

НАКОПЛЕНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ И ЗЕРНЕ МЯГКОЙ И ТВЕРДОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧЗ

Н.И. ЮРЬЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID 0000-0002-4874-1233,

E-mail: vip.yureva1978@mail.ru

И.С. БРАИЛОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID 0000-0001-5844-4614,

E-mail: ira.brailova@mail.ru

И.Н. ЧВИЛЕВА, младший научный сотрудник

ФГБНУ ВОРОНЕЖСКИЙ ФАНЦ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА

Аннотация. Целью данных исследований было определение содержания основных макроэлементов в растениях и зерне селекционного материала 6 образцов мягкой и 4 твердой яровой пшеницы в условиях юго-востока ЦЧЗ. В течение 2021-2023 гг. проводился поэтапный биохимический анализ на накопление азота и фосфора в фазы развития всего вегетационного периода. Анализ данных показал, что наиболее интенсивное накопление макроэлементов в растениях яровой пшеницы наблюдается в начальные фазы роста и развития. По мере созревания растений содержание азота и фосфора постепенно снижается. Это происходит благодаря интенсивному оттоку в репродуктивные органы, что очень важно при формировании полноценного высокобелкового зерна яровой пшеницы. В зерне мягкой и твердой яровой пшеницы в отличие от растительных образцов по мере созревания колоса наблюдается увеличение накопления и азота и фосфора. Наибольшую урожайность показали линии мягкой пшеницы 1298 (16) и 395 (16), которые превзошли стандарт по накоплению азота. В твердой пшенице лучшим по урожайности выделился образец 926 (15). В среднем за весь вегетационный период эта же линия была лучшей по накоплению азота и фосфора и в растениях и в зерне.

Ключевые слова: яровая пшеница, урожайность, азот, фосфор, вегетационный период.

Для цитирования: Юрьева Н.И., Браилова И.С., Чвилева И.Н. Накопление макроэлементов в растениях и зерне мягкой и твердой яровой пшеницы в условиях юго-востока ЦЧЗ. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2025; 2(54):137-144. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-2-137-144

ACCUMULATION OF MACROELEMENTS IN PLANTS AND GRAINS OF SOFT AND DURUM SPRING WHEAT UNDER CONDITIONS OF THE SOUTHEAST OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

N.I. Yurieva, I.S. Brailova, I.N. Chvileva

FSBSI V.V. DOKUCHAEV VORONEZH FEDERAL AGRARIAN SCIENTIFIC CENTER

Abstract: The purpose of these studies was to determine the content of the main macroelements in plants and grains of breeding material of 6 samples of soft and 4 durum spring wheat in the south-east of the Central Chernozem Region. During 2021-2023, a step-by-step biochemical analysis was carried out for the accumulation of nitrogen and phosphorus in the development phases of the entire growing season. The analysis of the data showed that the most intensive accumulation of macronutrients in spring wheat plants is observed in the initial phases of growth and development. As plants mature, the nitrogen and phosphorus content gradually decreases. This is due to the intensive outflow to the reproductive organs, which is very important in the formation of a full-fledged high-protein grain of spring wheat. In the grain of soft and hard spring wheat, in contrast to plant samples, as the ear ripens, an increase in the accumulation of

both nitrogen and phosphorus is observed. The highest yields were shown by the soft wheat lines 1298 (16) and 395 (16), which exceeded the standard for nitrogen storage. In durum wheat, sample 926 (15) stood out as the best in terms of yield. On average, for the entire growing season, the same line was the best in terms of nitrogen and phosphorus accumulation both in plants and in grain.

Keywords: spring wheat, yield, nitrogen, phosphorus, vegetation period.

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 условий 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].

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 оказывается на всех элементах урожая. В начальный период развития растения потребляют относительно небольшие абсолютные количества всех питательных веществ, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в растворе. В период плodoобразования, когда нарастание вегетативной массы заканчивается, потребление всех питательных веществ постепенно снижается, а затем их поступление приостанавливается. Дальнейшее образование органического вещества и другие процессы жизнедеятельности обеспечиваются в основном за счет повторного использования (реутилизации) питательных веществ, ранее накопленных в растении [3].

Размеры потребления всех элементов питания растениями значительно возрастают в период интенсивного роста надземных органов - стеблей и листьев. Темпы накопления сухого вещества могут опережать поступление питательных веществ, а относительное их содержание в растениях снижается по сравнению с предшествующим периодом. Как правило, прибавки урожайности формируются за счет сбалансированного питания растений азотом, фосфором и калием [4].

Материалы и методы исследований

Исследования были проведены в полевых и лабораторных условиях Воронежского ФАНЦ им. В. В. Докучаева в 2021-2023 гг. Опытная культура – 6 мягких и 4 твердых сортов яровой пшеницы. Все образцы сравнивались со стандартами: мягкая пшеница – Черноземноуральская 2, твердая – Донская элегия. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднемощный среднегумусный, тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Общий азот – 0,36%, общий фосфор – 0,35%, общий калий – 1,85%, сумма поглощенных оснований – 66,4 мг/кг почвы [5]. Посев опытных делянок был произведен в питомнике конкурсного сортоиспытания сеялкой СУ-10. Предшествующая культура - озимая рожь. Полевой опыт закладывался в четырехкратной повторности, размещение вариантов в опыте систематическое. Учетная площадь делянки 20 м². Норма высева – 5,5 (для мягкой пшеницы) и 5,2 (для твердой) млн. всхожих зерен на 1 га [6]. Агротехника общепринятая для Воронежской области. Отбор образцов осуществлялся в соответствии с Методическими указаниями по географической сети опытов (1985). В течение вегетации яровой пшеницы в растительных образцах определяли азот – по Кельдалю (ГОСТ 13496,4 – 93), фосфор – ванадомолибдатным способом (ГОСТ 26657 – 97). Уборка опытного материала была произведена поделяночно комбайном «Сампо – 130» с последующим взвешиванием и определением влажности зерна. Статистическая обработка данных по урожайности выполнена с помощью дисперсионного анализа по Доспехову Б. А. с использованием программы Microsoft Excel [7].

Метеорологические условия

Погодные условия зоны возделывания позволяют выращивать как мягкие, так и твердые сорта яровой пшеницы. За годы исследований сложились разнообразные погодные условия, как по количеству осадков, так и по температурному режиму.

Посев опытных делянок в 2021 году был проведен в оптимальные сроки. Наличие влаги в почве и благоприятные погодные условия, сложившиеся в начале вегетационного периода яровой пшеницы, положительно повлияли на рост и развитие растений в фазы всходов и кущения. Но в начале выхода в трубку погодные условия резко изменились: температура воздуха понизилась до +16°C, северный ветер сопровождался обильными осадками. Фаза выхода в трубку была приостановлена. В I и II декаде июля 2021 года, когда шло формирование и налив зерна у яровой пшеницы, наблюдалось отсутствие осадков и повышение температуры воздуха до +22 - +26°C. Это привело к сокращению вегетационного периода.

Теплый апрель 2022 года был благоприятным для своевременного проведения сева. Температура воздуха во всех декадах была выше среднего многолетнего значения на 5,9; 4,2 и 0,3°C соответственно. В весенний период апреля осадков выпало на 2,8, 10,6 и 8,4 мм выше нормы соответственно и сроки посева были отодвинуты. Тем не менее, опытные делянки были высажены в сжатые сроки – с 27 апреля по 1 мая. Полные всходы появились на 9-й день, но холодная и дождливая погода мая способствовала задержке фазы кущения на 5-7 дней. Жаркая и дождливая погода июня 2022 года, особенно в третьей декаде, также повлияла на дальнейшую жизнедеятельность растений яровой пшеницы.

Поздняя весна 2023 года сопровождалась частыми дождями, из-за чего в почве присутствовал большой запас влаги. Посев питомников яровой пшеницы был проведен с 3 по 7 мая, что позже оптимальных сроков в Каменной степи на 7-10 дней. Тёплая погода мая способствовала быстрым всходам, которые появились на 7-8 сутки. Развитие растений проходило дружно и фаза кущения также проходила в благоприятных условиях. Но, в конце мая наступило понижение температур, которое сопровождалось дождями и северным, северо-восточным ветром. В результате этого фаза выхода в трубку и, соответственно – фаза колошения (июнь), были задержаны. Это отрицательно сказалось на дальнейшем росте и развитии растений.

Таким образом, метеорологические условия исследуемых лет (2021-2023) характеризовались значительными колебаниями и существенно отличались друг от друга, что позволило объективно изучить динамику накопление макроэлементов в растениях и зерне яровой пшеницы.

Результаты и их обсуждение

В течение периода вегетации яровая пшеница потребляет азот неравномерно. По данным Д. Шпаара, наиболее высокое содержание азота в растениях приходится на период от всходов до фазы кущения [8]. По мере старения растений происходит уменьшение азота и к фазе полной спелости. Проведенные исследования также показали, что максимальное содержание азота в листьях и стеблях яровой пшеницы наблюдается в фазу кущения (рис. 1).

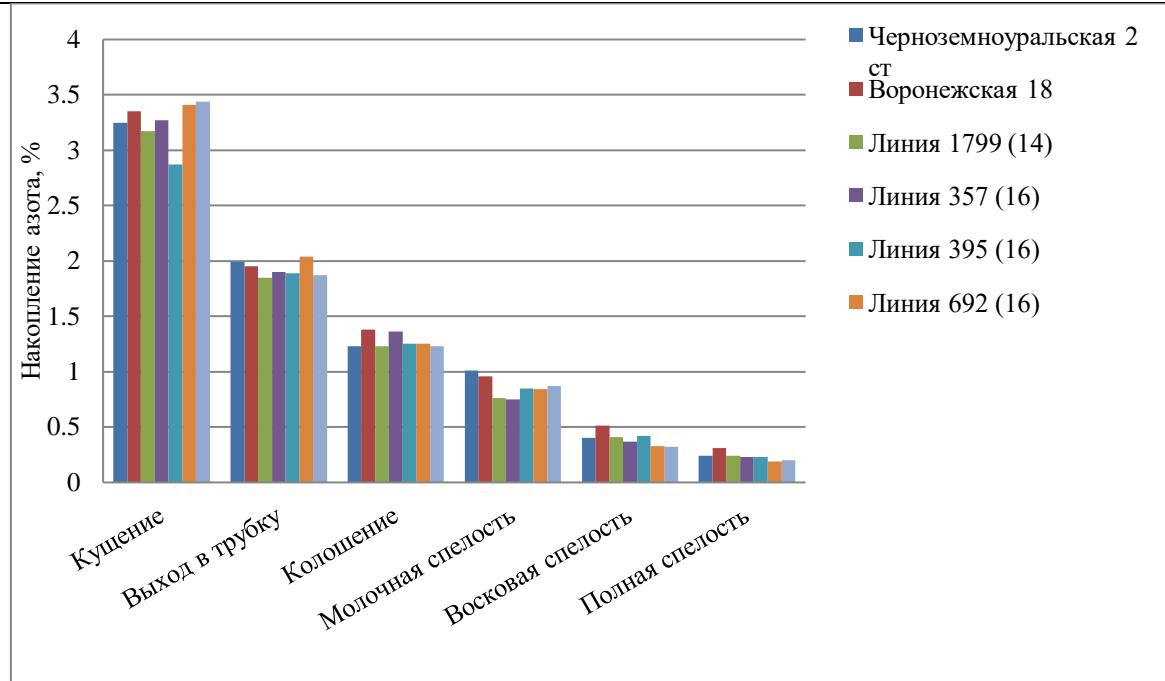


Рис. 1. Динамика накопления азота в растениях мягкой яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

В этот период растения нуждаются в большом количестве белка на построение тканей. Наибольшее содержание азота в эту фазу наблюдалось у мягкой пшеницы сорта Воронежская 18 – 3,35%, линии 692 (16) – 3,31%, 1298 (16) – 3,44%. Эти образцы превысили показатели стандарта на 3,0% - 5,5% соответственно. В среднем по накоплению азота за весь период вегетации сорт Воронежская 18 превзошел стандарт Черноземноуральская 2 на 4,3%.

В твердой пшенице максимальное накопление азота в фазу кущения наблюдалось у образца 926 (15) – 3,75% абсолютно сухого вещества (рис. 2).

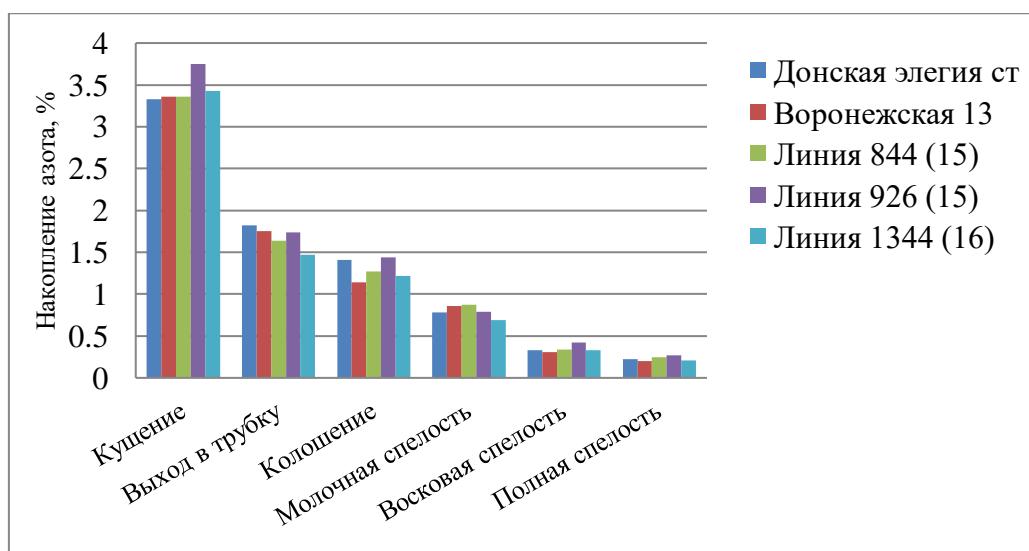


Рис. 2. Динамика накопления азота в растениях твердой яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

Этот же образец выделился и в среднем за вегетацию (1,40%). В опытах 2021-2023 гг. было установлено, что среднее содержание азота в период кущения для образцов мягкой пшеницы составило 3,24%, для твердой – 3,45%. Это не повлияло на конечный результат, и в среднем за вегетацию этот показатель отличался на 0,04% в пользу мягкой пшеницы.

Особая роль в процессах обмена веществ, протекающих в растительном организме, принадлежит фосфору. Данный макроэлемент в растениях находится в виде нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, фосфатидов, сахарофосфатов, фитина, входит в состав ферментов и витаминов. Фосфор способствует развитию и росту корневой системы – она сильнее ветвится и глубже проникает в почву, что улучшает снабжение растений питательными веществами и влагой [9]. Зерновые культуры нуждаются в фосфоре в течение всего вегетационного периода, но более всего – в начальный период их роста и развития [10]. В растениях наибольшее содержание фосфора наблюдается в начальные фазы развития – кущение (рис. 3).

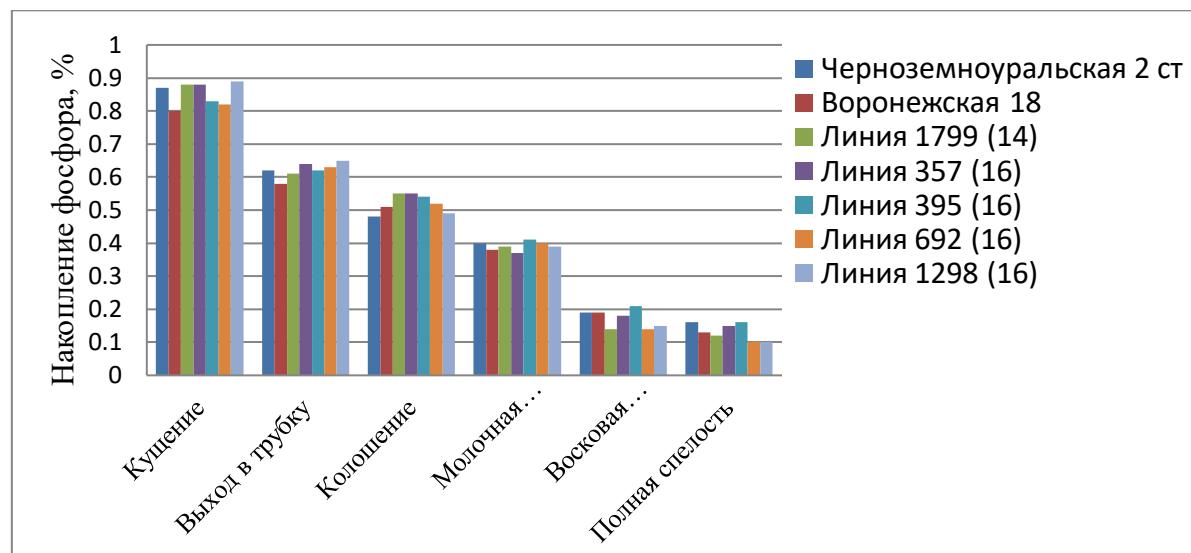


Рис. 3. Динамика накопления фосфора в растениях мягкой яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

Концентрация фосфора в фазу кущения для мягких сортов варьировала от 0,80% до 0,89%. Все изучаемые образцы имели незначительное отклонение от стандарта. Наибольшее содержание подвижного фосфора в листьях и стеблях в фазу кущения наблюдалось у линии мягкой пшеницы – 1298 (16) – 0,89%.

В твердой пшенице все образцы превысили стандарт, но максимальное накопление Р₂O₅ наблюдалось у сорта местной селекции Воронежская 13 - 0,90% и линии 926 (15) – 0,87% (рис. 4).

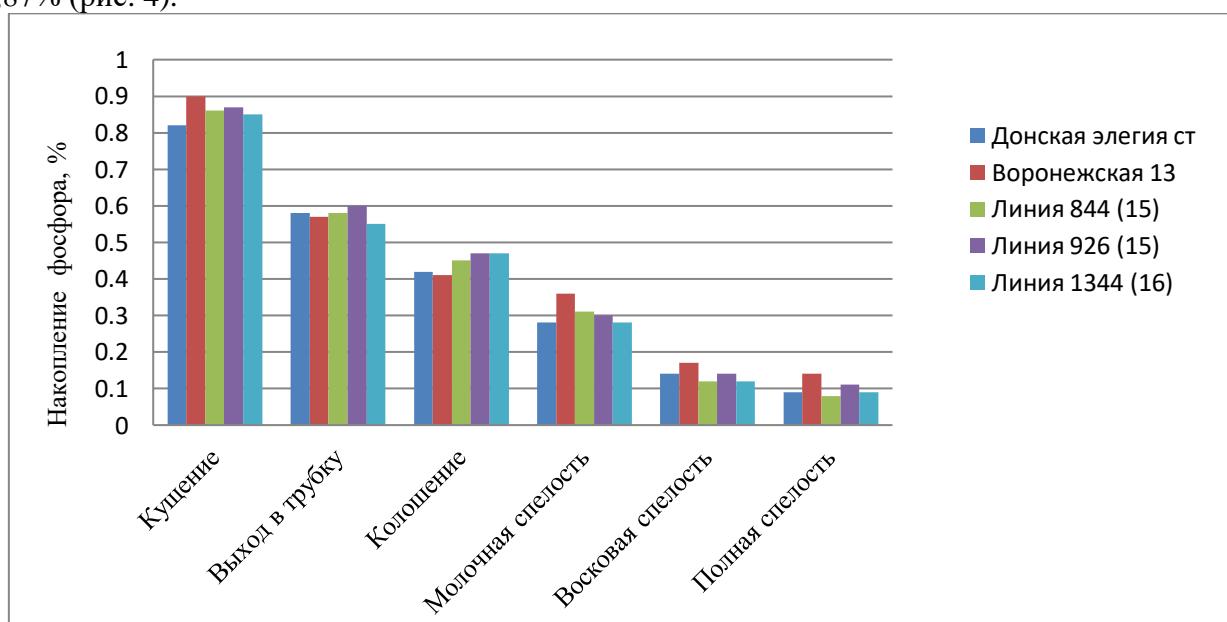


Рис. 4. Динамика накопления фосфора в растениях твердой яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

Анализ данных показал, что в среднем за вегетацию накопление P₂O₅ в растениях твердой пшеницы было выше, чем у мягкой.

В зерне мягкой и твердой яровой пшеницы в отличие от растительных образцов по мере развития и созревания колоса наблюдается увеличение содержания и азота и фосфора (рис. 5 и 6).

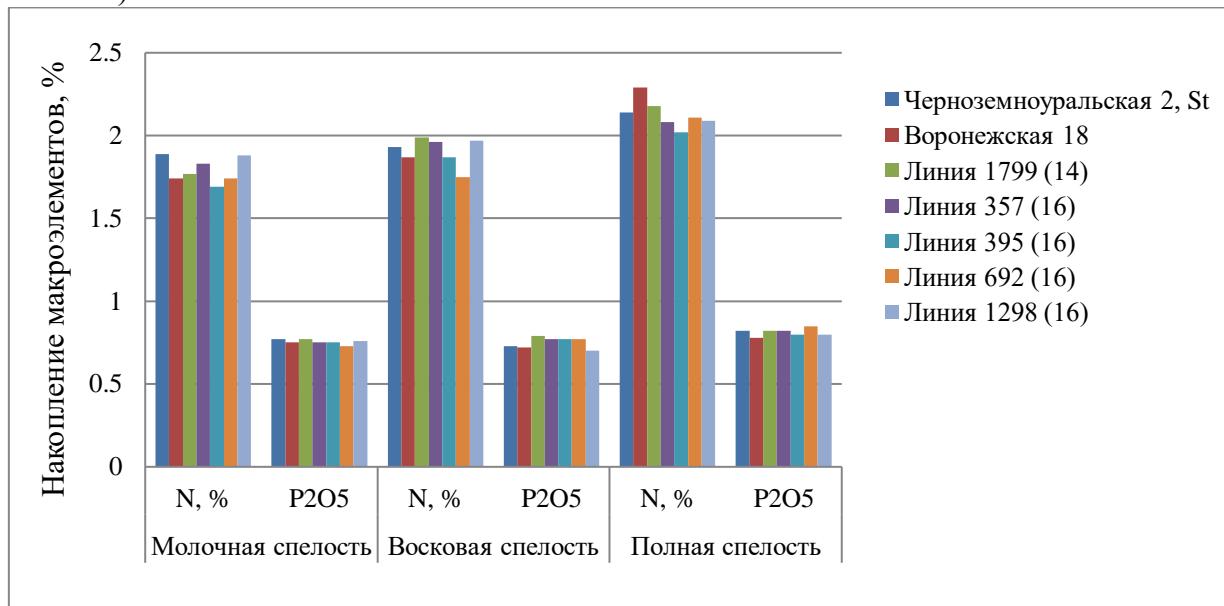


Рис. 5. Динамика накопления макроэлементов в зерне мягкой яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

Содержание азота и фосфора в зерне образцов мягкой яровой пшеницы в фазу молочной спелости варьировало от 1,69% до 1,89% (азот) и от 0,73% до 0,77% (фосфор) соответственно. В фазу восковой и полной спелости накопление макроэлементов в зерне имело тенденцию к увеличению. Максимальное накопление азота, превысившее стандарт на 6,55%, наблюдалось у сорта Воронежская 18 – 2,29%. Максимальное накопление фосфора было зафиксировано у линии 692 (16) – 0,85%. Эта линия превзошла стандартный сорт на 3,5%.

По максимальному содержанию азота в зерне образцов твердой яровой пшеницы по мере созревания выделились сорт Воронежская 13 – 2,36% и линии 844 (15) – 2,32%, 926 (15) – 2,31%. Эти образцы превзошли стандартный сорт в среднем на 2,16% – 4,24%. Максимальное накопление фосфора по мере созревания было отмечено у линии 926 (15) – 0,94%.

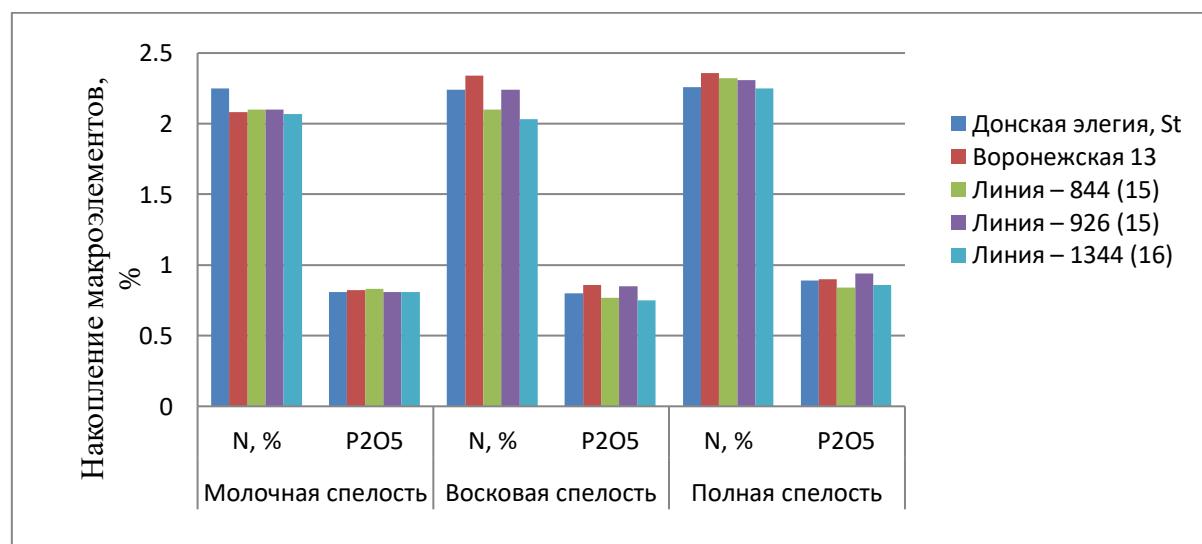


Рис. 6. Динамика накопления макроэлементов в зерне твердой яровой пшеницы, 2021-2023 гг

Важно отметить, что существенное влияние на широкий диапазон варьирования показателей урожайности яровой пшеницы по годам оказывают не только накопление и использование макроэлементов, но и описанные ранее погодные условия, складывающиеся в течение вегетационных периодов. По результатам проведенных исследований в условиях 2021 года было установлено, что лучшей по урожайности, относительно стандарта, выделилась линия мягкой пшеницы 1298 (16) – 3,23 т/га (табл.).

Таблица

Урожайность образцов яровой пшеницы, 2021-2023 гг.

Название сорта, линии	Урожайность, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее по годам
Мягкая пшеница				
Черноземноуральская 2, St	3,21	1,92	2,26	2,46
Воронежская 18	2,78	2,14	1,98	2,30
Линия – 1799 (14)	3,15	1,89	1,75	2,26
Линия – 357 (16)	3,19	2,03	2,02	2,41
Линия – 395 (16)	3,09	2,16	2,19	2,48
Линия – 692 (16)	2,86	2,15	1,88	2,30
Линия – 1298 (16)	3,23	2,48	2,21	2,64
HCP 0,5	0,17	0,18	0,12	0,12
Твердая пшеница				
Донская элегия, St	2,76	2,37	1,71	2,28
Воронежская 13	2,39	2,05	1,63	2,02
Линия – 844 (15)	2,79	2,75	1,79	2,44
Линия – 926 (15)	2,98	2,61	1,77	2,45
Линия – 1344 (16)	2,78	2,08	1,86	2,24
HCP 0,5	0,27	0,39	0,11	0,22

Что касается урожайности твердой пшеницы, самый высокий показатель наблюдался у линии 926 (15) – 2,98 т/га. Эта линия превосходила стандартный сорт на 7,38%.

В опытах 2022 года лучшими по урожайности были выделены: сорт Воронежская 18 – 2,14 т/га, линии 395 (16) – 2,16 т/га и 1298 (16) – 2,48 т/га. Эти линии в условиях анализируемого года по данному показателю превосходили стандарт в среднем на 5,1% – 11,1%. У твердой пшеницы по этому показателю стандарт превзошли линии 844 (15) с результатом 2,75 т/га и 926 (15) – 2,61 т/га.

Максимальные результаты по урожайности мягкой пшеницы, находящиеся на уровне стандарта, в условиях 2023 года показали линии 1298 (16) и 395 (16), с результатом 2,21 и 2,19 т/га соответственно.

Что касается урожайности твердой пшеницы, все изучаемые образцы по этому показателю в течение исследуемого периода практически находились на уровне стандарта. Исключение составила линия 1344 (16), превысившая стандарт в условиях 2023 года на 8,1%.

В среднем за три года исследований все изучаемые образцы мягкой пшеницы имели незначительное отклонение от стандарта, но наибольшую урожайность показали линия 1298 (16) и линия 395 (16) т/га с результатом 2,64 и 2,48 т/га соответственно. Эти образцы в среднем за вегетацию превзошли стандарт по накоплению азота в растении. В твердой пшенице лучшим по урожайности выделился образец 926 (15) с результатом 2,45 т/га. В среднем за вегетацию эта же линия была лучшей по накоплению азота и фосфора и в растениях и в зерне.

Выводы

1. Максимальное содержание азота и фосфора в растительных образцах твердой и мягкой яровой пшеницы наблюдается в фазу кущения, так как в этот период растения наиболее нуждаются в соответствующем количестве макроэлементов на построение тканей.

2. Содержание азота и фосфора в листьях и стеблях опытной культуры снижается к моменту полной спелости. Их количество уменьшается в несколько раз относительно фазы кущения. Это происходит благодаря интенсивному оттоку в репродуктивные органы, что очень важно при формировании полноценного высокобелкового зерна яровой пшеницы.

3. Концентрация накопления азота в растениях в фазу кущения у образцов твердой пшеницы выше, чем у мягкой.

4. Концентрация фосфора как в начальные фазы, так и в среднем по вегетации у твердых образцов ниже, чем у мягких.

5. По мере созревания колоса в зерне мягкой и твердой яровой пшеницы в отличие от растительных образцов наблюдается увеличение содержания и азота и фосфора.

6. Наибольшую урожайность показали линии мягкой пшеницы 1298 (16) и 395 (16), которые превзошли стандарт по накоплению азота.

7. В твердой пшенице лучшим по урожайности выделился образец 926 (15). Эта же линия была лучшей по накоплению азота и фосфора в среднем за всю вегетацию.

Литература

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.
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.
3. Агропочвоведение. // Под ред. В.Д Мухи. – М.: Колос, 2004. – 528 с.
4. Волынкина, О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы. // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 1. – С. 21-25.
5. Турусов В.И., Новичихин А.М., Малокостова Е.И., Нужная Н.А., Черных А.В. Технология возделывания яровой пшеницы в ЦЧЗ. // Каменная Степь. – 2019. – 30 с.
6. Турусов В.И., Гармашов В.М., Новичихин А.М., Дорохов Б.А., Нужная Н.А., Бочарникова Е.Г., Абанина О.А., Харьковский А.А., Горбачева А.В. Рекомендации по выращиванию озимой пшеницы в хозяйствах Воронежской области. // Каменная Степь. – 2019 – 37 с.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований), 5 – е изд., перераб. и доп.. – М.: Альянс, – 2014. – 351 с.
8. Шпаар Д. и др. //Зерновые культуры (выращивание, уборка, доработка) под редакцией Д. Шпаара М., ООО «DLV Агродело, 2008. – 380 с.
9. Бутяйкин В.В. Основы агрохимии: учебное пособие // – Саранск: МОРДОВИЯ-ЭКСПО, 2013. – 88 с.
10. Ермоляев О.Т. Фосфор: трансформация в почве, поглощение растениями: монография // – Тюмень: ТГСХА, 2007. – 352 с.

References

1. Postnikov P.A., Popova V.V., Tihanskaya E.L. Spring wheat yield in crop rotations and biochemical composition of grain. *Vestn. KrasGAU*. 2022, no. 5, pp. 9–16. DOI: 10.36718/1819-4036-2022- 5-9-16. (In Russian)
2. Kuznecov D.A., Ibragimova G.N. Dependence of spring wheat seed productivity on mineral fertiliser doses and seeding rates. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021, v. 22, no. 6, pp. 835–843. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.835-843. (In Russian)
3. Agrosoil science. V.D Mukha ed., Moscow: *Kolos*, 2004, 528 p. (In Russian)
4. Volynkina, O.V. Phosphorus fertiliser enhances the effect of nitrogen on wheat yield and quality. *Problemy agrohimii i ekologii*. 2019, no. 1, pp. 21-25. (In Russian)
5. Turusov V.I., Novichihin A.M., Malokostova E.I., Nuzhnaya N.A., Chernykh A.V. Spring wheat cultivation technology in the Central Black Earth Zone. *Kamennaya Step'*. 2019, 30 p. (In Russian)
6. Turusov V.I., Garmashov V.M., Novichihin A.M., Dorohov B.A., Nuzhnaya N.A., Bocharnikova E.G., Abanina O.A., Har'kovskij A.A., Gorbacheva A.V. Recommendations for growing winter wheat in farms of the Voronezh region. *Kamennaya Step'*. 2019, 37 p. (In Russian)
7. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique], the 5th ed., revised. Moscow, *Agropromizdat*, 1985, 351 p. (In Russian)
8. Shpaar D., ed., et al. *Grain crops (cultivation, harvesting, finishing)*. Moscow, ООО «DLV Agrodelo, 2008, 380 p. (In Russian)
9. Butyajkin, V.V. Fundamentals of agrochemistry: textbook. Saransk: MORDOVIYA-EKSPO, 2013, 88 p. (In Russian)
10. Ermolaev O.T. Phosphorus: transformation in soil, plant uptake: a monograph. Tyumen': TGSKHA, 2007, 352 p. (In Russian)