

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ПРОТЕИНА У ПШЕНИЦЫ, РЖИ И ТРИТИКАЛЕ

Н.С. ШПИЛЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID 0000-0002-2269-5013,
E-mail: shpilev.ns@yandex.ru

Л.В. ЛЕБЕДЬКО, старший преподаватель, ORCID: 0000-0002-1027-4457,
E-mail: liudmila.lebedko@yandex.ru

В.Е. ТОРИКОВ, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: 0000-0002-0317-6410,
E-mail: torikov@bgsha.com

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Аннотация. В статье рассмотрены варианты, объясняющие существование достоверной отрицательной корреляции между содержанием протеина и урожайностью пшеницы, ржи и тритикале. Приведены количественные соотношения сильных сортов озимой мягкой пшеницы по отношению к общему списку сортов, допущенных к производственному использованию. Экспериментальные данные были получены в условиях юго-западной части Центрального региона с использованием новых сортов пшеницы, ржи и тритикале в 2023-2024 гг. Показана возможность использования первого закона термодинамики в биологии для объяснения отрицательной достоверной корреляции урожайности и содержания протеина. Полученные данные показывают, что коэффициент корреляции у ржи между урожайностью и содержанием протеина в среднем за годы исследования составил 0,609, у озимой мягкой пшеницы – 0,713, у тритикале – 0,561. Наибольшей урожайностью у ржи характеризовались гибриды первого поколения, средняя урожайность составила – 5,56 т/га, а сортов – 4,29 т/га. Средняя урожайность пшеницы – 6,13 т/га, тритикале – 7,06 т/га. Содержание протеина у ржи составило 11,2%, у пшеницы 13,3%, тритикале – 14,5%. Максимальное количество протеина с 1 гектара было получено при возделывании тритикале, которое в среднем составило 1,04 т/га, в то время как при возделывании пшеницы этот показатель равнялся 0,81 т/га, а ржи – 0,49 т/га. При этом урожайность сортов и гибридов изучаемых культур в большей степени влияла на сбор протеина с единицы площади. Исходя из характеристики белковости (содержания протеина) зерна подбор сортов необходимо осуществлять по назначению использования урожая.

Ключевые слова: гибрид, сорт, протеин, корреляция, урожайность.

Для цитирования: Шпилев Н.С., Лебедько Л.В., Ториков В.Е. Корреляционная закономерность урожайности и содержания протеина у пшеницы, ржи и тритикале. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 4 (56):195-201 DOI: 10.24412/2309-348X-2025-4-195-201

CORRELATION REGULARITY OF YIELD AND PROTEIN CONTENT IN WHEAT, RYE AND TRITICALE

N.S. Shpilev, L.V. Lebedko., V.E. Torikov

FSBEI HE BRYANSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY, Bryansk, Russia

Abstract: The article considers variants explaining the existence of reliable negative correlation between protein content and yield of wheat, rye and triticale. Quantitative correlations of strong varieties of winter soft wheat in relation to the total list of varieties approved for production use are given. Experimental data were obtained in the conditions of the south-western part of the Central region using new varieties of wheat, rye and triticale in 2023-2024. The

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 4 (56) 2025 г.
possibility of using the first law of thermodynamics in biology to explain the negative reliable correlation of yield and protein content is shown. The obtained data show that the correlation coefficient for rye between yield and protein content averaged 0.609, for winter soft wheat – 0.713, triticale – 0.561. The highest yield in rye was characterized by hybrids of the first generation, the average yield was – 5.56 t/ha, and varieties – 4.29 t/ha. The average yield of wheat – 6.13 t/ha, triticale – 7.06 t/ha. The protein content of rye was 11.2%, wheat 13.3%, and triticale 14.5%.

The maximum amount of protein per hectare was obtained in triticale cultivation, which averaged 1.04 t/ha, while in wheat cultivation this indicator was equal to 0.81 t/ha, and rye – 0.49 t/ha. At the same time, the yield of varieties and hybrids of the studied crops to a greater extent influenced the protein yield per unit area. Based on the characteristics of grain protein content, the selection of varieties should be carried out according to the purpose of yield utilization.

Keywords: hybrid, variety, protein, correlation, yield.

Введение

Качество производимой сельскохозяйственной продукции является важным направлением при выращивании разных культур, предназначенных для производства кормов, обеспечивающих полноценный рацион с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных животных. Особого внимания заслуживают качество зерна зерновых и зернобобовых культур: первые – благодаря высокой урожайности и массовому производству, вторые – из-за повышенного содержания протеина и сбалансированности по аминокислотному составу.

Однако, сочетание высоких показателей урожайности и содержания протеина в одном генотипе ограничено из-за наличия отрицательной достоверной корреляции между этими параметрами, что было подтверждено научными исследованиями [1, 2].

В современном животноводстве наблюдается тенденция к увеличению потребления растительного и одноклеточного микробного белка взамен животного. Ряд исследователей отмечают: «Ежегодный общемировой дефицит кормового белка превышает 30 млн. т, а в России он составляет около 2-2,5 млн. т. Тенденция в современном животноводстве заключается в увеличении потребления растительного и одноклеточного микробного белка вместо животного. Поэтому существует озабоченность по поиску новых источников альтернативного белка» [3].

С учётом соотношения недостающего кормового протеина и значимости в рационе потенциальных его потребителей проблема дефицита кормового белка становится особенно актуальной для Российской Федерации. Недостаток протеина может негативно сказаться на продуктивности и репродуктивных показателях крупного рогатого скота и птицы, что, в свою очередь, может повлиять на экономическую эффективность аграрного производства. В данном контексте исследования и разработки, направленные на поиск и внедрение новых источников альтернативного белка, приобретают первостепенное значение. Изучением данной проблемы занимались многие учёные [4,5,6]. Рекомендованы направления устранения дефицита кормового протеина: селекционный, технологический (технология выращивания, производство протеина нетрадиционными методами и др.).

Сложность поставленной задачи отмечает Крупнова О.В: «Наблюдаемая отрицательная корреляция может быть связана со многими факторами, и прежде всего с недостатком доступного азота в почве, неполным поглощением доступного N в процессе вегетации растений (ограниченный генетический потенциал растения, влияние абио- и биострессов), неполной реутилизацией N из вегетативных органов в зерно (ограниченный генетический потенциал растения, влияние абио- и биострессов) прекращение поглощения N из почвы и его реутилизации из-за старения растений, уменьшение обеспечения зерна N в результате селекции на повышение уборочного индекса зерна (использование геномов низкорослости) и высокой энергоемкости синтеза белка по сравнению с таковой синтеза крахмала» [9].

Тем не менее, на наш взгляд, такое объяснение не только не раскрывает причины, но и сдерживает поиск технологических приёмов уменьшения существующей корреляции.

1. В соответствии с первым законом термодинамики, энергия сохраняется в замкнутой системе, любое энергетическое взаимодействие внутри системы приводит к

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 4 (56) 2025 г. перераспределению энергетических состояний компонентов, не вызывая изменения общего энергетического баланса системы. Таким образом, первый закон термодинамики устанавливает строгий принцип сохранения энергии, который является основополагающим для понимания и анализа термодинамических процессов: вещество – энергия, не исчезают и не создаются, а только преобразовываются. Энергия может переходить из одной формы в другую. Данное заключение сделали К.А. Путилов (1971), Ондар С.О. [7].

Некоторые исследователи указывали, что затраты на синтез белка и липидов у растений примерно вдвое выше, чем на синтез углеводов или органических кислот [8]. Установившееся в открытой системе, которой является растение, количество энергии относительно стабильно и, если происходит увеличение одной нормы энергии, то обязательно за счёт другой. Этим можно объяснить существование отрицательной корреляции у растений между некоторыми свойствами, например, между содержанием протеина и урожайностью. Таким образом: «Совмещение в сорте высокой урожайности и повышенного количества белка остаётся чрезвычайно трудной проблемой селекции» [1, 9, 10, 11].

Преследуя цель создания сортов, гибридов с максимально возможной урожайностью часто возникает необходимость компромисса между количественными и качественными характеристиками продукции. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к возделыванию на территории Российской Федерации 2024 года включает 430 сортов озимой мягкой пшеницы¹. В рамках данной классификации 69 сортов отнесены к категории сильных, что составляет 16 % от общего числа зарегистрированных сортов.

В Центральном регионе из сорока четырех идентифицированных сортов только семь характеризуются высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам. При этом лишь три из них были официально зарегистрированы в период с 2011 по 2021 годы: Московская 40 (2011), Свагор (2017) и Немчиновская 85 (2021). Остальные, более ранее созданные сорта, практически не культивируются в данном регионе.

Вышеизложенные данные свидетельствуют о том, что достижение селекционным методом интеграции в одном генотипе одновременно высоких показателей урожайности и содержания белка представляет собой сложную задачу.

Совершенствование технологий возделывания зерновых культур может способствовать увеличению белка, и это не противоречит проявлению закона термодинамики в биологии, поскольку сорт (посев) являются открытой системой. В рамках проводимых исследований Н.Е. Новикова выявила наличие данной характеристики в зернобобовых культурах. «При использовании внекорневых азотных подкормках на пшенице происходит увеличение не только содержание протеина, но и клейковины и её качества широко используются для повышения технологических свойств зерна» [11].

Технологические приёмы направленные на повышение содержания протеина в урожае зерновых и зернобобовых культур имеют ограниченные возможности и не могут радикально изменить существующую отрицательную корреляцию между урожайностью зерна и содержанием в нём протеина.

Цель работы – выявить корреляцию между содержанием протеина и урожайностью на примере наиболее распространённых зерновых культур – озимой мягкой пшеницы, ржи и тритикале, объяснить основные закономерности существования этой зависимости и сделать рекомендации по использованию сортов.

Материал и методы исследования

В процессе исследований использовались новые сорта и гибриды озимой ржи – 2016-2024 гг., сорта озимой мягкой пшеницы, допущенные к использованию в 2021-2024 гг. и озимой тритикале – 2022-2024 гг. в Центральном регионе по восьми сортам (гибридам) изучаемых культур. Посев проводили на полях учебного опытного хозяйства Брянского ГАУ. По данным испытательной лаборатории Брянского ГАУ почва опытного участка серо-

¹ Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения 15.04.2025 г.).

Норма высева составляет 4,0 миллиона всхожих семян на гектар. Посев изучаемых культур осуществлялся после выращивания предшествующей вико-овсяной смеси. Система удобрений на основе балансового метода прогнозировалась – 7 т/га. Рекомендуемые соотношения удобрений: азот (N) – 105 кг/га, фосфор (P) – 37 кг/га, калий (K) – 70 кг/га. Эти параметры определены с учетом почвенных условий, климата и потребностей растений. Посев проводили сеялкой СУ-3 разреженным способом, уборку комбайном Terrion 2010 при влажности зерна 15-16%. Содержание протеина определяли на спектрометре КФК-ЗКП в испытательной лаборатории Брянского ГАУ.

Математическую обработку, наименьшую существенную разницу и коэффициент корреляции определяли по Б.А. Доспехову (1985).

Используемые семена питомника размножения второго года, полученные по авторской методике [12, 13] соответствовали первому классу посевного стандарта. Семена проправливали препаратом Терция. Площадь опытных делянок 25 м², повторность трёхкратная. Погодные условия в основном соответствовали климатической норме по температуре. По количеству осадков погодные условия мая 2023 г. отличались дефицитом осадков – в мае выпало только 12,3% от нормы, в июне 2024 г. количество осадков составило почти две климатические нормы.

Результаты и их обсуждение

За годы исследования установлено, что гибриды ржи отличались большей урожайностью по сравнению с сортами (табл. 1).

Таблица 1

Корреляция урожайности и содержание протеина в зерне ржи

Сорт, гибрид	Год допуска к использованию	2023 г.			2024 г.		
		Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га	Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га
Вавиловская	2016	4,1	11,5	0,47	3,9	11,2	0,43
Графиня	2016	4,3	11,5	0,49	4,0	11,1	0,44
Жнейка	2018	4,6	11,4	0,52	3,8	11,2	0,42
Новозыбковская Нива	2024	4,9	11,4	0,55	3,9	11,2	0,43
Таловская 45	2022	5,2	11,2	0,58	4,2	11,1	0,46
РАВО F ₁	2016	5,9	11,3	0,66	4,7	11,0	0,51
ТАЙО F ₁	2021	6,3	11,4	0,71	4,9	11,0	0,53
ЭТЕРНО F ₁	2018	6,5	11,3	0,73	5,1	11,0	0,56
Коэффициент корреляции		-0,596			-0,622		
HCP		0,21			0,19		

Отдельные сорта и гибриды достоверно различались по урожайности между собой. Средняя урожайность сортов ржи в 2023 году составила 4,6 т/га, а гибридов – 6,2 т/га. В условиях 2024 года урожайность ржи сильно уменьшилась, в среднем на 0,9 т/га, это произошло вследствие обильных продолжительных осадков в период цветения, учитывая, что рожь строго перекрёстно опыляемая культура, это вызвало значительную через зерницу, и как следствие, снижение урожайности. Наибольшей урожайностью в среднем за два года выделился короткостебельный сорт ржи Таловская 45 с урожайностью 4,7 т/га, первое место по урожайности среди гибридов занял ЭТЕРНО F₁ – 5,8 т/га.

У возделываемых сортов ржи содержание протеина в условиях 2023 г. установлено в пределах 11,2-11,5%, в 2024 г. содержание протеина снизилось и варьировало от 11,0 до 11,2%. Такое снижение произошло вследствие увеличения размеров зерновок, вызванное череззерницей. Суммирующим критерием оценки полученного урожая является сбор протеина с площади возделывания разных сортов и гибридов ржи. Этот показатель изменился в 2023 г. от 0,47 т/га до 0,73 т/га, а в 2024 г. – от 0,43 т/га до 0,56 т/га, который в

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 4 (56) 2025 г. большей степени определялся урожайностью зерна и в меньшей зависел от содержания протеина в зерне.

Один из главных критериев сильной пшеницы – содержание протеина, которое должно быть не ниже 14%. Среди изучаемых сортов этому показателю соответствовал сорт Немчиновская 85, в зерне которого в среднем за 2 года содержалось 14,1% протеина, при этом по урожайности Немчиновская 85 занимала одно из последних мест (табл.2.)

Таблица 2

Корреляция урожайности и содержание протеина в зерне озимой мягкой пшеницы

Сорт	Год допуска к использованию	2023 г.			2024 г.		
		Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га	Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га
Анфиса	2023	6,3	13,3	0,83	6,5	13,2	0,85
Боярка	2023	6,2	13,3	0,82	6,0	13,4	0,80
Винница	2024	6,6	13,2	0,87	6,2	13,5	0,83
Влади	2022	6,4	13,9	0,88	6,1	13,7	0,83
Немчиновская 85	2021	6,2	14,0	0,86	6,0	14,2	0,85
Скипетр 2	2023	6,9	13,0	0,89	7,2	13,0	0,93
Мила	2023	6,8	13,0	0,88	7,4	13,2	0,97
Галатея	2021	6,5	13,2	0,85	6,9	13,1	0,90
Коэффициент корреляции		-0,686			-0,740		
HCP		0,18			0,20		

Наиболее урожайные сорта – Скипетр 2 и Мила, отличались низким содержанием протеина, как результат – средний коэффициент корреляции между урожайностью и содержанием протеина незначительно различался по годам и составил 0,713, но, благодаря высокой урожайности при возделывании этих сортов урожайность с одного гектара составила 0,920 т.

Тритикале среди всех зерновых культур выделяется самым высоким процентом содержания протеина. По нашему мнению [14], это произошло в результате благоприятного сочетания белковых фракций, наиболее полно представленных у исходных видов, что позволяет увеличить содержание общего количества протеина в зерне тритикале (табл.3).

Таблица 3

Корреляция урожайности и содержания протеина в зерне озимой гексаплоидной тритикале

Сорт	Год допуска к использованию	2023 г.			2024 г.		
		Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га	Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Сбор протеина, т/га
Ахтырская 75	2024	7,6	14,0	1,06	7,7	14,3	1,10
Аргус	2023	7,0	14,5	1,01	7,4	14,5	1,07
Ариозо	2023	6,9	14,6	1,00	7,3	14,8	1,08
Арион	2024	7,1	14,7	1,04	7,8	14,2	1,10
Гольдварг	2023	6,8	15,0	1,02	7,5	14,8	1,11
Форта	2022	6,5	14,9	0,96	7,7	14,9	1,14
Слон	2022	6,6	14,3	0,94	7,6	14,5	1,10
Сейм	2024	6,7	14,3	0,95	7,8	14,2	1,10
Коэффициент корреляции		-0,519			-0,603		
HCP		0,23			0,20		

Наследование в тритикале таких особенностей исходных видов, как многоцветковость колоска от пшеницы и многоколосковости от ржи, позволило иметь самый высокий потенциал урожайности. Нами были получены формы тритикале, у которых масса зерна с одного колоса достигала 7 грамм.

Реализованная урожайность новых сортов показывает, что тритикале убедительно превосходит по урожайности пшеницу и рожь. Средняя урожайность за два года восьми сортов пшеницы, пяти сортов ржи и восьми сортов тритикале составила соответственно: – 6,5 т/га, 4,2 т/га, 7,2 т/га. Урожайность гибридов ржи при этом достигла 5,5 т/га. При этом также проявляется отрицательная корреляция между урожайностью и содержанием протеина, которая в среднем за два года составила 0,561.

Возделывание тритикале практически в два раза позволит увеличить сбор протеина в сравнении с рожью и на 50% превышает этот результат при возделывании пшеницы. Таким образом, новые сорта тритикале характеризуются достоверно более высокой урожайностью в сравнении с лучшими сортами и гибридами ржи и интенсивными сортами пшеницы.

Заключение

Таким образом, сочетание высокой урожайности и содержание протеина в одном генотипе сложная, если, вообще, невыполнимая задача, следовательно, при выборе сорта для возделывания необходимо руководствоваться назначением получаемого урожая. Если предполагается использовать зерно для хлебопечения – возделывать сильные сорта, для технических, фуражных и других целей более положительный эффект дадут более интенсивные сорта. У изучаемых сортов пшеницы, ржи, тритикале существует достоверная отрицательная корреляция между урожайностью и содержанием протеина. Величина урожайности в большей степени влияет на сбор протеина по сравнению с его содержанием. Возделывание озимой тритикале позволяет больше, в сравнении с другими культурами, получать протеин с единицы площади.

Литература

1. Кондратенко Е.Н., Константинова О.Е., Соболева О.М., Итмулкина Е.А., Вербицкая Н.В. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории лесостепи юго-востока Западной Сибири. // Химия растительного сырья. – 2015. – №3. – С. 143–150. DOI: 10.14258/jcprm.201503754
2. Шеленга Т.О., Саликова В.В., Попов В.С., Егорова Г.В., Малышев Л.Л., Винникова М.А. Взаимосвязь основных признаков качества семян люпина узколистного из коллекции ВИР. // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2025. - 29 (1). - С.35-43. DOI 10.18699/vjgb-25-05
3. Просвирников Д.Б., Тунцев Д.В., Гайнуллина М.К., Касanova Н.Р. Белковый концентрат из белого люпина сорта Дега. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – №. 1. – С. 63-74. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-1-63-74> (дата обращения: 23.04.2025).
4. Чекмарев П.А., Артиухов А.И. Рациональные подходы к решению проблемы белка в России. // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 6. – С. 5-8.
5. Фоменко П.А., Богатырева Е.В. Белковые корма растительного происхождения. // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 4(48). – С. 125-138. DOI 10.52231/2225-4269_2021_3_125.
6. Агафонов И.А. Обеспечение животноводства России белковым кормом как часть национальной и экономической безопасности страны. // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. – № 4-1. – С. 5-12. DOI 10.17513/vaael.2754.
7. Ондар С.О. Принципы термодинамики в биологических системах. // Вестник Тувинского государственного университета. №2 Естественные и сельскохозяйственные науки. - 2011. - № 2(9). - С. 35-46.
8. Головко Т.К., Гармаш Е.В. Дыхание растений: классические и современные представления. // Физиология растений. – 2022. – Т.69. – № 6. – С. 563-571. DOI 10.31857/S0015330322060070.
9. Крупнова О.В. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур (обзор литературы). // Сельскохозяйственная биология. – 2009.– Т. 44. – № 3. – С. 13-23.
10. Гусейнов С.И. Пути повышения содержания белка в зерне пшеницы. // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 7(49). – С. 72-75.

11. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор). // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 1(25). – С. 60-67.
12. Lebedko L.V., Shpilev N.S., Sychev S.M., Evdokimenko S.N., Aitzhanova S.D. Innovations in crop seed breeding. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. Vol. 29, No. 3. – P. 3764-3781.
13. Горбачев К.И., Шпилев Н.С., Лебедко Л.В., Дьяченко О.В., Зайцева О.А. Совершенствование схемы первичного семеноводства озимой тритикале. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2024. – № 4 (52). – С. 178-183. DOI 10.24412/2309-348X-2024-4-178-183
14. Шпилев Н.С., Лебедко Л.В., Шепелев С.И., Ториков В.Е., Мельникова О.В. Использование тритикале в кормопроизводстве. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53. – № 12. – С. 54-60. DOI 10.26898/0370-8799-2023-12-6.

References

1. Kondratenko E.N., Konstantinova O.E., Soboleva O.M., Itmulkina E.A., Verbitskaya N.V. Protein and amino acid content in the grain of winter crops growing in the forest-steppe of the south-east of Western Siberia. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2015, no. 3, pp. 143–150. DOI: 10.14258/jcprm.201503754 (In Russian)
2. Shelenga T.O., Salikova V.V., Popov V.S., Egorova G.V., Malyshev L.L., Vinnikova M.A. Interrelations of the main quality characteristics of narrow-leaved lupine seeds from the VIR collection. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2025, no. 29 (1), pp.35-43. DOI 10.18699/vjgb-25-05. (In Russian)
3. Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V., Gainullina M.K., Kasanova N.R. Protein concentrate from white lupine variety Dega. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2025, no. 1, pp. 63-74. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-1-63-74> (accessed: 23.04.2025) (In Russian)
4. Chekmarev P.A., Artyukhov A.I. Rational approaches to solving the protein problem in Russia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2011, no. 6, pp. 5-8. (In Russian)
5. Fomenko P.A., Bogatyreva E.V. Protein feeds of plant origin. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik*, 2022, no. 4(48), pp. 125-138. DOI 10.52231/2225-4269_2021_3_125. (In Russian)
6. Agafonov I.A. Providing Russian livestock with protein feed as part of the country's national and economic security. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2023, no. 4-1, pp. 5-12. DOI 10.17513/vaael.2754. (In Russian)
7. Ondar S.O. Principles of Thermodynamics in Biological Systems. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta*, no.2 *Estestvennye i sel'skokhozyaistvennye nauki*. 2011, no. 2(9), pp. 35-46. (In Russian)
8. Golovko T.K., Garmash E.V. Plant respiration: classical and modern concepts. *Fiziologiya rastenii*. 2022, V. 69, no. 6, pp. 563-571. DOI 10.31857/S0015330322060070. (In Russian)
9. Krupnova O.V. On the relationship between yield and protein content in grain and cereal and legume crops (literature review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2009, V. 44, no. 3, pp. 13-23. (In Russian)
10. Guseinov S.I. Ways to Increase Protein Content in Wheat Grain. *Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniya*. 2016, no. 7(49), pp. 72-75. (In Russian)
11. Novikova N.E. Physiological justification of foliar feeding for optimization of nutrition of grain legume crops in plant ontogenesis (review). *Zernobobovye i krupyanaye kul'tury*. 2018, no. 1(25), pp. 60-67. (In Russian)
12. Lebedko L.V., Shpilev N.S., Sychev S.M., Evdokimenko S.N., Aitzhanova S.D. Innovations in crop seed breeding. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, no. 3, pp. 3764-3781.
13. Gorbachev K.I., Shpilev N.S., Lebedko L.V., D'yachenko O.V., Zaitseva O.A. Improving the scheme of primary seed production of winter triticale. *Zernobobovye i krupyanaye kul'tury*. 2024, no. 4(52), pp. 178-183. DOI 10.24412/2309-348X-2024-4-178-183. (In Russian)
14. Shpilev N.S., Lebedko L.V., Shepelev S.I., Torikov V.E., Mel'nikova O.V. Use of triticale in forage production. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2023, V. 53, no. 12, pp. 54-60. DOI 10.26898/0370-8799-2023-12-6. (In Russian)