

ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА БАЖЕНКА ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА

О.М. Снигирева, аспирант, Ю.Е. Ведерников, кандидат сельскохозяйственных наук,
Г.А. Баталова, академик РАН

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166 а
E-mail: g.batalova@mail.ru

В 2017 и 2019 гг. изучено влияние регуляторов роста Альбит и Эмистим Р, пестицида Бункер на площадь листьев растений яровой мягкой пшеницы сорта Баженка и содержание фотосинтетических пигментов в условиях Кировской области на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока. При использовании для обработки семян регулятора роста Эмистим Р индивидуально и в баковой смеси с фунгицидом Бункер, регулятора роста Альбит в сочетании с фунгицидом наблюдали наибольшее количество хлорофиллов а и б во флаговом листе (соответственно 9,1-9,4 и 5,1-6,6 мг/г сухой массы) и наибольшую урожайность (3,1; 3,5 и 3,0 т/га при 1,7 т/га в контроле). Установлено значимое влияние площади флагового листа на урожайность ($r = 0,58$), количество Chl а и б и число зерен в колосе ($r = 0,58$; $r = 0,57$). Количество пигментов в листьях в период от всходов до колошения определяли температура: Chl а ($r = -0,89$), Chl б ($r = -0,81$), каротиноиды – Car ($r = -0,79$) и осадки: Chl а ($r = 0,90$), Chl б ($r = 0,85$) и Car ($r = 0,86$). Корреляции – отрицательные с количеством осадков и положительные с температурой определены для площади листьев главного стебля и подфлагового листа.

FORMATION OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF SPRING WHEAT CV. BAJENKA UNDER THE INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS

Snigireva O.M., Vedernikov Yu.E., Batalova G.A.

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166
E-mail: g.batalova@mail.ru

The influence of the growth regulators Albit and Emistim R, the pesticide Bunker on the leaf area and the content of photosynthetic pigments in plants of the spring soft wheat cv. 'Bazhenka' were studied in the conditions of the Kirov region on the experimental field of the FARC North-East in 2017 and 2019. When growth regulator Emistim P was used for seed treatment individually and in tank mixture with the fungicide Bunker, as well as the growth regulator Albite combined with the fungicide, the largest amount of Chl a and b in flag leaf (respectively 9.1-9.4 and 5.1-6.6 mg/g dry matter) and the greatest yield (3.1 t/ha; 3.5 t/ha, and 3.0 t/ha at 1.7 t/ha in control) was observed. A significant effect was established of flag leaf area on yield ($r = 0.58$), and of Chl a and b on the number of grains in ear ($r = 0.58$; $r = 0.57$). The amount of pigments in the leaves in period from seedlings to ear formation was determined by temperature: Chl a ($r = -0.89$), Chl b ($r = -0.81$), Car ($r = -0.79$) and precipitation: Chl a ($r = 0.90$), Chl b ($r = 0.85$) and Car ($r = 0.86$). Negative correlations with the amount of precipitation and positive with the temperature were shown for the area of total leaves and the second leaf of the main stem.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, регуляторы роста, фотосинтетические пигменты – хлорофилл, каротиноиды, площадь листьев

Key words: spring soft wheat, growth regulators, photosynthetic pigments – chlorophyll, carotenoids, leaf area

В современных условиях все большее внимание уделяют вопросам увеличения производства зерна, в первую очередь пшеницы. Это определяет не только интенсификацию исследований в области селекции, но и разработку сортовых технологий и их отдельных элементов. По мнению А.А. Ничипоровича [1], рост урожайности обеспечивают посевы, способные использовать энергию фотосинтетической активной радиации (ФАР) с высоким коэффициентом полезного действия. Продуктивность, уровень урожая биомассы и зерна обуславливают три физиолого-биохимических процесса: фотосинтез – образование органического вещества, дыхание – расщепление органического вещества на жизнедеятельность и транслокация – транспортировка пластических веществ в репродуктивные органы (зерновки) [2].

На развитие фотосинтезирующих структур и продуктивность зерновых культур, качество семян положительно влияют регуляторы роста [3, 4]. Они стимулируют активность ключевых ферментов фотосинтеза, способствуют повышению интенсивности ростовых и формообразовательных процессов [5, 6]. Регуляторы

роста воздействуют на размер ассимилирующей поверхности растений, продолжительность ее функционирования и соответственно на поглощение и аккумуляцию ФАР [7]. Основной фотосинтезирующий орган растений – лист; отмечена прямая зависимость урожая биомассы и зерна от размера площади листьев [8, 9]. Любые изменения в функционировании листьев в ходе онтогенеза растений влияют на весь организм. Листья разных ярусов имеют различный вклад в продуктивность растений. Фотоассимиляты флагового и подфлагового листьев идут на формирование зерна, остальных листьев – в основном на поддержание собственного метаболизма [10, 11]. Наиболее высокой фотосинтетической активностью обладает флаговый лист, у которого в несколько раз больше количество хлоропластов на единицу ассимилирующей поверхности листа, чем у других органов.

У высших растений пигменты фотосинтеза делят на два класса: хлорофиллы и каротиноиды. Содержание хлорофилла – один из косвенных индикаторов фотосинтетической активности растений [11]. Количественные и качественные изменения пигментного

комплекса служат показателем физиологического состояния растений, активности их фотосинтетического аппарата [12]. Содержание пигментов свидетельствует о степени развития фотосинтетического аппарата, характеризует ассимиляционную деятельность растений и потенциально возможный урожай.

Целью исследований был анализ изменений показателей фотосинтетического аппарата под влиянием регуляторов роста в связи с перспективами повышения продуктивности посевов яровой мягкой пшеницы сорта Баженка

Методика. Исследования проведены в 2017 и 2019 гг. на опытном поле Федерального аграрного научного центра (ФАНЦ) Северо-Востока. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, предшественник – чистый пар. Объект исследования – сорт яровой мягкой пшеницы Баженка. Для предпосевной обработки семян (ОС) и обработки посевов (ОП) в фазе кушения использовали регуляторы роста Эмистим Р (0,01 г/л продуктов метаболизма симбионтного гриба *Acremonium lichenicola*), Альбит (биофунгицид, антистрессант) и системный химический фунгицид Бункер, КС (дифеноконазол 30 г/л + ципроконазол 6,3 г/л) для ОС семян индивидуально и в составе баковых смесей с регуляторами роста. Схема опыта включала: 1(К) – контроль – ОС водой, посева без обработки; 2 – ОС Бункер; 3 – ОС Эмистим Р; 4 – ОС Альбит; 5 – ОС Эмистим Р + Бункер; 6 – ОС Альбит + Бункер; 7 – ОП Эмистим Р; 8 – ОП Альбит; 9 – ОС и ОП Эмистим Р; 10 – ОС и ОП Альбит; 11 – ОС Эмистим Р + Бункер, ОП Эмистим Р; 12 – ОС Альбит + Бункер, ОП Альбит. Учетная площадь деланки составляла 10 м², повторность – 4-кратная.

В 2017 г. условия вегетации пшеницы характеризовались избыточным увлажнением, особенно в период выхода в трубку – колошения (126-189% от средней многолетней), и пониженными температурами (-2,7-0,7 °С), что привело к затягиванию сроков колошения. В 2019 г. увлажнение изменялось от избыточного в фазе выхода в трубку (137%) до недостаточного в колошение (69%) при дефиците тепла; среднемесячная температура была на 0,5-2,1 °С ниже средней многолетней. Хорошее развитие вегетативной массы растений привело к частичному их полеганию, что спровоцировало развитие грибных патогенов на листьях и колосе.

В фазы кушения и колошения проводили учет высоты и массы 15 растений с каждого повторения, в фазе колошения – площади листьев [13]. Концентрацию пигментов (хлорофилл *a* и *b*, каротиноиды) определяли во флаговом листе с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan), выделение пигментов и расчет их содержания проводили в ацетоновых вытяжках (100% ацетон) при длинах волн 644,8 и 661,6 нм для хлорофилла (*Chl a* и *b* соответственно), 470 нм – для каротиноидов (*Car*) [14]. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по методике [1]. Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета прикладных программ AGROS 2.07 и табличного процессора Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Известно, что у наземных растений *Chl a* количественно преобладает над *Chl b*. Он представлен в реакционных центрах фотосистем и светособирающих комплексах (ССК) хлоропластов [11], хлорофилл *b* – в ССК. Наряду с этими пигментами в процессе накопления биомассы участвуют *Car*, улавливающие световую энергию в слабо используемых хлорофиллами частях ее спектра. Каротиноиды уве-

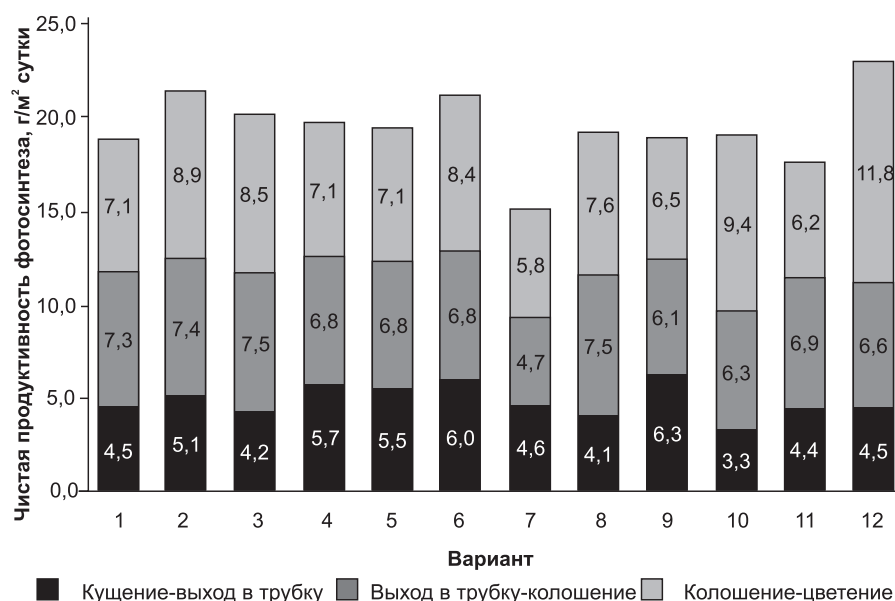
личивают гибкость мембран хлоропластов и способствуют тем самым эффективному функционированию фотосинтетического аппарата в условиях пониженных температур [14]. При продолжительном световом дне европейской части Северо-Востока России они могут функционировать как дополнительные светосборщики.

Регуляторы роста индивидуально и в сочетании с фунгицидом оказали в разной степени положительное влияние на пигментный комплекс флагового листа (табл. 1). Наибольшее количество *Chl a* и *b*, *Car* отмечено при использовании для обработки семян регулятора роста Эмистим Р с фунгицидом Бункер (вариант 5) и индивидуально (вариант 3), а также баковой смеси препаратов Альбит и Бункер (вариант 6). Положительное влияние регуляторов роста на содержание пигментов в надземных частях растений отмечали ранее [15]. При высоких показателях содержания *Chl a* и *b* в вариантах 3, 5, 6 наблюдали наибольшую среднюю урожайность – соответственно 3,1; 3,5 и 3,0 т/га при 1,7 т/га в контроле. Имеются данные, что содержание *Chl* в листьях высокопродуктивных сортов пшеницы может быть различным по величине, а высокий его уровень указывает на меньшую степень фотонгибирования при действии стресса [7]. В вариантах 9 и 12 с содержанием *Chl a* 8,5; *Chl b* 5,1; *Car* 2,4 и 2,6 мг/г сухой массы урожайность была несколько ниже (2,9 и 2,8 т/га).

Соотношение *Chl (a+b)/Car* служит индикатором «зелености» растений. В норме у листьев на прямом солнечном свете оно составляет 4,2-5,0 и 5,5-7,0 у «теневых» растений [14]. В исследованиях 2019 г. это соотношение было в указанных пределах для двух групп растений. В большей части вариантов его величина варьировала от 4,03 до 4,91. В вариантах 8, 9 и 10 соотношение составило 5,94-6,16, что может быть связано с частичным полеганием растений и свидетельствует о недостаточной эффективности накопления растением биомассы. В 2017 г. соотношение *Chl (a+b) / Car*

Табл. 1. Содержание пигментов (мг/г сухой массы) во флаговых листьях растений в зависимости от препаратов (среднее за 2017 и 2019 гг.)

Вариант	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Car</i>	<i>Chl a/Chl b</i>	<i>Chl (a+b)/Car</i>
1К	7,8	4,2	2,0	1,9	6,0
2	7,2	4,3	2,2	1,7	5,2
3	9,1	5,8	2,6	1,6	5,7
4	7,1	3,6	2,3	1,9	4,6
5	9,4	6,6	3,0	1,4	5,3
6	9,0	5,1	2,6	1,8	5,4
7	7,7	3,9	2,3	1,9	5,0
8	7,9	4,2	2,5	1,9	4,8
9	8,5	5,1	2,4	1,7	5,6
10	8,3	4,3	2,4	1,9	5,2
11	8,3	4,0	2,3	2,1	5,3
12	8,5	5,1	2,6	1,7	5,2



Чистая продуктивность фотосинтеза (г/м² сутки), средняя за 2017 и 2019 гг.

превысило предел верхнего показателя для «теневых» растений, что указывает на недостаточную их освещенность в период, предшествующий отбору листовых проб. В результате средние за годы исследований значения соотношения составили 4,6-6,0, а в вариантах 5 и 6 с высокой средней урожайностью (3,5 и 3,0 т/га) выявлена его промежуточная величина, равная 5,3 и 5,4.

Снижение соотношения *Chl a/Chl b* относительно контроля (на 0,1-0,5 мг/г сухой массы) может свидетельствовать о повышении адаптивного потенциала растений под влиянием изучаемых препаратов и быть показателем устойчивости растений к стрессу. В данном случае стрессовым фактором оказались пониженные температуры. На количество пигментов в период от всходов до колошения значимо отрицательно влияла (при $p \leq 0,05$) температура: *Chl a* ($r = -0,89$), *Chl b* ($r = -0,81$), *Car* ($r = -0,79$). Осадки в этот период были благоприятны (значимо при $p \leq 0,05$) для накопления *Chl a* ($r = 0,90$), *Chl b* ($r = 0,85$) и *Car* ($r = 0,86$). В фазе колошения определено значимое влияние (при $p \leq 0,05$) *Chl a* и *b* на длину главного колоса пшеницы ($r = 0,64$; $r = 0,58$ соответственно) и число зерен в нем ($r = 0,58$; $r = 0,57$), площади флагового листа на урожайность ($r = 0,58$).

Площадь листовой поверхности – важный элемент структуры фотосинтетического аппарата растений, обеспечивающий поглощение световой энергии для процесса фотосинтеза [4]. Площадь листьев наряду с препаратами определяли погодные условия. В фазе колошения наблюдали положительную корреляционную зависимость (значимо при $p \leq 0,05$) площади листьев главного стебля и подфлагового листа от температуры ($r = 0,74$ и $r = 0,60$ соответственно) и отрицательную – с количеством осадков ($r = -0,73$ и $r = -0,64$). Площадь листьев главного стебля была во всех вариантах выше, чем в контроле, значимое превышение наблюдали в 3, 5, 6, 9 вариантах, для которых отмечена высокая урожайность (табл. 2).

В среднем за годы исследований под влиянием обработки семян регулятором роста Эмистим Р в сочетании с фунгицидом Бункер (вариант 5) наиболее значимо

увеличилась площадь листьев главного стебля растений (+9,6 см²), флагового (+5,1 см²) и подфлагового (+1,7 см²) листьев относительно контроля. Высокие показатели получены при индивидуальной обработке семян препаратом Эмистим Р (вариант 3). Отмечена эффективность обработки семян баковой смесью препаратов Альбит и Бункер (вариант 6).

Наряду с другими показателями важной составляющей формирования урожайности является чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Она характеризует количество абсолютно сухого вещества, накапливаемого 1 м² площади листовой поверхности в сутки, динамику накопления биологического урожая [16]. В наших исследованиях величина ЧПФ варьировала в зависимости от применения препаратов (рис.). В межфазный период

кущения – выхода в трубку значения ЧПФ были невысокие (3,3-6,3 г/м² сутки), что объясняется недостаточной интенсивностью фотосинтеза в молодых листьях. Наибольшие показатели достигались в период колошения – цветения. Максимальную ЧПФ отмечали в варианте обработки семян баковой смесью препаратов Альбит и Бункер с последующей обработкой посевов Альбит (11,8 г/м² сутки).

Табл. 2. Площадь листьев растений в зависимости от обработки препаратами (среднее за 2017 и 2019 гг.)

Вариант	Площадь листьев, см²					
	главного стебля		флагового листа		подфлагового листа	
	показатель	к контролю	показатель	к контролю	показатель	к контролю
1К	28,3	-	13,1	-	11,6	-
2	32,6	3,2	12,8	0,2	11,7	0,1
3	37,1	6,2	14,5	1,4	14,0	2,4
4	31,3	1,9	12,8	-0,3	11,0	-0,6
5	39,0	9,6	18,2	5,1	13,3	1,7
6	35,5	5,7	14,6	0,9	13,7	1,1
7	31,3	4,1	10,5	-1,8	10,0	-1,6
8	28,8	3,4	10,2	-2,9	8,3	-2,0
9	34,8	4,9	14,0	0,3	11,1	0,5
10	30,7	1,3	11,8	-0,8	10,4	-1,2
11	30,7	1,3	11,3	-1,8	11,4	0,2
12	28,6	4,2	9,2	0,1	9,8	-0,3
НСР ₀₅	4,8		3,4		0,9	

В вариантах 3, 5 и 6 с высокой средней урожайностью накопление биологического урожая проходило более равномерно, чем в варианте 12, что, по-видимому, обеспечило закладку большего количества цветков и их развитие на первом этапе, а также последующее формирование большего числа зерен в колосе и более высокой продуктивности. Это соответствует мнению других исследователей, что оптимизация работы фотосинтетического аппарата способствует росту урожайности на 10-60% [17, 18].

Таким образом, установлено положительное влияние регуляторов роста Альбит и Эмистин Р при индивидуальном использовании для обработки семян и посевов и в сочетании с фунгицидом Бункер на фотосинтетический аппарат растений яровой мягкой пшеницы сорта Баженка – количество пигментов в листьях и площадь листьев, чистую продуктивность фотосинтеза. Наибольшее количество хлорофилла *a* и *b* во флаговом листе (соответственно 9,1-9,4 и 5,1-6,6 мг/г сухой массы), более равномерное накопление биологического урожая по периодам вегетации наблюдали при использовании для обработки семян регулятора роста Эмистин Р индивидуально и в баковой смеси с фунгицидом Бункер, а также регулятора роста Альбит в сочетании с фунгицидом, что обеспечило получение наибольшей средней урожайности 3,0-3,5 т/га.

Литература

1. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая). – М. 1961. – 135 с.
2. Хисамова К.Ч., Яшин Е.А., Куликова А.Х. Формирование посевов и урожая ячменя в зависимости от применения в системе удобрения соломы и биологического препарата Байкал ЭМ-1 // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – N 2(34). – С. 65-73.
3. Воложанина Е.Н., Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Влияние обработки семян и посевов препаратами на кормовую продуктивность и фотосинтетический аппарат голозерного овса сорта Вятский // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2016. – N 1. – С. 5-10.
4. Завалин А.А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – N 8. – С. 9-11.
5. Белоухов С.Л., Бугаев П.Д., Ламмас М.Е., Прохоров И.С. Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность ячменя // Агротехнический вестник. – 2013. – N 5. – С. 19-21. eLIBRARY ID: 21014437.
6. Гулянов Ю.А. Продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы // Земледелие. – 2006. – N 6. – С. 30-31.
7. Юсов В.С., Юсова О.А., Евдокимов М.Г., Фризен Ю.В. Флаговый лист как фактор повышения продуктивности яровой твердой пшеницы // Евразийский союз ученых. – 2015. – N 2-4(11). – P. 76-79. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27643107>
8. Шатилов И.С., Замаев А.Г., Чаповская Г.В. Формирование и продуктивность работы фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных растений в севообороте // Известия ТСХА. – 1969. – Вып. 6. – С. 18-26.
9. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. – М., 1982. – С. 7-34.
10. Беденко В.П., Коломейченко В.В. Основы продуктивного процесса растений. – Орел: Изд. дом «Орлик». 2003. – 260 с.
11. Лисицын Е.М., Баталова Г.А., Щенникова И.Н. Генетическая основа алюмоустойчивости овса и ячменя // В кн.: Создания сортов овса и ячменя для кислых почв. Теория и практика. Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2012. – С. 173-228.
12. Воронин П.Ю., Ефимцев Е.И., Васильев А.А., Ватковский О.С., Мокроносов А.Т. Проектное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России // Физиология растений. – 1995. – Т. 42. – С. 295-30.
13. Зелинский М.И., Наумова Т.В. Расчетный способ определения площади листьев (зерновые культуры). – Л.: ВИР, 1984. – 20 с.
14. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Current protocols in food analytical chemistry. – 2001. – F. 4.3.1-F. 4.3.8.
15. Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Кононков П.Ф., Пивоваров В.Ф., Сидельников Н.И., Рабинович А.М., Загуменникова Т.Н., Коцюбинский А.В., Злотников А.К., Злотников К.М., Гончарова О.И. Содержание антиоксидантов в растениях *Passiflora incarnata* на начальном этапе онтогенеза при действии биопрепарата Альбит // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – N 4. – С. 21-26.
16. Bahar B. Relationships among flag chlorophyll content, agronomical traits, and some physiological traits of winter wheat genotypes. DUFED. – 2015. – V. 4. – Iss. 1. – P. 1-5.
17. Long S.P., Marshall-Colon A., Zhu X-G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. Cell. – 2015. – V. 161. – P. 56-66. DOI: 10/1016/j.cell.2015.03.019.
18. Parry M.A.J., Hawkesford M.J. An integrated approach to crop genetic improvement. // J. Integr. Plant. Biol. – 2012. – V. 54. – P. 250-259. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2012.01109/x.

Поступила в редакцию 12.02.20
Принята к публикации 20.05.20