

Оригинальная статья / Original article

УДК 664.6, 631.811:633.111.1

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505>



Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания

© Д.В. Чикишев*, Н.В. Абрамов*, Н.С. Ларина**, С.В. Шерстобитов*

*Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
г. Тюмень, Российская Федерация

**Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

Резюме: Зерно яровой пшеницы широко используется в качестве сырья для производства пищевых продуктов и кормов. Целью исследования являлось изучение отзывчивости яровой пшеницы на различные уровни минерального питания. В статье представлены результаты внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу сорта Новосибирская 31 в Тюменской области. Определены: урожайность зерна яровой пшеницы, основные показатели качества зерна на пищевые цели (содержание белка, сырой клейковины, качество клейковины, стекловидность, натура), аминокислотный и элементный (N, P, K, S, Na, Mg, Ca, Cl) составы. Показано, что в зависимости от почвенных и погодных условий, а также от дозы внесения минеральные удобрения имеют неодинаковую эффективность. В 2018 г. применение минеральных удобрений позволило получить прибавку урожайности и улучшить качество зерна. Относительно варианта без внесения минеральных удобрений урожайность пшеницы повысилась на 1,6 т/га, содержание белка в зерне – на 3,67%, сырой клейковины – на 9,9%. С помощью удобрений удалось получить пшеницу 3-го класса, в то время как на контроле получена пшеница 4-го класса с меньшей урожайностью. Выявлено, что в годы с благоприятными погодными условиями на черноземе выщелоченном роль минеральных удобрений в формировании урожайности пшеницы и ее качества снижается. В 2019 г. на всех вариантах была получена пшеница 3-го класса с несущественно различающейся урожайностью. Доказано, что при повышении доз минеральных удобрений в зерне повышается содержание глутаминовой и аспарагиновой кислот, но снижается содержание аргинина. Элементный состав зерна, кроме азота, не зависит от дозы внесения удобрений.

Ключевые слова: яровая пшеница, минеральные удобрения, урожайность, химический состав зерна

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-316-90001.

Информация о статье: Дата поступления 22 марта 2020 г.; дата принятия к печати 31 августа 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2020 г.

Для цитирования: Чикишев Д.В., Абрамов Н.В., Ларина Н.С., Шерстобитов С.В. Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020. Т. 10. N 3. С. 496–505. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505>

Chemical composition of spring wheat at different levels of mineral nutrition

Dmitry V. Chikishev*, Nikolay V. Abramov*, Natalya S. Larina**,
Sergey V. Sherstobitov*

*Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russian Federation

**University of Tyumen, Russian Federation

Abstract: Spring wheat is widely used as a raw material for the production of human food and animal feed. This study was aimed at investigating the response of spring wheat to different levels of mineral nutrition. The article presents the results of applying mineral fertilisers when growing spring wheat of the Novosibirsk 31 variety in the Tyumen region. The following parameters were determined: wheat grain yield, grain nutri-

tional quality (protein content, raw gluten, gluten quality, grain hardness, grain-unit value), and amino acid and elemental (N, P, K, S, Na, Mg, Ca, Cl) composition. The efficiency of mineral fertilisers was shown to depend on their dosage, as well as on soil and weather conditions. In 2018, the use of mineral fertilisers led to an increased wheat yield and an improved grain quality. Thus, in comparison with the control (no fertilisers), the wheat yield increased by 1.6 t/ha, while the protein and wet gluten content grew by 3.67% and 9.9%, respectively. The application of fertilisers allowed 3rd class wheat to be obtained, while experiments involving no fertilisers produced only 4th class wheat. It was revealed that the role of mineral fertilisers in wheat yields and their quality decreases when growing wheat on leached chernozem under favourable weather conditions. Thus, in 2019, 3rd class wheat varying in yield insignificantly was obtained in all experiments (with and without fertilisers). It was confirmed that an increase in the dose of mineral fertilisers leads to an increase in the content of glutamic and aspartic acids in the grain, at the same time as decreasing the content of arginine. The elemental composition of grain, except for nitrogen, does not depend on the dose of fertilisers.

Keywords: spring wheat, mineral fertilisers, yield, grain chemical composition

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 19-316-90001.

Information about the article: Received March 22, 2020; accepted for publication August 31, 2020; available online September 30, 2020.

For citation: Chikishev DV, Abramov NV, Larina NS, Sherstobitov SV. Chemical composition of spring wheat at different levels of mineral nutrition. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(3):496–505. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505>

ВВЕДЕНИЕ

В зависимости от целей использования зерна яровой пшеницы к нему предъявляются различные требования. Для хлебопекарной муки важны такие показатели, как содержание белка и сырой клейковины, стекловидность, натура, число падения. Для зерна, используемого на кормовые цели, будет важно содержание в нем белка, различных элементов и аминокислот.

Продуктивность яровой пшеницы и химический состав зерна могут значительно варьироваться. Сорт пшеницы, применяемые удобрения и агротехника, а также уровень плодородия почвы, погодные условия – все это влияет на урожайность и качество зерна [1–4]. Для Российской Федерации ключевыми факторами, влияющими на урожайность яровой пшеницы, являются количество осадков и степень азотного питания [5].

Мировая практика использования минеральных удобрений показала, что эффективность их применения зависит от состава, сроков и способов их внесения, а также уровня плодородия почв [6–10].

Влияние минеральных удобрений на химический состав зерна пшеницы в первую очередь отражается на количестве азотсодержащих соединений в нем. Считается, что чем больше белка и сырой клейковины в зерне пшеницы, тем оно лучше. Однако увеличение количества вносимых минеральных удобрений не всегда способствует увеличению белка в зерне. Зависимость может быть как прямая, когда с увеличением доз удобрений повышается количество белка в зерне [11–14], так и обратная, когда с увеличением доз удобрений повышается уро-

жайность пшеницы, а массовая доля белка в зерне снижается, что связано с генетической особенностью некоторых сортов [15, 16]. В других опытах зависимость между дозами вносимых удобрений и содержанием белка в зерне не наблюдается [17].

Рассмотрение результатов ранее проведенных исследований свидетельствует о том, что минеральный состав зерна пшеницы незначительно меняется от доз минеральных удобрений и агротехнологических мероприятий и в большей степени зависит от сорта, места произрастания, погодных условий и применяемой органической системы земледелия [18–22]. При изучении влияния высоких доз вносимых минеральных удобрений (950 и 1450 кг/га в физической массе) выявилась тенденция к повышению содержания в зерне пшеницы Mn, Fe, B на 33–34%, Mg – на 20%, Zn – на 15%, P – на 11%. Содержание в зерне K и Si не изменилось. Но в этом случае также повысилось содержание кадмия от 0,08 до 0,15 мг/кг [23].

Анализируя взаимосвязь между содержанием белка и аминокислотным составом пшеницы, ученые приходят к заключению, что с увеличением массовой доли белка увеличивается содержание глутамина и пролина, а содержание аргинина часто снижается [24–27]. Глутаминовая кислота и глутамин являются первыми аминокислотами, которые синтезируются в пшенице. В дальнейшем глутамин используется как источник аминокислот при синтезе других аминокислот в растении [28]. Увеличение содержания пролина напрямую связано с особенностями белков пшеницы. Пролин входит в состав белков-прола-

минов, которые в свою очередь являются основным компонентом глютена [29]. Снижение содержания аргинина связано с его катаболизмом, мобилизующим запасенный азот и регулирующий синтез оксида азота (NO), полиаминов и потенциально пролина [30].

Таким образом, учитывая, что в процессе становления продуктивности агроценозов с хорошим качеством важным условием является уровень их обеспеченности элементами питания, поставлена цель исследования: проследить формирование урожайности яровой пшеницы и химического состава зерна в зависимости от уровня минерального питания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Полевой эксперимент. Яровая пшеница сорта Новосибирская 31 возделывалась в 2018 и 2019 г. на производственных полях учхоза Государственного аграрного университета Северного Зауралья. Тип почвы – чернозем выщелоченный. Опытные участки характеризовались близкой к нейтральной реакцией среды: рН солевой вытяжки – 5,5 и 5,7 (в 2018 и 2019 г. соответственно), значительной гидролитической кислотностью – 4,52 и 3,07 мм/100 г, и очень высокой обеспеченностью обменными основаниями – 41,1 и 39,4 мм/100 г. Содержание нитратного азота перед посевом составляло 4,7 и 10,2 мг/кг, подвижного фосфора (по Чирикову) – 167 и 129 мг/кг, подвижного калия (по Чирикову) – 99 и 100 мг/кг, гумуса – 7,5 и 4,9% (по годам соответственно).

В качестве минеральных удобрений применялись аммиачная селитра (N) и азотно-фосфорно-калийное удобрение (NPK – азофоска) с содержанием действующих веществ 34,4 и 15:15:15% соответственно. Оба удобрения вносили непосредственно перед посевом. Расчет доз удобрений проводился балансовым методом¹ на планируемую урожайность яровой пшеницы: 3, 4, и 5 т/га. В процессе расчета учитывалось: содержание элементов питания в почве перед посевом (нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия), вынос элементов питания единицей продукции, коэффициенты использования элементов питания из почвы и из удобрений, количество действующего вещества в удобрении. Результаты расчетов показали, что на каждый вариант необходимо было внести в среднем: 220, 375, 520 кг/га минеральных удобрений. В качестве контрольного являлся вариант без внесения минеральных удобрений.

За период вегетации сумма активных температур (10 °С и выше) в 2018 и 2019 г. составила 2029 и 2180 °С соответственно. Количество осадков, выпавших за период с температурой воздуха 10 °С и выше, составило 259 и 324 мм

по годам соответственно. Гидротермический коэффициент (ГТК) вегетационного периода 2018 г. составил 1,28, 2019 г. – 1,47. В ключевые фазы вегетации, когда шла закладка репродуктивных органов пшеницы (фазы кущения и колосения), ГТК составил: в 2018 г. – 1,06, в 2019 г. – 1,54.

Отбор и анализ образцов. Урожайность яровой пшеницы учитывалась прямым комбайнированием ($S = 10 \text{ м}^2$). В дальнейшем пробу зерна перемешивали, измеряли натуру (ГОСТ Р 54895) и размалывали в муку.

В подготовленной пробе зерна определяли следующие показатели: элементный (ГОСТ Р 56374, 56375) и аминокислотный составы (М-04-38-2009), содержание белка (ГОСТ 10846) и сырой клейковины (ГОСТ Р 54478), стекловидность (ГОСТ 10987). Элементный (по ионам) и аминокислотный (по ФТК-производным аминокислот) составы зерна определяли методом капиллярного электрофореза с применением системы капиллярного электрофореза Капель-105 (Люмэкс, Россия). При определении нитратов и хлоридов использовали водную вытяжку. Солянокислую вытяжку использовали для определения других ионов, а также 19 устойчивых к кислотному гидролизу аминокислот (кроме триптофана). При этом для определения содержания глутамина, аспарагина и цистина их предварительно переводили в глутаминовую, аспарагиновую и цистеиновую кислоты соответственно окислением навески пермуравьиной кислотой. Для извлечения триптофана использовали вытяжку насыщенным раствором гидроксида бария.

Все варианты изучались в трехкратной повторности. После проведения анализов каждой повторности каждого варианта определялось среднее значение показателей и рассчитывался доверительный интервал при уровне достоверности 95% ($P = 0,95$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Урожайность яровой пшеницы в 2018 и 2019 г. составила 3,78–5,40 т/га. Для почвенно-климатических условий Западной Сибири это хорошая продуктивность зерновых. При этом фактическая урожайность превысила планируемую, поскольку расчетные методики являются весьма условными и не учитывают погодные условия, сорт, применяемые агротехнологии.

Отзывчивость яровой пшеницы на внесение минеральных удобрений имела отличия в зависимости от года исследования. В 2018 г. прослеживается высокая корреляционная зависимость формирования урожайности яровой пшеницы от количества внесенных удобрений ($r = 0,841$; $n = 12$; $P = 0,95$), что свидетельствует о зависимости урожайности от количества внесенного

¹Ермохин Ю.И. Основы прикладной агрохимии: учеб. пособие. Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 120 с.

удобрения. Максимальная прибавка наблюдалась в варианте с внесением 375 кг/га минеральных удобрений, где урожайность составила 5,40 т/га, что более чем на 40% выше контрольного варианта (или 1,62 т/га). Аналогичные результаты получены рядом ученых в 2018 г.: был отмечен рост урожайности яровой пшеницы при увеличении нормы минеральных удобрений [31–34]. По представленным в этих работах данным, прибавка урожайности яровой пшеницы составила от 0,4 до 1,3 т/га или 21–47%. Кроме повышения урожайности внесение минеральных удобрений позволило повысить содержание белка в зерне яровой пшеницы. Благодаря этому зерно яровой пшеницы в вариантах с внесением минеральных удобрений можно классифицировать как зерно 3-го класса (ГОСТ 9353), а в вариантах с дозами внесения удобрений 375 и 520 кг/га по содержанию белка и сырой клейковины – даже 2-го класса. Но из-за того, что качество клейковины не соответствовало требованиям, это зерно нельзя отнести ко 2-му классу. В 2019 г., как и в предыдущем, был получен хороший урожай яровой пшеницы как на контрольном, так и на опытном участке с внесением различных доз минеральных удобрений. Однако минеральные удобрения не позволили получить прибавку урожая и не повлияли на качество зерна. Это свидетельствует о том, что в годы с благоприятными погодными условиями на черноземе выщелоченном использование минеральных удобрений оказывает слабое воздействие на продуктивность яровой пшеницы и качество продукции. Содержание белка в зерне по вариантам опыта находилось в пределах 12,77–13,35%, сырой клейковины – 24,5–28,6%. Качество пшеницы – 76,7–82,5 ед. ИДК, что соответствовало ка-

честву зерна 3-го класса (табл. 1).

Сорт пшеницы Новосибирская 31 показал хорошую зависимость между урожайностью и содержанием белка в зерне ($r = 0,803$; $n = 24$; $P = 0,95$). С повышением урожайности массовая доля белка в зерне тоже повышалась. Несомненно, это является достоинством сорта. Как было отмечено ранее, некоторые сорта пшеницы имеют обратную зависимость между урожайностью и содержанием белка в зерне. Следует отметить, что соотношение между содержанием сырой клейковины и белком в зерне в 2018 г. было выше, чем в 2019, что говорит о лучшем качестве полученного зерна. Изменения данного показателя в 2018 г. составили в зависимости от дозы внесенного удобрения 2,18–2,52, а в 2019 г. – 1,88–2,24.

На содержание аргинина, глутаминовой и аспарагиновой кислот в зерне яровой пшеницы оказывали влияние нормы вносимых минеральных удобрений и уровень естественного плодородия почв на опытном участке. Повышенное поступление неорганического азота в пшеницу в первую очередь влияет на повышение содержания глутаминна (амида глутаминовой кислоты). В 2019 г. ее содержание по вариантам было в целом выше чем в 2018 г. и не опускалось ниже 4,8%. Кроме того, в 2019 г. отмечено более высокое содержание аспарагиновой кислоты. Аспарагин во многих растениях является основным реципиентом глутаминового азота и обеспечивает мобильный резервуар для транспортировки к участкам роста. Это подтверждается и низким содержанием аргинина (менее 2,0%), который мобилизует запасенный азот. Содержание других аминокислот изменялось несущественно и составляло, %: пролина – 1,3–1,7;

Таблица 1. Урожайность и показатели качества зерна на пищевые цели
Table 1. Yield and grain quality for food purposes

Год	Вариант (количество вносимого минерального удобрения, кг/га)	Урожайность, т/га ($n = 3$)	Показатели качества зерна для пищевых целей ($n = 3$)				
			Белок, %	Сырая клейковина, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Натура, кг/л	Стекловидность, %
2018	Контроль	3,78±1,17	11,95±0,77	26,0±2,5	86,7±9,5	805±6	79±12
	220	4,99±0,49	12,85±0,26	32,4±7,1	95,2±6,2	782±8	84±13
	375	5,40±0,35	14,81±1,68	32,3±11,5	85,8±21,8	789±23	85±4
	520	5,34±1,09	15,62±2,59	35,9±3,2	90,8±7,2	771±4	84±13
	НСР05*	0,37	0,78	2,3	2,7	8	3
2019	Контроль	4,97±0,65	13,05±1,20	26,5±8,8	76,7±21,8	766±46	86±9
	220	4,45±0,78	13,35±2,78	26,7±13,4	76,7±9,5	744±20	88±15
	375	4,43±0,27	12,77±1,33	28,6±14,5	82,5±18,6	756±59	82±17
	520 кг/га	4,65±0,31	12,99±2,03	24,5±10,3	79,2±37,9	739±33	85±24
	НСР05*	0,18	0,41	2,2	4,8	9	3
Требования для пшеницы 2-го класса			не менее 13,5	не менее 28,0	43–77	не менее 750	не менее 60
Требования для пшеницы 3-го класса			не менее 12,0	не менее 23,0	18–102	не менее 730	не менее 40
Требования для пшеницы 4-го класса			не менее 10,0	не менее 18,0	18–102	не менее 710	не ограничивается

Примечание к табл. 1–3. * – наименьшая существенная разность при 5%-м уровне значимости.

лейцина и изолейцина – 1,2-1,5; серина – 0,8–1,0; глицина – 0,6–0,9; фенилаланина – 0,6–0,8; треонина – 0,5–0,7; аланина – 0,5–0,7; тирозина – 0,4–0,7; лизина – 0,3–0,5; триптофана – 0,2–0,3; валина – не более 0,7; гистидина – не более 0,5; метионина – не более 0,4; цистина – менее 0,1 (табл. 2).

В опытах прослеживается, что минеральный состав зерна яровой пшеницы изменяется по годам исследования, но мало отличается по вариантам в течение года (табл. 3). Так, содержание Mg, Ca, и NO₃ незначительно отличалось по

годам, содержание Na, P, и Cl было больше в 2018 г., а K и S было больше в 2019. Исключение составляет ион аммония, содержание которого зависит от доз минеральных удобрений. С их увеличением также повышалась его концентрация в зерне: в 2018 г. она увеличилась с 0,51% на контрольном варианте до 0,60% при норме минеральных удобрений 220 кг/га, и до 0,76% при норме 520 кг/га. А в 2019 г. – с 0,56% на контрольном варианте до 0,65% при норме 375 кг/га. Это связано с увеличением поступления доступного азота, который был внесен с удобрениями.

Таблица 2. Аминокислотный состав зерна
Table 2. Amino acid composition of grain

Год	Вариант (количество внесенного минерального удобрения, кг/га)	Содержание аминокислот в зерне, % (n = 3)		
		Глутаминовая кислота + глутамин	Аспарагиновая кислота + аспарагин	Аргинин
2018	Контроль	3,6±1,8	< 0,5	5,1±1,6
	220	4,5±1,4	< 0,5	4,2±5,0
	375	5,4±2,1	0,7±0,7	1,5±2,1
	520	5,3±2,5	0,7±0,7	1,0±0,7
	НСР05*	0,6	0,1	1,1
2019	Контроль	5,0±0,7	0,8±0,1	1,9±0,9
	220	4,8±3,5	1,0±0,4	1,6±0,8
	375	5,6±0,3	1,2±0,1	1,2±0,4
	520	5,3±2,1	0,9±0,5	1,3±0,4
	НСР05*	0,5	0,1	0,2

Таблица 3. Минеральный состав зерна
Table 3. Mineral composition of grain

Содержание иона аммония в зерне NH ₄ , % (n = 3)					
Год	Вариант (количество внесенного минерального удобрения, кг/га)				НСР05*
	Контроль	220	375	520	
2018	0,51±0,11	0,60±0,09	0,63±0,23	0,76±0,33	0,06
2019	0,56±0,12	0,57±0,04	0,65±0,22	0,61±0,04	0,04
Содержание элементов и нитрат-иона в зерне, % (n = 12)					
Год	K	Na	Mg	Ca	
2018	0,49±0,03	0,14±0,02	0,20±0,01	0,25±0,02	
2019	0,56±0,03	0,08±0,02	0,20±0,01	0,25±0,04	
	Cl	S	NO ₃	P	
2018	0,110±0,006	0,033±0,007	0,076±0,006	0,367±0,022	
2019	0,065±0,004	0,075±0,024	0,077±0,004	0,336±0,016	

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что в климатических условиях Западной Сибири возможно получить урожай яровой пшеницы до 5,4 т/га зерна 3-го класса, которое может использоваться на пищевые и кормовые цели.

Эффективность применения минеральных

удобрений под яровую пшеницу зависит от почвенных и погодных условий. При оптимальных условиях она может отсутствовать. В менее благоприятных условиях применение минеральных удобрений позволяет увеличить сбор зерна на 1,6 т/га, содержание белка в нем – на 3,67%, сырой клейковины – на 9,9%.

Увеличение нормы минеральных удобрений

приводит к росту содержания глутаминовой и аспарагиновой кислот до 5,6 и 1,2% соответственно. Содержание аргинина снижается до 1,0%. Элементный состав зерна яровой пшеницы (К, Na, Mg, Ca, Cl, S, P) не зависит от нормы минеральных удобрений, но меняется в зависимости от погодных условий. Увеличение норм минеральных удобрений повышает концентра-

цию иона аммония в зерне яровой пшеницы до 0,76%.

Установлена тесная взаимосвязь между технологическими свойствами зерна яровой пшеницы и уровнем обеспеченности растения элементами питания, что является основой для развития научно обоснованного применения минеральных удобрений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wang X., Cai D., Grant C., Hoogmoed W.B., Oenema O. Factors controlling regional grain yield in China over the last 20 years // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 1127–1138. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0288-z>
2. Mukherjee A., Wang S.-Y.S., Promchote P. Examination of the climate factors that reduced wheat yield in Northwest India during the 2000s // *Water*. 2019. Vol. 11. Issue 2. P. 343–355. <https://doi.org/10.3390/w11020343>
3. Xue C., Matros A., Mock H.P., Mühling K.H. Protein composition and baking quality of wheat flour as affected by split nitrogen application // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 11 p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>
4. Zörb C., Ludewig U., Hawkesford M.J. Perspective on wheat yield and quality with reduced nitrogen supply // *Trends in plant science*. 2018. Vol. 23. Issue 11. P. 1029–1037. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.08.012>
5. Schierhorn F., Müller D., Prishchepov A., Faramarzi M., Balmann A. The potential of Russia to increase its wheat production through cropland expansion and intensification // *Global Food Security*. 2014. Vol. 3. Issues 3-4. P. 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.10.007>
6. Corrêa J.C., Grohskopf M.A., Nicoloso R. da S., Lourenço K., Martini R. Organic, organomineral, and mineral fertilizers with urease and nitrification inhibitors for wheat and corn under no-tillage // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2016. Vol. 51. Issue 8. P. 916–924. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800003>
7. Efreteui A., Gooding M., White E., Spink J., Hackett R. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland // *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2016. Vol. 55. Issue 1. P. 63–73. <https://doi.org/10.1515/ijafr-2016-0006>
8. Rezig F.A., Elhadi E.A., Mubarak A.R. Impact of organic residues and mineral fertilizer application on soil–crop systems I: yield and nutrients content // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2013. Vol. 59. Issue 9. P. 1229–1243. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.709622>
9. Mulvaney R.L., Khan S.A., Ellsworth T.R. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production // *Journal of Environmental Quality*. 2009. Vol. 38. Issue 6. P. 2295–2314. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0527>
10. Beyenesh Z., Nigussie D. Effect of mineral fertilizer, farmyard manure, and compost on yield of bread wheat and selected soil chemical properties in Enderta District, Tigray Regional State, Northern Ethiopia // *East African Journal of Sciences*. 2018. Vol. 12. Issue 1. P. 29–40.
11. Ma G., Liu W., Li S., Zhang P., Wang C., Lu H., et al. Determining the optimal N input to improve grain yield and quality in winter wheat with reduced apparent N loss in the North China Plain // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 181. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00181>
12. Ullah G., Khan E.A., Awan I.U., Khan M.A., Khakwani A.A., Baloch M.S., et al. Wheat response to application methods and levels of nitrogen fertilizer: I. phenology, growth indices and protein content // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2013. Vol. 12. Issue 4. P. 365–370. <https://doi.org/10.3923/pjn.2013.365.370>
13. Yu Z., Juhasz A., Islam S., Diepeveen D., Zhang J., Wang P., et al. Impact of mid-season sulphur deficiency on wheat nitrogen metabolism and biosynthesis of grain protein // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Issue 1. P. 2499. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20935-8>
14. Zhang P., Ma G., Wang C., Lu H., Li S., Xie Y., et al. Effect of irrigation and nitrogen application on grain amino acid composition and protein quality in winter wheat // *Public Library of Science one*. 2017. Vol. 12. Issue 6. P. e0178494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178494>
15. Hawkesford M.J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production // *Journal of Cereal Science*. 2014. Vol. 59. Issue 3. P. 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.12.001>
16. Bogard M., Allard V., Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Machet J.-M., Jeuffroy J.-H., et al. Deviation from the grain protein concentration–grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat // *Journal of Experimental Botany*. 2010. Vol. 61. Issue 15. P. 4303–4312. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq238>
17. Hřivna L., Kotková B., Buresova I. Effect of sulphur fertilization on yield and quality of wheat grain // *Cereal Research Communications*. 2015. Vol. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1556/CRC.2014.0033>
18. Abewa A., Adgo E., Yitaferu B., Alemayehu G., Assefa K., Solomon J.K.Q., et al. Teff grain physical and chemical quality responses to soil

physicochemical properties and the environment // *Agronomy*. 2019. Vol. 9. Issue 6. P. 283. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060283>

19. Hussain A., Larsson H., Kuktaite R., Johansson E. Mineral composition of organically grown wheat genotypes: contribution to daily minerals intake // *Environmental Research and Public Health*. 2010. Vol. 7. Issue 9. P. 3442–3456. <https://doi.org/10.3390/ijerph7093442>

20. Svecnjak Z., Jenel M., Bujan M., Vitali D., Dragojević I.V. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization // *Agricultural and Food Science*. 2013. Vol. 22. Issue 4. P. 445–451. <https://doi.org/10.23986/afsci.8230>

21. Gaj R., Gorski D. Effects of different phosphorus and potassium fertilization on contents and uptake of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) in winter wheat I. Content of macronutrients // *Journal of Central European Agriculture*. 2014. Vol. 15. Issue 4. P. 169–187. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/15.4.1526>

22. Suchowilska E., Wiwart M., Kandler W., Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species // *Plant, Soil and Environment*. 2012. Vol. 58. P. 141–147. <https://doi.org/10.17221/688/2011-PSE>

23. Kovačević V., Kadar I., Rastija M., Sudar R. Impacts of NPK fertilization on chemical composition of wheat grain. In: *Proceedings of the 48th Croatian and 8th International Symposium on Agriculture*. 2013. P. 510–514.

24. Shoup F.K., Pomeranz Y., Deyoe C.W. Amino acid composition of wheat varieties and flours varying widely in bread-making potentialities // *Journal of Food Science*. 1966. Vol. 31. Issue 1. P. 94–101. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb15420.x>

25. Mosse J., Huet J.C., Baudet J. The amino acid composition of wheat grain as a function of nitrogen content // *Journal of Cereal Science*. 1985. Vol. 3. Issue 2. P. 115–130. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(85\)80022-9](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(85)80022-9)

26. Baudet J., Huet J.-C., Mossé J. The amino acid composition of wheat grain as related to its pro-

tein content // *Amino Acid Composition and Biological Value of Cereal Proteins*. 1985. P. 439–450.

27. Чикишев Д.В., Абрамов Н.В., Ларина Н.С., Шерстобитов С.В. Влияние азотных удобрений на аминокислотный состав зерна яровой пшеницы // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2019. N 3 (51). С. 20–25. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2019-51-3-20-26>

28. Joy W.K. Ammonia, glutamine and asparagine: A carbon-nitrogen interface // *Canadian Journal of Botany*. 1988. Vol. 66. Issue 10. P. 2103–2109. <https://doi.org/10.1139/b88-288>

29. Shewry P.R., Tatham A. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution // *The Biochemical Journal*. 1990. Vol. 267. P. 1–12. <https://doi.org/10.1042/bj2670001>

30. Winter G., Todd C.D., Trovato M., Forlani G., Funck D. Physiological implications of arginine metabolism in plants // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. P. 00534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00534>

31. Семизоров С.А., Гунгер М.В. Влияние различных норм припосевного внесения аммиачной селитры на урожайность яровой пшеницы // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2018. N 4. С. 85–88.

32. Богомазов С.В., Левин А.А., Ткачук О.А., Лянденбургская А.В. Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от применения гуминового и минеральных удобрений // *Нива Поволжья*. 2019. N 3 (52). С. 68–73.

33. Синявский И.В., Еликбаева С.А. Влияние сочетаний органических и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в звене зернопарового севооборота // *Вестник Курганской ГСХА*. 2019. N 2 (30). С. 34–37.

34. Sherstobitov S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 537. Issue 6. P. 062011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062011>

REFERENCES

1. Wang X, Cai D, Grant C, Hoogmoed WB, Oenema O. Factors controlling regional grain yield in China over the last 20 years. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015;35:1127–1138. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0288-z>

2. Mukherjee A, Wang S-YS, Promchote P. Examination of the climate factors that reduced wheat yield in Northwest India during the 2000s. *Water*. 2019;11(2):343–355. <https://doi.org/10.3390/w11020343>

3. Xue C, Matros A, Mock HP, Mühling KH. Protein composition and baking quality of wheat flour as affected by split nitrogen application. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10. 11 p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00642>

4. Zörb C, Ludewig U, Hawkesford MJ. Perspec-

tive on wheat yield and quality with reduced nitrogen supply. *Trends in plant science*. 2018;23(11):1029–1037. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.08.012>

5. Schierhorn F, Müller D, Prishchepov A, Faramarzi M, Balmann A. The potential of Russia to increase its wheat production through cropland expansion and intensification. *Global Food Security*. 2014;3(3-4):133–141. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.10.007>

6. Corrêa JC, Grohskopf MA, Nicoloso R da S, Lourenço K, Martini R. Organic, organomineral, and mineral fertilizers with urease and nitrification inhibitors for wheat and corn under no-tillage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2016;51(8):916–924. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800003>

7. Efreteui A, Gooding M, White E, Spink J, Hackett R. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2016;55(1):63–73. <https://doi.org/10.1515/ijaf-2016-0006>
8. Rezig FA, Elhadi EA, Mubarak AR. Impact of organic residues and mineral fertilizer application on soil–crop systems I: yield and nutrients content. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2013;59(9):1229–1243. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.709622>
9. Mulvaney RL, Khan SA, Ellsworth TR. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of Environmental Quality*. 2009;38(6):2295–2314. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0527>
10. Beyenesh Z, Nigussie D. Effect of mineral fertilizer, farmyard manure, and compost on yield of bread wheat and selected soil chemical properties in Enderta District, Tigray Regional State, Northern Ethiopia. *East African Journal of Sciences*. 2018;12(1):29–40.
11. Ma G, Liu W, Li S, Zhang P, Wang C, Lu H, et al. Determining the optimal N input to improve grain yield and quality in winter wheat with reduced apparent N loss in the North China Plain. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:181. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00181>
12. Ullah G, Khan E.A, Awan IU, Khan MA, Khakwani AA, Baloch MS, et al. Wheat response to application methods and levels of nitrogen fertilizer: I. phenology, growth indices and protein content. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2013;12(4):365–370. <https://doi.org/10.3923/pjn.2013.365.370>
13. Yu Z, Juhasz A, Islam S, Diepeveen D, Zhang J, Wang P, et al. Impact of mid-season sulphur deficiency on wheat nitrogen metabolism and biosynthesis of grain protein. *Scientific Reports*. 2018;8(1):2499. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20935-8>
14. Zhang P, Ma G, Wang C, Lu H, Li S, Xie Y, et al. Effect of irrigation and nitrogen application on grain amino acid composition and protein quality in winter wheat. *Public Library of Science one*. 2017;12(6);e0178494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178494>
15. Hawkesford MJ. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 2014;59(3):276–283. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.12.001>
16. Bogard M, Allard V, Brancourt-Hulmel M, Heumez E, Machet J-M, Jeuffroy J-H, et al. Deviation from the grain protein concentration–grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat. *Journal of Experimental Botany*. 2010;61(15):4303–4312. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq238>
17. Hřivna L, Kotková B, Buresova I. Effect of sulphur fertilization on yield and quality of wheat grain. *Cereal Research Communications*. 2015;1:1–
9. <https://doi.org/10.1556/CRC.2014.0033>
18. Abewa A, Adgo E, Yitaferu B, Alemayehu G, Assefa K, Solomon JKQ, et al. Teff grain physical and chemical quality responses to soil physico-chemical properties and the environment. *Agronomy*. 2019;9(6):283. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060283>
19. Hussain A, Larsson H, Kuktaite R, Johansson E. Mineral composition of organically grown wheat genotypes: contribution to daily minerals intake. *Environmental Research and Public Health*. 2010;7(9):3442–3456. <https://doi.org/10.3390/ijerph7093442>
20. Svecnjak Z, Jenel M, Bujan M, Vitali D, Dragojević IV. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. *Agricultural and Food Science*. 2013;22(4):445–451. <https://doi.org/10.23986/afsci.8230>
21. Gaj R, Gorski D. Effects of different phosphorus and potassium fertilization on contents and uptake of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) in winter wheat I. Content of macronutrients. *Journal of Central European Agriculture*. 2014;15(4):169–187. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/15.4.1526>
22. Suchowilska E, Wiwart M, Kandler W, Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. *Plant, Soil and Environment*. 2012;58:141–147. <https://doi.org/10.17221/688/2011-PSE>
23. Kovačević V, Kadar I, Rastija M, Sudar R. Impacts of NPK fertilization on chemical composition of wheat grain. In: *Proceedings of the 48th Croatian and 8th International Symposium on Agriculture*. 2013:510–514.
24. Shoup FK, Pomeranz Y, Deyoe CW. Amino acid composition of wheat varieties and flours varying widely in bread-making potentialities // *Journal of Food Science*. 1966;31(1):94–101. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb15420.x>
25. Mosse J, Huet JC, Baudet J. The amino acid composition of wheat grain as a function of nitrogen content. *Journal of Cereal Science*. 1985;3(2):115–130. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(85\)80022-9](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(85)80022-9)
26. Baudet J, Huet J-C, Mossé J. The amino acid composition of wheat grain as related to its protein content. *Amino Acid Composition and Biological Value of Cereal Proteins*. 1985;439–450.
27. Chikishev D, Abramov N, Larina N, Sherstobitov S. Effect of nitrogen fertilizers on amino acid composition of spring wheat grain. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2019;3:20–25. (In Russian) <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2019-51-3-20-26>
28. Joy WK. Ammonia, glutamine and asparagine: A carbon-nitrogen interface. *Canadian Journal of Botany*. 1988;66(10):2103–2109. <https://doi.org/10.1139/b88-288>
29. Shewry PR, Tatham A. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolu-

tion. *The Biochemical Journal*. 1990;267:1–12.
<https://doi.org/10.1042/bj2670001>

30. Winter G, Todd CD, Trovato M, Forlani G, Funck D. Physiological implications of arginine metabolism in plant. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:00534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00534>

31. Semizorov S, Gunger M. Influence of various rates of ammonium salt peter starter application on the spring wheat yield. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2018;4:85–88. (In Russian)

32. Bogomazov SV, Levin AA, Tkachuk OA, Lyanderburgskaya AV. Yield and quality of grain of

spring soft wheat depending on the application of humic and mineral fertilizers. *Niva Povolzhya = Volga Region Farmland*. 2019;3:68–73. (In Russian)

33. Sinyavskiy IV, Elikbaeva SA. Influence of combinations of organic and mineral fertilizers on yield and quality of spring wheat grain in the room of grain sparing. *Vestnik Kurganskoi GSHA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2019;2:34–37. (In Russian)

34. Sherstobitov S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;537(6):062011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062011>

Критерии авторства

Чикишев Д.В., Абрамов Н.В., Ларина Н.С., Шерстобитов С.В. выполнили экспериментальную работу. Авторы совместно обобщили результаты, написали рукопись, имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чикишев Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, Российская Федерация, ✉ e-mail: 79088690714@yandex.ru

Абрамов Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой почвоведения и агрохимии, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7, Российская Федерация, e-mail: vip.anv.55@mail.ru

Ларина Наталья Сергеевна, к.х.н., профессор кафедры органической и экологической химии, Тюменский государственный университет, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6, Российская Федерация, e-mail: nslarina@yandex.ru

Contribution

Dmitry V. Chikishev, Nikolay V. Abramov, Natalya S. Larina, Sergey V. Sherstobitov carried out the experimental work. The authors on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. All authors have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry V. Chikishev, Postgraduate Student, Department of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Ural State Agricultural University, 7, Republica St., Tyumen, 625003, Russian Federation, ✉ e-mail: 79088690714@yandex.ru

Nikolay V. Abramov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Ural State Agricultural University, 7, Respubliki St., Tyumen, 625003, Russian Federation, e-mail: vip.anv.55@mail.ru

Natalya S. Larina, Cand. Sci. (Chemistry), Professor, Department of Organic and Environmental Chemistry, University of Tyumen, 6, Volodarski St., Tyumen, 625003, Russian Federation, e-mail: nslarina@yandex.ru

Шерстобитов Сергей Владимирович,
к.х.н., доцент кафедры почвоведения
и агрохимии,
Государственный аграрный университет
Северного Зауралья,
625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7,
Российская Федерация,
e-mail: sv5888857@yandex.ru

Sergey V. Sherstobitov,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of Soil Science and Agrochemistry,
Northern Trans-Ural State Agricultural University,
7, Respubliki St., Tyumen, 625003,
Russian Federation,
e-mail: sv5888857@yandex.ru