



УДК 633.16: 581.132

Е.Н. Носкова, И.Ю. Зайцева, Е.М. Лисицын
Ye.N. Noskova, I.Yu. Zaytseva, Ye.M. Lisitsyn

ПРИГОДНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

THE POSSIBILITY OF USING LEAF PIGMENT CONTENT PARAMETERS FOR SPRING BARLEY BREEDING

Ключевые слова: каротиноиды, хлорофилл, светособирающий комплекс, реакционный центр, флаговый лист, подфлаговый лист, элементы структуры продуктивности.

Методом спектрофотометрического анализа ацетонных вытяжек из флагового и подфлагового листьев 17 образцов ярового ячменя оценивали вариабельность содержания фотосинтетических пигментов и их корреляционную связь с элементами структуры продуктивности растений. Вариабельность содержания хлорофилла *a* составила 13,3%, хлорофилла *b* – 13,5%, каротиноидов – 14,4% для флагового листа и, соответственно, 11,6%; 10,8; 11,2% – для подфлагового. Практически отсутствовало варьирование в распределении пигментов между светособирающими комплексами и реакционными центрами фотосистем (среднее значение доли хлорофилла в светособирающем комплексе составило 81% при вариации 2,8%). Содержание пигментов во флаговом листе не было связано с конечной продуктивностью растений ячменя (коэффициенты парной корреляции не превышали величину $r = 0,27$), тогда как для подфлагового листа выявлена статистически значимая (при $p \leq 0,05$) взаимосвязь с ней содержания хлорофилла *a* ($r = 0,64$), хлорофилла *b* ($r = 0,58$) и каротиноидов ($r = 0,60$). Установлено, что в исследуемом наборе образцов ярового ячменя по содержанию пигментов во флаговом листе можно прогнозировать степень развития параметров «длина колоса», «масса зерна с колоса» и «масса 1000 зерен»; по содержанию в подфлаговом листе – параметров «длина колоса» и «урожайность». Из 3 исследованных фотосинтетических пигментов наибольшее влияние на степень развития отдельных элементов структуры продуктивности оказывают желтые пигменты (каротиноиды). Для оценки потенциальной урожайности сортов ярового ячменя более пригодна оценка содержания пигментов в подфлаговом листе. Перспективной является селекцион-

ная работа по повышению содержания в подфлаговом листе каротиноидов и/или хлорофилла *b*.

Keywords: carotenoids, chlorophyll, light-harvesting complex, reaction center, flag leaf, second leaf, yield formula.

Variability in contents of photosynthetic pigments and their correlation links with the yield formula of 17 samples of spring barley was evaluated by spectrophotometric analysis of acetone extracts from flag and second leaves. The variability of chlorophyll *a* content was 13.3%, that of chlorophyll *b* – 13.5%, and carotenoids – 14.4% for a flag leaf and, respectively, 11.6%; 10.8%; 11.2% for second leaf. Practically there was no variation in distribution of pigments between light-harvesting complexes and reaction centers of photosystems (the average value of a part of chlorophyll in a light-harvesting complex was 81% at a variation of 2.8%). The content of pigments in a flag leaf was not connected with final productivity of barley plants (coefficients of pair correlation did not exceed value $r = 0.27$) whereas for a second leaf it was revealed statistically significant (at $p \leq 0.05$) interrelation between productivity and content of chlorophyll *a* ($r = 0.64$), chlorophyll *b* ($r = 0.58$) and carotenoids ($r = 0.60$). It was revealed that in the studied set of spring barley samples, based on the pigment content in a flag leaf, it was possible to predict the extent of development of such characters as “ear length”, “grain weight per ear” and “thousand-kernel weight”; based on the pigment content in second leaf – the character “ear length” and productivity. Among three studied photosynthetic pigments, yellow pigments (carotenoids) render the greatest influence on the extent of development of separate elements of yield formula. The evaluation of pigment content in a second leaf is more suitable for the evaluation of potential productivity of spring barley varieties. The breeding work aimed on increasing the contents of carotenoids and/or chlorophyll *b* in a second leaf is promising.

Носкова Евгения Николаевна, к.с.-х.н., н.с., ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. Тел.: (8332) 33-10-03. E-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Зайцева Ирина Юрьевна, м.н.с., ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. Тел.: (8332) 33-10-03. E-mail: i.schennikova@mail.ru.

Лисицын Евгений Михайлович, д.б.н., доцент, вед. н.с., ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. Тел.: (8332) 33-10-03. E-mail: edaphic@mail.ru.

Noskova Yevgeniya Nikolayevna, Cand. Agr. Sci., Staff Scientist, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. Ph.: (8332) 33-10-03. E-mail: zemledele_niish@mail.ru.

Zaytseva Irina Yuryevna, Junior Staff Scientist, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. Ph.: (8332) 33-10-03. E-mail: i.schennikova@mail.ru.

Lisitsyn Yevgeniy Mikhaylovich, Dr. Bio. Sci., Staff Scientist, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. Ph.: (8332) 33-10-03. E-mail: edaphic@mail.ru.

Введение

Среди физиологических причин, оказывающих значимое влияние на урожайность зерновых культур, часто отмечается содержание фотосинтетических пигментов в листьях [1-3], однако селекционеры и агрономы пока еще редко учитывают данные об их содержании при разработке сортовых технологий или систем земледелия [4, 5]. Нет и единого мнения о том, в каких органах растений необходимо учитывать содержание пигментов: в суммарной навеске листьев, во флаговом или подфлаговом листе, в нелистовых органах [6, 7]. С целью выяснения взаимосвязи содержания пигментов в разных листьях с развитием элементов структуры продуктивности и применимости данных о содержании листовых пигментов в селекции ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) была проведена серия полевых испытаний генотипов различного эколого-географического происхождения.

Объекты и методы

В серии полевых опытов 2018 г. на окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) выращивали 17 сортов из мировой коллекции ВИР и селекционных образцов ярового ячменя, созданных в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Наименования образцов приведены в таблицах. Растения выращивали в соответствии с [8] в условиях полевого севооборота. Агротехника общепринятая в зоне выращивания. Для анализа пигментного состава с 25 индивидуальных растений четырех повторностей каждого образца отбирали флаговые и подфлаговые листья в фазу начала цветения. Оценку содержания пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды) осуществляли в ацетоновых вытяжках на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Japan) согласно методике [9]. В фазу полного созревания оценивали развитие элементов структуры продуктивности по 30 растениям каждого сор-

та. Полученные данные обрабатывали статистически с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений исследованных сортов ярового ячменя (таблица) показал значимые генотипические различия по всем трем основным пигментам: вариабельность содержания хлорофилла *a* составила 13,3%, хлорофилла *b* – 13,5% и каротиноидов – 14,4%.

Соотношение двух форм хлорофиллов (*a/b*) было практически одинаково для всех сортов (среднее значение 1,72 при вариации 4,4%), соотношение зеленых и желтых пигментов также имело малую вариабельность (среднее значение 6,17 при вариации 7,0%). Практически отсутствовало варьирование в распределении пигментов между светособирающими комплексами и реакционными центрами фотосистем (среднее значение доли хлорофилла в светособирающем комплексе составило 81% при вариации 2,8%). Таким образом, при значимых различиях в абсолютном содержании пигментов характер адаптации фотосинтетического аппарата флаговых листьев к условиям выращивания у разных генотипов ярового ячменя был качественно однотипным.

Содержание пигментов во флаговом листе в фазу цветения не было статистически ($p \leq 0,05$) связано с величиной конечной урожайности растений (коэффициенты парных корреляций составили 0,26-0,27 при критическом значении 0,400). В то же время с развитием отдельных элементов структуры продуктивности корреляционная связь была статистически значима. Так, содержание обеих форм хлорофилла отрицательно коррелировало с параметрами «длина колоса» ($r = -0,62...-0,63$) и «масса зерна с колоса» ($r = -0,41...-0,46$), а содержание хлорофилла *a* – еще и с массой 1000 зерен ($r = -0,43$). Видимо, в

данном случае проявляется разная направленность синтетических процессов – сорта, у которых относительно большая часть фотоассимилятов идет на синтез элементов пигментного комплекса, меньшую долю ассимилятов расходуют на развитие репродуктивных органов. Содержание каротиноидов (желтых пигментов) отрицательно коррелировало с двумя элементами структуры продуктивности – длиной колоса ($r = -0,494$) и массой 1000 зерен ($r = -0,525$).

Проведенный регрессионный анализ показал, что в исследуемом наборе сортов повышение содержания пигментов на 1 мг/г сухой массы приводило к: хлорофилла *a* – снижению длины колоса на 0,50 см; массы зерна с колоса – на 0,045 г, массы 1000 зерен – на 1,54 г; хлорофилла *b* – снижению длины колоса на 0,86 см и массы зерна с колоса – на 0,069 г; каротиноидов – снижению длины колоса на 1,42 см, а массы 1000 зерен – на 3,95 г.

Таким образом, из 3 исследованных фотосинтетических пигментов наибольшее влияние на степень развития отдельных элементов структуры продуктивности оказывают желтые пигменты (каротиноиды).

Анализ пигментного комплекса подфлагового листа показал несколько иную картину. Уровень генотипического варьирования содержания пигментов немного ниже, чем во флаговом: для хлорофилла *a* – 11,6%, хлорофилла *b* – 10,8%, каротиноидов – 11,2%. Варьирование соотношения пигментов и доли пигментов в светособирающем комплексе также значительно ниже. Одновременно изменяются характер и сила связи с продуктивными характеристиками. Так, коэффициенты парных корреляций между содержанием пигментов и длиной колоса, продолжая оставаться отрицательными, изменяются по величине: связь с содержанием хлорофилла *a* снижается до -0,56, с хлорофиллом *b* – до -0,49; а связь с содержанием каротиноидов усиливается до -0,60. Связь содержания пигментов с массой зерна с колоса становится статистически незначимой; с массой 1000 зерен коррелирует только содержание хлорофилла *a* ($r = -0,41$). В то же время для подфлагового листа выявлена статистически значимая (при $p \leq 0,05$) взаимосвязь с урожайностью содержания хлорофилла *a* ($r = 0,64$), хлорофилла *b* ($r = 0,58$) и каротиноидов ($r = 0,60$).

Таблица

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений ярового ячменя (мг/г сухого в-ва)

Сорт	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
	Флаговый лист			Подфлаговый лист		
Белгородский 100	9,50±0,21	5,82±0,14	2,42±0,05	11,45±0,33	6,82±0,28	2,90±0,09
Эколог	6,73±0,06	3,60±0,11	1,92±0,10	9,93±0,14	5,53±0,12	2,36±0,07
Новичок	10,17±0,06	5,78±0,09	2,70±0,02	12,05±0,32	7,32±0,15	2,89±0,12
Лель	9,33±0,30	5,46±0,10	2,84±0,28	12,87±0,34	7,10±0,27	3,08±0,17
Тандем	12,28±0,66	6,92±0,42	2,97±0,11	14,13±0,29	7,67±0,29	3,55±0,09
Родник Прикамья	9,88±0,37	5,68±0,19	2,55±0,07	12,86±0,35	7,30±0,26	3,16±0,18
Памяти Родины	10,44±0,08	5,74±0,05	2,76±0,01	12,30±0,31	7,05±0,19	2,85±0,19
Форвард	10,73±0,21	6,29±0,12	3,03±0,07	10,65±0,21	6,31±0,07	2,93±0,15
Форсаж	10,15±0,43	5,97±0,23	2,67±0,16	12,34±0,32	7,14±0,23	3,04±0,11
346-09	10,05±0,15	5,82±0,16	2,62±0,07	14,44±0,32	7,98±0,25	3,53±0,09
53-08	9,53±0,30	6,20±0,31	2,31±0,09	12,56±0,13	6,81±0,16	2,92±0,05
29-11	9,29±0,32	5,21±0,16	2,41±0,05	12,08±0,09	6,67±0,19	3,10±0,10
Фермер	10,24±0,24	5,82±0,17	2,63±0,15	10,10±0,29	5,65±0,27	2,56±0,07
52-12	8,40±0,23	4,93±0,25	2,08±0,08	11,49±0,29	6,98±0,13	2,66±0,10
102-13	10,58±0,20	6,32±0,24	2,51±0,04	10,06±0,11	5,53±0,11	2,53±0,06
40-13	7,80±0,04	4,56±0,09	1,90±0,05	10,66±0,26	6,31±0,26	2,56±0,03
45-13	8,53±0,11	5,13±0,16	2,09±0,05	10,46±0,34	6,14±0,33	2,89±0,12

Повышение содержания хлорофилла *a* на 1 мг/г сухой массы коррелировало в исследованном наборе образцов со снижением длины колоса на 0,42 см, массы 1000 зерен – на 1,37 г; для хлорофилла *b* повышение концентрации на единицу было равнозначно снижению длины колоса на 0,72 см, для каротиноидов – на 1,90 см. При этом суммарная урожайность повышалась с одновременным повышением концентрации пигментов на 1 мг/г сухой массы: хлорофилла *a* – на 0,34 т/га, хлорофилла *b* – 0,61 т/га, каротиноидов – 1,38 т/га.

Заключение

Обобщая полученные данные, можно отметить, что показатели развития пигментного комплекса могут быть использованы для прогноза развития отдельных элементов продуктивности растений ячменя, в частности: содержание пигментов во флаговом листе – для прогноза параметров «длина колоса», «масса зерна с колоса» и «масса 1000 зерен»; содержание пигментов в подфлаговом листе – «длина колоса» и «урожайность».

Для оценки потенциальной урожайности сортов ячменя может быть более подходящим оценка содержания пигментов не во флаговом, а в подфлаговом листе. Кроме того, потенциально перспективной может быть селекционная работа по повышению содержания в подфлаговом листе каротиноидов или хлорофилла *b*, осуществляющих в основном функции сборщиков световой энергии и гасителей излишнего тепла, выделяющегося в реакциях преобразования солнечной энергии.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности селекционной работы по повышению содержания пигментов в подфлаговом листе сортов ячменя.

Библиографический список

1. Houborg R., McCabe M.F., Cescatti A., Gitelson A. (2015). Leaf chlorophyll constraint on model simulated gross primary productivity in agricultural systems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 43: 160-176.
2. Лисицын Е.М., Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Злобина Н.А. Реакция пигментного аппарата листьев озимой ржи на эдафический стресс // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2010. – № 1(16). – С. 20-24.
3. Li Y., Liu C., Zhang J., et al. (2018). Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-

temperate forests: Association with gross primary productivity. *Ecological Indicators*. Vol. 85: 383-389.

4. Щенникова И.Н. Модели сортов ячменя для условий Волго-Вятского региона // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2015. – № 6(49). – С. 9-13.

5. Тарасенко С., Живлюк Е. Пигментный состав сортов мягкой озимой пшеницы // *Наука и инновации*. – 2009. – № 7(77). – С. 25-28.

6. Щенникова И.Н., Назарова Н.Н., Лисицын Е.М. Приемы возделывания многозерного ячменя в Волго-Вятском регионе // *Земледелие*. – 2011. – № 6. – С. 20-22.

7. Croft, H., Chen, J. (2017). Leaf Pigment Content. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Oxford: Elsevier Inc. 2017.

8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – Вып. 1. – 270 с.

9. Lichtenthaler, H., Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. 10.1002/0471142913.faf0403s01.

References

1. Houborg R., McCabe M.F., Cescatti A., Gitelson A. (2015). Leaf chlorophyll constraint on model simulated gross primary productivity in agricultural systems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 43: 160-176.
2. Lisitsyn E.M., Kedrova L.I., Utkina E.I., Zlobina N.A. Reaktsiya pigmentnogo apparata listev ozimoi rzhii na edaficheskiy stress // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. – 2010. – No. 1 (16). – S. 20-24.
3. Li Y., Liu C., Zhang J., et al. (2018). Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: Association with gross primary productivity. *Ecological Indicators*. Vol. 85: 383-389.
4. Shchennikova I.N. Modeli sortov yarovogo yachmenya dlya uslovii Volgo-Vyatskogo regiona // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. – 2015. – No. 6 (49). – С. 9-13.
5. Tarasenko S., Zhivlyuk E. Pigmentnyi sostav sortov myagkoi ozimoi pshenitsy // *Nauka i innovatsii*. – 2009. – No. 7 (77). – S. 25-28.
6. Shchennikova I.N., Nazarova N.N., Lisitsyn E.M. Priemy vzdelyvaniya mnogozernogo yachmenya v Volgo-Vyatskom regione // *Zemledelie*. – 2011. – No. 6. – S. 20-22.
7. Croft, H., Chen, J. (2017). Leaf Pigment Content. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Oxford: Elsevier Inc. 2017.

8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaistvennykh kultur. – M., 1985. – Вып. 1. – 270 с.

9. Lichtenthaler, H., Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. 10.1002/0471142913.faf0403s01.



УДК 633.161: 633.162

М.Б. Хоконова, О.К. Цагоева
M.B. Khokonova, O.K. Tsagoyeva

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОСЕВОВ РЕТАРДАНТАМИ

BARLEY GRAIN YIELD AND QUALITY WHEN TREATING THE CROPS BY GROWTH RETARDANTS

Ключевые слова: озимый ячмень, яровой ячмень, сорта, ретарданты, полегаемость, урожайность, продуктивная кустистость, содержание белка, содержание крахмала, экстрактивность.

Keywords: winter barley, spring barley, varieties, retardants, lodging, crop yield, productive tilling capacity, protein content, starch content, extract potential.

Использование ретардантов на посевах пивоваренного ячменя, как правило, практикуется не часто, в виду относительно низких доз минерального азота и норм высева семян, применяемых при его выращивании. Однако в годы с обильными осадками возникают ситуации, когда необходимо использовать ретарданты, и применение их в целях полегаемости оправдано. В связи с этим целью исследований являлось определение влияния ретардантов на урожайность и пивоваренные качества зерна озимого и ярового ячменя в условиях предгорной зоны КБР. Исследования проводились в 2016-2018 гг. в условиях предгорной зоны КБР на ЗАО НП «Шэджем» и на кафедре «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции». В качестве объектов исследования использовались сорта озимого ячменя (Михайло, Козырь, Добрыня 3) и ярового (Приазовский 9, Виконт, Мамлюк), допущенные к использованию в Северокавказском регионе. Согласно результатам исследований ретарданты сначала тормозят, а затем стимулируют длину соломины, но, в конечном счете, не изменяют ее линейного роста. Наибольшее влияние на крупность зерна оказывает серон. Превышение ее показателя к контролю составило 4,2% по озимым и 7,6% по яровым формам. Более отзывчивы на обработку указанными средствами озимые формы ячменя. Прибавка урожайности зерна при их использовании составляет 8,4%, в то время как по яровым формам – 6,6%.

As a rule, the application of retardants in brewing barley crops is not practiced often due to the relatively low rates of mineral nitrogen and seeding rates used in its cultivation. However, in years with heavy precipitation, situations arise when retardants should be applied and their application in case of lodging is justified. In this regard, the research goal was to determine the effect of retardants on the yield and quality of winter and spring barley grain in the foothill zone of the Kabardino-Balkarian Republic. The studies were conducted from 2016 through 2018 in the foothill zone of the Kabardino-Balkarian Republic on the farm of the ZAO NP "Shedzhem" and at the Chair of Agricultural Production and Processing Technologies. The research targets were the following winter barley varieties: Mikhaylo, Kozyr, Dobrynya 3; and spring barley varieties: Priazovskiy 9, Vikont and Mamlyuk; all released for the North Caucasus region. According to the research findings, at the beginning, retardants inhibit the growth and then stimulate straw length, but, ultimately, do not change its linear growth. Seron retardant had the greatest influence on grain size. The excess of this index over the control made 4.2% in winter crops and 7.6% in spring forms. Winter barley varieties were more responsive to retardant application. The increase of their grain yield by retardant application made 8.4%; in spring barley varieties – 6.6%.

Хоконова Мадина Борисовна, д.с.-х.н., проф. каф. технологии производства и переработки с.-х. продукции, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. E-mail: dinakbgsha77@mail.ru.
Цагоева Ольга Константиновна, аспирант, направление подготовки «Промышленная экология и биотехнологии», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. E-mail: tsagoyeva123@yandex.ru.

Khokonova Madina Borisovna, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Agricultural Production and Processing Technologies, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov. E-mail: dinakbgsha77@mail.ru.

Tsagoyeva Olga Konstantinovna, post-graduate student, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov. E-mail: tsagoyeva123@yandex.ru.