

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

УДК 631.86:633.11

Агрономическая эффективность действия органических удобрений на урожайность, содержание белка и азота в зерне и соломе озимой пшеницы

Н. П. Бакаева[✉], доктор биологических наук, профессор кафедры «Агрохимия, почвоведение и агроэкология»

О. Л. Салтыкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агрохимия, почвоведение и агроэкология»

Самарский государственный аграрный университет

446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2

[✉]bakaevanp@mail.ru

Резюме. Исследовали эффективность применения новых органических удобрений, полученных в результате переработки животноводческих отходов и растительных остатков, на накопление минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы под посевами озимой пшеницы сорта Светоч, а также урожайность зерна и соломы, содержание азота в зерне и соломе, содержание белка в зерне в фазу полной спелости. Полевые эксперименты проводили в течение 2018-2021 гг. в Самарской области. Органические удобрения вносили осенью под основную обработку почвы по схеме: 1) без удобрений; 2) полууперепревший навоз; 3) твердое органическое удобрение; 4) жидкое органическое удобрение; 5) биогумус. Учетная площадь делянок – 120 м², повторность опытов – трёхкратная. Почва опытных делянок представлена типичным черноземом: среднемощным среднесуглинистым со средним содержанием гумуса в пахотном горизонте. В годы исследований вегетационный период роста и развития растений озимой пшеницы проходил на фоне повышенных температур при недостатке атмосферной влаги, что характерно для центральной агроклиматической зоны Самарского Заволжья. Применение перепревшего навоза способствовало большему обогащению почвы нитратным и аммонийным азотом. Наивысшие показатели урожайности (3,0 т/га) были зафиксированы при внесении навоза, что на 0,41 т/га выше урожайности, полученной на фоне без удобрений. При этом отмечали наибольший вынос азота с белком урожая озимой пшеницы – 11,27 кг/га, что на 3,67 кг/га выше, чем в контрольном варианте без удобрений. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с белком соломы и зерном при наиболее высоком содержании белка в зерне (15,3%). Корреляционный анализ, оценка взаимосвязи и уравнения регрессии показали тесную взаимосвязь между урожайностью зерна и выносом азота с зерном ($r = 0,96$), урожайностью соломы и выносом азота с соломой ($r = 0,94$), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна ($r = 0,99$). Все выявленные зависимости характеризуются как сильные и прямые.

Ключевые слова: озимая пшеница, органические удобрения, минеральный азот почвы, урожайность, азот, белок, вынос азота.

Для цитирования: Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Агрономическая эффективность действия органических удобрений на урожайность, содержание белка и азота в зерне и соломе озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 61-69. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

Agronomic efficiency of organic fertilizers on yield, protein and nitrogen content in grain and straw of winter wheat

N. P. Bakaeva[✉], O. L. Saltykova

Samara State Agrarian University

446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Uchebnaya St. 2

[✉]bakaevanp@mail.ru

Abstract. We studied the effectiveness of new organic fertilizers obtained by processing livestock waste and plant residues on accumulation of mineral nitrogen in the root zone of soil under Svetoch winter wheat, as well as grain and straw yield, nitrogen content in grain and straw, and protein content in grain at full maturity. Field experiments were conducted from 2018 to 2021 in the Samara Region. Organic fertilizers were applied in autumn during primary tillage according to the following scheme: 1) no fertilizer; 2) semi-rotted manure; 3) solid organic fertilizer; 4) liquid organic fertilizer; 5) vermicompost. The plot area was 120 m², and the experiments were repeated three times. The soil in the experimental plots was typical black soil: medium-deep, medium-loamy, with a moderate humus content in the arable horizon. During the study years, the growing season for winter wheat plants occurred against a backdrop of elevated temperatures and low atmospheric moisture, typical of the central agroclimatic zone of the Samara Trans-Volga region. The application of rotted manure contributed to enrichment of the soil with nitrate and ammonium nitrogen. The highest yields (3.0 t/ha) were recorded with manure application, which is 0.41 t/ha higher than the yield obtained without fertilizer. Furthermore, the

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

highest nitrogen removal with protein from the winter wheat crop was observed – 11.27 kg/ha, which is 3.67 kg/ha higher than in the control without fertilizer. A similar relationship was found for nitrogen removal with straw protein and grain with the highest protein content in grain (15.3%). Correlation analysis, relationship assessment, and regression equations showed a close relationship between grain yield and nitrogen removal with grain ($r = 0.96$), straw yield and nitrogen removal with straw ($r = 0.94$), and protein content in grain and nitrogen removal with grain protein ($r = 0.99$). All identified relationships are characterized as strong and direct.

Keywords: winter wheat, organic fertilizers, soil mineral nitrogen, crop yield, nitrogen, protein, nitrogen removal.

For citation: Bakaeva N. P., Saltykova O. L. Agronomic efficiency of organic fertilizers on yield, protein and nitrogen content in grain and straw of winter wheat // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;4(72): 61-69
doi:10.18286/1816-4501-2025-4-61-69

Введение

Научно обоснованные системы применения органических удобрений играют важную роль для получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур при условии повышения плодородия почв или поддержания его на достигнутом уровне [1, 2, 3].

Оптимизация питания растений, включая макро- и микроэлементы, позволяет эффективно управлять физиологическими и биохимическими процессами, происходящими в них. Это, в свою очередь, оказывает значительное влияние на формирование урожая и его качественные характеристики [4, 5].

Озимая пшеница представляет собой высоко-продуктивную и экономически значимую зерновую культуру, возделываемую в различных агроклиматических зонах России, включая Самарскую область. В структуре посевых площадей зерновых культур в Самарской области озимая пшеница занимает существенную долю (около 30...35%), а ее вклад в общий объем валового сбора зерна составляет примерно 45...50% [6, 7].

В технологиях выращивания озимой пшеницы важное место отводится применению органических удобрений. Они играют существенную роль в восстановлении плодородия почвы, поддержании положительного баланса гумуса и биогенных элементов, а также в соблюдении научно обоснованных севооборотов и снижении эрозионных процессов. Внесение органических удобрений способствует не только увеличению урожайности, но и улучшению качества зерна [8, 9].

Цель исследований – изучить эффективность применения новых органических удобрений на накопление минеральных форм азота в почве, урожайность зерна и соломы, содержание азота в зерне и соломе, белковость зерна.

Материалы и методы

Многолетние исследования проводили в период с 2018 по 2021 гг. в центральной части Самарской области, а именно в лесостепной зоне Заволжья. Опытные участки располагались на территории Самарского ГАУ и научно-исследовательской лаборатории «Агрэкология».

Почва на опытных делянках представлена типичным черноземом: среднемощным среднесуглинистым со средним содержанием гумуса (5,3%) в пахотном горизонте. Реакция солевой вытяжки - нейтральная (рН 6,5...6,7). Отмечается высокая обеспеченность подвижными формами фосфора

(148...168 мг/кг) и обменного калия (161...204 мг/кг), а также легкогидролизуемым азотом (89...129 мг/кг). Характерна относительно высокая поглотительная способность. Физико-химические и водные характеристики почвы опытного поля благоприятны для успешного возделывания основных сельскохозяйственных культур. Рельеф участка ровный, окружающая территория характеризуется облесенностью в пределах 8...10% [6, 10].

В пятипольном зернопаровом севообороте с предшественником чистый пар возделывалась озимая мягкая пшеница сорта Светоч. Этот сорт характеризуется как среднеспелый, со средней урожайностью в регионе 23,1 ц/га, обладающий повышенной зимостойкостью, устойчивостью к полеганию и засухоустойчивостью на уровне стандарта.

Агротехника в опыте – общепринятая для озимой пшеницы в центральной агроклиматической зоне Самарской области, основанная на отвальной обработке пахотного горизонта почвы. Посев пшеницы проводился в оптимальные агросроки зерновой сеялкой Amazone DMC Primera 601 с нормой высеива семян 5,0 млн. шт. всхожих семян на 1 га.

Задача полевого опыта заключалась в исследовании эффективности использования органических удобрений.

Компания "АгроПромСнаб" занимается производством инновационных органических удобрений, основанных на переработке животноводческих отходов и растительных остатков в соответствии с требованиями ГОСТ 53117-08.

Органические удобрения в эквивалентной дозе по азоту 150 кг на 1 га вносились осенью под основную обработку почвы по схеме: 1) без удобрений; 2) полууперевший навоз, 30 т/га; 3) твердое органическое удобрение ООО «АгроПромСнаб»; 4) жидкое органическое удобрение ООО «АгроПромСнаб»; 5) Биогумус ООО «Плодар».

Полуперевший навоз – основное органическое удобрение из отходов животноводства, в составе которого имеются все основные питательные вещества, минерализация навоза составляет 40%. Содержания элементов питания: азота – 0,5%; фосфора – 0,25 и калия – 0,6%.

Жидкое органическое удобрение производилось из куриного помета и отходов животноводства, обработанных с применением нанотехнологий, позволяющих сохранить все полезные вещества и витамины, при этом уничтожаются все вредоносные

микроорганизмы и семена растений. Содержание сухого вещества в твердой форме удобрения – 2,2%. Массовая доля общего азота – 0,28% при влажности 97,8%.

Твердое органическое удобрение производили из отходов растениеводства (шелуха подсолнечника, лузга льна и зерновых), обработано с применением нанотехнологий и добавлением жидкого концентрата. Присутствие в удобрении консорциума бактерий «Бацилиус Субтилис» и гриба «Трихадерма» обеззараживает почву от фитопатогенной микрофлоры. Содержание сухого вещества в твердой форме удобрения – 89,9%. Массовая доля общего азота в удобрении – 5,28%.

Биогумус ООО «Плодар» – высококачественное органическое удобрение собственного производства, продукт переработки органических отходов (навоза крупного рогатого скота) дождевыми червями отечественной селекции, а также почвомеси, произведенные на основе биогумуса. По результатам исследования содержание макроэлементов в г/100 г сухого вещества: общего азота – 2,83, общего фосфора – 2,34, общего калия – 2,82.

Учетная площадь делянок – 120 м², повторность опытов трёхкратная, расположение делянок систематическое.

Вегетация растений в годы исследований проходила на фоне повышенных температур при недостатке атмосферной влаги, что характерно для центральной агроклиматической зоны Самарского Заволжья [11]. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) в период роста и развития опытных посевов составил в 2018 г. – 0,50, 2019 г. – 0,52, 2020 г. – 0,57, 2021 г. – 0,48.

Почвенные образцы отбирались в основные фазы роста и развития озимой пшеницы – кущение, выход в трубку и колошение при их наступлении не менее чем у 75% растений и в фазу созревания зерна (его налив). Содержание нитратного азота в почве определялось дисульфофеноловым методом (Плещков Б. П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.), а обменного аммония – фотометрическим методом по ГОСТ 26489-85 «Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО».

Аналитические исследования проводили в образцах растений, листьев и зерна озимой пшеницы. Выделяли белок по методике Особорна в модификации Х. Н. Починка (Починок Х. Н. Методы биохимического исследования растений. Киев, 1976. 297 с.). Количественное содержание белка определяли колориметрическим методом по биуретовому методу с использованием реактива Бенедикта [12].

Учет урожая проводили путем сплошной уборки комбайном «TERRION» учетной площади делянок в фазу полной спелости зерна. Полученный урожай пересчитывали на 100% чистоту и 14% влажность.

Для определения количества питательных веществ, выносимых из почвы вместе с собранным

урожаем, применялась следующая формула: $B = U \times C$, где B – это объем питательного вещества, изъятого из почвы урожаем (в килограммах на гектар); U – масса абсолютно сухого вещества собранного урожая (в центнерах на гектар); C – процентное содержание питательного элемента в абсолютно сухом веществе урожая.

Полученные в ходе исследований данные подвергались статистической обработке с вычислением средней величины, коэффициента вариации (по методике Г.Н. Зайцева (Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 256 с.), наименьшей существенной разницы (НСР) и коэффициентов корреляции по Б. А. Доспехову (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.) с использованием программных пакетов Excel 2013 и Statistica 6.1.

Результаты

Измерение концентрации нитратного и аммонийного азота проводилось в определенные фазы роста и развития озимой пшеницы с использованием почвенных образцов, взятых из пахотного слоя почвы на глубине 0...30 см. Изначальные запасы аммонийного азота в почве перед посевом указывали на достаточный уровень его доступности (6,2 мг NH₄⁺ на кг почвы).

В таблице 1 представлены результаты влияния различных органических удобрений на накопление в корнеобитаемом слое почвы нитратного и аммонийного азота в фазы кущения, налива зерна и перед уборкой.

Таблица 1. Содержание азота (мг/кг) в корнеобитаемом слое почвы под растениями озимой пшеницы (в среднем за годы исследований)

Органические удобрения	N-NO ₃			N-NH ₄		
	кущение	налив зерна	перед уборкой	кущение	налив зерна	перед уборкой
Без удобрений	11,18	12,52	9,28	6,14	10,16	8,18
Навоз (полуперепревший)	11,36	31,28	32,95	6,65	20,19	21,93
Твердое органическое удобрение	11,30	28,96	30,85	6,57	18,61	19,92
Жидкое органическое удобрение	11,26	29,12	30,87	6,46	16,25	18,06
Биогумус	11,28	27,36	29,10	6,50	15,94	17,63
В среднем по органическим удобрениям	11,3	29,18	30,94	6,55	17,75	19,39

Примечание. Дисперсионный анализ полученных в опыте данных по отдельным годам с расчетами НСР 05 подтвердил достоверность результатов опыта.

Накопление минеральных форм азота в почве зависело от интенсивности распада

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

и минерализации органических соединений, а также от скорости биологического формирования новых органических соединений, содержащих азот.

В течение вегетационного периода озимой пшеницы содержание нитратного и аммонийного азота в прикорневой зоне почвы в контрольном варианте (без удобрений) было различным. Отмечали преобладание нитратной формы, в среднем на 39% превышающее содержание аммонийной. Динамика изменений концентраций обеих форм азота в различные фазы развития растений была схожей. В фазе налива зерна отмечался рост содержания азота по сравнению с фазой кущения, после чего наблюдали некоторое снижение. Такая динамика соответствовала физиологическим потребностям растений в азоте на разных этапах развития.

Применение органических удобрений привело к заметному росту концентрации как нитратного, так и аммонийного азота в почве, если сравнивать с вариантом, где удобрения не применяли. Внесение биогумусаоказало наименьшее воздействие на уровень этих веществ. Наиболее значительное влияние на содержание нитратного и аммонийного азота оказалось применение полуперепревшего навоза, увеличив данные показатели на 56% и 50% соответственно, в сравнении с вариантом без внесения удобрений. Использование твердых органических удобрений вызвало несколько меньший прирост различных форм азота – на 6,0% и 7,5% соответственно по сравнению с применением навоза. При применении жидкого органического удобрения концентрация нитратного азота в среднем оказалась сопоставимой с вариантом, где использовалось твердое удобрение, в то время как уровень аммонийного азота был ниже на 16,3% и 9,6% по сравнению с внесением навоза и твердого органического удобрения соответственно.

К моменту уборки урожая наблюдали обогащение почвы азотом в обеих его формах. Использование полуперепревшего навоза привело к увеличению концентрации нитратного азота в почве на 5%, а аммонийного – на 8%. Применение жидкого органических удобрений и биогумуса также способствовало увеличению содержания азота к моменту уборки: нитратного – до 6%, аммонийного – до 10%. В варианте с твердым органическим удобрением данные показатели увеличивались до 7%.

Обоснована целесообразность внесения органических удобрений под сельскохозяйственные культуры с учетом их потребностей в питательных веществах на разных этапах развития. Несмотря на первоначальное достаточное содержание азота в почве, внесение различных органических удобрений оказалось положительное влияние на азотный баланс почвы, хотя и по-разному в каждом случае. В проведенном исследовании зафиксировано повышение уровня нитратного азота в почве в период от посева до начала кущения. Предыдущими исследованиями было показано, что такое увеличение связано

с естественными процессами, происходящими в почве, такими как разложение органических остатков, перераспределение и накопление активности уреазы в верхнем слое почвы [12].

Для оценки воздействия различных органических удобрений на изменение концентрации азота и белка в зеленой массе, отбор проб растений проводился на следующих фазах развития озимой пшеницы – кущения, выхода в трубку и колошения (табл. 2).

Таблица 2. Содержание азота и белка (%) в зеленой части растений и отдельно в листьях озимой пшеницы по фазам вегетации, в среднем за годы исследований

Органические удобрения	Азот, %		Белок, %	
	в растениях	в листьях	в растениях	в листьях
Кущение				
Без удобрений	0,72	0,38	4,48	2,51
Навоз (полуперепревший)	0,78	0,46	4,85	2,72
Твердое органическое удобрение	0,74	0,44	4,78	2,64
Жидкое органическое удобрение	0,76	0,42	4,54	2,59
Биогумус	0,73	0,42	4,50	2,54
Выход в трубку				
Без удобрений	1,13	0,78	6,90	5,02
Навоз (полуперепревший)	1,20	0,85	7,29	5,28
Твердое органическое удобрение	1,18	0,83	7,12	5,13
Жидкое органическое удобрение	1,15	0,84	7,04	5,19
Биогумус	1,17	0,80	7,01	5,06
Колошение				
Без удобрений	1,32	1,10	7,96	5,91
Навоз (полуперепревший)	1,56	1,23	8,98	7,14
Твердое органическое удобрение	1,48	1,18	8,63	6,84
Жидкое органическое удобрение	1,47	1,14	8,56	7,95
Биогумус	1,42	1,15	8,42	6,53
В среднем без удобрений	1,05	0,75	6,45	4,48
В среднем навоз (полуперепревший)	1,18	0,85	7,04	5,05
В среднем твердое органическое удобрение	1,13	0,82	6,84	4,87
В среднем жидкое органическое удобрение	1,13	0,80	6,71	5,24
В среднем биогумус	1,11	0,79	6,64	4,71
В среднем по органическим удобрениям	1,14	0,82	6,81	4,98

Примечание. Дисперсионный анализ полученных в опыте данных по отдельным годам с расчетами НСР 05 подтвердил достоверность результатов опыта.

В период роста и развития растений наблюдали увеличение концентрации азота и белка как в самом растении, так и в его листьях. Применение

органических удобрений способствовало росту содержания азота в растениях и листьях, достигая 8,0% и 8,5% соответственно, по сравнению с вариантом без удобрений. Содержание белка также увеличилось на 5,3% в целом растении и на 10% – в листьях. При этом навоз оказал более существенное воздействие на концентрацию азота и белка в растениях и листьях. Твердые органические удобрения больше повлияли на содержание азота в листьях, в то время как жидкие органические удобрения оказали большее влияние на содержание белка в них. Использование биогумуса привело к несколько меньшим значениям азота и белка в растениях и листьях.

Различия в аккумуляции азота и белка в вегетативных органах озимой пшеницы в процессе ее роста и развития, вызванные разным уровнем азотного питания, в конечном счете определили различия в урожайности зерна и содержании белка в зерне (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность (т/га) зерна и соломы, содержание азота (%) в зерне и соломе, содержание белка (%) в зерне в фазу полной спелости озимой пшеницы, в среднем за годы исследований

Органические удобрения	Урожайность зерна		Азот в зерне		Белок в зерне		Урожайность соломы		Азот в соломе	
	т/га	V, %	%	V, %	%	V, %	т/га	V, %	%	V, %
Без удобрений	2,59	19,9	2,44	11,3	13,6	24,3	3,39	18,6	0,40	23,0
Навоз (полуперепревший)	3,00	18,8	2,69	10,9	15,3	23,1	3,80	19,0	0,52	23,9
Сухое органическое удобрение	2,97	17,8	2,58	11,1	14,7	20,2	3,77	18,7	0,47	24,1
Жидкое органическое удобрение	2,95	17,2	2,61	13,1	14,9	23,9	3,75	18,2	0,48	21,7
Биогумус	2,90	18,4	2,48	11,6	14,1	22,9	3,70	17,3	0,44	23,2
В среднем по органическим удобрениям	2,96	18,1	2,59	11,7	14,8	22,5	3,76	18,30	0,48	23,2
HCP ₀₅	0,12	–	0,09	–	–	–	0,10	–	0,05	–

В среднем за годы исследований урожайность озимой пшеницы на опытных участках, где не использовали удобрения, достигала 2,59 т/га. Применение органических удобрений привело к заметному повышению агрономической эффективности в отношении урожайности по сравнению с вариантом без удобрений. В частности, внесение навоза способствовало увеличению урожайности на 15,8%, использование твердого органического удобрения – на 14,7%,

жидкого органического удобрения – на 14%, а биогумуса – на 12% (рис. 1).

Наибольшая урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за период исследований была зафиксирована при использовании навоза и составила 3,00 т/га, что превосходит показатели неудобренного участка на 0,41 т/га.

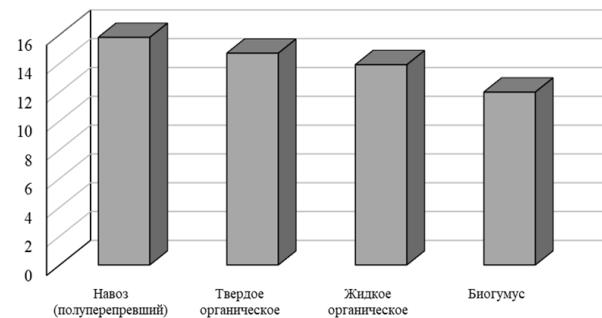


Рис. 1. Агрономическая эффективность применения органических удобрений при возделывании озимой пшеницы на зерно, относительно варианта без удобрений,%

Анализируя содержание азота в зерне, отмечали его максимальное значение при применении навоза. В сравнении с вариантом без удобрений прирост составил 0,25%, а с твердым, жидким органическими удобрениями и биогумусом – на 0,11, 0,08 и 0,21% соответственно.

В рамках научно-исследовательского эксперимента солома подвергалась измельчению и оставалась на поле для естественного разложения, что обусловило необходимость определения содержания азота в пожнивных остатках. Содержание азота в соломе в среднем по вариантам с удобрениями превышало его содержание в варианте без удобрений на 0,08%. Наибольшее содержание азота в соломе также было отмечено в варианте с внесением навоза.

Таблица 4. Вынос азота (кг/га) с урожаем, соломой и зерном озимой пшеницы, в среднем за годы исследований

Органическое удобрение	Вынос азота с урожаем, кг/га	Вынос азота соломой, кг/га	Вынос азота зерном, кг/га
Без удобрений	65,03	10,69	54,34
Навоз (полуперепревший)	85,49	16,09	69,40
Твердое органическое удобрение	80,30	14,41	65,89
Жидкое органическое удобрение	80,83	14,61	66,22
Биогумус	75,02	13,17	61,85
В среднем по удобрениям	77,33	13,79	63,54

Максимальную концентрацию белка в зерне 15,3% наблюдали при использовании навоза. Применение твердых органических удобрений

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

повлекло за собой уменьшение этого показателя на 0,6%, жидких – на 0,4%, а биогумуса – на 1,2%. В сравнении с вариантом без внесения удобрений повышение средних показателей в вариантах с удобрениями составило 1,2%.

Наибольший вынос азота с урожаем озимой пшеницы наблюдали при использовании навоза – 85,49 кг/га, превышая показатели варианта без удобрений на 20,46 кг/га (табл. 4). Внесение твердых и жидких органических удобрений, а также биогумуса, привело к снижению потребления азота растениями по сравнению с использованием навоза на 6,1, 5,5 и 12,2% соответственно. Применение твердых и жидких органических удобрений обеспечило близкие значения выноса азота с урожаем, соломой и зерном.

После оценки таких параметров, как вынос азота урожаем, соломой и зерном, необходимо было изучить такие показатели, как вынос азота, содержащегося в белке урожая, соломы и зерна (табл. 5).

Таблица 5. Вынос азота (кг/га) с белком урожая, зерна и соломы озимой пшеницы, в среднем за годы исследований

Органическое удобрение	Вынос азота с белком урожая, кг/га	Вынос азота с белком соломы, кг/га	Вынос азота с белком зерна, кг/га
Без удобрений	7,60	1,25	6,35
Навоз (полуперепрессший)	11,27	2,12	9,15
Твердое органическое удобрение	10,15	1,82	8,33
Жидкое органическое удобрение	10,35	1,87	8,48
Биогумус	9,11	1,60	7,51
В среднем по удобрениям	10,22	1,85	8,37

Наибольший вынос азота, связанного с белком в урожае озимой пшеницы, отмечался при использовании навоза – 11,27 кг/га. Это значение превышает показатель контрольного варианта, где удобрения не применяли, на 3,67 кг/га. В сравнении с навозом применение других органических удобрений снижало вынос азота с белком урожая: при использовании твердых и жидких органических удобрений снижение составило 10,0 и 8,2% соответственно, а при использовании биогумуса – 19,2%. Схожая тенденция, хотя и в несколько иных процентных соотношениях, наблюдалась и для показателей выноса азота с белком в соломе и зерне.

Для оценки взаимосвязи между изучаемыми параметрами были рассчитаны коэффициенты корреляции, определена степень зависимости и построены уравнения регрессии (рис. 2-4).

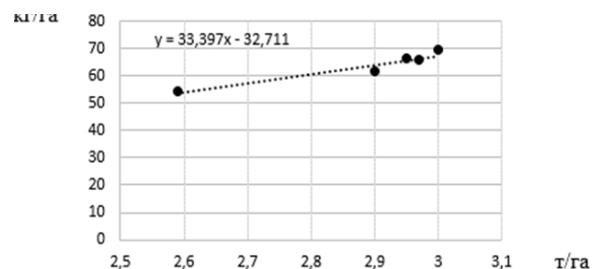


Рис. 2. Уравнение регрессии по признаку: урожайность зерна (т/га) – вынос азота с зерном (кг/га)

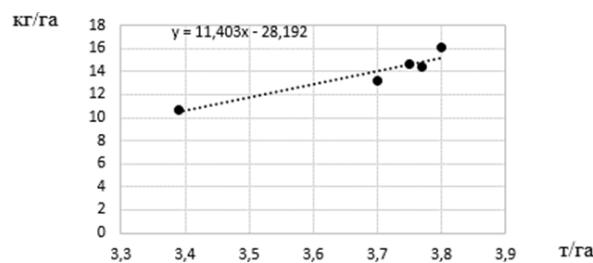


Рис. 3. Уравнение регрессии по признаку: урожайность соломы (т/га) – вынос азота с соломой (кг/га)

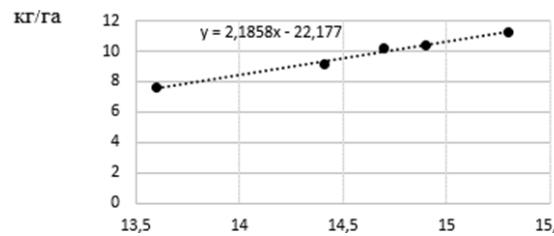


Рис. 4. Уравнение регрессии по признаку: содержание белка в зерне (%) – вынос азота с белком урожая (кг/га)

Изучение взаимосвязи между урожайностью зерна озимой пшеницы и выносом азота зерном показало наличие линейной зависимости. Установлена сильная положительная корреляция между этими показателями ($r = 0,96$). Аналогичная прямая положительная связь отмечена между урожайностью соломы и количеством азота, вынесенного с соломой ($r = 0,94$). Корреляция между процентным содержанием белка в зерне и выносом азота, связанного с белком зерна, составила $r = 0,99$, что свидетельствует о ее сильной и прямой степени зависимости.

Обсуждение

Многолетние результаты исследований в значительной степени подтверждаются выводами других ученых относительно влияния различных органических удобрений на увеличение урожайности и улучшения качественных характеристик сельскохозяйственных культур, на поддержание и восстановление почвенного плодородия [1, 14, 15]. Многочисленные исследования показывают тесную взаимосвязь между плодородием почвы, применением удобрений, показателями урожайности и совокупным объемом сельскохозяйственного производства. Это подчеркивает значимость разработки и внедрения новых удобрений в аграрную отрасль [5, 16, 17].

Рациональный подход к разработке системы применения органических удобрений обеспечивает сбалансированное питание растений и минимизирует негативные последствия, связанные с недостатком или избытком определенных элементов [8, 9].

Между содержанием азота в вегетативных частях растений пшеницы в определенные фазы роста и развития и в полученном урожае установлена тесная корреляционная зависимость, позволяющая прогнозировать не только количество, но и качество урожая по содержанию азота в растении, а также степень нуждаемости пшеницы в азотном питании [17, 18].

Правильное применение органических удобрений благоприятно сказывается на качестве растительной продукции: улучшается химический состав, питательная ценность и технологические ее характеристики. Качество сельскохозяйственной продукции по сбалансированности макро- и микроэлементов в значительной мере отражает условия выращивания растений [8, 14].

Азот поглощается корневой системой из почвы и удобрений и включается в метаболические процессы, обеспечивая формирование необходимой вегетативной массы растений. При этом накапливается значительное количество ассимилянтов, в результате чего повышаются урожайность и белковость продукции [6, 15].

Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью процессов его трансформации в почве, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и физиолого-метаболическими процессами в растениях. Аммиачные формы почвенного азота способствуют большему использованию растениями запасов почвенного азота, чем нитратные. На черноземах высокая белковость зерна получается за счет большей мобилизации запасов почвенного азота [6, 18]. Применение органических удобрений – обязательное условие существенного улучшения питательного режима чернозема типичного.

Полученный теоретический и практический опыт, свидетельствует о реальной возможности целенаправленного регулирования условий минерального питания растений с применением новых органических удобрений для получения продукции заданного количества и качественного состава.

Заключение

Многолетние исследования показали, что применение органических удобрений значительно увеличивало концентрацию минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы. Это, в свою очередь, положительно сказалось на урожайности и содержании белка в зерне озимой пшеницы. Применение полупереваренного навоза способствовало увеличению запасов нитратного и аммонийного азота в почве.

Обоснована важность использования органических удобрений в сельском хозяйстве для обеспечения полевых культур необходимыми элементами

питания на протяжении всей их вегетации. Даже при достаточном начальном содержании азота в почве применение различных органических удобрений оказывало положительное, хотя и неодинаковое, воздействие на азотный режим почвы.

Наибольшие результаты по урожайности (3,0 т/га) были получены при применении навоза в дозе 30 т/га, что на 0,41 т/га выше по сравнению с вариантом без удобрений. Применение органических удобрений заметно повышало агрономическую эффективность по урожайности при сравнении с контролем. В частности, применение навоза увеличивало урожайность зерна озимой пшеницы на 15,8%, твердого органического удобрения – на 14,7%, жидкого органического удобрения – на 14%, а биогумуса – на 12%.

Наибольший вынос азота с белком урожая озимой пшеницы получен на варианте с применением навоза – 11,27 кг/га. Этот показатель на 3,67 кг/га выше, чем на варианте без удобрений. В отличие от навоза использование других органических удобрений приводило к уменьшению выноса азота с белком урожая: применение твердых и жидких органических удобрений снижало этот показатель на 10,0 и 8,2% соответственно, а биогумуса – на 19,2%. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с белком соломы и зерном при наиболее высоком содержании белка в зерне (15,3%).

Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии показали тесную положительную связь между урожайностью зерна и выносом азота с зерном ($r = 0,96$), урожайностью соломы и выносом азота с соломой ($r = 0,94$), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна ($r = 0,99$). Все зависимости являются сильными и прямыми.

Литература

1. Новоселов С. И. Комелин А. М., Новоселов И. А. Влияние жидкых органических удобрений на урожайность озимой пшеницы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 106-108.
2. Симашева А. О., Пойменов А. С. Влияние удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2024. № 1(41). С. 63-66.
3. Поддержание и сохранение почвенного плодородия в условиях органического земледелия / И. Я. Пигорев, Н. В. Беседин, И. В. Ишков и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 7-14.
4. Hatfield J., Beres B. L. Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity // Frontiers in Plant Science. 2019. No. 10. P. 1603
5. Комелин А. М., Новоселов С. И. Влияние способов внесения жидкого органического удобрения на основе свиного навоза на урожайность

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

и химический состав зерна озимой пшеницы // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 2(25). С. 41-45.

6. Салтыкова О. Л., Зудилин С. Н. Возделывание озимой пшеницы для получения зерна высокой белковости в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 3-9.

7. Сагабиев А. А., Симашева А. О. Озимая пшеница – стратегическая культура России // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной научной конференции. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2023. С. 327.

8. Влияние органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения на свойства почвы и урожайность озимой пшеницы в Среднем Поволжье / А. Х. Куликова, Е. А Яшин, А. Е. Яшин и др. // Агрохимия. 2022. № 2. С. 13-21.

9. Morris R. A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36-82.

10. Обущенко С. В., Троц В. Б. Обеспеченность почв Самарской области элементами минерального питания растений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1(63). С. 8-11.

11. Салтыкова О. Л., Бакаева Н. П. Элементы структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от гидротермического коэффициента и способов основной обработки почвы при многолетних исследованиях // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1(65). С. 39-46.

12. Бакаева Н. П. Удобрения мощный фактор увеличения урожайности и белковости зерна в агротехнологии озимой пшеницы // Биотехнологии и инновации в агробизнесе: материалы конференции. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. С. 107-110.

13. Нуров Р. Р., Аманов К. Я. Влияние экологически чистого органоминерального удобрения на плодородие почвы // Плодородие. 2021. №6. С. 29-33.

14. Бузетти К. Д., Иванов М. В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. 2020. № 338 (Б). С. 80-84.

15. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11-32.

16. Длительное применение удобрений, плодородие чернозема обыкновенного и динамика урожайности озимой пшеницы / Н. Г. Малюга, С. И. Баршадская, А. А. Романенко и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 19. С. 63-69.

17. Морозова Т. С. Лицуков С. Д., Ширяев А. В. Содержание и вынос элементов питания растениями озимой пшеницы в зависимости от применения

удобрений // Вестник аграрной науки. 2021. № 2(89). С. 40-49.

18. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, in relation to estimated moisture supply / L. F. Gauer, C. A. Grant, D. T. Gehe, et al. // Canadian Journal of Plant Science. 1992. Vol. 72. P. 235-241.

References

1. Novoselov S. I., Komelin A. M., Novoselov I. A. The effect of liquid organic fertilizers on winter wheat yields // Current Issues in improving agricultural production and processing technologies. 2021. No. 23. P. 106-108.

2. Simasheva A. O., Poimenov A. S. The effect of fertilizers on winter wheat yield and quality"// Innovations in the Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects. 2024. No. 1(41). P. 63-66.

3. Maintenance and preservation of soil fertility under organic farming conditions / I. Ya. Pigorev, N. V. Besedin, I. V. Ishkov, et al. // Vestnik of the Kursk State Agricultural Academy. 2018. No. 9. P. 7-14.

4. Hatfield J., Beres B. L. Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity // Frontiers in Plant Science. 2019. No. 10. p. 1603

5. Komelin A. M., Novoselov S. I. Effect of methods of applying liquid organic fertilizer based on pig manure on the yield and chemical composition of winter wheat grain // Vestnik of the Chuvash State Agrarian University. 2023. No. 2 (25). P. 41-45.

6. Saltykova O. L., Zudilin S. N. Cultivation of winter wheat to obtain high-protein grain in the Middle Volga region // Vestnik of the Samara State Agricultural Academy. 2020. No. 1. P. 3-9.

7. Sagabiev A. A., Simasheva A. O. Winter wheat is a strategic crop of Russia // Gorinsky Readings. Innovative Solutions for the AIC. Proceedings of the International Scientific Conference. 2023. p. 327.

8. The influence of organic, organomineral and mineral fertilization systems on soil properties and winter wheat yield in the Middle Volga region / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, A. E. Yashin, et al. // Agrochemistry. 2022. No. 2. P. 13-21.

9. Morris R. A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36-82.

10. Obushchenko S. V., Trots V. B. Provision of soils of the Samara region with elements of mineral nutrition of plants // Vestnik of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 1 (63). P. 8-11.

11. Saltykova O. L., Bakaeva N. P. Elements of the yield structure of winter wheat depending on the hydrothermal coefficient and methods of primary tillage in long-term studies // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 1 (65). P. 39-46.

12. Bakaeva N. P. Fertilizers are a powerful factor in increasing grain yield and protein content in winter wheat agrotechnology // Biotechnology and innovation in agribusiness: conference proceedings. Maysky:

Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, 2018. P. 107-110.

13. Nurov R. R., Amanov K. Ya. The influence of environmentally friendly organomineral fertilizer on soil fertility // Soil fertility. 2021. No. 6. P. 29-33.

14. Buzetti K. D., Ivanov M. V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, quality of agricultural products and human health // Agrarian science. 2020. No. 338 (B). P. 80-84.

15. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11-32.

16. Long-term application of fertilizers, fertility of typical black soil and the dynamics of winter wheat yield

/ N. G. Malyuga, S. I. Barshadskaya, A. A. Romanenko, et al. // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2009. No. 19. P. 63-69.

17. Morozova T. S., Litsukov S. D., Shiryaev A. V. The content and removal of nutrients by winter wheat plants depending on the use of fertilizers // Vestnik of Agrarian Science. 2021. No. 2 (89). P. 40-49.

18. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, in relation to estimated moisture supply / L. F. Gauer, C. A. Grant, D. T. Gehe, et al. // Canadian Journal of Plant Science. 1992. Vol. 72. P. 235-241.