

УДК 57.023:581.1

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ПОСЕВАХ И ДИНАМИКА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Никитин С.Н.

ФГБНУ «Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Ульяновск,
e-mail: S_nikitin@mail.ru

В статье представлен процесс формирования фотосинтетического аппарата яровой пшеницы при применении биологических препаратов. Исследованиями установлено, что интенсивность нарастания листовой поверхности в течение всей вегетации достигала максимальных значений при инокуляции семян бактофосфином в смеси с ЖУСС-2 (жидкий удобрительно-стимулирующий состав) на фоне минеральных удобрений. При применении биопрепаратов интенсивность нарастания фотосинтетического потенциала посевов в течение вегетации яровой пшеницы возрастает за счет увеличения листовой поверхности. На характер формирования листовой поверхности яровой пшеницы минеральные удобрения и биопрепараты оказали непосредственное воздействие. Максимальные величины чистой продуктивности фотосинтеза наблюдались в фазе колошения, т.е. в период наибольшего развития листовой поверхности растений яровой пшеницы. Инокуляция семян способствует увеличению фотосинтетической деятельности растений в посевах и улучшению динамики ростовых процессов. Исследованиями установлено, что на характер формирования листовой поверхности яровой пшеницы минеральные удобрения и биопрепараты оказали непосредственное воздействие. Инокуляция семян биопрепаратами увеличивает данный показатель фотосинтетической деятельности, вероятно, за счет стимулирующего действия микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов, которая начинает проявляться с фазы кущения. Как при применении минеральных удобрений, так и без них, наибольшую площадь листьев имели растения на варианте бактофосфин + ЖУСС. Инокуляция семян способствует увеличению фотосинтетического потенциала посевов в течение вегетации за счет увеличения листовой поверхности. Инокуляция на фоне минеральных удобрений дает возможность формирования более высокого фотосинтетического потенциала посевов яровой пшеницы. При инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами и препаратом ЖУСС-2 проявляется тенденция к повышению чистой продуктивности фотосинтеза как на неудообренном фоне, так и на фоне минеральных удобрений.

Ключевые слова: фотосинтетическая деятельность, ассимиляционная поверхность листьев, чистая продуктивность фотосинтеза, яровая пшеница, биологические препараты

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PLANTS IN CROPS AND DYNAMICS OF GROWTH PROCESSES IN THE APPLICATION OF BIOLOGICAL PRODUCTS

Nikitin S.N.

Ulianovsk Scientific and Research Institute of Agriculture, Ulianovsk, e-mail: S_nikitin@mail.ru

The article presents the process of formation of the photosynthetic apparatus of spring wheat with the application of biological products. Studies have shown that the growth rate of the leaf surface throughout the growing season, reached maximum values at inoculation of seeds with bactofosfin in a mixture of LFC-2 on the background of mineral fertilizers. When applying biological products, the intensity increase photosynthetic capacity of crops during the growing season of spring wheat increased by increasing the leaf surface. On the nature of the formation of the leaf surface of spring wheat, mineral fertilizers and biological products had a direct impact. The maximum value of net productivity of photosynthesis was observed at the heading stage, i.e. during the period of greatest development of the leaf surface of spring wheat. Inoculation of seed helps to increase photosynthetic activity of plants in crops and to improve the dynamics of growth processes. Studies have established that the nature of the formation of the leaf surface of spring wheat, mineral fertilizers and biopreparations had a direct impact. Inoculation of seeds by biological products increases the rate of photosynthetic activity, probably due to the stimulating action of microorganisms included in the composition of biopreparations, which begins to emerge from the phase of tillering. In the application of mineral fertilizers, and without them, the greatest leaf area had plants on the option bactofosfin + LFC-2. The inoculation of seeds increases the photosynthetic capacity of crops during the growing season due to the increase of the leaf surface. Inoculation on the background of mineral fertilizers allows formation of higher photosynthetic capacity of spring wheat. By inoculation of seeds of spring wheat biologics and drug LFC-2 shows the trend of increase in net productivity of photosynthesis as on not fertilized background and on the background of mineral fertilizers.

Keywords: photosynthetic activity, assimilative surface of leaves, the net productivity of photosynthesis, spring wheat, biological substances

Взаимосвязь растений в агроценозе носит непостоянный характер, зависящий от многих факторов. Главной задачей для получения высоких урожаев является создание такого посева, в котором бы максимально раскрывались потенциальные возможности

фотосинтетической деятельности растений в агроценозе. Этого можно добиться при создании благоприятных условий для роста и развития растений.

Ряд авторов [3, 14] рассматривает рост растений как процесс дифференцирова-

ния организма за счет образования новых и увеличения старых элементов его структуры (молекул, клеток, тканей и органов), оказывающий решающее влияние на распределение, перераспределение и использование образовавшихся при фотосинтезе и метаболизме органических веществ, а также поглощение минеральных солей и воды, идущих на образование поверхности органов и тканей, их регенерацию и на запасные отложения. Рост растения суммирует в себе и венчает многие другие процессы жизнедеятельности растения, выражая в известной мере баланс процессов синтеза и распада веществ в организме при его взаимодействии с условиями внешней среды.

Рост растения и его биологическая продуктивность – результат, прежде всего, фотосинтетической деятельности, в ходе которой образуется до 95% органических соединений. Поэтому рост растения, формативный, органообразовательный и рост как увеличение сухой биомассы начинается, главным образом, вслед за формированием фотосинтетической системы листа и осуществления процесса фотосинтеза. Лист как орган фотосинтеза является центром образования первичных продуктов, их метаболизации и эвакуации в органы запаса [2, 15].

Целью данной работы являлось выявление особенностей формирования фотосинтетической деятельности растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов и минеральных удобрений.

Материалы и методы исследования

Организация полевых опытов, проведение наблюдений и лабораторных анализов осуществлялось по общепринятым методикам, изложенным в следующих источниках: «Методика опытного дела» [1], «Фотосинтетическая деятельность растений в посевах» [11], «Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии» [12].

Проводили следующие учеты и анализы:

– фенологические наблюдения согласно методике государственного сортоиспытания [13];

– площадь листовой поверхности определялась методом «высечки» на 10 растениях с делянки на двух несмежных повторностях по фазам развития растений по формуле

$$S = \frac{PS_1n}{P_1},$$

где S – общая площадь листьев одного растения, см²; S_1 – площадь одной высечки, см²; P – общая масса листьев одного растения, г; P_1 – масса высечек, г; n – число высечек. Зная густоту стояния растений на 1 га рассчитывалась площадь листьев на 1 га;

– содержание сухого вещества определялось отбором средней пробы измельченных растений. Из каждого образца отбирались навески по 50 г в двукратной повторности, фиксировались и высушивались в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы. Содержание сухого вещества определялось по формуле

$$X = \frac{A \times 100}{B},$$

где A – масса навески после высушивания, г; B – масса навески до высушивания, г;

– чистая продуктивность фотосинтеза вычислялась по формуле Кидда, Веста и Бриггса:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{(L_1 + L_2) \times 0,5 \times n},$$

где ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза; B_1 и B_2 – сухая биомасса пробы урожая в начале и конце учетного периода, г; $B_2 - B_1$ – прирост сухой массы за учетный период n дней, г; $(L_1 + L_2) \times 0,5$ – средняя работавшая площадь листьев за этот промежуток времени, м²; n – число дней.

Минеральные удобрения аммиачная селитра, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий вносили под предпосевную культивацию. Обработка семян бактериальными препаратами и препаратом ЖУСС-2 (жидкий удобрительно-стимулирующий состав) проводили за 1–2 дня до посева. Повторность опыта 4-кратная. Учетная площадь делянок 42 м² (2,1×20).

Результаты исследования и их обсуждение

Формирование фотосинтетического аппарата представляет сложный процесс. В ранние фазы роста и развития преобладают процессы новообразования и роста листьев, а в более поздние – процессы отмирания, связанные с усиленной транспортировкой пластических веществ в репродуктивные органы [9]. Накопление и запасаение энергии в процессе фотосинтеза сопровождается накоплением биомассы, служащей структурным и энергетическим материалом, обеспечивающим существование растений [15].

Максимальные урожаи могут быть сформированы посевами с оптимальной площадью листьев, причем важно, чтобы она быстро нарастала до максимальной величины и долго удерживалась на достигнутом уровне без резкого снижения к концу вегетации, максимально поглощая солнечную радиацию [10]. У культур, потенциально способных к формированию очень большой листовой поверхности, к которым относятся, в частности, злаки [8], степень ее фактического развития, а тем самым и факторы фотосинтетической деятельности, лимитирующие урожайность, решающим образом зависят от условий выращивания.

Если ресурсы влаги и питания недостаточны, то основным фактором, лимитирующим урожайность растений, является недостаточное развитие листовой поверхности, а на бедных почвах – и низкая производительность ее работы.

Основными показателями фотосинтетической деятельности растений являются: площадь листьев, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза и коэффициент использования фотосинтетически активной радиации. Величина площади листьев складывается из площади листьев отдельных растений и в различной степени зависит от периода вегетации, погодных условий выращивания, сорта, густоты растений, обеспеченности их питательными веществами и т.д.

Исследования [4, 5] указывают, что более продуктивным может быть то растение, которое отличается менее интенсивным фотосинтезом, но больший процент ассимилятов использует на образование листьев и формирует большую ассимиляционную поверхность. Поэтому очень важно агротехническими мероприятиями в наиболее короткие сроки добиваться оптимальной площади листьев растений.

Имеется немало указаний в литературе, что с увеличением ассимиляционной площади листьев увеличивается урожай. Однако положительная связь этих двух процессов имеет предел, при котором большая листовая поверхность из-за взаимного затенения снижает интенсивность фотосинтеза, в результате чего увеличивается непродуктивная часть урожая и уменьшается продуктивная.

Наши исследования показывают, что в начале развития растений яровой пшеницы от появления всходов до фазы кущения только начинают проявляться различия вариантов по площади листьев. Площадь листьев в фазу кущения изменяется в пределах 7,5–8,9 тыс. м²/га, а на фоне минеральных удобрений 9,1–11,4 тыс. м²/га (табл. 1). При инокуляции семян наблюдается тенденция к увеличению ассимиляционной поверхности листьев, особенно это заметно при применении бактофосфин + ЖУСС-2. По-видимому, в данный период действие биопрепаратов только начинает проявляться [6].

В фазе трубкования наблюдался более интенсивный рост и существенное увеличение ассимиляционной поверхности листьев по всем вариантам и варьировалось от 26,2 до 31,6 тыс. м²/га, а на фоне удо-

брений – от 28,9 до 34,1 тыс. м²/га. Более интенсивное нарастание листовой поверхности наблюдалось при инокуляции семян биопрепаратами. Так, увеличение площади листьев на этих вариантах относительно контроля составляло 9,5–20,6% (фон N₀P₀K₀) и 7,6–18,0% (фон N₃₀P₃₀K₃₀). В фазе колошения площадь листовой поверхности находилась в пределах 36,6–42,9 тыс. м²/га, а на удобренном фоне 40,4–46,2 тыс. м²/га. При этом на всех исследуемых вариантах этот показатель был выше по сравнению с контролем на 7,9–17,2%, а на фоне минеральных удобрений – 5,0–14,4%. Нами отмечено, что интенсивность нарастания листовой поверхности в течение всей вегетации достигала максимальных значений при инокуляции семян бактофосфином в смеси с ЖУСС-2 на фоне минеральных удобрений.

Показатель площади листьев не всегда дает полную характеристику фотосинтетической деятельности посева, поскольку исключительно важно время, когда сформировалась максимальная площадь листьев и сколько дней она работала на накопление урожая.

Важнейшим показателем характеристики продолжительности фотосинтетической работы посева за всю вегетацию или определенный период является показатель – фотосинтетический потенциал посева (ФПП), характеризующий собой сумму ежесуточных показателей площади листьев на гектар посева и выражается в м²·день/га [7, 8].

Наши исследования показали, что при применении биопрепаратов интенсивность нарастания ФПП в течение вегетации яровой пшеницы возрастает за счет увеличения листовой поверхности. Так, в фазу кущения ФПП при значениях на контроле – 0,083 млн м²·дней/га по вариантам варьировался от 0,090 до 0,099 млн м²·дней/га (табл. 2). Такая же закономерность прослеживалась и в дальнейшем.

В фазе трубкования на контроле ФПП составил 0,196 млн м²·дней/га; на исследуемых вариантах находился в пределах от 0,216 до 0,236 млн м²·дней/га. В фазу колошения фотосинтетический потенциал посевов повышается на 8,8–18,6% относительно контроля. Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на интенсивность нарастания ФПП, но закономерность при этом сохранилась.

Рост и фотосинтез растений составляют основу единого продукционного процесса,

и основным показателем фотосинтетической продуктивности растений является накопление ими сухой массы в пересчете на единицу сплошной листовой поверхности за определенный период [2, 7].

Ведущая роль в формировании урожайности принадлежит чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), которая характеризует

активность работы ассимиляционной поверхности листьев в течение вегетации. В связи с этим продуктивность фотосинтеза широко изучается в различных почвенно-климатических условиях для выяснения факторов, способствующих повышению продуктивности культурных растений и лимитирующих ее продуктивность.

Таблица 1

Влияние биопрепаратов на ассимиляционную поверхность листьев, тыс. м²/га (среднее за 3 года)

Варианты	Фазы развития		
	кущение	трубкование	колошение
1. Контроль	7,5	26,2	36,6
2. Азотовит	8,6	28,7	39,5
3. Бактофосфин	8,1	29,5	40,7
4. ЖУСС-2	8,7	30,7	41,5
5. Азотовит + бактофосфин	8,4	29,7	40,9
6. Азотовит + ЖУСС-2	8,5	30,7	40,7
7. Бактофосфин + ЖУСС-2	8,9	31,6	42,9
8. Азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	8,1	28,9	40,5
9. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ (Фон)	9,1	28,9	40,4
10. Фон + азотовит	9,8	31,2	42,6
11. Фон + бактофосфин	9,8	31,1	42,4
12. Фон + ЖУСС-2	10,6	33,3	44,3
13. Фон + азотовит + бактофосфин	9,8	32,2	43,8
14. Фон + азотовит + ЖУСС-2	11,2	34,1	45,7
15. Фон + бактофосфин + ЖУСС-2	11,4	34,1	46,2
16. Фон + азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	10,1	32,2	44,2

Таблица 2

Влияние биопрепаратов на фотосинтетический потенциал посевов, млн·м²·дней/га (среднее за 3 года)

Варианты	Фазы развития		
	кущение	трубкование	колошение
1. Контроль	0,083	0,196	0,431
2. Азотовит	0,095	0,216	0,469
3. Бактофосфин	0,090	0,219	0,483
4. ЖУСС-2	0,097	0,229	0,496
5. Азотовит + бактофосфин	0,093	0,222	0,487
6. Азотовит + ЖУСС-2	0,094	0,228	0,490
7. Бактофосфин + ЖУСС-2	0,099	0,236	0,511
8. Азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	0,090	0,216	0,476
9. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ (Фон)	0,101	0,221	0,476
10. Фон + азотовит	0,107	0,238	0,509
11. Фон + бактофосфин	0,109	0,238	0,506
12. Фон + ЖУСС-2	0,117	0,255	0,534
13. Фон + азотовит + бактофосфин	0,109	0,245	0,522
14. Фон + азотовит + ЖУСС-2	0,124	0,263	0,548
15. Фон + бактофосфин + ЖУСС-2	0,127	0,265	0,552
16. Фон + азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	0,112	0,246	0,525

Таблица 3

Влияние биопрепаратов на чистую продуктивность фотосинтеза, г/м²·сутки (среднее за 3 года)

Варианты	Фазы развития		
	кущение	трубкование	колошение
1. Контроль	2,3	4,5	5,8
2. Азотовит	2,5	4,6	6,2
3. Бактофосфин	2,5	4,8	6,2
4. ЖУСС-2	2,8	5,0	6,3
5. Азотовит + бактофосфин	2,6	4,7	6,0
6. Азотовит + ЖУСС-2	2,9	5,1	6,5
7. Бактофосфин + ЖУСС-2	2,9	5,1	6,5
8. Азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	2,6	4,7	6,2
9. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ (Фон)	2,7	4,8	6,3
10. Фон + азотовит	2,8	4,9	6,5
11. Фон + бактофосфин	2,9	5,1	6,6
12. Фон + ЖУСС-2	3,0	5,2	6,6
13. Фон + азотовит + бактофосфин	3,1	5,1	6,6
14. Фон + азотовит + ЖУСС-2	3,1	5,3	6,8
15. Фон + бактофосфин + ЖУСС-2	3,3	5,4	6,9
16. Фон + азотовит + бактофосфин + ЖУСС-2	3,0	5,1	6,6

Результаты наших исследований показывают, что в среднем за годы исследований в течение вегетации яровой пшеницы чистая продуктивность фотосинтеза шла по восходящей кривой и колебалась от 2,3 до 6,9 г/м²·сутки в зависимости от минеральных удобрений, биопрепаратов и препарата ЖУСС-2. В фазу кущения продуктивность фотосинтеза колебалась от 2,3 до 2,9 г/м²·сутки, а на фоне минеральных удобрений – от 2,7 до 3,3 г/м²·сутки. Инокуляция семян способствует увеличению ЧПФ на 0,1–0,7 г/м²·сутки.

Рядом авторов установлено, что по мере увеличения в посевах площади листьев ЧПФ падает. Однако имеются и противоположные мнения. Результаты наших исследований показывают, что увеличение площади листьев не приводило к резкому снижению продуктивности фотосинтеза. Это можно объяснить тем, что максимальная площадь листьев в фазу колошения составляла 46,2 тыс. м²/га, что является оптимальной. А.А. Ничипорович [7, 8] считает предельной площадью листьев пшеницы 40–50 тыс. м²/га, если площадь выше этой величины, то листья затеняются и снижается интенсивность фотосинтеза. В фазу трубкования продуктивность фотосинтеза повышается от инокуляции на 2,2–13,3% (табл. 3).

В течение вегетации показатели ЧПФ изменялись на фоне минеральных удобре-

ний. Максимальные величины ЧПФ наблюдались в фазе колошения, т.е. в период наибольшего развития листовой поверхности растений яровой пшеницы. Наибольшие величины продуктивности фотосинтеза были на вариантах «азотовит + ЖУСС-2» и «бактофосфин + ЖУСС-2» и составили 6,5 г/м²·сутки, на фоне минеральных удобрений соответственно 6,8 и 6,9 г/м²·сутки.

Заключение

Таким образом, исследования показали, что на характер формирования листовой поверхности яровой пшеницы минеральные удобрения и биопрепараты оказали непосредственное воздействие. Инокуляция семян биопрепаратами увеличивает данный показатель фотосинтетической деятельности, вероятно, за счет стимулирующего действия микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов, которая начинает проявляться с фазы кущения. Как при применении минеральных удобрений, так и без них, наибольшую площадь листьев имели растения на варианте «бактофосфин + ЖУСС». Инокуляция семян способствует увеличению фотосинтетического потенциала посевов в течение вегетации за счет увеличения листовой поверхности. Инокуляция на фоне минеральных удобрений дает возможность формирования более высокого фотосинтетического потенциала посевов яровой

пшеницы. При инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратами и препаратом ЖУСС-2 проявляется тенденция к повышению чистой продуктивности фотосинтеза как на неудобренном фоне, так и на фоне минеральных удобрений.

Список литературы

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 315 с.
2. Кефели В.И. Физиологические основы конструирования габитуса растений. – М.: Наука, 1994. – 270 с.
3. Мокроносов А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма [42-е Тимирязевские чтения]. – М.: Наука, 1983. – 63 с.
4. Мокроносов А.Т. Фотосинтез и продукционный процесс / А.Т. Мокроносов // Физиология растений на службе продовольственной программы СССР. – М.: Знание, 1988. – № 2. – С. 3–18.
5. Никитин С.Н. Оценка эффективности применения биопрепаратов в Среднем Поволжье. – Ульяновск: Изд-во ИПК «Венец» УлГТУ, 2014. – 135 с.
6. Никитин С.Н. Влияние бактериальных удобрений на микрофлору почвы и урожайность яровой пшеницы // Агроэкологические аспекты повышения эффективности сельскохозяйственного производства: тез. докл. научно-практической конференции. – Пенза, 2001. – С. 127–129.
7. Ничипорович А.А. Некоторые принципы комплексной оптимизации фотосинтетической деятельности и продуктивности растений // Важнейшие проблемы фотосинтеза в растениеводстве. – М.: Колос, 1970. – С. 120–127.
8. Ничипорович А.А. Реализация регуляторной функции света и жизнедеятельности растений как целого и в его продуктивности. / А.А. Ничипорович. Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений. – М., 1975. – 275 с.
9. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений / А.А. Ничипорович. Физиология фотосинтеза. – М., 1982. – С. 7–34.
10. Ничипорович А.А. Фотосинтез и урожай. / А.А. Ничипорович. – М.: Знание, 1966. – 48 с.
11. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строганова, С.Н. Чмора, М.Н. Власова. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 137 с.
12. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии / Под общ. ред. А.А. Завалина. – М.: РАСХН, 2000. – 82 с.
13. Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М.А. Федин. – М.: Изд-во Министерство сельского хозяйства СССР, 1985. – 285 с.
14. Шевелуха В.С. Периодичность роста сельскохозяйственных культур и пути ее регулирования. – М.: Колос, 1980. – 455 с.
15. Шульгин И.А. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 252 с.