

УДК 547.979.7:581192.2

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННОЛИСТНОЙ (*SILPHIUM PERFOLIATUM* L.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ И СЕЗОННЫХ ФАКТОРОВ

© Э.С. Давидянц*, В.В. Кравцов

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр,
ул. Никонова, 49, Михайловск, Ставропольский край, 356241 (Россия),
e-mail: ei_davidyants@mail.ru

В работе представлены результаты изучения динамики содержания пигментов в листьях сильфии пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L., сем. *Asteraceae*), произрастающей в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья, в зависимости от фазы развития и сезонных факторов. Сильфия пронзеннолистная – ценная кормовая, медоносная и цветочно-декоративная культура, представляющая также интерес как источник разнообразных биологически активных веществ: терпеноидов, тритерпеновых сапонинов, полифенолов, полисахаридов и др. Спектрофотометрическим методом определено содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и суммы каротиноидов в листьях *S. perfoliatum* сорта Алена в течение трех вегетационных сезонов (2018–2020 гг.). Установлены изменения содержания пигментов в листьях растений при смене фенологических фаз. Максимальное содержание суммарного хлорофилла и суммы каротиноидов в листьях наблюдалось в фазу бутонизации и за годы исследований составило в среднем соответственно 0.75% и 0.15% (в пересчете на абсолютно сухое сырье), в фазу цветения количество пигментов несколько понижалось и достигало минимума в фазу плодоношения (0.52% и 0.12% соответственно). Содержание пигментов в листьях зависело также от сезонных факторов и повышалось при улучшении условий увлажнения, которые, в свою очередь, зависели от количества выпавших осадков.

Достаточно высокий уровень содержания пигментов в листьях *Silphium perfoliatum* L. позволяет рассматривать их в качестве перспективного лекарственного сырья, содержащего хлорофилл и каротиноиды, сбор которого целесообразно проводить в фазу бутонизации.

Ключевые слова: *Silphium perfoliatum* L., хлорофилл, каротиноиды, пигменты, динамика.

Введение

Сильфия пронзеннолистная (*Silphium perfoliatum* L.) – многолетнее травянистое растение семейства Астровых (*Asteraceae*), сложноцветных (*Compositae*), происходит из центральной части Северной Америки, используется как кормовая, медоносная и цветочно-декоративная культура. Благодаря своим уникальным биологическим особенностям – высокой урожайности, продуктивному долголетию, экологической пластичности, устойчивости к неблагоприятным факторам среды, вредителям и болезням, значительному содержанию биологически активных и питательных веществ, сильфия представляет интерес как растение многоцелевого использования. Сильфия активно изучается как почвоулучшающая, почвозащитная и мелиорирующая культура, представляющая ценность для биологического земледелия и расширения биоразнообразия в агроэкосистемах. Показана возможность использования биомассы сильфии в качестве альтернативного растительного сырья для биоэнергетики и целлюлозно-бумажной промышленности [1–4].

Давидянц Элеонора Сергеевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии растений, e-mail: ei_davidyants@mail.ru
Кравцов Виктор Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, e-mail: ei_davidyants@mail.ru

Настои и отвары из сильфии издавна применялись североамериканскими индейцами в народной медицине в качестве отхаркивающих, потогонных, диуретических, анальгезирующих, жаропонижающих, противоревматических и кровоостанавливающих средств [5].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Химический состав сальфии отличается качественным и структурным многообразием и обуславливает ее лекарственные и кормовые свойства. Сальфия является продуцентом большого количества изопреноидных (терпеноидных) соединений – сескви-, ди- и тритерпенов, тритерпеновых сапонинов, включая структурно новые гликозиды олеаноловой кислоты – сальфиозиды А, В, С и Е [6]. Для суммы тритерпеновых гликозидов установлена гипополипидемическая [7] и эстрогенная активность [8]. Вместе с тем у метанольного экстракта из соцветий сальфии обнаружена значительная антиэстрогенная активность [9]. Выявлена также способность метанольного экстракта из листьев сальфии, обогащенного тритерпеновыми гликозидами, усиливать регенерацию тканей [10]. Тритерпеновые гликозиды и суммарные препараты на их основе обладают рострегулирующей и антифунгальной активностью и перспективны для использования в качестве регуляторов роста растений [2, 11, 12].

В фенольных фракциях, полученных из листьев, соцветий и корневищ сальфии, найдены фенолоскислоты, флавоноиды, дубильные вещества [13, 14]. Из листьев изолировано десять флавоноидных соединений – гликозидов кверцетина и кемпферола, в том числе три новых тригликозида кемпферола, для одного из которых установлена противоопухолевая [14], для другого – иммуносупрессивная активность [15]. В листьях и стеблях сальфии обнаружены моно-, ди- и полисахариды [6], для полисахарида, выделенного из листьев, установлена антиоксидантная и гипогликемическая активность [16]. Надземная часть сальфии богата белком, витаминами, макро- и микроэлементами [1].

Пигменты в растениях сальфии изучены недостаточно. Известно, что хлорофиллы и каротиноиды играют важную роль в процессах фотосинтеза. Они ответственны за поглощение и преобразование энергии в фотохимических реакциях и защиту фотосинтетического аппарата от окисления. Кроме того, пигменты обладают разнообразной биологической активностью и способны оказывать влияние на здоровье человека [17]. Сходство химического строения хлорофилла и гема небелковой части гемоглобина определило применение препаратов хлорофилла в медицине в качестве средств, усиливающих процессы кроветворения и повышающих иммунитет. Хлорофилл обладает также антимикробным, ранозаживляющим, противовоспалительным, тонизирующим действием, стимулирует работу сердца, дыхательного центра и нервно-мышечной системы [18], выводит токсины, нормализует кровяное давление, предотвращает образование и отложение кальция. Хлорофиллин и производные хлорофилла широко используются как пищевые красители (Е 141) [19]. Каротиноиды, благодаря наличию в молекулах сопряженной полиеновой системы, являются мощными антиоксидантами, обладают провитаминой, противовоспалительной, иммуностропной, антиканцерогенной активностью [20].



Рис. 1. Сальфия пронзеннолистная, сорт Алена

В литературе имеются сообщения о количественном содержании в растениях сальфии хлорофилла [21], наличии каротиноидов лютеина и гелениена [22], количественном содержании и динамике накопления каротинов [23]. Однако результаты изучения содержания каротинов в разные фазы вегетации растений весьма неоднозначны. Согласно данным одних авторов, максимальное накопление этих веществ наблюдается в листьях в фазу цветения [23], другие авторы отмечают наибольшее их содержание в фазах отрастания (стеблевания) и бутонизации [24, 25].

Цель настоящей работы – изучить изменения количественного содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях сальфии пронзеннолистной в зависимости от фазы развития и сезонных факторов.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали листья *S. perfoliatum* сорта Алена (рис. 1) селекции Северо-Кавказского ФНАЦ [26]. Образцы листьев были собраны не менее чем с 10 растений, произ-

растающих на экспериментальном поле Центра, находящегося в северо-восточной части Ставропольской возвышенности в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья. Растительный материал отбирали в фазы стеблевания, бутонизации, цветения и плодоношения растений в периоды вегетации с мая по сентябрь 2018–2020 гг. Оценку агрометеорологических условий вегетационных сезонов проводили на основании данных Агрометеорологических бюллетеней Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Экстракцию пигментов из измельченных высушенных листьев сильфии (навеска 0.05 г) проводили 10 мл 96%-ного этанола при температуре 45 °С в течение 24 ч согласно методике [27]. Количественное содержание пигментов в полученном экстракте определяли спектрофотометрическим методом, оптическую плотность растворов измеряли с помощью спектрофотометра «Spekol» (Германия) при 450, 649, 664 нм. В качестве раствора сравнения использовали 96%-ный этанол. Содержание хлорофилла в абсолютно сухом сырье в процентах (X) рассчитывали по формуле (1) [28], используя показатели поглощения хлорофилла a при 664 нм, а также по расчетным формулам (2 и 3):

$$X = \frac{A \cdot V \cdot 100}{a \cdot 944.5 \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

где A – оптическая плотность испытуемого раствора; V – объем испытуемого раствора, мл; 944.5 – удельный показатель поглощения хлорофилла a при 664 нм; a – навеска сырья, г; W – потеря в массе при высушивании, %.

Содержание хлорофиллов a и b в экстракте рассчитывали по формуле Lichtenthaler Н.К. [29]:

$$\begin{aligned} Chla &= 13.36 \cdot A_{664} - 5.19 \cdot A_{649} \\ Chlb &= 27.43 \cdot A_{649} - 8.12 \cdot A_{664} \end{aligned} \quad (2)$$

где $Chla$ – содержание хлорофилла a (мг/л); $Chlb$ – содержание хлорофилла b (мг/л); A – оптическая плотность раствора.

Затем полученные значения пересчитывали на содержание пигментов в испытуемом растворе в процентах (C) и вычисляли их содержание в абсолютном сухом сырье по формуле (3):

$$X = \frac{C \cdot V \cdot 100}{a \cdot (100 - W)} \quad (3)$$

где C – содержание пигмента в испытуемом растворе, %; a, V, W – см. обозначения в формуле 1.

Содержание суммы каротиноидов в % (X) в листьях сильфии рассчитывали по формуле (4), используя значение оптической плотности и удельного показателя поглощения β -каротина при 450 нм [30]:

$$X = \frac{A \cdot V \cdot 100}{2500 \cdot a \cdot (100 - W)} \quad (4)$$

где 2500 – удельный показатель поглощения β -каротина в 96%-ном этаноле при длине волны 450 нм; A, a, V и W – см. обозначения формулы 1.

В таблицах 1 и 2 приведены средние арифметические значения, рассчитанные на основе трех аналитических определений, и их стандартные ошибки.

Обсуждение результатов

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что содержание хлорофилла в листьях сильфии изменялось при смене фенологических фаз. Максимальное содержание хлорофиллов a и b в листьях наблюдалось в фазу бутонизации, при этом суммарное содержание хлорофилла колебалось от 0.66 до 0.92% в зависимости от сезонных условий. В течение фазы цветения содержание хлорофилла в листьях несколько снижалось, достигнув минимума в фазу плодоношения (0.48–0.59%).

Наибольшее количество каротиноидов накапливалось в листьях также в фазу бутонизации (0.13–0.19%), держалось на достаточно высоком уровне в фазу цветения и незначительно понижалось в фазу плодоношения (табл. 2). В.А. Емелин и Б.В. Шелюто (2020), анализируя содержание каротиноидов в зеленой массе сильфии в течение фазы цветения, установили наибольшее их содержание в начале фазы [31].

Таблица 1. Количественное содержание хлорофилла в листьях *Silphium perfoliatum* в зависимости от фазы развития в течение вегетационных сезонов 2018–2020 гг.

Фаза развития растения	Содержание хлорофилла в абсолютно сухом сырье, %				
	<i>Chl*a</i>	<i>Chla</i>	<i>Chlb</i>	<i>Chla + Chlb</i>	Отношение <i>Chla / Chlb</i>
2018					
Стеблевание	0.32±0.005	0.31±0.004	0.30±0.007	0.61±0.011	1.03±0.02
Бутонизация	0.47±0.015	0.45±0.030	0.47±0.015	0.92±0.045	0.96±0.03
Цветение	0.34±0.017	0.33±0.012	0.33±0.019	0.66±0.030	1.01±0.02
Плодоношение	0.27±0.022	0.26±0.006	0.24±0.004	0.50±0.029	1.07±0.01
2019					
Стеблевание	0.28±0.003	0.27±0.004	0.26±0.002	0.53±0.017	1.04±0.01
Бутонизация	0.35±0.011	0.34±0.010	0.32±0.013	0.66±0.023	1.06±0.02
Цветение	0.32±0.014	0.31±0.013	0.30±0.012	0.61±0.025	1.03±0.01
Плодоношение	0.32±0.001	0.30±0.001	0.29±0.011	0.59±0.008	1.04±0.03
2020					
Стеблевание	0.30±0.011	0.29±0.011	0.27±0.003	0.56±0.014	1.07±0.02
Бутонизация	0.34±0.008	0.34±0.006	0.33±0.013	0.67±0.020	1.03±0.02
Цветение	0.32±0.007	0.32±0.007	0.30±0.010	0.62±0.017	1.07±0.01
Плодоношение	0.26±0.006	0.25±0.007	0.23±0.009	0.48±0.013	1.09±0.05
Среднее за 3 года					
Стеблевание	0.30±0.006	0.29±0.006	0.28±0.004	0.57±0.014	1.05±0.01
Бутонизация	0.39±0.011	0.38±0.015	0.37±0.014	0.75±0.029	1.02±0.03
Цветение	0.33±0.013	0.32±0.010	0.31±0.014	0.63±0.024	1.04±0.01
Плодоношение	0.28±0.008	0.27±0.005	0.25±0.008	0.52±0.013	1.07±0.02

Примечание: *рассчитано по формуле 1.

Таблица 2. Количественное содержание каротиноидов в листьях *Silphium perfoliatum* в зависимости от фазы развития в течение вегетационных сезонов 2018–2020 гг.

Фаза развития растения	Содержание каротиноидов в абсолютно сухом сырье, %	
	сумма каротиноидов	отношение (<i>Chla + Chlb</i>) /кар
2018		
Стеблевание	0.13±0.001	4.70±0.02
Бутонизация	0.19±0.009	4.84±0.01
Цветение	0.15±0.007	4.49±0.04
Плодоношение	0.12±0.004	4.29±0.08
2019		
Стеблевание	0.11±0.001	4.85±0.03
Бутонизация	0.13±0.004	4.95±0.07
Цветение	0.13±0.007	4.85±0.11
Плодоношение	0.13±0.004	4.45±0.05
2020		
Стеблевание	0.12±0.004	4.52±0.02
Бутонизация	0.14±0.004	4.65±0.01
Цветение	0.13±0.001	4.87±0.11
Плодоношение	0.12±0.004	3.86±0.02
Среднее за 3 года		
Стеблевание	0.12±0.002	4.69±0.05
Бутонизация	0.15±0.006	4.81±0.09
Цветение	0.14±0.005	4.74±0.12
Плодоношение	0.12±0.004	4.20±0.18

Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*Chla / Chlb*) является показателем хроматической адаптации и находится в пределах 2.5–5.5 [32]. Это отношение корректно, если определение хлорофиллов производилось в свежесобранном сырье с соблюдением всех мер предосторожности [28]. Полученные нами данные по соотношению хлорофиллов в среднем за годы исследований составили 1.02–1.07, что, по видимому, связано с определением хлорофилла в высушенном, а не в свежесобранном сырье. При сушке сырья происходит образование феофитина [28], причем установлено, что процесс распада хлорофилла *a* протекает резче и быстрее по сравнению с хлорофиллом *b* [33].

Содержание каротиноидов в листьях коррелирует с содержанием хлорофилла. У большинства растений величина соотношения хл/кар составляет 4–5 [17]. Согласно полученным данным, это соотношение в листьях сельфий в среднем за годы исследований составило 4.20–4.81.

Известно, что содержание пигментов зависит от сезонных факторов (температура, количество солнечного света, экология окружающей среды и др.) и места произрастания [28]. Наиболее благоприятным для образования пигментов в листьях сильфии можно считать вегетационный сезон 2018 г., благодаря повышенному температурному режиму (с апреля по сентябрь среднемесячная температура превысила климатическую норму на 0.5–3.3 °С) и хорошим условиями увлажнения.

Среднемесячные температуры в периоды вегетации растений в 2019 г. (май, июнь, август) и 2020 г. (апрель–сентябрь) также превысили среднеголетние значения на 1.0–4.6 °С. В первой половине вегетационного сезона 2020 г. выпало значительно больше осадков, по сравнению с аналогичным периодом 2019 г., что способствовало накоплению пигментов в листьях, особенно каротиноидов (рис. 2 и 3). Однако в августе и сентябре этого года наблюдались явления засухи, обусловленные критическим недобором осадков (соответственно 5.0 и 2.9 мм при норме 42.5 и 46.8 мм) и повышенными температурами. В условиях водного дефицита, возникшего в конце вегетации растений в 2020 году, отмечено более выраженное снижение содержание пигментов в листьях в фазу плодоношения по сравнению с этим же периодом предыдущего года. В 2019 году, напротив, в связи со значительным выпадением осадков в сентябре (106 мм при климатической норме 46.8 мм), повышением влагообеспеченности почвы и, следовательно, улучшением доступности для растений элементов минерального питания, количество пигментов в листьях в фазу плодоношения практически не снизилось и находилось примерно на уровне, соответствующем фазе цветения (рис. 2 и 3). Следует отметить, что при недостатке влаги (август, сентябрь 2020 г.) существенного снижения количества хлорофилла и каротиноидов в листьях сильфии не наблюдалось, что свидетельствует об устойчивости пигментного комплекса растения к неблагоприятным факторам среды.

Климатические условия места произрастания безусловно оказывают влияние на накопление пигментов в растениях. Концентрация пигментов в них увеличивается при уменьшении инсоляции и, наоборот, уменьшается при увеличении инсоляции. Кроме того, количество пигментов зависит также от условий увлажнения – в сухих местообитаниях концентрация хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в растениях ниже, чем во влажных местах [34]. Так, по данным G. Kowalska с соавторами (2020), в листьях сильфии пронзеннолистной, произрастающей в Польше в условиях мягкого влажного климата, суммарное содержание хлорофилла в течение вегетационного сезона достигало 1.3–2.3% (в пересчете на сухую массу сырья) [21]. Согласно полученным нами данным, содержание суммарного хлорофилла в листьях сильфии, произрастающей в условиях континентального климата в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья в течение достаточно благоприятного вегетационного сезона (2018 г.), составило 0.50–0.92% (табл. 1). Содержание хлорофилла в листьях сильфии пронзеннолистной сравнимо с таковым в листьях крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) (до 1.1%), используемых в качестве лекарственного сырья – источника хлорофилла [35].

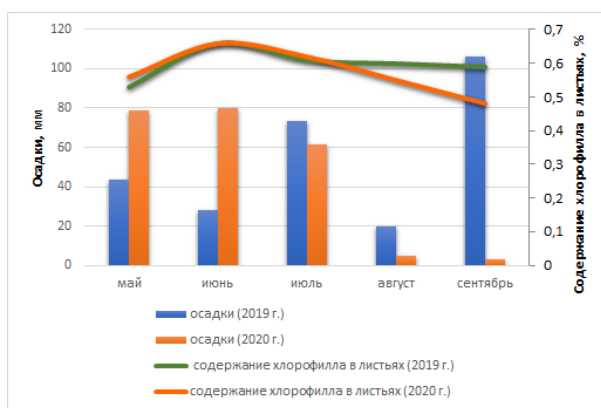


Рис. 2. Динамика содержания хлорофилла в листьях *Silphium perfoliatum* в зависимости от количества выпавших осадков в течение вегетационных сезонов 2019–2020 гг.

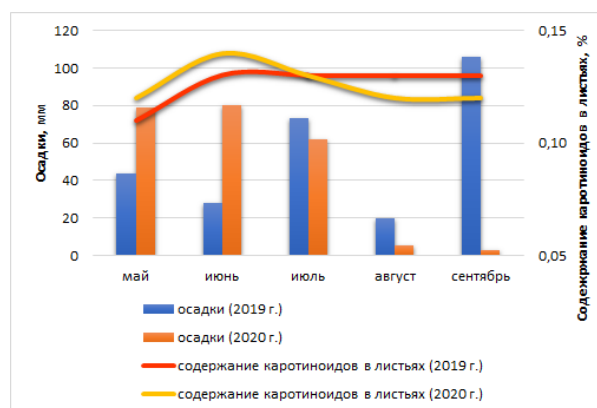


Рис. 3. Динамика содержания каротиноидов в листьях *Silphium perfoliatum* в зависимости от количества выпавших осадков в течение вегетационных сезонов 2019–2020 гг.

Выводы

1. Содержание хлорофилла в листьях *S. perfoliatum* L. (сорт Алена) зависит от фазы развития растения. Максимальное содержание суммарного хлорофилла в листьях установлено в фазу бутонизации и за три года исследования составило в среднем 0.75%, в фазу цветения количество хлорофилла незначительно понижалось и достигало минимума в фазу плодоношения (0.52%).

2. Содержание каротиноидов в листьях *S. perfoliatum* L. коррелирует с содержанием хлорофилла и в течение вегетации в среднем за годы исследований находилось в пределах 0.12–0.15%, достигая максимального значения в фазу бутонизации.

3. Содержание пигментов в листьях *S. perfoliatum* L. зависит также от сезонных факторов и повышается с улучшением условий увлажнения, которые, в свою очередь, зависят от количества выпавших осадков.

4. Достаточно высокое содержание пигментов в листьях *S. perfoliatum* L. позволяет рассматривать их как перспективное лекарственное сырье, содержащее хлорофилл и каротиноиды. Сбор сырья целесообразно проводить в фазу бутонизации.

Список литературы

1. Степанов А.Ф., Чупина М.П. Сильфия пронзеннолистная: биология, агротехника, использование. Омск, 2017. 304 с.
2. Давидянц Э.С. Перспективы хозяйственного использования сильфии пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L.) // Новости науки в АПК. 2019. №1-2 (12). С. 58–65. DOI: 10.25930/cltr-cg57.
3. Peni D., Stolarski M.Y., Bordien A., Krzyzaniak M., Debowski M. *Silphium perfoliatum* – a herbaceous crop with increased interest in recent years for multi – purpose use // Agriculture. 2020. Vol. 10. Pp. 640–662. DOI: 10.3390/agriculture10120640.
4. Höller M., Lunze A., Wever Ch., Deutschle A.L., Stücker A., Frase N., Pestsova E., Spies A.C., Westhoff P., Rude R. Meadow hay, *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. as potential non-wood raw materials for the pulp and paper industry // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 167. 113548. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113548.
5. Calabria L.M. The isolation and characterization of triterpene saponins from *Silphium* and the chemosystematic and biological significance of the *Asteraceae*: dis. Ph D. Texas, Austin, 2008. 320 p.
6. Давидянц Э.С., Абубакиров Н.К. Химический состав и перспективы использования растений рода *Silphium* L. // Растительные ресурсы. 1992. Т. 28, вып. 2. С. 118–128.
7. Сыров В.Н., Хушбакова З.А., Давидянц Э.С. Тритерпеновые гликолизы *Silphium perfoliatum* L. Гиполипидемическая активность сильфиозида // Химико-фармацевтический журнал. 1992. №5. С. 6–69.
8. Хушбакова З.А., Назруллаев С.С. Ахмедходжаева Х.С., Нигматуллаев А.М., Сагдуллаев Ш.Ш.. Растения Центральной Азии – источники фитостероидов // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47, вып. 1. С. 136–160.
9. Burton T., Dunlap T., Dong H., Li G., Bolton J., Soejrto D., Van Breemen R.B. American Indian botanicals: possible alternatives to hormone therapy during menopause // Planta medica. 2015. Vol. 81 (11). P. 13.
10. Куянцева А.М., Давидянц Э.С. Регенерирующая активность экстракта *Silphium perfoliatum* L. // Фармация. 1988. №6. С. 36–37.
11. Давидянц Э.С. Рострегулирующая активность тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. (*Asteraceae*) // Растительные ресурсы. 2006. Т. 42, вып. 1. С. 127–136.
12. Давидянц Э.С., Карташева И.А., Нешин И.В. Влияние тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. на фитопатогенные грибы // Растительные ресурсы. 1997. Т. 33, вып. 4. С. 93–97.
13. Kowalski R. Selected secondary metabolites in leaves, inflorescences and rhizomes of *Silphium perfoliatum* L. – alternative herbal plant // Folia Horticulturae. 2003. Vol. 15. N2. Pp. 203–209.
14. Williams J.D. The flavonoids and phenolic acid of genus *Silphium* and their chemosystematic and medicinal value: dis. P.D. Texas, Austin, 2006. 195 p.
15. Feng W.-Sh., Pei Y.-Y., Zheng X.-K., Li Ch.-G., Ke Y.-Y., Lv Y.Y., Zhang Y.-L. A new kaempferol trioside from *Silphium perfoliatum* // J. Asian Natural Products Research. 2014. Vol. 16. N4. Pp. 393–399. DOI: 10.1080/10286020.2013.823951.
16. Guo Y., Shang H., Zhao Y., Zhang H., Chen Sh. Enzyme-assisted extraction of a cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) polysaccharide and its antioxidant and hypoglycemic activities // Process Biochemistry. 2020. Vol. 92. Pp. 17–28. DOI: 10.1016/j.procbio.2020.03.005.
17. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. №3(4). С. 5–16. DOI: 10.31.040/22228349-2015-4-3-5-16.
18. Федосеева Л.М., Малолеткина Т.С. Изучение и сравнительная оценка липофильных веществ зеленых, красных и черных листьев бадана толстолистного, произрастающего на Алтае // Химия растительного сырья. 1999. №2. С. 113–117.
19. Inanc A.L. Chlorophyll: structural properties, health benefits and its occurrence in virgin olive oils // Academic Food J. 2011. Vol. 9(2). Pp. 26–32.

20. Eldahshan O.A., Singab A.N.B. Carotenoids // *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2013. Vol. 1. Pp. 225–234.
21. Kowalska G., Pankiewicz U., Kowalski R. Evaluation of chemical composition of some *Silphium* L. species as alternative raw materials // *Agriculture*. 2020. Vol. 10. Pp. 132–149. DOI: 10.3390/agriculture10040132.
22. Kuhn R., Winterstein A. Über der Verbreitung des Luteins im Pflanzenreich // *Naturwissenschaft*. 1930. Vol. 18. Pp. 754–756.
23. Грицак З.И. Сильфия пронзеннолистная (*Silphium perfoliatum* L.), ее биология, кормовые достоинства, опыт возделывания в условиях Черновицкой области УССР: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Кишинев, 1970. 20 с.
24. Эдельштейн М.М., Соловьева И.В. Содержание каротина и аскорбиновой кислоты в силосных культурах // Доклады ТСХА. 1974. Вып. 204. С. 51–54.
25. Недварас А.П., Марчюленис В.И. Биологическая и биохимическая характеристика перспективных силосных растений. 20. Рост, развитие, урожайность, химический состав надземной части сильфии пронзеннолистной в условиях Литовской ССР // Труды АН ЛитССР. 1987. №3/99. С. 37–45.
26. Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Кравцов В.В. и др. Сорты и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и его сети: каталог. Ставрополь, 2020. 165 с.
27. Милаева Л.И., Примак И.П. Сравнительное определение количества пигментов в листьях кукурузы и табака ускоренным методом // Селекция и семеноводство. 1969. №12. С. 69–72.
28. Санникова Е.Г., Компанцева Е.В., Попова О.И., Айрапетова А.Ю. Определение пигментов в сырье ивы трехтычинковой (*Salix triandra* L.) методами тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 119–127. DOI: 10.14258/jcrpm.2019024077.
29. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments and photosynthetic biomembranes // *Methods Enzymol.* 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-0.
30. Тринеева О.В., Сливкин А.И., Самылина И.А. Исследования по разработке проектов фармакопейных статей на плоды и масло облепихи крушиновидной // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. №3. С. 126–133.
31. Емелин В.А., Шелюто Б.В. Влияние фаз развития растений, минеральных и органических удобрений на продуктивность сильфии пронзеннолистной, химический состав и питательную ценность зеленой массы // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. №3. С. 112–116.
32. Мозец Ж.Е., Судейная С.В. Практикум по физиологии растений. Часть I. Минск, 2009. 64 с.
33. Баранова Е.Г. Оценка количества пигментов сортов табака с различной окраской листьев // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5(47). С. 8–11. DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.19.
34. Мутыгулина Ю.Р. Динамика содержания и роль пигментов фотосинтеза у видов рода *Dianthus* L. флоры Предкавказья // Вестник Московского государственного областного университета. Естественные науки. 2009. №1. С. 52–55.
35. Великая Т.В., Кожанова К.К., Жетерова С.К., Дрегерт О. Определение качественного состава крапивы двудомной (*Urtica dioica*) методом ТСХ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №1(43). С. 78–80. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.015.

Поступила в редакцию 15 сентября 2021 г.

После переработки 15 октября 2021 г.

Принята к публикации 17 октября 2021 г.

Для цитирования: Давидянц Э.С., Кравцов В.В. Динамика содержания пигментов в листьях сильфии пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum* L.) в зависимости от фазы развития и сезонных факторов // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 105–113. DOI: 10.14258/jcrpm.20220110275.

Davidyants E.S.*, Kravtsov V.V. DYNAMICS OF PIGMENTS CONTENT IN SILPHIUM PERFOLIATUM L. LEAVES DEPENDING ON THE PHASE OF DEVELOPMENT AND SEASONAL FACTORS

North Caucasian Federal Agrarian Research Center, ul. Nikonova, 49, Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241 (Russia), e-mail: ei_davidyants@mail.ru

The paper presents the results of studying the dynamics of the content of pigments in the leaves of *Silphium perfoliatum* L. (family *Asteraceae*), growing in the zone of unstable moisture of the Central Ciscaucasia, depending on the phase of development and seasonal factors. *S. perfoliatum* is a valuable forage, melliferous and flower-ornamental crop, which is also of interest as a source of various biologically active substances: terpenoids, triterpene saponins, polyphenols, polysaccharides, and others. Using the spectrophotometric method, the content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and the amount of carotenoids were determined in the leaves of *S. perfoliatum* variety Alena during 3 growing seasons (2018–2020 years). Changes in the content of pigments in plant leaves with a change in phenological phases have been established. The maximum content of total chlorophyll and total carotenoids in leaves was observed in the budding phase and over the years of the study averaged 0.75% and 0.15%, respectively (based on the absolutely dry weight of raw materials), in the flowering phase the amount of pigments slightly decreased and reached a minimum in the fruiting phase (0.52 and 0.12%, respectively). The content of pigments in leaves also depended on seasonal factors and increased with improved moisture conditions, which, in turn, depended on the amount of precipitation.

A sufficiently high level of pigment content in the leaves of *Silphium perfoliatum* L. allows us to consider them as a promising medicinal raw material containing chlorophyll and carotenoids, the collection of which should be carried out in the budding phase.

Keywords: *Silphium perfoliatum* L., chlorophyll, carotenoids, pigments, dynamics.

References

- Stepanov A.F., Chupina M.P. *Sil'fiya pronzennolistnaya: biologiya, agrotehnika, ispol'zovaniye*. [Sylphia perforated: biology, agricultural technology, use]. Omsk, 2017, 304 p. (in Russ.).
- Davidyants E.S. *Novosti nauki v APK*, 2019, no. 1-2 (12), pp. 58–65. DOI: 10.25930/c1tr-cg57. (in Russ.).
- Peni D., Stolarski M.Y., Bordien A., Krzyzaniak M., Debowski M. *Agriculture*, 2020, vol. 10, pp. 640–662. DOI: 10.3390/agriculture10120640.
- Höller M., Lunze A., Wever Ch., Deutschle A.L., Stücker A., Frase N., Pestsova E., Spies A.C., Westhoff P., Rude R. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 167. 113548. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113548.
- Calabria L.M. *The isolation and characterization of triterpene saponins from Silphium and the chemosystematic and biological significance of the Asteraceae: dis. PhD*. Texas, Austin, 2008, 320 p.
- Davidyants E.S., Abubakirov N.K. *Rastitel'nyye resursy*, 1992, vol. 28, no. 2, pp. 118–128. (in Russ.).
- Syrov V.N., Khushbaktova Z.A., Davidyants E.S. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 1992, no. 5, pp. 6–69. (in Russ.).
- Khushbaktova Z.A., Nazrullayev S.S., Akhmedkhodzhayeva Kh.S., Nigmatullayev A.M., Sagdullayev Sh.Sh.. *Rastitel'nyye resursy*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 136–160. (in Russ.).
- Burton T., Dunlap T., Dong H., Li G., Bolton J., Soejrto D., Van Breemen R.B. *Planta medica*, 2015, vol. 81 (11), p. 13.
- Kuyantseva A.M., Davidyants E.S. *Farmatsiya*, 1988, no. 6, pp. 36–37. (in Russ.).
- Davidyants E.S. *Rastitel'nyye resursy*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 127–136. (in Russ.).
- Davidyants E.S., Kartasheva I.A., Neshin I.V. *Rastitel'nyye resursy*, 1997, vol. 33, no. 4, pp. 93–97. (in Russ.).
- Kowalski R. *Folia Horticulturae*, 2003, vol. 15, no. 2, pp. 203–209.
- Williams J.D. *The flavonoids and phenolic acid of genus Silphium and their chemosystematic and medicinal value: dis. P.D.* Texas, Austin, 2006, 195 p.
- Feng W.-Sh., Pei Y.-Y., Zheng X.-K., Li Ch-G., Ke Y.-Y., Lv Y.Y., Zhang Y-L. *J. Asian Natural Products Research*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 393–399. DOI: 10.1080/10286020.2013.823951.
- Guo Y., Shang H., Zhao Y., Zhang H., Chen Sh. *Process Biochemistry*, 2020, vol. 92, pp. 17–28. DOI: 10.1016/j.procbio.2020.03.005.
- Dymova O.V., Golovko T.K. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2018, no. 3(4), pp. 5–16. DOI: 10.31.040/22228349-2015-4-3-5-16. (in Russ.).
- Fedoseyeva L.M., Maloletkina T.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 1999, no. 2, pp. 113–117. (in Russ.).
- Inanc A.L. *Academic Food J.*, 2011, vol. 9(2), pp. 26–32.
- Eldahshan O.A., Singab A.N.B. *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2013, vol. 1, pp. 225–234.
- Kowalska G., Pankiewicz U., Kowalski R. *Agriculture*, 2020, vol. 10, pp. 132–149. DOI: 10.3390/agriculture10040132.
- Kuhn R., Winterstein A. *Naturwissenschaft*, 1930, vol. 18, pp. 754–756.
- Gritsak Z.I. *Sil'fiya pronzennolistnaya (Silphium perfoliatum L.), yeye biologiya, kormovyye dostoinstva, opyt vozde-lyvaniya v usloviyakh Chernovitskoy oblasti USSR: avtoref. dis. ... kand. sel'khoz. nauk*. [Silphium perfoliatum L., its biology, fodder advantages, cultivation experience in the conditions of the Chernivtsi region of the Ukrainian SSR: author. dis. ... cand. agricultural Sciences]. Kishinev, 1970, 20 p. (in Russ.).
- Edel'shteyn M.M., Solov'yeva I.V. *Doklady TSKhA*, 1974, vol. 204, pp. 51–54. (in Russ.).
- Nedvaras A.P., Marchyulenis V.I. *Trudy AN LitSSR*, 1987, no. 3/99, pp. 37–45. (in Russ.).

* Corresponding author.

26. Kulintsev V.V., Chumakova V.V., Kravtsov V.V i dr. *Sorta i gibridy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur selektsii FGBNU «Severo-Kavkazskiy FNATs» i yego seti: katalog*. [Varieties and hybrids of agricultural crops selected by the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian FNAC" and its networks: catalogue]. Stavropol', 2020, 165 p. (in Russ.).
27. Milayeva L.I., Primak I.P. *Selektsiya i semenovodstvo*, 1969, no. 12, pp. 69–72. (in Russ.).
28. Sannikova Ye.G., Kompantseva Ye.V., Popova O.I., Ayrapetova A.Yu. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 119–127. DOI: 10.14258/jcprm.2019024077. (in Russ.).
29. Lichtenthaler H.K. *Methods Enzym*, 1987, vol. 148, pp. 350–382. DOI: 10.1016./0076-6879(87)48036-0.
30. Trineyeva O.V., Slivkin A.I., Samylina I.A. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2016, no. 3, pp. 126–133. (in Russ.).
31. Yemelin V.A., Shelyuto B.V. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2020, no. 3, pp. 112–116. (in Russ.).
32. Mozets Zh.Ye., Sudeynaya S.V. *Praktikum po fiziologii rasteniy. Chast' I*. [Workshop on plant physiology. Part I]. Minsk, 2009, 64 p. (in Russ.).
33. Baranova Ye.G. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 5(47), pp. 8–11. DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.19. (in Russ.).
34. Mutyugulina Yu.R. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Yestestvennyye nauki*, 2009, no. 1, pp. 52–55. (in Russ.).
35. Velikaya T.V., Kozhanova K.K., Zheterova S.K., Dregert O. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 1(43), pp. 78–80. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.015. (in Russ.).

Received September 15, 2021

Revised October 15, 2021

Accepted October 17, 2021

For citing: Davidyants E.S., Kravtsov V.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 105–113. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220110275.

