



Научная статья

УДК 633.112.9:581.133

doi: 10.55186/25876740_2024_67_5_588

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ И ФОРМЫ РАННЕВЕСЕННИХ АЗОТНЫХ ПОДКОРМОК НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И ЕЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НОВОГО СОРТА ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ АКАДЕМИЧЕСКАЯ

В.С. Рубец^{1,2}, И.Н. Ворончихина¹, В.В. Ворончихин¹, П.М. Конорев¹,
А.Г. Маренкова², В.В. Пыльнев³

¹Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты разработки элемента сортовой агротехники нового сорта озимой гексаплоидной тритикале Академическая с использованием разных азотных удобрений в ранневесенней подкормке. Работа проведена на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2020 г. Исследовано влияние четырех вариантов азотных удобрений (аммиачная селитра, карбамид, сухая карбамидо-аммиачная смесь и жидкий КАС-32) в трех дозах действующего вещества на га (N_{30} , N_{60} и N_{90}). Контроль — вариант без азотной подкормки. Удобрения внесены в апреле в фазу кущения. Метеорологические условия 2020 года характеризовались рекордным избытком осадков и повышенной температурой воздуха в июне-июле. Установлено, что сорт озимой тритикале Академическая отзывчив на внесение ранневесенних азотных подкормок. Не выявлено достоверных различий между разными формами удобрений. Повышение дозы азота приводит к увеличению значений урожайности, продуктивной кустистости, длины колоса, числа колосков, числа и массы зерен в нем, озерненности одного колоска. Установлено достоверное влияние дозы ранневесенней азотной подкормки на развитие длины колоса (N_{60} и N_{90}), числа и массы зерен в колосе (N_{90}). На урожайность большое значение оказывают длина колоса ($r=0,811^{**}$), число зерен в колосе ($r=0,821^{**}$), масса зерен в колосе ($r=0,692^*$) и озерненность колоска ($r=0,870^{**}$). Урожайность отрицательно коррелирует с массой 1000 зерен ($r=-0,371$) и процентом проросших зерен ($r=-0,501^*$) при повышении дозы азота. Повышение дозы ранневесенней азотной подкормки ассоциировано с уменьшением предуборочного прорастания зерна в колосе у сорта Академическая. Обнаружена тенденция к росту степени прорастания зерна с увеличением его крупности и отсутствие связи с многозерностью колоска. Наилучшими формами азотных удобрений являются аммиачная селитра и карбамид в дозе N_{90} .

Ключевые слова: тритикале, сорт, сортовая агротехника, ранневесенняя азотная подкормка, урожайность, элементы структуры урожая

Благодарности: исследование выполнено в рамках ГЗ ГБС РАН № 123120600005-2.

Original article

INFLUENCE OF THE DOSE AND FORM OF EARLY SPRING NITROGEN FEEDING ON THE FORMATION OF PRODUCTIVITY AND ITS STRUCTURAL ELEMENTS OF THE NEW WINTER TRITICALE VARIETY AKADEMICHESKAYA

V.S. Rubets^{1,2}, I.N. Voronchikhina¹, V.V. Voronchikhin¹, P.M. Konorev¹,
A.G. Marenkova², V.V. Pylynev³

¹The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

³Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of the development of an element of varietal agricultural technology of a new variety of winter hexaploid triticale Akademicheskaya with the use of different nitrogen fertilizers in early spring feeding. The work was carried out at the Field Experimental Station of RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev in 2020. The effect of four variants of nitrogen fertilizers (ammonium nitrate, urea, dry urea-ammonia mixture and liquid KAS-32) in three doses of the active substance per hectare (N_{30} , N_{60} and N_{90}) was investigated. Control — option without feeding. Fertilizers were applied in April during the tillering phase. The meteorological conditions of 2020 were characterized by a record excess of precipitation and high air temperature in June-July. It was established that the variety of winter triticale Akademicheskaya is responsive to the application of early spring nitrogen fertilizers. No significant differences between different forms of fertilizer were revealed. An increase in the dose of nitrogen leads to an increase in the values of yield, productive bushiness, spike length, number of spikes, number and mass of grains in it, grain size of one spike. A reliable influence of the dose of early spring nitrogen fertilization on the development of ear length (N_{60} and N_{90}), the number and weight of grains in an ear (N_{90}) was established. The length of the ear ($r=0.811^{**}$), the number of grains in the ear ($r=0.821^{**}$), the mass of grains in the ear ($r=0.692^*$) and the graininess of the ear ($r=0.870^{**}$) are of great importance for the yield. The yield is negatively correlated with the mass of 1000 grains ($r=0.371$) and the percentage of germinated grains ($r=-0.501^*$) with an increase in the nitrogen dose. An increase in the dose of early spring nitrogen fertilization is associated with a decrease in pre-harvest grain germination in the ear of the Akademicheskaya variety. A tendency to an increase in the degree of grain germination with an increase in grain size and lack of connection with multigrain spike was detected. The best forms of nitrogen fertilizers are ammonium nitrate and urea in a dose of N_{90} .

Keywords: triticale, variety, varietal agricultural technology, early spring nitrogen fertilizing, yield, elements of crop structure

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of the state assignment of the GBS RAS No. 123120600005-2.

Введение. Тритикале является высокоурожайной культурой, конкурентные способности которой, в сравнении с другими зерновыми культурами, лучше всего проявляются в неблагоприятных природно-климатических условиях [4]. Она способна произрастать на любых почвах, при различных уровнях питания. Для

каждой почвенно-климатической зоны должны быть разработаны и соблюдаться собственные сортовые технологии для максимально эффективного возделывания сортов [2, 14].

В Тимирязевской академии был создан новый сорт озимой тритикале Академическая. Для успешного внедрения сорта в производство не-

обходимы рекомендации по его агротехнике. Агротехника подразумевает сложные многоступенчатые опыты по оценке глубины заделки, нормы высева, предшественника и т.д. Одним из наиболее важных элементов сортовой агротехники является минеральное питание. Почвы Центрального района Нечерноземной зоны



являются подзолистыми, либо дерново-подзолистыми, как правило кислыми, относительно хорошо обеспеченными фосфором и калием, но, вследствие избыточного увлажнения, обедненные минеральным азотом. Азот является важнейшим макроэлементом, влияющим на рост и развитие растений и его итоговую продуктивность. Озимые зерновые культуры нуждаются в ранневесенней подкормке для обеспечения успешного отрастания после схода снега, восстановления стеблестоя и формирования урожайности [10, 13, 16]. Тритикале является культурой, отзывчивой на улучшение азотного питания. Причем одним из условий успешного использования азотных подкормок является наличие в почве достаточного количества доступного фосфора. Однако имеется сортоспецифичность по степени реакции сортов на подкормки — бывают сорта с большей и меньшей отзывчивостью. Ранневесенняя азотная подкормка, влияя на количество образовавшихся продуктивных стеблей, определяет величину урожая [15]. В разных почвенно-климатических зонах России имеются научно-обоснованные формы и дозы внесения минеральных удобрений. Чаще всего ранневесенние подкормки для тритикале составляют 30-40 кг на гектар, в Беларуси — 60-90 кг/га, в Украине — 60-120 кг/га. Наибольшая эффективность выявлена для дробного внесения подкормок по фазам органогенеза [4].

Существуют различные препаративные формы азотных удобрений, и разработка сортовой агротехники предполагает выбор оптимальной для культуры, сорта и зоны возделывания формы и дозы. Это обусловило цель данного исследования: выявление влияния дозы и формы ранневесенних азотных подкормок на формирование урожайности и ее структурных элементов нового сорта озимой тритикале Академическая в условиях избыточного увлажнения Центрального района Нечерноземной зоны.

Материал, методы и условия проведения исследований. Материалом для исследования является новый сорт озимой гексаплоидной тритикале Академическая, который в настоящее время проходит Государственное сортоиспытание. Сорт получен индивидуальным отбором из популяции Кастусь х Дон.

Морфологические признаки сорта: широкий лист, обильно покрытый восковым налетом, высота в пределах 120 см, белый остистый неопушенный колос, красное зерно, неопушенное подколосовое междоузлие. В отдельные влажные годы сорт может полежать, что является недостатком, который можно нивелировать при помощи сортовой агротехники. Сорт является высокоурожайным, в течение трех лет конкурсного сортоиспытания превосходявший стандарт Немчиновский 56. Характеризуется высокой устойчивостью к бурой ржавчине и мучнистой росе, слабо поражается желтой ржавчиной.

В опыте было использовано 4 варианта ранневесенних азотных подкормок (табл. 1). Наиболее широко применяется подкормка аммиачной селитрой, поскольку это удобрение легко растворяется в воде, легко усваивается растением и имеет две препаративные формы азота — аммонийную и нитратную, что позволяет быстро обеспечить растение азотом. Однако это удобрение легко вымывается из почвы при обильных осадках. Второй вариант подкормки представлен карбамидом. Это удобрение способно задерживаться в почвенно-поглолительном комплексе и медленно высвобождаясь обеспечивает растение элементами питания длительное время, обеспечивая пролонгированное действие. Третий вариант подкормки представ-

лен смесью карбамида и аммиачной селитры в сухом виде. Четвертый вариант подкормки представлен карбамидно-аммиачной смесью (КАС-32), который по результатам исследований является высокоэффективным азотным удобрением. Данный препарат представлен в жидкой форме.

Каждый из вариантов минеральных удобрений был внесен в трех дозах — 30, 60 и 90 кг/га действующего вещества. Контролем служил вариант без подкормок.

Полевые исследования проводились на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Почвы опытного участка по механическому составу супесчаные, по виду — дерново-подзолистые слабо-средненарушенные.

Таблица 1. Варианты азотных подкормок
Table 1. Variants of nitrogen fertilizers

| Вариант | Состав удобрений | Доза | | Фаза развития |
|---------|--------------------------|------|---------|---------------|
| | | д.в. | в кг/га | |
| 1 | контроль (без подкормки) | - | - | - |
| | | 30 | 87 | |
| 2 | аммиачная селитра | 60 | 174 | кущение |
| | | 90 | 261 | |
| | | 30 | 65 | |
| 3 | карбамид | 60 | 130 | кущение |
| | | 90 | 195 | |
| | | 30 | 44 | |
| 4 | аммиачная селитра | 60 | 32 | кущение |
| | карбамид | | 87 | |
| | аммиачная селитра | 90 | 66 | |
| | карбамид | | 131 | |
| | КАС-32 | 30 | 98 | |
| | КАС-32 | | 57 | |
| 5 | КАС-32 | 60 | 188 | кущение |
| | | 90 | 280 | |



Рисунок 1. Метеорологические условия 2019-2020 гг.
Figure 1. Meteorological conditions in 2019-2020

Таблица 2. Урожайность сорта озимой тритикале Академическая при разных дозах и формах азотных подкормок, ц/га
Table 2. Yield of winter triticale variety Akademicheskaya with different doses and forms of nitrogen fertilization

| Форма азотной подкормки (фактор А) | Доза азотной подкормки (фактор В) НСР ₀₅ по фактору В = 7,6 | | | | | | |
|------------------------------------|--|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| | 0 | 30 | Прибавка к контролю | 60 | Прибавка к контролю | 90 | Прибавка к контролю |
| Аммиачная селитра | 56,7 | 65,4 | +8,70 | 65,7 | +9,00 | 78,6 | +21,90 |
| Карбамид | 56,7 | 65 | +8,30 | 70,7 | +14,00 | 74,2 | +17,50 |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 56,7 | 66,2 | +9,50 | 72,5 | +15,80 | 74,3 | +17,60 |
| КАС-32 | 56,7 | 57 | +0,30 | 64,2 | +7,50 | 70,4 | +13,70 |
| НСР ₀₅ по фактору А | | | | 13,8 | | | |



Содержание перегноя в пахотном слое — 2,4-2,5%. В пахотном горизонте содержится в среднем 163-173 мг P₂O₅ и 81-107 мг K₂O на кг почвы [8]. Предшественником являлась вико-овсяная смесь на зеленый корм. Площадь деланки составляла 5 м², норма высева 5 млн. всхожих семян на га, повторность трехкратная, размещение рандомизированное. Посев выполнен 06 сентября 2019 г. селекционной сеялкой СН-10Ц. Уборка — селекционным комбайном «Сампо 130». Для анализа структуры урожая были выделены пробные площадки. Фоновая доза удобрений НРК (16-16-16) была внесена осенью под основную обработку с нормой 200 кг/га. Азотные подкормки внесены весной 2020 г. в фазу кушения. В течение вегетации проводили оценки устойчивости к полеганию и болезням [7, 9].

Результаты опытов обработаны при помощи двухфакторного дисперсионного и корреляционного анализа [5].

Год исследования характеризовался рекордным количеством осадков на фоне высоких температур (рис. 1). Подкормки были внесены во второй декаде апреля. А начиная с третьей декады мая и до уборки количество осадков превосходило среднееголетние значения в 3-х — 4-х кратном размере, что должно было оказать влияние на результаты исследований, поскольку, определенные формы азота легко вымываются из почвы.

Результаты и обсуждение. Внесение азотных подкормок положительно сказалась на урожайности озимой тритикале (табл. 2). В большинстве случаев увеличение дозы действующего вещества азота приводило к достоверному увеличению урожайности. При внесении аммиачной селитры в дозе N₃₀ на га отмечено достоверное повышение урожайности в сравнении с контролем. Повышение дозы до N₆₀ не оказало существенного влияния относительно варианта N₃₀. Максимальная урожайность, превысившая контроль почти на 40%, была получена при внесении N₉₀. Коэффициент корреляции между дозой действующего вещества аммиачной селитры и урожайностью зерна составил 0,944, что свидетельствует об отзывчивости сорта Академическая на улучшение условий питания.

При внесении карбамида наблюдалось аналогичное увеличение урожайности при минимальной дозе удобрения. Увеличение дозы действующего вещества до N₆₀ и N₉₀ привело к росту урожайности на 25 и 31% соответственно. Аналогичное плавное увеличение урожайности при приросте действующего вещества отмечено для подкормок сухой смесью аммиачной селитры и карбамида. Только в случае с жидкой карбамидно-аммиачной смесью существенное увеличение урожайности отмечено только для дозы действующего вещества N₉₀.

Для всех форм азотных удобрений коэффициент корреляции между дозой действующего вещества и урожайностью оказался высоким: для аммиачной селитры — 0,944, для карбамида — 0,983*, для сухой карбамидно-аммиачной смеси — 0,960* и для КАС-32 — 0,953*. В целом по всем вариантам корреляция дозы и урожайности оказалась тесной (r=0,910**), что говорит о сорте Академическая как об очень отзывчивом на улучшение почвенного плодородия.

Относительно препаративной формы удобрения не выявлено достоверных различий по их действию на формирование урожайности.

Рассмотрим действие азотных подкормок на формирование структуры урожая (табл. 3).

Таблица 3. Влияние формы и дозы азотной подкормки на формирование элементов структуры урожайности сорта тритикале Академическая
Table 3. The influence of the form and dose of nitrogen fertilization on the formation of elements of the yield structure of the variety triticale Akademicheskaya

| Форма азотной подкормки (фактор А) | Доза азотной подкормки в д.в. (фактор В) | | | | НСР ₀₅ по фактору В |
|---|--|-------|-------|-------|--------------------------------|
| | 0 | 30 | 60 | 90 | |
| Высота растений, см | | | | | |
| Аммиачная селитра | 115,0 | 115,0 | 115,0 | 116,7 | 5,3 |
| Карбамид | 115,0 | 113,3 | 116,7 | 116,7 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 115,0 | 113,3 | 115,0 | 113,3 | |
| КАС-32 | 115,0 | 110,0 | 110,0 | 116,7 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 5,5 | | | | |
| Продуктивная кустистость | | | | | |
| Аммиачная селитра | 1,85 | 1,90 | 2,15 | 2,08 | 0,7 |
| Карбамид | 1,85 | 1,99 | 1,96 | 1,95 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 1,85 | 1,95 | 2,23 | 2,13 | |
| КАС-32 | 1,85 | 2,22 | 1,86 | 2,18 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 0,9 | | | | |
| Длина главного колоса, см | | | | | |
| Аммиачная селитра | 7,0 | 7,1 | 7,3 | 7,5 | 0,3 |
| Карбамид | 7,0 | 7,1 | 7,5 | 7,6 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 7,0 | 7,5 | 7,4 | 7,9 | |
| КАС-32 | 7,0 | 7,3 | 7,2 | 7,7 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 0,7 | | | | |
| Число колосков в главном колосе, шт. | | | | | |
| Аммиачная селитра | 25,4 | 25,7 | 25,8 | 26,5 | 1,6 |
| Карбамид | 25,4 | 25,8 | 26,5 | 26,7 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 25,4 | 26,7 | 24,3 | 26,6 | |
| КАС-32 | 25,4 | 26,1 | 26,1 | 26,9 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 1,3 | | | | |
| Число зерен в колосе, шт. | | | | | |
| Аммиачная селитра | 48,5 | 51,6 | 50,6 | 55,7 | 6,5 |
| Карбамид | 48,5 | 50,9 | 52,1 | 55,6 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 48,5 | 55,1 | 51,3 | 57,1 | |
| КАС-32 | 48,5 | 51,7 | 52,0 | 55,9 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 6,4 | | | | |
| Масса зерен в колосе, г | | | | | |
| Аммиачная селитра | 2,36 | 2,42 | 2,44 | 2,70 | 0,34 |
| Карбамид | 2,36 | 2,57 | 2,62 | 2,60 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 2,36 | 2,68 | 2,48 | 2,61 | |
| КАС-32 | 2,36 | 2,60 | 2,54 | 2,77 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 0,33 | | | | |
| Озерненность колоска, шт. | | | | | |
| Аммиачная селитра | 1,91 | 2,01 | 1,96 | 2,10 | 0,4 |
| Карбамид | 1,91 | 1,97 | 1,97 | 2,08 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 1,91 | 2,06 | 2,11 | 2,15 | |
| КАС-32 | 1,91 | 1,98 | 1,99 | 2,08 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 0,7 | | | | |
| Масса 1000 зерен, г | | | | | |
| Аммиачная селитра | 48,9 | 46,8 | 48,2 | 48,5 | 4,4 |
| Карбамид | 48,9 | 50,6 | 50,4 | 46,9 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 48,9 | 48,6 | 48,6 | 45,9 | |
| КАС-32 | 48,9 | 50,3 | 48,9 | 49,5 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 3,3 | | | | |
| ППЗ, % | | | | | |
| Аммиачная селитра | 1,81 | 0,66 | 1,85 | 1,02 | 1,22 |
| Карбамид | 1,81 | 2,12 | 1,72 | 1,02 | |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 1,81 | 2,46 | 1,48 | 1,20 | |
| КАС-32 | 1,81 | 1,58 | 1,74 | 0,84 | |
| НСР ₀₅ по фактору А | 1,57 | | | | |



Высота растений. Сорт тритикале Академическая является среднерослым, высота варьирует в пределах 100-125 см. Высокорослость сопряжена с полеганием. Поэтому важно выяснить как действует азотная подкормка на этот признак. В данном опыте отмечено незначительное увеличение высоты относительно контроля (на 1 — 2 см) только при дозе действующего вещества 90 кг/га. При этом полегание отмечено не было. Не выявлено различия между действием различных препаративных форм на развитие признака. Рассматривая высоту растения как элемент структуры урожая можно отметить слабую положительную корреляцию (табл. 5).

Также не было выявлено увеличения поражения болезнями при росте дозы ранневесенней азотной подкормки. На всех вариантах опыта были отмечены единичные случаи поражения мучнистой росой (высокая устойчивость — 7 баллов). Развития других болезней не выявлено.

Продуктивная кустистость является важным элементом структуры урожая озимых культур, поскольку за счет побегов кушения восстанавливается стеблестой после перезимовки. Ранневесенняя азотная подкормка повысила данный показатель при применении всех форм удобрений. Внесение N₃₀ жидкой формы КАС-32 повысило кустистость на 20%. В остальных случаях увеличение не столь значительно — на 5-8%. При этом статистически достоверных различий при применении различных доз подкормок обнаружено не было. Наблюдалась устойчивая тенденция роста продуктивной кустистости при увеличении дозы подкормки. Была выявлена положительная корреляция продуктивной кустистости с урожайностью (r=0,598*) (табл. 4).

Длина главного колоса. Ранневесенняя подкормка азотом положительно сказалась на длине колоса тритикале. При внесении N₃₀ аммиачной селитры и карбамида длина колоса увеличилась на 1 см (1% к контролю). Сухая и жидкая формы карбамидно-аммиачной смеси привели к удлинению колоса на 7 и 4% соот-

ветственно. Однако эти результаты незначимы статистически (табл. 3). Достоверное увеличение длины колоса наблюдали при подкормках N₆₀ и N₉₀. Значение препаративной формы удобрения для развития данного признака не выявлено. Таким образом сорт Академическая проявил отзывчивость на ранневесенние подкормки увеличением длины колоса. Коэффициенты корреляций, рассчитанные для разных типов удобрений, показали тесную связь между дозой азота и длиной колоса. Наиболее сильная связь отмечена для аммиачной селитры (r=0,999**), более слабая — для КАС — 32 (r= 0,811**) (табл. 6). Также выявлена сильная положительная связь между урожайностью и длиной колоса (r=0,873**) (табл. 5).

Число колосков в главном колосе. Ранневесенняя подкормка не оказала достоверного влияния на развитие числа колосков в главном колосе (табл. 3). Не выявлено достоверное влияние как препаративной формы азота, так и дозы азота. Однако наблюдается устойчивая тенденция увеличения числа колосков в главном колосе с повышением дозы действующего вещества. Коэффициент корреляции с урожайностью составил 0,446, а с дозой азота — 0,573* (табл. 4, 5).

Число зерен с колоса. Этот элемент структуры урожая показал тесную связь с урожайностью (r=0,824**). Аналогичные результаты были получены другими авторами [1, 3, 6]. Число зерен увеличивается при возрастании дозы азота примерно одинаково для всех препаративных форм (табл. 3, 6). Однако достоверное увеличение показателя по отношению к контролю выявлено только в вариантах с дозой азота N₉₀. Этот вариант подкормки является наиболее эффективным для сорта Академическая.

Масса зерен в колосе. Данный показатель также возрастает при увеличении дозы азотной подкормки. Однако достоверное увеличение выявлено только для варианта с КАС-32 N₉₀ (табл. 3). Выявлена положительная корреляционная связь с урожайностью (r=0,692*).

Озерненность колоска. Это очень важный показатель для тритикале, поскольку характе-

ризует фертильность пыльцы и степень реализации потенциальной продуктивности [10]. В нашем опыте не было выявлено статистически достоверных различий между значениями показателя при разных формах и дозах азотных подкормок (табл. 3). Однако наблюдается устойчивая тенденция увеличения значения показателя при росте дозы азота (табл. 6). Кроме того, выявлена тесная положительная корреляция как с урожайностью (r=0,870**), так и с дозой действующего вещества азота (r=0,832**). Озерненность колоска тесно связана с числом (r=0,896**) и массой (r=0,713**) зерен с колоса, и все эти показатели с урожайностью (табл. 5). Из препаративных форм лучший эффект отмечен для сухой смеси аммиачной селитры и карбамида.

Масса 1000 зерен. Анализ влияния ранневесенних азотных подкормок на формирование интегрального показателя масса 1000 зерен выявил либо отсутствие корреляций с дозой действующего вещества (аммиачная селитра и КАС-32, r=0,028 и 0,078 соответственно), либо отрицательную корреляцию (карбамид, аммиачная селитра плюс карбамид, r= -0,468 и -0,826** соответственно). Отрицательная корреляция, возможно, связана с увеличением числа зерен при возрастании дозы азота. Очевидно, количество пластических веществ возрастает непропорционально количеству внесенного азота, поэтому при увеличении числа зерен масса одного зерна может несколько уменьшаться. Отсутствие корреляции может свидетельствовать о слабом варьировании признака масса 1000 зерен. Многочисленные исследования формирования урожайности и элементов ее структуры у зерновых культур отмечают стабильность формирования массы 1000 зерен в различные годы [1, 3, 4]. В данном исследовании расчет коэффициентов вариации массы 1000 зерен в рамках каждого вида удобрения показал очень слабое варьирование показателя при увеличении дозы действующего вещества (V=1,3 — 3,5%). Не выявлено статистически достоверных различий между контролем и вариантами опыта.

Таблица 4. Корреляционная связь дозы азотной подкормки с урожайностью и элементами ее структуры сорта Академическая
Table 4. Correlation between the dose of nitrogen fertilization and the productivity and elements of its structure of the Akademicheskaya variety

| Показатели | Урожайность зерна | Высота растений | Продуктивная кустистость | Длина колоса | Число колосков в колосе | Число зерен в колосе | Масса зерен в колосе | Озерненность колоска | Масса 1000 зерен | ППЗ, % |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|---------|
| Доза действующего вещества на га | 0,910** | 0,211 | 0,598* | 0,873** | 0,573* | 0,858** | 0,755** | 0,823** | -0,327 | -0,563* |

ППЗ — процент проросших зерен

* и ** - достоверность корреляции при 5% и 1% уровне значимости

Таблица 5. Коэффициенты корреляции между урожайностью и элементами ее структуры сорта Академическая
Table 5. Correlation coefficients between productivity and elements of its structure of the Akademicheskaya variety

| Показатели | Высота растений | Продуктивная кустистость | Длина колоса | Число колосков в колосе | Число зерен в колосе | Масса зерен в колосе | Озерненность колоска | Масса 1000 зерен | ППЗ*, % |
|-------------------|-----------------|--------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|---------|
| Урожайность зерна | 0,388 | 0,486 | 0,811** | 0,446 | 0,824** | 0,692* | 0,870** | -0,371 | -0,501* |

Таблица 6. Корреляции доз азота различных форм удобрений с наиболее значимыми элементами структуры урожая
Table 6. Correlations of nitrogen doses of various forms of fertilizer with the most significant elements of the crop structure

| Препаративные формы азотных удобрений | Продуктивная кустистость | Длина колоса | Число зерен в колосе | Масса зерна в колосе | Озерненность | Итоговый индекс |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------|----------------------|--------------|-----------------|
| Аммиачная селитра | 0,849 | 0,990** | 0,880 | 0,892 | 0,838 | 0,55 |
| Карбамид | 0,574 | 0,965* | 0,982* | 0,828 | 0,914 | 0,41 |
| Аммиачная селитра + карбамид | 0,842 | 0,908 | 0,739 | 0,501 | 0,937 | 0,27 |
| КАС-32 | 0,407 | 0,877 | 0,959* | 0,893 | 0,966* | 0,30 |



Таблица 7. Экономическая эффективность применения азотных подкормок
Table 7. Economic efficiency of application of nitrogen fertilizers

| Препаративные формы азотных удобрений | Доза азотной подкормки | Урожайность, т/га | Стоимость валовой продукции, руб./га | *Производственные затраты, руб./га | Себестоимость продукции, руб./га | Чистый доход, руб./га | Уровень рентабельности, % | Окупаемость 1-го вложенного рубля в азотные удобрения, руб. |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Контроль | - | 5,67 | 66 339 | 25 850,00 | 4 559,08 | 40 489,00 | 57 | - |
| Аммиачная селитра | 30 | 6,54 | 76 518 | 27 720,50 | 4 238,61 | 48 797,50 | 76 | 5,44 |
| | 60 | 6,57 | 76 867 | 29 591,00 | 4 503,96 | 42 278,00 | 60 | 2,81 |
| | 90 | 7,86 | 91 962 | 31 461,50 | 4 002,74 | 60 500,50 | 92 | 4,57 |
| Карбамид | 30 | 6,50 | 76 050 | 27 936,50 | 4 297,92 | 48 113,50 | 72 | 4,65 |
| | 60 | 7,07 | 82 719 | 30 023,00 | 4 246,53 | 52 096,00 | 76 | 3,93 |
| | 90 | 7,42 | 86 814 | 32 109,50 | 4 327,43 | 54 704,50 | 70 | 3,27 |
| Аммиачная селитра + Карбамид | 30 | 6,62 | 77 454 | 27 823,20 | 4 202,90 | 49 630,80 | 78 | 5,63 |
| | 60 | 7,25 | 84 825 | 29 839,10 | 4 115,74 | 54 985,90 | 84 | 5,89 |
| | 90 | 7,43 | 86 931 | 31 254,00 | 4 206,46 | 55 677,00 | 78 | 3,45 |
| КАС-32 | 30 | 5,70 | 66 690 | 27 664,20 | 4 853,37 | 39 025,80 | 41 | 0,19 |
| | 60 | 6,42 | 75 114 | 29 478,40 | 4 591,65 | 45 635,60 | 55 | 2,42 |
| | 90 | 7,04 | 82 368 | 31 254,00 | 4 239,49 | 51 114,00 | 64 | 2,97 |

* Стоимость удобрений и зерна приведена в ценах на конец 2023 г.:

– Удобрения цена руб./т: Азофоска (НРК 16-16-16) — 36750,00 Р, Аммиачная селитра — 21500,00 Р, Карбамид — 32100,00 Р, КАС-32 — 19300,00 Р.

– Система защиты растений была единой для всех вариантов: стоимость — 7000,00 руб./га

– Дополнительные производственные расходы (ГСМ, ФОТ, обработки и др.): стоимость — 11500,00 руб./га

– Стоимость зерна озимой тритикале: 11700 руб./т (с учетом НДС).

Таким образом, увеличение дозы действующего вещества азота при ранневесенних подкормках почти не оказывают влияние на массу 1000 зерен сорта озимой тритикале Академическая.

Процент проросших зерен. Предуборочное прорастание зерна в колосе препятствует широкому возделыванию культуры тритикале в районах с избыточным увлажнением, таким как Центральный район Нечерноземной зоны России. Сорт Академическая создан именно для таких условий. Немаловажно выяснить как будет проявляться этот признак при различных уровнях азотного питания. В наших исследованиях уровень прорастания на корню увеличился при внесении карбамида и смеси аммиачной селитры плюс карбамид в дозе N_{90} . Во всех остальных вариантах опыта не выявлено увеличения процента проросших зерен относительно контроля, а в варианте с внесением 90 кг наблюдалось снижение уровня прорастания примерно вдвое (табл. 3). При этом статистически достоверных отличий вариантов опыта от контроля не выявлено. В целом, значения процента проросших зерен находятся в отрицательной корреляции как с дозой азота ($r=-0,563^*$), так и с урожайностью зерна ($r=-0,501^*$) (табл. 4, 5). Это утешительные результаты, позволяющие рекомендовать внесение ранневесенних подкормок азотом без ущерба для качества зерна.

Ряд исследователей отмечают повышенное прорастание зерен в многозерных колосках [11, 12]. Анализ наших результатов показал, что при увеличении дозы азотной подкормки процент проросших зерен снижается при одновременном увеличении числа зерен в колоске ($r=-0,495$). Таким образом, применительно к сорту Академическая не выявлено усиления предуборочного прорастания зерна в колосе при увеличении озерненности колоска. Однако при увеличении крупности зерна процент проросших зерен возрастает ($r=0,488$). При предуборочном прорастании тратится часть ассимилянтов, накопленных в эндосперме. Возможно, это является причиной снижения массы 1000 зерен при увеличении дозы азотных подкормок.

Для того, чтобы выявить, какая препаративная форма азотного удобрения наиболее

эффективна в качестве ранневесенней подкормки для сорта Академическая в зоне избыточно увлажнения ЦРНЗ, были рассчитаны индексы, представляющие собой произведения коэффициентов корреляции элементов структуры урожая, наиболее тесно связанных с урожайностью, и дозами азота каждой формы удобрения (табл. 6). Чем выше значение итогового индекса, тем сильнее влияние препаративной формы удобрения на развитие элементов структуры урожая. Максимальный индекс получен для аммиачной селитры и карбамида. Это позволяет рекомендовать их в качестве элемента сортовой агротехники при проведении ранневесенних подкормок посевов сорта озимой тритикале Академическая.

Расчёт экономической эффективности (табл. 7) ранневесенних азотных подкормок сорта озимой тритикале Академическая показал следующие результаты — максимальный уровень рентабельности (92%) получен для варианта с аммиачной селитрой в дозе N_{90} , что выражается в чистом доходе 60500,50 руб./га. Также эффективной оказалась внесение сухой карбамидо-аммиачной смеси в дозах N_{60} и N_{90} . Уровень рентабельности данных вариантов составил 84% и 78% соответственно, что составило 54985,90 руб. и 55677,00 руб. чистого дохода.

Выводы.

1. Сорт озимой тритикале Академическая отзывчив на внесение повышенных доз ранневесенних азотных подкормок. Наилучшими формами азотных удобрений являются аммиачная селитра и карбамид в дозе N_{90} . Уровень рентабельности составляет 92% и 84% соответственно.

2. Все препаративные формы азотных удобрений оказывают благоприятное воздействие на формирование урожайности и ее элементов. Достоверных различий между разными формами удобрений не обнаружено.

3. Установлена положительная корреляция между повышенной дозой азотной подкормки и урожайностью, продуктивной кустистостью, длиной колоса, числом колосков, числом и массой зерен в нем, озерненностью одного колоска.

4. Ранневесенние азотные подкормки независимо от формы удобрения достоверно увеличивают урожайность изучаемого сорта начиная с минимальной дозы азота (N_{30}) и не оказывают достоверного влияния на развитие мучнистой росы.

5. По большинству элементов структуры урожая не выявлено статистически достоверных различий вариантов опыта с контролем, но обнаружена устойчивая тенденция к росту значений показателей с увеличением дозы действующего вещества.

6. Обнаружено достоверное влияние дозы ранневесенней азотной подкормки на развитие длины колоса (N_{60} и N_{90}), числа и массы зерен в колосе (N_{90}).

7. Тесную достоверную положительную связь с урожайностью имеют следующие элементы структуры урожая: длина колоса ($r=0,811^{**}$), число зерен в колосе ($r=0,821^{**}$), масса зерен в колосе ($r=0,692^*$) и озерненность колоска ($r=0,870^{**}$). Отрицательную — масса 1000 зерен ($r=-0,371$) и процент проросших зерен ($r=-0,501^*$).

8. Обнаружено положительное влияние ранневесенней азотной подкормки в дозе N_{90} на снижение процента проросших зерен.

9. Не выявлено повышения прорастания зерна у многозерных колосков. Обнаружено, что повышение крупности зерен ассоциировано с усилением предуборочного прорастания зерна в колосе.

Список источников

1. Абделькави Р.Н.Ф., Турбаев А.Ж., Соловьев А.А. Технологические свойства зерна яровой тритикале в контрастных погодноклиматических условиях // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 5. С. 87-97.

2. Акинчин А.В., Линков С.А., Самойлова А.Ф. Влияние азотных подкормок на урожай и качество озимой пшеницы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 4(24). С. 186-191.

3. Ворончихин В.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С., Ворончихина И.Н. Урожайность и элементы структуры урожая коллекции озимой гексаплоидной тритикале в Центральном районе Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 69-81. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-69-81.



4. Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Тритикале. Монография. Ростов-на-Дону: Издательство «Юг», 2018. 440 с.

5. Доспехов Б.А. Методика опытного дела. М.: Колос, 1973. 336 с.

6. Ишков И.В. Влияние сроков проведения подкормки азотными удобрениями на продуктивность озимой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2008. № 2. С. 9-10.

7. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.2. Зерновые, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: Колос, 1971. 239 с.

8. Почвенная карта Москвы [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.etomesto.ru/map-eco_pochva/, свободный.

9. Пыльнев В.В., Коновалов Ю.Б., Березкин А.Н. и др. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур. СПб: Изд-во «Лань», 2022. 448 с.

10. Сандухадзе Б.И., Журавлева Е.В. Журавлева Азотная подкормка современных интенсивных сортов озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Международного института питания растений. 2012 № 2. С. 2-6.

11. Скатова С.Е. Влияние нормы посева гибридных популяций ярового тритикале на результаты отбора // Тритикале. Материалы международной научно-практической конференции «Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и переработки». Ростов-на-Дону, 2018. С. 133-140.

12. Скатова С.Е., Тысленко А.М. Селекция ярового тритикале на устойчивость к прорастанию зерна на корню в центре Нечерноземной зоны РФ. Материалы международной научно-практической конференции «Роль тритикале в стабилизации производства зерна, кормов и технологии их использования». Тритикале (выпуск шестой). Генетика, селекция, агротехника, использование зерна и кормов. Ростов-на-Дону, 2014. С. 100-107.

13. Сузарев А.А., Игонин В.Н., Мельников В.Н., Бусурманкулов А.Б. Особенности азотной подкормки озимой тритикале сорта Тимирязевская 150 в условиях Центрального района Нечерноземной зоны // Кормопроизводство. 2019. № 7. С. 19-22.

14. Шафран С.А. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы // Агрохимия. 2020. № 2. С. 20-27. DOI: 10.31857/S0002188120020143.

16. Щуклина О.А., Афанасьев Р.А., Лангаева Н.Н., Загородний С.В. Эффективность дифференцированного применения азотных удобрений в качестве корневых подкормок на основе NDVI // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 8. С. 20-24. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20.

References

1. Abdel'kavi R.N.F., Turbaev A.Zh., Solov'ev A.A. (2020). *Tekhnologicheskie svoystva zerna yarovoj tritikale v kontrastnykh pogodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Technological properties of spring triticale grain in contrasting weather and climatic conditions]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], no. 5, pp. 87-97.

2. Akinchin A.V., Linkov S.A., Samojlova A.F. (2019). *Vliyaniye azotnykh podkormok na urozhaj i kachestvo ozimoy pshenicy* [The influence of nitrogen fertilizing on the yield and quality of winter wheat]. *Innovacii v APK: problemy i perspektivy* [Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects], no. 4(24), pp. 186-191.

3. Voronchihin V.V., Pyl'nev V.V., Rubets V.S., Voronchihina I.N. (2018). *Urozhajnost' i elementy struktury urozhaya kollekcii ozimoy geksaploidnoj tritikale v Central'nom rajone Nечерноземной зоны* [Productivity and elements of the harvest structure of a collection of winter hexaploid triticale in the Central region of the Non-Chernozem zone]. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skhozajstvennoj akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], no. 1, pp. 69-81. DOI: 10.26897/0021-342X-2018-1-69-81.

4. Grabovec A.I., Krohmal', A.V. (2018). *Tritikale. Monografiya* [Triticale. Monograph], Rostov-na-Donu, *Izdatel'stvo «Yug»*, 440 p.

5. Dospikhov B.A. (1973). *Metodika opytного dela* [Experimental method], Moscow, *Kolos*, 336 p.

6. Ishkov I.V. (2008). *Vliyaniye srokov provedeniya podkormki azotnymi udobreniyami na produktivnost' ozimoy pshenicy* [The influence of the timing of fertilizing with nitrogen fertilizers on the productivity of winter wheat]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], no. 2, pp. 9-10.

7. *Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozajstvennykh kul'tur. Zernovye, zernobobovye, kukuруза i kormovye kul'tury* (1971). [Methodology of the State variety testing of agricultural crops. Issue 2. Cereals, pulses, corn and forage crops], Moscow, *Kolos*, 239 p.

8. Pochvennaya karta Moskvyy [Elektronnyj resurs]. http://www.etomesto.ru/map-eco_pochva/, svobodnyj.

9. Pyl'nev V.V., Konovalev Yu.B. (2022). *Praktikum po selekcii i semenovodstvu polevykh kul'tur* [Workshop on selection and seed production of field crops], St. Petersburg, «Lan'», 448 p.

10. Sanduhadze B.I., Zhuravleva E.V. (2012). *Zhuravleva Azotnaya podkormka sovremennykh intensivnykh sortov ozimoy pshenicy v usloviyakh Central'nogo Nечернозем'ya* [Zhuravleva Nitrogen fertilization of modern intensive varieties of winter wheat in the conditions of the Central Non-Black Earth Region]. *Vestnik Mezhdunarodnogo instituta pitaniya rasteniy* [Bulletin of the International Institute of Plant Nutrition], no. 2, pp. 2-6.

11. Skatova S.E. (2018). *Vliyaniye normy poseva gibridnykh populyacij yarovogo tritikale na rezul'taty otbora. Tritikale, Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, pp. 133-140.

12. Skatova S.E., Tyslenko A.M. (2014). *Selekcija yarovogo tritikale na ustojchivost' k prorastaniyu zerna na kornyyu v centre Nечерноземной зоны RF. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Rostov-na-Donu, pp. 100-107.

13. Suharev A.A., Zelenskaya G.M. (2020). *Vybor sroka i sposob vnesheniya azotnoj podkormki pod myagkuyu ozimuyu pshenicu v yuzhnoj zone Rostovskoj oblasti* [The choice of timing and method of applying nitrogen fertilizer to soft winter wheat in the southern zone of the Rostov region]. *Zernovoe hozaystvo Rossii* [Grain farming in Russia], no. 3(69), pp. 43-47.

14. Sharov A.F., Igonin V.N., Mel'nikov V.N., Busurmankulov A.B. (2019). *Osobennosti azotnoj podkormki ozimoy tritikale sorta Timiryazevskaya 150 v usloviyakh Central'nogo rajona Nечерноземной зоны* [Features of nitrogen feeding of winter triticale variety Timiryazevskaya 150 in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone]. *Kormoproizvodstvo* [Feed production], no. 7, pp. 19-22.

15. Shafran S.A. (2020). *Okupaemost' zatrat na primenenie azotnykh udobrenij v podkormku ozimoy pshenicy* [Cost recovery for the use of nitrogen fertilizers for feeding winter wheat]. *Agrohimiya* [Agronomy], no. 2, pp. 20-27. DOI: 10.31857/S0002188120020143.

16. Shchuklina O.A., Afanasev R.A., Langaeva N.N., Zagorodnij S.V. (2021). *Effektivnost' differencirovannogo primeneniya azotnykh udobrenij v kachestve kornevykh podkormok na osnove NDVI* [Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers as root fertilizers based on NDVI]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], vol. 35. no. 8, pp. 20-24. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_20.

Информация об авторах:

Рубец Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, главный ботанический сад имени Н.В. Цицина; ведущий научный сотрудник Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>.

Ворончихина Ирина Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com.

Ворончихин Виктор Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-0877>, vitya.voronchihin@gmail.com

Конорев Павел Матвеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-01117-565>, pkonorev@yandex.ru.

Маренкова Алина Геннадиевна, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, lina.marko@mail.ru.

Пыльнев Владимир Валентинович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры генетики, селекции и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева ORCID: <http://orcid.org/0000-003-0400-0609>, PYL8@yandex.ru.

Information about the authors:

Valentina S. Rubets, doctor of biological sciences, leading researcher in Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences; leading researcher, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>, valentina.rubets50@gmail.com.

Irina N. Voronchikhina, candidate of biological sciences, researcher in Distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com.

Viktor V. Voronchikhin, candidate of agricultural sciences, researcher in the Distant hybridization department, Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-0877>, vitya.voronchihin@gmail.com.

Pavel M. Konorev, candidate of agricultural sciences, senior researcher in the Distant hybridization department, Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-01117-565>, pkonorev@yandex.ru.

Alina G. Marenkova, research assistant, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, lina.marko@mail.ru.

Vladimir V. Pylnev, doctor of biological sciences, professor, professor of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University, ORCID: <http://orcid.org/0000-003-0400-0609>, PYL8@yandex.ru.

