

Научная статья
УДК 633.11:631.4:546.18
DOI: 10.37102/0869-7698_2023_229_03_12
EDN: OLJCDO

Интенсивность накопления элементов питания пшеницей яровой в зависимости от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором

И.А. Кубасов[✉], Т.А. Асеева

Илья Александрович Кубасов
младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия
89145656ilya@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>

Татьяна Александровна Асеева
член-корреспондент РАН, директор
Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск,
Россия
aseeva59@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Аннотация. Представлены результаты исследований интенсивности накопления питательных элементов яровой пшеницей в кушение на луговой черноземовидной среднесиловой почве при различном фосфорном уровне. Установлено, что продолжительность фазы кушения в условиях Амурской области определяется преимущественно гидротермическими показателями раннего периода развития и может варьировать в пределах 12–17 сут. Содержание элементов питания под посевами пшеницы зависело от длительного применения азотных и фосфорных удобрений. В фазу кушения яровой пшеницы отмечен максимальный уровень элементов питания и установлена тесная зависимость между интенсивностью накопления фосфора в растениях и содержанием его в почве по ключевым периодам развития ($r = 0,82-0,93$). Наивысшие показатели скорости накопления макроэлементов, нарастания воздушно-сухой массы (ВСМ), урожайности зерна яровой пшеницы отмечены при внесении $N_{60}P_{30}$ при повышенном уровне обеспеченности почвы фосфатами, при этом увеличение относительно контроля было статистически достоверным на 5%-м уровне значимости. Методом парной корреляции установлена тесная прямая связь скорости накопления азота в фазу кушения с урожайностью ВСМ и зерна яровой пшеницы, коэффициенты корреляции $0,80 \pm 0,35$ ($p > 0,05$) и $0,70 \pm 0,41$ ($p < 0,05$).

Ключевые слова: пшеница яровая, фаза кушение, элементы минерального питания, уровень подвижного фосфора, воздушно сухая масса, продуктивность

Для цитирования: Кубасов И.А., Асеева Т.А. Интенсивность накопления элементов питания пшеницей яровой в зависимости от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 3. С. 119–130. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_12.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои № 0820-2019-0003.

Original article

The intensity of the accumulation of nutrients by spring wheat, depending on the degree of availability of mobile phosphorus in the soil

I.A. Kubasov, T.A. Aseeva

Ilya A. Kubasov

Junior Researcher

Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia

89145656ilya@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>

Tatiana A. Aseeva

Corresponding Member of RAS, Director

Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk, Russia

aseeva59@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Abstract. The results of studies of the intensity of accumulation of nutrients of the aboveground dry mass of spring wheat in tillering at different phosphorus levels are presented. It is established that the duration of the tillering phase in the Amur Region is determined mainly by hydrothermal indicators of the early period of development and can vary within 12–17 days. The content of nutrients under wheat crops depended on the long-term use of nitrogen and phosphorus fertilizers. The maximum level of the nutritional regime was observed during the tillering phase of spring wheat. Moreover, in the same phase, a close relationship was established between the intensity of phosphorus accumulation in plants and its content in the soil throughout the growing season of wheat ($r = 0.82–0.93$). The highest indicator of the accumulation rate of macronutrients, the increase in air-dry mass (ADM), and the yield of spring wheat grain was noted when $N_{60}P_{30}$ was applied at an increased level of phosphate availability in soil, while the increase relative to the control was statistically reliable at the 5 % significance level. The pair correlation method established a close direct relationship between the rate of nitrogen accumulation in the tillering phase and the yield of ADM and spring wheat grain, the correlation coefficient was 0.80 ± 0.35 ($p > 0.05$) and 0.70 ± 0.41 ($p < 0.05$).

Keywords: spring wheat, tillering phase, elements of mineral nutrition, level of mobile phosphorus, air-dry mass, productivity

For citation: Kubasov I.A., Aseeva T.A. The intensity of the accumulation of nutrients of spring wheat, depending on the degree of availability of mobile phosphorus in the soil. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(3):119-130. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_12.

Funding. The work was carried out in research theme of the FSBSI FRC ARRI of Soybean (No. 0820-2019-0003).

Введение

Реализация продуктивных качеств сортов яровой пшеницы зависит от ряда факторов, среди которых ведущая роль принадлежит обеспеченности растений основными элементами минерального питания на протяжении всего периода активной вегетации, а также условиям окружающей среды. Управление продукционным процессом яровой пшеницы базируется на балансе уровня основных элементов питания в почве и их поступления в растение в необходимом соотношении за весь период развития [1, 2]. В первые 5–7 дней развития растения яровой пшеницы слабо поглощают элементы питания в связи с замедленным протеканием почвенных микробиологических процессов и пониженной усваивающей способностью корневой системы. Данные условия приводят к ограниченному поступлению питательных веществ с пахотного слоя почвы [3, 4]. В начальный период вегетации растения яровой пшеницы слабо отзываются на повышенные дозы азота, потребность в нем увеличивается во время фаз развития кущения и выхода в трубку, когда формируются дополнительные стебли, корни, колоски и цветки [5]. Не менее важным для роста и развития пшеницы в данные фазы является фосфор, который входит в состав аденозинтрифосфорной кислоты, при ее гидролизе происходит высвобождение энергии, используемой растениями во многих синтетических процессах. При участии фосфора происходят углеводный обмен и фотосинтез. Зерновые культуры нуждаются в фосфоре в течение всей жизни, но более всего – в начальный период их роста и развития, что связано с сильным влиянием этого элемента на рост и развитие корневой системы и колосков [6].

По мнению ряда авторов, наиболее важным периодом развития растений яровой пшеницы является период кущения: на световой стадии развития (на которую приходится кущение) в точке роста у злаковых культур закладывается зачаточный колос и начинается дифференциация колосков на цветки. Световая стадия является чувствительной к обеспечению всеми элементами минерального питания [7, 8], недостаток их в этот период не компенсируется более поздним поступлением в почву. Д.А. Кузнецов и Г.Н. Ибрагимова связывают повышенное требование к уровню пищевого режима с пониженной усваивающей способностью корневой системы в начале вегетационного периода [2]. Пшеница, несмотря на незначительное потребление питательных веществ в критический период ее роста, чувствительно реагирует на их нехватку. При недостатке азота не образуется зерно, фосфорное голодание отрицательно сказывается на всех элементах урожая.

Эффективность потребления основных элементов питания в ранний период развития можно оценить по интенсивности потребления в фазе кущения (IV этап органогенеза). Оптимальное содержание азота на хорошем фосфорном фоне под посевами культуры в этот период способствует интенсивному росту меристематических клеток и увеличению в последующем количества колосков в колосе, что обуславливает потенциальную урожайность зерна [9]. Однако одностороннее внесение азотного удобрения на почвах с низкой обеспеченностью подвижными фосфатами слабо влияет на ростовые процессы растения, что приводит к недобору урожая пшеницы [10]. Обратная ситуация наблюдается на почвах с повышенным

фосфатным уровнем, где прибавки достигают максимальных значений [11]. Проводимыми ранее исследованиями была установлена тесная корреляционная связь между содержанием азота и фосфора в надземной массе пшеницы в фазу кущения и урожайностью [12, 13].

При многочисленных исследованиях по минеральному питанию яровой пшеницы в научной литературе встречается очень мало данных о влиянии содержания подвижных фосфатов в почвах на интенсивность накопления растениями яровой пшеницы азота, фосфора и калия в фазу кущения, что обуславливает актуальность данных исследований.

Цель исследований – определить влияние содержания подвижных фосфатов в луговой черноземовидной среднетощей почве на обеспеченность пахотного слоя элементами минерального питания, накопление растениями азота, фосфора и калия в фазу кущения и урожайность яровой пшеницы.

В задачи исследований входило определить влияние:

длительного применения удобрений в полевом севообороте при разных уровнях обеспеченности фосфором на содержание элементов питания в пахотном слое почвы;

уровней обеспеченности пахотного слоя почвы подвижным фосфором на накопление растениями яровой пшеницы азота, фосфора и калия в фазу кущения;

минерального питания на формирование урожайности яровой пшеницы.

Материалы и методы

Исследования с пшеницей яровой проводили в пятипольном зерно-соевом севообороте длительного стационарного опыта с удобрениями Географической сети РФ во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои) на луговой черноземовидной среднетощей почве [14].

Агрохимическое состояние пахотного слоя луговой черноземовидной почвы характеризуется значительными валовыми запасами основных элементов питания, из которых на долю подвижных соединений приходится малая часть. Содержание гумуса в пахотном слое находится в пределах 4,1–4,7 %, минерального азота и подвижного фосфора – очень низкое, а обменного калия повышенное: 25–42, 28–32, 138–182 мг/кг почвы соответственно. Почва отличается высоким показателем суммы поглощенных оснований (30–40 мг-экв на 100 г почвы) с преобладанием в ее составе ионов кальция. Степень насыщенности основаниями изменяется в пределах 85–90 %.

При систематическом внесении в течение семи ротаций севооборота (35 лет) азотно-фосфорных минеральных и органических удобрений было сформировано 3 уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором: низкий, средний и повышенный (табл. 1) [15].

Опыты с яровой мягкой пшеницей сорта Арюна проводили в период с 2014 по 2021 г. Общая площадь делянки составляла 180 м², учетная – 72 м². Повторность закладки опыта 3-кратная во времени и пространстве, расположение вариантов систематическое.

Для определения влияния удобрений на различных фонах обеспеченности фосфором на интенсивность поглощения элементов питания в фазу кущения растений яровой пшеницы отбирали по 100 растений с делянки, затем в них определяли относительное содержание валового азота, фосфора и калия методом инфракрасной

Схема опыта

Вариант	Уровень обеспеченности почвы подвижным P_2O_5 при длительном внесении удобрений, мг/кг	Фоны обеспеченности подвижным фосфором в почве	Дозы удобрений, внесенные под посев пшеницы, кг/га д. в.*
1	Низкая (27–35)	1	–
2	Низкая (27–35)	1	N_{30}
3	Средняя (37–50)	2	P_{60}
4	Повышенная (55–95)	3	$N_{60}P_{30}$
5	Повышенная (55–95)	3	N_{30}

* 3-е звено севооборота.

спектро스코пии на ИК-анализаторе Foss NIR System 5000. Начало и конец кушения определяли визуально в соответствии с международной классификацией ВВСН [16] по развитию главного и бокового стеблей (начало этапа), основного стебля и 5 боковых (середина), 8 и более стеблей (завершение). На момент завершения периода кушения отбирали растения пшеницы для определения в них валовых количеств азота, фосфора и калия. Интенсивность накопления макроэлементов за период кушения определяли как отношение содержания каждого отдельного элемента (азота, фосфора и калия) в зеленой массе пшеницы на момент окончания фазы развития к ее длительности в сутках.

Для оценки связи интенсивности накопления с агрохимической характеристикой опытного участка отбирали почвенные образцы с осени (после уборки предшествующей культуры – сои), в фазы кушения и полной спелости яровой пшеницы с последующим определением в них обменного аммония (метод ЦИНАО, ГОСТ 26489-90), нитратного азота (метод ЦИНАО, ГОСТ 26951-91), подвижного фосфора и калия (по А.Т. Кирсанову в модификации ЦИНАО, ГОСТ Р 54650-2011).

Учет урожайности зерна яровой пшеницы проводили механизированным способом с пересчетом зерна на 14%-ю влажность и 100%-ю чистоту.

При описании погодных условий по годам исследований использовали метеорологические данные: температура воздуха – МС «Благовещенск», количество осадков – МС «Садовое» [17].

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа однофакторного опыта по Б.А. Доспехову [18]. Парную корреляцию вычисляли методом Пирсона с использованием пакета программ Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Климат Амурской области континентальный (летом – с признаками муссонности). В холодное время года ветры, направленные со стороны материка, гонят холодный и сухой воздух. Летом преобладают юго-восточные ветры, дующие с океана, которые приносят много влаги, вследствие этого теплое время года в области дождливое и теплое. Отличительной чертой климатических условий в регионе является неравномерное выпадение осадков по сезонам года. Максимальное их количество приходится на июль-август, что приводит к временному переувлажнению почвы.

Своеобразие агроклиматических условий региона оказывает существенное влияние на рост и развитие яровой пшеницы. Продолжительность вегетационного периода у нее величина непостоянная во времени и пространстве и определяется как генотипом растения, так и условиями внешней среды, и в первую очередь тепло- и влагообеспеченностью. Годы проведения исследований различались между собой как по количеству выпавших осадков, так и по температурному режиму приземного слоя воздуха (табл. 2, 3), что отразилось на росте и развитии растений в отдельные периоды и уровне урожайности. Из всех лет исследований в вегетационный период 2014 г. сложились крайне засушливые условия, всего выпало 228 мм осадков (64,2 % от среднееголетней нормы) при полном их отсутствии в апреле. При этом следует отметить, что температурный режим был, наоборот, максимальным, сумма тепла составила 2715 °С, или 116 % от нормы. Высокие температуры приземного слоя воздуха и отсутствие осадков в апреле, избыток их в мае (в 2,5 раза выше нормы) стали причиной изреженных всходов яровой пшеницы. В этих гидротермических условиях период посев–всходы составил фактически месяц – с 18 апреля по 20 мая. В июне сложились крайне засушливые условия: осадков выпало в 3 раза ниже среднееголетней нормы, а среднемесячные температуры приземного слоя воздуха превысили среднееголетние значения на 3,2 °С, что привело к ускоренному прохождению фазы кущения за 14 сут.

Таблица 2

Сумма температур приземного слоя воздуха (°С) за вегетационный период по годам исследований

Месяц	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2019 г.	2021 г.	Норма
Апрель	267,0	144,0	147,0	165,0	147,0	123,0
Май	415,4	359,6	415,4	381,3	368,9	384,4
Июнь	660,0	591,0	510,0	549,0	606,0	564,0
Июль	682,0	697,5	691,3	660,3	725,4	666,5
Август	691,3	685,1	601,4	585,9	582,8	595,2

Таблица 3

Сумма осадков (мм) за вегетационный период по годам исследований

Месяц	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2019 г.	2021 г.	Норма
Апрель	0	13	12	22	22	22
Май	98	39	77	67	96	39
Июнь	27	69	111	94	57	85
Июль	98	62	49	247	104	106
Август	35	152	74	105	194	103

Гидротермические условия в 2015 г. характеризовались незначительными отклонениями от среднееголетних значений как по тепло- (+146 °С), так и по влагообеспеченности (–20 мм). Тем не менее пониженные температуры воздуха в мае и недостаточная влагообеспеченность в июне и июле на фоне повышенных температур оказали негативное влияние на рост и развитие растений яровой пшеницы, период кущения продолжался 19 сут.

Гидротермический режим вегетационного периода в 2016 г. характеризовался незначительным превышением среднемесячной температуры выше воздуха относительно среднееголетних значений. Общее количество осадков было ниже нормы на 33 мм, но в мае и июне их количество превысило среднееголетние

значения в 2,0 и 1,3 раза, что сказалось на продолжительности процесса кушения, он продолжался 17 дней.

Два последующих года проведения исследований были избыточно влажными, гидротермический коэффициент достигал значений 2,3 и 1,9 соответственно. В 2019 г. гидротермические условия в мае и июне были благоприятными для интенсивного прохождения фазы кушения, ее длительность составила 12 сут. Однако локальный ливень в июле привел к сильному переувлажнению почвы, что привело к гибели части посевов. В 2021 г. гидротермические условия в начале вегетации яровой пшеницы были в пределах среднесуточных значений, что способствовало росту продуктивности процесса кушения, продолжительность которого составила 14 сут.

Динамика содержания элементов питания в пахотном слое почвы под посевами яровой пшеницы зависит от уровня обеспеченности подвижным фосфором и дозы вносимых минеральных удобрений [19]. Перед посевом яровой пшеницы содержание минерального азота и подвижного фосфора определялось запасами, сформировавшимися за счет длительного применения минеральных удобрений в севообороте. Так, их содержание было достоверно выше при длительном внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) и N_{30} (вариант 5) на повышенном фосфорном фоне 3. Содержание обменного калия в осенний период было очень высоким во всех вариантах опыта независимо от уровня обеспеченности подвижным P_2O_5 (табл. 4).

Таблица 4

Содержание азота, фосфора и калия под посевами пшеницы в периоды вегетации, мг/кг почвы

Вариант опыта	До кушения (с осени)			Кушение			Полная спелость		
	$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O	$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O	$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O
1	12,2	36	195	14,4	38	178	11,7	31	186
2	12,6	29	200	23,4	32	180	12,8	25	180
3	11,6	59	185	17,0	67	171	12,4	59	178
4	14,7	109	192	28,0	104	171	16,9	88	176
5	13,5	93	196	20,5	92	201	14,5	83	206
HCP_{05}	1,1	11	54	4,4	12	9	3,5	11	13
Критерий Фишера (F)	$F\phi > F_k$	$F\phi > F_k$	$F\phi < F_k$	$F\phi > F_k$	$F\phi > F_k$	$F\phi > F_k$	$F\phi > F_k$	$F\phi < F_k$	$F\phi > F_k$

В фазу кушения яровой пшеницы обеспеченность посевов элементами минерального питания определялась дозой вносимых удобрений и присутствующим в почве подвижным фосфором, максимальное их содержание отмечается в варианте с применением азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) при высоком уровне подвижных фосфатов в пахотном горизонте. Исследования показали, что внесение только азотных удобрений в дозе N_{30} (вариант 2) при низком уровне обеспеченности почвы подвижными фосфатами содержание P_2O_5 в пахотном слое почвы под посевами снижается по сравнению с контрольным вариантом. Одностороннее внесение фосфора в дозе P_{60} (вариант 3) при среднем уровне обеспеченности почвы подвижными фосфатами снижает содержание в почве минерального азота и приводит к дисбалансу в обеспеченности посевов яровой пшеницы элементами минерального питания. Содержание обменного калия в фазу кушения остается на достаточно высоком уровне во всех вариантах опыта.

В фазу полной спелости зерна под посевами яровой пшеницы отмечается снижение содержания минерального азота и подвижного фосфора, связанное с выносом их урожаем зерна, а содержание обменного калия незначительно повышается по сравнению с уровнем, отмеченным в фазу кушения пшеницы. Наибольшее количество минерального азота и подвижного фосфора сохранилось в вариантах при высоком уровне обеспеченности почвы подвижным фосфором при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) – 16,9 и 88 мг/кг соответственно.

Для того чтобы определить, в какой степени сложившиеся в опыте уровни обеспеченности подвижным фосфором влияют на суточное накопление элементов питания в растении, провели корреляционный анализ, который показал, что величина этого показателя в фазу кушения была тесно связана с содержанием подвижного фосфора в почве до кушения ($r = 0,82$), в фазу кушения ($r = 0,95$), в полную спелость ($r = 0,93$). Взаимосвязь суточной аккумуляции валового азота растениями пшеницы в фазу кушения и содержания минерального азота по срокам отбора почвы была: до кушения слабой ($r = 0,42$), в кушение – средней ($r = 0,63$) и в полную спелость – сильной ($r = 0,90$). Зависимость накопления валового калия в фазу кушения и содержания обменного калия в почве по периодам развития была слабой отрицательной.

В начальный период роста и развития растения пшеницы потребляют значительные количества питательных веществ, достигая максимума в фазе кушения. Интенсивность накопления элементов питания в этот период может служить оценкой возможной продуктивности посевов пшеницы [20]. Скорость накопления азота, фосфора и калия возрастала в зависимости от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и дозы вносимых удобрений (табл. 5).

Таблица 5

**Интенсивность накопления элементов питания пшеницей
в фазу кушения, кг/га в сутки**

Вариант опыта	N	P	K
1	1,83	0,32	1,82
2	2,49	0,45	2,51
3	1,71	0,29	1,73
4	3,62	0,56	3,60
5	2,58	0,45	2,58
НСР ₀₅	1,32	0,20	1,30
Критерий Фишера (F)	Fф = Fк	Fф = Fк	Fф < Fк

В наших исследованиях установлено, что накопление азота в растениях яровой пшеницы в течение суток зависело от уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором и дозы азотных удобрений. Так, максимальное количество азота в сутки накапливалось в растениях при внесении под посевы $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) и N_{30} (вариант 2) на высоком уровне обеспеченности подвижным фосфором, что превышает контрольный вариант на 97,8–41,0 %, низкий уровень обеспеченности на 45,4–3,5 % и средний уровень на 111,7–50,9 %.

Суточное накопление в растениях фосфора зависело от обеспеченности почвы минеральным азотом. Так, при внесении азотного удобрения в дозе N_{30} (варианты 2 и 5) при низком и высоком уровнях обеспеченности подвижным фосфором интенсивность накопления фосфора составляла 0,45 кг/га. И только внесение азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) при высоком уровне

обеспеченности почвы фосфатами повысило накопление фосфора в растениях на 24,4 % по сравнению с азотными удобрениями. Такая же зависимость установлена и для накопления в растениях калия.

Максимальное достоверное превышение скорости накопления элементов минерального питания над контрольным вариантом отмечено при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) в варианте с повышенным фоном подвижного фосфора.

В результате проведенных исследований выявлена тесная связь скорости накопления азота в фазу кущения с зерновой продуктивностью пшеницы – коэффициент корреляции составил $0,80 \pm 0,35$, $r^2 = 0,64$, $p > 0,05$, что подтверждается результатами ряда исследователей [20, 21].

Одним из важных показателей эффективности применяемых удобрений является фенологическое развитие растения во время вегетации. По накоплению биомассы растений можно судить об их отзывчивости на удобрения, а также прогнозировать будущую урожайность [22]. Количественное изменение продуктивности яровой пшеницы было обусловлено уровнем обеспеченности подвижным P_2O_5 и внесением удобрений (табл. 6).

Таблица 6

Продуктивность яровой пшеницы, ц/га

Вариант опыта	Зерно	ВСМ*
1	26,4	8,6
2	28,9	8,0
3	28,2	11,9
4	33,4	16,2
5	32,6	12,3
HCP_{05}	2,2	5,0
Критерий Фишера (F)	$F_f > F_k$	$F_f > F_k$

* Воздушно-сухая масса.

Так, накопление воздушно-сухой массы (ВСМ) яровой пшеницы при низком уровне обеспеченности подвижным фосфором без внесения удобрений (вариант опыта 1) было на 3,3 ц/га меньше, чем при среднем уровне обеспеченности P_2O_5 и внесении фосфорных удобрений в дозе P_{60} (вариант 3), и на 7,6 3,3 ц/га меньше, чем при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{30}$ и повышенном уровне обеспеченности почвы подвижным фосфором (вариант 4). Корреляционный

анализ показал, что между приростом ВСМ в фазу кущения пшеницы и интенсивностью накопления элементов питания в растениях за этот же период существует сильная связь для азота ($0,70 \pm 0,41$, $r^2 = 0,49$, $p > 0,05$) и калия ($0,69 \pm 0,41$, $r^2 = 0,47$, $p > 0,05$), средняя – для фосфора ($0,57 \pm 0,48$, $r^2 = 0,32$, $p > 0,05$).

Урожайность зерна по вариантам от низкой (фон 1) до повышенной (фон 3) обеспеченности подвижным фосфором варьировала в пределах 26,4–32,6 ц/га. Достоверная прибавка урожая зерна получена при внесении азотных удобрений как отдельно, так и в сочетании с фосфорными. Максимальная урожайность получена при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) при повышенном уровне подвижного фосфора в почве – 33,4 ц/га. Корреляционным анализом установлена тесная взаимосвязь величины нарастания ВСМ в кущение и урожайностью зерна ($0,80 \pm 0,35$, $r^2 = 0,64$, $p > 0,05$).

Заключение

Уровень обеспеченности посевов яровой пшеницы основными элементами питания в годы проведения исследований зависел от длительного применения минеральных удобрений в севообороте и внесения азотных и фосфорных

удобрений как по отдельности, так и совместно. Максимальный уровень макроэлементов отмечался в фазу кущения яровой пшеницы.

Во все периоды вегетации яровой пшеницы отмечается статистически значимое увеличение, относительно варианта без удобрений, минерального азота и подвижного фосфора при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) и N_{30} (вариант 5) на повышенном фосфорном уровне (фон 3).

Установлено статистически значимое (на 5%-м уровне) содержание в растении накопленных в фазу кущения азота (НСР = 1,32), фосфора (НСР = 0,20), калия (НСР = 1,30) при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4) и N_{30} (вариант 5) на фосфорном фоне 3. При повышенном фосфорном уровне накопление фосфора растениями яровой пшеницы в кущение происходило наиболее интенсивно, что подтверждается тесной зависимостью между суточным накоплением этого элемента посевами культуры в эту фазу и содержанием его в почве на всем протяжении периода вегетации пшеницы ($r = 0,82-0,93$).

Самая высокая, статистически значимая на 5%-м уровне, урожайность ВСМ и зерна выявлена на повышенном фосфорном уровне при внесении $N_{60}P_{30}$ (вариант 4), превышение над контролем составило 7,6 и 7,0 ц/га соответственно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Постников П.А., Попова В.В., Тиханская Е.Л. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах и биохимический состав зерна // Вестн. КрасГАУ. 2022. № 5. С. 9–16. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-9-16. EDN MGUGYU.
2. Кузнецов Д.А., Ибрагимова Г.Н. Зависимость семенной продуктивности яровой пшеницы от доз минеральных удобрений и норм высева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22, № 6. С. 835–843. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.835-843. EDN RCRPXR.
3. Гришин В.А., Духанин Ю.А. Качество зерна яровой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения. 2000. № 113. С. 71–73.
4. Рабинович Г.Ю., Смирнова Ю.Д., Лукичева Н.А. Возделывание яровой пшеницы с применением различных схем удобрений // Использование мелиорированных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2015. С. 33–37.
5. Житов В.В., Дмитриев Н.Н. Зональные основы системы удобрений в земледелии Иркутской области. Иркутск: ИрГСХА, 2013. 140 с.
6. Ермолаев О.Т. Фосфор: трансформация в почве, поглощение растениями. Тюмень: ТГСХА, 2007. 352 с.
7. Кофан А.И. Формирование урожая яровой пшеницы на разных фонах минерального питания // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1977. № 2. С. 15–20.
8. Мошков Б.С., Хованская Н.В. Влияние температуры воздуха на онтогенез и продуктивность яровых ранних пшениц // Докл. ВАСХНИЛ. 1981. № 10. С. 5–7.
9. Duan W.X., Yu Z.W., Zhang Y.L. et al. Effects of nitrogen application on biomass accumulation, remobilization, and soil water contents in a rainfed wheat field // Turkish Journal of Field Crops. 2014. Vol. 19, iss. 1. P. 25–34. DOI: 10.17557/tjfc.45522.
10. Нестеренко В.А., Лапушкин В.М. Влияние обеспеченности почв подвижным фосфором и доз азотных удобрений на формирование урожая и качество яровой пшеницы // Агротех. вестн. 2021. № 1. С. 38–42. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-1-007. EDN IZFLCK.
11. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур (сообщение 2). Фосфорные и калийные удобрения // Агротехимия. 2021. № 8. С. 9–16. DOI: 10.31857/S0002188121080123. EDN YCZDKS.
12. Наумченко Е.Т., Банецкая Е.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивное использование элементов минерального питания посевами пшеницы // Дальневост. аграр. вестн. 2018. № 1. С. 42–48. DOI: 10.24411/1999-6837-2018-11007. EDN XOUKNF.
13. Наумченко Е.Т., Банецкая Е.В. Потребление азота яровой пшеницей на разных уровнях обеспеченности почвы подвижным фосфором // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 23–27. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ14.

14. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 223 с.
15. Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т. Система удобрений как средство воспроизводства плодородия почвы и стабилизации продуктивности полевого севооборота // Вестн. рос. с.-х. науки. 2020. № 1. С. 38–41. DOI 10.30850/vrsn/2020/1/38-41. EDN CBIUKY.
16. Lancashire P.D., Bleiholder H., Boom T. van den, Langelüddeke P., Stauss R., Weber E., Witzemberger A. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds // Ann. Appl. Biol. 1991. Vol. 119. P. 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x> (дата обращения: 5.04.2023).
17. Агрометеорологический обзор по Амурской области / Амур. ЦГМС фил. ФГБУ Дальневост. УГМС. Благовещенск, 2000–2022.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.
19. Микулич В.А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 1. С. 135–145.
20. Вольнкина О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 21–25.
21. Гоман Н.В., Бобренко И.А., Попова В.В., Гайдар А.А. Управление питанием яровой пшеницы на основе растительной диагностики // Земледелие. 2021. № 6. С. 36–40.
22. Часовских Д.В. Накопление биомассы сортов яровой мягкой пшеницы по различным предшественникам и агрохимическим фонам в условиях Алтайского Приобья // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Т. 2. Барнаул: Алтай. гос. аграр. ун-т, 2016. С. 260–262. EDN VWBPLT.

REFERENCES

1. Postnikov P.A., Popova V.V., Tikhanskaya E.L. Urozhainost' yarovoi pshenitsy v sevooborotakh i biokhimicheskii sostav zerna. *Vestnik KraSGAU*. 2022;(5):9-16. (In Russ.).
2. Kuznetsov D.A., Ibragimova G.N. Zavisimost' semennoi produktivnosti yarovoi pshenitsy ot doz mineral'nykh udobrenii i norm vyseva. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021;22(6):835-843. (In Russ.).
3. Grishin V.A., Dukhanin Yu.A. Kachestvo zerna yarovoi pshenitsy v zavisimosti ot uslovii vyrashchivaniya. *Byulleten' VNII udobrenii i agropochvovedeniya*. 2000;(113):71-73. (In Russ.).
4. Rabinovich G.Yu., Smirnova Yu.D., Lukicheva N.A. Vozdelyvanie yarovoi pshenitsy s primeneniem razlichnykh skhem udobrenii. In: *Ispol'zovanie meliorirovannykh zemel' – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya meliorativnogo zemledeliya*. Tver': Tver' State Univ.; 2015. P. 33-37. (In Russ.).
5. Zhitov V.V., Dmitriev N.N. Zonal'nye osnovy sistemy udobrenii v zemledelii Irkutskoi oblasti. Irkutsk: IrGSKHA; 2013. 140 p. (In Russ.).
6. Ermolaev O.T. Fosfor: transformatsiya v pochve, pogloshchenie rasteniyami. Tyumen': Tyumen-skaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya; 2007. 352 p. (In Russ.).
7. Kofan A.I. Formirovanie urozhaya yarovoi pshenitsy na raznykh fonakh mineral'nogo pitaniya. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 1977;(2):15-20. (In Russ.).
8. Moshkov B.S., Khovanskaya N.V. Vliyanie temperatury vozdukha na ontogenez i produktivnost' yarovykh rannikh pshenits. *Doklady VASKHNIL*. 1981;(10):5-7. (In Russ.).
9. Duan W.X., Yu Z.W., Zhang Y.L. et al. Effects of nitrogen application on biomass accumulation, remobilization, and soil water contents in a rainfed wheat field. *Turkish Journal of Field Crops*. 2014;19(1):25-34. DOI: 10.17557/tjfc.45522.
10. Nesterenko V.A., Lapushkin V.M. Vliyanie obespechennosti pochv podvizhnym fosforom i doz azotnykh udobrenii na formirovanie urozhaya i kachestvo yarovoi pshenitsy. *Agrochemical Herald*. 2021;(1):38-42. (In Russ.).
11. Shafran S.A. Vklad mineral'nykh udobrenii v formirovanie urozhainosti polevykh kul'tur (soobshchenie 2). Fosfornye i kaliinye udobreniya. *Agrokimiya*. 2021;(8):9-16. (In Russ.).
12. Naumchenko E.T., Banetskaya E.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenii na produktivnoe ispol'zovanie ehlementov mineral'nogo pitaniya posevami pshenitsy. *Far East Agrarian Bulletin*. 2018;(1):42-48. (In Russ.).
13. Naumchenko E.T., Banetskaya E.V. Potreblenie azota yarovoi pshenitsej na raznykh urovnyakh obespechennosti pochvy podvizhnym fosforom. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(6):23-27. (In Russ.).

14. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR. M.: Kolos; 1977. 223 p. (In Russ.).
15. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T. Sistema udobrenii kak sredstvo vosproizvodstva plodorodiya pochvy i stabilizatsii produktivnosti polevogo sevooborota. *Vestnik of the Russian agricultural sciences*. 2020;(1):38-41. (In Russ.).
16. Lancashire P.D., Bleiholder H., Boom T. van den, Langelüddeke P., Stauss R., Weber E., Witzemberger A. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 1991;119:561-601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>.
17. Agrometeorologicheskii obzor po Amurskoi oblasti / Amur. TSGMS fil. FGBU Dal'nevost. UGMS. Blagoveshchensk; 2000–2022. (In Russ.).
18. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos; 1985. (In Russ.).
19. Mikulich V.A. Sostav i vynos ehlementov pitaniya urozhaem yarovoi pshenitsy pri razlichnoi obespechennosti fosforom dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy. *Soil science and agrochemistry*. 2011;(1):135-145. (In Russ.).
20. Volynkina O.V. Fosfornoe udobrenie usilivaet deistvie azota na urozhai i kachestvo pshenitsy. *Agrochemistry and ecology problems*. 2019;(1):21-25. (In Russ.).
21. Goman N.V., Bobrenko I.A., Popova V.V., Gaidar A.A. Upravlenie pitaniem yarovoi pshenitsy na osnove rastitel'noi diagnostiki. *Zemledelie*. 2021;(6):36-40. (In Russ.).
22. Chasovskikh D.V. Nakoplenie biomassy sortov yarovoi myagkoi pshenitsy po razlichnym predshestvennikam i agrokhimicheskim fonam v usloviyakh Altaiskogo Priob'ya. In: *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaistvu*. Barnaul: Altai State Agricultural University; 2016. Vol. 2. P. 260-262. (In Russ.).