

На почвах, где вносили основные минеральные элементы (NPK), уровень свободнорадикального окисления возрос примерно до одинаковых величин. Возможно, активная генерация компенсировалась ростом низкомолекулярных антиоксидантов: каротиноидов и хлорофилла *b*. На высоком фоне питания сохранялась зависимость продуктивности пшеницы от содержания подвижных форм фосфора в почве (см. рис. 2). На естественном фоне различия по продуктивности не коррелировали с содержанием МДА. Больше всего зерна сформировалось на почве с максимальным содержанием подвижного фосфора: 6,3 г/растение.

Заключение. Проведенные исследования показали, что в оптимальных условиях культивирования в растениях пшеницы в период формирования зачаточного колоса (VII этап органогенеза) обеспеченность минеральным питанием определяла интенсивность свободнорадикальных процессов и активность синтеза фотосинтетических пигментов. Увеличение содержания подвижного фосфора в почве приводило к повышению окислительно-восстановительного статуса растений и содержания хлорофилла *b* и каротиноидов на естественном фоне и при внесении NPK и коррелировало с интенсивностью роста колоса. На высоком фоне питания продуктивность пшеницы возрастала при повыше-

нии подвижности фосфора. На естественном фоне на I и II почвах сформировалась одинаковая масса зерна, на III почвенной разновидности зерновая продуктивность была выше.

Литература

1. Hächler M., Domann F.E. An epigenetic perspective on the free radical theory of development. *Free radic. biol. med.* 2007. V. 43. P. 1023-1036.
2. Кошкин Е.И., Гусейнов Г.Г. Экологическая физиология сельскохозяйственных культур. – М., 2020. – 576 с.
3. Mittler R. Oxidative stress antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science.* 2020. V. 7. is9. № 2. P. 405-410.
4. Прудников П.С., Голяева О.Д. Влияние дефицита калия на перекисное окисление липидов смородины красной /Сб. трудов конф. «Периодическая таблица химических элементов». – Орел, 2019. – С. 106-110.
5. Schachtman D.P., Reid R.J., Ayling S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell /*Plant Physiol.* 1998. V. 116. P. 447-453.
6. Alshar R.G., Donahue J.L., Cramer C.L. Reactive oxygen species and antioxidant relationship in green cells /*Physiol. Plant.* 1997. V. 100. P. 224-233.
7. Прадедова Е.В., Нимаева Е.В., Салеев Р.К. Редокс-процессы в биологических системах // *Физиология растений.* – 2017. – Т. 64. – № 6. – С. 433-445.
8. Sies H. Oxidative stress a concept in redox biology and medicine /*Redox. Biol.* 2015. V. 4. P. 180-183.
9. Иванова Л.А., Ронжина Д.А. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений // *Физиология растений.* – 2020. – Т. 67. – № 3. – С. 278-288.

UDK 633:57.045

THE INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION ON THE INTENSITY OF THE PRODUCTION PROCESS IN SPRING WHEAT

L.V. Osipova, Dr. Sc. (Biol.)¹; I.V. Vernichenko, Dr. Sc. (Biol.)²; N.V. Puhalskaya, Dr. Sc (Biol.)¹;
T.L. Kurnosova, C. Sc. (Biol.)¹; I.A. Bykovskaya¹; A.S. Belabusov²

¹*Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry, Federal Agency Research Organization,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550, Russia;*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
ul. Timiryazevskay, 49, Moscow, 127550, Russia*

In vegetative experiments, the influence of different soil provision with mineral elements on the intensity of lipid peroxidation (POL), the activity of the synthesis of photosynthetic pigments and the productivity of spring wheat (Triticum aestivum L.) were studied. It is shown that an increase in the content of mobile phosphorus in the soil leads to an increase in the redox status of plants and an increase in the content of carotenoids. The introduction of basic mineral elements (NPK) led to an increase in the level of free radical oxidation, activation of the synthesis of chlorophyll b and carotenoids on all soils with different content of mobile phosphorus, which had a positive effect on the growth function of grain productivity of wheat.

Keywords: spring wheat, mineral elements, photosynthetic pigments, free radical oxidation, productivity

УДК 631.811.98

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.14

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ УДОБРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ФОТОСИНТЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛИСТОВОГО АППАРАТА ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ

Т.Ю. Вознесенская, И.П. Можарова, к.с.-х.н.,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

127434, Москва, ул. Прянишникова, 31А, Россия, elgen@mail.ru

Представлены данные о влиянии различных комплексов микроудобрений и комплексов аминокислот на продуктивность листового аппарата озимой пшеницы. Установлено, что продуктивность листовой поверхности в течение всей вегетации достигала максимальных значений при обработке семян и некорневых подкормках комплексом аминокислот с микроэлементами на высоком (N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀) фоне минеральных удобрений. При применении комплексов в течение вегетации озимой пшеницы сорта Вершина возрастает фотосинтетический потенциал растений за счет увеличения площади листовой поверхности.

Ключевые слова: инновационные комплексы, комплекс аминокислот, микроэлементы, озимая пшеница, фотосинтез, ассимиляционная поверхность листьев, продуктивность листового аппарата.

Один из важных показателей фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы – величина их листовой поверхности, при помощи которой улавливается световая энергия солнечной радиации и в процессе фотосинтеза преобразуется в потенциальную энергию органического вещества.

Активность нарастания и размер листового аппарата находятся под воздействием многочисленных агротехнических, климатических и биологических факторов: плодородия почв, сроков посева, погодных условий, сортовых особенностей, характера кущения, высоты растений и др.

Нормальное развитие растительного организма обеспечивают микроэлементы, участвующие в регулировании всех жизненных процессов, что приводит в конечном результате к повышению продуктивности растений [5, 6].

Известно, что в создании урожая главная роль отводится фотосинтезу, основным органом которого является лист. Именно накапливающиеся в листьях ассимиляты образуют продуктивные органы (зерновки). Поэтому очень важно для получения высокого хозяйственного урожая сохранить после колошения возможно большую листовую поверхность [5, 7].

На размеры листового аппарата и продолжительность фотосинтеза влияют подкормки растений. Микроэлементы (В, Мп, Мо, Сu, Zn) и аминокислоты положительно воздействуют на процессы листообразования и фотосинтез, способствуют повышению устойчивости растений к стрессам, в частности к засухоустойчивости [1-4].

Цель исследования – изучить влияние применения инновационных удобрительных комплексов на особенности формирования листового аппарата и фотосинтез озимой пшеницы в условиях Краснодарского края.

Методика. Исследования выполняли в 2014-2017 г. на опытном поле Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ г. Краснодар).

В опыте испытывали следующие удобрительные комплексы:

а) *Комплекс микроэлементов в виде неорганических солей (смесь, состоящая из неорганических солей и борной кислоты). Содержит (%): борная кислота (В) – 17,5, цинк сернокислый (Zn) – 25,0, медь сернокислая (Cu) – 25,0, марганец сернокислый (Mn) – 32,5, молибдат аммония – 52,0. Расход питательных элементов (г/га), входящих в состав комплекса при использовании:

1-я доза – борная кислота – 2,9, цинк сернокислый – 15,0, медь сернокислая – 2,0, марганец сернокислый – 7,7, молибдат аммония – 0,2;

2-я доза – борная кислота – 8,7, цинк сернокислый – 45,0, медь сернокислая – 6,0, марганец сернокислый – 23,1, молибдат аммония – 0,6;

3-я доза – борная кислота – 8,7, цинк сернокислый – 90,0, медь сернокислая – 2,0, марганец сернокислый – 46,2, молибдат аммония – 1,2.

Препаративная форма – жидкость.

б) *Комплекс хелатов микроэлементов (смесь, состоящая из хелатов микроэлементов и молибдата аммония). Содержит (%): борэтанолламин (В) – 17,0, Cu ЭДТА – 15,0, Мп ЭДТА – 13,0, Zn ЭДТА – 15,0, молибдат аммония (Мо) – 52,0. Расход питательных элементов (г/га), входящих в состав комплекса при использовании:

1-я доза – борэтанолламин (В) – 3,0, Cu ЭДТА – 6,7, Мп ЭДТА – 19,3, Zn ЭДТА – 25,0, молибдат аммония – 0,2;

2-я доза – борэтанолламин (В) – 9,0, Cu ЭДТА – 10,2, Мп ЭДТА – 57,9, Zn ЭДТА – 75,0, молибдат аммония – 0,6;

3-я доза – борэтанолламин (В) – 18,0, Cu ЭДТА – 20,4, Мп ЭДТА – 115,8, Zn ЭДТА – 150,0, молибдат аммония – 1,2.

Препаративная форма – жидкость.

в) Комплекс аминокислот с микроэлементами – органоминеральное удобрение на основе растительного экстракта с добавлением микроэлементов. Содержит (%): органическое вещество – 40, аминокислоты – 10,0, в т.ч. свободные аминокислоты – 8,0, общий азот (N) – 5,0, цинк водорастворимый (Zn) – 0,75, марганец водорастворимый (Mn) – 0,5, бор водорастворимый (В) – 0,1, железо водорастворимое (Fe) – 0,1, медь водорастворимая (Cu) – 0,1, молибден водорастворимый (Mo) – 0,02, кобальт водорастворимый (Co) – 0,01; pH 6,5.

Препаративная форма – жидкость.

г) Комплекс аминокислот – органоминеральное удобрение на основе экстрактов из сырья растительного происхождения. Содержит (%): органическое вещество – 60,0, азот (N) – 7,0, аминокислоты – 14,4, в т.ч. свободные аминокислоты – 12,0, pH – 6,6.

Препаративная форма – жидкость.

Исследования проводили на пшенице озимой сорта Вершина. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Малогумусный: содержание гумуса в пахотном горизонте 2,54-2,69%. Реакция почвенного раствора нейтральная или слабощелочная, щелочная.

Предшественник – пшеница озимая. Технология возделывания пшеницы озимой – общепринятая для данной зоны. Испытания проводили на фоне минерального питания: фон – $N_{100}P_{100}K_{100}$. Нитроаммофоску NPK 16:16:16 вносили осенью под предпосевную обработку почвы.

Схема опыта:

1. Контроль, $N_0P_0K_0$ – без обработки семян и растений.

2. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ – без обработки семян и растений.

3. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс микроэлементов в виде неорганических солей** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кущение – выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **1 доза/м(га).**

4. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс микроэлементов в виде неорганических солей** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кущение – выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **2 дозы/м(га).**

* Содержание микроэлементов в составе Комплексов эквивалентно содержанию их в составе комплекса аминокислот с микроэлементами.

5. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс микроэлементов в виде неорганических солей** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **3 дозы/т(га)**.

6. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс хелатов микроэлементов** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **1 доза/т(га)**.

7. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс хелатов микроэлементов** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение – начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **2 дозы/т(га)**.

8. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс хелатов микроэлементов** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **3 дозы/т(га)**.

9. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот с микроэлементами** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **0,5 л/т(га)**.

10. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот с микроэлементами** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **1,5 л/т(га)**.

11. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот с микроэлементами** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **3,0 л/т(га)**.

12. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **1,0 л/т(га)**.

13. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка

растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **2,0 л/т(га)**.

14. Фон $N_{100}P_{100}K_{100}$ + **Комплекс аминокислот** – предпосевная обработка семян + 2-кратная обработка растений: 1-я – в фазе кушение-выход в трубку, 2-я – в фазе цветение-начало колошения. Норма расхода агрохимиката – **3,0 л/т(га)**.

Учетная площадь делянки – 25 м², повторность 4-кратная.

Предпосевную обработку семян проводили методом протравливания. Подкормку растений растворами опытных комплексов давали в фазы кушение-выход в трубку и цветение – начало колошения с использованием ранцевого опрыскивателя марки Oгion–12. Дозы комплексов приняты согласно ранее установленным рекомендациям.

Растительные образцы отбирали через 10 дней после последней обработки.

Исследования осуществляли в соответствии с методическими указаниями для проведения летней учебной практики по физиологии растений (г. Краснодар).

По агроклиматическому районированию Краснодарский край относится к зоне недостаточного увлажнения. За год выпадает 450-550 мм осадков. Сумма положительных температур за период со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C составляет 3200-3400°C и более.

Большая часть осадков выпадает в осенне-зимний период – 306-397 мм, или 48,5-64,0% от общего количества выпавших осадков. Это способствует накоплению хороших запасов продуктивной влаги к моменту возобновления весенней вегетации.

Результаты и их обсуждение. Представленные в таблице данные показывают, что применение в технологии возделывания озимой пшеницы (на семенах и растениях) исследуемых комплексов способствует нарастанию листового аппарата, его работоспособности, а также срока жизни листьев.

Абсолютные значения показателей числа и площади листьев в опытных вариантах существенно превысили контрольные варианты.

Нарастание листового аппарата растений озимой пшеницы (полевой опыт, 2015-2016 г.)

Вариант	Число листьев на 1 раст.	Площадь листьев, см ² /раст	Продуктивность работы листьев, г/дм ²	Содержание в листьях пигментов, мг/г сыр. в-ва	
				Хл. а + б	каротиноиды
Контроль 1. Без обработки, $N_0P_0K_0$	4,3	67,2	6,83	4,58	1,89
Фон, $N_{100}P_{100}K_{100}$, без обработки	4,9	78,8	6,69	4,87	1,98
Фон + Комплекс микроэлементов в виде неорганических солей:					
1-я доза	5,2	83,2	6,42	5,60	2,29
2-я доза	5,3	89,0	6,21	5,70	2,35
3-я доза	5,4	90,8	6,27	5,80	2,41
Фон + Комплекс хелатов микроэлементов:					
1-я доза	5,5	84,6	6,37	5,59	2,30
2-я доза	5,6	92,4	6,26	5,76	2,30
3-я доза	5,5	91,2	6,20	5,68	2,33
Фон + Комплекс аминокислот и микроэлементов:					
0,5 л/т + 0,5 л/га	5,4	86,0	6,42	5,52	2,22
1,5 л/т + 1,5 л/га	5,8	94,8	6,53	5,82	2,42
3,0 л/т + 3,0 л/га	5,6	92,5	6,32	5,49	2,21
Фон + Комплекс аминокислот:					
1,0 л/т + 1,0 л/га	5,3	84,2	6,47	5,49	2,20
2,0 л/т + 2,0 л/га	5,5	90,2	6,34	5,52	2,21
3,0 л/т + 3,0 л/га	5,6	92,0	6,55	5,71	2,34

На растениях в контрольном варианте ($N_0P_0K_0$, без обработки) число листьев и их площадь были меньше,

чем на фоне минеральных удобрений ($N_{100}P_{100}K_{100}$, без обработки). Сила воздействия исследуемых комплек-

сов на количество листьев на растениях и нарастание листовой поверхности в значительной степени зависели от вида комплекса и его дозы применения. Более интенсивное воздействие на листообразование наблюдалось при применении опытных комплексов в двойной и тройной дозах.

Влияние комплексов в двойной и тройной дозах на растения было неоднозначным: интенсивность нарастания листовой поверхности достигала максимальных значений в варианте с применением комплекса аминокислот с микроэлементами в двойной дозе – выше на 34,9 и 18,4%, соответственно, контрольного и фонового вариантов. Тройная доза этого комплекса (3,0 л, т/га) была менее эффективна.

Фотосинтетическая активность растения направлена на образование мощного листового аппарата, эффективность которого зависит от жизнедеятельности и активной его работоспособности. Однако, в период после цветения, как правило, ускоряются старение листьев и их отмирание. Следовательно, скорость фотосинтеза определяет возраст листьев. Применяя в технологии возделывания культуры исследуемые комплексы, обладающие рострегулирующей активностью, можно продлить период фотосинтетической зрелости листьев и на некоторое время остановить их преждевременное старение, повысив жизнеспособность.

Существенное влияние на фотосинтез оказывают минеральные вещества. Так, дефицит N, P, K, Mg, Mn, Mo, Cu, B, Zn отрицательно сказывается на скорости фотосинтеза [5, 6].

Содержание хлорофилла – важный фактор, влияющий на деятельность листового аппарата. У здоровых растений, развивающихся в нормальных условиях, недостаток хлорофилла отражается на скорости фотосинтеза, старение листьев ускоряет разложение хлорофилла с последующим падением скорости фотосинтеза.

Данные таблицы указывают на тот факт, что предпосевная обработка семян и двукратная обработка растений (1-я в начале выхода в трубку, 2-я в начале колошения) комплексами, сохраняя листья более длительное время в активном состоянии, способствовали повышению содержания пигментов. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях колебалось в зависимости от доз данных комплексов. Минимальное количество хл. а + б и каротиноидов наблюдалось в контрольном варианте (без обработки $N_0P_0K_0$). Внесение минеральных удобрений ($N_{100}P_{100}K_{100}$) увеличивало содержание хлорофилла на 6,4 и каротиноидов на 4,8 %. Обработка семян и проведение двух подкормок всех комплексов привела к дальнейшему повышению содержания пигментов. Содержание хл. а + б и каро-

тиноидов в листьях растений было максимальным в вариантах с применением второй дозы Комплекса аминокислот и микроэлементов. Обусловлено это тем, что все входящие в состав опытных удобрений микроэлементы либо участвуют в синтезе пигментов, либо способствуют повышению содержания их в листьях озимой пшеницы.

Продуктивность работы листьев – это отношение их массы к площади, максимального значения она достигает в период фотосинтетической зрелости листьев. Применение в технологии исследуемых комплексов позволило отодвинуть старение листьев и усилить процесс перераспределения накопленных ассимилятов в формирующейся зерновке. В результате отношение массы листьев к их площади уменьшилось, и значения продуктивности работы в опытных вариантах были более низкими, чем на контроле.

Таким образом, применение новых инновационных комплексов: Комплекса микроэлементов в виде неорганических солей, Комплекса хелатов микроэлементов, Комплекса аминокислот с микроэлементами и Комплекса аминокислот, способствует формированию мощного листового аппарата, который может осуществлять фотосинтез на высоком уровне.

Закключение. Исследования показали, что на формирование листовой поверхности озимой пшеницы Комплексы оказали существенное влияние.

Применение Комплекса аминокислот с микроэлементами (в дозе 1,5 л/т предпосевная обработка семян + 1,5 л/га двукратная подкормка растений в вегетацию) способствовало формированию мощного листового аппарата растений, а содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях растений озимой пшеницы было максимальным.

Литература

1. Володько, И.К. Микроэлементы и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды / И.К. Володько. – М.: Наука и техника, 1983. – 192 с.
2. Кибаленко А.П. Значение бора в метаболизме растительной клетки. В сб.: Микроэлементы в обмене веществ растений. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 93-125.
3. Рудакова Э.В., Каракис К.Д. Значение цинка в регуляции ростовых процессов у растений. В сб.: Микроэлементы в обмене веществ растений. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 126-158.
4. Островская Л.К. Физиологическая роль меди и основы применения медных удобрений. – Киев, 1961. – 285 с.
5. Устенко Г.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах – основа формирования высоких урожаев. В кн. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 37-71.
6. Шеуджен, А. Х. Диагностика минерального питания растений / А.Х. Шеуджен, А.В. Загорулько, Л.И. Громова, Л.М.Онищенко, И.А. Лебедевский и др. – Краснодар, 2009. – 298 с.
7. Petr, J. Nektera hlediska tvorby vynosu obilovin/ J. Petr. Sb. UVTI-Genetica a slechtenf, 7,1, pnloha I-XII, 1971.

EFFECT OF INNOVATIVE FERTILIZER COMPLEXES ON PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTIVITY OF THE LEAF APPARATUS OF WINTER WHEAT

Voznesenskaya T.Yu., Mozharova I.P. FSBSI "VNII Agrochemistry"
T. 89778585568, 89853638409, tatgrab@mail.ru, elgen@mail.ru

The article presents data on the effect of different complexes of microfertilizers and complexes of amino acids on the productivity of the leaf apparatus of winter wheat. It was established that the leaf surface productivity during the whole vegetation period was the highest when the complex of amino acids with micronutrients on high ($N_{100}P_{100}K_{100}$) background of mineral fertilizers was applied to seeds and foliar dressing. When using the complexes during the growing season of winter wheat cultivar Vershina increases the photosynthetic potential of plants by increasing the leaf surface area.

Keywords: innovative complexes, amino acid complex, micronutrients, winter wheat, photosynthesis, assimilative surface area of leaves, productivity of leaf apparatus