УДК 581.192:631.816 DOI: 10.25695/AGRPH.2022.02.04

ВЛИЯНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ, РОСТОВЫЕ И ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. П. Бакаева, О. Л. Салтыкова, Е. Х. Нечаева

Самарский государственный аграрный университет,
446442, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2,
E-mail: bakaevanp@mail.ru; saltykova_o_l@mail.ru

Поступила в редакцию 06 декабря 2021 г., принята к печати 31 мая 2022 г.

В работе представлены результаты многолетних исследований, которые показали, что внесение азотных удобрений привело к увеличению содержания минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы, что оказало влияние на формирование высоких показателей урожайности и белковости зерна яровой мягкой пшеницы. Обоснована необходимость внесения азотных удобрений под возделываемые сельскохозяйственные культуры исходя из их метаболических потребностей по физиологическим фазам развития. Несмотря на изначально достаточное содержание азота в почве, внесение различных азотных удобрений по-разному и в каждом случае положительно отразилось на азотном режиме почвы. В варианте с внесением мочевины отмечен наибольший показатель урожайности – 17,13 ц га$^{-1}$, что на 6% и 4% выше по сравнению с показателями, достигнутыми при использовании аммиачной селитры и сульфата аммония соответственно, а также на 1,7 ц га$^{-1}$ выше по сравнению с неудобренным фоном. Показатель выноса азота с урожаем яровой мягкой пшеницы при применении мочевины был наиболее высоким – 46,90 кг га$^{-1}$, что на 10,6 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с урожаем уменьшился по сравнению с вариантом с использованием мочевины: при внесении аммиачной селитры – на 6,5%, сульфата аммония на – 8,5%. Аналогичная зависимость установлена при выносе азота с соломой и зерном. Применение аммиачной селитры привело к наибольшему выносу азота с белком урожая яровой мягкой пшеницы – 7,91 кг га$^{-1}$, что на 19,6% выше по сравнению с выносом азота при использовании мочевины, на 20,8% – при применении сульфата аммония, а также на 0,35 кг га$^{-1}$ – по сравнению с неудобренным фоном. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с белком соломы и зерном при наиболее высоком показателе содержания белка в зерне (14,6%). Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии свидетельствуют о взаимосвязи между урожайностью зерна и выносом азота с зерном (r = 0,88), урожайностью соломы и выносом азота с соломой (r = 0,90), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна (r = 0,94), зависимости являются сильными и прямыми.

Ключевые слова: нитратный азот, аммонийный азот, азотные удобрения, *Triticum aestivum* L., урожайность, белок, вынос азота.

INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON SOIL NITROGEN REGIME, GROWTH AND PRODUCTION PROCESSES OF SPRING WHEAT

N. P. Bakaeva, O. L. Saltykova, E. Kh. Nechaeva

Samara State Agrarian University,
2, Uchebnaya St., Ust-Kinelskiy, 446442, Russia,
E-mail: bakaevanp@mail.ru; saltykova_o_l@mail.ru

The paper presents the results of a long-term study, which showed that the application of nitrogen fertilizers led to an increase in the content of mineral forms of nitrogen in the root layer. That, in due course, had an impact on the formation of higher yields and on increased protein content in spring soft wheat. The necessity of applying nitrogen fertilizers for cultivated crops based on their metabolic needs over the physiological phases of development was confirmed. Despite the initially sufficient nitrogen content in the soil, the application of various nitrogen fertilizers in different ways and in each case had a positive effect on the nitrogen regime of the soil. The treatment with urea application resulted in the highest yield – 17.13 c ha^{-1}, which was 6% and 4% higher compared to the ammonium nitrate and ammonium sulfate treatments, respectively, and also was 1.7 c ha^{-1} higher compared to the unfertilized treatment. Nitrogen removal with the yield of spring soft wheat was the highest – 46.90 kg ha^{-1} – when using urea. It was 10.6 kg ha^{-1} higher compared to the unfertilized treatment. In the treatments with other nitrogen fertilizers, the removal of nitrogen with the yield decreased compared to the urea treatment: by 6.5% when applying ammonium nitrate and by 8.5% when applying ammonium sulfate. The similar results were obtained for the removal of nitrogen with straw and grain. The ammonium nitrate treatment resulted in the highest nitrogen removal with the protein of spring soft wheat – 7.91 kg ha^{-1}, which was 19.6% higher compared

to the nitrogen removal with protein under urea treatment, by 20.8% – under ammonium sulfate treatment, and by 0.35 kg ha^{-1} higher compared to the unfertilized treatment. The similar results were obtained for the removal of nitrogen with straw protein and grain with the highest protein content measured in grain (14.6%). Correlation coefficients, degree of dependence and regression equations indicate the relationship between grain yield and nitrogen removal with grain (r = 0.88), straw yield and nitrogen removal with straw (r = 0.90), grain protein content and nitrogen removal with grain protein (r = 0.94), the dependences are strong and direct.

Key words: nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, nitrogen fertilizers, *Triticum aestivum* L., yield, protein, nitrogen removal.

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность яровой мягкой пшеницы обусловлена комплексом природных и агротехнических факторов, среди которых ведущее место занимает обеспеченность почвы и растений элементами минерального питания, прежде всего азотом. Непосредственное участие в продукционном процессе принимают гумус, азот почвы и вносимые азотные удобрения (Gauer et al., 1992; Бакаева, Салтыкова, 2006; Цыбулько, 2018; Zudilin et al., 2019).

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 (Гнатовский, Назаренко, 1987; Нестерова, Брыкина, 2003).

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 (Woodman, Engledow, 1974; Бебякин, Старичкова, 2004; Peltonen-Sainio et al., 2012; Бакаева и др., 2014; Бесалиев, 2016).

Цель исследований заключалась в изучении обеспеченности почвы азотом минеральных удобрений, а также ростовых и продукционных процессов при возделывании яровой пшеницы, направленном на достижение высокой урожайности зерна и повышенной белковости.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2017–2019 гг. в полевом опыте в центральной зоне Самарской области (южной части лесостепи Заволжья). Почвы области относятся к чернозему типичному среднемощному тяжелосуглинистому с близкой к нейтральной реакцией среды (pH), средним содержанием гумуса и сравнительно высокой поглотительной способностью, что вполне соответствует условиям, необходимым для успешного возделывания яровой пшеницы (Салтыкова, 2008; Zudilin et al., 2019). Содержание в слое почвы 0–30 см легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия является повышенным или высоким (Портнова, Бакаева, 2021).

На опытных делянках с посевной площадью 780 м^2 в трехкратной повторности возделывалась яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) районированного сорта Тулайковская 10 разновидности лютесценс (*lutescens*). Сорт характеризуется высоким потенциалом продуктивности (55–60 ц га$^{-1}$), биохимические и хлебопекарные показатели качества зерна соответствуют требованиям, предъявляемым к сильным пшеницам, содержание белка колеблется от 15,5 до 18%.

Агротехника соответствовала традиционной системе обработки почвы – глубокая отвальная вспашка на глубину 20–22 см (Салтыкова, 2008). Яровая пшеница возделывалась в звене севооборота с чистым паром. Уход за посевами осуществлялся с соблюдением технологий, принятых для зерновых культур в лесостепи Заволжья. Азотные удобрения вносились в день наступления фазы начала кущения не менее чем у 25% растений.

Были изучены следующие варианты: 1) без удобрений; 2) аммиачная селитра в дозе N_{30}; 3) сульфат аммония в дозе N_{30}; 4) мочевина в дозе N_{30} (удобрения вносились в дозе указанного количества действующего вещества на гектар).

Аммиачная селитра (NH_4NO_3) – высококонцентрированное азотное удобрение, содержащее 34,6% азота, который в почве легко поглощается микроорганизмами, а при их минерализации вновь становится доступным для растений.

Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ – азотно-серное удобрение, содержащее около 21% азота и обладающее слабой миграционной способностью, так как катион аммония активно поглощается почвой, что предохраняет его от вымывания.

Мочевина $CO(NH_2)_2$ – концентрированное азотное удобрение с содержанием азота 46%, используемое как основное удобрение и в качестве подкормки с незамедлительной заделкой в почву для предотвращения потерь в виде газообразного аммиака.

Сложившиеся в вегетационные периоды 2017–2019 гг. погодные условия были характерными для южной части лесостепи Заволжья.

Весенний период в годы исследований характеризовался очень теплой погодой в начале, температура была выше в среднем на 4,0°С, количество выпавших осадков составляло: в 2017 г. – 147,3 мм; в 2018 г. – 133,2 мм; в 2019 г. – 146,4 мм (при норме 84 мм).

Летний период в годы исследований различался по температурному режиму. Так, в 2017 г. в июне отмечена пониженная температура – 16,5°С (ниже нормы на 2,2°С), в июле температура была в пределах нормы, а август был жарким (21,4°С). В 2018 г. температура в июне соответствовала норме (18,5°С), а в июле и августе была выше ее на 3,1 и 1,4°С соответственно. В 2019 г. температура в июне

оказалась на 1,9°С выше нормы, в июле и августе – несколько ниже. Осадки в летний период выпадали крайне неравномерно. Их количество составило: в 2017 г. – 153,5 мм (в 1,2 раза выше нормы), в 2018 г. – 104,5 мм (в 1,2 раза ниже нормы), в 2019 г. – 72 мм (при норме 130 мм).

Таким образом, в 2017 г. сложились более благоприятные погодные условия. ГТК составлял 1,09, в соответствии с чем условия характеризовались как влажные. Однако при оптимальном увлажнении в 2017 г. во 2-й половине июля и августе возникла длительная атмосферная засуха (в июле-августе выпало всего 24,2 мм осадков). В результате формирование урожая замедлилось, что в конечном итоге отразилось на продуктивности растений. В 2018 и 2019 гг. ГТК был равен 0,49 и 0,52 соответственно, т.е. условия характеризовались как недостаточно влажные. В целом сложившиеся за годы исследований погодные условия были не вполне благоприятными для развития яровых зерновых культур.

Почвенные образцы отбирались на основных этапах онтогенеза яровой мягкой пшеницы в соответствии с фазами развития растений (кущение, выход в трубку и колошение при наступлении фазы не менее чем у 75% растений) и фазой созревания зерна (его налив). Содержание нитратного азота в почве определялось дисульфофеноловым методом (Плешков, 1976), а обменного аммония – фотометрическим методом по ГОСТ 26489-85.

Отбор растений и зерна проводился в соответствии с методом отбора средних проб (Ермаков, 1987).

Аналитическая часть работы выполнена на кафедре «Садоводство, ботаника и физиология растений» Самарского ГАУ. В листьях и зерне яровой мягкой пшеницы выделялись белковые фракции (Починок, 1976; Бакаева, Салтыкова, 2006). Количественное содержание белка в каждой фракции определялось колориметрическим методом по Биурету с использованием реактива Бенедикта (Кочетов, 1971; Бакаева, Салтыкова, 2006).

Урожайность зерна яровой мягкой пшеницы пересчитывалась на стандартную (14%-ю) влажность и 100%-ю чистоту.

Расчет выноса питательного элемента с урожаем проводился по формуле:

$$B = U \times C,$$

где B – вынос питательного элемента с урожаем, кг га$^{-1}$; U – абсолютно сухое вещество урожая, ц га$^{-1}$; C – содержание питательного элемента в абсолютно сухой массе урожая, %.

Данные, полученные в результате исследований, подвергались статистической обработке с вычислением средней величины и ее ошибки, коэффициентов вариации по Г. Н. Зайцеву (1973), а также наименьшей существенной разницы (НСР) и коэффициентов корреляции по Б. А. Доспехову (1985) с использованием Excel 2013 и Statistica 6.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Накопление в почве минеральных форм азота зависит от интенсивности процессов разложения и минерализации органического вещества, а также от скорости биологического синтеза новых азотсодержащих органических соединений (Нестерова, Брыкина, 2003; Надежкина, 2006; Бакаева и др., 2014). Азот почвы является основным источником минерального питания растений. По запасам аммонийного азота перед посевом почвы характеризовались достаточной степенью обеспеченности (6,0 мг NH^{4+} кг$^{-1}$).

Определение содержания нитратного и аммонийного азота в течение периода вегетации яровой мягкой пшеницы проводилось в образцах пахотного слоя почвы 0–30 см. Данные о содержании азота в корнеобитаемом слое почвы под растениями яровой пшеницы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание азота (мг кг$^{-1}$) в корнеобитаемом слое почвы под растениями яровой пшеницы (в среднем за годы исследований)

Удобрения	$N\text{-}NO_3$			$N\text{-}NH_4$		
	кущение	налив зерна	перед уборкой	кущение	налив зерна	перед уборкой
Без удобрений	10,92	11,18	9,23	6,04	9,76	8,12
Аммиачная селитра	11,16	24,06	26,37	6,61	17,38	18,46
Сульфат аммония	11,12	17,13	18,38	6,26	16,61	18,02
Мочевина	11,22	31,58	32,95	6,84	34,52	36,23
В среднем по удобрениям	**11,17**	**24,26**	**25,90**	**6,57**	**22,84**	**24,24**

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

Содержание нитратного и аммонийного азота в корнеобитаемом слое почвы в варианте без внесения удобрений за период вегетации было различным. Отмечено повышенное содержание нитратной формы в среднем на 24%. Динамика содержания нитратной и аммонийной форм азота по фазам развития растений имела сходный характер. В фазу налива зерна происходило увеличение содержание азота по сравнению с кущением, затем следовало его снижение и возврат к близкому к первоначальному значению в фазу кущения, различия составили приблизительно 21%. Такой ход динамики соответствовал физиологическим процессам и потребности растений в азоте.

Используемые удобрения оказывали различное воздействие на содержание нитратной и аммонийной

форм азота в почве. Внесение сульфата аммония повлияло на их содержание в наименьшей степени. Аммиачная селитра оказала наибольшее влияние на содержание нитратного азота – произошло его повышение до 42% по сравнению с аммонийным. Напротив, применение мочевины привело к повышению содержания аммонийного азота на 10% по сравнению с нитратной формой.

Применение удобрений способствовало значительному увеличению содержания в почве как нитратного, так и аммонийного азота по сравнению с вариантами без удобрений. К моменту уборки урожая произошло повышение содержания обеих форм азота. Увеличение содержания нитратной формы азота в почве в результате применения аммиачной селитры составило 10%, аммонийного азота – 6%. Сульфат аммония и мочевина способствовали повышению содержания обеих форм азота к моменту уборки до 8% и 5% соответственно.

Таким образом, обоснована необходимость внесения азотных удобрений под возделываемые сельскохозяйственные культуры исходя из их метаболических потребностей по физиологическим фазам развития. Несмотря на изначально достаточное содержание азота в почве, внесение различных азотных удобрений по-разному и в каждом случае положительно отразилось на азотном режиме почвы. В настоящем исследовании отмечено увеличение содержания нитратного азота в почве от посева к фазе кущения. Проведенные ранее исследования показали, что данное увеличение обусловлено протекающими в почве процессами, такими как разложение растительных остатков, перераспределение и накопление активности уреазы в верхнем слое почвы (Bakaeva et al., 2020).

Для определения влияния различных азотных удобрений на динамику содержания азота и белка в зеленной массе растительные образцы отбирались в фазы развития пшеницы кущение, выход в трубку и колошение. Результаты представлены в табл. 2.

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

Азотные подкормки	Азот, %		Белок, %,	
	в растениях	в листьях	в растениях	в листьях
	кущение			
Без удобрений	0,74	0,41	4,60	2,54
Аммиачная селитра	0,76	0,42	4,75	2,65
Сульфат аммония	0,72	0,39	4,48	2,47
Карбамид (мочевина)	0,78	0,42	4,86	2,59
	выход в трубку			
Без удобрений	1,10	0,78	6,85	4,90
Аммиачная селитра	1,13	0,81	7,17	5,05
Сульфат аммония	1,12	0,80	7,00	4,97
Карбамид (мочевина)	1,13	0,83	7,04	5,19
	колошение			
Без удобрений	1,25	1,00	7,84	5,83
Аммиачная селитра	1,43	1,13	8,92	7,07
Сульфат аммония	1,36	1,07	8,47	6,67
Карбамид (мочевина)	1,37	1,13	8,54	7,05
В среднем по варианту без удобрений	**1,03**	**0,73**	**6,43**	**4,42**
В среднем по аммиачной селитре	**1,11**	**0,78**	**6,95**	**4,92**
В среднем по сульфату аммония	**1,07**	**0,75**	**6,65**	**4,70**
В среднем по мочевине	**1,09**	**0,79**	**6,85**	**4,94**
В среднем по удобрениям	**1,09**	**0,77**	**6,82**	**4,85**

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

Содержание азота и белка увеличивалось как в зеленом растении в целом, так и в листьях по фазам развития. Внесение азотных удобрений привело к повышению содержания азота в растениях и листьях по сравнению с неудобренным фоном на приблизительно одинаковую величину (5,2–5,5%), а содержания белка – на большую величину (до 6% в растении в целом и 9% в листьях). При этом аммиачная селитра оказала большее влияние на содержание азота и белка в растениях, а мочевина – на их содержание в листьях, влияние сульфата аммония на оба показателя было средним.

Различная степень накопления азота и белка в вегетативных органах растений в течение периода вегетации яровой мягкой пшеницы, обусловленная неодинаковым уровнем азотного питания, предопределила в конечном итоге различие показателей урожайности зерна и содержания белка в зерне (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зерна, содержание азота в зерне и соломе и содержание белка в зерне в фазу полной спелости яровой мягкой пшеницы (в среднем за годы исследований)

Удобрения	Урожайность зерна		Азот в зерне		Азот в соломе		Белок в зерне	
	ц га$^{-1}$	V, %	%	V, %	%	V, %	%	V, %
Без удобрений	14,76	19,92	2,38± 0,069	11,27	0,40± 0,027	23,02	13,60± 0,14	24,27
Аммиачная селитра	16,05	18,77	2,61± 0,067	10,94	0,47± 0,031	23,95	14,90± 0,17	23,12
Сульфат аммония	16,47	17,85	2,47± 0,061	11,07	0,46± 0,037	24,06	14,10± 0,12	20,15
Мочевина	17,13	17,16	2,56± 0,068	13,12	0,52± 0,043	21,75	14,60± 0,19	23,95
В сред. по удобрениям	**16,42**	**18,43**	**2,55**	**11,60**	**0,48**	**23,20**	**14,53**	**22,87**
НСР $_{05}$	**1,4**	**–**	**0,10**	**–**	**0,03**	**–**	**–**	**–**

Урожайность зерна яровой мягкой пшеницы в варианте без применения удобрений составила 14,76 ц га$^{-1}$. В вариантах с проведением азотных подкормок урожайность увеличилась по сравнению с неудобренным фоном: при внесении аммиачной селитры – на 8%, сульфата аммония – на 10%, мочевины – на 14%. Подкормка мочевиной обеспечила наибольшую урожайность – 17,13 ц га$^{-1}$, что на 1,7 ц га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном.

Результаты определения содержания азота в зерне показали, что оно было наибольшим при применении аммиачной селитры, повышение по сравнению со средними показателями по удобрениям и вариантом без удобрений составило 7%. Солома в опыте измельчалась и оставлялась на поле для разложения, поэтому содержание азота определялось в пожнивных остатках. Наибольшее содержание азота в соломе отмечено в варианте с внесением мочевины. Содержание азота в соломе в среднем по вариантам с удобрениями превышало его содержание в варианте без удобрений на 16,7%.

Наибольший показатель содержания белка в зерне зафиксирован при применении аммиачной селитры (14,9%), снижение его содержания отмечено при использовании мочевины (на 2%) и сульфата аммония (на 5,4%). По сравнению с вариантом без удобрений повышение средних показателей в вариантах с удобрениями составило 6,4%.

Так, подкормка мочевиной привела к достижению наибольшей урожайности – 17,13 ц га$^{-1}$, что на 6% больше по сравнению с вариантом с использованием аммиачной селитры, на 4% – с применением сульфата аммония и на 1,7 ц га$^{-1}$ – с неудобренным фоном.

Урожай характеризует общий объем полученной продукции, урожайность – продуктивность культуры в конкретных условиях возделывания, причем с точным указанием количества продукции и площади.

Показатели выноса азота с урожаем, соломой и зерном яровой мягкой пшеницы представлены в табл. 4.

Таблица 4. Вынос азота с урожаем, соломой и зерном яровой мягкой пшеницы (в среднем за годы исследований)

Удобрения	Вынос азота с урожаем, кг га$^{-1}$	Вынос азота с соломой, кг га$^{-1}$	Вынос азота с зерном, кг га$^{-1}$
Без удобрений	36,30	6,10	30,20
Аммиачная селитра	43,85	7,83	36,02
Сульфат аммония	42,93	7,95	34,98
Мочевина	46,90	9,19	37,71
В среднем по удобрениям	**44,56**	**8,32**	**36,24**

Вынос азота с урожаем яровой мягкой пшеницы в варианте с мочевиной был наиболее высоким – 46,90 кг га$^{-1}$, что на 10,6 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с урожаем уменьшился по сравнению с вариантом с мочевиной: при внесении аммиачной селитры – на 6,5%, сульфата аммония – на 8,5%.

Вынос азота с соломой характеризовался наибольшим показателем при применении мочевины, повышение составило 26,7% по сравнению со средними показателями по удобрениям и вариантом без удобрений. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с соломой уменьшился по сравнению с вариантом с мочевиной: при внесении аммиачной селитры на – 7,8%, сульфата аммония – на 13,5%.

Вынос азота с зерном яровой мягкой пшеницы был наиболее высоким при применении мочевины – 37,7 кг га$^{-1}$, что на 7,5 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с зерном уменьшился по сравнению с вариантом с мочевиной: при внесении аммиачной селитры – на 4,5%, сульфата аммония – на 7,2%.

После определения таких показателей, как вынос азота с урожаем, вынос азота с соломой и вынос азота с зерном, необходимо было изучить показатели выноса азота с белком урожая, выноса азота с белком соломы и выноса азота с белком зерна (табл. 5).

Таблица 5. Вынос азота с белком урожая, зерна и соломы яровой мягкой пшеницы (в среднем за годы исследований)

Удобрения	Вынос азота с белком урожая, кг га$^{-1}$	Вынос азота с белком соломы, кг га$^{-1}$	Вынос азота с белком зерна, кг га$^{-1}$
Без удобрений	5,84	0,98	4,86
Аммиачная селитра	8,84	1,68	7,16
Сульфат аммония	7,28	1,33	5,95
Мочевина	7,61	1,35	6,26
В среднем по удобрениям	**7,91**	**1,45**	**6,46**

Вынос азота с белком урожая яровой мягкой пшеницы был наиболее высоким при внесении аммиачной селитры – 8,84 кг га$^{-1}$, что на 3,0 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с белком урожая уменьшился по сравнению с вариантом с аммиачной селитрой: при внесении мочевины – на 13,9%, сульфата аммония – на 17,9%.

Вынос азота с белком соломы характеризовался наиболее высоким значением при применении аммиачной селитры, повышение составило 32% по сравнению со средними показателями по удобрениям и вариантом без удобрений. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с белком соломы уменьшился по сравнению с вариантом с аммиачной селитрой: при внесении мочевины –на 19,6%, сульфата аммония – на 20,8%.

Вынос азота с белком зерна яровой мягкой пшеницы оказался наиболее высоким при внесении аммиачной селитры – 7,16 кг га$^{-1}$, что на 2,3 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с белком зерна уменьшился по сравнению с вариантом с аммиачной селитрой: при внесении мочевины на – 12,6%, сульфата аммония – на 16,9%.

Для определения тесноты связи между исследуемыми показателями были рассчитаны коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии (табл. 6).

Таблица 6. Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии

Признаки	Коэффициент корреляции	Степень зависимости	Уравнение регрессии
Урожайность зерна – вынос азота с зерном	0,88	сильная, прямая	$y = -6{,}72635 + 0{,}80012 \cdot x$
Урожайность соломы – вынос азота с соломой	0,90	сильная, прямая	$y = -7{,}28876 + 0{,}83362 \cdot x$
Содержание белка в зерне – вынос азота с белком зерна	0,94	сильная, прямая	$y = -8{,}40270 + 0{,}89801 \cdot x$

При анализе связи урожайности зерна яровой мягкой пшеницы с выносом азота с зерном выявлена линейная зависимость между указанными признаками. Корреляция между ними оказалась положительной и сильной ($r = 0{,}88$). Между урожайностью соломы и выносом азота с соломой также наблюдалась прямая положительная зависимость ($r = 0{,}90$).

Зависимость между содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна выражалась коэффициентом корреляции 0,94 и являлась сильной и прямой.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных многолетних исследований показали, что внесение азотных удобрений привело к повышению содержания минеральных форм азота в корнеобитаемом слое почвы, что обусловило высокие показатели урожайности и белковости зерна яровой мягкой пшеницы. Внесение мочевины способствовало увеличению запасов нитратного и аммонийного азота в почве.

Обоснована необходимость внесения азотных удобрений под возделываемые сельскохозяйственные культуры исходя из их метаболических потребностей по физиологическим фазам развития. Несмотря на изначально достаточное содержание азота в почве, внесение различных азотных удобрений по-разному и в каждом случае положительно отразились на азотном режиме почвы.

В варианте с применением мочевины отмечен наиболее высокий показатель урожайности – 17,13 ц га$^{-1}$, что на 6% больше по сравнению с вариантом с использованием аммиачной селитры, на 4% – сульфата аммония и на 1,7 ц га$^{-1}$ – с неудобренным фоном. Вынос азота с урожаем яровой мягкой пшеницы был наибольшим в варианте с мочевиной – 46,9 кг га$^{-1}$, что на 10,6 кг га$^{-1}$ больше по сравнению с неудобренным фоном. В вариантах с внесением азотных удобрений вынос азота с урожаем уменьшился по сравнению с вариантом с мочевиной: при внесении аммиачной селитры на – 6,5%, сульфата аммония – на 8,5%. Аналогичная зависимость выявлена при выносе азота с соломой и зерном.

Внесение аммиачной селитры привело к наибольшему выносу азота с белком урожая яровой мягкой пшеницы – 7,91 кг га$^{-1}$, что на 19,6% больше по сравнению с вариантом с использованием мочевины, на 20,8% – сульфата аммония и на 0,35 кг га$^{-1}$ – с неудобренным фоном. Аналогичная зависимость установлена при выносе азота с белком соломы и

зерном при наибольшем показателе содержания белка в зерне (14,6%).

Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии свидетельствуют о взаимосвязи между урожайностью зерна и выносом азота с зерном (r = 0,88), урожайностью соломы и выносом азота с соломой (r = 0,90), содержанием белка в зерне и выносом азота с белком зерна (r = 0,94), зависимости являются сильными и прямыми.

Список литературы

Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Биохимические показатели качества зерна озимой и яровой мягкой пшеницы в зависимости от предшественников и систем обработки почвы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2006. № 4. С. 160–164.

Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л., Коржавина Н. Ю. Влияние применения удобрений при выращивании пшеницы на получение белка и крахмала // Материалы Всероссийской научно-практической конференции для студентов и аспирантов «Химия в сельском хозяйстве». Уфа, 02–06 июня 2014 года. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2014. С. 203–207.

Бебякин В. М., Старичкова Н. И. Накопление и распределение азота в вегетативных органах яровой мягкой пшеницы различных генотипов // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2004. № 3. С. 167–171.

Бесалиев И. Н. Эффективность действия различных доз азота в составе удобрения на урожайность яровой твёрдой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. № 3. С. 4.

Гнатовский В. М., Назаренко П. Н. Биологическая активность и пищевой режим почвы // Зерновое хозяйство. 1987. № 4. С. 47–48.

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 256 с.

Кочетов Г. А. Практическое руководство по энзимологии. М.: Высшая школа, 1971. 270 с.

Надежкина Е. В. Дополнительное использование азота почвы при внесении азотных удобрений // Агрохимия. 2006. № 3. С. 5–13.

Нестерова Л. Б., Брыкина Л. Б. Мобилизация азота в различных почвах при создании оптимальных условий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2(10). С. 208–211.

Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.

Портнова А. А., Бакаева Н. П. Нитратный и аммонийный азот почвы и азот зерна озимой пшеницы // Материалы Международной научно-практической конференции «Вклад молодых ученых в аграрную науку». Самара, 07 апреля 2021 г. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2021. С. 121–123.

Починок Х. Н. Методы биохимического исследования растений. Киев, 1976. 297 с.

Салтыкова О. Л. Влияние предшественников, обработки почвы и удобрений на урожайность и биохимические показатели качества зерна озимой и яровой пшеницы в лесостепи Заволжья. Дисс. канд. с-х. наук. Самарская государственная сельскохозяйственная академия, Кинель. 2008. 256 с.

Цыбулько Н. Н. Вклад азота почвы и удобрений в формирование урожаев сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 2(61). С. 43–54.

Bakaeva N. P., Chugunova O. A., Saltykova O. L., Prikazchikov M. S. Components of the biotope soil and yield of barley // III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 г. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42062.

Gauer L. F., Grant C. A., Gehe D. T., Bailey L. D. 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 // Canadian Journal of Plant Science. 1992. v. 72. pp. 235–241.

Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Nissila E. Improving cereal protein yields for high latitude conditions // European Journal Agronomy. 2012. v. 39. pp. 1–8.

Woodman H. E., Engledow R. L. A chemical study of the development of the wheat grain // J. Agric. Sci. 1974. v. 4. pp. 14.

Zudilin S., Kutilkin V., Shevchenko S. Optimization of soil tillage and fertilizer system in the cultivation of spring durum wheat // Conference Proceedings «19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019». Vienna, 09–11 декабря 2019 г. Vienna: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. P. 149–156.

References

Bakaeva N. P., Saltykova O. L. Biohimicheskie pokazateli kachestva zerna ozimoj i yarovoj myagkoj pshenicy v zavisimosti ot predshestvennikov i sistem obrabotki pochvy. [Biochemical indicators of grain quality of winter and spring soft wheat depending on precursors and tillage systems] // I*zvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii,* 2006, no. 4, pp. 160–164.

Bakaeva N. P., Saltykova O. L., Korzhavina N. YU. Vliyanie primeneniya udobrenij pri vyrashchivanii pshenicy na poluchenie belka i krahmala. [The influence of the use of fertilizers in wheat cultivation on the production of protein and starch]. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii dlya studentov i aspirantov «Himiya v sel'skom hozyajstve». Ufa, 02–06 iyunya 2014 g.* [Materials of the All-Russian Scientific and practical conference for students and postgraduates «Chemistry in agriculture». Ufa, 02–06 June 2014]. Ufa: Bashkir State Agrarian University, 2014, pp. 203–207.

Bebyakin V. M., Starichkova N. I. Nakoplenie i raspredelenie azota v vegetativnyh organah yarovoj myagkoj pshenicy razlichnyh genotipov. [Accumulation and distribution of nitrogen in vegetative organs of spring soft wheat of various genotypes] // *Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta,* 2004, no. 3, pp. 167–171.

Besaliev I. N. Effektivnost' dejstviya razlichnyh doz azota v sostave udobreniya na urozhajnost' yarovoj tvyordoj pshenicy v Orenburgskom Predural'e. [The effectiveness of different doses of nitrogen in the composition of fertilizers on the yield of spring durum wheat in the Orenburg Urals] // *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN*, 2016, no. 3, pp. 4.

Gnatovsky V. M., Nazarenko P. N. Biologicheskaya aktivnost' i pishchevoj rezhim pochvy. [Biological activity and nutritional regime of soil] // *Zernovoe hozyajstvo*, 1987, no. 4, pp. 47–48.

Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta. [Methodology of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P., Peruansky Yu. V., Lukovnikova G. A., Ikonnikova M. I. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij*. [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad.: Agropromizdat, 1987. 430 p.

Zaitsev G. N. *Metodika biometricheskih raschetov. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noj botanike.* [Methodology of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Science, 1973. 256 p.

Kochetov G. A. *Prakticheskoe rukovodstvo po enzimologii.* [Practical guide to enzymology]. Moscow.: Higher School, 1971. 270 p.

Nadezhkina E. V. Dopolnitel'noe ispol'zovanie azota pochvy pri vnesenii azotnyh udobrenij. [Additional use of soil nitrogen when applying nitrogen fertilizers] // *Agrohimiya*, 2006, no. 3, pp. 5–13.

Nesterova L. B., Brykina L. B. Mobilizaciya azota v razlichnyh pochvah pri sozdanii optimal'nyh uslovij. [Nitrogen mobilization in various soils when creating optimal conditions] // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2003, no. 2(10), pp. 208–211.

Pleshkov B. P. *Praktikum po biokhimii rasteniy.* [Practicum on plant biochemistry]. Moscow.: Agropromizdat, 1985. 255 p.

Portnova A. A., Bakaeva N. P. Nitratnyj i ammonijnyj azot i azot potrebitel' ozimoj pshenicy [Nitrate and ammonium nitrogen and nitrogen consumer of winter wheat] // *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Vklad molodyh uchenyh v agrarnuyu nauku»* [Proceedings of the international scientific-practical conference «The contribution of young scientists to agricultural science». Samara, April 07, 2021]. Samara: Kinel: IBC of the Samara State Agrarian University, 2021, pp. 121–123.

Pochinok H. N. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy*. [Methods of biochemical research of plants]. Kiev, 1976. 297 p.

Saltykova O. L. *Vliyanie predshestvennikov, obrabotki pochvy i udobrenij na urozhajnost' i biohimicheskie pokazateli kachestva zerna ozimoj i yarovoj pshenicy v lesostepi Zavolzh'ya. Diss. kand. s-h. nauk* [Influence of precursors, tillage and fertilizers on yield and biochemical indicators of grain quality of winter and spring wheat in the forest-steppe of the Volga region. Diss. Candidate of Agricultural Sciences]. Samara State Agricultural Academy, Kinel, 2008, 256 p.

Tsybulko N. N. Vklad azota pochvy i udobrenij v formirovanie urozhaev sel'skohozyajstvennyh kul'tur na dernovo-podzolistyh pochvah. [Contribution of soil nitrogen and fertilizers to the formation of crop yields on sod-podzolic soils] // *Pochvovedenie i agrohimiya*, 2018, no. 2(61), pp. 43–54.

Bakaeva N. P., Chugunova O. A., Saltykova O. L., Prikazchikov M. S. Components of the biotope soil and yield of barley // III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 г. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42062.

Gauer L. F., Grant C. A., Gehe D. T., Bailey L. D. 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 // Canadian Journal of Plant Science. 1992. v. 72. pp. 235–241.

Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Nissila E. Improving cereal protein yields for high latitude conditions // European Journal Agronomy. 2012. v. 39. pp. 1–8.

Woodman H. E., Engledow R. L. A chemical study of the development of the wheat grain // J. Agric. Sci. 1974. v. 4. pp. 14.

Zudilin S., Kutilkin V., Shevchenko S. Optimization of soil tillage and fertilizer system in the cultivation of spring durum wheat // Conference Proceedings «19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019». Vienna, 09–11 декабря 2019 г. Vienna: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. P. 149–156.

Zudilin S., Kutilkin V., Shevchenko S. Optimization of soil tillage and fertilizer system in the cultivation of spring durum wheat [Conference Proceedings «19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019». Vienna, on December 09–11 2019]. Vienna, 2019, pp. 149–156.