Инновационные достижения науки и техники АПК. 2022. С. 79-84.
4. Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Еремин С. П. Повышение воспроизводительных качеств высокопродуктивных коров. 2020.
5. Терентьева Н. Ю., Ермолаев В. А. Распространение мастита у коров в хозяйствах Ульяновской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. 2 (30). С. 141-147.
6. Ермолаев В. А., Терентьева Н. Ю., Ляшенко П. М. Изыскание экологически безопасного способа терапии маститов у коров // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 42-2. С. 126-132.
7. Племяшов К. В., Моисеенко Д. О. Репродуктивная функция высокопродуктивных молочных коров при нарушении обмена веществ, и ее коррекция // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2019. №1. С. 37-40.
8. Семиволос А. М. Разработка нового безмедикаментозного метода лечения коров при субклинической форме мастита // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 2 (30). С. 84-85.
9. Студникова Е. А., Семиволос А. М. Особенности поражения вымени коров субклиническим маститом // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. 2014. С. 281-283.
10. Теняков В. А., Баймишев М. Х., Муллакаев О. Т. Профилактика мастита у коров иммуномодулятором органического происхождения // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2023. Т. 254. № 2. С. 16-22.
11. Калязина, Н. Ю., Кирдяев, В. М., Марьин, Е. М., & Терентьева, Н. Ю. Аспекты применения продуктов переработки леса для лечения и профилактики маститов у коров и повышения качества молока // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 103-107.
12. Яшин И. В. Еремин С. П. Физиологическое обоснование применения тканевого препарата для коррекции естественной резистентности у коров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010. № 1 (16). С. 53-57.

References

1. Altergot, V. V., & Baimishev, H. B. (2011). Technology of operation of imported Holstein cows in the Samara region. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, (1), 116-119.
2. Baimishev, M. Kh., Baimishev, Kh. B. & Sharipova, D. Y. (2023). Immunomodulators in the prevention of mastitis in cows. *Veterinary medicine of farm animals*. 11. 16-22.
3. Baimishev, Kh. B., Baimishev, M. Kh., & Tenyakov, V. A. (2022). Biochemical parameters of cows' blood and mastitis manifestations when using the drug «Immunopharm». *Innovative achievements of science and technology of the agroindustrial complex* (pp. 79-84).
4. Baimishev, Kh. B., Baimishev, M. Kh., & Eremin, S. P. (2020). Improving the reproductive qualities of highly productive cows.
5. Terentyeva, N. Yu., & Ermolaev, V. A. (2015). Spread of mastitis in cows in farms of the Ulyanovsk region. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, (2 (30)), 141-147.
6. Ermolaev, V. A., Terentyeva, N. Yu. & Lyashenko P. M. (2018). The search for an environmentally safe method of treating mastitis in cows. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*. 42-2. 126-132.
7. Plemyashov, K. V., & Moiseenko, D. O. (2010). Reproductive function of highly productive dairy cows with metabolic disorders and its correction. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v vetinariii. Issues of regulatory regulation in veterinary medicine*, (1), 37-40.

8. Semivolos, A. M. (2011). Development of a new drug-free treatment method for cows with subclinical mastitis. *Izvestiya Orenburg gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2(30-1), 84-85.
9. Studnikova, E. A., & Semivolos, A.M. (2014). Features of cow udder damage caused by subclinical mastitis. *Agrarian Science in the XXI Century: Problems and Prospects*. (pp. 281-283).
10. Tenyakov, V. A., Baymishev, M. Kh. & Mullakaev, O. T. (2023). Prevention of mastitis in cows with an immunomodulator of organic origin. *Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. 254. 2. 16-22.
11. Kalyazina, N. Yu., Kiryaev, V. M., Maryin, E. M., & Terentyeva, N. Yu. (2023). Aspects of the use of forest processing products for the treatment and prevention of mastitis in cows and improving the quality of milk. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, (3 (63)), 103-107.
12. Yashin, I. V., & Eremin, S. P. (2010). Physiological justification of the use of a tissue preparation for the correction of natural resistance in cows. *Agricultural Science of the Euro-North-East*, (1), 53-57.

Информация об авторах

М. Х. Баймишев – доктор ветеринарных наук, профессор;
В. А. Теняков – аспирант;
Х. Б. Баймишев – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

M. Kh. Baimishev – Doctor of Veterinary Sciences, Professor;
V. A. Tenyakov – graduate student;
Kh. B. Baimishev – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 3.06.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 3.06.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 636.3.033

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-86-90

АНАЛИЗ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА КАЛЬПАСТАТИНА (CAST) У ОВЕЦ ЮЖНОЙ МЯСНОЙ ПОРОДЫ

Анастасия Дмитриевна Соловьева^{1✉}, Татьяна Евгеньевна Денискова^{2✉}

^{1, 2} Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Подольск, Московская область, Россия

¹anastasiya93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

²horarka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Резюме. Цель работы: изучить полиморфизм гена кальпастатина (CAST), определяющего особенность проявления продуктивно-биологических характеристик, у овец южной мясной породы. Биологическим материалом для изучения полиморфизма гена CAST служили выщипы ушной раковины у 154 голов овец южной мясной породы, включая баранов (n=80), баранчиков (n=23) и ярок (n=51). ДНК из биологического материала овец была выделена с помощью коммерческого набора «ДНК-Экстран-2» (ООО «Синтол», Россия) согласно инструкции, представленной фирмой-производителем. При выполнении исследований было использовано оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л. К. Эрнста. Анализ полиморфизма гена CAST проводили с помощью метода ПЦР-ПДРФ. ПЦР амплификацию проводили на термоциклере Applied Biosystems SimpliAmp («Thermo-Fisher Scientific, Inc.», США). Рестрикция проводилась с использованием эндонуклеазы рестрикции MspI (ООО «SibEnzyme») в термостате при 37°C. Разделение рестрицированных фрагментов выполняли в 2% агарозном геле, окрашенном бромидом димидиума. Полиморфизм гена CAST представлен аллелями M и N, частота встречаемости которых составила 0,92 и 0,08. Желательный генотип NN был обнаружен только у группы генотипных баранов (2,5%). Оценка генетической структуры исследуемого поголовья показала, что среди исследуемых животных наиболее часто встречаются животные с генотипом CAST^{MM} (83,8% в среднем, от 78,43% у ярок до 87,5% у баранов), на долю генотипов CAST^{MN} и CAST^{NN} приходится по 15% (от 10% у баранов до 21,56% у ярок) и 1,29% в среднем по всей выборке соответственно. В результате проведенного исследования выявлено впервые наличие полиморфизма в гене CAST у овец южной мясной породы, что создает предпосылки для внедрения этого ДНК-маркера в селекционную работу с южной мясной породой овец.

Ключевые слова: овцы, южная мясная порода, генотипы, генетический полиморфизм, кальпастатин.

Для цитирования: Соловьева А. Д., Денискова Т. Е. Анализ полиморфизма гена кальпастатина (CAST) у овец южной мясной породы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т 9, № 4. С. 86-90. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-86-90

Благодарности: Работа проведена в рамках выполнения задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме FGGN-2024-0015.

Original article

CALPASTATIN GENE POLYMORPHISM ANALYSIS (CAST) IN SHEEP OF SOUTHERN MEAT BREED

Anastasia D. Solovyova^{1✉}, Tatyana E. Deniskova^{2✉}

^{1, 2} Federal Research Center of Animal Husbandry – Academician L. K. Ernst VIZ., Dubrovitsy, Podolsk, Moscow region, Russia

¹anastasiya93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2628-9554>

²horarka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5809-1262>

Abstract. The aim of the work is to study the polymorphism of the calpastatin gene (CAST), which determines the feature of the manifestation of productive and biological characteristics in sheep of the Southern Meat breed including rams (n=80), young rams (n=23) and ewes (n=51). DNA from the biological material of sheep was isolated using a commercial DNA-Extran-2 kit (Syntol LLC, Russia) according to the instructions provided by the manufacturer. The equipment of the Center for Biological Resources and Bioengineering of Agricultural Animals (L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry) was used in this research. The CAST gene polymorphism analysis was conducted based on the PCR-RFLP method. PCR amplification was performed on an Applied Biosystems SimpliAmp thermal cycler (Thermo-Fisher Scientific, Inc., USA). Restriction was performed using MspI restriction endonuclease (SibEnzyme LLC) in a thermostat at 37°C. Separation of the restricted fragments was performed in a 2%

agarose gel stained with didimium bromide. The polymorphism of the CAST gene is represented by alleles M and N, the frequency of which were 0.92 and 0.08. The desired NN genotype was found only in a group of rams from gene pool herd (2.5%). An assessment of the genetic structure of the studied livestock showed that among the studied animals, sheep with the CAST^{MM} genotype are most common (83.8% on average, from 78.43% in ewes to 87.5% in rams), the CAST^{MN} and CAST^{NN} genotypes account for 15% (from 10% in rams to 21.56% in ewes) and 1.29% on average per sample, respectively. In this study, we identified the presence of polymorphism in the CAST gene in Southern Meat breed for the first time that creates the prerequisites for the introduction of this DNA marker into breeding work with the Southern Meat sheep breed.

Keywords: sheep, Southern Meat breed, genotypes, genetic polymorphism, calpastatin

For citation: Solovieva, A. D. & Deniskova, T. E. (2024). Calpastatin gene polymorphism analysis (cast) in sheep of the southern meat breed. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4, 86-90. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-86-90

Acknowledgements: *The work was carried out within the framework of the assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic AP-2024-0015.*

Одним из приоритетных направлений в животноводстве, в том числе и овцеводстве, способствующих интенсивному развитию отрасли, является активное внедрение современных методов молекулярно-генетической диагностики, которая позволяет определить и установить желательные генотипы в генах-кандидатах, ассоциированных с хозяйственно – полезными признаками.

Известно, что качество мяса во многом зависит от нежности, цвета, количества соединительной ткани, расщепления миофибриллярного белка и содержания внутримышечного жира. Нежность мяса во многом определяется генетическими факторами самого животного. Одним из генетических компонентов, влияющих на нежность мяса, является ген кальпастина [1].

Кальпастин – это регуляторный белок, высокоспецифичный эндогенный ингибитор μ - и m -кальпаинов (кальций-зависимой нейтральной протеиназы), который не оказывает влияния на другие протеазы (папаин, катепсины В и D, бромелайн, трипсин, химотрипсин, пепсин, плазмин и др.). Этот ингибитор кальпаинов был впервые обнаружен в соединительных тканях. Название "кальпастин" было впервые предложено в 1979 году Такаши Мурачи [2,3]. Определение полиморфизма гена кальпастина в мясном овцеводстве является решающим фактором среди молекулярно-генетических маркеров [4].

Система кальпаин-кальпастин включает m -кальпаин (CAPN1), μ -кальпаин (CAPN2) и кальпастин и играет ключевую роль в развитии скелетных мышц, участвует в миграции миобластов, белковом метаболизме, апоптозе, росте и развитии мышц, а также в отложении жира [5]. Ген кальпастина ингибирует активность кальпаина и важен для регулирования нежности мяса после забоя, веса при рождении и скорости роста до отъема. У овец существует обратная зависимость между уровнем кальпастина в мышцах после забоя и нежностью мяса. Ген CAST оказывает значительное влияние на массу тела при рождении и толщину жира [6].

В базе Национального центра биотехнологической информации NCBI указано, что ген CAST расположен в локусе 5q15 хромосомы 5 (NC_040256.1) генома овцы (*Ovis aries L.*), состоящего из 29 экзонов. Первая идентификация гена кальпастина у овец была проведена Палмером и со авторами [7] с использованием метода ПЦР-RFLP. Полиморфизм был обнаружен в амплифицированном фрагменте длиной 622 п.н. из экзона и интрона 1 гена CAST с помощью эндонуклеазы MspI, которая расщепляет нуклеотидную последовательность в следующем специфическом участке: 5'...C↓CGG...3'. Таким образом, были идентифицированы два полиморфных варианта, которые появляются в результате наличия или отсутствия точечной мутации (SNP) и изменения CCGG на CCAG [5, 8].

Многие авторы проводили ассоциативные исследования гена CAST с хозяйственно-полезными признаками у различных пород овец. Пакистанские породы овец Балхи и Каджли с гетерозиготным (MN) генотипом по этому гену демонстрировали более высокий прирост в весе от рождения до четырехмесячного и восьмимесячного возраста [9]. У приднепровской породы наблюдается тенденция к увеличению живой массы ягнят-носителей аллеля N в возрасте 90 дней (NN или MN) [10]. У овец иорданской породы Аваси с генотипом MN отмечалось более длинная длиннейшая мышца, более высокий суточный прирост при низком коэффициенте конверсии и большей мышечной массой по сравнению с животными, у которых был генотип MM, но нежность мяса у животных с генотипом MN была ниже, чем у животных с генотипом MM [11]. Овцы западно-сибирской мясной породы с генотипом MN также отличались лучшим среднесуточным приростом массы тела от рождения до отъема

на 6,9% и живой массой на 20% по сравнению с овцами с генотипом *NN* [12]. У овец ставропольской породы с генотипом *NN* был отмечен достоверно более высокий уровень (на 43,4% при $P < 0,01$) метаболической активности липидов мышечной ткани по сравнению с носителями генотипа *MM* [13].

Установление генетического полиморфизма у существующих пород овец является важной задачей, с одной стороны, для местных пород с целью сохранения генетических ресурсов, а с другой стороны, для эффективного использования существующих пород. В Российской Федерации существуют различные породы овец, включая местные породы и другие, предназначенные для конкретных целей, таких как производство молока, мяса и шерсти.

Цель исследований: анализ полиморфизма гена кальпастатина (*CAST*) у овец южной мясной породы.

Задачи исследования: оценить генетический полиморфизм у групп овец южной мясной породы по гену кальпастатин (*CAST*).

Материал и методы исследования. Исследования проводились на образцах ткани (ушной выщип) генофондных овец южной мясной породы в количестве 154 голов, которые в свою очередь состояли из трех групп: генофондных баранов ($n=80$), генофондных баранчиков ($n=23$) и генофондных ярок (ок) ($n=51$).

Образцы ткани были взяты из биобанка «Банк генетического материала домашних и диких видов животных и птицы» (зарегистрирован Минобрнауки РФ № 498808), созданной и поддерживаемой в ФГБНУ ФИЦ животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста.

При выполнении исследований было использовано оборудование ЦКП «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста.

Из выбранных образцов была выделена ДНК с помощью коммерческого набора «ДНК-Экстрем-2» (ООО «Синтол», Россия) по стандартному протоколу производителя. Полимеразная цепная реакция проводилась в конечном объеме 15 мкл: 1,5 мкл реакционного буфера с $MgCl_2$, 1,5 мкл dNTPs, 0,4 мкл смеси праймеров, 0,08 мкл SmartTaq ДНК полимеразы («Диалат Лтд.», Россия), 1 мкл ДНК. Амплификацию проводили в следующем температурно-временном режиме: 4 мин при $95^\circ C$ (1цикл); 45 с при $94^\circ C$, 45 с при $62^\circ C$ и 45 с при $72^\circ C$ (35 циклов); заключительный этап - 7 мин при $72^\circ C$ (1цикл) (термоциклер Applied Biosystems SimpliAmp («Thermo-Fisher Scientific, Inc.», США). Рестрикция проводилась в конечном объеме 20 мкл: 7,5 мкл H_2O , 2 мкл Buffer Rose, 0,5 мкл эндонуклеаза рестрикции *MspI* (ООО «SibEnzyme»), 10 мкл амплифицированного ПЦР-продукта. Реакцию проводили в термостате при $37^\circ C$.

Анализ полиморфизма гена кальпастатина овец (*CAST*) проводили с помощью метода ПЦР-ПДРФ с последующим разделением рестрицированных фрагментов в 2%-м агарозном геле, окрашенном бромидом ди-мидиума, для идентификации генотипа.

Результаты исследований. В рамках исследования полиморфизма ДНК-маркеров овец было выполнено тестирование овец южной мясной породы по гену кальпастатин (*CAST*). Для выявления аллельных вариантов в гене *CAST* был проведен анализ у 154 голов овец южной мясной породы. При проведении молекулярного анализа овец южной мясной породы были выявлены все аллельные варианты *CAST^{MM}*, *CAST^{MN}*, *CAST^{NN}* которые приведены на рисунке 1.

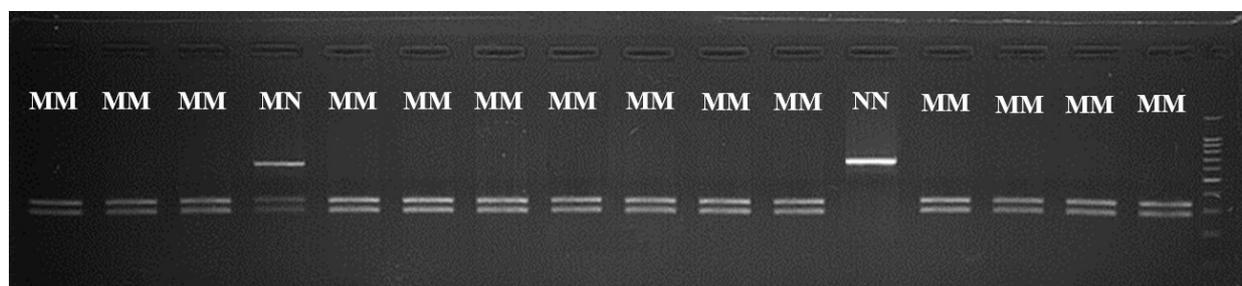


Рис. 1. Электрофорез рестриционного ПЦР- продукта гена *CAST* с использованием рестриционного фермента *MspI* на 2% агарозном геле у овец южной мясной породы (генотипы *NN* – 622 п.о, *MM* – 286 и 336 п.о, *MN* – 286, 336 и 622 п.о.)

Мутация гена *CAST* 287A>C определяет полиморфизм гена. Три генотипа: *NN* (622bp), *MM* (336bp и 286bp), и *MN* (622bp, 336bp и 286bp) были идентифицированы после реакции рестрикции с использованием рестриционного фермента *MspI*.

Результаты анализа частот встречаемости аллелей и генотипов гена кальпастатин (*CAST*) в популяции овец южной мясной породы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частота встречаемости аллелей и генотипов гена *CAST* у исследованной выборке овец южной мясной породы

Ген	Частота аллелей, %		Частота встречаемости генотипов, %					
	M	N	MM		MN		NN	
	%	%	n	%	n	%	n	%
<i>CAST</i> (n=154)	0,92	0,08	129	83,8	23	15	2	1,29

В таблице 2 приведены данные анализа частот по группам животных.

Таблица 2

Частота встречаемости аллелей по группам животных

Группа овец	Количество овец	Частота аллелей, %		Частота встречаемости генотипов, %					
		M	N	MM		MN		NN	
		%	%	n	%	n	%	n	%
Бараны	80	0,93	0,07	70	87,5	8	10	2	2,5
Баранчики	23	0,91	0,09	19	82,60	4	17,39	-	-
Ярочки	51	0,89	0,11	40	78,43	11	21,56	-	-

Исследование выбранных групп овец южной мясной породы по данным полиморфизма гена *CAST* показали наличие всех трех генотипов *CAST^{MM}*, *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}*. В результате анализа было выявлено, что ген кальпастатин (*CAST*) является полиморфным в изучаемой выборке овец. Наибольшей частотой встречаемости характеризовался аллель M (0,92), который встречался в гомозиготном состоянии у 129 (83,8%) особей и в гетерозиготном – у 23 (15%) овец. Частота встречаемости аллеля N и генотипа NN составили 0,08 и 1,29% соответственно. По таблице 2 можно увидеть, что генотип NN встречается только у группы баранов, когда как у группы баранчиков и ярочек данного генотипа не обнаружено. Так же стоит отметить, что аллель M и генотип MM преобладает у всех трех исследуемых групп животных.

Заключение. Полученные впервые результаты анализа полиморфизма гена кальпастатин (*CAST*) у овец южной мясной породы свидетельствуют о наличии разнообразия аллельных вариантов. При изучении полиморфизма гена *CAST* овец у южной мясной породы были обнаружены генотипы MM и MN с различной частотой встречаемости. Результаты этой работы, а именно: наличие полиморфизма в целевом однонуклеотидном полиморфизме в гене *CAST* у овец южной мясной породы, создают предпосылки для внедрения этого ДНК-маркера в селекционную работу с южной мясной породой овец.

Список источников

1. Leal-Gutiérrez J. D. et al. Association of μ -calpain and calpastatin polymorphisms with meat tenderness in a brahman-angus population // *Frontiers in genetics*. 2018. Т. 9. С. 56. doi: 10.3389/fgene.2018.00056
2. Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O., Sevim, S., Ozturk, M., & Ata, N. Calpastatin Gene Polymorphism in Turkish Sheep Breeds. International Scientific Conference (BALNIMALCON- 2013): Challenges of the Balkan Animal Industry and the Role of Science and Cooperation. Namik Kemal University Tekirdağ – Turkey. 20 (5), 675-680 (2014)
3. Degtyarev, D. Y., Skorykh, L. N., Kovalenko, D. V., Emelyanov, S. A., Konik, N. V. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Т. 7. №. 4. С. 2137-2139.
4. Selionova, M. I., Chizhova, L. N., Surzhikova, E. S., Podkorytov, N. A., Podkorytov, A. T., Voblikova, T. V. Meat productivity of sheep of the Altai Mountain breed of different genotypes according to the *CAST* and *GDF9* genes // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. Т. 613. №. 1. С. 012130. doi:10.1088/1755-1315/613/1/012130
5. Greguła-Kania, M., Gruszecki, T. M., Junkuszew, A., Juszczuk-Kubiak, E., Florek, M. Association of *CAST* gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep // *Meat science*. 2019. Т. 154. С. 69-74. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.04.007
6. Armstrong, E., Ciappesoni, G., Iriarte, W., Da Silva, C., Macedo, F., Navajas, E. A., ... & Postiglioni, A. Novel genetic polymorphisms associated with carcass traits in grazing Texel sheep // *Meat science*. 2018. Т. 145. С. 202-208. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.014
7. Palmer, B. R., Roberts, N., Hickford, J. G., Bickerstaffe, R. Rapid communication: PCR-RFLP for *MspI* and *NcoI* in the ovine calpastatin gene // *Journal Animal Science*. 1998. Vol. 76. Iss. 5. С. 1499-500. doi: 10.2527/1998.7651499x
8. Azari M. A., Dehnavi E., Yousefi S., Shahmohamadi L. Polymorphism of calpastatin, calpain and myostatin genes in native Dalagh sheep in Iran // *Slovak Journal of Animal Science*. 2012. Т. 45. №. 1. С. 1-6.
9. Khan S. U. H., Riaz M. N., Ghaffar A., Khan M. F. U. Calpastatin (*CAST*) gene polymorphism and its association with average daily weight gain in Balkhi and Kajli sheep and Beetal goat breeds // *Pakistan Journal of Zoology*. 2012. Т. 44. №. 2.
10. Montes D., Lenis C., Hernández D. Polymorphisms of the calpain and calpastatin genes in two populations of Colombian creole sheep // *Rev. MVZ Cordoba*. 2019. Т. 24. №. 1. С. 7113-7118. doi: 10.21897/rmvz.1345
11. Jawasreh K., Jadallah R., Al-Amareen A. et al., Indian J. Growth performance and meat characteristics of the first filial Awassi-Rambouillet callipyge ram lambs // *Veterinary World*. 2019. Т. 12. №. 6. P. 783-788. doi:10.14202/vetworld.2019.783-788

12. Afanasyeva A., Sarychev V., Goncharenko G. Phenotypic effects of polymorphism of the calpastatin gene (CAST), associated with growth and development indicators, in West Siberian mutton breed. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture - development strategy". Advances in Intelligent Systems Research. 2019. Т.167. С. 116-120.
13. Чижова Л. Н., Карпова Е. Д., Суржикова Е. С., Забелина М. В. Жирнокислотный состав липидов мышечной ткани молодняка овец разных аллельных вариантов гена CAST // Овцы, козы, шерстяное дело. 2021. №2. С.12-15. doi: 10.26897/2074-0840-2021-2-12-15.

References

1. Leal-Gutiérrez, J. D., Elzo, M. A., Johnson, D. D., Scheffler, T. L., Scheffler, J. M., & Mateescu, R. G. (2018). Association of μ -calpain and calpastatin polymorphisms with meat tenderness in a brahman–angus population. *Frontiers in genetics*, 9, 56. doi: 10.3389/fgene.2018.00056.
2. Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O., Sevim, S., Ozturk, M., & Ata, N. (2013). Calpastatin gene polymorphism in Turkish sheep breeds.
3. Degtyarev, D. Y., Skorykh, L. N., Kovalenko, D. V., Emelyanov, S. A., & Konik, N. V. (2016). Using genetic markers in breeding sheep. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(4), 2137-2139.
4. Selionova, M. I., Chizhova, L. N., Surzhikova, E. S., Podkorytov, N. A., Podkorytov, A. T. & Voblikova, T. V. (2020). Meat productivity of sheep of the Altai Mountain breed of different genotypes according to the CAST and GDF9 genes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 613, 1, 012130). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012130.
5. Gregula-Kania, M., Gruszecki, T. M., Junkuszew, A., Juszczuk-Kubiak, E., & Florek, M. (2019). Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep. *Meat science*, 154, 69-74. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.04.007
6. Armstrong, E., Ciappesoni, G., Iriarte, W., Da Silva, C., Macedo, F., Navajas, E. A., ... & Postiglioni, A. (2018). Novel genetic polymorphisms associated with carcass traits in grazing Texel sheep. *Meat science*, 145, 202-208. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.014
7. Palmer, B. R., Roberts, N., Hickford, J. G., & Bickerstaffe, R. (1998). Rapid communication: PCR-RFLP for MspI and NcoI in the ovine calpastatin gene. *J. Anim. Sci*, 76(5), 1499-1500. doi: 10.2527/1998.7651499x.
8. Azari, M. A., Dehnavi, E., Yousefi, S., & Shahmohamadi, L. (2012). Polymorphism of calpastatin, calpain and myostatin genes in native Dalagh sheep in Iran. *Slovak Journal of Animal Science*, 45(1), 1-6.
9. Khan, S. U. H., Riaz, M. N., Ghaffar, A., & Khan, M. F. U. (2012). Calpastatin (CAST) gene polymorphism and its association with average daily weight gain in Balkhi and Kajli sheep and Beetal goat breeds. *Pakistan Journal of Zoology*, 44(2).
10. Montes V, D., Lenis V, C., & Hernández H, D. (2019). Polymorphisms of the calpain and calpastatin genes in two populations of Colombian creole sheep. *Revista MVZ Córdoba*, 24(1), 7113-7118. doi: 10.21897/rmvz.1345
11. Jawasreh, K. I., Al-Amareen, A. H., & Aad, P. Y. (2019). Growth performance and meat characteristics of the first filial Awassi-Rambouillet callipyge ram lambs. *Veterinary World*, 12(6), 783. doi: org/10.14202/vetworld.2019.783-788
12. Afanasyeva, A., Sarychev, V., & Goncharenko, G. (2019). Phenotypic effects of polymorphism of the calpastatin gene (CAST), associated with growth and development indicators, in West Siberian mutton breed. *International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture-development strategy" (ISPC 2019)*. (pp. 116-120). Atlantis Press.
13. Chizhova, L. N., Karpova, E. D., Surzhikova, E. S., & Zabelina, M. V. (2024). Fatty acid composition of muscle tissue lipids in young sheep of different allelic variants of the CAST gene. *Sheep, goats, wool business*, (2), 12-15. (in Russ). doi: 10.26897/2074-0840-2021-2-12-15.

Информация об авторах

А. Д. Соловьева – младший научный сотрудник;

Т. Е. Денискова – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

A. D. Solovyova – Junior Researcher;

T. E. Deniskova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, leading researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.06.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.

The article was submitted 26.06.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 619:615:616:636.2

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-91-97

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА НУТРИЕНТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ БОЛЬНЫХ РАХИТОМ ТЕЛЯТ

Елена Михайловна Наговицына^{1✉}, Алексей Владимирович Савинков², Александр Геннадьевич Мещеряков³

^{1,2} Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

³ АгроПлемКонсалтинг, Самара, Россия.

¹ nagovitsyna.alenka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7166-3851>

² a_v_sav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9280-1400>

³ agroplemkonsalting@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0854-0939>

Резюме. В задачи исследования входило изучение влияния кормовой добавки на основе природных минералов и органического белка на биохимические показатели крови у телят с клиническими проявлениями рахита. У подопытных телят в начале эксперимента были выявлены характерные для рахита изменения в опорно-двигательном аппарате. Биохимический анализ крови выявил негативные отклонения в параметрах минерального и белкового обмена. Использование минерально-белковой добавки привело к восстановлению концентрации в крови больных телят общего кальция, неорганического фосфора и нормализации соотношения между этими двумя элементами. В рамках референсных границ было отмечено повышение параметров белкового обмена в крови, а также снижение до оптимальных значений активности щелочной фосфатазы. На внешнем уровне положительное влияние комплексного средства было подтверждено сведениями ультразвуковой остеометрии, указывающей на повышение минеральной плотности костной ткани. Также было отмечено увеличение суточных приростов больных телят. Правильный подбор эссенциальных нутриентов в комплексной терапии рахита молодняка крупного рогатого скота, играет ключевую роль в восстановлении ключевых характеристик минерального обмена и нормализации функций всего систем организма животных. При условии, что организм телят получает достаточное количество природно необходимых составляющих белково-минеральных веществ, он способен эффективно выполнять все необходимые функциональные задачи, включая формирование полноценных тканевых структур.

Ключевые слова: телята, рахит, биохимический анализ крови, кормовая добавка, ультразвуковая эхоостеометрия.

Для цитирования: Наговицына, Е. М., Савинков А. В., Мещеряков А. Г. Влияние комбинированного комплекса нутриентов на биохимические показатели крови больных рахитом телят // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 91-97. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-91-97

Original article

THE INFLUENCE OF COMBINED COMPLEX OF NUTRIENTS ON BIOCHEMICAL PARAMETERS OF BLOOD OF CALVES WITH RICKETIS

Elena M. Nagovitsyna^{1✉}, Alexey V. Savinkov², Alexander G. Meshcheryakov³

^{1,2} Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara Region, Russia.

³ AgroPlemConsulting LLC, Samara, Russia.

¹ nagovitsyna.alenka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7166-3851>

² a_v_sav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9280-1400>

³ agroplemkonsalting@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0854-0939>

Abstract. The objectives of the study were to investigate the effect of a feed additive based on natural minerals and organic protein on biochemical blood parameters in calves with clinical manifestations of rickets. At the beginning of the experiment, changes in the musculoskeletal system characteristic of rickets were revealed in the experimental calves. Biochemical blood analysis revealed negative deviations in the parameters of mineral and protein metabolism. The use of a mineral-protein supplement led to the restoration of the concentration of total calcium and inorganic phosphorus in the blood of sick calves and normalization of the ratio between these two elements. Within the reference limits, an increase in the parameters of protein metabolism in the blood was noted, as well as a decrease in the activity of alkaline phosphatase to optimal values. At the external level, the positive effect of the complex remedy was confirmed by ultrasound osteometry, indicating an increase in bone mineral density. An increase in the daily increments of sick calves was also noted. The correct selection of essential nutrients in the complex therapy of rickets of young cattle plays a key role in restoring key characteristics of mineral metabolism and normalization of functions of the entire animal body systems. Provided that the body of calves receives a sufficient amount of naturally necessary components of protein and mineral substances, it is able to effectively perform all necessary functional tasks, including the formation of full-fledged tissue structures.

Keywords: calves, rickets, biochemical blood analysis, feed additive, ultrasound echosteometry.

For citation: Nagovitsyna, E. M., Savinkov, A. V. & Meshcheryakov, A. G. (2024). The influence of combined complex of nutrients on biochemical parameters of blood of calves with rickets. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4. 91-97. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-91-97

Развитие сельского хозяйства страны, ее структурных составляющих – растениеводства, птицеводства, животноводства, является актуальной задачей агропромышленного комплекса (АПК) государства [1]. «Государственная аграрная политика есть часть достижения продовольственной безопасности, стратегической целью которой является обеспечение населения страны безопасной, качественной и доступной сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием в объемах, обеспечивающих рациональные нормы потребления пищевой продукции» [2].

Важнейшее значение в обеспечении более высоких и устойчивых темпов производства продуктов питания животного происхождения, обеспечении продовольственной независимости страны от импорта животноводческой продукции имеет нормированное, сбалансированное и полноценное кормление животных [3]. Производственный потенциал животноводства напрямую связан с полноценным кормлением и выращиванием молодняка сельскохозяйственных животных [4]. В современном сельскохозяйственном производстве, особенно в промышленном, сохранность молодняка и предотвращение болезней являются важными задачами зоотехнии и ветеринарии [5].

Недостаток полноценного питания животных различными питательными веществами в их рационе приводит к развитию различных заболеваний, таких как рахит. Витамин *D* играет ключевую роль в процессе усвоения кальция и фосфора, необходимых для нормального роста и развития костей. При его недостатке уровень кальция и фосфора в крови животных снижается, что приводит к нарушению минерализации костей. Симптомами гиповитаминоза *D* включают слабость, потерю аппетита, раздражительность, боль в костях и мышцах, деформации костей, такие как искривление ног, увеличение реберных хрящей и другие. Лечение рахита включают в себя увеличение потребления витамина *D* через пищу или специальные кормовые добавки и физической активности для улучшения абсорбции кальция и фосфора организмом молодняка [5].

На сегодняшний день систематизаций знаний и практический опыт в области использования кормовых добавок для рациона молодняка КРС и их правильная концентрация в виде смеси макро- и микроэлементных питательных веществ оказывают терапевтическое действие в ряде заболеваний с нарушениями обмена веществ. С одной стороны, они существенно ускоряют общий объем метаболизма организма молодняка животных, с другой – укрепляют опорно-двигательный аппарат, а также позволяют быстро набирать массу их тела [6, 7].

Существующие на сегодняшний день стандартные виды обогащения рациона молодняка животных с помощью витаминно-минерального кормления в виде премиксов и инъекционных форм витаминно-минеральных препаратов имеют ряд недостатков. Основными из которых являются недолгий срок хранения, стрессовость в связи с проведением частых манипуляций, отсутствие технологичности процесса инъекционного введения, низкий процент поступления и усвояемости соединений и другие [8]. При этом современные комбикорма и биологические активные вещества для молодняка животных в основном используются для повышения продуктивности в животноводстве. Однако проблема лечения рахита молодняка сельскохозяйственных животных все еще требует дополнительных научных и практических исследований [9-15].

Существуют несколько методов лечения рахита, включая использование препаратов витамина *D*, кальция и фосфора. Однако эффективность этих методов может варьироваться в зависимости от стадии заболевания или индивидуальных породистых особенностей животного. А некоторые исследования вовсе показывают, что длительное применение высоких доз витамина *D* может привести к побочным эффектам [9,10].

В связи с этим, разработка новой специализированной кормовой добавки с учетом витаминно-минерального ее состава является актуальным направлением в профилактике и лечении телят такими заболеваниями.

Цель исследований: усовершенствование лечебно-профилактических мероприятий при рахите молодняка крупного рогатого скота.

Задачи исследований: изучение влияния кормовой добавки на основе природных минералов и органического белка на биохимические показатели крови у телят с клиническими проявлениями рахита.

Материалы и методы исследований. Эксперимент проводился в производственных условиях на молочно-товарном предприятии в Самарской области летом 2023 года. Для проведения эксперимента был осуществлен подбор двух групп телят: опытной и контрольной, в возрасте один месяц, по 10 голов. Животные обеих групп имели характерные клинические проявления рахита. Телята опытной группы получали испытываемую кормовую добавку, содержащую в своем составе комплекс ископаемых минеральных компонентов с высоким содержанием кальция, фосфора и серы, а также использовался белковый компонент органического происхождения. Кормовая добавка, равномерно перемешивалась с дробленой зерносмесью и использовалась в количестве 1 г на кг массы тела животного в сутки.

Животные контрольной группы содержались в аналогичных условиях и получали такие же корма рациона, что и телята опытной группы.

Экспериментальная часть работы продолжалась в течение 60 суток. В качестве контроля за состоянием организма животных использовались показатели биохимического анализа крови (БАК), которые включали определенные оцениваемые параметры в сыворотке крови телят: показатель общего количества фосфора; показатель концентрации креатинина; показатель концентрации Са; показатель общего белка; показатель щелочной фосфатазы и показатель глюкозы.

В ходе проведения эксперимента кровь телят для анализа брали в начале исследования, промежуточного исследования через 30 суток и через 60 суток после его начала. Процедуру проводили из яремной вены, используя одноразовые вакуумные системы с активатором свертывания.

Исследование крови производилось в лаборатории гематологии и биохимии факультета БиВМ ФГБОУ ВО Самарский ГАУ на автоматическом биохимическом ветеринарном анализаторе FUJIFILM Dri-Chem NX 500 Series с использованием коммерческих наборов реактивов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерного приложения Microsoft Office Excel посредством методов стандартной вариационной статистики. В качестве критерия статистической достоверности применялся критерий Стьюдента [8].

Результаты исследований. При первоначальном осмотре телят, участвовавших в эксперименте, были обнаружены типичные для рахита визуальные изменения от стандартных. Они включали взъерошенный волосяной покров, отсутствие блеска и повышенную ломкость волосяного покрова поверхности телят. У исследуемых животных были выявлены вторичные признаки заболевания:

1. Отставание в росте и развитии связанное с неправильной работой кишечника и трудностями усвоения пищи.
2. Слабость конечностей за счет их искривления, характеризующиеся визуально в виде Х-образной искривлений на передних ногах.
3. Снижение аппетита за счет сдавливания сердца и легких деформированными ребрами и недоразвитостью микрофлоры желудка.
4. Общая вялость, проявляющаяся повышенной утомляемостью и вялыми, неустойчивыми движениями.

Таким образом, все наблюдаемые первичные и вторичные признаки такой болезни указывают на наличие системного нарушения обмена веществ, недостаточную минерализацию костей скелета и нарушение развития опорно-двигательного аппарата, характерные для рахита.

Результаты биохимического исследования крови телят представлены в таблице 1.

Таблица 1

Динамики показателей биохимического исследования крови телят

Показатель / период исследований	Группы животных		Референсные значения
	Контрольная	Опытная	
Общий белок, г/л			60-80
1 сутки	61,89±1,24	63,89±1,27	
30 суток	62,13±1,08	73,50±1,48***	
60 суток	61,20±1,14	75,60±1,94***	
Креатинин, ммоль/л			до 133
1 сутки	69,80±2,91	68,00±4,10	
30 суток	65,11±3,92	74,90±3,78	
60 суток	62,40±3,75	71,10±3,46	
Общий кальций, ммоль/л			2,3-2,9
1 сутки	3,01±0,05	3,00±0,04	
30 суток	2,95±0,04	2,55±0,02***	
60 суток	2,94±0,04	2,61±0,02***	
Неорганический фосфор, ммоль/л			1,0-2,6
1 сутки	3,10±0,08	3,14±0,10	
30 суток	2,99±0,09	2,10±0,13***	
60 суток	2,94±0,10	1,90±0,13***	
ЩФ, ед/л			до 200
1 сутки	360,20±10,34	398,20±17,37	
30 суток	346,67±25,83	188,10±20,03**	
60 суток	259,30±13,15	183,30±16,00	

Примечание: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001 по отношению к контролю.

В начале исследования было установлено, что уровень общего кальция, неорганического фосфора, глюкозы, а также активность ЩФ превышали верхние референсные значения. На основании этих данных можно сделать заключение, что у подопытных животных отмечается существенное отклонение в параметрах минерального обмена.

Уровень общего кальция был нетипично завышен, что можно связать с усиленной деятельностью остеокластов и активным вымыванием данного элемента из костной ткани. Этому сопутствуют также высокие значения неорганического фосфора, что зачастую является признаком нарушения кислотно-щелочного равновесия в организме больного животного. В результате выявленных отклонений в показателях кальция и фосфора было установлено нарушение соотношения этих элементов. В контрольной группе оно составило – 1, а в опытной – 0,95, при оптимальных физиологических значениях – 1,5-2.

Содержание общего белка не выходило за пределы нормы, но находилось на уровне минимальных референсных границ. Снижение показателей белка в сыворотке крови является одним из распространенных факторов, встречающихся при нарушении минерального обмена у молодняка сельскохозяйственных животных.

Отмеченным отклонениям сопутствовали высокие значения активности щелочной фосфатазы, что, с одной стороны является признаком интенсивного формирования органического матрикса костной ткани растущего организма, но при наличии отклонения в значениях минерального обмена сопутствует патологическим изменениям в формировании зон роста костей скелета.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что в результате нарушения минерального обмена происходит ряд негативных изменений в отдельных параметрах функционального состояния организма телят.

При последующей динамической оценке характеристик сыворотки крови видно, что все ее изучаемые параметры в опытной группе через 30 и 60 суток использования испытываемой комбинации кормовых нутриентов претерпели существенные изменения по сравнению с контрольными аналогами. Через 30 суток отмечается существенные изменения содержания в крови общего белка. Его количество в опытной группе увеличилось в рамках физиологических границ на 15,0% по сравнению с исходными значениями. В контрольной группе изменения были несущественными. Различия между значениями опытной и контрольной группой составили 18,3% ($P < 0,001$) в пользу животных опытной группы. В конце эксперимента в обеих группах существенных изменений по сравнению с результатами предыдущей серии не происходит. В опытной группе значения уровня общего белка были больше, чем в контроле на 23,5% ($P < 0,001$).

В опытной группе телят уровень креатинина увеличился на 10,1% через 30 суток и на 4,5% через 60 суток по сравнению с начальными данными. В контрольной группе телят данный показатель уменьшился на 11,8%, а разница между группами через 60 суток составила 14%. Креатинин является продуктом обмена белков, которые образуются в мышцах и выделяются в кровь. Его уровень в крови зависит от объема мышечной массы, скорости ее роста и развития, а также от работы почек. Повышенный уровень для опытной группы свидетельствует об увеличении мышечной массы тела телят и интенсивности кровообращения в мышцах по обмену питательными веществами и выработке белков. Это наблюдение, в целом подтверждает улучшение качества белкового обмена на фоне использования комбинированного средства.

Кальций играет важную роль в регуляции многих процессов в живых организмах, включая свертываемость крови, межклеточного обмена, сокращение мышц, передачу нервных импульсов и формирование костной ткани. В процессе опыта произошло снижение уровня общего кальция в сыворотке крови опытной группы телят на 15% через 30 суток и на 13% за 60 суток ($P < 0,001$) по сравнению с исходными данными до оптимальных значений нормы. В контрольной группе существенных изменений не произошло за это время. Разница значений данного показателя между двумя группами через 30 суток составила 13,5% ($P < 0,001$) и 11,2% ($P < 0,001$) на 30 и 60 сутки соответственно, в пользу контрольной группы.

Изменения минерального обмена всегда рассматриваются в контексте взаимодействия кальция и фосфора. Фосфор, наряду с кальцием, играют важную роль во многих процессах, включая формирование костей и зубов, передачу нервных импульсов, энергообмен в клетках, сокращение мускулатуры и др. Если рассматривать эти изменения в деталях, то можно констатировать снижение концентрации фосфора в сыворотке крови телят опытной группы через 30 суток на 33,1% ($P < 0,001$) через 60 суток ($P < 0,001$) по сравнению с исходными данными и на 29,8% ($P < 0,001$) и 35,4% ($P < 0,001$) на 30 и 60 сутки соответственно по сравнению с контрольной группой в пользу последней. При этом показатели контрольной группы за это время менялись не существенно. В результате выявленных преобразований произошла нормализация кальций фосфорного соотношения. В опытной группе на 30 суток оно составило 1,2, а на 60 суток 1,4. Тогда как в контрольной группе это соотношение имело

значение 0,98 и 1,0 соответственно, что не отличалось от исходных значений, наблюдаемых в начале исследовательской работы.

Таким образом, использование в рационе комбинированной добавки с содержанием естественных белков и природных минералов способствует нормализации таких важных параметров минерального обмена, как содержание в крови кальция и фосфора. При этом происходит не только возвращение значений данных показателей к оптимальному уровню, но и нормализуется физиологическое взаимодействие между ними. Эти изменения имеют системное значение, положительно воздействуя на многие процессы жизнедеятельности и развитие опорно-двигательного аппарата растущего организма.

В нашем случае, применение экспериментальной кормовой добавки способствовало укреплению костей больных телят, что было установлено при использовании оценочного критерия методики ультразвуковой денситометрии.

При изучении динамики активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови телят было установлено, что у животных опытной группы произошло уменьшение данного показателя на 52,8% ($P < 0,001$) через 30 суток и 54,0% ($P < 0,001$) через 60 суток по сравнению с начальными данными.

Разница значений данного показателя между двумя группами составила 45,7% ($P < 0,01$) на 30 суток и 29,3% ($P < 0,05$) в конце исследования.

В контрольной группе изменения через месяц экспериментов были незначительными. В конце опыта произошло снижение показателя на 28,0%, не достигая при этом максимальных границ нормы.

Щелочная фосфатаза – это фермент, который находится в клетках различных органов, включая печень, кости, кишечник. В данном случае, высокий уровень активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови у больных рахитом телят обусловлено нарушением процесса обызвествления костной ткани. Снижение данного показателя у телят, принимавших кормовую добавку, обусловлено восстановлением обмена веществ и минерализацией костной ткани, что видно из совокупных изменений, отмеченных в ходе исследования.

Одним из бесспорных критериев, подтверждающих улучшение состояния костной ткани, является повышение скорости ультразвука в пястных костях скелета телят при использовании метода ультразвуковой денситометрии. Согласно основной концепции данного диагностического решения, чем выше минерализация костной ткани, тем больше ее плотность. Скорость прохождения ультразвукового сигнала через костную ткань будет тем выше, чем эта ткань будет более плотной и компактной.

В процессе опыта было установлено, что через 30 суток скорость ультразвука в пястной кости телят опытной группы было больше, чем в контроле на 3,94% ($P < 0,001$), а в конце опыта различия между группами составили 2,07% ($P < 0,01$). Таким образом, использование комплексного средства с разносторонним механизмом замещающего действия способствует повышению минерализации костной ткани и восстановлению возрастного развития опорно-двигательного аппарата больных телят. Последнее заявление подтверждается более высокими суточными привесами телят опытной группы (844 г/сут) по сравнению с контрольными аналогами (620 г/сут), при этом различие в массе тела животных опытной группы был больше контрольных телят на 17,1% ($P < 0,001$).

Исходя из результатов эксперимента, можно заключить, что использованная комбинация минеральных и белковых составляющих в рационе животных оказала положительное влияние на кальций-фосфорный обмен, что подтверждается нормализацией показателей общего кальция и неорганического фосфора в крови и восстановлением соотношения содержания этих элементов. При этом одним из критериев восстановления минерализации костной ткани является снижение активности в крови щелочной фосфатазы у подопытных животных. Важным признаком, который сопутствует восстановлению минерального обмена, является повышение в сыворотке крови общего белка и его метаболита, кретинина. Учитывая общесистемное значение функциональной интенсивности белкового обмена, повышение уровня его маркеров, является свидетельством полноценного восстановления организма от последствий болезни. Все эти изменения следует рассматривать в комплексе с восстановлением опорно-двигательного аппарата, что подтверждается данными ультразвуковой денситометрии, указывающей на увеличение минеральной плотности костей телят получавших испытываемую добавку, а также повышением массы тела подопытных животных, значимо отличающейся от представителей контрольной группы. Исходя из этого, можно отметить, что правильный подбор эссенциальных нутриентов в комплексной терапии рахита молодняка крупного рогатого скота, играет ключевую роль в восстановлении ключевых характеристик минерального обмена и нормализации функций всего систем организма животных. При условии, что организм телят получает достаточное количество природно необходимых составляющих белково-минеральных веществ, он способен эффективно выполнять все необходимые функциональные задачи, включая формирование полноценных тканевых структур.

Заключение. Проведенное нами экспериментальное исследование показало, что у подопытных телят в начале эксперимента были выявлены характерные для рахита изменения в опорно-двигательном аппарате. Биохимический анализ крови выявил негативные отклонения в параметрах минерального и белкового обмена. Использование минерально-белковой добавки привело к восстановлению концентрации в крови больных телят общего кальция, неорганического фосфора и нормализации соотношения между этими двумя элементами. В рамках референсных границ было отмечено повышение параметров белкового обмена в крови, а также снижение до оптимальных значений активности щелочной фосфатазы. На внешнем уровне положительное влияние комплексного средства было подтверждено сведениями ультразвуковой остеометрии, указывающей на повышение минеральной плотности костной ткани. Также было отмечено увеличение суточных приростов массы тела больных телят.

Список источников

1. Аджилова А. С., Канцеров Р. А., Школьникова Н. Н. Государственная поддержка развития сельского хозяйства региона с аграрным профилем экономики // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 02(217). С. 60-70. doi: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-60-70.
2. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 16.04.2024).
3. Аванесова М. В. Направленное выращивание ремонтных телок // *EUROPEAN RESEARCH* : сборник научных трудов, Пенза : Наука и Просвещение, 2020. С. 54-56. EDN NKMYEX.
4. Mikolaichik, I. N., Morozova, L. A., Kakhikalo, V. G., Ovchinnikova, L. Y., Yarmots, L. P., Karmatskikh, Y. A., & Charykov, V. I. Microbiological supplements for the metabolic rate correction in calves // *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020. Т. 11, №. 2. С. 1102. Doi: 10.14456/ITJEMAST.2020.39. EDN RUBTOO.
5. Печура Е. В., Порываева А. П. Профилактическая и лечебная эффективность препарата Эндовираза® при респираторных болезнях молодняка крупного рогатого скота // *Ветеринария*. 2020. № 9. С. 56-59. doi: 10.30896/0042-4846.2020.23.9.56-59. EDN WXWWWL.
6. Захарова Л. Н., Черноградская Н. М., Попова А. В., Слепцов Е. С., Николаева Н. А., Румянцева Т. Д. Выращивание ремонтных телок разных пород в условиях Якутии // *Ветеринария и кормление*. 2024. № 2. – С. 31-34. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-7. EDN EJZWX.
7. Roadknight N. W., Courtman N. F., Mansell P. D. et al (2021). Biochemistry and hematology reference intervals for neonatal dairy calves aged 5-12 days. *Veterinary Clinical Pathology*, 50(2), 278-286.
8. Малкова Н. Н., Остякова М. Е., Щербинина С. А. Гематологические показатели телят при профилактике гипопаратиреоза в условиях Амурской области // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 4(52). С. 148-153. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-148-153. EDN YJVSFC.
9. Корочкина Е. А. Инновационный метод коррекции витаминно-минерального гомеостаза у животных : дис. ... д-р.ветеринар. наук. СПб., 2023.
10. Трушкин В., Никишина И., Ковалев С., Войнова А., Полевая А. Динамика некоторых биохимических показателей крови телят, больных субклиническим рахитом // *Правовое регулирование в ветеринарии*. 2018. №1. С.70-72.
11. Samad M. A. A systematic review of congenital anomalies in calves and kids reported during the period from 1975 to 2021 in Bangladesh // *J. Vet. Med. OH Res*. 2021. Т. 3, №. 2. С. 129-153.
12. Grünberg W. Rickets in Animals. MSD Veterinary Manual. Germany: Justus-Liebig-Universität Giessen. 2020.
13. Sharma D. K., Sonawane G. G., Swarnkar C. P. Clinico-hemato-biochemical study of two commercial feed supplements for amelioration of rickets in growing male lambs // *Comparative Clinical Pathology*. 2018. № 27. С. 231-238.
14. Yadav R., Mondal B. C., Chauhan R. S. Nutrients and their Effect on Immunomodulation in Animals // *Intas Polivet*. 2020. Т. 21. №. 2. С. 267-287.
15. Wells T. L. Manipulation of Mammary Immunity in Dairy Cattle and Nutrition and Management Effects on Heifer Development and Immunity : дис. University of Florida, 2022.

References

1. Adzhikova, A. S., Kanzerov, R. A. & Shkolnikova, N. N. (2022) State support for the development of agriculture in a region with an agrarian profile of the economy // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2(217). 60-70. doi: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-60-70. (in Russ).
2. Decree of the President of the Russian Federation N. 20 dated January 21, 2020 «On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (date of access: 04/16/2024). (in Russ).
3. Avanesova, M. V. (2020) Directional redistribution of interest rates. // *EUROPEAN STUDIES'20 : collection of scientific papers*. Penza : Science and Education, 54-56. (in Russ).
4. Mikolaichik, I. N., Morozova, L. A., Kakhikalo, V. G., Ovchinnikova, L. Y., Yarmots, L. P., Karmatskikh, Y. A., & Charykov, V. I. (2020). Microbiological supplements for the metabolic rate correction in calves. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*, 11(2), 11A02S. doi: 10.14456/ITJEMAST.2020.39. EDN RUBTOO.

5. Pechura, E. V. & Poryvaeva, A. P. (2020). Preventive and curative efficacy of Endoviraza® in respiratory diseases of young cattle // *Veterinary medicine*. 9. 56-59. doi: 10.30896/0042-4846.2020.23.9.56-59. EDN WXWWWL. (in Russ).
6. Zakharova, L. N., Chernogradskaya, N. M., Popova, A.V., Sleptsov, E. S., Nikolaeva, N. A. & Romyantseva, T. D. (2024). Cultivation of repair heifers of different breeds in Yakutia // *Veterinary medicine and feeding*. 2. 31-34. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-7. EDN EJTZXW. (in Russ).
7. Roadknight N. W., Courtman N. F., Mansell P. D. et al (2021). Biochemistry and hematology reference intervals for neonatal dairy calves aged 5-12 days. *Veterinary Clinical Pathology*, 50(2), 278-286.
8. Malkova N. N., Ostyakova M.E., Shcherbinina S.A. (2020). Hematological parameters of calves in the prevention of hypoelementosis in the Amur region / N. N. Malkova, M. E. Ostyakova, S. A. Shcherbinina // *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 4(52). 148-153. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-148-153. EDN YJVSFC. (in Russ).
9. Korochkina, E. A. (2023) *An innovative method of correction of vitamin and mineral homeostasis in animals. Dissertation of the Doctor of Veterinary Sciences*. St. Petersburg. (in Russ).
10. Trushkin V., Nikishina I., Kovalev S. et al. (2018) Dynamics of some biochemical blood parameters of calves with sub-clinical rickets // *Legal regulation in veterinary medicine*. 1. 70-72. (in Russ).
11. Samad, M. A. (2021) A systematic review of congenital anomalies in calves and toddlers registered in the period from 1975 to 2021 in Bangladesh. *J. Vet. Med. OH Res*. 3(2). 129-153.
12. Grünberg, W. (2020) *Rickets in Animals. MSD Veterinary Manual*. Germany: Justus-Liebig-Universität Giessen.
13. Sharma, D. K., Sonawan, G. G. & Swarnkar, C. P. (2018) Clinico-hemato-biochemical study of two commercial feed supplements for amelioration of rickets in growing male lambs. *Comparative Clinical Pathology*. 27. 231-238.
14. Yadav, R., Mondal, B. C. & Chauhan, R. S. (2020) Nutrients and their Effect on Immunomodulation in Animals // *Intas Polivet*. 21(2). 267-287.
15. Wells, T. L. (2022). *Manipulation of Mammary Immunity in Dairy Cattle and Nutrition and Management Effects on Heifer Development and Immunity* (Doctoral dissertation, University of Florida).

Информация об авторах

Е. М. Наговицына – аспирант;
А. В. Савинков – доктор ветеринарных наук, профессор;
А. Г. Мещеряков – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

E. M. Nagovitsyna – postgraduate student;
A.V. Savinkov – Doctor of Veterinary Sciences, Professor;
A. G. Meshcheryakov – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Вклад авторов:

Е. М. Наговицына – написание статьи;
А. В. Савинков – научное руководство;
А. Г. Мещеряков – научное руководство.

Contribution of the authors:

E. M. Nagovitsyna – writing articles;
A. V. Savinkov – scientific management;
A. G. Meshcheryakov – scientific management.

Вклад авторов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.06.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 26.06.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 636.2:636.087.1:633.853.486

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-98-102

СЕМЕНА ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Степан Владимирович Зотеев¹, Роман Владимирович Некрасов², Владимир Степанович Зотеев^{3✉},
Андрей Александрович Санин⁴

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Московская область, Россия

^{3,4} Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

¹stephan007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8520-1738>

²nek_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

³Vladimir.zoteev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7853-4569>

⁴niis/len@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5838-2813>

Резюме. Цель исследований: изучить эффективность использования семян льна масличного сорта Кинельский 2000 в кормлении лактирующих коров. В семенах льна масличного содержится 37,0% масла, 22,0% сырого протеина. Основную часть жира представляет линоленовая кислота, аналог витамина F. По аминокислотному составу протеин семян льна близок к протеину сои. Это даёт основание рассматривать возможность использования семян льна масличного в рационах высокопродуктивных лактирующих коров. В научно-хозяйственном опыте на двух группах лактирующих коров по 8 голов в каждой изучено влияние комбикормов с содержанием в них 10,0% по массе льняного семени на потребление кормов, переваримость питательных веществ рациона. Включение в состав комбикорма-концентрата льняного семени обеспечивает повышение молочной продуктивности на 4,2%. Снижение затрат на производство 1 кг молока 4,0% жирности: 1,4% по ЭКЕ, 3,0 – по сухому веществу, 3,5 – по концентратам. Замена в комбикорме-концентрате 10,0% соевого шрота на семена льна масличного повышает переваримость питательных веществ кормов рациона: сухого вещества на 0,7 абс.%, сырого протеина – на 0,4 абс.%, сырого жира – на 0,2 абс.%, клетчатки – на 0,2 абс.%, БЭВ – на 0,3 абс.%. «Потери» азота с мочой у коров опытной группы были ниже контроля на 1,4 г (или на 1,3%). Усвоенный из желудочно-кишечного тракта азот у коров 2 опытной группы лучше использовался их организмом, чем у животных 1 контрольной группы для синтеза молочного белка. Включение в состав комбикормов-концентратов для лактирующих коров муки из семян льна масличного сорта Кинельский 2000 обеспечивает улучшение переваримости питательных веществ рациона. Это сопровождается ростом молочной продуктивности. Включение 10,0% по массе муки из семян льна в состав комбикорма-концентрата для лактирующих коров экономически целесообразно.

Ключевые слова: лактирующие коровы, семена льна масличного, переваримость питательных веществ, молочная продуктивность.

Для цитирования: Зотеев С. В., Некрасов Р. В., Зотеев В. С., Санин А. А. Семена льна масличного в комбикормах для лактирующих коров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 98-102. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-98-102

Original article

OILSEED FLAX SEEDS IN MIXED FEEDS FOR LACTATING COWS

Stepan V. Zoteev¹, Roman V. Nekrasov², Vladimir S. Zoteev^{3✉}, Andrey A. Sanin⁴

^{1, 2} All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russia

^{3,4} Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia

¹stephan007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8520-1738>

²nek_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

³Vladimir.zoteev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7853-4569>

⁴niis/len@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5838-2813>

Abstract. The purpose of the research is to study the effectiveness of using flax seeds of the oilseed variety Kinelsky 2000 in feeding lactating cows. Oilseed flax seeds contain 37.0% oil, 22.0% crude protein. The main part of fat is linolenic acid, an analogue of vitamin F. In terms of amino acid composition, flax seed protein is close to soy protein. This gives reason to consider the possibility of using oilseed flax seeds in the diets of highly productive lactating cows. In scientific and economic experience on two groups of lactating cows of 8 heads each, the effect of compound feeds with a content of 10.0% by weight of flaxseed on feed consumption and the

digestibility of nutrients in the diet was studied. The inclusion of flaxseed concentrate in the feed provides an increase in milk productivity by 4.2%. Reducing the cost of producing 1 kg of milk by 4.0% fat content: 1.4% by WEIGHT, 3.0% by dry matter, 3.5% by concentrates. The replacement of 10.0% soy meal in a compound feed concentrate with oilseed flax seeds increases the digestibility of nutrients in the diet feed: dry matter by 0.7 abs.%, crude protein – by 0.4 abs.%, crude fat – by 0.2 abs.%, fiber – by 0.2 abs.%, BEV – by 0.3 abs.%. The "loss" of nitrogen in urine in cows of the experimental group was lower than the control by 1.4 g (or 1.3%). Nitrogen absorbed from the gastrointestinal tract in cows of the 2nd experimental group was better used by their body than in animals of the 1st control group for the synthesis of milk protein. The inclusion of flour from flax seeds of the oilseed variety Kinelsky 2000 in the composition of compound feeds concentrates for lactating cows provides an improvement in the digestibility of nutrients in the diet. This is accompanied by an increase in dairy productivity. The inclusion of 10.0% by weight of flax seed flour in the composition of compound feed concentrate for lactating cows is economically feasible.

Keywords: lactating cows, oilseed flax seeds, digestibility of nutrients, milk productivity.

For citation: Zoteev S. V., Nekrasov R. V., Zoteev S. V. & Sanin A. A. (2024). Oilseed flax seeds in mixed feeds for lactating cows. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4, 98-102. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-98-102

Лён масличный (*Linum usitatissimum* L) сорта Кинельский 2000 – ценная техническая культура. В семенах его содержится 37% масла, 22% сырого протеина. Основную часть жира представляет линоленовая кислота, аналог витамина F [1]. В семенах льна содержатся диетические фенольные соединения – лигнаны, предотвращающие онкологические заболевания. В белке семян льна линуине количество альбуминов в 7 раз больше, чем в протеине сои. Льняные семена стимулируют деятельность желудочно-кишечного тракта. Полисахариды этой культуры способствуют нормализации функции печени. По аминокислотному составу протеин семян льна близок к протеину сои. Что даёт основание рассматривать возможность использования семян льна масличного в рационах высокопродуктивных лактирующих коров. Основную фракцию протеина льна масличного представляют альбумины и глобулины. В состав семян льна масличного входят макро и микроэлементы в достаточно большом количестве. Витамины ниацин и холин в количестве 0,1 и 4,9 мг/100 г семян обладают ярко выраженным свойством улучшать белковый и липидный обмен у коров в период раздоя [9]. Благоприятное воздействие оказывают слизистые вещества, содержащиеся в семенах льна, на регулирование и выделение непереваренных питательных веществ кормов [2, 3]. Лён масличный – это растение семейства льновых. В последние годы в нашей стране отмечается рост посевных площадей под эту культуру. Выращивают лён масличный в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях, Самарской, Пензенской, Рязанской, Нижегородской областях, Татарстане [6, 7, 8, 10].

На эффективность включения семян льна в рационы сельскохозяйственных животных и птицы указывают результаты проведённых опытов ряда исследователей [4, 5].

Использование этого энерго-протеинового ингредиента в составе комбикормов-концентратов для высокопродуктивных лактирующих коров на фоне силосно-сенажного типа рациона изучено мало и является актуальной проблемой.

Цель исследований: изучить эффективность использования семян льна масличного сорта Кинельский 2000 в составе комбикормов-концентратов для высокопродуктивных коров в первую фазу лактации.

Материалы и методы исследований. Исследования были выполнены в СПК «Заветы Ленина» Нефтегорского района Самарской области. Научно-хозяйственный опыт на лактирующих коровах чёрно-пёстрой породы был проведён на 2 группах по следующей схеме: (табл. 1).

Таблица 1

Схема опыта на лактирующих коровах

Группа	Количество голов	Характеристика кормления
1 контрольная	8	Основной рацион (ОР) + комбикорм-концентрат (КК) с 10% сои полножирной
2 опытная	8	ОР + КК с 10% муки из семян льна масличного Кинельский 2000

Животные были распределены в 2 группы по 8 голов. При этом они являлись аналогами по возрасту, происхождению, продуктивности, живой массе и дате отёла. Учётный период длился 100 дней. Содержание привязно-стойловое. Корма рациона коровы подопытных групп получали в составе кормосмеси. Льняную муку производили размолотом семян на дробилке ДКУ-2 с применением решета №3. Для лучшего размола семян и во избежание залипания ячеек сита вследствие повышенного содержания масла их нужно предварительно смешивать с зерном злаковых культур в соотношении 1:1.

В период опыта проводили ежедекадный групповой учёт задаваемых кормов и их остатков, дважды в месяц – индивидуальный учёт молочной продуктивности с одновременным определением содержания массовой доли жира и белка на приборе «Лактан 1-4».

Химический состав кормов, их остатков, кала, мочи изучали общепринятыми методами зоотехнического анализа. Балансовый опыт проводили в конце научно-хозяйственного опыта.

Результаты исследований. Результаты, полученные в ходе исследований, были статистически обработаны с использованием *t*-критерия Стьюдента, достоверными считали различия при $P \leq 0,05$ и $P \leq 0,01$.

Таблица 2

Рационы кормления подопытных коров

Показатель	Группа	
	1 контрольная	2 опытная
Сено суданской травы, кг	1,5	1,6
Сенаж, кг	9,8	10,0
Силос кукурузный, кг	19,5	20,0
Патока свекловичная, кг	2,0	2,0
Комбикорм-концентрат, кг	12,0	12,0
В рационе содержится:		
ЭКЕ	22,8	23,62
Обменной энергии, МДж	228,0	236,2
Сухого вещества, кг	21,3	21,5
Сырого протеина, г	3458	3547
РП, г	2175	2173
НРП, г	1283	1374
Переваримого протеина, г	2366	2413
Сырой клетчатки, г	3792	3868
Крахмала, г	3872	4077
Сахаров, г	1758	1793
Сырого жира, г	779	817,8
Кальция, г	157	164
Фосфора, г	113	119
Магния, г	36	37
Калия, г	158	162
Серы, г	49	50
Железа, мг	1787	1823
Меди, мг	236	241
Цинка, мг	1513	1536
Кобальта, мг	19,0	19,3
Марганца, мг	1515	1545
Йода, мг	21,3	21,7
Каротина, мг	6,4	6,4
Витамина А, тыс. МЕ	182	183
Витамина D ₃ , тыс. МЕ	22,3	22,7
Витамина Е, мг	833	845

Корма рационов и их питательность представлены в таблице 2, в которой показано, что животные 1 контрольной и 2 опытной групп потребляли примерно одинаковое количество кормов: сено суданской травы – 1,5-1,6 кг, сенаж люцерновый – 9,8-10,0 кг, силос кукурузный – 19,5-20,0 кг, патока свекловичная – 2 кг, комбикорм – 12,0-12,4 кг.

Энергетическая питательность рационов, выраженная в обменной энергии, составила 228,0-236,2 МДж. Различие было связано с потреблением кормов рационов.

В балансовом опыте была установлена тенденция повышения переваримости питательных веществ кормов рациона животными 2 опытной группы, которым скармливали комбикорм-концентрат с мукой из семян льна (табл. 3).

Таблица 3

Переваримость питательных веществ кормов рациона подопытными животными

Показатель	Группа	
	1 контрольная	2 опытная
Сухое вещество	69,4±1,42	70,1±0,41
Органическое вещество	71,45±0,70	71,9±0,45
Протеин	67,2±0,23	67,6±0,31
Жир	63,8±0,81	64,0±0,67
Клетчатка	56,3±0,52	56,1±1,05
БЭВ	74,6±0,27	74,3±1,18

Биологическую ценность протеинов рациона, состояние белкового обмена характеризует баланс азота. «Потери» азота с мочой у коров опытной группы были ниже контроля на 1,4 г (или на 1,3%). Усвоенный из желудочно-кишечного тракта азот у коров 2 опытной группы лучше использовался их организмом, чем у животных 1 контрольной группы для синтеза молочного белка. Так, количество выделенного с молоком белка во 2 опытной группе было больше, чем у животных 1 контрольной группы на 2,6 г (или на 1,5%).

Особенности в переваривании и использовании питательных веществ кормов рациона оказали влияние на молочную продуктивность коров подопытных групп (табл. 4).

Таблица 4

Молочная продуктивность коров в научно-хозяйственном опыте

Показатель	Группа	
	1 контрольная	2 опытная
Валовой удой натурального молока за 100 дней, кг	3264±41	3378±23
МДЖ, %	3,82±0,03	3,85±0,05
МДБ, %	3,07±0,02	3,10±0,04
Среднесуточный удой молока 4,0% жирности	31,2±0,39	32,5±0,45
Выход молочного жира, кг	124,7±1,43	130,4±2,01
Выход молочного белка, кг	100,2±1,12	104,7±0,93
Затраты кормов на 1 кг молока 4,0% жирности:		
ЭКЕ	0,72	0,71
Сухого вещества, кг	0,68	0,66
Концентратов, г	385	372

Как видно из данных таблицы 4, среднесуточный удой натурального молока за учётный период у коров 2 опытной группы превосходил контроль на 3,5%. Несколько выше у них было и содержание жира, в результате чего среднесуточный удой молока, скорректированный на 4% жирность, у коров 2 опытной группы был выше контроля на 4,2%.

В соответствии с уровнем молочной продуктивности и содержанием жира в молоке находился валовый выход молочного жира. Анализируя данные по выходу молочного жира, можно отметить, что скормливание в составе комбикорма-концентрата коровам 2 опытной группы муки из семян льна способствовало увеличению выхода молочного жира по сравнению с 1 контрольной группой на 5,7 кг или на 4,6%.

В научно-хозяйственном опыте было установлено, что включение в рацион муки из семян льна оказало положительное влияние на содержание белка в молоке. В результате чего за 100 дней учётного периода выход молочного белка у коров 2 опытной группы превышал контроль на 2,5 кг или на 4,5%.

Одним из основных показателей, характеризующих эффективность производства молока, являются затраты кормов на единицу продукции. Анализируя данные по затратам кормов на 1 кг молока, скорректированного на стандартную (4%) жирность, выраженных в ЭКЕ, следует отметить, что у коров 2 опытной группы они были ниже контроля на 1,4%. Аналогичная картина наблюдалась и по затратам кормов, выраженных в сухом веществе, разница с контролем составила 3,0%. Затраты концентрированных кормов во 2 опытной группе были ниже по сравнению с контролем на 3,5%.

Экономическая эффективность применения льняной муки в качестве энергопротеиновой добавки в комбикорма-концентраты для лактирующих коров показала, что полножирная соя, которую заменяли семенами льна, стоила 40 руб. за 1 кг, а испытуемая культура – 30 руб. за 1 кг. В результате стоимость опытной партии комбикормов была значительно ниже, чем для контрольной группы. Это оказало ощутимое влияние на уровень рентабельности производства молока.

Заключение. Включение в состав комбикормов-концентратов для лактирующих коров муки из семян льна обеспечивает улучшение переваримости питательных веществ рациона. Это сопровождается ростом молочной продуктивности. Включение 10% по массе в состав комбикорма льна сорта Кинельский 2000 экономически целесообразно.

Список источников

1. Варакин А. Т., Мокроусов В. Е., Гайирбегов Д. Ш., Симонов Г. А., Воронцова Е. С., Коноблей Т. В. Обмен веществ у телят-молочников в зависимости от уровня крезацина в рационах // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 170-178.
2. Варакин А. Т., Саломатин В. В., Симонов Г. А., Воронцова Е. С., Степурина М. А. Биологический эффект комплексной кормовой добавки на статус крови и продуктивность дойных коров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 250-259.
3. Зотеев В. С., Симонов Г. А., Кириченко А. В. Экструдированные семена льна масличного в кормлении телят // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 96-100.
4. Зотеев В. С., Симонов Г. А., Магомедов М. Ш., Алигазиева П. А. Экструдированные семена льна масличного в комбикормах при выращивании телят молочников // Эффективное животноводство. 2014. № 3 (101). С. 38-39.
5. Милушев Р. К., Шулаев Г. М., Доровских В. И. кормовые добавки из льняного семени для коров // Молочное и мясное скотоводство. 2023. №4. С. 53-56.
6. Некрасов Р. В., Головин А.В., Махаев Е.А. и др. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Москва, 2018. 290 с.
7. Симонов Г. А., Кузнецов В. М., Зотеев В. С., Симонов, А. Г. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях // Эффективное животноводство. 2018. №1. С. 28-29.
8. Симонов Г. А., Магомедов М. Ш., Алигазиева П. А. Кормление КРС полнорационной смесью эффективнее // Комбикорма. 2013. № 10. С. 63-64.
9. Тяпугин Е., Симонов Г., Зотеев В., Санин А. Стартерные комбикорма с семенами льна масличного для телят // Молочное и мясное скотоводство. 2011. № 4. С. 17-18.
10. Филиппова О. Б., Симонов Г. А., Садыков М. М., Симонов А. Г. Высокоэнергетический компонент в рационе дойных коров // Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 1 (21). С. 170-175.

References

1. Varakin, A. T., Mokrousov, V. E., Gaiyrbegov, D. Sh., Simonov, G. A., Vorontsova, E. S. & Konobley, T. V. (2024). Metabolism in dairy calves depending on the level of crezacin in diets. *Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2 (74). 170-178.
2. Varakin, A. T., Salomatina, V. V., Simonov, G. A., Vorontsova, E. S. & Stepurina, M. A. (2023). Biological effect of a complex feed additive on the blood status and productivity of dairy cows. *Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 3 (71). 250-259.
3. Zoteev, V. S., Simonov, G. A. & Kirichenko, A. V. (2012). Extruded flax seeds in feeding calves. *Bulletin of the Samara State Agricultural Academy*. 1. 96-100.
4. Zoteev, V. S., Simonov, G. A., Magomedov, M. Sh. & Aligazieva, P. A. (2014). Extruded flax seeds in compound feed for growing dairy calves. *Effective animal husbandry*. 3 (101). 38-39.
5. Milushev, R. K., Shulaev, G. M. & Dorovskikh, V. I. (2023). Feed additives from flaxseed for cows. *Dairy and beef cattle breeding*. 4. 53-56.
6. Nekrasov, R. V., Golovin, A. V., Makhaev, E. A. et al. (2018). Standards of dairy cattle and pigs' needs for nutrients: Moscow.
7. Simonov, G. A., Kuznetsov, V. M., Zoteev, V. S., & Simonov, A. G. (2018). Effective feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages. *Efficient animal husbandry*, (1 (140)), 28-29.
8. Simonov, G. A., Magomedov, M. Sh. & Aligazieva, P. A. (2013). Feeding cattle with a complete ration mixture is more effective. *Combined feed*. 10. 63-64.
9. Tyapugin, E., Simonov, G., Zoteev, V. & Sanin, A. (2011). Starter compound feeds with flax seeds for calves. *Dairy and beef cattle breeding*. 4. 17-18.
10. Filippova, O. B., Simonov, G. A., Sadykov, M. M. & Simonov, A. G. (2024). High-energy component in the diet of dairy cows. *Bulletin of the Dagestan State Agrarian University*. 1 (21). 170-175.

Информация об авторах

С. В. Зотеев – кандидат сельскохозяйственных наук;
Р. В. Некрасов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН;
В. С. Зотеев – профессор, доктор биологических наук;
А. А. Санин – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник.

Information about the authors

S. V. Zoteev – Candidate of Agricultural Sciences;
R.V. Nekrasov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences;
V. S. Zoteev – Professor, Doctor of Biological Sciences;
A. A. Sanin – Candidate of Agricultural Sciences, researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.06.2024; одобрена после рецензирования 17.09.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 26.06.2024; approved after reviewing 17.09.2024; accepted for publication 16.10.2024.

Научная статья

УДК 619:615: 636.2

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-103-108

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ БОЛЕЗНЕЙ ДИСТАЛЬНОГО ОТДЕЛА КОНЕЧНОСТЕЙ У КРУПНО РОГАТОГО СКОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ

Игорь Владимирович Ненашев^{1✉}, Евгений Михайлович Марьин²

¹ Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

² Ульяновский государственный аграрный университет, Ульяновск, Россия

¹ nenashev1974@inbox.ru, <https://orcid.0000-0002-3340-885x>

² evgenimari@yandex.ru, <https://orcid.0000-0002-5909-2371>

Резюме. Проблемы с опорно-двигательным аппаратом в области конечностей у крупного рогатого скота – одна из главных причин экономических потерь в молочном производстве. Эти проблемы приводят к уменьшению надоев, потере веса, значительным расходам на лечение, высокому проценту выбраковки и снижению репродуктивных функций. В России среди дойных коров заболевания копыт встречаются у 14,4-80% поголовья. Цель исследования: изучение распространенности болезней дистального отдела конечностей у дойных коров при привязном и беспривязном содержании в некоторых молочных хозяйствах Среднего Поволжья. Клинико-ортопедическая диспансеризация проводилась среди дойного поголовья крупного рогатого скота с 2016 по 2024 годы, с разными условиями содержания животных: привязное – в Кошкинском, Сызранском районах, и беспривязное – в Безенчукском, Хворостянском, Ставропольском районах Самарской области, в селах Афанасово и Каенлы Нижнекамского района республика Татарстан. Всего ортопедической расчистке и лечению подверглось 9893 животных в возрасте от 3 до 10 лет, средней живой массой 450-550 кг; 2267 являлись больными, что составило 22,91%, у них было обнаружено 3050 патологий дистального отдела конечностей. В ходе клинико-ортопедического обследования дойных коров в период с 2016 по 2024 год было обнаружено, что при беспривязном содержании количество больных животных на 4% меньше, а количество ортопедических заболеваний на 17,34% ниже, чем при привязном содержании. Это позволяет сделать вывод о том, что для профилактики болезней конечностей предпочтительнее использовать беспривязное содержание животных. Наиболее распространенными заболеваниями дистального отдела являются язва мякоти, язва Рустергольца, гнойный и асептический пододеформатит, а также деформация копыт. При этом при любом способе содержания коров чаще всего поражаются дистальные отделы тазовых конечностей, как при привязном, так и при беспривязном содержании.

Ключевые слова: крупно рогатый скот, ортопедическая расчистка, беспривязное и привязное содержание, нозология болезни конечностей.

Для цитирования: Ненашев И. В., Марьин Е. М. Распространенность ортопедических болезней дистального отдела конечностей у крупно рогатого скота в зависимости от условий содержания // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 9, № 4. С. 103-108. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-103-108

Original article

THE PREVALENCE OF ORTHOPEDIC DISEASES OF THE DISTAL EXTREMITIES IN CATTLE DEPENDING ON HOUSING CONDITIONS

Igor V. Nenashev^{1✉}, Evgeny M. Marin²

¹ Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara Region, Russia

² Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia

¹ nenashev1974@inbox.ru, <https://orcid.0000-0002-3340-885x>

² evgenimari@yandex.ru, <https://orcid.0000-0002-5909-2371>

Abstract. The problems with the musculoskeletal system in the limb area in cattle are one of the main causes of economic losses in dairy production. These problems lead to a decrease in milk yields, weight loss, significant treatment costs, a high percentage of culling and a decrease in reproductive functions. In Russia hoof diseases occur in 14.4-80% of the livestock among dairy cows. The purpose of the study is to study the prevalence of distal limb diseases in dairy cows under tethered and untethered housing in some dairy farms of the Middle Volga region. Clinical and orthopedic medical examination was carried out among dairy cattle from 2016 to 2024, with different conditions of animal husbandry: tied – in Koshkinsky, Syzran districts, and loose – in Bezenchuk, Hvorostyansky, Stavropol districts of the Samara region, in the villages of Afanasovo and Kaenly of the Nizhnekamsk district of the Republic of Tatarstan. In total, 9893 animals aged 3 to 10 years, with an average live weight of 450-550 kg, underwent orthopedic

cleaning and treatment; 2,267 were patients, which amounted to 22.91%, and 3,050 pathologies of the distal extremities were found in them. During the clinical and orthopedic examination of dairy cows in the period from 2016 to 2024, it was found that with loose housing, the number of sick animals is 4% less, and the number of orthopedic diseases is 17.34% lower than with tethered housing. This allows us to conclude that for the prevention of limb diseases, it is preferable to use unrestricted animal husbandry. The most common diseases of the distal region are myakish ulcer, Rustergoltz ulcer, purulent and aseptic pododermatitis, as well as hoof deformity. At the same time, with any method of keeping cows, the distal parts of the pelvic extremities are most often affected, both with tethered and untethered conditions.

Keywords: cattle, orthopedic clearing, loose and tethered maintenance, nosology of limb disease.

For citation: Nenashev, I. V. & Marin, E. M. (2024). The prevalence of orthopedic diseases of the distal extremities in cattle, depending on the conditions of detention. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*. 9, 4. 103-108. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-103-108

Ортопедические заболевания дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота является одной из основных причин экономических потерь в молочном производстве [9]. Эти заболевания приводят к снижению надоев молока, потере веса, высоким затратам на лечение, высокому уровню выбраковки и снижению воспроизводства [4, 6, 10].

В Российской Федерации среди дойных коров заболевания копыт составляет от 14,4% до 80% общего поголовья животных [3, 5]. На молочных фермах и комплексах Республики Беларусь проводилась хирургическая и ортопедическая диспансеризация 456 голов коров разновозрастных групп, было выявлено 163 коровы с различными хирургическими патологиями конечностей [1]. В Гродненской области и Жабинского района Брестской области в период октябрь 2020 г.-март 2021 г. выявлено 379 голов коров с поражениями в области пальцев при общем количестве 1200 голов дойного поголовья [2]. В Великобритании 2010 году средний уровень распространенности ортопедических больных животных на фермах оценивался в 36,8% [7]. Увеличение патологий составило 16,2%, по сравнению с показателем распространенности, оцененным в 1996 году [8].

Цель исследований: изучение распространенности болезней дистального отдела конечностей у дойных коров при привязном и беспривязном содержании в некоторых молочных хозяйствах Среднего Поволжья.

Задачи исследований: определить распространённость наиболее часто встречающихся патологий конечностей; установить нозологию проявления ортопедических болезней.

Материалы и методы исследований. Клинико-ортопедическая диспансеризация проводилась среди дойного поголовья крупного рогатого скота с 2016 по 2024 годы, с разными условиями содержания животных: привязное – в Кошкинском, Сызранском районах, и беспривязное – в Безенчукском, Хворостянском, Ставропольском районах Самарской области, в селах Афанасово и Каенлы Нижнекамского района республика Татарстан.

Всего ортопедической расчистке и лечению подверглось 9893 животных в возрасте от 3 до 10 лет, средней живой массой 450-550 кг.

Нозологически определяли следующие патологии (рис. 1):

- *язва пальцевого мякиша* или *пальцевой дерматит*. Это бактериальное заболевание, проявляющееся на коже пяток крупного рогатого скота, преимущественно в подошвенных частях задних конечностей, а также известен как папилломатозный дерматит, клубничные или малиновые бородавки на пятках (А);

- *пододерматит* или *кровоизлияния в подошву* или *ушиб* подошвы, наминка. Представляет собой геморагическое изменение цвета подошвы (Б);

- *специфическая язва Рустергольца*. Определяется как локализованная потеря ороговевшей поверхности подошвы и обнажение кориума (В);

- *гнойный пододерматит*. Происходит отслоение рога подошвы от кориума в результате попадания патогенной микрофлоры (рис. 1.Г);

- *гиперплазия межпальцевых промежутков* (Д),

- *межпальцевая язва* (Е); при болезни белой линии, происходило отделение подошвы от боковой стенки копыта, нарушение работы сосудистой системы, слабое ороговение копыт, которые становятся менее устойчивыми к физическим воздействиям (Ж.);

- *некроз большого пальца*, язва на пальце конечности определяется как обнажение свежей или некротизированной сердцевины пальца с образованием язвы, некроз зацепной части подошвы (З).



Рис. 1. Нозология болезней конечностей

Результаты исследований. Анализ хирургической диспансеризации среди дойного поголовья крупного рогатого скота показал, что из 9893 животных 2267 оказались больными, что составило 22,91%, у них было обнаружено 3050 патологий дистального отдела конечностей.

У коров при привязном содержании и однотипном кормлении, когда рацион меняется в зависимости от физиологического состояния животного, в условиях отсутствия активного моциона, происходят нежелательные изменения дистальных отделов конечностей. В связи с голштинизацией молочного скота, коровы стали намного крупнее и стойла стали не соответствовать зооигиеническим требованиям. Часто коровы стают в навозный канал, в результате этого тазовые конечности животных подвергаются постоянному травмированию скрепером навозного транспортёра. Средний удой молока от одной коровы составил 5614 кг, жирностью 3,85 % и содержанием белка 3,35 %. Основные причины выбраковки животных за четыре года составили следующие заболевания: конечностей – 30,44 %; гинекологические – 25,76 %; болезни вымени – 17,56 %; низкая продуктивность – 17,56 %; травмы – 4,68 %; прочие – 4,0 %.

При беспривязном содержании животные находились в разных группах в зависимости от физиологического состояния и уровня молочной продуктивности. Для каждой группы разработаны рацион кормления, соответствующие детализированным нормам кормления в зависимости от уровня продуктивности. Кормление коров с кормового стола, для отдыха предусмотрены боксы, застеленные резиновыми ковриками.

Средний удой молока от одной коровы составил 11 149,2 кг, жирностью 3,86 % и содержанием белка 3,29 %. Основные причины выбраковки животных за пять лет составили следующие заболевания: прочие – 63,46 %; конечностей – 12,11 %; заболевания желудочно-кишечного тракта – 10,07 %; гинекологические 6,9 %; травмы – 4,3 %; низкопродуктивные – 1,81 %; болезни вымени – 1,35 %.

В результате исследований установлено, что заболевания дистального отдела конечностей при привязном и беспривязном содержании имеют широкое распространение (табл. 1).

Таблица 1

Распространение болезней конечностей коров

Болезни копытца	Привязное содержание		Беспривязное содержание	
	количество патологий	% от количества патологий	количество патологий	% от количества патологий
Язва мякиша (Я/М)	206	26,58	755	33,18
Язва Рустергольца (ЯР)	225	29,03	309	13,58
Болезнь белой линии (ББЛ)	20	2,58	23	1,01
Деформация копытца (ДК)	84	10,83	100	4,39
Некроз большого пальца (НБП)	2	0,25	36	1,58
Пододерматит асептический (ПДА)	101	13,03	694	30,5
Пододерматит гнойный (ПДГ)	66	8,51	186	8,17
Тилома (Т)	52	6,7	64	2,81
Флегмоны венчика (ФВ)	1	0,13	83	3,64
Язва межпальцевой щели (Я/МЖП)	18	2,32	25	1,09
Больные животные	513	26,12	1754	22,12
Всего патологий	775	39,46	2275	22,12
Всего исследуемых животных	1964		7929	

Выявлено, что при привязном содержании наиболее часто регистрировались следующие заболевания конечностей: из 1964 животных ортопедические заболевания встречались у 513 коров (26,12%), выявлено патологий от общего числа больных животных – 775 (39,46%). Наиболее часто регистрировались язва Рустергольца (ЯР) – у 225 голов (29,03%), язва мякиша (Я/М) у 206 животных (26,58), пододерматит асептический (ПДА) у 101 коров (13,03%), деформация копытца (ДК) у 84 (10,83%), пододерматит гнойный (ПДГ) у 66 (8,51%), тилома (Т) у 52 (6,7%), реже встречались болезнь белой линии (ББЛ), у 20 (2,58%), язва межпальцевой щели (Я/МЖП) – 18 (2,32%), некроз большого пальца (НБП) – 2 (0,25%), флегмоны венчика (ФВ) – 1 (0,13 %).

При беспривязном содержании из 7929 животных ортопедические заболевания отмечались у 1754 (22,12%), у них выявлено 2275 случаев патологий (22,12%). Наиболее часто регистрировали: язва мякиша (Я/М) – 755 (33,18%), пододерматит асептический (ПДА) – 694 (30,5%), язва Рустергольца (ЯР) – у 309 (13,58%), пододерматит гнойный (ПДГ) – 186 (8,17%), деформация копытца (ДК) – 100 (4,39%), флегмоны венчика (ФВ) – 83 (3,64 %), реже встречались тилома (Т) – 64 (2,81%), некроз большого пальца (НБП) – 36 (1,58%), язва межпальцевой щели (Я/МЖП) – 25 (1,09%), болезнь белой линии (ББЛ) – 23 (1,01%).

Локализация патологий при привязном и без привязном содержании на конечностях была не одинаковая на и более часто поражалась правая тазовая конечность и составила 26,12 и 36,94%, а левая 25,34 и 33,12 % соответственно, менее передняя правая 25,34 и 3,81% и передняя левая 4,28 и 3,24%, на двух тазовых 26,31 и 16,13 %, значительно реже наблюдалось одновременное повреждение двух грудных конечностей 1,75 и 0,85 %, грудной и тазовой конечности 2,53 и 1,36 %, трех конечностей 4,67 и 2,16 и четырех 3,89 и 2,33% (рис. 2 а и б).

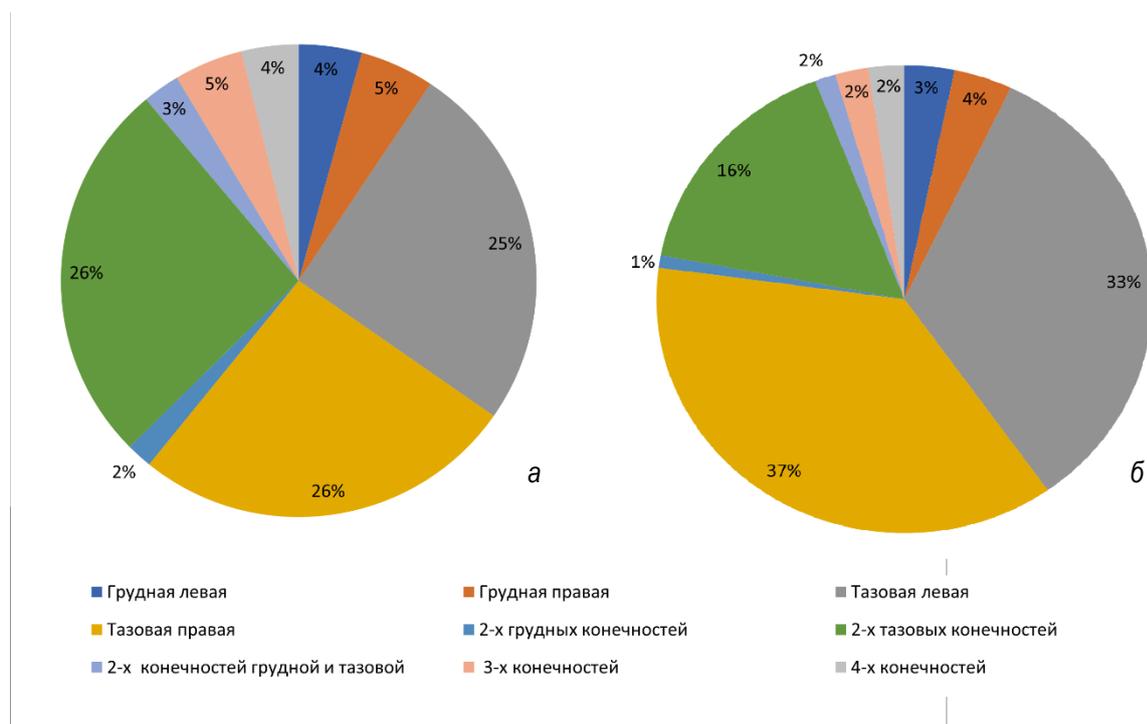


Рис. 2. Локализация патологий конечностей при разных способах содержания:
а – привязное содержание; б – беспривязное содержание

Заключение Таким образом, в результате клинко-ортопедической диспансеризации с 2016 по 2024 годы среди дойного поголовья крупного рогатого скота было выявлено, что количество больных животных при беспривязном содержании на 4 % и количество ортопедических патологий на 17,34 % меньше, чем при привязном содержании коров. Это позволяет для профилактики болезней конечностей отдавать предпочтение беспривязному содержанию животных. Наиболее частыми заболеваниями дистального отдела являются: язва мякиша, язва Рустергольца, пододерматит гнойный, пододерматит асептический, деформация копытца. При одинаковых способах содержания коров, чаще поражаются дистальные отделы тазовых конечностей.

Список источников

1. Андреева Е. Г., Руколь В. М. Распространение болезней дистального участка конечностей в филиале «Полудетки» УП «Рудаково» // Тенденции развития ветеринарной хирургии. 2021. С. 9-11.
2. Борисик, Р.Н. Распространение болезней пальцев у коров // Тенденции развития ветеринарной хирургии : сборник научных трудов. Витебск, 2021. С. 29-31.
3. Землянкин В. В., Ненашев И. В., Семиволос А. М. Профилактика патологий копытца коров в условиях интенсивного производства молока // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 47-51.
4. Ненашев И. В., Марьин Е. М., Марьина О. Н. Ортопедическая заболеваемость голштинизированных коров в условиях беспривязного содержания // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 190-194.
5. Пирюшова А. Н. Распространённость болезней копытца на территории Российской Федерации // В мире научных открытий. 2014. С. 117-122.
6. Стекольников, А. А., Ладанова, М. А., Толкачёв, В. А., Коломийцев, С. М. Распространённость и взаимосвязь гнойно-некротических поражений пальцев и акушерско-гинекологических заболеваний у коров в условиях привязного содержания // Ветеринария. 2017. № 7. С. 8-11.
7. Баркер З. Э., Лич К. А., Белл, Мэн, округ Колумбия. Оценка распространённости хромоты и связанных с ней факторов риска в молочных стадах в Англии и Уэльсе. J Milk Sci // Journal of dairy science. 2010. Т. 93. № 3. С. 932-941.
8. Кларксон М. Дж., Долэм Д. Дж., Фаул В. Б., Хьюз Дж. В., Мэнсон Ф. Дж., Мерритт Дж. Б. Частота и распространённость хромоты у молочных животных // Veterinary record. 1996. Т. 138. № 23. С. 563-567.
9. Эрнандес Дж. А., Гарбарино Э. Дж., Ширер Дж. К., Тхатчер, В. В. Сравнение удоев молочных коров с разной степенью хромоты // Journal of the American Veterinary Medical Association. 2005. Т. 227. № 8. С. 1292-1296.
10. Мелендес П., Бартоломе Дж., Арчибальд Л. Ф. Взаимосвязь между хромотой, уровнем цистамина в яйчиках и фертильностью у лактирующих молочных коров // Териогенология. 2003. Т. 59. № 3-4. С. 927-937.

References

1. Andreeva, E. G., & Rukol, V. M. (2021). Distribution of distal limb diseases in the «Poludetki» branch of UE Rudakovo. Trends in the development of veterinary surgery. 9-11.
2. Borisik, R. N. (2021). The spread of finger diseases in cows. Trends in the development of veterinary surgery '21 : collection of scientific papers. (pp. 29-31). Vitebsk.
3. Zemlyankin, V. V., Nenashev, I. V., & Semivolos, A.M. (2022). Prevention of cow hoof diseases in conditions of intensive milk production. Agrarian Scientific Journal. (5). 47-51.
4. Nenashev, I. V., Maryin, E. M., & Maryina, O. N. (2018). Orthopedic morbidity of holsteinized cows in tethered-free conditions. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. (4 (44)). 190-194.
5. Piryushova, A. N. (2014). Prevalence of hoof diseases in the Russian Federation. World of Scientific Discovery. 117-122.
6. Stekolnikov, A. A., Ladanova, M. A., Tolkachev, V. A., & Kolomyitsev, S. M. (2017). Prevalence and interrelation of purulent-necrotic finger lesions and obstetric and gynecological diseases in tethered cows. Veterinary Medicine. (7). 8-11.
7. Barker, Z. E., Leach, K. A., Whay, H. R., Bell, N. J., & Main, D. C. J. (2010). Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. Journal of dairy science, 93(3), 932-941.
8. Clarkson, M. J., Downham, D. Y., Faull, W. B., Hughes, J. W., Manson, F. J., Merritt, J. B., ... & Ward, W. R. (1996). Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. Veterinary record. 138 (23). 563-567.
9. Hernandez, J. A., Garbarino, E. J., Shearer, J. K., Risco, C. A., & Thatcher, W. W. (2005). Comparison of milk yield in dairy cows with different degrees of lameness. Journal of the American Veterinary Medical Association. 227(8). 1292-1296.
10. Melendez, P., Bartolome, J., Archbald, L. F., & Donovan, A. (2003). The association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows. Theriogenology. 59(3-4). 927-937.

Информация об авторах:

И. В. Ненашев – кандидат ветеринарных наук, доцент;
Е. М. Марьин – доктор ветеринарных наук, доцент.

Information about the authors:

I. V. Nenashev – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor;
E. M. Marin – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 9.09.2024; одобрена после рецензирования 1.10.2024; принята к публикации 16.10.2024.
The article was submitted 9.09.2024; approved after reviewing 1.10.2024; accepted for publication 16.10.2024.

СОДЕРЖАНИЕ**СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО**

<i>Троц Н. М., Чернякова Г. И., Бокова А. А., Суворов Е. Е.</i> Динамика содержания фосфора и калия в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона	3
<i>Амиров М. Ф., Сафиуллин А. Я.</i> Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы при использовании минеральных удобрений Батр Гум и Батр Макс в условиях Республики Татарстан	8
<i>Бакаева Н. П., Егорцева А. В.</i> Содержание белка и его отдельных фракций в зерне яровой пшеницы сорта Кинельская Юбилейная	17
<i>Троц Н. М., Чернякова Г. И., Бокова А. А., Суворов Е. Е.</i> Динамика подвижных форм нитратного и аммонийного азота в черноземных почвах Самарского аграрного карбонового полигона	23
<i>Троц Н. М., Нечаева Е. Х., Степанова Ю. В., Ермолаева Д. Р.</i> Биологическая активность черноземных почв Самарского аграрного карбонового полигона	29

**ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

<i>Фролов Д. И., Курочкин А. А., Потапов М. А.</i> Влияние термовакуумной экструзии на физические и физико-химические свойства получаемого продукта	37
<i>Машков С. В., Ишкин П. А., Ивлиев Н. А., Макаров А. Р.</i> Гиперспектральный метод оценки состояния растений защищенного грунта	47
<i>Володько О. С., Быченин А. П., Едуков В. А.</i> Обоснование рационального размера частиц загущающей добавки Литол-24 для растительного смазочного материала на основе рапсового масла	55
<i>Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И.</i> Энергетическая оценка турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы	65
<i>Чебанов А. Б., Стручаев Н. И., Адамова С. В., Чебанова Ю. В.</i> Обоснование параметров электрической схемы замещения компонентов семян клещевины	72

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

<i>Баймишев Х.Б., Баймишев М.Х., Теняков В.А.</i> Применение иммуномодулятора при мастите у коров	81
<i>Соловьева А. Д., Денискова Т. Е.</i> Анализ полиморфизма гена кальпастина (CAST) у овец южной мясной породы	86
<i>Наговицына Е. М., Савинков А. В., Мещеряков А. Г.</i> Влияние комбинированного комплекса нутриентов на биохимические показатели крови больных рахитом телят	91
<i>Зотеев С. В., Некрасов Р. В., Зотеев В. С., Санин А. А.</i> Семена льна масличного в комбикормах для лактирующих коров	98
<i>Ненашев И. В., Марьин Е. М.</i> Распространенность ортопедических болезней дистального отдела конечностей у крупно рогатого скота в зависимости от условий содержания	103

CONTENS

AGRICULTURE

<i>Trotz N. M., Chernyakova G. I., Bokova A. A., Suvorov E. E.</i> Dynamics of phosphorus and potassium content in chernozem soils of the Samara agrarian carbon polygon	3
<i>Amirov M. F., Safiullin A. Ya.</i> Yield and grain quality of spring wheat varieties using mineral fertilizers Batr Gum and Batr Max in the conditions of Tatarstan Republic	8
<i>Bakaeva N. P., Yegortseva A. V.</i> Protein content and its fractional composition in the grain of spring wheat of the Kinelskaya Jubilee variety	17
<i>Trotz N. M., Chernyakova G. I., Bokova A. A., Suvorov E. E.</i> Dynamics of mobile forms of nitrate and ammonium nitrogen in chernozem soils of the Samara agrarian carbon polygon	23
<i>Trots N. M., Nechaeva E. Kh., Stepanova Yu. V., Ermolaeva D. R.</i> Biological activity of chernozem soils of the samara agrarian carbonic polygon	29

TECHNOLOGY, MEANS OF MECHANIZATION AND POWER EQUIPMENT IN AGRICULTURE

<i>Frolov D. I., Kurochkin A. A., Potapov M. A.</i> Influence of thermal vacuum extrusion on the physical and physicochemical properties of the obtained product	37
<i>Mashkov S. V., Ishkin P. A., Ivliev N. A., Makarov A. R.</i> Hyperspectral method for assessing the condition of protected soil plants	47
<i>Volodko O. S., Bychenin A. P., Edukov V. A.</i> Justification of rational particle size of thickening additive for Vegetable lubricant based on rapeseed oil	55
<i>Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I.</i> Energy assessment of turbodisc cultivators for vertical tillage	65
<i>Chebanov A. B., Struchaev N. I., Adamova S. V. Chebanova Yu. V.</i> Justification of parameters of electrical substitution diagram for castore seed components	72

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

<i>Baimishev M. Kh., Tenyakov V.A., Baimishev Kh. B.</i> Use of immunomodulator for mastitis in cows	81
<i>Solovieva A. D., Deniskova T. E.</i> Calpastatin gene polymorphism analysis (CAST) in sheep of the southern meat breed	86
<i>Nagovitsyna E. M. Savinkov A. V., Meshcheryakov A. G.</i> The influence of combined complex of nutrients on biochemical parameters of blood of calves with rickets	91
<i>Zoteev S. V., Nekrasov R. V., Zoteev S. V., Sanin A. A.</i> Oilseed flax seeds in mixed feeds for lactating cows	98
<i>Nenashev I. V., Marin E. M.</i> The prevalence of orthopedic diseases of the distal extremities in cattle depending on housing conditions	103

Самарский государственный аграрный университет предлагает всем желающим аспирантам, преподавателям, научным работникам опубликовать результаты исследований в научном журнале «Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии». Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

К публикации в журнале принимаются оригинальные, не опубликованные ранее основные научные результаты по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям наук, по которым присуждаются ученые степени:

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (биологические науки),
- 4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки),
- 4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (биологические науки),
- 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки),
- 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки),
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки),
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки),
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки),
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 84460.

Периодичность выхода – 4 раза в год.

Адрес редакции: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8 939 754 04 86 (доб. 608), E-mail: ssaariz@mail.ru

Требования к оформлению статей

Статьи представляются на русском языке в электронном виде в редакцию на электронную почту журнала ssaariz@mail.ru либо загружаются в личном кабинете автора на платформе научных журналов «Эко-вектор» (<https://bulletin.ssaariz.ru>). Статья набирается в редакторе Microsoft WORD со следующими параметрами страницы. Поля: верхнее – 2 см, левое – 3 см, нижнее – 2,22 см, правое – 1,5 см. Размер бумаги А4. Стиль обычный. Шрифт – Arial Narrow. Размер шрифта основного текста – 13 пт, межстрочный интервал для текста – полуторный, для таблиц – одинарный, режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту (1,27 см).

До основного текста статьи приводят следующие элементы издательского оформления (затем повторяют на английском языке): тип статьи; индекс УДК; заглавие; основные сведения об авторах (имя, отчество, фамилия, наименование организации, где работает или учится автор, адрес организации, электронный адрес автора, открытый идентификатор учёного (ORCID); реферат (необходимо осветить цель, методы, результаты с приведением количественных данных, чётко сформулировать выводы, не допускается разбивка на абзацы и использование вводных слов и предложений, средний объем 200-250 слов, размер шрифта – 12 пт, интервал одинарный), 5-7 ключевых слов (словосочетаний). Имена приводят в транслитерированной форме на латинице по ГОСТ 7.79 или в той форме, в какой её установил автор.

Основной текст публикуемого материала должен быть изложен ясно, лаконично (размер шрифта – 13 пт). В начале статьи следует кратко сформулировать проблематику исследования (актуальность), затем изложить *цель исследования, задачи, материалы и методы исследований*, в конце статьи – *результаты исследований* с указанием их прикладного характера, *заклучение*.

После основного текста статьи размещают (затем повторяют на английском языке) дополнительные сведения об авторах (учёные звания, учёные степени, другие (кроме ORCID) идентификационные

номера авторов), сведения о вкладе каждого автора, указание об отсутствии или наличии конфликта интересов, и детализация такого конфликта в случае его наличия.

В тексте могут быть таблицы и рисунки, таблицы создавать в WORD. Иллюстративный материал должен быть четким, ясным, качественным. Формулы набирать без пропусков по центру. Рисунки и графики только штриховые без полутонов и заливки цветом, подрисовочные надписи выравнивать по центру. Статья не должна заканчиваться формулой, таблицей, рисунком.

Объем рукописи 8-12 стандартных страниц текста, включая таблицы и рисунки (не более трех), таблицы должны иметь тематический заголовок, рисунки должны быть сгруппированы. Заголовок статьи не должен содержать более 70 знаков.

В *список источников* включаются записи только тех ресурсов, которые цитируются в основном тексте статьи. **Не допускаются ссылки на учебники и учебные пособия!** Библиографическую запись составляют по ГОСТ Р 7.0.5. Список источников на английском языке (References) оформляется согласно требованиям APA (American Psychological Association). Отсылки в тексте статьи заключают в квадратные скобки. Библиографические записи в списке источников нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи.

По окончании статьи необходимо указать, какой научной специальности и отрасли науки соответствуют представленные в ней научные результаты.

За содержание статьи (точность приводимых в рукописи цитат, фактов, статистических данных) **ответственность несут авторы.**

Материалы, оформление которых не соответствует изложенным выше требованиям, редколлегией не рассматриваются. Все поступившие рукописи, оформленные в соответствии с требованиями журнала, проверяются на корректность заимствований, оригинальность должна быть не ниже 80 %.

Каждая статья, поступившая на рассмотрение в журнал «*Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*», направляется на рецензирование. Рецензирование статей – двухстороннее слепое (анонимное). Для повышения качества рецензирования главный редактор может отправлять рецензию другим рецензентам, не открывая при этом имен рецензентов. Копии рецензий могут быть предоставлены по запросу в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. В случае отрицательной рецензии статья с рецензией возвращается автору. Отклоненная статья может быть повторно представлена в редакцию после доработки по замечаниям рецензентов. Принятые к публикации или отклоненные редакцией рукописи авторам не возвращаются.

**SAMARA STATE
AGRICULTURAL
UNIVERSITY**

