

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ НА ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ*

А.Д. Аленичева,

О.А. Щуклина, кандидат сельскохозяйственных наук

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН,
127276, Москва, ул. Ботаническая, 4
E-mail: alenicheva_a@mail.ru

Азот выступает ключевым элементом достижения высокой урожайности зерновых культур. Изучение реакции новых сортов на применение азотных удобрений в полевых опытах позволяет выявить наиболее эффективные приемы для реализации потенциальной урожайности в конкретных почвенно-климатических условиях. Исследования проведены в 2020–2021 гг. в условиях Московской области на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах с низким (1,3...1,7 %) содержанием гумуса. Схема опыта предполагала изучение влияния возрастающих и дробных доз азотного удобрения от 30 до 150 кг/га действующего вещества в виде аммиачной селитры (NH_4NO_3). Удобрения вносили вручную по всходам, в вариантах с дробным использованием вторую часть дозы вносили в фазе выхода в трубку. Объекты исследований – сорта яровой тритикале Тимирязевская 42 и Ботаническая 4, зарегистрированные в Государственном реестре селекционных достижений в 2022 г. Азотные удобрения увеличивали высоту растений сорта Тимирязевская 42 на 4,7...10,2 см, сорта Ботаническая 4 – на 8,7...10,1 см. При этом полегания посевов в сложившихся метеорологических условиях во всех вариантах опыта не отмечали. При внесении азотных удобрений в дозах от 90 до 120 кг/га прибавка урожайности на сорте Тимирязевская 42 составила 3,61...5,10 т/га к контролю (без внесения удобрений), на сорте Ботаническая 4 – 2,71...2,42 т/га. Наибольший в опыте сбор зерна сорта Тимирязевская 42 отмечен при внесении азотных удобрений в дозе 120 кг/га – 9,99 т/га, сорта Ботаническая 4 в дозе 90 кг/га – 7,16 т/га. Вынос элементов питания без внесения азотных удобрений и высокая урожайность, при использовании их высоких доз, свидетельствуют о большем потенциале урожайности сорта Тимирязевская 42, по сравнению с сортом Ботаническая 4.

THE EFFECTIVENESS OF APPLYING VARIOUS DOSES OF NITROGEN FERTILIZER ON SPRING TRITICALE IN THE CONDITIONS OF THE MOSCOW REGION

A.D. Alenicheva, O.A. Shchukina

Tsytsyn Main Botanic Garden, Russian Academy of Sciences,
127276, Moskva, ul. Botanicheskaya, 4
E-mail: alenicheva_a@mail.ru

Nitrogen is a key element in achieving high yields of grain crops. The study of the reaction of new varieties to the use of nitrogen fertilizers in field experiments allows us to identify the most effective techniques for realizing potential yields in specific soil and climatic conditions. The research was carried out in 2020–2021 in the conditions of the Moscow region on sod-podzolic heavy loamy soils with a low humus content (1.3...1.7 %), high phosphorus content, average potassium content. The scheme of the experiment involved studying the effect of increasing and fractional doses of nitrogen fertilizer from 30 to 150 kg of active substance per hectare, introduced in the form of ammonium nitrate (NH_4NO_3). Fertilization was carried out manually by seedlings, in variants with fractional application, the second dose was introduced into the exit phase into the tube. The objects of research were the varieties of spring triticale Timiryazevskaya 42 and Botanicheskaya 4, registered in the State Register of Breeding Achievements in 2022. Nitrogen fertilizers increase the height of plants of the Timiryazevskaya 42 variety by 4.7...10.2 cm, and the Botanicheskaya 4 variety by 8.7...10.1 cm. At the same time, the lodging of crops in the prevailing meteorological conditions was not noted in all variants of the experiment. When applying nitrogen fertilizers in doses from 90 to 120 kg/ha, the increase in grain yield on the Timiryazevskaya 42 variety was 3.61...5.10 t/ha to control (without fertilizers), on the Botanicheskaya 4 variety – 2.71...2.42 t/ha. The highest yield in the experiment was obtained when applying nitrogen fertilizers on the Timiryazevskaya 42 variety at a dose of 120 kg/ha – 9.99 t/ha, on the Botanicheskaya 4 variety at a dose of 90 kg/ha – 7.16 t/ha. The removal of nutrients without fertilizers and high yields, when applying high doses of nitrogen fertilizers, indicate a higher yield potential of the Timiryazevskaya 42 variety, compared with the Botanicheskaya 4 variety.

Ключевые слова: яровая тритикале (\times Triticosecale), азотные удобрения, аммиачная селитра, сорт, урожайность, качество зерна, белок.

Key words: spring triticale (\times Triticosecale), nitrogen fertilizers, ammonium nitrate, grade, yield, grain quality, protein.

Азот (N) занимает значительное место в метаболизме растений. Все физиологические процессы в растениях связаны с белками, важным компонентом которых служит азот [1, 2]. Для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях почв с низким плодородием азот выступает одним из самых необходимых элементов, без внесения которого невозможно производство значительного количества растениеводческой продукции [3, 4, 5]. Производство азотных удобрений в мире достигло 100 млн в год. Больше половины этого

объема используется для выращивания основных зерновых культур – пшеницы, риса, кукурузы [6]. Их применение без научного подхода приводит к снижению общего потребления азота растениями из удобрений, что в свою очередь сказывается на загрязнении окружающей среды.

Сортовая агротехника – важный аспект современного эффективного растениеводства, признанный во всем мире [7, 8]. Как правило, новые интенсивные сорта сельскохозяйственных культур обладают более высоким потенциалом урожайности, чем их предшественники.

*работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН «Гибридизация у растений в природе и культуре: фундаментальные и прикладные аспекты» № Госрегистрации 122042500074–5.

Они предъявляют более высокие требования к плодородию почвы, агротехнике, средствам защиты растений и режиму минерального питания [9, 10]. Тритикале (*×Triticosecale*) – искусственно созданный и относительно новый в эволюционном смысле вид [11, 12]. Урожайность новых сортов тритикале значительно выросла за последние годы [13]. При испытании сорта Укро, включенного в Госреестр в 2000 г., средняя урожайность по Средневолжскому региону составляла 2,34 т/га, у сортов, зарегистрированных за последние 12 лет, она составляет 3,48 т/га. Максимальная урожайность в Государственном сортоиспытании отмечена у сорта яровой тритикале Доброе – 8,33 т/га. Новые сорта яровой тритикале, наряду с другими урожайными зерновыми культурами, нуждаются в научно-обоснованной корректировке доз вносимых удобрений при возделывании в различных почвенно-климатических условиях [14, 15].

Цель исследований – определить влияние азотного удобрения на урожайность новых сортов яровой тритикале в условиях дерново-подзолистых почв Московской области.

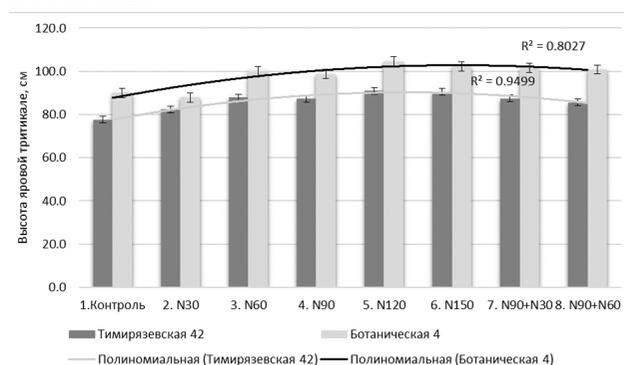
Методика. Работу проводили в 2020–2021 гг. в отделе отдаленной гибридизации ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (Московская область, г. о. Истра, п. Рождествено). Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая с высоким содержанием подвижного фосфора (P_2O_5) – 150...166 мг/кг и средним подвижного калия (K_2O) – 116...119 мг/кг (по Кирсанову), рН солевой вытяжки – 5,42...5,79 ед. (по ГОСТ 26483). Массовая доля органического вещества – 1,3...1,7 % (ГОСТ 26213).

Объектами исследований служили два новых сорта яровой тритикале (*×Triticosecale*) Тимирязевская 42 и Ботаническая 4, включенные в Государственный реестр селекционных достижений в 2022 г. [14]. Агротехника возделывания яровой тритикале общепринятая для зоны. Посев проводили рядовой сеялкой, норма высева – 5,0 млн шт. всхожих семян на 1 га. Схема опыта включала варианты с внесением удобрения в виде аммиачной селитры (NH_4NO_3) в дозах 30, 60, 90, 120 и 150 кг действующего вещества азота в пересчете на 1 га (далее кг/га азота) по всходам, а также дробное – 90 кг/га по всходам в сочетании с 30 и 60 кг/га в фазе выхода в трубку. Контролем служил вариант без удобрения. Размещение делянок рандомизированное, повторность – 4-кратная. Общая площадь делянки 14 м², учетная 10 м². Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам, которые предусматривали фенологические наблюдения и биометрические измерения роста и развития растений по фазам вегетации. Уборку проводили селекционным комбайном SAMPO-130 при влажности зерна от 14 до 18 % (в зависимости от метеорологических условий года). Перед уборкой для определения биологической урожайности и структуры урожая с каждого варианта опыта отбирали пробный сноп с площади 0,25 м². Для оценки влияния азотного удобрения на урожайность яровой тритикале учитывали вынос макроэлементов (азот, фосфор, калий) с основной и побочной продукцией. Для анализа отбирали объединенный образец с каждого варианта. Содержание общего азота, фосфора и калия в растительном материале (зерно, солома) определяли после мокрого озольнения по К. Е. Гинзбург по стандартной методике. Оценку качества зерна изучаемых сортов проводили в лаборатории маркерной и геномной селекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» на БИК анализаторе «ИнфраЛЮМ ФТ-12». Полученные данные обрабатывали методом

дисперсионного анализа (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта, 1985) с использованием программы Excel.

В 2020 г. температурный режим был близок к средне-многолетним значениям с небольшим повышением во второй и третьей декаде июня. Количество осадков с третьей декады мая по вторую декаду июня почти в 4 раза превышало норму. Эти условия отрицательно сказались на цветении и формировании зерна яровой тритикале. В 2021 г. благоприятные условия для роста и развития яровой тритикале сложились только в первой половине вегетации. Отсутствие осадков в июле (ГТК – 0,5), когда растения яровой тритикале находились в фазе колошения-начало цветения, привело к сокращению количества колосков в колосе и зерен в колосках.

Результаты и обсуждение. Азотные удобрения, внесенные в начальные фазы вегетации, наибольшее влияние оказывают на вегетативные органы растений [16]. Изучаемые в опыте дозы оказывали влияние на высоту растений яровой тритикале, начиная с фазы выхода в трубку и до молочной спелости (см. рисунок). Растения сорта Ботаническая 4 были в среднем на 6...8 см выше, чем у сорта Тимирязевская 42, что служит их фенотипическим признаком [14, 16]. В фазе молочной спелости внесение азотного удобрения в дозах 60...90 кг/га увеличивало рост растений сорта Тимирязевская 42 на 4,7...10,2 см, сорта Ботаническая 4 – на 8,7...10,1 см. Наиболее сильное влияние на обоих сортах отмечено в варианте N_{120} . Эта доза увеличила высоту растений сорта Тимирязевская 42, по сравнению с контролем, на 17,2 %, сорта Ботаническая 4 – на 16,2 %. При этом внесение азота в дозе 150 кг/га сопровождала тенденция уменьшения высоты растений обоих сортов. В ранее проведенных исследованиях было доказано наличие генов короткостебельности (ржаного происхождения – *Ddw1* и пшеничного происхождения – *Rht-B1b*) в линиях яровой тритикале, послуживших исходным материалом для создания сорта Тимирязевская 42 [17, 18, 19]. Они действуют на высоту растений даже при высоких дозах азотного удобрения и нивелируют эффект от их внесения, что отражается на устойчивости сорта к полеганию.



Высота яровой тритикале в фазе молочной спелости в зависимости от доз азотного удобрения (среднее за 2020–2021 гг.), см.

Изучаемые в опыте сорта в сложившихся почвенно-климатических условиях продемонстрировали достаточно высокую урожайность, которая у сорта Тимирязевская 42 варьировала от 4,89 т/га в контроле до 9,99 т/га при внесении N_{120} , у сорта Ботаническая 4 – от 4,45 т/га в контроле до 7,16 т/га при использовании N_{90} (табл. 1). Применение относительно небольшой дозы азотного удобрения – 30 кг/га приводило к увеличению сбора зерна на 20,7...28,3 %. Однако такая прибавка была статистически достоверна не во все годы исследований.

Табл. 1. Урожайность зерна яровой тритикале сортов Тимирязевская 42 и Ботаническая 4 (среднее за 2020–2021 гг.)

Вариант	Тимирязевская 42, т/га	Прибавка к контролю, %	Ботаническая 4, т/га	Прибавка к контролю, %
Контроль	4,89	-	4,45	-
N ₃₀	5,90	20,7	5,71	28,3
N ₆₀	8,23	68,3	5,83	31,0
N ₉₀	8,50	73,8	7,16	60,9
N ₁₂₀	9,99	104,3	6,87	54,4
N ₁₅₀	8,13	66,3	6,68	50,1
N ₉₀ +N ₃₀	8,22	68,1	6,10	37,1
N ₉₀ +N ₆₀	7,63	56,0	6,13	37,8
НСР ₀₅	1,30	-	0,70	-

Наибольший рост урожайности, по отношению к варианту без применения азотного удобрения, отмечен при внесении азота в дозах от 90 до 120 кг/га. На сорте Тимирязевская 42 прибавки составляли 3,61...5,10 т/га, на сорте Ботаническая 4 – 2,71...2,42 т/га.

Дробное внесение азотного удобрения на сорте Тимирязевская 42 давало положительный эффект, сравнимый с применением разовой подкормки в дозах 60...90 кг/га. На сорте Ботаническая 4 эффективность дробного внесения была на уровне разовой дозы 60 кг/га. Вторая доза азотных удобрений, внесенная в фазе выхода в трубку, не влияла на урожайность, так как закладка продуктивности растений происходит в более ранние фазы. Из-за короткого вегетационного периода (по сравнению с озимыми культурами), дробное внесение азотного удобрения на яровой тритикале необходимо проводить только с целью улучшения качественных характеристик зерна.

Изучаемые сорта яровой тритикале имеют свои биологические особенности, которые проявились в разнице выноса основных элементов питания при внесении возрастающих и дробных доз азотного удобрения. Сорт Тимирязевская 42 не только характеризовался самой высокой урожайностью во всех изучаемых вариантах, но и наибольшим выносом основных элементов питания на единицу продукции (табл. 2). Вынос общего азота составлял от 21,3 до 31,9 кг/т. Закономерностей в размерах его выноса от доз азотного удобрения не отмечено. Так, самый низкий вынос зафиксирован на фоне максимальной дозы азотного удобрения N₁₅₀, а самый

Табл. 2. Вынос элементов питания с урожаем основной и побочной продукции сортами яровой тритикале (среднее за 2020–2021 гг.), кг/га

Вариант	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	зерно	солома	зерно	солома	зерно	солома
Контроль	83	55	46	26	31	92
	75	31	34	16	26	70
N ₃₀	134	54	70	35	35	123
	100	38	53	15	38	62
N ₆₀	152	57	69	28	55	134
	105	77	54	18	40	96
N ₉₀	162	55	72	35	29	146
	138	88	54	16	50	121
N ₁₂₀	197	63	97	48	50	154
	119	57	52	24	46	104
N ₁₅₀	125	48	72	67	30	151
	114	32	53	49	36	149
N ₉₀ +N ₃₀	140	77	70	41	51	146
	103	36	49	18	39	128
N ₉₀ +N ₆₀	144	49	76	37	44	123
	120	42	51	16	36	125

*в числителе данные по сорту Тимирязевская 42, в знаменателе – по сорту Ботаническая 4

высокий – в варианте N₃₀. Вынос фосфора растениями яровой тритикале сорта Тимирязевская 42 варьировал от 11,8 до 17,8 кг/т основной и соответствующего количества побочной продукции, калия – от 21,5 до 26,8 кг/га. Вынос элементов питания основной и соответствующим количеством побочной продукции сортом Ботаническая 4 по фосфору был ниже, чем сортом Тимирязевская 42, а по азоту и калию на одном уровне. Повышенный вынос элементов минерального питания растениями сорта Тимирязевская 42 без внесения удобрений, по сравнению с сортом Ботаническая 4, свидетельствует о более высокой его потенциальной урожайности.

Один из важных показателей эффективности азотного удобрения – качество зерна [20]. В зерне сорта яровой тритикале Тимирязевская 42 при внесении различных доз азотного удобрения накапливается от 11,2 до 14,3 % белка. Без внесения удобрения его содержание в среднем составляло 9,3 %. Сорт отзывался на дробное использование азотного удобрения увеличением содержания белка в зерне на 2...3 %, в сравнении с разовым внесением. Сорт яровой тритикале Ботаническая 4 без внесения удобрений накапливал чуть большее белка в зерне, чем Тимирязевская 42. При этом уровень обеспеченности растений азотом оказывал значительное влияние на содержание белка. В среднем без его внесения величина этого показателя составляла 11,5 %, при внесении возрастающих и дробных доз – 12,4...12,7 %.

Выводы. На дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах с низкой обеспеченностью гумусом без внесения удобрений сорт яровой тритикале Тимирязевская 42 формирует урожайность зерна 4,89 т/га, Ботаническая 4 – 4,45 т/га. Внесение азотного удобрения в дозах от 30 до 150 кг/га обеспечивает формирование прибавки зерна соответственно 20,7...104,3 % и 28,3...60,9 %. Наиболее эффективной дозой азота в сложившихся метеорологических условиях на сорте Тимирязевская 42 была 120 кг/га (урожайность 9,99 т/га), на сорте Ботаническая 4 – 90 кг/га (урожайность 7,16 т/га). Дробное внесение азотного удобрения (первая часть по всходам, вторая в фазе выхода в трубку) повышало сбор зерна соответственно на 2,74...3,33 т/га и 1,65...1,68 т/га, что сопоставимо с урожайностью при разовом внесении азотного удобрения в дозе 60...90 кг/га. Дробное использование удобрения не имело преимущества перед разовым, так как не обеспечило увеличения количества белка в зерне, но повышало риск полегания растений и прорастания зерна в колосе.

Литература

1. *The Efficiency of using nitrogen fertilizers in wheat crop / A. L. Agapie, N. M. Horablaga, C. Bostan, et al. // Life Science and sustainable development. 2021. Vol. 2. No. 1. URL: <https://lssd-journal.com/index.php/lssd/article/view/71> (дата обращения: 17.05.2023). doi: 10.58509/lssd.v2i1.71.*
2. *Завалин А. А. Биологический и минеральный азот в земледелии России, М.: ВНИИА. 2022. 256 с.*
3. *Сорбция аммонийного азота почвами и грунтами различного гранулометрического состава / П. А. Афанасьев, К. В. Белоусова, В. А. Литвинский и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 3. С. 26–29.*
4. *Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review / C. Baoqing, L. EnKe, T. Qizhuo, et al. // Agronomy for Sustainable Development. 2014. No. 34. С. 429–442.*
5. *The Influence of Plants on the Migration and Transformation of Nitrogen in Plant-Soil Systems: a Review / Z. Bei, C. Liang, J. Song, et al. // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2022. No. 22. С. 4084–4102.*

6. *Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems* / J. K. Ladha, A. Tirol-Padre, C. K. Reddy, et al. // *Scientific reports*. 2016. Vol. 6. No. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26778035/> (дата обращения 17.05.2023). doi: 10.1038/srep19355.
7. Вынос элементов питания и окупаемость минеральных удобрений урожаям сортов озимой пшеницы в технологиях разного уровня интенсивности / Н. Я. Ребук, П. М. Политыков, В. Н. Капранов и др. // *Вестник РУДН. Серия: агрономия и животноводство*. 2019. Т. 14. № 2. С. 142–153.
8. *Influence of mineral and organic fertilizers on yield and nitrogen efficiency of winter wheat* / Š. Buráňová, J. Černý, M. Kulhánek, et al. // *International Journal of Plant Production*. 2015. Vol. 9. No. 2. С. 257–272.
9. Вильдфлуш И. Р., Козотко Е. И. Сортовая отзывчивость яровой пшеницы на условия минерального питания на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Почвоведение и агрохимия*. 2012. № 1. С. 82–89.
10. Сандухадзе Б. И. Журавлева Е. В. Азотная подкормка современных интенсивных сортов озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья // *Питание растений*. 2012. № 2. С. 2–6.
11. Урожайность, пластичность и стабильность озимого тритикале в условиях Московской области / И. Н. Ворончихина, В. В. Ворончихин, В. С. Рубец и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 12. С. 8–10.
12. Грабовец А. И. Проблемы селекции и семеноводства зерновых культур и перспективы научноинновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 8. С. 10–13.
13. Крохмаль А. В., Грабовец А. И. Показатели адаптивности сортов озимого тритикале в условиях усиления аридности климата на Северо-западе Ростовской области // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2022. № 3. С. 44–48.
14. Абделькави Р. Н. Ф., Соловьев А. А. Особенности формирования качества зерна яровой тритикале в контрастных погодно-климатических условиях // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 2 (68). С. 3–7.
15. *Morphophysiological features of the Reaction of the cv. ×Triticosecale Wittm. ex. Camus on Nitrogen Fertilizers in contrasting Agrometeorological Conditions* / O. Shchuklina, A. Alenicheva, I. Klimenkova, et al. // *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 10. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1010/1/012109> (дата обращения: 17.05.2023). doi: 10.1088/1755-1315/1010/1/012109.
16. Потребление азота, фосфора и калия растениями различных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий минерального питания / О. Ю. Гудиев, Т. Г. Зеленская, А. О. Касаткина и др. // *Земледелие*. 2019. № 7. С. 24–27.
17. Тимирязевская 42 – новый сорт яровой тритикале (×Triticosecale Wittm. ex. Camus) / О. А. Щуклина, А. А. Соловьев, Е. С. Полховская и др. // *Кормопроизводство*. 2022. № 8. С. 43–46.
18. Изучение эффекта генов короткостебельности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ржи (*Secale cereal* L.) на примере расщепляющийся популяции яровой тритикале в условиях вегетационного опыта / П. Ю. Крушин, А. Г. Черноок, Г. И. Карлов и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 5. С. 920–933.
19. Анализ распределения генов короткостебельности пшеницы и ржи среди сортообразцов яровой гексаплоидной тритикале (*Triticosecale* Wittm.) / А. Д. Коришунова, М. Г. Дивашук, А. А. Соловьев и др. // *Генетика*. 2015. Т. 51. № 3. С. 334–340.
20. Агротехнические и агрохимические аспекты оптимизации азотного питания озимой тритикале на дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья РФ / В. В. Конончук, С. М., Тимошенко А. М. Медведев и др. // *Аграрная Россия*. 2022. № 4. С. 7–14.

Поступила в редакцию 22.03.2023

После доработки 23.04.2023

Принята к публикации 11.05.2023