

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ И СТРУКТУРУ УРОЖАЯ

© 2019 г. А. Г. Тимаков^{1,*}, В. В. Мамеев^{2,**}, Н. Е. Павловская¹, И. В. Яковлева¹

¹ Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина
302019 Орел, ул. Генерала Родина, 69, Россия

² Брянский государственный аграрный университет
243365 с. Кокино, Брянская обл., Россия

*E-mail: tim_alex@mail.ru

**E-mail: vmameev@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.12.2018 г.

После доработки 25.12.2018 г.

Принята к публикации 13.05.2019 г.

Изучали влияние новых биологических препаратов вигор Форте и биопрепарата (последний создан в Орловском государственном аграрном университете им. Н.В. Парахина, пат. № 2463759, на основе биофлаваноидов гречихи, салициловой кислоты и солей магния) в течение 2-х лет. Показано, что оба препарата оказывали ростстимулирующий эффект на растениях ярового ячменя сорта Раушан. Установлено, что препараты увеличивали фотосинтетический индекс посевов и чистую продуктивность фотосинтеза за счет увеличения фотосинтетической поверхности листа. Также под их влиянием происходило накопление пигментов хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов, усиливался синтез сухих веществ и, прежде всего, углеводов. Эффективность применения препаратов была обусловлена увеличением количества продуктивных стеблей, числом и размером колосьев, массой 1000 зерен и урожайностью зерна. Препарат вигор Форте оказался более эффективным в отношении увеличения урожайности: в 2017 г. он позволил увеличить урожайность на 23, биопрепарат № 2463759 – на 18%, в 2018 г. увеличение произошло на 13 и 10% соответственно.

Ключевые слова: биопрепарат вигор Форте, биопрепарат № 2463759, фотосинтетическая деятельность растений, яровой ячмень, структура урожая.

DOI: 10.1134/S0002188119080106

ВВЕДЕНИЕ

Зерновые культуры в обозримом будущем останутся основными источниками питания для людей и животных. В связи с этим вопросы, связанные с получением их высоких урожаев, являются наиболее актуальными. Одним из главных процессов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, остается фотосинтез, т.к. в результате его работы образуется до 90–95% сухого вещества растений. Чем лучше условия для процесса фотосинтеза, тем выше его продуктивность и конечный урожай растений и тем больше гарантия получения продукции высокого качества [1].

Фотосинтез определяется доступностью световой энергии, эффективностью захвата фотонов хлорофиллом и эффективностью преобразования энергии света в биомассу и той ее части, которая идет на формирование зерна. Между тем в настоящее время, растениеводство приближается к

теоретическому максимуму получения максимальной урожайности с помощью факторов, определяемых в первую очередь фотосинтезом [2].

Например, скорость фотосинтеза листьев плохо коррелирует с урожайностью при сравнении разных видов растений. Более 50 лет физиологических исследований не привели к формированию более высокой урожайности на основе выбора видов растений с высокой фотосинтетической активностью листьев, хотя были выявлены существенные генетические различия в скоростях фотосинтеза различных культур. Фактически, устойчивое увеличение урожайности зерновых культур за последние десятилетия было достигнуто в большинстве случаев при уменьшении фотосинтетической активности на единицу площади листа [3]. Простая логика, что биохимическая способность фотосинтеза ведет к повышению урожайности зерновых культур, не подтверждена ни экспери-

Таблица 1. Фотосинтетическая деятельность ярового ячменя в зависимости от обработки биопрепаратами

Вариант	ФП, млн м ² /га	ЧПФ, г/м ² /сут	Хлорофилл <i>a</i> + <i>b</i> , мг/г абсолютно сухой массы	Хл <i>a</i> : Хл <i>b</i>	Сумма каротиноидов, мг/г абсолютно сухой массы	Хлорофиллы (<i>a</i> + <i>b</i>) : каротиноиды
Контроль	2.40	6.6	11.7	2.9	3.51	3.05
Вигор Форте	2.77	12.0	18.0	3.1	5.75	3.13
Биопрепарат № 2463759	2.56	10.0	15.9	2.9	6.25	2.53

ментальными, ни теоретическими данными. В реальности, как считают авторы, рост урожая зерновых культур связан с накоплением других ресурсов, кроме углерода, причем вода и питательные вещества являются особенно важными.

Две стороны единого процесса питания растений составляют фотосинтез и минеральное питание. Чем лучше создаются условия для процесса фотосинтеза, тем выше его продуктивность и конечный урожай растений, тем больше гарантия получения продукции высокого качества. На яровом ячмене это подтверждено данными, полученными при использовании новых минеральных удобрений и регуляторов роста [4].

Потенциал урожайности зерновой культуры представляет собой массу семян в получаемой продукции при оптимальных условиях без сорняков, вредителей и болезней. Известно, что не скорость фотосинтеза, а величина чистой продуктивности фотосинтеза, листового индекса и количество хлорофилла часто положительно коррелируют с урожаем зерновых культур.

Цель работы — установить связь между чистой продуктивностью фотосинтеза, количеством фотосинтетических пигментов и урожаем ярового ячменя под влиянием новых биологических препаратов вигор Форте и биопрепарата № 2463759.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование эффективности применения биологических препаратов в посеве ярового ячменя сорта Раушан проводили в 2017 и 2018 гг. на почвах стационарного опытного поля Брянского государственного аграрного университета, расположенного в Выгоничском р-не Брянской обл.

Почвы опытного участка — серая лесная легко-суглинистая и темно-серая лесная сильнопылеватая, сформированные на карбонатном суглинке с повышенным содержанием гумуса в пахотном горизонте (3.5–3.6%), близкой к нейтральной реакцией среды (pH_{KCl} 5.5–5.7). Содержание подвиж-

ных фосфора — 285–302, калия — 178–194 мг/кг почвы.

Мелкоделяночные опыты были заложены методом рандомизированных повторений. Предшественник для яровых зерновых — зернобобовые культуры. Внесено удобрений перед посевом: АФК — 120, N_{aa} — 150 кг/га.

В опыте были испытаны препараты: регулятор роста вигор Форте, а также созданный в Орловском ГАУ экологически безопасный, биологический стимулятор роста растений биопрепарат № 2463759 [5].

Вигор Форте — регулятор роста растений, оптимальным образом сочетающий синтетический аналог фитогормона роста ауксина и корректирующего комплекса NPK и микроэлементов. Его применяют совместно с фунгицидами при предпосевной обработке семян либо в сочетании с плановыми некорневыми обработками. При длительном воздействии неблагоприятных факторов применяют отдельно для экстренного устранения последствий стресса. Применение вигор Форте способствует лучшему усвоению удобрений, поступающих через корневое питание.

Биопрепарат № 2463759 создан на основе биофлаваноидов гречихи с добавлением салициловой кислоты и солей магния. Его применение эффективно на зернобобовых культурах, пшенице, картофеле и овощах, усиливает иммунные свойства растений, способствует увеличению урожая на 15–18% в зависимости от погодных условий года. Наиболее предпочтителен в неблагоприятных условиях.

Норма высева ярового ячменя — 5 млн шт. всхожих семян/га. Семена обрабатывали испытанными препаратами за день до посева, расход рабочей жидкости 10 л/т. Дозировки препаратов: вигор Форте — 25 г/т семян, биопрепарат № 2463759 — 1.0 л/т семян.

Далее в фазе кушения—выхода в трубку проводили обработку растений опрыскивателем, рас-

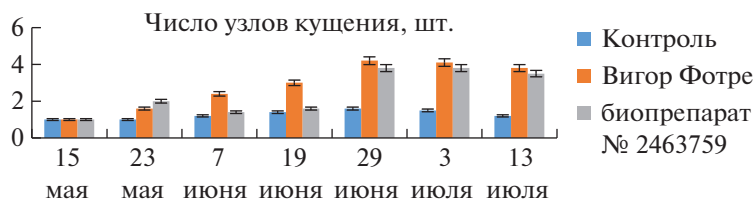


Рис. 1. Влияние биопрепаратов на число узлов кушения ярового ячменя.

ход рабочей жидкости 200 л/га. Дозировки препаратов: вигор Форте – 25 г/га, биопрепарат № 2463759 – 1.0 л/га.

Элементы структуры биологической урожайности и ее величину в вариантах опытов определяли путем отбора, анализа и обмолота снопов с площадок размером 1 м² в четырехкратной повторности.

Хозяйственную урожайность получали при сплошной уборке каждой делянки прямым комбайнированием (комбайн "ТЕРРИОН") в фазе полной спелости с пересчетом на 14%-ную влажность и 100%-ную чистоту.

Фаза развития посев–всходы пришлась на 1-ю и 2-ю декады мая при недостатке влаги. Полевая всхожесть семян составила 93.4%.

Схема защиты ячменя включала протравливание семян (препараты оплот Трио, ВСК; табу, ВСК) и двукратную листовую обработку в фазе кушения (препараты балерина, СЭ; бомба, ВДГ и ластик Экстра) и в фазе начала колошения (препараты колосаль Про, КМЭ; борей Нео, СК).

В течение вегетационного периода проводили наблюдения и брали пробы для изучения фотосинтетических показателей в фазах всходов, кушения, выхода в трубку, колошения, цветения и созревания.



Рис. 2. Размер колосьев ярового ячменя сорта Раушан, варианты: 1 – контроль, 2 – вигор Форте, 3 – биопрепарат № 2463759. Та же нумерация на рис. 3–5.

В ходе исследования была изучена площадь листовой поверхности, чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) по Ничипоровичу [6], содержание фотосинтезирующих пигментов (ФСП) [7] и структура урожая.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными показателями работы фотосинтетического аппарата являются индекс листовой поверхности или фотосинтетический потенциал, чистая фотосинтетическая продуктивность и содержание фотосинтетических пигментов, от количества которых напрямую зависит конечный урожай растений.

Полученные данные (табл. 1) показали, что фотосинтетический потенциал (ФП) ярового ячменя под влиянием препаратов вигор Форте и биопрепарата № 2463759 увеличивался на 15 и 7% соответственно. Это влияло и на величину чистой продуктивности фотосинтеза, превышающую в опытных вариантах контрольный в 2 и 1.5 раза соответственно.

Пигментная система растений является основой для фотосинтетического преобразования солнечной энергии в энергию химических связей. Основными фотосинтетическими пигментами являются хлорофиллы (Хл), а каротиноиды (Кар) передают дополнительную энергию на хлорофиллы, выполняя светособирающую функцию, и отводят избыточную энергию от хлорофиллов, выполняя светозащитную функцию [8, 9].

Пигментный комплекс растительного организма относится к числу систем, отличающихся чувствительностью к изменяющимся условиям среды. Содержание хлорофилла определяется балансом скоростей его образования и разрушения [10]. Установлено, что чем больше содержание хлорофилла *a* (в %) и суммарное содержание всех пигментов, тем более устойчивым является растение. Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* является признаком фотохимической активности листьев, т.е. увеличение соотношения Хла : Хлб является признаком высокой интенсивности фотосинтеза. В то же время по отношению хлоро-

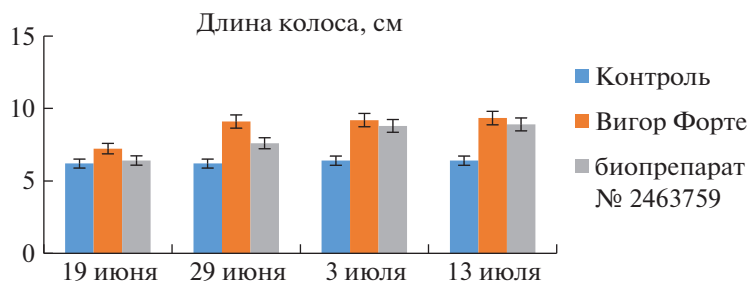


Рис. 3. Влияние биопрепаратов на длину колосьев ярового ячменя.

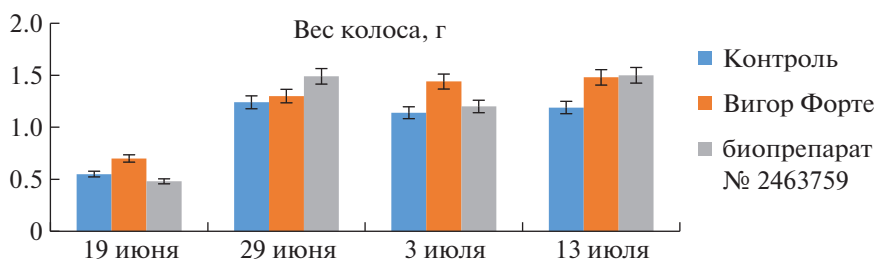


Рис. 4. Влияние биопрепаратов на массу колоса ярового ячменя.

филл *a/b*, которое в норме меняется от 2.2 до 3.0, обычно судят о степени сформированности фотосинтетического аппарата.

Из данных табл. 1 следует, что синтез фотосинтетических пигментов в листьях ярового ячменя возрастал под влиянием новых биологических препаратов вигор Форте и биопрепарата № 2463759. Сумма хлорофиллов *a* и *b* увеличивалась по отношению к контролю соответственно на 60 и 40%. Однако отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* изменялось незначительно, так же как и соотношение содержаний зеленых и желтых пигментов.

Между тем, параллельно с усилением синтеза зеленых пигментов на 64%, вырос синтез желтых пигментов каротиноидов, что было связано с необходимостью защиты возросшего количества хлорофиллов от действия света.

Желтые пигменты синтезируются в темноте, но на свету пул каротиноидов существенно возрастает. В ходе развития хлоропласта они, вероятно, встраиваются в пигмент-белковые комплексы фотосинтетических мембран и передают дополнительную энергию в реакционные центры. Вместе с тем каротиноиды, как вещества легкоокисляющиеся, являются акцепторами кислорода и предохраняют хлорофилл от фотоокисления. Каротиноиды участвуют также в адаптации растений к гипоксии [11].

Таким образом, показано положительное влияние новых биопрепаратов вигор Форте и № 2463759 на фотосинтетическую активность растений, что приводило к усилению синтетических процессов, увеличению накопления биомассы и общей урожайности ярового ячменя.

При сравнении данных о структуре урожая за 2 года показано, что тенденция к благоприятному влиянию новых биопрепаратов на повышение урожайности ярового ячменя сохранялась.

В процессе вегетации при формировании растения ячменя проходит 5 этапов органогенеза. У представителей семейства мятликовых в период всходов (I этап органогенеза) начинается дифференциация конуса нарастания с образованием зачатков стебля и первых узловых листьев. Переход ко II этапу (период формирования вегетативной сферы растения – узлов стебля с зачатками стеблевых листьев и боковых побегов) завершается в течение нескольких суток. Условия прохождения этого этапа определяют и формируют кустистость, число листьев и высоту растений [12].

Наши исследования (рис. 1) показали, что число узлов кушения в процессе органогенеза ячменя сорта Раушан нарастало от 1 до 3.5–4 шт./растение в зависимости от варианта.

Урожай зерна определяется отдельными элементами его структуры. После завершения очередного этапа органогенеза и перехода к следующему уже невозможно повлиять на количество и

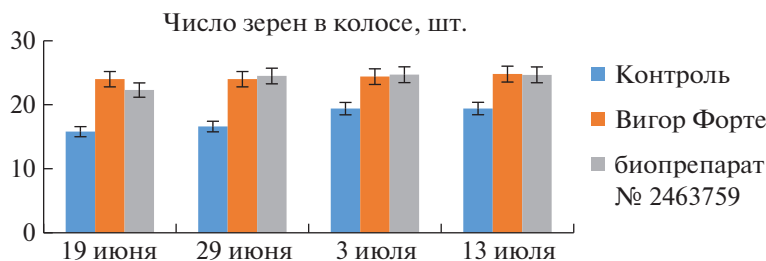


Рис. 5. Влияние биопрепаратов на число зерен в колосе ярового ячменя.

размеры образования вегетативных или генеративных органов на следующем этапе органогенеза [12]. На III этапе определяется количество члеников колосового стержня в будущем колосе, следовательно, возможное количество колосков, и одновременно с дифференциацией оси соцветия прекращается образование стеблевых листьев. При задержке развития на III этапе, но благоприятных условиях для роста, возрастает потенциал урожайности за счет увеличения числа члеников колосового стержня. На IV этапе (3–4 листа) начинается фаза выхода в трубку, когда формируется количество колосков и вторичная корневая система. Погодные условия и обеспеченность элементами минерального питания в период трубкования (V–VIII этапы) влияют на количество фертильных колосков, завершение формирования всех органов цветка, цветение и оплодотворение. В отличие от других хлебных злаков 1-й группы, цветение и оплодотворение у ячменя (на I этапе органогенеза) в большинстве случаев проходят до колошения и раскрытия цветка. В это время определяется величина озерненности колоса [12].

Показано, что биопрепараты заметно повлияли на размер колосьев (рис. 2, 3). Длина контрольных колосьев составила 6.2 см, колосья варианта применения вигор Форте – 8.7 см, варианта применения биопрепарата № 2463759 – 8.4 см. Колосья в опытных вариантах были на 40% больше контроля.

Масса колосьев ячменя (рис. 4) соответствовала их размерам, и в опытных вариантах отмечено увеличение их массы. К моменту созревания зерна опытные колосья заметно отличались от контрольных прибавкой массы на 20%. Рост массы колоса происходил за счет увеличения колосового стержня или числа зерен в колосках. По нашим данным (рис. 5), число зерен в колосе зависело от обработки биопрепаратами, в этих вариантах эта величина возрастала в среднем на 5 зерен по сравнению с контролем.

Масса 1000 зерен в вариантах составила соответственно: в контроле – 36.4, в варианте приме-

нения препарата вигор Форте – 50.4, в варианте применения биопрепарата № 2463759 – 49.7 г.

Урожайность ярового ячменя в 2017 г. составила: контроль – 51.0, препарат вигор Форте – 61.8, биопрепарат № 2463759 – 60.3 ц/га; в 2018 г. соответственно 39.3, 44.3 и 43.5 ц/га.

ВЫВОДЫ

1. Применение биопрепаратов вигор Форте и № 2463759 увеличивало фотосинтетический потенциал посевов и чистую продуктивность фотосинтеза ярового ячменя. Под влиянием биопрепаратов происходило накопление пигментов хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов.

2. Эффективность применения биопрепаратов была обусловлена увеличением количества продуктивных стеблей, числа и размера колосьев, увеличением массы 1000 зерен и общей урожайности зерна.

3. Препарат вигор Форте был эффективным в отношении увеличения урожайности по сравнению с контролем на 23, биопрепарат № 2463759 – на 18% в 2017 г., в 2018 г. – на 13 и 10% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Robert T., Furbank W., Quick P., Xavier R.R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: Prospects, progress and challenges // *Field Crops Res.* 2015. V. 182. P. 19–29.
2. Long S.P., Zhu X.-G., Naidu S., Ort D.R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields // *Plant Cell Environ.* 2006. № 29. P. 315–330.
3. Kromdijk J., Głowacka K., Leonelli L., Gabilly S.T., Iwai M., Niyogi K.K., Long S.P. Improving photosynthesis and crop productivity by accelerating recovery from photoprotection // *Sci.* 2016. V. 354. P. 857–861.
4. Барбасов Н.В. Влияние систем удобрения на продукционные процессы и урожайность среднепозднего сорта ячменя на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве // *Вестн. Белорус. ГСХА.* 2018. № 2. С. 114–118.

5. Средство для предпосевной обработки семян гороха. Пат № 2463759. 20 октября 2012 г. Бюл. № 29.
6. *Ничипорович А.А.* Фотосинтетическая деятельность растений в посевах // Методы и задачи учета в связи с формированием урожая. М.: АН СССР, 1961. 135 с.
7. *Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А.* Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
8. *Иванов Л.А., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К.* Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале // Физиология растений. 2013. Т. 60. № 6. С. 856–864.
9. *Ладыгин В.Г., Ширишкова Г.Н.* Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот // Журн. общ. биологии. 2006. Т. 67. С. 163–189.
10. *Николаевский В.С.* Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород // Лесн. вестн. 1998. № 2. С. 1–11.
11. *Зотикова А.П., Зайцева Т.А., Астафурова Т.П., Рябчук Ю.А.* Формирование пигментного аппарата проростков ячменя в условиях гипобарической гипоксии // Физиология растений, 1996. Т. 43. № 6. С. 900–905.
12. *Плищенко В.М., Голубь А.С.* Структура урожая ярового ячменя в зависимости от условий вегетации в период прохождения этапов органогенеза // Агро XXI. 2009. № 1–3. <https://www.agroxxi.ru/journal/20090103/20090103019.pdf>

Influence of Biological Preparations on Photosynthetic Activity of Spring Barley Plants and Crop Structure

G. G. Timakov^{a,#}, V. V. Mameev^{b,##}, N. E. Pavlovskaya^a, and I. V. Yakovleva^a

^a *Orlovsky State Agrarian University named N.I. Parahin
ul. Generala Rodina 69, Orel 302019, Russia*

^b *Bryansk State Agrarian University
Bryansk region, d. Kokino 243365, Russia*

[#] *E-mail: tim_alex_@mail.ru*

^{##} *E-mail: vmameev@yandex.ru*

The impact of new biological medicines Vigor Forte and biological product № 2463759 (last created Orlovsky State Agrarian University named after N.In. Parahin, Pat. № 2463759, based on bioflavonoids of buckwheat, salicylic acid and magnesium salts) was studied for 2 years. It was shown that both drugs had a growth-stimulating effect on plants of spring barley of Raushan variety. It was found that the preparations increased the photosynthetic index of crops and the net productivity of photosynthesis by increasing the photosynthetic surface of the leaf. Also under their influence was the accumulation of pigments of chlorophylls a and b and carotenoids, increased synthesis of solids and, above all, carbohydrates. The effectiveness of the drugs was due to the increase in the number of productive stems, the number and size of ears, weight of 1000 grains and the total grain yield per unit area. Vigor Forte turned out to be more effective in increasing yields: in 2017 it allowed to increase yields by 23, biological product № 2463759 – by 18%, in 2018 the increase was by 13 and 10%, respectively.

Key words: Vigor Forte and biological product № 2463759, photosynthetic activity of plants, spring barley, crop structure.