

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АССИМИЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ ТРАВЯНИСТЫХ И ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

© 2021

Турбина И.Н., Кукуричкин Г.М.

Сургутский государственный университет

(г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация)

Аннотация. В статье представлены результаты исследований биохимических показателей ассимилирующих органов 8 видов травянистых и древесных растений в условиях интродукции. Отмечено, что у 4 видов травянистых интродуцентов повышение количества содержания хлорофилла и соотношения хлорофилла и флавоноидов в августе месяце связано с фазами массового цветения и плодоношения. Напротив, у *Crataegus ellwangeriana* максимальные значения этих показателей являются реакцией на неблагоприятные условия произрастания (недостаток питания и влаги) в период активного роста. Увеличение синтеза антоцианов у *Physocarpus opulifolius* и *Sorbaria sorbifolia* в 1,2–1,4 раза, а показателя азотного баланса у *Aronia melanocarpa* до 23 мг/см² в сентябре, по сравнению с летним периодом, говорит о формировании защитной функции организма растений в предзимний период. Незначительные колебания флавоноидов на протяжении всего периода вегетации подтверждают, что все исследованные растения находятся в оптимальном азотном статусе. В работе для интерпретации результатов исследования использованы следующие статистические методы: W-тест Шапиро-Уилка (при небольших выборках $n < 30$), параметрический метод анализа t-тест Стьюдента, t-тест для зависимых выборок.

Ключевые слова: адаптация; антоцианы; ассимилирующие органы; биохимические показатели; вегетация; древесные растения; интродукция; многолетники; травянистые растения; флавоноиды; хлорофилл.

CHARACTERISTICS OF SOME BIOCHEMICAL PARAMETERS IN ASSIMILATING ORGANS OF HERBACEOUS AND WOODY PLANTS IN CONDITIONS OF INTRODUCTION

© 2021

Turbina I.N., Kukurichkin G.M.

Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation)

Abstract. The paper presents study results of 8 herbaceous and woody plants species assimilating organs' biochemical parameters in conditions of introduction. It has been identified that in 4 herbaceous introduced species increased chlorophyll content and ratio of chlorophyll to flavonoids in August is associated with massive flowering and fruiting phases. On the contrary, in *Crataegus ellwangeriana* the maximum values of the above parameters are the reaction to unfavorable growing conditions (lack of nutrition and moisture) during the active growth period. The increased anthocyanins synthesis in *Physocarpus opulifolius* and *Sorbaria sorbifolia* by 1,2–1,4 times and increased nitrogen balance in *Aronia melanocarpa* up to 23 mg/cm² in September compared to summer period testifies to protective function formation in plant organism in pre-winter period. Slight fluctuations in flavonoids content throughout the entire vegetation season confirm that all the studied plants are in optimal nitrogen status. The following statistical methods were used to interpret the present study results: Shapiro-Wilk W-test (for small samples $n < 30$), parametric analysis method Student's t-test, t-test for dependent samples.

Keywords: adaptation; anthocyanins; assimilating organs; biochemical indicators; vegetation; woody plants; introduction; perennials; herbaceous plants; flavonoids; chlorophyll.

Введение

Физиолого-биохимические характеристики ассимилирующих органов, определяющих ростовые и репродуктивные процессы, чувствительны к изменениям окружающей среды и используются для ранней диагностики состояния растений. Содержание хлорофиллов является одним из биохимических показателей степени адаптации растений к экологическим условиям. Содержание антоциановых пигментов, участвующих в обеспечении устойчивости растений к стрессовым факторам, также может быть использовано для оценки их физиологического состояния [1; 2, с. 172]. Соотношение количества хлорофилла и флавоноидов и содержание флавоноидов являются индикаторами азотного статуса растений [3].

Семейство Rosaceae Juss. является самым представительным по числу видов древесных растений на территории Азиатской России и включает 97 видов из 25 родов. Хозяйственное значение представителей Rosaceae исключительно высоко. Среди них имеются фармакопейные, пищевые, эфирномасличные, красильные, медоносные и ценные кормовые растения [4, с. 78; 5, с. 97–98]. Все виды отличаются декоративностью, относительно быстро растут, легко формируются, поэтому повсеместно используются в озеленении.

Asteraceae Bercht. & J. Presl – одно из самых крупных семейств в царстве растений, которое объединяет около 20 тыс. видов и 1200 родов. Распространены астровые во всех климатических зонах, среди них немало представителей лекарственных и пищевых рас-

тений. Большинство астровых – многолетние или однолетние травы, но в тропиках встречаются лианы, суккуленты, кустарники и небольшие деревья до 10–15 м высотой [6, с. 55; 7, с. 101–102].

Цель работы: исследование сезонной динамики содержания хлорофилла, флавоноидов и их количественных соотношений в листьях древесных и травянистых растений – как показателей адаптационных процессов в условиях интродукции.

Материал и методы исследования

Объектами исследований являлись четыре представителя травянистых растений семейства Asteraceae Bercht. & J. Presl, привезенные в 2019 г. из Ботанического сада им. И.И. Спрыгина (г. Пенза).

Rudbeckia hirta L. – рудбекия волосистая, является представителем североамериканской флоры. Произрастает по всему континенту по лесам, лугам, обочинам дорог. Длиннокорневищный поликарпик. Высота растений 60–80 см. Стебли прямые, слабо ветвистые, малочисленные. Жестковолосистые. Листья яйцевидно-удлиненные, крупные. Соцветия одиночные корзинки от 8 до 16 см в диаметре. Язычковые цветки коричневатые с желтой каймой, трубчатые – черные. Отрастает в начале мая. Цветет с первой декады июля по октябрь. Семена созревают в начале сентября. Вегетирует до снежного покрова [8, с. 37].

Rudbeckia speciosa Wender. – рудбекия прекрасная, растет в Северной Америке по сырым местам. Длиннокорневищный поликарпик. Стебель 50–60 см высотой. Листья продолговатые, зубчатые. Соцветие 9–10 см в диаметре. Язычковые цветки оранжевые, трубчатые – коричнево-черные. Отрастает в начале мая. Цветет с первой декады июля по октябрь. Вегетирует до снежного покрова [8, с. 36].

Echinacea purpurea (L.) Moench. – эхинацея пурпурная, растет в Северной Америке на влажных плодородных почвах. Короткорневищный поликарпик. Стебли высотой 60–150 см. Розеточные листья длинночерешковые, широкоовальные, по краю зубчатые; стеблевые – сидячие, ланцетные. Язычковые цветки пурпурно-розовые, трубчатые красновато-коричневые. Отрастает в конце апреля, цветет со второй декады июля по сентябрь. Вегетирует до снежного покрова [9, с. 82; 10, с. 157; 11, с. 10].

Arnica sachalinensis (Regel) A. Gray – арника сахалинская, является дальневосточным видом, эндемик, произрастает в смешанных лесах, зарослях кустарников в гористых местностях, по берегам рек. Длиннокорневищный поликарпик. Стебли до 100 см высотой. Язычковые цветки светло-желтые, трубчатые многочисленные. Отрастание сразу после схода снега. Цветет со второй декады июня, до конца сентября. Семена созревают в начале августа. Вегетирует до снежного покрова [12, с. 48].

Вторая группа – четыре представителя древесно-кустарниковых растений сем. Rosaceae Juss.

Sorbaria sorbifolia (L.) A. Braun – Рябинник рябинолистный – кустарник до 2–3 м высотой; листья непарноперистосложные с многочисленными листочками. Цветки белые, мелкие, собраны в рыхлые конечные метелки. Естественно произрастает в пойменных лесах и кустарниковых зарослях на востоке Западной Сибири, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Один из самых рановегетирующих кустарников. Распускающиеся листочки красновато-корич-

невые, выросшие – зеленые, ланцетные с оттянутой верхинкой, осенью желтые. Весьма зимостойкий и теневыносливый вид. Мезогигрофит, засухоустойчив. Эутроф, но может расти и на бедных почвах. Газоустойчив. Применяется в озеленении, включая районы тундры и лесотундры [13, с. 241; 14, с. 219].

Physocarpus opulifolius (L.) Maxim. – пузыреплодник калинолистный. Родина – Северная Америка; по берегам рек и ручьев, часто на влажных и заболоченных землях. Крупные кустарники (до 3 м), с серо-коричневой отслаивающейся корой. Листья 3–5-лопастные, голые. Цветки белые, в поникающих щитковидных соцветиях, цветут в первой половине лета. Декоративен и в плодах (краснеющие, сохраняющиеся до глубокой осени коробочки). Широко применяется в озеленении городов в различных природных зонах, в том числе в Сургуте. Неприхотлив, устойчив к атмосферному загрязнению, зимостойкий. В Ботаническом саду выращивается с начала 2000-х гг. 1 группа зимостойкости. Цветет и плодоносит [15].

Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott – арония черноплодная – кустарник до 2,5 м высотой, из Северной Америки, где растет по влажным местообитаниям и в горах. Листья простые, эллиптические или обратнояйцевидные, с острой верхушкой; молодые – красновато-коричневые, летом – сверху блестящие, темно-зеленые и бледно-зеленые снизу, осенью – от ярко-красных до фиолетовых. Плоды созревают в конце лета – начале осени, съедобные, терпкие. В южнотаежной подзоне и южнее аронию выращивают в промышленных масштабах как ценный плодово-ягодный кустарник и широко применяют в озеленении, обычно под названием черноплодной рябины. В Сургуте изредка используется в озеленении, выращивается в любительском садоводстве. В суровые зимы местами сильно обмерзает, вызревает не каждый год. В коллекции Ботанического сада с 2019 г., из семян местной репродукции. 2–3 группа зимостойкости [16].

Crataegus ellwangeriana Sarg. (*Crataegus coccinea* var. *ellwangeriana* (Sarg.) Ettl.) – боярышник Эльвангера. Кустарники или деревья. Листья эллиптически-яйцевидные, голые или опушенные, 5–8 см длиной, основание клиновидное, вершина лопасти заостренная, края зазубренные. Естественно распространен в Северной Америке; введен в культуру в Европе. В коллекции Сургутского ботанического сада с 2012 года (саженцы из Самары). Изредка подмерзает, растет медленно. Предварительная оценка: 2 группа зимостойкости. Не цветет [17; 18].

Для оценки повреждаемости древесных растений низкой температурой использовалась 5-балльная шкала С.Я. Соколова [19]: 1 – растение вполне зимостойко; 2 – у растения отмерзают концы побегов; 3 – отмерзают крупные ветви; 4 – отмерзает вся надземная часть до уровня снегового покрова (или почвы); 5 – растение не зимует, вымерзает с корнем.

Изучали содержание пигментов в листьях интродуцентов три раза за сезон – июль, август, сентябрь. Исследования проводили в первой половине дня (период 11–13 час.), в сухую погоду при температуре воздуха от +17°C в июле до +11°C в сентябре.

Определение биохимических показателей (содержание флавоноидов – Flv, мг/см², хлорофилла – Chl, мг/см², индекса азотного баланса – Nbi, антоцианов – Anth, мг/см²) проводили с помощью иннова-

ционного аппарата DUALEX (Франция). Индекс азотного баланса растений Nbi (Nitrogen Balance Index) представляет собой соотношение количества хлорофилла и флавоноидов. Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи следующих программных пакетов: Microsoft Excel 2016 и Statistica 10. Соответствие структуры данных закону нормального распределения оценивалось на основе вычисления критерия *Shapiro-Wilk's W-test* (W-тест Шапиро-Уилка) (для выборок $n < 30$). Для сравнения двух независимых выборок по одному признаку использовали параметрический метод анализа – *t-тест Стьюдента*, а при сравнении средних значений биохимических показателей у древесных растений применяли *t-тест для зависимых выборок* [20, с. 30–36].

Результаты и их обсуждение

При изучении содержания биохимических показателей в листьях травянистых растений отмечено повышение количества показателей Nbi, Chl в августе месяце, что связано с периодом массового цветения и плодоношения. Для флавоноидов резких колебаний не обнаружено, их содержание отмечено в пределах от 1,472 до 1,522 мг/см² у *Echinacea purpurea* и от 1,878 до 2,028 мг/см² у *Arnica sachalinensis*, что говорит об оптимальном азотном статусе исследованных растений.

В полученных результатах статистически значимыми были различия при сравнении двух независимых выборок показателей Nbi, Chl, Flv в листьях видов *Rudbeckia speciosa* и *Rudbeckia hirta*, *Echinacea purpurea* и *Arnica sachalinensis* за месяцы – июль, август, сентябрь при значении $p < 0,05$ (табл. 1).

При анализе зависимых групп трех видов древесных растений наблюдаются статистические различия между сравниваемыми выборками биохимических показателей (Nbi, Chl, Anth) за август, сентябрь месяц при значении $p < 0,05$ (рис. 1, 2).

Так, у древесных растений максимальные значения (Nbi, Chl) отмечены у *Crataegus ellwangeriana* в августе (22,992 мг/см², 36,042 мг/см²), по сравнению с осенним месяцем (17,45 мг/см², 28,977 мг/см²), что связано с неблагоприятными условиями произрастания (недостаток питания и влаги) в период активного роста. Как следствие – не только измельчание, но и хлороз листьев на кустарнике. Напротив, у *Aronia melanocarpa* отмечали наибольшее значения Nbi в сентябре 23 мг/см², что говорит о формировании защитной функции организма растений в предзимний период, так как растение использует основной обмен веществ и синтезирует белки, основным компонентом которых является хлорофилл (рис. 2: B).

Таблица 1 – Сравнение средних значений двух независимых выборок

Параметр	Месяц	Mean1/Mean2	t-value	p	Std. Dev.	F-ratio, Variances	P, Variances
<i>Rudbeckia speciosa</i> / <i>Rudbeckia hirta</i>							
Nbi	июль	$\frac{12,70}{19,84}$	-3,652	0,006	$\frac{2,596}{3,517}$	1,836	0,571
	август	$\frac{14,46}{23,72}$	-7,474	0,0001	$\frac{1,77}{2,131}$	1,449	0,728
	сентябрь	$\frac{13,68}{19,16}$	-2,607	0,031	$\frac{4,495}{1,372}$	10,732	0,041
Chl	июль	$\frac{24,44}{33,52}$	-3,983	0,004	$\frac{3,863}{3,325}$	1,349	0,778
	август	$\frac{25,56}{43,16}$	-8,355	0,003	$\frac{3,654}{2,972}$	1,512	0,699
	сентябрь	$\frac{23,80}{35,72}$	-3,719	0,005	$\frac{5,775}{4,243}$	1,852	0,565
<i>Echinacea purpurea</i> / <i>Arnica sachalinensis</i>							
Nbi	июль	$\frac{25,42}{15,38}$	2,444	0,04	$\frac{7,430}{5,398}$	1,895	0,551
	август	$\frac{31,56}{17,02}$	8,663	0,0002	$\frac{3,532}{1,269}$	7,738	0,073
	сентябрь	$\frac{25,56}{12,94}$	3,647	0,01	$\frac{6,184}{4,650}$	1,769	0,594
Chl	август	$\frac{47,60}{27,84}$	3,882	0,005	$\frac{2,790}{11,033}$	15,637	0,021
	сентябрь	$\frac{41,62}{25,12}$	2,911	0,02	$\frac{5,681}{11,329}$	3,977	0,209
Flv	июль	$\frac{1,472}{2,028}$	-3,838	0,005	$\frac{0,232}{0,226}$	1,059	0,957
	август	$\frac{1,522}{1,878}$	-3,388	0,01	$\frac{0,171}{0,161}$	1,121	0,914

Примечание. Mean1 – средние значения для группы *Rudbeckia speciosa*, *Echinacea purpurea*; Mean2 – средние значения для группы *Rudbeckia hirta*, *Arnica sachalinensis*; t-value – значение рассчитанного программой t-критерия Стьюдента; p – вероятность ошибки (критический уровень значимости принят равным $p < 0,05$); Std. dev. – стандартные отклонения для каждой группы; F-ratio, Variances – значение F-критерия Фишера, с помощью которого проверяется гипотеза о равенстве дисперсий в сравниваемых выборках; P, Variances – вероятность ошибки для F-теста Фишера.

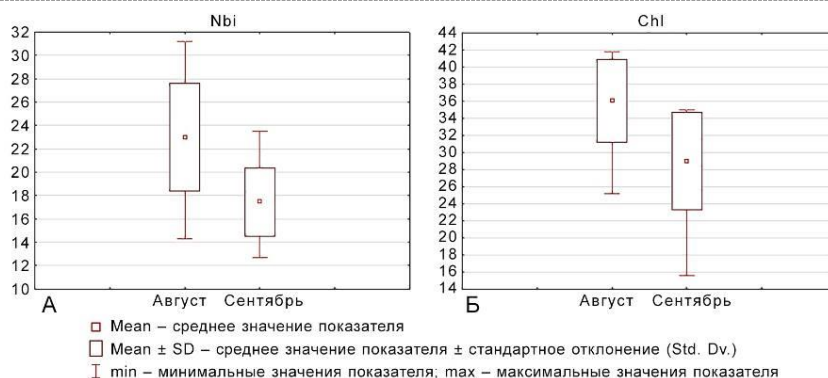


Рисунок 1 – Сравнение средних значений зависимых выборок вида *Crataegus ellwangeriana* по показателю: А – Nbi, Б – Chl

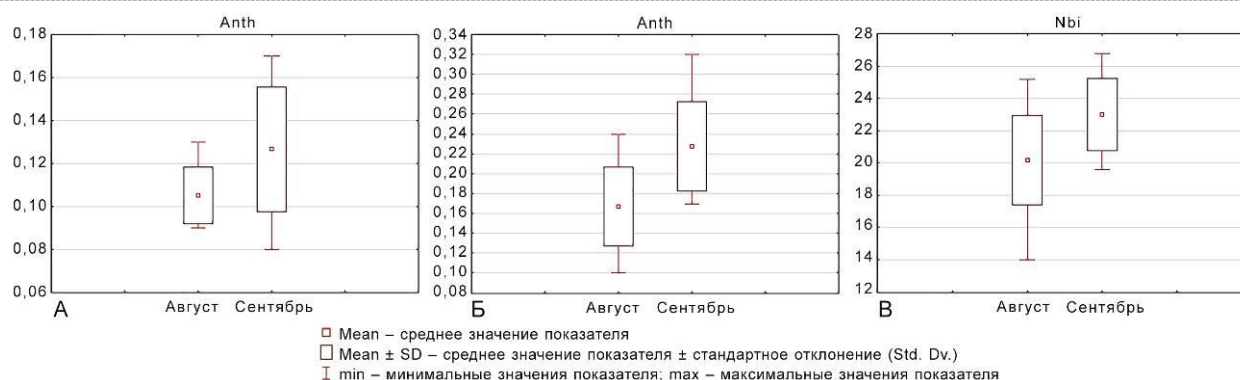


Рисунок 2 – Сравнение средних значений зависимых выборок видов:

А – *Physocarpus opulifolius*, Б – *Sorbaria sorbifolia* по показателю Anth, В – *Aronia melanocarpa* по показателю Nbi

Увеличение синтеза антоцианов у *Physocarpus opulifolius* и *Sorbaria sorbifolia* в 1,2–1,4 раза в сентябре, по сравнению с летним периодом, связано с реакцией растений на неблагоприятные условия среды и протекторную функцию, защищающую от излишков синтезируемых углеводов осенью (избытки углеводов идут на синтез антоцианов).

Заключение

Анализ содержания хлорофилла, флавоноидов и антоцианов в ассимилирующих органах исследуемых растений выявил видовую специфичность в их накоплении в течение всего вегетационного периода. Соотношение количества хлорофилла и флавоноидов в листьях интродуцентов свидетельствует об их оптимальном азотном статусе. Пигментный аппарат травянистых растений более лабильный к изменениям экологических факторов по сравнению с древесными видами.

Список литературы:

- Chalker-Scott L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses // *Photochemistry and Photobiology*. 1999. Vol. 70, № 1. P. 1–9.
- Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Бессережнова М.И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2012. № 2 (18). С. 171–185.
- Dualex Scientific [Электронный ресурс] // https://etemiks-agro.ru/wp-content/uploads/2018/07/Dualex_Manual.pdf.
- Чудновская Г.В. Пищевые растения семейства Rosaceae (розоцветные) в Иркутском районе Иркутской области // *Вектор развития современной науки: XXX междунар. практ. конф. М.: Научный центр – Олимп (Астрахань)*, 2018. С. 78–81.

- Чиндяева Л.Н., Цыбуля Н.В., Киселева Т.И. Анти-микробная активность листьев древесных растений семейства розоцветные (Rosaceae Juss.) // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017. № 8 (154). С. 97–104.

- Кабанов А.В. Особенности подбора поздно цветущих представителей семейства Asteraceae для городского озеленения // *Экосистемы*. 2019. № 18. С. 55–60.

- Мазур Л.В. Фитохимический состав растений семейства Asteraceae Dumort. Западного Забайкалья // *Вестник Бурятского государственного университета*. 2015. Вып. 4 (1). С. 101–104.

- Бондарцова И.П. Рудбекии в коллекции ботанического сада имени Э.З. Гареева НАН КР // *Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики*. 2019. № 6. С. 35–37.

- Фомина Т.И. Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 179 с.

- Пошелюжина О.П. Интродукция малораспространенных многолетников в Алтайском крае // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2008. № 41. С. 150–160.

- Арыкбаева Н.М. Размножение Эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) в ботаническом саду им. Э.З. Гареева НАН КР // *Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики*. 2019. № 6. С. 10–11.

- Терлецкая А.Т. Растительный покров Дальнего Востока: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2013. 116 с.

- Булыгин Н.Е. Дендрология. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 352 с.

- Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской части России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 707 с.

15. *Physocarpus opulifolius* [Internet] // Flora of North America. – http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=220010406.

16. *Aronia melanocarpa* [Internet] // Flora of North America. – http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242416098.

17. *Crataegus elwangeriana* Sarg. [Internet] // International Plant Names Index. – <https://www.ipni.org/n/1048849-2>.

18. *Crataegus coccinea* [Internet] // Flora of North America. – http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250100075.

19. Деревья и кустарники СССР. Т. II. Покрытосеменные / ред. С.Я. Соколов. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 611 с.

20. Мастицкий С.Э. Методическое пособие по использованию программы «Statistica» при обработке данных биологических исследований. Мн.: РУП «Институт рыбного хозяйства», 2009. 76 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (приказ № 10-П-1308 от 04.09.2020 г.).

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Турбина Ирина Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра Института естественных и технических наук; Сургутский государственный университет (г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация). E-mail: scilla3@yandex.ru.</p> <p>Кукуричкин Глеб Михайлович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра Института естественных и технических наук; Сургутский государственный университет (г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация). E-mail: lesnik72@mail.ru.</p>	<p>Turbina Irina Nikolaevna, candidate of biological sciences, senior researcher of Scientific and Educational Center of Institute of Natural and Technical Sciences; Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation). E-mail: scilla3@yandex.ru.</p> <p>Kukurichkin Gleb Mikhailovich, candidate of biological sciences, senior researcher of Scientific and Educational Center of Institute of Natural and Technical Sciences; Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation). E-mail: lesnik72@mail.ru.</p>

Для цитирования:

Турбина И.Н., Кукуричкин Г.М. Характеристика некоторых биохимических показателей ассимилирующих органов травянистых и древесных растений в условиях интродукции // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 2. С. 111–115. DOI: 10.17816/snv2021102117.