

Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных интродуцентов Алтайского ботанического сада

The content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of tree introducers of the Altai Botanical Garden

Вдовина Т. А., Лагус О. А., Данилова А. Н., Исакова Е. А.

Vdovina T. A., Lagus O. A., Danilova A. N., Isakova E. A.

Алтайский ботанический сад КН МОН РК, г. Риддер, Республика Казахстан.

E-mails: tvdovina2017@mail.ru, Lelik_ridder1994@mail.ru, a-n-danilova@yandex.ru, lena12378@bk.ru

RSE on PCV "Altai Botanical Garden" KN MES RK, Ridder, Republic of Kazakhstan

Реферат. Представлены результаты исследований пигментной системы 15 видов древесных растений, интродуцированных в Алтайском ботаническом саду (г. Риддер, Республика Казахстан). Полученные данные свидетельствуют о наличии видоспецифичности в содержании хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. В исследуемых видах содержание хлорофилла *a* варьирует от 5,38 мг/л до 19,28 мг/л, хлорофилла *b* от 0,43 мг/л до 5,09 мг/л, каротиноидов от 4,65 мг/л до 8,34 мг/л.

Ключевые слова. Деревья, каротиноиды, кустарники, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*.

Summary. This article reflects the results of studies of the pigment system of 15 species of woody plants in the Altai Botanical Garden. The data obtained indicate the presence of species specificity in the content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids. In the studied species, the content of chlorophyll *a* varies from 5.38 mg/l to 19.28 mg/l, chlorophyll *b* from 0.43 mg/l to 5.09 mg/l, carotenoids from 4.65 mg/l to 8.34 mg/l.

Key words. Carotenoids, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, tree species, shrub species.

Введение. Содержание хлорофиллов служит одним из показателей физиологического состояния листьев. Изучение в листьях древесных растений биологически активных веществ указывает на отличительные их особенности и представляет как теоретический, так и практический интерес. По химической природе хлорофилл – сложный эфир дикарбоновой кислоты – хлорофиллина и двух спиртов – метилового и фитола. Процесс образования органических веществ из неорганических – углекислого газа и воды, происходящий в зеленых растениях на свету, называется фотосинтезом, или ассимиляцией. Для того чтобы растение могло использовать углекислый газ воздуха, необходимы совершенно определенные условия: свет и наличие хлорофилла (Белова, Краснопивцева, 2016; Белова, Бабкина, 2017).

Хлорофилл выполняет функцию поглощения световой энергии и переносит ее на восстановление углекислоты, а также химически участвует в этом процессе. Однако он функционирует только в сочетании со стромой. Строма является носителем ферментов, участвующих в сложных реакциях фотосинтеза. Цвет, пользуясь хроматографическим методом, разделил хлорофилл на два компонента, различающихся по своему составу и свойствам: хлорофилл *a* и хлорофилл *b*. Хлорофилл *a* имеет синеватый, а хлорофилл *b* желтоватый оттенок (Тиболов, 2010; Иванов и др., 2013).

Хлорофилл обладает избирательным поглощением световой энергии. Наиболее интенсивно поглощение происходит в красных лучах спектра (длина волны от 650 до 680 нм) и сине-фиолетовых (длина волны около 470 нм). Зеленые лучи и часть красных не поглощаются, они и придают хлорофиллу изумрудно-зеленый цвет. Максимум ассимиляции приходится на красные лучи, которые несут максимум энергии и полнее всего поглощаются хлорофиллом. В сине-фиолетовых лучах ассимиляция идет слабее, так как они несут меньше энергии. Зеленый цвет хлоропластов объясняется присутствием в них пигмента – сложного органического вещества хлорофилла, отчего они часто

называются хлорофилловыми зернами. Хлоропласты резко реагируют на освещение, и хлорофилл образуется в них на свету.

Хлоропласт также содержат желтые пигменты – каротиноиды (каротин и ксантофилл). Желтые пигменты – каротин и ксантофилл поглощают свет в зеленой и синей частях спектра. Каротин является провитамином А.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили 15 видов древесных растений, произрастающих на участке дендрофлоры Алтайского ботанического сада. Содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов определялось у хвойного вида – *Juniperus sabina* L., лиственных видов (деревья) – *Acer ginnala* Maxim., *Acer tataricum* L., *Betula pendula* Roth., *Crataegus sanguinea* Pall., *Fraxinus lanceolata* Bjrckh., *Padus racemosa* (Lam.) Gilib., *Tilia cordata* L., *Juglans cinerea* L., лиственных видов (кустарники) – *Cotoneaster lucida* Schlecht., *Berberis thunbergii* DC., *Berberis vulgaris* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Lonicera tatarica* L., *Corulus avelana* L.

Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов определялось с помощью спектрофотометра. С каждого вида брали для фиксации фрагменты 3 листьев, в трехкратной повторности по методу Годнева (Викторов, 1983). Пигменты экстрагировали в 96%-м растворе этилового спирта. Перед этим листья растирали в фарфоровой ступке до консистенции однородной кашицы. При определении концентрации хлорофилла тщательно извлекали пигмент из точно взятой навески, не допуская потери ни одной капли вытяжки. Объем вытяжки составлял 10 мл. В дальнейшем получали значения при оптической плотности D470, D644, D663, которые использовали для расчетов содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов по формулам.

Хлорофилл *a* $12,25 \cdot A_{663} - 2,79 \cdot A_{644}$

Хлорофилл *b* $21,50 \cdot A_{644} - 5,10 \cdot A_{663}$

Каротиноиды $(1000 \cdot A_{470} - 1,82 \cdot cA_{85,02} \cdot cB) / 198$

Для распределения наблюдаемых видов по каждому физиологическому показателю данные были разбиты на классы с наименьшими, средними и наибольшими значениями. Так, по содержанию хлорофилла *a*, – низкое содержание в интервале 3,34–9,06 мг/л, среднее – 9,07–14,79 мг/л, высокое – 14,80–20,51 мг/л, по хлорофиллу *b* – низкое содержание 0,10–0,51 мг/л, среднее – 2,52–4,93 мг/л, высокое – 4,94–7,33 мг/л, по каротиноидам – низкое – 4,08–5,95 мг/л, среднее – 5,96–7,83 мг/л, высокое 7,84–9,70 мг/л.

Физиологические исследования проводили в 2021 г (19,07; 5,08; 17,08) в лабораторных условиях. Метеорологические особенности в день взятия проб следующие – первая и последняя дата (пять дней после дождя), пятого августа до дождя.

Результаты. Результаты исследований в течение вегетационного периода показали, что у исследуемых видов среднее значение, по хлорофиллу *a* равно 10,17 мг/л, хлорофиллу *b* – 1,97 мг/л, каротиноидам – 5,8 мг/л. Во второй декаде июля наименьшее содержание хлорофилла *a* отмечено у древесного вида *Fraxinus lanceolata* Bjrckh. – 8,13 мг/л и двух кустарниковых – *Berberis thunbergii* DC. – 6,80 мг/л, *Berberis vulgaris* L. – 4,98 мг/л (табл.).

Таблица

Сезонная динамика содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях древесных растений (мг/ л сырого вещества)

Вид	Дата	Пигментный состав листовой пластинки, мг/л сырой массы		
		хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
Хвойные виды				
<i>Juniperus sabina</i> L.	19.07	10,31	0,60	4,48
	5.08	7,44	0,74	5,05
	17.08	6,09	0,51	4,42
Лиственные виды (деревья)				
<i>Fraxinus lanceolata</i> Bjrckh.	19.07	8,13	0,99	4,87
	5.08	13,02	0,69	6,26
	17.08	8,65	1,01	5,19
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	19.07	12,49	0,25	7,87
	5.08	8,84	0,76	5,46
	17.08	3,34	3,35	4,08

Окончание таблицы

Вид	Дата	Пигментный состав листовой пластинки, мг/л сырой массы		
		хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
<i>Acer tataricum</i> L.	19.07	15,26	4,19	6,22
	5.08	18,71	4,81	7,50
	17.08	17,74	2,69	8,21
<i>Betula pendula</i> Roth	19.07	9,87	0,70	5,04
	5.08	7,31	5,40	5,52
	17.08	10,07	0,84	6,08
<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	19.07	9,96	0,78	6,14
	5.08	7,75	0,16	5,85
	17.08	3,86	0,67	3,78
<i>Padus racemosa</i> (Lam.) Gilib.	19.07	10,19	0,23	5,60
	5.08	9,21	0,10	5,26
	17.08	8,02	0,95	5,16
<i>Tilia cordata</i> L.	19.07	16,14	0,40	9,58
	5.08	18,75	4,27	8,00
	17.08	21,66	7,46	6,69
<i>Juglans cinerea</i> L.	19.07	12,61	2,37	6,96
	5.08	19,47	5,57	7,51
	17.08	19,47	5,30	7,63
Лиственные виды (кустарники)				
<i>Cotoneaster lucida</i> Schlecht.	19.07	17,14	0,41	9,66
	5.08	20,05	5,62	7,42
	17.08	17,10	2,34	7,94
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	19.07	6,80	0,83	9,24
	5.08	4,53	1,59	5,27
	17.08	4,80	1,85	9,18
<i>Berberis vulgaris</i> L.	19.07	4,98	1,43	4,37
	5.08	12,18	2,14	5,57
	17.08	8,22	1,28	5,94
<i>Euonymus maackii</i> Rupr.	19.07	18,51	3,33	7,81
	5.08	17,19	3,42	7,61
	17.08	14,27	0,46	6,51
<i>Lonicera tatarica</i> L.	19.07	13,55	1,71	6,87
	5.08	11,99	1,61	6,25
	17.08	12,36	1,33	6,75
<i>Corulus avelana</i> L.	19.07	19,46	4,80	12,85
	5.08	20,51	7,33	7,66
	17.08	17,88	3,65	7,60

Наибольший показатель отмечен у двух древесных видов: *Acer tataricum* L. – 15,26 мг/л, *Tilia cordata* L. – 16,14 мг/л и трех кустарниковых – *Cotoneaster lucida* Schlecht. – 17,14 мг/л, *Euonymus maackii* Rupr. – 18,51 мг/л и *Corulus avelana* L. – 19,46 мг/л. Для таких видов, как *Padus racemosa* (Lam.) Gilib., *Lonicera tatarica* L., *Crataegus sanguinea* Pall. максимальные значения по хлорофиллу *a* в пределах (6,80–13,55 мг/л) пришлось на даты первых двух анализов.

Анализируя сезонную динамику хлорофилла *a*, отмечаем, что у большинства видов наиболее высокое содержание в первой половине вегетации, затем происходит снижение уровня этого показателя и в конце вегетации содержание хлорофилла *a* в листьях растений наименьшее. Это явно выражено у видов: *Padus racemosa* (Lam.), *Acer ginnala* Maxim., *Euonymus maackii* Rupr., *Juniperus sabina* L., *Crataegus sanguinea* Pall.. В августе хлорофилл *a* повысился у трех древесных видов – *Fraxinus lanceolata* Bjrckh., *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L. и трех кустарниковых *Berberis vulgaris* L., *Cotoneaster lucida* Schlecht., *Corulus avelana* L. Его содержание в листьях вышеназванных видов отмечено в пределах, 12,18–20,51 мг/л. Проведенные исследования во второй декаде августа 17.08 свидетельствуют о максимальном накоплении хлорофилла *a* только у древесных видов: *Tilia cordata* L. – 21,66 мг/л, *Betula pendula* Roth – 10,07 мг/л, *Juglans cinerea* L. – 19,47 мг/л. В этот период у данных видов явно не наблюдается расцветивание листьев.

Если рассматривать содержание хлорофилла *a* у исследованных видов по отношению к свету, то у теневыносливых *Tilia cordata* L., *Lonicera tatarica* L., *Berberis vulgaris* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Corulus avelana* L., *Juniperus sabina* L. его накапливается больше среднего значения (10,17 мг/л) по видам, хотя высокое содержание хлорофилла отмечается и у светолюбивых растений: *Cotoneaster lucida* Schlecht., *Acer tataricum* L., *Juglans cinerea* L.

Невысокие показатели отмечены по хлорофиллу *b*, в среднем, 1,97 мг/л. Его накапливается в пять раз меньше, чем хлорофилла *a*. Наименьшее содержание его у *Juniperus sabina* L. (0,62 мг/л), наибольшее у *Berberis thunbergii* DC. (5,09 мг/л), значения средние.

По содержанию каротиноидов среднее значение по видам составляет 5,8 мг/л, с максимальным значением у *Cotoneaster lucida* Schlecht. (9,66 мг/л), *Corulus avelana* L. (9,71 мг/л), *Berberis thunbergii* DC. (9,24 мг/л) (дата определения 19 VII) и минимальным *Fraxinus lanceolata* Bjrckh. (4,13 мг/л). Определенной закономерности по накоплению каротиноидов не выявлено. К концу вегетации происходит повышенное накопление каротиноидов у *Acer tataricum* L., *Berberis vulgaris* L., *Betula pendula* Roth, *Juglans cinerea* L., *Berberis thunbergii* DC. имеет высокие значения этого показателя в начале (9,24 мг/л) и в конце (9,18 мг/л) вегетационного периода. На одном уровне (6,25–6,87 мг/л) за вегетационный период отмечалось содержание каротиноидов у *Lonicera tatarica* L.

Отличительной чертой древесных видов *Padus racemosa* (Lam.) Gilib. и *Crataegus sanguinea* Pall. является плавное снижение содержание пигментов в течение вегетационного периода. Так, у первого вида по хлорофиллу *a* – от 10,19 мг/л (дата определения 19 VII) до 8,02 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 9,21 мг/л (дата определения 5 VIII). По каротиноидам – от 5,60 мг/л (дата определения 19 VIII) до 5,16 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 9,21 мг/л (дата определения 5 VIII). У *Crataegus sanguinea* Pall. по хлорофиллу *a* – от 9,96 мг/л (дата определения 19 VII) до 3,86 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 7,75 мг/л (дата определения 5 VIII). По каротиноидам – от 6,014 мг/л (дата определения 19 VII) до 3,78 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 5,85 мг/л (дата определения 5 VIII).

Такое плавное снижение пигментов отмечено и у кустарникового вида *Euonymus maackii* Rupr.: по хлорофиллу *a* – от 18,51 мг/л (дата определения 19 VII) до 14,27 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 17,19 мг/л (дата определения 5 VIII). По каротиноидам – от 7,81 мг/л (дата определения 19 VII) до 6,51 мг/л (дата определения 17 VIII). Промежуточное значение 7,61 мг/л (дата определения 5 VIII).

Наибольшим накоплением каротиноидов к концу вегетационного сезона характеризовались следующие древесные виды: *Acer tataricum* L. – 8,21 мг/л, *Betula pendula* Roth. – 6,08 мг/л, *Juglans cinerea* L. – 7,63 мг/л. Из кустарниковых видов высоким содержанием каротиноидов отличаются – *Berberis thunbergii* DC. – 9,18 мг/л, *Berberis vulgaris* L. – 5,94 мг/л. Надо отметить, что в содержании каротиноидов у всех видов нет особых различий.

При сравнении средних значений по физиологическим показателям древесных видов получено, что низкое содержание хлорофилла *a* за вегетационный период отмечено у хвойного вида *Juniperus sabina* L. – 7,95 мг/л, у двух лиственных древесных видов – *Acer ginnala* Maxim. – 8,22 мг/л, *Crataegus sanguinea* Pall. – 7,19 мг/л и двух кустарниковых – *Berberis thunbergii* DC. – 5,38 мг/л, *Berberis vulgaris* L. – 8,45 мг/л. Это третья часть, 33,3 % от исследуемых видов. С высоким содержанием хлорофилла *a*, больше 14,80 мг/л – 6 видов (40,0 %), средним – 4 вида (26,7 %), низким – 5 видов (33,3 %).

По хлорофиллу *b* низкое содержание имеют 9 видов, из них 5 древесных видов, 4 кустарниковых и один хвойный (60,0 %), среднее значение отмечено у 5 видов (33,3 %), с высоким содержанием один вид – *Berberis thunbergii* DC., на долю которого приходится 6,7 %.

Как и по первым двум позициям, самый низкий показатель по содержанию каротиноидов отмечен у *Juniperus sabina* L. – 4,65 мг/л. Семь видов имеют низкое содержание каротиноидов, что составляет 46,6 % от общего числа, четыре вида высокое 26,7 % и четыре вида среднее 26,7 %.

Заключение. Различные по биологическим особенностям культуры – листопадные, хвойные растения обладают определенным унаследованным соотношением и содержанием зеленых пигментов в листьях, и как следствие, закреплены за растением генетически, характеризуя биологический потенциал растения. Из анализа собственных исследований был сделан вывод, что накопление пигментов специфично для листьев каждого вида растений и зависит от генетических особенностей, водного, светового режимов растения, минерального питания, возраста листьев и других внешних и внутренних условий. Низким содержанием пигментов отличается хвойный вид *Juniperus sabina* L.

Благодарности. Статья написана в рамках программы НТП «Разработка научно-практических основ и инновационных подходов интродукции растений в природных зонах Западного и Восточного Казахстана для рационального и эффективного использования» на 2021–2022 гг. Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

Белова Т. А., Бабкина Л. А. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных растений средней полосы России // Электронный научный журнал Курского государственного университета, 2017. – № 2(14). – С. 1–5.

Белова Т. А., Краснопивцева А. Н. Физиологические основы адаптации пигментной системы древесных растений к условиям светового климата городской среды // Auditorium, 2016. – № 4(12). – С. 10–13.

Викторов Д. П. Малый практикум по физиологии растений. – М.: Высшая школа, 1983. – 135 с.

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. – № 6. – С. 856–864.

Тиболов А. А. Особенности высокой биологической продуктивности мандарина – *Citrus unshiu* MARC // Интродукция нетрадиционных и редких растений: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Мичуринск). – Мичуринск, 2010. – С. 165–171.