

масляной кислоты] торговое наименование Стимулэйт, Ж на кукурузе показали, что входящие в состав аналоги фитогормонов (ауксина – индолилмасляная кислота и гиббереллин А₃, цитокинина – 6-фурфуриламинопурин) оказали синергический эффект не только на усиление вегетативного роста растений, но и на плодообразование. Были сформированы более крупные по размеру, озерненности и массе зерна початки. Максимальная прибавка урожая получена при применении препарата в дозе 0,35 л/га и составила, соответственно, 10,3 % в початках и 16,4 % в зерне, при урожайности на контроле 72,2 и 57,8 ц/га.

Основной вывод, сделанный испытателями: регуляторы роста растений могут быть использованы для некорневой обработки растений яблони и кукурузы при промышленном возделывании культур с целью повышения урожайности.

Литература

1. Г.С. Муромцев. Регуляторы роста растений. – М.: Колос, 1979. – 86 с.
2. О.Г. Синяшин, О.А. Шаповал, М.М. Шулаева // «Иновационные регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве» // Плодородие, 2016. – № 5. – С. 38-42.
3. Г.А. Романов // Как цитокинины действуют на клетку // Физиология растений. – 2009. – Т. №2. – С. 295-319.

4. Д.Тейлор, Н. Грин, У.Стаут. Биология том. 2, Москва, «МИР» 2010 стр.255-270.
5. А.М.Альбаев, К.А.Сомов. Цитокинидаза – ключевой фермент деградации цитокининов // Биохимия. – 2012. – Т. – 77. – Вып. 12. – С.1621-1630.
6. М.Н.Данилова, А.С.Дорошенко и др. Взаиморегуляция сигнальных путей цитокинина и ауксина в контроле естественного старения листьев // Физиология растений. – 2020. – Т. 67. – №6. – С.616-624.
7. Ф.М.Шакирова, Д.Р.Масленникова и др. Сравнительный анализ физиологического действия метилжасмоната и цитокинина на растения пшеницы // Агрехимия. – 2013. – №2. – С 49-55.
8. Е.А.Некрасова // Действие цитокинина на развитие листового аппарата растений кукурузы (*Zea Mays L.*) (ресурс из интернета)
9. А.М.Альбаев, А.М., Юлдашев Р.А. и др. Сравнительный анализ действия 24-эпибрассинолида и цитокинина 6-бензиламинопурина на проростков пшеницы // Биологически активные вещества – изучение и использование. Материалы международной научной конференции (29-31 мая 2013 г.) – С.232-233.
10. Е.В.Мартыненко, Т.Н.Архипова // Роль цитокининов в восстановлении роста растений пшеницы при нормализации водообеспечения // Агрехимия. – 2010. – №8. – С 35-42.
11. Д.С.Веселов, Г.Р. Кудоярова и др. Роль цитокининов в стресс-устойчивости растений // Физиология растений. – 2017. – Т 64. – № 1. – С 19-32.
12. А.С.Лукацкий, Н.В. Грачева и др. Цитокинин-подобные препараты ослабляют повреждения растений кукурузы ионами цинка и никеля // Физиология растений. – 2007. – Т. 54. – № 3. – С. 432-439.
13. Н.Д.Симашевский, Л.П.Ионова Влияние фитогормонов гибберелловой кислоты, цитокинина и их сочетания на физиологические процессы растений кукурузы и сои // Естественные науки (Natural Sciences). Экология – 2017. – № 3.

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SYNTHETIC GROWTH REGULATORS OF THE CYTOKININ CLASS ON AGRICULTURAL CROPS

O.A. Shapoval, I.P.Mozharova, Korshunov A.A.

D.N. Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry, 127434, Moscow, Pryanishnikova str., 31A, e-mail: elgen@mail.ru

The results of field tests of plant growth regulators are presented: a cytokinin class drug on the example of an apple tree and a multicomponent drug based on auxin, gibberellin and cytokinin on the example of corn. On the apple tree culture in the Moscow and Tambov regions, according to a set of indicators, the best results were obtained with the use of 6-benzyladenine in doses of 1.5- 3.0 l/ ha. The positive effect of the drug has been established, manifested in an increase in the generative and vegetative productivity of plants. The increase in yield varied depending on the research area from 50-70% – in the Moscow region and up to 20-34% in the Tambov region. On corn, in the conditions of the Krasnodar Territory, when using a combined preparation (6-furfurylaminopurin + gibberellin acid A₃ + 4 (indole-3yl) butyric acid), a synergistic effect was established, contributing not only to the strengthening of vegetative plant growth, but also to fruit formation. The drug in a dose of 0.35 l/ha increased the yield of corn on the cob by 10.3 %.

Keywords: apple tree, corn, cytokinins, gibberellins, growth regulators, vegetative growth, fruit formation, yield.

УДК 633:57.045

DOI: 10.25680/S19948603.2023.135.11

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В КРИТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ

Л.В. Осипова, Т.Л. Курносова, И.А. Быковская,

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»
(ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)

127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А

E-mail: legos4@yandex.ru

Вегетационный опыт с яровой пшеницей сорта Тризо был проведен в условиях разной обеспеченности растений минеральным питанием. Определено, что в критический период развития в условиях повышенного уровня питания происходило изменение физиолого-биохимических параметров в растениях пшеницы: повышался уровень свободно-радикального окисления и увеличивался выход электролитов из клеток, что совпадало с повышенным содержанием хлорофилла *b* и каротиноидов в этот период и увеличением плотности листьев, вследствие чего повышались реализация продуктивных элементов и масса зерна яровой пшеницы.

Ключевые слова: яровая пшеница, малоновый диальдегид, хлорофилл *a* и *b*, каротиноиды, экзоосмос электролитов, удельная поверхностная площадь листа, продуктивность.

Для цитирования: Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А. Влияние минерального питания на физиолого-биохимические параметры яровой пшеницы в критический период развития // Плодородие. – 2023. – №6. – С. 42-46. DOI: 10.25680/S19948603.2023.135.11.

В условиях глобальных климатических изменений мониторинг формирования урожая показал, что сельскохозяйственное производство РФ уязвимо из-за неблагоприятных агроклиматических факторов: засухи, засоления, действия экстремальных температур, затопления [1, 2]. Наряду с климатическими стрессами негативное влияние на продукционный процесс зерновых культур оказывают избыток и недостаток минеральных элементов в корнеобитаемой среде. Тяжелые металлы, алюминиевая токсичность, дефицит биофильных элементов рассматривают как стрессовый фактор, который усугубляется при воздействии неблагоприятной климатической обстановки [3-5].

За длительный период эволюции растения обрели адаптивные механизмы к избытку и недостатку биофильных элементов. Ответные реакции растений на дефицит элементов могут исходить от корней, листьев, семян и направлены на повышение эффективности использования их эндогенных форм и повышение доступности в почве.

При адаптации растений к недостатку азота наблюдаются аккумуляция сахаров в побеге и транспорт сахарозы в корни, изменяется морфология корневых систем, что приводит к усилению их роста, ветвлению и активизации поглощения. В исследованиях [6, 7] показано, что при низком содержании азота в среде культивирования увеличивается активность ферментов антиоксидантной защиты. По данным [8, 9], в N-дефицитном варианте снижена скорость фиксации CO₂ при нормальной работе фотосистемы II, что приводит к развитию окислительного стресса из-за возрастания генерации АФК.

При недостатке фосфора усиливается симбиоз растений с грибами арбускулярной микоризы, что увеличивает его поступление из почвы. В ответ на дефицит фосфора растения выделяют органические кислоты – лимонную и яблочную, которые повышают доступность почвенного фосфора [10].

Дефицит калия изменяет морфологию корней, задерживает рост боковых и активизирует входные калиевые каналы в плазмалемме корней.

Недостаток магния приводит к оксидативному стрессу и увеличению содержания каротиноидов, участвующих в детоксикации АФК.

Нарушения в корневом питании растений из-за недостатка или избытка элементов, как правило, рассматривают с позиций необходимости корректировки системы питания, используя для этого диагностические параметры состояния растений. В основном оценивают показатели, ориентированные на высокую интенсивность продукционного процесса, способствующего получению высоких урожаев с хорошим качеством зерна.

Поиск объективных признаков, отражающих физиолого-биохимическое состояние растений, – одно из перспективных направлений исследований корневого питания для оценки агрохимических приемов в период вегетации.

Цель исследований – изучить влияние обеспеченности растений основными минеральными элементами на физиолого-биохимические параметры, отражающие особенности продукционного процесса в онтогенезе яровой пшеницы.

Методика. Вегетационные опыты проводили с яровой пшеницей сорта Тризо, включенного в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2003 г. в Северо-Западном регионе, масса 1000 зерен – 33-40 г, максимальная урожайность 59,4 ц/га (Ленинградская обл.), вегетационный период 85-90 дней.

Опыты закладывали по Журбицкому [11]. Растения выращивали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: рН_{кол.} 4,5, Нг – 3,79 мг-экв/100 г почвы, Р₂O₅ – 59,1, К₂O – 63,7 мг/100 г почвы. Известкование проводили по полной норме гидролитической кислотности. Питательные элементы внесли в виде чистых солей NH₄NO₃, NH₄H₂PO₄, КН₂PO₄ при закладке опыта из расчета NPK 150 и 300 мг/кг почвы – фоны I и II соответственно.

В течение вегетации поддерживали оптимальный уровень водообеспеченности. Проводили морфофизиологический контроль за наступлением этапов органогенеза пшеницы [12], оценивали закладку генеративных органов: общего количества и количества развитых цветков на V-VI этапах органогенеза на конусе нарастания главного побега и их реализацию на XII этапе органогенеза. Определяли морфологические показатели: массу и площадь листовых пластинок и рассчитывали удельную поверхностную площадь листа (УППЛ) для оценки его структурных преобразований при изменении условий культивирования [13, 14].

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) мембран, как показателя уровня свободно-радикального окисления, определяли по количеству продуктов, реагирующих на тиобарбитуровую кислоту (ТБК_{np}) и дающих с ней стойкое окрашивание. Содержание ТБК продуктов определяли по количеству конечного продукта ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) на спектрофотометре «Helios Omega UV-VIS» [15]. Пигменты фотосинтеза хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды определяли в 100%-ной ацетоновой вытяжке [16].

Экзоосмос электролитов из листьев в дистиллированную воду при двухчасовой экспозиции измеряли по проводимости раствора на кондуктометре ОК-102. Полный выход определяли после разрушения мембран кипячением [17].

Результаты опытов обработаны математически. В таблице и на рисунках приведены средние величины и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение. Вегетационные опыты, проведенные в благоприятном для растений температурно-влажностном режиме, показали, что условия минерального питания определяли интенсивность метаболизма, от которого зависели морфометрические параметры: удельная поверхностная плотность листьев, которая по мнению [18] характеризует потенциальную продуктивность генотипа, а также количество продуктивных элементов на апексе главного побега в критический период микроспорогенеза, их редукцию и зерновую продуктивность.

Установлено, что при возрастании уровня минерального питания увеличивалась интенсивность свободнорадикального окисления, которое оценивали по содержанию МДА (рис. 1). МДА является маркером окислительно-восстановительных процессов, зависящих от генерации свободных радикалов. Долгое время считалось, что активные формы кислорода (АФК) и азота (NO), образующиеся в митохондриях, хлоропластах и пероксиосомах (органеллах, содержащих ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции), являются токсическими производными метаболизма, повреждающими биомолекулы и клеточные структуры [19, 20]. В последнее десятилетие установлена более значимая роль АФК в метаболизме растений и не только при стрессовом воздействии, но и в благоприятных условиях культивирования.

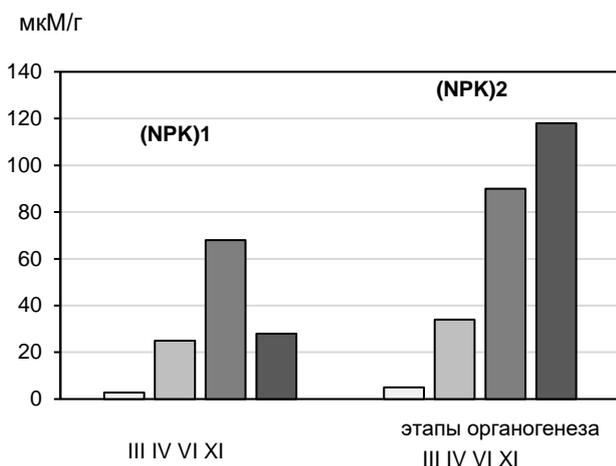


Рис. 1. Содержание МДА в яровой пшенице на разных фонах питания

Физиологическое действие реакционно короткоживущих свободных радикалов зависит от их количества в клетке, особенностей строения, продолжительности существования [21]. Положительными характеристиками АФК являются их высокая реактивность, многофункциональность и быстрая координация с биомолекулами, что позволяет им участвовать в регуляции физиологических процессов и выполнять функции сигналинга [22]. Как показано на рисунке 1, растения на более обеспеченном фоне питания отличались большими значениями МДА в ответственные этапы органогенеза (III-X), когда закладывались колосковые и цветковые зачатки, формировалось соцветие, проходили гаметогенез, оплодотворение, и начиналось образование зерновки. При прохождении микроспорогенеза (VI этап) отмечалось повышенное количество генерируемых свободных радикалов (см. рис. 1), что свидетельствует об изменении условий прорастания пыльцевого зерна. Исследования [24] показали, что на начальном этапе активации в пыльцевом зерне образуются АФК, влияя на эффективность прорастания пыльцевой трубки и процесс оплодотворения.

Повышение содержания АФК в листьях сопряжено с увеличением активности ионных каналов плазматической мембраны и экзоосмосом электронов из клетки.

Оценка проницаемости мембран для электролитов является показателем, который на протяжении 100 лет использовали как маркер стрессоустойчивости культурных растений. Считалось, что выход электролитов из клеток – это нерегулируемое, неспецифическое повреждение при действии экстремальных факторов. Однако с совершенствованием аналитических методов анализа было установлено, что отток электролитов – контролируемая реакция и выход минеральных ионов K^+ , Cl^- , NO_4^{2-} , NO_3^- и органических: малата, цитрата и других происходит и в благоприятных условиях культивирования вследствие деполяризации K^+ -активируемых каналов и неселективных катионных каналов.

В проведенных исследованиях высокая обеспеченность минеральным питанием способствовала повышению общего содержания электролитов, которое определяли после кипячения отобранных проб (рис. 2).

Увеличивалась и величина выхода электронов из живых неповрежденных листовых пластинок. Это свидетельствует о большей мобильности мембран на высоком фоне минерального питания.

Анализ фотосинтетических пигментов не выявил достоверных различий по содержанию хлорофилла *a* между фонами питания с III по VI периоды органогенеза. Содержание хлорофилла *b* и каротиноидов возрастало на фоне I до V этапа, при повышенном содержании NPK в среде культивирования – до конца микроспорогенеза (рис. 3).

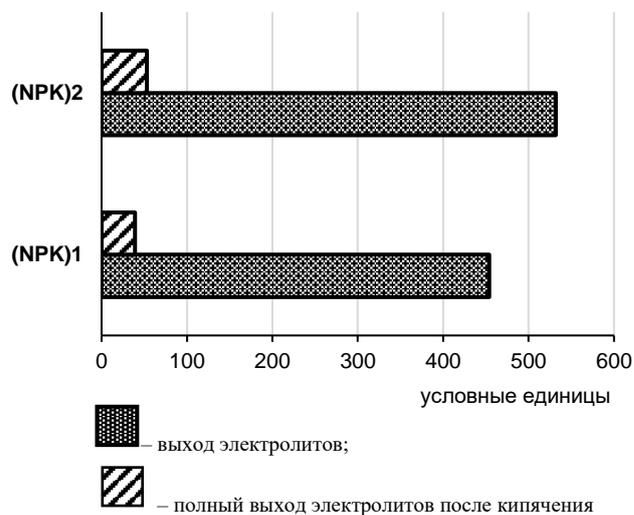


Рис. 2. Экзоосмос электролитов из листьев (VI этап органогенеза)

Более высокое на фоне II содержание хлорофилла и каротиноидов свидетельствует о более активной свето-собирающей способности растений, что направлено на повышение активности фотосинтеза. Также показано, что микроспорогенез тесно связан с метаболизмом каротиноидов [25]. Уменьшение содержания каротиноидов на пониженном фоне питания могло отразиться на фертильности пыльцы пшеницы.

Одним из морфологических параметров, связанных с фотосинтетической способностью растений и отражающих потенциальные возможности генотипа, является удельная поверхностная плотность листа (УППЛ), интегральный показатель структурных и функциональных элементов мезоструктуры [13]. УППЛ рассчитывается как отношение массы листовой пластины к ее площади, характеризует толщину листа и показывает затраты органического вещества на построение единицы листовой поверхности. Толщина листа зависит от размеров полевой и губчатой частей мезофилла, от размеров устьиц и степени жилкования. Считается, что величина УППЛ – видовой признак, варьирующий в зависимости от факторов среды: света, температуры и минерального питания [14, 18].

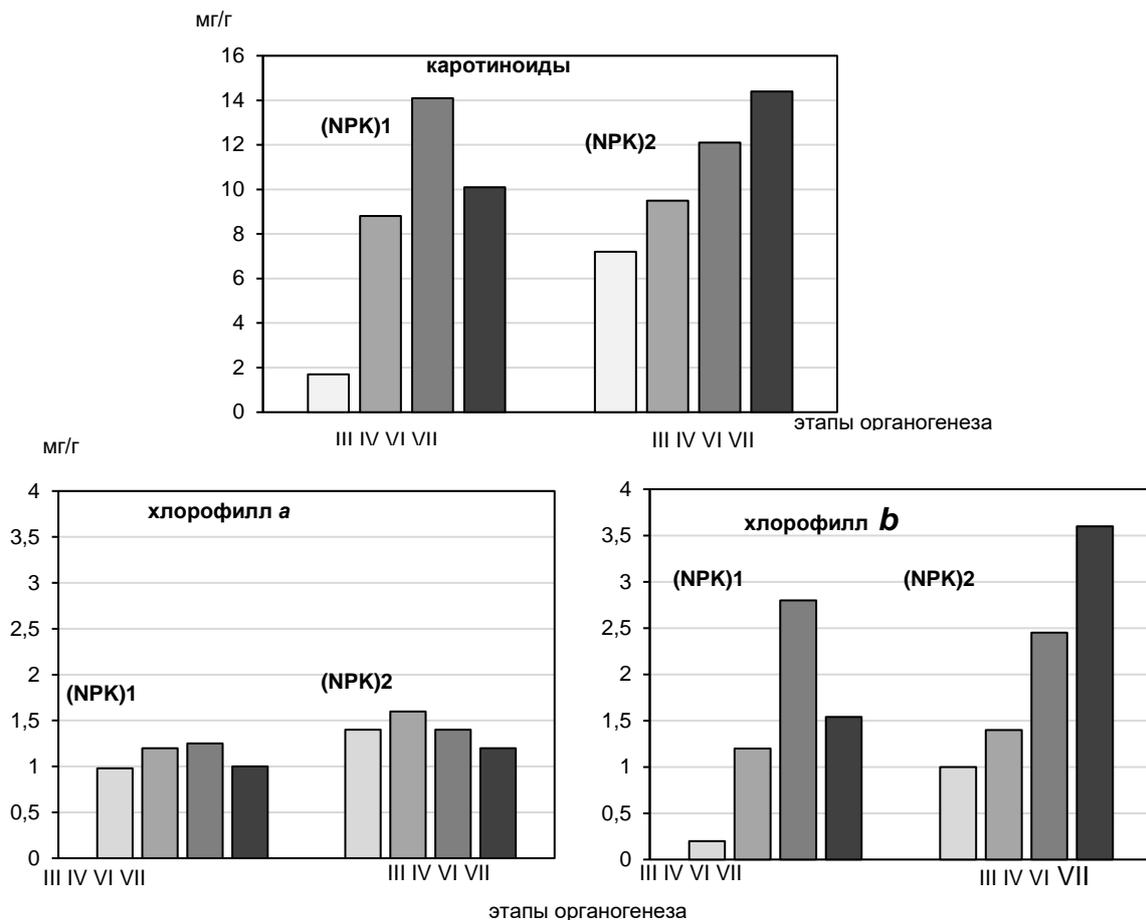


Рис. 3. Содержание каротиноидов и хлорофиллов при разной обеспеченности основными минеральными элементами

В проведенных исследованиях повышение уровня минерального питания приводило к возрастанию массы и площади листовой пластинки, при этом увеличивалось и соотношение этих величин, определяющее удельную поверхностную площадь листа (табл.). Возможно, это произошло из-за более компактной укладки клеток полисадной паренхимы и увеличения поступления ассимилятов на высоком фоне NPK. Величина УППЛ в листьях разных ярусов на VI и VIII этапах органогенеза была выше на фоне (NPK)₂. Однако на этом фоне в 5-м листе

на VI этапе развития при закладке продуктивных элементов на апексе побега толщина листа была ниже, вероятно, за счет усиления потребности в фотоассимилятах в зоне роста.

В некоторых работах отмечается, что высокие значения УППЛ способствуют формированию большой массы зерна из-за активизации донорно-акцепторных отношений между листом и репродуктивными органами [26].

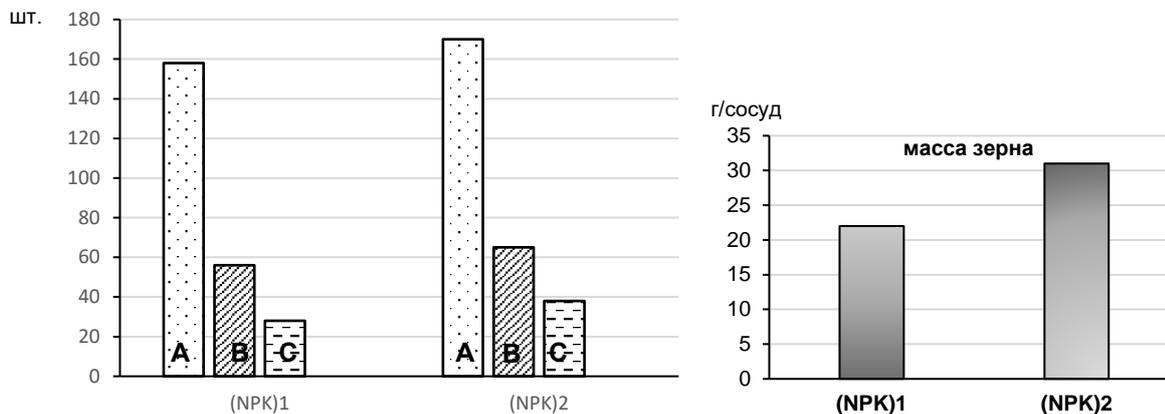
Удельная поверхностная плотность листьев в зависимости от обеспеченности NPK, г/дм²

Уровень питания	Лист							
	3		4		5		6	
	Этап развития							
	VI	VI	VI	VIII	VI	VII	VI	
(NPK) ₁	0,22±0,011	0,25±0,012	0,31±0,01	0,37±0,018	0,23±0,01	0,35±0,014	0,39±0,02	
(NPK) ₂	0,31±0,015	0,29±0,013	0,29±0,09	0,49±0,024	0,37±0,017	0,44±0,024	0,97±0,07	

Высокий уровень минерального питания способствовал закладке большего числа цветков: как общего количества, так и развитых цветков в главном колосе (рис. 4). Повышенная реализация зерен в колосе главного побега привела к большей массе зерна на этом уровне питания.

Заключение. Таким образом, высокая продуктивность при повышенном уровне минерального питания яровой пшеницы вызвана активизацией метаболизма, обусловленного физиолого-биохимическими парамет-

рами, такими как свободно-радикальное окисление мембран, выраженное в повышенном содержании МДА; возрастанием синтеза светособирающих пигментов и увеличением плотности листьев всех ярусов, что способствовало усилению интенсивности фотосинтеза и привело к заложению и реализации большего количества продуктивных элементов и продуктивности яровой пшеницы на высоком фоне питания.



А – общее количество цветков в главном колосе; В – количество развитых цветков в главном колосе; С – число зерен в главном колосе

Рис. 4. Влияние условий питания на элементы продуктивности и урожая зерна яровой пшеницы

Литература

1. Павлова В.Н., Караченкова А.А., Варчева С.Е. Региональный мониторинг агроклиматических условий формирования урожая при изменении климата // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2020. – № 596. – С. 55-77.
2. Павлова В.Н., Долгий-Трач В.А. Оценка агроклиматических ресурсов и климатических рисков при изменении климата на территории земледельческой зоны РФ. В кн. Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития, 2019. – С. 140-141.
3. Четина О.А., Боталова К.И., Кайгородов Р.В. Влияние щелочности и кислотности среды на состояние защитных систем *Triticum aestivum* L. и *Secale Cereale* L. // Физиология растений. – 2020. – Т. 67. – № 2. – С. 177-187.
4. Wissuwa M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency / *Plant Soil*. 2003. Т. 133. P. 1947-1958.
5. Lambers H., Shane M.W. Root Structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus matching morphological and physiological traits / *Ann. Bot.* 2006. № 98. P. 693-713.
6. Stitt M. Nitrate regulation of metabolism and growth / *Curr. Opin Plant Biol.* 1999. № 2. P. 178-186.
7. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Алехина Н.Д. Изменение активности антиоксидантных ферментов в корнях и листьях пшеницы в зависимости от формы и дозы азота в среде // Физиология растений. – 2004. – Т. 51. – № 5. – С. 686-691.
8. Полесская О.Г., Глазунова М.А., Алехина Н.Д. Дыхание и фотосинтез растений пшеницы в связи с их ростом и азотным статусом в разных условиях снабжения азотом // Физиология растений. – 1999. – Т. 46. – № 2. – С. 187-193.
9. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Андреева Е.Е., Горяева О.В., Глазунова М.А., Алехина Н.Д. Морфологические параметры донорного листа при акклимации пшеницы к условиям азотного питания // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – № 6. – С. 829-835.
10. Высоцкая Л.Б., Феоктистова А.В., Ахтиярова Г.Р., Коробова А.В., Кудоярова Г.Р. Сходство и различия в гормональной и ростовой реакции корней растений разных генотипов на дефицит фосфатов // *Агрохимия*. – 2021. – № 1. – С. 23-30.
11. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука. 2008. 598 с.
12. Куперман Ф.М., Ржанова Е.И., Мурашев В.В., Львова И.Н. Биология развития культурных растений. – М., 1982. – 343 с.
13. Poorter H., Niinemets U., Poorter L., Wright IY., Villar K. Causes and consequences of variation in leaf mass per area / *New Phytol.* V. 182. № 3. P. 565-588.
14. Икконен Е.Н., Шубаева Т.Г. Вариабельность отношения массы листа растения к его площади в условиях кратковременных ежесуточных понижений температуры // *Журнал общей биологии*. – 2020. – Т. 81. – № 1. – С. 47-53.
15. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. – М. МГУ, 2007. – 139 с.
16. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes methods. 1987. V. 148. P. 350-382.
17. Семенова А.С., Лукаткин А.С. Двойное действие цитодефа на стрессовые эффекты параквата в растениях озимой ржи // Физиология растений. – 2015. – Т. 62. – С. 827-838.
18. Васфилов С.П. Анализ причин изменчивости отношения сухой массы листа к его площади у растений // *Журнал общей биологии*. – 2011. – Т. 72. – № 6. – С. 436-454.
19. Mittler K. Oxidative stress antioxidants and stress tolerance / *Trends in Plant Science*. 2020. V. 7. Is 9. № 2. P. 405-410.
20. Jones D.P. Radical-free biology of oxidative stress / *Am. J. Physiol.* 2008. V. 295. P. 849-868.
21. Иванов В.В. Окислительный стресс как один из механизмов образования ствольных клеток в корне // *Биохимия*. – 2007. – Т. 72. – С. 1365-1370.
22. Caral R.J., Dolan L. The role of reactive oxygen species in cell growth / *J. Exp. Bot.* 2006. V. 57. P. 1829-1834.
23. Bajji M., Kinet J.M., Zuts S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat / *Plant growth regulation*. 2002. 36 (1). P. 67-70.
24. Смирнов А.В., Матвеева Н.П., Полесская О.Г., Ермаков И.П. Образование активных форм кислорода при прорастании пыльцевого зерна. Онтогенез. 2009. Т. 40. № 6. С. 425-434.
25. Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений // *Журнал общей биологии*. – 2020. – Т. 81. – № 4. – С. 297-310.
26. Босева О.И. Содержание белка и аминокислот в составе зерна триктале // *Изв. Горск. ГАУ*. – 2011. – Т. 48. – № 2. – С. 102-104.

INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SPRING WHEAT IN THE CRITICAL PERIOD OF DEVELOPMENT

L.V. Osipova, T.L. Kurnosova, I.A. Bykovskaya, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov" (All-Russian Research Institute of Agrochemistry)
12755, Russia, Moscow, Pryanishnikova str., 31A; E-mail: legos4@yandex.ru

Vegetation experiment with spring wheat of the Trizo variety was carried out under conditions of different provision of plants with mineral nutrition. It was determined that during the critical period of development, under conditions of an increased level of nutrition, there was a change in physiological and biochemical parameters in wheat plants: the level of free radical oxidation increased and the output of electrolytes from cells increased, which coincided with an increased content of chlorophyll b and carotenoids during this period and an increase in leaf density, as a result of which the sale of productive elements and the weight of spring wheat grain increased.

Keywords: spring wheat, malondialdehyde, chlorophyll a and b, carotenoids, electrolyte exoosmosis, specific leaf surface area, productivity.