

УДК 577.13

ЭКДИСТЕРОИДЫ И ФЛАВОНОИДЫ *SILENE GRAEFFERI*

© *Е.С. Филоненко**, *Л.Н. Зибарева*

Сибирский ботанический сад, Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050 (Россия), e-mail: filonenkoelenaserg@mail.ru

В настоящей работе *Silene graefferi* Guss. впервые рекомендуется в качестве перспективного источника флавоноидов и является известным продуцентом экдистероидов. Данный многолетний вид адаптирован к условиям Западной Сибири и успешно культивируется в Сибирском ботаническом саду ТГУ с 2015 г. Представляло интерес изучение состава и особенностей аккумуляции биологически активных веществ в процессе роста и развития *S. graefferi*. Показано, что как в надземной, так и в подземной частях интродуцированных растений *S. graefferi* присутствуют 20-гидроксизидон и полиподин В в течение всего вегетационного развития. Выявлен неидентифицированный экдистероид в надземной части в начале вегетации и в корнях в фазе цветения. В течение вегетационного развития обнаружены как общие флавоноиды, так и характерные в разные периоды развития растений. Фазой максимального накопления как экдистероидов, так и флавоноидов *S. graefferi* является начало вегетации, а минимального – цветение. В возрастной динамике наибольшие уровни биологически активных веществ в растениях отмечены на 2-м и 3-м годах жизни, затем наблюдается общая тенденция снижения с возрастом растения. Из надземной части *S. graefferi* выделены и идентифицированы ВЭЖХ 20-гидроксизидон, полиподин В, витексин.

Ключевые слова: *Silene*, Гвоздичные, экдистероиды, флавоноиды.

Список сокращений: БАВ – биологически активные вещества, КЖХ – колоночная жидкостная хроматография, ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография, 20Е – 20-гидроксизидон, Pol В – полиподин В, ФЭ – неидентифицированный экдистероид, ФЛ – неидентифицированный флавоноид, НВ – начало вегетации, БУТ – бутонизация, ЦВ – цветение, ПЛ – плодоношение, КВ – конец вегетации.

Работа поддержана Программой повышения конкурентоспособности ТГУ, проект № 8.1.05.2020.

Введение

Изучение неисчерпаемых растительных ресурсов планеты является актуальным на сегодняшний день и позволяет рекомендовать новые источники биологически активных веществ (БАВ) и расширять арсенал лекарственных растений. Интродукция повышает биоразнообразие местной флоры и позволяет заменять одни лекарственные растения другими, тем самым предотвращая истребление хозяйственно ценных видов. При интродукции растений необходимо изучение их химического состава и аккумуляции БАВ в течение вегетационного периода развития и возрастных изменений.

Silene graefferi Guss. впервые рекомендуется в качестве перспективного источника флавоноидов и является известным продуцентом экдистероидов [1–5]. Известно, что экдистероиды и флавоноиды проявляют широкий спектр фармакологических активностей, являются основой биологических добавок и могут быть использованы в медицине.

S. graefferi Guss. (= *S. ciliata* Pourt, *S. ciliata* var. *graefferi* (Guss.) Nyman) [6, 7] вид семейства Гвоздичных распространен в Южной Европе [6, 8, 9]. Исходные (маточные) семена растений получены из Ботанического сада г. Граца (Австрия). Данный многолетний вид адаптирован к условиям Западной Сибири и успешно культивируется в Сибирском ботаническом саду ТГУ с 2015 г. Растения проходят полный цикл

Филоненко Елена Сергеевна – инженер-исследователь лаборатории редких растений, e-mail: filonenkoelenaserg@mail.ru

Зибарева Лариса Николаевна – доктор химических наук, старший научный сотрудник лаборатории редких растений, e-mail: zibareva.lara@yandex.ru

развития, имеется ряд поколений.

Рекомендация использования нового растительного источника предполагает изучение распределения его основных химических компонентов в процессе развития. С точки зрения прикладного

* Автор, с которым следует вести переписку.

направления это необходимо для выяснения фазы максимального накопления БАВ с целью сбора сырья для выделения соединений и дальнейшего фармакологического изучения.

Цель настоящей работы – изучение состава и особенностей аккумуляирования БАВ в процессе роста и развития *S. graefferi*.

Экспериментальная часть

Объект исследования: сырье *Silene graefferi* Guss, собранное на коллекции лаборатории фитохимии Сибирского ботанического сада в период 2016–2019 гг. в фазу цветения, в 2018 г. сырье собранно во все фазы вегетационного развития.

Приготовление экстрактов: навеску воздушно-сухого сырья массой 1 г пятикратно экстрагировали 70% этиловым спиртом на водяной бане при температуре 55 °С. Полученные экстракты объединяли и концентрировали. Концентрирование проводили при помощи ротационного испарителя (ИКА RV 10, Германия) при нагреве до 50 °С.

Выделение БАВ: для изучения биохимического состава *S. graefferi*, вещества выделены по схеме, представленной на рисунке 1.

Из надземной части *S. graefferi* массой 132 г с помощью многократной экстракции 70% этанолом и селективным извлечением н-бутанолом выделены фракции, содержащие сумму БАВ или только флавоноиды. Разделение суммы БАВ проводили на силикагеле (ХромАналит, КСКГ, фракция 0.10–0.16 мм), в качестве элюента использовали систему растворителей этанол-хлороформ в соотношении 1 : 9 (1–46 фракции), 1 : 7 (47–61 фракции), 1 : 5 (62–89 фракции), 1 : 4 (90–125 фракции), 1 : 3 (126–150 фракции), 1 : 2 (151–175 фракции), 1 : 1 (176 фракция). Десорбцию последних полярных соединений осуществляли 96% этанолом (177 фракция), смесью этанола с водой (178 фракция) и водой (179–180 фракции). Очистку выделенных БАВ проводили с помощью перекристаллизации в системе растворителей этилацетат-этанол в соотношении 6 : 5, 5 : 6, 3 : 1, 2 : 1.



Рис. 1. Схема выделения БАВ: КЖХ – колоночная жидкостная хроматография, ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография

Методика анализа БАВ высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ): анализ выполнен на жидкостном хроматографе «Shimadzu LC-20AD» (Япония), диодно-матричный детектор, хроматографическая колонка Perfect Sil Target ODS – 3; 4.6×250 мм, размер зерна сорбента – 5 мкм. Элюент А: смесь ацетонитрила, изопропилового спирта (5 : 2 по объему), элюент В: 0.1% трифторуксусная кислота. Время анализа – 60 мин. Скорость элюирования – 1 мл/мин. Режим элюирования: градиент низкого давления; программа градиента: 0–40 мин 15–35% элюент А, 40–60 мин 35% элюент А. Объем пробы 5 мкл. Аналитическая длина волны $\lambda_{\max} = 242$ нм для регистрации экдистероидов и 272 нм – флавоноидов. Идентификацию сигналов на хроматограммах осуществляли сопоставлением времен удерживания и максимумов поглощения компонентов экстрактов и стандартных образцов. Фенольные соединения идентифицированы с использованием стандартов (Sigma-Aldrich, Lachema; чистота $\geq 95.0\%$). Экдистероиды 20-гидроксиэкдизон, полиподин В, 2-дезоксизэкдизон, 2-дезоксиз-20-гидроксиэкдизон, экдизон, используемые в качестве внутренних стандартов, ранее выделены и идентифицированы методами масс-спектрометрии и ядерно-магнитного резонанса [10–12]. Содержание БАВ рассчитывалось по площадям пиков образца и соответствующих стандартов с помощью калибровочной кривой, построенной с использованием программного обеспечения LC Postrun Calibration Curve. Анализ проводили в трех повторностях, статистические расчеты осуществляли в Microsoft Excel, 2007. Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартной ошибки.

Обсуждение результатов

Анализ содержания биологически активных веществ в надземной и подземной частях *S. graefferi*. Интродукция лекарственных растений позволяет исследовать в новых условиях особенности аккумуляции разных групп БАВ в зависимости от разных факторов – фаза развития, возраст растений и др.

В надземной части *S. graefferi* идентифицированы мажорные компоненты 20-гидроксиэкдизон (20Е), полиподин В (Pol В), в процессе изучения сезонной динамики исследовали их изменения (табл. 1). Идентификация экдистероидов в *S. graefferi* проведена на основе сопоставления времен удерживания и максимумов поглощения стандартов и разделенных компонентов.

В связи с тем, что весьма редкими являются исследования распределения экдистероидов в целом растении, проведен сравнительный анализ их содержания в надземной и подземной частях *S. graefferi* в фазу цветения. Показано, что как и в надземной, так и в подземной частях *S. graefferi* присутствуют 20Е и Pol В. Установлено, что неидентифицированный экдистероид (ФЭ) с временем удерживания 14.6–14.7 мин и максимумом поглощения 243 нм, обнаруженный в подземной части растения, выявлен в вегетативной розетке только в начале вегетации. Вероятно, ФЭ является запасной формой экдистероидов, которая служит источником для биосинтеза других экдистероидов и присутствует лишь в начале формирования розеток листьев.

Сравнительный анализ уровней экдистероидов (табл. 1) показал, что 20Е присутствует на протяжении всего вегетационного процесса, тогда как Pol В не обнаружен в плодоношении. От начала вегетации до фазы цветения наблюдается снижение содержания 20Е в диапазоне 1.80–0.45%, затем содержание возрастает, достигая к концу вегетации 50% от начального уровня. Аналогичный характер динамики наблюдается и для Pol В.

Показано, что наибольшее содержание как отдельных экдистероидов, так и их суммы наблюдается в начале вегетации – 3.22% (рис. 2). В периоды цветения и плодоношения отмечено самое низкое содержание 0.64–0.74%, вероятно, вследствие их участия в формировании регенеративных органов. Содержание экдистероидов в корнях ниже – 0.17%.

Содержание 20Е в 1.5–3.1 раза выше, чем Pol В. Доля 20Е в суммарном содержании варьирует в интервале 56–100%, Pol В 24–37% (табл. 1).

Таблица 1. Содержание экдистероидов в *S. graefferi* в процессе вегетации

Фаза вегетации	Содержание, % на абсолютно сухое сырье					
	НВ	БУТ	ЦВ		ПЛ	КВ
			Надземная часть	Подземная часть		
ФЭ	0.24±0.01	-	-	0.03±0.001	-	-
Pol В	1.18±0.02	0.33±0.04	0.19±0.005	0.02±0.001	-	0.31±0.001
20Е	1.80±0.06	0.81±0.01	0.45±0.02	0.12±0.004	0.74±0.17	0.96±0.005

Примечание: НВ – начало вегетации, БУТ – бутонизация, ЦВ – цветение, ПЛ – плодоношение, КВ – конец вегетации, ФЭ – неидентифицированный экдистероид, Pol В – полиподин В, 20Е – 20-гидроксиэкдизон, «-» – соединение отсутствует.

По литературным данным [13] в надземной части *S. ciliata* обнаружены 20Е и Pol В (содержание 0.62 и 0.25% соответственно), в *S. ciliata var. graefferi* выявлен 20Е (0.19%). По современной классификации данные виды являются синонимами, одинаковый химический состав и близкое содержание это подтверждает.

В таблице 2 представлен состав флавоноидов, выявленных на протяжении всего процесса вегетации. Идентифицированы некоторые флавоноиды при сравнении с хроматографическими и спектральными данными стандартов. Следует отметить, что состав флавоноидов в процессе вегетационного развития меняется: во всех фазах встречаются виценин-2, Фл 5, Фл 6 и Фл 19. В то же время в разные периоды развития растений присутствуют характерные флавоноиды. Так ориентин обнаружен в фазы плодоношения (содержание 0.02%) и конца вегетации (0.02%), витексин только в цветении (0.10%) и конце вегетации (0.14%). В целом к концу вегетационного периода аккумулируется наибольшее число флавоноидов – 12, тогда как в начале – 7 соединений. Однако содержание флавоноидов больше именно в начале вегетационного периода (11.02%), что обусловлено, по всей вероятности, развитием молодых листьев, побегов. Самое низкое содержание – 2.64% наблюдается в период развития генеративных органов. Следует заметить, что в фазах бутонизации (5.94%) и плодоношения (4.94%), когда растения имеют значительную биомассу, содержание ниже, чем в начале развития, однако 5–6% составляет высокий уровень флавоноидов.

Из данных таблицы 3 следует, что содержание всех флавоноидов минимально во время цветения. Максимальные уровни в начале вегетационного периода характерны для Фл 5 и виценина 2, в то время как для ФЛ 19, напротив – в конце вегетации. В фазу цветения содержание виценина 2 и Фл 5 понижается в 4 раза.

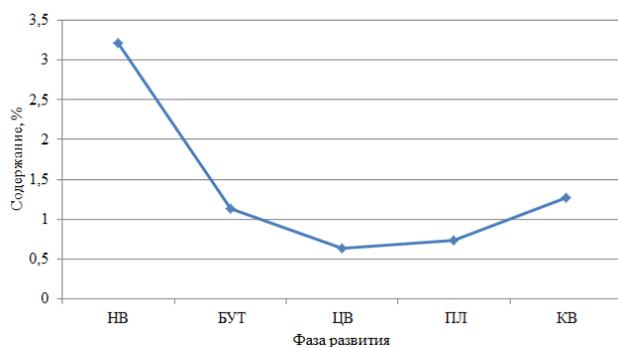


Рис. 2. Динамика суммарного содержания экистероидов в надземной части *S. graefferi*. НВ – начало вегетации, БУТ – бутонизация, ЦВ – цветение, ПЛ – плодоношение, КВ – конец вегетации

Таблица 2. Состав флавоноидов надземной части *S. graefferi* в течение вегетации

Фаза вегетации	НВ	БУТ	ЦВ	ПЛ	КВ
	Время удерживания (t_R), мин				
ФЛ 1	7.457	-	-	-	-
ФЛ 2	-	-	-	-	10.239
Виценин-2	10.617	10.644	10.785	10.931	10.994
ФЛ 3	-	11.337	-	-	-
ФЛ 4	-	-	-	-	12.219
ФЛ 5	13.444	13.431	13.516	13.671	13.066
Ориентин	-	-	-	14.768	14.089
ФЛ 6	15.406	15.273	15.411	15.583	14.895
ФЛ 7	15.963	15.876	15.981	-	-
ФЛ 8	-	-	-	16.154	-
ФЛ 9	-	17.007	17.106	17.292	-
Витексин	-	-	18.407	-	17.815
ФЛ 10	19.582	-	-	-	-
ФЛ 11	-	-	-	21.107	-
ФЛ 12	-	-	-	21.472	-
ФЛ 13	-	-	-	-	22.260
ФЛ 14	-	-	-	-	26.438
ФЛ 15	-	-	-	28.640	-
ФЛ 16	-	-	-	-	30.226
ФЛ 17	-	-	-	33.614	-
ФЛ 18	-	-	-	-	34.914
ФЛ 19	37.370	37.177	37.266	37.496	36.835

Примечание: НВ – начало вегетации, БУТ – бутонизация, ЦВ – цветение, ПЛ – плодоношение, КВ – конец вегетации, ФЛ – неидентифицированный флавоноид, «-» – соединение отсутствует.

Таблица 3. Содержание флавоноидов в надземной части *S. graefferi*

Фаза вегетации	НВ	БУТ	ЦВ	ПЛ	КВ
	Содержание, % на абсолютно сухое сырье				
Виценин 2	0.21±0.004	0.22±0.001	0.05±0.00002	0.20±0.01	0.18±0.0004
ФЛ 5	9.64±0.33	4.93±0.02	2.32±0.10	4.33±0.35	5.93±0.08
ФЛ 6	0.15±0.001	0.24±0.002	0.11±0.02	0.11±0.01	0.23±0.03
ФЛ 19	0.05±0.005	0.03±0.0002	0.02±0.0005	0.09±0.02	0.12±0.001

Примечание: НВ – начало вегетации, БУТ – бутонизация, ЦВ – цветение, ПЛ – плодоношение, КВ – конец вегетации, ФЛ – неидентифицированный флавоноид.

Характер изменений суммарного содержания флавоноидов обусловлен, вероятно, уровнем мажорного компонента Фл 5 и поэтому динамика их идентична – максимум наблюдается в начале вегетации и минимум – в цветении. Содержание Фл 5 в общей сумме флавоноидов составляет 83–88%. В подземной части флавоноиды не обнаружены.

Возрастная динамика содержания биологических активных веществ в S. graefferi. Возрастную динамику изучали в фазе цветения – фазу наибольшей биомассы, начиная со второго года жизни растения, поскольку в первый год формируются вегетативные розеточные побеги, вегетационный период растения заканчивают в виргинильной стадии развития. В генеративный период растения вступают на второй год жизни, формируются полноценные семена.

Качественный состав экидистероидов во все годы жизни одинаков и состоит из 20Е и Pol В (табл. 4). Содержание последнего снижается с возрастом растения. Динамика 20Е обуславливает общую динамику накопления экидистероидов, максимум накопления 20Е, Pol В и суммы экидистероидов наблюдается на 2 и 3-й годы жизни растений.

Состав флавоноидов в разные годы жизни отличается, но имеется ряд флавоноидов, встречающихся на всем протяжении жизни растения, из них идентифицированы виценин-2 и витексин (табл. 4). Наблюдается общая тенденция снижения содержания флавоноидов к 4-му году жизни растения. На 5-м году жизни наблюдается повышение уровней всех компонентов, что, вероятно, обусловлено погодными условиями.

Таким образом, максимальное содержание вторичных метаболитов *S. graefferi* наблюдается в начале вегетации. В фазе цветения установлены наибольшие уровни БАВ в растениях 2-го и 3-го годов жизни.

Выделение и идентификация биологических активных веществ из S. graefferi. Поскольку *S. graefferi* является малоизученным видом и рассматривается как перспективный источник экидистероидов и флавоноидов, интерес представляло установление химического состава растения.

Из надземной части *S. graefferi* выделены фракции, содержащие сумму экидистероидов и флавоноидов, а также флавоноидов, выход которых составил 1.83 и 3.68% соответственно.

Из фракций 48–68 был выделен Pol В, из фракций 69–76, 77–88 20Е, из фракций 102–177 витексин (табл. 5).

Таблица 4. Динамика содержания БАВ в надземной части *S. graefferi* в фазе цветения в зависимости от возраста

Экидистероид	Содержание экидистероидов, % на абсолютно сухое сырье			
	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год
Pol В	0.42±0.01	0.34±0.01	0.19±0.005	0.21±0.01
20Е	1.35±0.04	1.49±0.04	0.45±0.02	0.82±0.04
Общее содержание	1.77±0.05	1.82±0.05	0.64±0.03	1.03±0.05
Флавоноид	Содержание флавоноидов, % на абсолютно сухое сырье			
Виценин-2	0.24±0.01	0.19±0.01	0.05±0.00002	0.17±0.01
ФЛ 3	0.15±0.01	0.13±0.003	–	0.12±0.01
ФЛ 5	5.67±0.10	4.56±0.23	2.32±0.10	4.55±0.12
ФЛ 6	0.38±0.02	0.27±0.06	0.11±0.02	0.30±0.02
ФЛ 7	0.18±0.01	0.15±0.04	0.05±0.01	0.15±0.04
ФЛ 9	0.05±0.01	0.04±0.02	0.002±0.00001	–
Витексин	0.30±0.02	0.33±0.04	0.10±0.02	0.19±0.04
ФЛ 19	0.05±0.003	0.06±0.001	0.02±0.0005	0.05±0.01
Общее содержание	7.18±0.19	5.80±0.14	2.64±0.10	5.53±0.14

Примечание: Pol В – полипидин В, 20Е – 20-гидроксизекдизон, нумерация флавоноидов согласно таблице 2, «-» – соединение отсутствует.

Таблица 5. Характеристика выделенных соединений из *S. graefferi*

Соединение	tr, мин	λmax, нм	Чистота, %	Выход, %
20E (C ₂₇ H ₄₄ O ₇)	19.125	247	≥90	0.11
Pol B (C ₂₇ H ₄₄ O ₈)	18.817	245	≥90	0.07
Витексин (C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀)	17.658	268.336	≥89	минорное количество

Примечание: tr – время удерживания, Pol B – полиподин B, 20E – 20-гидроксиэкидизон.

Известно, что для представителей родов *Silene* и *Lychnis* свойственен биосинтез характерных соединений: 20-гидроксиэкидизон, полиподин B, экидизон, понастерон A, 2-дезоксид-20-гидроксиэкидизон [14–17], первые два выделены из *S. graefferi*.

Среди большого многообразия флавоноидов в видах *Silene* встречаются виценин и его изомеры, изовитексин, неовитексин, витексин, изосапонарин, ориентин и др. [18–20]. В ходе настоящего эксперимента в *S. graefferi* обнаружены виценин-2, ориентин, витексин и ряд неидентифицированных флавоноидов.

Выводы

Таким образом, показано, что характер динамики содержания экидистероидов и флавоноидов, по всей вероятности, обусловлен биологией многолетнего вида. Состав экидистероидов в надземной и подземной частях растения одинаков. Фазой максимального накопления как экидистероидов, так и флавоноидов в надземной части *S. graefferi* является начало вегетации, а минимального – цветение. Экидистероиды и флавоноиды максимально накапливаются на 2-м и 3-м году жизни. Из надземной части интродуцированных растений *S. graefferi* выделены и идентифицированы полиподин B, 20-гидроксиэкидизон, витексин.

Список литературы

1. Bathori M., Lafont R., Girault J.P., Mathe I. Occurrence of phytoecdysteroids in *Silene* Species // *Journal of Toxicology: Toxin Reviews*. 1995. Vol. 14. P. 223.
2. Zibareva L.N. Study of peculiarities to accumulate ecdysteroids in plants of the *Silene* L. genus // *Fundamental and Applied Problems of Environmental Protection*. Tomsk, 1995. Vol. 2. P. 97.
3. Зибарева Л.Н. Распространение экидистероидов в роде *Silene* L. и динамика их содержания // *Растительные ресурсы*. 1999. Т. 35, вып. 1. С. 79–87.
4. Zibareva L. et al. Distribution of phytoecdysteroids in the Caryophyllaceae // *Phytochemistry*. 2003. Vol. 64. N2. Pp. 499–517. DOI: 10.1016/S0031-9422(03)00376-5.
5. Зибарева Л.Н., Дайнен Л., Еремина В.И. Скрининг видов семейства Caryophyllaceae на присутствие фитоэкидистероидов // *Растительные ресурсы*. 2007. Т. 43. №4. С. 66–75.
6. Лазьков Г.А. Род *Silene* L. (Caryophyllaceae) во флоре Евразии (систематика, распространение, история): дис. ... д-ра. биол. наук. СПб., 2002. 454 с.
7. The Plant list [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theplantlist.org/>.
8. Tutin T.G. et al. *Flora Europaea*: ed. 2. Cambridge at the University press, 1993. Vol. 1. 582 p.
9. Greuter W. *Silene* (Caryophyllaceae) in Greece: a subgeneric and sectional classification // *Taxon*. 1995. Vol. 44. Pp. 543–581. DOI: 10.2307/1223499.
10. Zibareva L. et al. The Phytoecdysteroid Profiles of 7 Species of *Silene* (Caryophyllaceae) // *Archives of insect biochemistry and physiology*. 2009. Vol. 72(4). Pp. 234–248. DOI: 10.1002/arch.20331.
11. Зибарева Л.Н., Балтаев У.А., Свиридова Т.П., Саатов З., Абубакиров Н.К. Виды рода *Lychnis* L. – перспективные источники экидистероидов // *Растительные ресурсы*. 1995. Т. 31. №4. С. 1–9.
12. Зибарева Л.Н. Фитоэкидистероиды растений семейства Caryophyllaceae. Saarbrücken, 2012. 195 с.
13. Zibareva L. Distribution and levels of phytoecdysteroids in plants of genus *Silene* during development // *Archives of insect biochemistry and physiology*. 2000. Vol. 43. Pp. 1–8. DOI: 10.1002/(SICI)1520-6327(200001)43:1<1::AID-ARCH1>3.0.CO;2-D.
14. Mamadalieva N.Z. Phytoecdysteroids from *Silene* plants: distribution, diversity and biological (antitumour, antibacterial and antioxidant) activities // *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 2012. Vol. 11 (6). Pp. 474–497.
15. Mamadalieva N.Z., Lafont R., Wink M. Diversity of Secondary Metabolites in the Genus *Silene* L. (Caryophyllaceae) – Structures, Distribution, and Biological Properties // *Diversity*. 2014. Vol. 6. Pp. 415–499. DOI: 10.3390/d6030415.
16. Dinan L., Lafont R. Compilation of the literature reports for the screening of vascular plants, algae, fungi and nonarthropod invertebrates for the presence of ecdysteroids, version 6. 2019. 156 p.
17. Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Кастерова Е.А., Анцупова Т.П., Ендонова Г.Б., Нестерова С.В. Экидистероиды и фенольные соединения некоторых видов Caryophyllaceae // *Растительные ресурсы*. 2020. Т. 56. №2. С. 165–172. DOI: 10.31857/S0033994620020119.
18. Дармограй В.Н. Флавоноиды растений родов *Silene* и *Otites* Adans сем. Гвоздичных // *Химия природных соединений*. 1977. №1. С. 114–115.

19. Дармограй С.В., Фурса Н.С., Дармограй В.Н. Некоторые результаты изучения видов рода володырник (*Cuscubalus* L.) семейства Caryophyllaceae Juss. // Труды Рязанского отделения русского ботанического общества. Вып. 1: Флора и растительность. Рязань, 2009. С. 141–142.
20. Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Храмова Е.П. Флавоноиды некоторых видов растений родов *Lychnis* и *Silene* // Фенольные соединения: свойства, активность, инновации. 2018. С. 274–278.

Поступила в редакцию 12 августа 2020 г.

После переработки 4 декабря 2020 г.

Принята к публикации 15 января 2021 г.

Для цитирования: Филоненко Е.С., Зибарева Л.Н. Экдистероиды и флавоноиды *Silene graefferi* // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 175–182. DOI: 10.14258/jсргm.2021018294.

*Filonenko E.S.**, *Zibareva L.N.* ECDYSTEROIDS AND FLAVONOIDS OF *SILENE GRAEFFERI*

*Siberian Botanical Garden, Tomsk State University, pr. Lenina 36, Tomsk, 634050, (Russia),
e-mail: filonenkoelenaserg@mail.ru*

In this paper *Silene graefferi* Guss. is recommended for the first time as a promising source of flavonoids and is a well-known producer of ecdysteroids. This perennial species is adapted to the conditions of Western Siberia and has been successfully cultivated in the Siberian Botanical garden of TSU since 2015. It was interesting to study the composition and features of accumulation of biologically active substances during the growth and development of *S. graefferi*. It was shown that 20-hydroxyecdysone and polypodine B are present in the aerial and underground parts of introduced in culture *S. graefferi* plants during the entire vegetative development. An unidentified ecdysteroid was detected in the aerial part at the beginning of the vegetation and in the roots during the flowering phase. During vegetative development, common flavonoids and characteristic ones at different periods of plant development were found. The phase of maximum accumulation of ecdysteroids and flavonoids of *S. graefferi* is the beginning of vegetation, and the minimum is flowering. In the age dynamics the highest levels of biologically active substances in plants were noted at 2 and 3 years of life, then there is a general tendency to decrease with the age of the plant. From the aerial part of *S. graefferi*, 20-hydroxyecdysone, polypodine B and vitexin were isolated and identified by HPLC.

Keywords: *Silene*, Caryophyllaceae, ecdysteroids, flavonoids.

* Corresponding author.

References

1. Bathori M., Lafont R., Girault J.P., Mathe I. *Journal of Toxicology: Toxin Reviews*, 1995, vol. 14, p. 223.
2. Zibareva L.N. *Fundamental and Applied Problems of Environmental Protection*, Tomsk, 1995, vol. 2, p. 97.
3. Zibareva L.N. *Rastitel'nyye resursy*, 1999, vol. 35, no. 1, pp. 79–87. (in Russ.).
4. Zibareva L. et al. *Phytochemistry*, 2003, vol. 64, no. 2, pp. 499–517. DOI: 10.1016/S0031-9422(03)00376-5.
5. Zibareva L.N., Daynen L., Yeremina V.I. *Rastitel'nyye resursy*, 2007, vol. 43, no. 4, pp. 66–75. (in Russ.).
6. Laz'kov G.A. *Rod Silene L. (Caryophyllaceae) vo flore Yevrazii (sistematika, rasprostraneniye, istoriya): dis. ... d-ra. biol. nauk.* [Genus *Silene L. (Caryophyllaceae)* in the flora of Eurasia (taxonomy, distribution, history): dis. ... dr. biol. sciences]. St.-Petersburg, 2002, 454 p. (in Russ.).
7. *The Plant list*. URL: <http://www.theplantlist.org/>.
8. Tutin T.G. et al. *Flora Europaea: ed. 2*. Cambridge at the University press, 1993, vol. 1, 582 p.
9. Greuter W. *Taxon*, 1995, vol. 44, pp. 543–581. DOI: 10.2307/1223499.
10. Zibareva L. et al. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 2009, vol. 72(4), pp. 234–248. DOI: 10.1002/arch.20331.
11. Zibareva L.N., Baltayev U.A., Sviridova T.P., Caatov Z., Abubakirov N.K. *Rastitel'nyye resursy*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. 1–9. (in Russ.).
12. Zibareva L.N. *Fitoekdisteroidy rasteniy semeystva Saryophyllaceae*. [Phytoecdysteroids of plants of the Caryophyllaceae family]. Saarbrücken, 2012, 195 p. (in Russ.).
13. Zibareva L. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 2000, vol. 43, pp. 1–8. DOI: 10.1002/(SICI)1520-6327(200001)43:1<1::AID-ARCH1>3.0.CO;2-D.
14. Mamadaliyeva N.Z. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 2012, vol. 11 (6), pp. 474–497.
15. Mamadaliyeva N.Z., Lafont R., Wink M. *Diversity*, 2014, vol. 6, pp. 415–499. DOI: 10.3390/d6030415.
16. Dinan L., Lafont R. *Compilation of the literature reports for the screening of vascular plants, algae, fungi and non-arthropod invertebrates for the presence of ecdysteroids, version 6*. 2019, 156 p.
17. Zibareva L.N., Filonenko Ye.S., Kasterova Ye.A., Antsupova T.P., Yendonova G.B., Nesterova S.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 165–172. DOI: 10.31857/S0033994620020119. (in Russ.).
18. Darmogray V.N. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1977, no. 1, pp. 114–115. (in Russ.).
19. Darmogray S.V., Fursa N.S., Darmogray V.N. *Trudy Ryazanskogo otdeleniya russkogo botanicheskogo obshche-stva. Vyp. 1: Flora i rastitel'nost'*. [Proceedings of the Ryazan Branch of the Russian Botanical Society. Issue 1: Flora and vegetation]. Ryazan', 2009, pp. 141–142. (in Russ.).
20. Zibareva L.N., Filonenko Ye.S., Khramova Ye.P. *Fenol'nyye soyedineniya: svoystva, aktivnost', innovatsii*, 2018, pp. 274–278. (in Russ.).

Received August 12, 2020

Revised December 4, 2020

Accepted January 15, 2021

For citing: Filonenko E.S., Zibareva L.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 175–182. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021018294.