

КОЛИЧЕСТВО И СООТНОШЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЕЖЕВИКИ

Л.А. Грюнер , к.с.-х.н.

О.В. Кулешова, н.с.

ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур, 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, ВНИИСПК, gruner@vniispk.ru

Аннотация

Изучали показатели пигментного комплекса листьев ежевики в начале созревания ягод и в конце вегетации в условиях средней полосы России (Орловская область) в 2015...2017 гг. Объектами исследования послужили листья 7 сортообразцов ежевики – представителей 3 морфологических групп этого растения: пряморослых (2 образца), стелющихся (2 образца) и полупряморослых / полустелющихся (3 образца). Содержание пигментов (хлорофиллов «а» и «b» и каротиноидов) определяли спектрофотометрически в трехкратной повторности с использованием ацетоновой вытяжки из листьев, взятых в средней части побегов текущего года. В результате установлено, что среднее по культуре количество хлорофилла «а» в листьях ежевики составляет к началу созревания ягод 1,6 мг/г, хлорофилла «b» – 0,8 мг/г, каротиноидов – 0,5 мг/г сырой массы. В конце вегетации эти показатели по хлорофиллам снизились, соответственно до 1,4 мг/г и 0,7 мг/г, а по каротиноидам остались на уровне первого срока – 0,5 мг/г, что указывает на наличие хороших защитных механизмов листового аппарата. Соотношение хлорофиллов «а» и «b» в листьях ежевики составило в обе изученные фазы в среднем около 2, а суммы хлорофиллов и каротиноидов – от 4,0 до 4,6. Как и масса пигментов, это соотношение варьировало в пределах культуры больше к концу вегетации, чем в начале созревания ягод, свидетельствуя о повышении степени индивидуальной реакции конкретных генотипов (в том числе, и в зависимости от принадлежности к морфологической группе) на меняющиеся условия среды и фазу вегетации. Выявлена высокая прямая корреляция между количеством хлорофиллов «а» и «b» в листьях ежевики и суммой хлорофиллов и каротиноидов в оба срока оценки.

Ключевые слова: ежевика, пигменты листа, хлорофиллы, каротиноиды, соотношение пигментов

NUMBER AND RATIO OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN BLACKBERRY LEAVES

L.A. Gruner , cand. agr. sci.

O.V. Kuleshova, research fellow

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, 302530, Russia, Orel region, Orel district, Zhilina, VNIISPK, gruner@vniispk.ru

Abstract

Indicators of the pigment complex of blackberry leaves were studied at the beginning of berry ripening and at the end of the growing season in the middle of Russia (Orel region) in 2015—2017. The leaves of 7 blackberry genotypes were studied. The genotypes were the representatives of 3 morphological groups: erect plants (2 specimens), trailing plants (2 specimens) and semi-erected/semi-trailing plants (3 specimens). The content of pigments (chlorophylls «a» and «b» and carotenoids) was determined by spectrophotometer in three-fold repetition using acetone extract from the leaves taken in the middle of the shoots of the current year. As a result, it was found that the average amount of chlorophyll «a» in blackberry leaves was 1.6 mg/g by the beginning of berry ripening, chlorophyll «b» – 0.8 mg/g and carotenoids – 0.5 mg/g of wet eight. By the end of the vegetation these indicators for chlorophylls indicators decreased – 1.4 mg/g and 0.7 mg/g, respectively, while for carotenoids they remained at the level of the first term – 0.5 mg/g, which indicates the presence of good protective mechanisms of the leaf apparatus. The ratio of chlorophylls «a» and «b» in blackberry leaves in both studied phases averaged about 2, and the sum of chlorophylls and carotenoids – from 4.0 to 4.6. Like the mass of pigments, this ratio varied within the culture more by the end of the growing season than at the beginning of ripening, indicating an increase in the degree of individual response of specific genotypes (including depending on belonging to the morphological group) to changing environmental conditions and the phase of vegetation. A high direct correlation was found between the amount of chlorophylls «a» and «b» in blackberry leaves and the sum of chlorophylls and carotenoids in both periods of evaluation.

Key words: blackberries, leaf pigments, chlorophylls, carotenoids, pigment correlation

Введение

Ежевика в последние десятилетия стала занимать все более прочные позиции на рынке (в том числе – российском) ягодной продукции, благодаря как появлению новых коммерческих сортов, так и целому ряду её важных хозяйственно-биологических свойств, позволяющих успешно конкурировать с другими ягодными культурами. Это – высокая продуктивность, бесшипность многих сортов, самоплодность, засухоустойчивость, хорошая восстановительная способность после различных повреждений, устойчивость современных сортов к болезням и вредителям, транспортабельность ягод, их ценные пищевые свойства и др. Большинство из перечисленных показателей характеризуют

хорошие адаптационные возможности культуры в разных регионах. Благодаря этому производство ежевики в странах мира в настоящее время достаточно велико и продолжает расти (Strik, Finn, Clark, Bañados, 2008). Единственную существенную проблему составляет недостаточная зимостойкость возделываемых сортов в центральном и более северных регионах нашей страны. Степень адаптации растений, в том числе, ежевики, к климатическим условиям конкретного региона, стабильность и качество урожая во многом определяются состоянием листового аппарата – главного органа, обеспечивающего фотосинтез.

Основными фотосинтетическими пигментами листа являются хлорофиллы «а», «b» и каротиноиды, улавливающие необходимую солнечную энергию и защищающие растения от вредных побочных продуктов этого процесса. Количество пигментов и их соотношение существенно влияют на метаболизм растений и могут различаться в зависимости от вида или сорта растения и фазы его онтогенеза (Шуляковская, Ильинова, Кищенко и др., 2007; Киселева, 2009; Белова, Мурашев, Вержук, 2012; Клемешова, 2012; Панфилова, Голяева, 2013; Петрова, Коновалов, 2013; Пахарькова, Гетте, Андреева и др., 2014 и др.).

Ежевика – малоизученная в этом отношении культура, поэтому целью нашего исследования стало определение количества хлорофиллов «а» и «b» и каротиноидов в листьях представителей основных морфологических групп (Грюнер, 2014) этого растения в условиях средней полосы России во время созревания ягод и в конце вегетации. Условия прохождения указанных фенофаз существенно влияют на перезимовку растений ежевики и их продуктивность в следующем сезоне.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в 2015...2017 гг. на опытном участке отдела селекции и сортоизучения ягодных культур ВНИИСПК.

Объектами изучения послужили листья 7 сортообразцов ежевики – представителей трех морфологических групп: пряморослых (2 образца), стелющихся (2 образца) и полупряморослых / полустелющихся (3 образца). Определение содержания пигментов проводили в начале созревания ягод и в конце вегетации спектрофотометрически (Гавриленко, 1975) с использованием ацетоновой вытяжки из листьев, взятых в средней части побегов текущего года. Сведения о количестве осадков и сумме температур в период исследования представлены по данным метеопоста ВНИИСПК.

Для статистической обработки данных использовали классические методы (Доспехов, 1985), специализированные компьютерные программы и онлайн-калькуляторы.

Результаты исследований

Годы изучения и периоды вегетации несколько различались по гидротермическому режиму (таблица 1), что сказалось на сроках наступления отдельных фенологических фаз, и, соответственно, на сроках оценки пигментного комплекса листьев ежевики. В 2015 и 2016 гг. анализ листьев проводили дважды – в конце июля (в период формирования и созревания плодов ежевики) и в середине сентября (при завершении вегетации). В 2017 г., в связи с затяжными дождями летнего периода и, особенно, в конце июля и августе, начало созревания сместилось у всех сортообразцов ежевики в сторону более позднего срока (преимущественно, на середину августа), поэтому и оценку пигментного комплекса проводили в это время.

Таблица 1 – Гидротермические условия в период формирования урожая и завершения вегетации ежевики (2015...2017гг., ВНИИСПК)

Месяцы	Декады	Суммы осадков, мм			Суммы температур, °С		
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Июль	1 декада	1,7	14,2	17,3	199,3	193,5	166,7
	2 декада	31,4	41,6	18,5	158,1	221,3	183,7
	3 декада	28,2	10,7	39,2	192,6	192,5	205,6
Август	1 декада	0	0,2	31,6	191,6	194,7	201,7
	2 декада	1,7	64,0	40,0	174,2	167,2	209,6
	3 декада	0	0,1	29,2	154,0	188,7	169,5
Сентябрь	1 декада	38,4	4,6	13,7	136,0	148,2	137,8
	2 декада	2,6	0,9	0	131,6	107,8	174,8
	3 декада	4,8	8,5	0	152,5	76,2	91,7

О результатах изучения пигментного комплекса листьев ежевики за годы исследований можно судить по данным таблицы 2.

Таблица 2 – Количество фотосинтетических пигментов в листьях ежевики по группам при созревании ягод и в конце вегетации, мг/г сырого веса (в среднем за 2015...2017гг.).

Название образца	Начало созревания			Конец вегетации		
	Хл. «а»	Хл. «b»	каротиноиды	Хл. «а»	Хл. «b»	каротиноиды
<i>Группа пряморослые</i>						
Агава	1,6	0,8	0,5	1,7	0,7	0,6
Эри	1,7	0,9	0,6	1,7	1,0	0,6
<i>Группа стелющиеся</i>						
Торнфри	1,9	0,9	0,6	1,7	0,8	0,5
Торнфри × <i>R. caucasicus</i> l	1,3	0,7	0,4	1,2	0,6	0,4
<i>Группа полупряморослые/полустелющиеся</i>						
Сеянец сорта Чейен	1,7	0,8	0,6	1,2	0,5	0,6
Сеянец сорта Блэк сатин	1,6	0,8	0,5	1,6	0,6	0,6
Сеянец №4 сорта Лох несс	1,5	0,8	0,5	1,0	0,5	0,4
$F_{\phi} < F_{\tau}$						
НСР _{0,05}						
$M \pm m$	1,6±0,08	0,8±0,03	0,5±0,03	1,4±0,12	0,7±0,07	0,5±0,04
C_v , %	11,6	8,5	14,3	20,7	26,8	18,0

Примечания:

M – средняя арифметическая

m – средняя ошибка средней арифметической

C_v – коэффициент вариации

Хл. «а» – хлорофилл «а»

Хл. «b» – хлорофилл «b»

Из анализа данных следует, что среднее количество хлорофилла «а» в листьях ежевики составляет к началу созревания ягод 1,6 мг/г, хлорофилла «b» – 0,8 мг/г, каротиноидов – 0,5 мг/г сырой массы. В конце вегетации, соответственно – 1,4 мг/г, 0,7 мг/г и 0,5 мг/г.

Несмотря на то, что статистически значимых различий между образцами по количеству пигментов выявлено не было ($F_{\phi} < F_{\tau}$) в оба оцениваемых срока, в первый из них (начало созревания ягод) отмечается большая стабильность значений в целом по культуре (более низкий коэффициент вариации) по массе всех трех пигментов. Во второй срок (конец вегетации) вариабельность, отражающая различия между образцами, повысилась по хлорофиллу «а» почти в 2 раза, а по хлорофиллу «b» – более чем в 3 раза, при общей тенденции к снижению количества пигментов. Вариабельность количества каротиноидов была в конце вегетации меньше по сравнению с хлорофиллами, повысившись всего

в 1,3 раза, то есть в оба срока количество каротиноидов находилось почти на одном уровне. Установлена высокая прямая корреляция между количеством хлорофиллов «а» и «b» (коэффициент корреляции $r=0,83^{**}$) и между суммой хлорофиллов и количеством каротиноидов ($r=0,93^{**}$) как в начале созревания ягод, так и в конце вегетации, что согласуется с данными других авторов (Панфилова, Голяева, 2013). Заметна хорошо выраженная стабильность количества пигментов в обе изученные фазы онтогенеза у пряморослых сортообразцов. У стелющейся формы Торнфри × *R. caucasicus* I понижено содержание хлорофилла «а», что может быть связано с её генетическим происхождением от теневыносливого вида *R. caucasicus* Focke.

Фотосинтетические пигменты, являясь единым комплексом, находятся в определенном соотношении, свойственном той или иной культуре или сорту. Об этом свидетельствуют и полученные нами данные по ежевике, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Соотношение хлорофиллов и каротиноидов в листьях ежевики при созревании ягод и в конце вегетации (в среднем за 2015...2017 гг.)

Название образца	Начало созревания		Конец вегетации	
	Хл. «а»/Хл. «b»	Σхл./карот.	Хл. «а»/Хл. «b»	Σхл./карот.
<i>Группа пряморослые</i>				
Агавам	2,0	4,8	2,4	4,0
Эри	1,9	4,3	1,7	4,5
<i>Группа стелющаяся</i>				
Торнфри	2,1	4,7	2,1	5,0
Торнфри × <i>R. caucasicus</i> I	1,9	5,0	2,0	4,5
<i>Группа полупряморослые/полустелющиеся</i>				
Сеянец сорта Чейен	2,1	4,2	2,4	2,8
Сеянец сорта Блэк сатин	2,0	4,8	2,7	3,7
Сеянец №4 сорта Лох несс	1,9	4,6	2,0	3,8
$M \pm m$	$2,0 \pm 0,04$	$4,6 \pm 0,12$	$2,2 \pm 0,14$	$4,0 \pm 0,29$
$Cv, \%$	4,5	6,2	15,3	17,7

Величина соотношения хлорофиллов «а» и «b» в листьях ежевики составила в обе изученные фенофазы в среднем около 2, а суммы хлорофиллов и каротиноидов – 4,0...4,6. Как и масса пигментов, она варьировало в зависимости от сортообразца больше к концу вегетации, чем в начале созревания ягод. В группе полустелющихся/полупряморослых форм соотношение хлорофиллов и каротиноидов во второй срок было заметно ниже, чем у пряморослых и стелющихся за счет большего снижения количества хлорофиллов (см. таблицу 2). Это может быть обусловлено завершением у них ростовых процессов, в сочетании с поздним созреванием ягод (повышенным расходом пластических веществ). Стелющиеся же продолжали активный рост и наращивание зеленой массы (соответственно, удерживая относительно высокий уровень пигментов). Пряморослые сортообразцы рост побегов к этому времени прекратили, а созревание ягод завершилось у них в более ранние сроки, чем у представителей двух других групп, поэтому расход метаболитов, вероятно, снизился, и содержание хлорофиллов на единицу массы фотосинтезирующих органов к концу вегетации у них практически не изменилось.

Выводы

Среднее количество хлорофилла «а» в листьях ежевики составляет к началу созревания ягод 1,6 мг/г, хлорофилла «b» – 0,8 мг/г, каротиноидов – 0,5 мг/г сырой массы. В конце вегетации эти показатели по хлорофиллам несколько ниже – соответственно – 1,4

мг/г, 0,7 мг/г, а по каротиноидам – на уровне первого срока: 0,5 мг/г, что указывает на наличие хороших защитных механизмов листового аппарата.

Выявлена высокая прямая корреляция между количеством хлорофиллов «а» и «b» в листьях ежевики и суммой хлорофиллов и каротиноидов в оба срока оценки.

Соотношение хлорофиллов «а» и «b» в листьях ежевики составило в обе изученные фазы в среднем около 2, а суммы хлорофиллов и каротиноидов – от 4,0 до 4,6. Как и масса пигментов, это соотношение варьировало в пределах культуры больше к концу вегетации, чем в начале созревания ягод, свидетельствуя о повышении степени индивидуальной реакции конкретных генотипов (в том числе, и в зависимости от принадлежности к морфологической группе) на меняющиеся условия среды и фазу вегетации.

Литература

1. Белова А.Ю., Мурашев С.В., В.Г. Вержук Влияние пигментов в листьях растений на формирование и свойства плодов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. №1. С. 13
2. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. М.: Высшая школа, 1975. 392 с.
3. Грюнер Л.А. Ежевика. // Помология. Земляника. Малина. Орехоплодные и редкие культуры. – Т.V / под ред. Е.Н. Седова, Л.А. Грюнер. Орел: ВНИИСПК, 2014. С.300-308
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Киселева Н.С. Оценка адаптационной способности различных генотипов груши по морфоанатомическому и физиологическому состоянию листьев // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 3. С. 34-38
6. Клемешова К.В. Адаптивный потенциал актинидии сладкой (*Actinidia deliciosa* Chevalier) в условиях влажных субтропиков России: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук Краснодар, 2012. 24 с.
7. Панфилова О.В., Голяева О.Д. Влияние засухоустойчивости на физиолого-биохимические показатели листьев смородины красной // Современное садоводство – Contemporary horticulture. 2013. № 4. 8 с. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2013/4/8.pdf>. Дата обращения 28.08.2018
8. Пахарькова Н.Б., Гетте И.Г., Андреева Е.Б., Масенцова И.В. Сезонные изменения пигментного состава растений разных систематических групп на территории заповедника «Столбы» // Вестник КрасГАУ. 2014. №8. С.139-143.
9. Петрова В.И., Коновалов С.Н., Эффективность биоудобрений в саду яблони // Научные труды ГНУ СКЗНИИСиВ. Т. 3. 2013. С. 71-78.
10. Шуляковская Т.А., Ильинова М.К., Кищенко И.Т., Потапова М.Н. Динамика изоферментного состава пероксидазы и содержания пигментов в хвое видов *Picea Dieter.*, интродуцированных в Карелию // Hortus Botanicus – международный электронный журнал ботанических садов. 2007. Т.4. С. 1-9. URL:http://hb.karelia.ru/files/redaktor_pdf/1362930986.pdf. Дата обращения 28.08.2018
11. Strik B.C., Finn C.E., Clark J.R., Pilar Bañados M. Worldwide Production of Blackberries // Acta Horticulturae. 2008. №777. P.209-218. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.777.31.

Refernces

1. Belova, A.Yu., Murashev, S.V., & Verzhuk, V.G. (2012). Influence of pigments in plants leaves on formation and properties of fruit production. *Processes and apparatus of food industries*, 1, 13. (In Russian, English abstract).

2. Gavrilenko, V.F., Ladygina, M.E., & Khandobina, L.M. (1975). *Great workshop on plant physiology. Photosynthesis. Breath.* Moscow: High school. (In Russian).
3. Gruner, L.A. (2014). Blackberries. In E.N. Sedov & L.A. Gruner (Eds.), *Pomology. Strawberries. Raspberries. Nut and rare crops* (vol. 5, pp. 300-308). Orel: VNIISPК. (In Russian).
4. Dospikhov, B.A. (1985). *Methods of the Field Experiment.* Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
5. Kiseleva, N.S. (2009). Estimation of adaptability in different pear genotypes on morpho-anatomical and physiological state of leaves. *Agricultural biology*, 3, 34-38. (In Russian, English abstract).
6. Klemeshova, K.V. (2012). *Adaptive potential of sweet actinidia (Actinidia deliciosa Chevalier) in conditions of the humid subtropics of Russia (Agri. Sci. Cand. Thesis).* Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia. (In Russian).
7. Panfilova, O.V., & Golyaeva, O.D. (2013). Influence of red currant drought resistance on the physiological and biochemical indices of leaves. *Sovremennoe sadovodstvo – Contemporary horticulture*, 4, 8. Retrieved from: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2013/4/8.pdf>. (In Russian, English abstract).
8. Pakharkova, N.B., Gette, I.G., Andreyeva, E.B., & Masentzova, I.V. (2014). The plant pigment composition seasonal changes of different taxonomic groups in the nature reserve «Stolby» territory. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 8, 193–143. (In Russian, English abstract).
9. Petrova, V.I., & Konovalov, S.N. (2013). Efficiency of biological fertilizers in the apple-tree garden. *Scientific publications of FSBSO NCRRIH&V*, 3, 71-78. (In Russian, English abstract).
10. Shuliakovskaya, T.A., Ilinova, M.R., Kishenko, I.T., & Potapova, M.N. (2007). Dynamics of peroxidase isoenzymes and pigments in needles of *Picea* Dieter. species introduced in Karelia. *Hortus Botanicus*, 4, 1-9. Retrieved from: http://hb.karelia.ru/files/redaktor_pdf/1362930986.pdf. (In Russian, English abstract).
11. Strik, B.C., Finn, C.E., Clark, J.R., & Pilar Bañados M. (2008). Worldwide Production of Blackberries. *Acta Horticulturae*, 777, 209-218. doi: 10.17660/ActaHortic.2008.777.31.