

УДК: 581.174+144.4/633.862.1

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ И НЕКОТОРЫЕ БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИСТЬЕВ ВАЙДЫ КРАСИЛЬНОЙ (*ISATIS TINCTORIA* L.)

Надежда Васильевна Смурова, Андрей Николаевич Цицилин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»

117216, г. Москва, ул. Грина, д. 7

E-mail: n_smurova@mail.ru, fitovit@gmail.com

Вайда красильная (*Isatis tinctoria* L.) культивируется в Китае как лекарственное растение, и ее листья, корни включены в государственную фармакопею КНР. Каротиноиды выполняют защитную функцию в рассеивание потока света, поглощая в сине-зеленом спектре, полезны для человека. Динамика массы листа, рост листа и фотосинтетические показатели в полном жизненном цикле показывает биологические особенности при выращивании в культуре вайды красильной и поэтому представляет интерес. Целью данной работы является исследование особенностей некоторых биометрических показателей, а также содержания хлорофиллов а и б, каротиноидов в листьях вайды красильной на первом и втором году жизни у 2х сортопопуляций (КНР и РФ) и сорта Арьяна. На стадии розетки в конце вегетационного периода исследуемые варианты различались по массе листа - в ряду Арьяна> РФ> КНР, постепенно уменьшалась масса листа (2,3÷1,4 г). Во время бутонизации-цветения масса листа изменялась в ряду РФ > Арьяна > КНР и изученные сортопопуляции/сорт в этом ряду различались по длине листа в пределах 6,3÷8,2 см. Количество фотосинтетических пигментов у сорта Арьяна в листьях розетки в 1,37 раз выше, чем в стеблевых листьях. У сортопопуляций наблюдается другая динамика: количество фотосинтетических пигментов больше в стеблевых листьях, чем в розеточных на 9,7-32,9%.

Ключевые слова: *Isatis tinctoria*; лекарственное растение; листья розетки; стеблевые листья; длина листа; масса листа; фотосинтетические пигменты

Введение

Вайда красильная (*Isatis tinctoria* L.) – озимое, двулетнее травянистое растение семейства капустные. Выращивается в России как техническая культура [8]. Выявлено, что в условиях Ботанического сада ВИЛАР вайда проходит все фенологические фазы и образует жизнеспособные семена [10].

Лекарственное растительное сырье из вайды широко используется в традиционной китайской медицине. Китайская традиционная медицина применяет корни, листья и переработанный порошок из листьев вайды красильной и выделенные из нее основные биологически активные вещества: индольные алкалоиды, фенолы, полисахариды, каротиноиды и др. [17].

Фотосинтетические пигменты – хлорофиллы и каротиноиды – широко известны как биологически активные соединения для поддержания здоровья человека [4]. Зависимость содержания пигментов и алкалоидов ученые используют и для выявления генотипов [20]. Также известно влияние различного качества освещения на рост, физиологические характеристики и накопление алкалоидов в растениях [11, 14, 15].

На накопление биомассы и содержание фотосинтетических пигментов влияют различные факторы окружающей среды [1, 5, 12, 19].

В затененных условиях растения *I. tinctoria* L. компенсировали недостаток освещения изменением площади листьев, удельной площади листа и соотношения побегов и корней для улучшения улавливания света [16].

Фотосинтетические пигменты непосредственно влияют на рост и продуктивность растений [2, 7]. Е. В. Тютерева с соавторами (2014 г.) выявили, что отсутствие хлорофилла b ведет к существенному удлинению онтогенеза растений, что,

вероятно, связано с замедлением процессов фотосинтеза и роста, поскольку растениям требуется больше времени, чтобы накопить биомассу, достаточную для получения полноценных семян. Р. Zhou и соавторы (2022 г.) показали, что увеличение количества фотосинтетических пигментов повысило скорость фотосинтеза и накопление растением вайды органического вещества и биомассы. Л. А. Иванов с соавторами (2020 г.) выявили значимые различия между степными и лесными растениями по характеристикам пигментного комплекса, которые сохранялись в течение вегетационного сезона.

Даже в пределах одного вида растения количество выделяемых биологически активных веществ изменялось в зависимости от возраста и размера растений и условий выращивания [14]. Изучение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов, каротиноидов) и показателей флавоноидных соединений в лекарственных растениях орегано и зверобоя выявили их изменчивость от типа освещения и стрессовых факторов [6].

Изучение динамики содержания фотосинтетических пигментов и механизмов их воздействия на урожайность надземной части (листьев), содержание биологически активных веществ открывает широкие возможности для повышения продуктивности растений.

Целью данной работы является исследование особенностей некоторых биометрических показателей, а также содержания фотосинтетических пигментов (каротиноидов, хлорофиллов) в листьях вайды красильной двух сортопопуляций из КНР и РФ и сорта Арьяна.

Материал и методика исследования.

Исследования проводили на опытном поле Ботанического сада Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (далее ВИЛАР) в 2024-2025 гг. Который находится на юге г. Москвы (55°57' с. ш. 37°58' в. д.), в подзоне смешанных лесов. Почвы участка тяжелосуглинистые дерново-подзолистые слабокислые, pH 5,3; гумус 2,9% (по Тюрину); подвижный фосфор (по Кирсанову) 21 мг/кг и обменный калий 67 мг/кг почвы.

Сев проводили в середине первой-конце второй декады мая на глубину 2 см, с шириной междурядий 60 см. Размер делянок 6,0 м², повторность 4-х кратная.

Исследования проводили в 2024 и 2025 гг. на растениях первого (розеточные вегетативные особи) и второго (генеративные особи) года жизни *Isatis tinctoria*.

Объектом исследования являлись растения *Isatis tinctoria* L. двух сортопопуляций: из Российской Федерации (РФ) и Китайской народной республики (КНР), а также сорта Арьяна (РФ). Длину и ширину листа измеряли с использованием штангенциркуля, с точностью до 0,1 мм. Измерялась длина от основания до верхушки и ширина - по средней жилке листа. Массу листа измеряли с использованием аналитических лабораторных весов, с точностью до 0,0001 мг.

Фотосинтетические пигменты в 1 год жизни определяли 30.07.2024 (розетка 7-8 листьев) и 2 год жизни 25.04.25 (стеблевание).

Средние сырой вес, длину и ширину листьев определяли в 1 год жизни 30.07.2024 (розетка 7-8 листьев) и 21.09.2024 (розетки 10-16 листьев); 2 год жизни - 25.04.25 (стеблевание) и 28.05.2025 (бутонизация— цветение, 28.05.2025). Длину определяли самого длинного листа.

Экстракцию пигментов проводили из 0,5 г навески свежих листьев с 10 мл 95% спирта. Далее проводили центрифугирование в течение 5 мин. (1000 об/мин). Определение фотосинтетических пигментов проводили на концентрационном

фотоколориметре (КФК-3) на 664, 649, 470 нм. Использовали кюветы размером 5 мм [3].

Расчеты содержания фотосинтетических пигментов в листьях проводили по формулам:

$$X_{\text{Лa}} \left[\frac{\text{мг}}{\text{г}} \right] = \frac{(13,36A_{664,2} - 5,19A_{648,6}) * V}{1000 * m}$$

$$X_{\text{Лб}} \left[\frac{\text{мг}}{\text{г}} \right] = \frac{(27,43A_{648,6} - 8,12A_{664,2}) * V}{1000 * m}$$

$$\text{Кар} \Sigma \left[\frac{\text{мг}}{\text{г}} \right] = \frac{(4,785A_{470} + 3,657A_{664,2} - 12,76A_{648,6}) * V}{1000 * m}$$

где $X_{\text{Лa}}$ – содержание хлорофилла а, (мг/г);

$X_{\text{Лб}}$ – содержание хлорофилла б (мг/г);

A – оптическая плотность испытуемого раствора;

V – объем разбавленного извлечения, мл

m – масса сухого сырья, г

Статистический анализ проводили в программе Excel.

Результаты и обсуждение

У растений первого года розеточные листья имеют относительно крупные размеры. У растений второго года стеблевые листья характеризуются более мелкими размерами (табл. 1, 2). Ширина листа как в первый год, так и во второй не зависели от генотипических особенностей исследуемых вариантов.

Таблица 1

Морфометрические особенности розеточных листьев растения вайды красильной (30.07.2024 г.; 21.09.2024 г.)

Сортопопуляция/сорт	3 декада июля			3 декада сентября		
	Средняя масса листа, г	Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см	Средняя масса листа, г	Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см
КНР	-	11,8±2,6	5,8±1,0	1,4±0,6	15,7±2,9	4,5±1,0
РФ	-	10,8±0,8	5,2±0,6	1,9±0,6	21,9±2,8	4,3±0,3
Арьяна	-	14,4±2,3	5,6±0,8	2,3±0,9	20,9±4,5	5,0±0,6

Примечание: * S – стандартное отклонение.

Наибольшее возрастание длины листа с увеличением возраста розетки отмечено в варианте РФ и составило 51%, тогда как длина листа в варианте Арьяна стала больше на 31%, а в варианте КНР – на 25%. Однако, по массе листа на стадии розетки в конце вегетационного периода исследуемые варианты различались уменьшением массы листа - в ряду Арьяна > РФ > КНР (2,3÷1,4) (табл. 1). По-видимому, это может свидетельствовать о неодинаковой толщине листа у исследуемых вариантов.

Таблица 2

Морфометрические особенности стеблевых листьев растения вайды красильной (25.04.2025 г.; 28.05.2025 г.)

Сортопопуляция/сорт	3 декада апреля			3 декада мая		
	Средняя масса листа, г	Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см	Средняя масса листа, г	Средняя длина листа, см	Средняя ширина листа, см
КНР	0,2±0,1	6,3±1,5	1,7±0,4	4,4±1,7	8,5±1,0	-
РФ	0,4±0,1	8,2±1,4	1,7±0,3	6,8±2,7	8,5±1,2	-
Арьяна	0,3±0,1	7,3±1,0	1,7±0,4	4,7±2,3	7,8±1,0	-

Примечание: * S – стандартное отклонение.

У стеблевых листьев наибольшее увеличение длины листа в зависимости от возраста отмечено в варианте КНР – 26%, Арьяна – 6% и РФ – 4%. Наибольшая скорость накопления биомассы в этот период отмечена в варианте РФ, затем у Арьяна и КНР. На стадии стеблевания масса и длина листа параллельно изменяются в ряду РФ-Арьяна-КНР в сторону их уменьшения. А во время бутонизации – цветения выявлен различный тип развития некоторых параметров стеблевых листьев: масса листа и длина.

Содержание фотосинтетических пигментов в зависимости от типа листьев на растении вайды красильной представлены в таблице 3 и рисунке.

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов в зависимости от типа листьев на растении вайды красильной, мг/г

Сортопопуляция/ сорт	розеточные		стеблевые	
	Хл а+б	Σ Кар	Хл а+б	Σ Кар
КНР	0,46±0,05	0,24±0,02	0,81±0,01	0,12±0,01
РФ	0,49±0,15	0,23±0,03	0,67±0,01	0,12±0,01
Арьяна	0,90±0,06	0,29±0,02	0,81±0,01	0,06±0,01

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях вегетативных и генеративных особей существенно различались. Сумма хлорофиллов увеличивается у стеблевых листьев. Исключение составляет вариант сорта Арьяна у которой сумма хлорофиллов больше в розеточных листьях. В весенний период у розеточных и стеблевых листьев содержание каротиноидов имеет обратную зависимость: у стеблевых листьев этот показатель ниже.

Выявлены достоверные различия между исследуемыми сортообразцами и сортом по содержанию фотосинтетических пигментов на стадии розетки. При этом содержание хлорофилла а и суммы каротиноидов на стадии розетки уменьшается в ряду Арьяна>КНР>РФ.

В стеблевых листьях отмечена противоположная зависимость содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов а и б) во время стеблевания (25.04.25) и бутонизации (16.05.2025) (рис.).

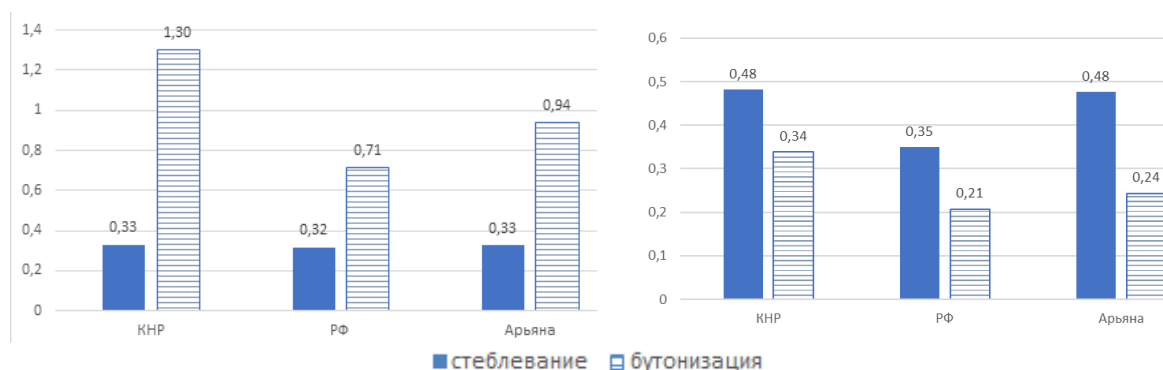


Рис. Динамика содержание хлорофиллов а и б в растении вайды красильной второго года жизни, мг/г

Количество хлорофилла, а увеличивается в стеблевых листьях при переходе к бутонизации и наоборот, количество хлорофилла б при этом снижается.

Заключение

У растения вайды красильной первого года листья располагаются в виде розетки и имеют относительно крупные размеры. У растений второго года стеблевые листья имеют меньшие размеры. На стадии розетки в конце вегетационного периода исследуемые формы различались по массе листа - в ряду Арьяна > РФ > КНР, постепенно уменьшалась масса листа (2,3÷1,4 г). На стадии стеблевания масса и длина листа параллельно изменяются в ряду РФ-Арьяна-КНР в сторону их уменьшения. А во время бутонизации – цветения выявлен различный тип развития параметров стеблевых листьев: масса листа и длина. Сумма хлорофиллов увеличивается у стеблевых листьев, в зависимости от розеточных. Исключение составляет вариант сорта Арьяна у которой сумма хлорофиллов больше в розеточных листьях. Содержание каротиноидов у розеточных и стеблевых листьев имеет обратную зависимость: у стеблевых листьев этот показатель ниже.

Выявлены достоверные различия между исследуемыми сортопопуляциями и сортом Арьяна по содержанию фотосинтетических пигментов на стадии розетки.

Благодарность

Работа выполнена в соответствии с темой НИР ФГБНУ ВИЛАР «Формирование, сохранение и изучение биокolleкций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения» (FGUU-2025-0001). Исследования проводились в рамках работ с биообъектами уникальной научной установки «Биокolleкции ФГБНУ ВИЛАР».

Список литературы

1. *Абушева Х.Ш.* Изменение содержания хлорофилла в листьях у гексаплоидных видов и сортов пшеницы под действием стресса // Развитие научного наследия Н.И. Вавилова по генетическим ресурсам его последователями : Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием посвященная 80-летию Куркиева Уллубия Киштилиевича: материалы докладов, сообщений, Дербент, 26-29 июня 2017 года / Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова. – Дербент: ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2017. – С. 329-332. EDN ZBENBP.
2. *Адрианова Ю.Е.* Хлорофилл и продуктивность растений. – М.: Наука, 2000. – 135 с.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. Т.4 / Москва, 2018. – 1832 с. – [Электронный ресурс] – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/1/1-2/1-2-1/1-2-1-1/fotokolorimetriya/> (дата обращения 30.04.2025.)
4. *Дымова О.В.* Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 3-4. – С. 5-16. EDN YLJUKT.
5. *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.

6. Ничипорович А.А. Теория фотосинтетической продуктивности растений // Итоги науки и техники. Сер. Физиол. Теоретические основы повышения продуктивности растений. – 1977. – Т 3. – С.11-54.
7. Прахова Т.Я. Новый сорт вайды красильной // Кормопроизводство. – 2022. – № 3. – С. 26-30. EDN UMBBWJ.
8. Тютерева Е.В. К вопросу о роли хлорофилла b в онтогенетических адаптациях растений // Успехи современной биологии. – 2014. – Т. 134, № 3. – С. 249-256.
9. Лиховидова В.А., Ионова Е.В., Газе В.Л., Марченко Д.М. Засухоустойчивость образцов озимой мягкой пшеницы в начальную фазу органогенеза и изменение площади листьев и содержания хлорофилла растений в условиях водного стресса // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 5(59). – С. 29-31. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-29-31. EDN VLMSWK.
10. Цицилин А.Н. Вайда красильная (*Isatis tinctoria* L.) – перспективное лекарственное растение // Агробиотехнология-2021: Сборник статей Международной научной конференции, Москва, 24-25 ноября 2021 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 625-629. EDN RBJSCG.
11. Koirala M., Cristine Goncalves Dos Santos K., Gélinas S.E., et al. Auxin and light-mediated regulation of growth, morphogenesis, and alkaloid biosynthesis in *Crinum x powellii* 'Album' callus // *Phytochemistry*. – 2023. – Vol. 216. – P. 113883. DOI: 10.1016/j.phytochem.2023.113883. EDN WZFRKC.
12. Panfyorova T.V., Puhalsky Y.V., Vorobyov N.I., et al. Changing the balance of nutrients and the content of total chlorophyll in the leaves-feathers of onions (*Allium cepa* L.), grown hydroponically on water various of physical structures with the use of the biopreparation "Agrofil" // Вторая Международная научная конференция PLAMIC2020 "Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего", 05-09 октября 2020 года. – P. 191. EDN VEOZVS.
13. Groher T., Röhlen-Schmittgen S., Fiebig A., Noga G. Influence of supplementary LED lighting on physiological and biochemical parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) leaves // *Scientia Horticulturae*. – 2019. – Vol. 250, No.10 – P. 154-158.
14. Gholizadeh F., Darkó É., Benczúr K., et al. Mauricio Hunsche Growth light substantially affects both primary and secondary metabolic processes in *Catharanthus roseus* plants // *Photosynthetica*. – 2023. – Vol. 61. – P. 451-460. DOI: 10.32615/ps.2023.037. EDN WUMYMU.
15. Li Q., Xu J., Yang L., et al. LED Light Quality Affect Growth, Alkaloids Contents, and Expressions of Amaryllidaceae Alkaloids Biosynthetic Pathway Genes in *Lycoris longituba* // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2021. DOI: 10.1007/s00344-021-10298-2. – EDN DCHRQA.
16. Mon Monaco T.A., Johnson D.A., Creech J.E. "Morphological and physiological responses of the invasive weed *Isatis tinctoria* to contrasting light, soil-nitrogen and water." *Weed Research*. – 2005. – Vol. 45. – P. 460-466.
17. Moncalvillo B, Méndez M, Iriondo JM. Ecotypic differentiation reveals seed colour-related alkaloid content in a crop wild relative. *Plant Biol (Stuttg)*. – 2019. – Vol. 21(5). – P. 942-950.
18. Speranza J, Miceli N, Taviano MF, Ragusa S, Kwiecień I, Szopa A, Ekiert H. *Isatis tinctoria* L. (Woad): A Review of its Botany, Ethnobotanical Uses, Phytochemistry, Biological Activities, and Biotechnological Studies. *Plants (Basel)*. – 2020. – P. 298.
19. Haghghi T.M., Saharkhiz M.Ja., Ramezani A., Zarei M. The use of silicon and mycorrhizal fungi to mitigate changes in licorice leaf micromorphology, chlorophyll

fluorescence, and rutin content under water-deficit conditions // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2023. – Vol. 197. – P. 107662. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.107662. EDN VJIQML.

20. Zhou P. *et al.* Increase in the active ingredients of traditional Chinese medicine *Isatis indigotica* through iron nanoparticles supplementation versus carbon nanotubes: a comparative study // *Environmental Science: Nano*. – 2022. – Vol. 9. – №. 8. – P. 2966-2978.

Статья поступила в редакцию 19.07.2025 г.

Smurova N.V., Tsitsilin A.N. Photosynthetic pigments and some biometric parameters of the leaves of *Isatis tinctoria* L. // *Bull. of the State Nikita Botan. Gard.* – 2026. – № 158. – P. 80-86

Isatis tinctoria L. (woad) is cultivated in China as a medicinal plant, and its leaves and roots are included in the Pharmacopoeia of the China. Carotenoids ensure a protective function by scattering light flux, absorbing in the blue-green spectrum, and are healthful for humans. The dynamics of leaf weight, leaf growth, and photosynthetic pigments throughout the entire life cycle reveal the biological characteristics of woad cultivation and are therefore of interest. The aim of this study is to investigate the characteristics of certain biometric parameters, as well as the content of chlorophylls a and b, and carotenoids in woad leaves in the first and second years of life in two cultivar populations (China and Russia) and the Ariana variety. At the rosette stage at the end of the growing season, the studied variants differed in leaf weight: in the series Ariana > Russia > China, leaf weight gradually decreased (2.3 ÷ 1.4 g). During budding and flowering, leaf weight varied in the order RF > Ariana > PRC, and the studied populations/variety in this set of varied in leaf length within the range of 6.3–8.2 cm. The amount of photosynthetic pigments in the rosette leaves of the Ariana cultivar is 1.37 times higher than in the stem leaves. A different dynamic is observed among cultivar populations: the amount of photosynthetic pigments is higher in the stem leaves than in the rosette leaves by 9.7–32.9%.

Key words: *Isatis tinctoria*; medicinal plant; rosette leaves; stem leaves; leaf length; leaf weight; photosynthetic pigments