

Исследование содержания фотосинтетических пигментов и флавоноидных соединений в зеленой массе *Salvia officinalis* L.

Study of photosynthetic pigments and flavonoid compounds content in *Salvia officinalis* L. phytomass

Кравченко И. В., Мулюкин М. А., Самойленко З. А., Макарова Т. А., Гулакова Н. М.

Kravchenko I. V., Mulyukin M. A., Samoilenko Z. A., Makarova T. A., Gulakova N. M.

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия.

E-mails: kravinessa@mail.ru, mulyukin_ma@surgu.ru, zoyasl@yandex.ru, tatiana.makarova2010@yandex.ru, gulakova_nm@surgu.ru
Surgut State University, Surgut, Russia

Реферат. Изучение состояния пигментного аппарата (хлорофиллов, каротиноидов) и флавоноидов позволит выявить механизмы адаптации растений, которые в дальнейшем можно использовать в эколого-биохимических исследованиях. Цель нашего исследования – оценить содержание пигментов фотосинтеза (хлорофиллов, каротиноидов) и флавоноидов в фитомассе шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), выращенного традиционным и гидропонным способами. Исследовано два сорта шалфея лекарственного: ‘Добрыня’ и ‘Кубанец’ двух производителей. Растения выращивали гидропонным методом в 2 вариантах освещения (светодиодное освещение с красными, синими, белыми диодами и с белыми диодами). Для сравнения были взяты растительные образцы (‘Кубанец’ (Johnsons), ‘Кубанец’ (Гавриш)), выращенные в открытом грунте. Содержание пигментов и показателей флавоноидных соединений определяли на спектрофотометре Shimadzu UV-1900i. Результаты исследования накопления хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в зеленой массе шалфея показали преимущества гидропонного способа выращивания на минераловатном субстрате с использованием цветных светодиодных ламп у сорта ‘Кубанец’ (Johnsons), для сорта ‘Кубанец’ (Гавриш) – освещения белыми и комбинированными лампами, а для сорта ‘Добрыня’ – комбинированными фитолампами. Для накопления хлорофиллов в гидропонике, в целом, цветное освещение благоприятнее белого. Более высокие значения содержания каротиноидов наблюдались в условиях светокультуры при белом светодиодном освещении у сортов ‘Кубанец’ (Гавриш) и ‘Кубанец’ (Johnsons). Накопление флавоноидов интенсивнее проходило в условиях открытого грунта, в гидропонных условиях – при белом освещении.

Ключевые слова. Вертикальные фермы, гидропоника, каротиноиды, флавоноиды, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, шалфей лекарственный.

Summary. The study of the pigment apparatus (chlorophylls, carotenoids) and flavonoids will allow to reveal the plants adaptation mechanisms, which subsequently can be used in ecological and biochemical studies. The purpose of the study is to determine the content of the photosynthesis pigments (chlorophylls, carotenoids) and flavonoids in the phytomass of hydroponically grown garden sage (*Salvia officinalis* L.) compared with the sage grown the open soil. Two varieties of the garden sage were studied: ‘Dobrynya’ and ‘Kubanets’ from two different producers. The plants were grown hydroponically under two lighting regimes (red, blue and white LEDs and white LEDs). The open-soil plant specimens (‘Kubanets’ by Johnsons, ‘Kubanets’ by Gavrish) were studied for comparison. SHIMADZU UV-1900i spectrophotometer was used to determine the pigments and flavonoids content. The study results regarding chlorophylls *a*, *b* and carotenoids in the phytomass showed the advantages of the hydroponic cultivation on the mineral wool substratum for ‘Kubanets’ by Johnsons grown under colored LEDs, ‘Kubanets’ by Gavrish grown under white and colored LEDs, and ‘Dobrynya’ variety grown under colored LEDs. In general the colored lighting is found to be more favorable than the white one for chlorophyll accumulation when the plants are cultivated in hydroponic systems. The higher content of carotenoids was observed under white LEDs for ‘Kubanets’ by Gavrish and ‘Kubanets’ by Johnsons. The flavonoids accumulation was more intensive in the open soil and under white LEDs in the hydroponics.

Key words. Carotenoids, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, flavonoids, garden sage, hydroponics, *Salvia officinalis*, vertical farming.



Рис. 1. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) сорта 'Кубанец' (Johnsons) при освещении красными, синими, белыми диодами.



Рис. 2. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) сорта 'Добрыня' при освещении белыми диодами.

Введение. Шалфей (*Salvia* L.) – это крупный род многолетних травянистых растений и кустарников, относится к семейству Lamiaceae. Произрастает шалфей на сухих травянистых и каменистых склонах, галечниках, разреженных лесах, на опушках, на степных лугах, по берегам рек, у дорог (Растительные ресурсы ..., 2011).

В роде *Salvia* насчитывается большое количество видов, которые используются в пищевой (приправа к мясным блюдам, салатам, в составе чаев, в виноделии, приготовлении колбасных изделий и сырной продукции) (Волкова и др., 2018), косметологической, фармакологической промышленности (Baratta et al., 1998). В медицине применяют только лекарственное растительное сырье *Salvia officinalis* L. и *Salvia sclarea* L. для профилактики и лечения различных заболеваний (Kamatou, 2006; Аминова, Кароматов, 2018).

В растительном материале (надземная часть, корни) и плодах шалфея содержится эфирное масло, кумарины, алкалоиды, флавоноидные соединения, жирное масло, сапонины, розмариновая кислота, дубильные вещества, фитонциды, органические кислоты, фенолы, фенолкарбоновые кислоты, жирные кислоты и их производные, стероиды, антиоксиданты (Растительные ресурсы ..., 2011). В жидком экстракте листьев *Salvia officinalis* обнаружены аминокислоты: тирозин, серин, глутаминовая, аспарагиновая кислоты (Вовк и др., 2016; Аминова, Кароматов, 2018). Плоды данной культуры содержат жирное масло, стерины, тогда как семена богаты токоферолом, каротиноидами, жирными кислотами. В зеленой массе растений обнаружены полисахариды, эстрогенные вещества (Аминова, Кароматов, 2018).

Растительное сырье шалфея лекарственного обладает противоопухолевыми, противовоспалительными, противоболевыми, антиоксидантными, антибактериальными, антимутажными, нейропротекторными, гепатопротекторными, инсектицидными свойствами (Аминова, Кароматов, 2018; Кароматов, Абдувохидов, 2018). В фитотерапии используют водные, спиртовые настои, отвары, настойки, эфирное масло, эмульсии, мази, сухой и жидкий экстракты (Аминова, Кароматов, 2018).

Изучение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов, каротиноидов) и флавоноидов позволит выявить механизмы адаптации растений, которые в дальнейшем можно использовать в эколого-биохимических исследованиях (Иванова, Корчагина, 2012).

Цель нашего исследования – оценить содержание пигментов фотосинтеза (хлорофиллов, каротиноидов) и флавоноидов в фитомассе шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), выращенного традиционным и гидропонным способами.

Материалы и методы. Объектами исследований в 2021–2022 гг. являлись два сорта шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*): 'Добрыня' (ООО «Агрофирма Аэлита») и 'Кубанец' двух производителей (Johnsons Seeds (Великобритания) и ООО «Группа компаний «Гавриш») (рис. 1, 2). Растения вы-

ращивали гидропонным методом в двух вариантах освещения: светодиодное освещение с красными, синими, белыми диодами (световой поток 6573 лм, PPF 143 мкмоль/с/м²) и с белыми диодами (световой поток 8000 лм, цветовая температура 4000 К, PPF 165 мкмоль/с/м²); поддерживался 16-часовой свето-

вой режим. Стеллажи с образцами с различным типом освещения отделялись друг от друга светонепроницаемой шторкой. В культивационном помещении поддерживали температуру воздуха 22–25 °С, влажность воздуха – 55–65 %. Для питательного раствора применяли полностью растворимые в воде комплексные удобрения с микроэлементами и кальциевую селитру. Электропроводность питательного раствора составляла 1,6–2,0 мСм/см, рН в пределах 5,8–6,0 (Макаров и др., 2020; Кравченко и др., 2021). Для выращивания растений в условиях светокультуры использовали два вида субстрата: керамзит с льняным ковриком для посева семян, минеральная вата.

В летний период растения сорта ‘Кубанец’ (Johnsons) и ‘Кубанец’ (Гавриш) в возрасте 5 месяцев со сформированной корневой системой были пересажены из гидропонных условий в открытый грунт вместе с керамзитовым субстратом. Для дальнейшего сравнения использовалась их биомасса спустя 2 месяца выращивания в открытом грунте.

Определение пигментов фотосинтеза (хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов) и флавоноидов в высушенном и измельченном растительном сырье проводили методом спектрофотометрии с использованием спектрофотометра Shimadzu UV–1900i (Япония) (Русак и др., 2012). Оптическую плотность растительных вытяжек определяли при следующих длинах волн: хлорофилл *a* – 665 нм, хлорофилл *b* – 649 нм, каротиноиды – 470 нм, флавоноиды – 410 нм. Результаты анализов подвергали статистической обработке данных с помощью компьютерных программ Statistica и MS Excel.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета. Исследование проведено при финансировании Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в рамках проекта: «Технология выращивания и извлечения биологически активных соединений северных ягодных культур и лекарственных трав (ЮграБиоФарм)».

Результаты. Результаты исследования количественного содержания пигментов фотосинтеза и флавоноидных соединений в зеленой массе шалфея лекарственного представлены в таблице.

Таблица

Содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов в растительном сырье *Salvia officinalis* (мг/г сухого вещества)

Название	Субстрат	Chl a	Chl b	Car	Соотношение		Fl
					a/b	C _{(a+b)/k}	
‘Кубанец’ (Johnsons) БЛ	керамзит и льняной коврик	2,14 ± 0,16	0,93 ± 0,08	0,42 ± 0,03	2,30	7,31	1,58 ± 0,07
‘Кубанец’ (Johnsons) ЦЛ	керамзит и льняной коврик	1,71 ± 0,11	0,93 ± 0,11	0,30 ± 0,01	1,84	8,80	0,72 ± 0,09
‘Кубанец’ (Johnsons) БЛ	минеральная вата	2,02 ± 0,05	0,83 ± 0,05	0,39 ± 0,02	2,43	7,31	0,78 ± 0,09
‘Кубанец’ (Johnsons) ЦЛ	минеральная вата	2,44 ± 0,39	1,12 ± 0,14	0,50 ± 0,08	2,18	7,12	0,46 ± 0,06
‘Кубанец’ (Johnsons)	почва (открытый грунт)	1,81 ± 0,07	0,72 ± 0,10	0,25 ± 0,30	2,51	10,12	6,47 ± 0,30
‘Кубанец’ (Гавриш)	почва (открытый грунт)	0,60 ± 0,04	0,27 ± 0,01	0,08 ± 0,003	2,22	10,87	4,59 ± 0,17
‘Кубанец’ (Гавриш) БЛ	керамзит и льняной коврик	2,24 ± 0,25	1,03 ± 0,12	0,45 ± 0,05	2,17	7,27	1,20 ± 0,08
‘Кубанец’ (Гавриш) ЦЛ	керамзит и льняной коврик	2,33 ± 0,07	1,29 ± 0,12	0,41 ± 0,01	1,81	8,83	1,02 ± 0,12
‘Добрыня’ БЛ	минеральная вата	1,63 ± 0,07	0,65 ± 0,04	0,38 ± 0,02	2,51	6,00	0,35 ± 0,05
‘Добрыня’ ЦЛ	минеральная вата	1,98 ± 0,09	1,80 ± 0,15	0,16 ± 0,03	1,10	23,62	0,43 ± 0,06

Примеч.: Chl *a* – хлорофилл *a*, Chl *b* – хлорофилл *b*, Car – каротиноиды, Fl – флавоноиды, ЦЛ – цветные лампы (освещение растительного материала красными, синими и белыми диодами), БЛ – белые лампы (освещение растительного материала белыми диодами).

У шалфея сорта ‘Кубанец’ (Johnsons) высокое содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов отмечено в образцах, выращенных в гидропонных установках под цветным светодиодным освещением с применением минеральной ваты в качестве субстрата для выращивания растительного сырья. Наблюдалось снижение концентрации хлорофиллов и каротиноидов у растений сорта ‘Кубанец’ (Johnsons), выращенных на керамзитовом субстрате в гидропонных установках с комбинированными светодиодными лампами и в условиях открытого грунта (табл. 1). Количественное содержание пигментов фотосинтеза в образцах ‘Кубанец’ (Johnsons), выращенных при освещении белыми светодиодами, находилось в одном диапазоне при использовании как минераловатного, так и керамзитового субстрата.

По содержанию флавоноидных соединений из общего числа исследованного растительного сырья выделяются образцы сорта ‘Кубанец’ (Johnsons), выращенные в условиях открытого грунта (6,47 мг/г сухого вещества). В остальных пробах содержание этого показателя варьировало в диапазоне от 0,46 до 1,58 мг/г (табл. 1).

В образцах шалфея сорта ‘Кубанец’ (Гавриш) наблюдается накопление хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов при выращивании как под белыми, так и под цветными лампами. Низкое содержание этих показателей выявлено в образцах, выращенных в условиях открытого грунта (табл. 1). Вероятно, это связано со стрессовой реакцией у растений на резкое изменение условий вегетации (температуры и влажности) при пересадке в открытый грунт в северных широтах и частичным разрушением фотосинтетических пигментов.

Высокая концентрация флавоноидов отмечена у сорта ‘Кубанец’ (Гавриш) в пробах, выращенных в условиях открытого грунта (4,59 мг/г сухого вещества) (табл. 1). Это связано со стрессовой реакцией растений, так как флавоноиды обладают высокой биологической активностью и могут ослаблять или предупреждать клеточные повреждения, вызванные действием свободных радикалов (Kumar, Pandey, 2013).

Наиболее высокие показатели хлорофилла *a*, *b* обнаружены в образцах сорта ‘Добрыня’, выращенных в гидропонных установках под цветным освещением, немного меньшие значения – у этого сорта, выращенного под белыми светодиодами. Низкое содержание каротиноидов выявлено в пробах сорта ‘Добрыня’, выращенного под комбинированными лампами (0,16 мг/г).

Выявлены низкие показатели флавоноидных соединений в образцах сорта ‘Добрыня’, выращенных как под белыми лампами (0,35 мг/г), так и при комбинированном освещении (0,43 мг/г) (табл. 1).

Заключение. Результаты исследования накопления фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b*, каротиноидов) в зеленой массе *Salvia officinalis*, выращенного в условиях светокультуры и открытого грунта, показали преимущества гидропонного способа выращивания на минераловатном субстрате с использованием цветных светодиодных ламп у сорта ‘Кубанец’ (Johnsons), для сорта ‘Кубанец’ (Гавриш) – освещения белыми и комбинированными лампами, а для растительных образцов сорта ‘Добрыня’ – комбинированными фитолампами. Для накопления хлорофиллов в гидропонике, в целом, цветное освещение благоприятнее белого. Максимум содержания хлорофилла *a* отмечен для сорта ‘Кубанец’ (Johnsons) (на минераловатном субстрате) и ‘Кубанец’ (Гавриш) под цветными лампами, а хлорофилла *b* и суммы хлорофиллов *a* и *b* – для сортов ‘Добрыня’ и ‘Кубанец’ (Гавриш) под цветными лампами. Более высокие значения содержания каротиноидов наблюдались в условиях светокультуры при белом светодиодном освещении у сортов ‘Кубанец’ (Гавриш) и ‘Кубанец’ (Johnsons). Накопление флавоноидов интенсивнее проходило в условиях открытого грунта, в гидропонных условиях – при белом освещении.

ЛИТЕРАТУРА

Аминова М. З., Кароматов И. Д. Антибактериальные и противовоспалительные свойства лекарственного растения шалфей // Биология и интегративная медицина, 2018. – № 10 (27). – С. 41–55.

Вовк Г. В., Мыга М. М., Кошевой О. Н., Верховодова Ю. В., Киреев И. В. Фитохимическое и фармакологическое исследование дистилляционного извлечения из листьев шалфея лекарственного // Украинский биофармацевтический журн., 2016. – № 1. – С. 51–54.

Волкова Н. Г., Абрамчук А. В., Карпунин М. Ю. Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) – ценное эфирномасличное растение // Молодежь и наука, 2018. – № 3. – С. 4–5.

Иванова Н. А., Корчагина Л. Е. Особенности фотосинтетической активности и пигментного аппарата листьев растений в условиях нефтяного загрязнения на территории Среднего Приобья // Естественные науки, 2012. – № 1(38). – С. 37–46.

Кароматов И. Д., Абдувохидов А. Т. Воздействие лекарственного растения шалфея на нервную систему – обзор литературы // Биология и интегративная медицина, 2018. – № 11(28). – С. 20–31.

Кравченко И. В., Самойленко З. А., Макарова Т. А., Гулакова Н. М., Мулюкин М. А. Количественное содержание пигментов фотосинтеза и флавоноидных соединений в растительных образцах орегано и зверобоя продырявленного, выращенных с помощью гидропонного метода // Проблемы региональной экологии, 2021. – № 5. – С. 5–11. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-5-5-11

Макаров П. Н., Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. Технология выращивания эфиромасличных культур в закрытых системах // Вестник Нижневартского государственного университета, 2020. – № 2. – С. 53–59. DOI: 10.36906/2311-4444/20-2/07

Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 4. *Saripholiaceae – Lobeliaceae* / Отв. ред. А. Л. Буданцев. – СПб.-М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2011. – 630 с.

Русак С. Н., Кравченко И. В., Филимонова М. В., Башкатова Ю. В. Экологическая биохимия растений: химические и биохимические методы анализа / Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югры. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2012. – 39 с.

Baratta M., Dorman H., Deans S., Figueredo A., Barroso J., Ruberto G. Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils // *Flavour and Fragrance Journal*, 1998. – Vol. 13, № 4. – P. 235–244.

Kamatou G. Indigenous *Salvia* species – an investigation of their pharmacological activities and phytochemistry: PhD thesis. – University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2006. – 331 pp.

Kumar S., Pandey A. K. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview // *The Scientific World Journal*, 2013. – Article ID 162750. DOI: 10.1155/2013/162750