

## ЗАПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ *ERYTHRONIUM SIBIRICUM* (LILIACEAE)

Л.Л. Седельникова, Т.А. Кукушкина

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,  
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

Представлены результаты количественного состава запасных веществ и некоторых групп соединений в вегетативных органах *Erythronium sibiricum* (Fischer et Meyer) Krylov. Показано накопление сахаров, крахмала, сапонинов, аскорбиновой кислоты, пектинов, протопектинов, катехинов, дубильных веществ в луковицах и листьях *E. sibiricum*. Исследования компонентного состава *E. sibiricum*, интродуцированного в лесостепную зону Западной Сибири, проведены впервые.

**Ключевые слова:** *Erythronium sibiricum*, сахара, крахмал, сапонины, пектины, протопектины, катехины, аскорбиновая кислота, дубильные вещества, луковица, лист, Западная Сибирь.

## SPARE SUBSTANCES IN VEGETATIVE BODIES *ERYTHRONIUM SIBIRICUM* (LILIACEAE)

L.L. Sedelnikova, T.A. Kukushkina

Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,  
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

The results of quantitative composition of spare substances and of the groups combinations in the vegetative organs of *Erythronium sibiricum* (Fischer et Meyer) Krylov. are represented. Dynamics of accumulation of sugars, starch, saponins, ascorbic acid, pectins, protopectins, catechins, tannins in bulbs and leaves *E. sibiricum* is showed. Researches of the component composition of *E. sibiricum* introduced in the forest-steppe area of West Siberia for the first time are conducted.

**Key words:** *Erythronium sibiricum*, sugars, starch, saponins, pectins, protopectins, catechins, ascorbic acid, tanning matter, bulb, leaf, West Siberia.

### ВВЕДЕНИЕ

Роль запасных веществ в устойчивости луковичных растений в процессе их жизнедеятельности существенна. Компонентный состав метаморфизированных побегов у декоративных геофитов изучен еще недостаточно. Выявление адаптивных возможностей растений природной флоры Сибири особенно актуально и связано с биохимическими процессами, в частности с накоплением запасных веществ в вегетативных органах. Среди них большой интерес представляет *Erythronium sibiricum* (Fischer et Meyer) Krylov (*Liliaceae*) – кандык сибирский, из рода *Erythronium* L. (Черепанов, 1995). В мире насчитывается 25 видов, большинство из них произрастает в Северной Америке, Юго-Западной Европе, на Кавказе, в Японии. На территории России и сопредельных государств отмечены четыре вида. *E. sibiricum* – эндемичный вид Алтае-Саянской горной страны и Монголии. Обитает в Западной и Восточной Сибири в кедровых, елово-пихтовых, березово-осиновых лесах, по опушкам, лугам и травянистым склонам гор и оврагов, во влажных местах, вблизи рек и озер, до субальпийского и

альпийского пояса, мезофит. Наиболее распространен в Томской, Новосибирской, Кемеровской областях, на Алтае, в Красноярском крае, Хакасии, Туве, между 48–58° с.ш. и 80–97° в.д. (Седельникова, Астанкович, 1977). Это – перспективное ранневесеннее декоративное растение, медонос, луковицы имеют пищевую ценность и используются в народной медицине.

В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН в лаборатории интродукции декоративных растений с середины 50-х годов прошлого века ботаник – интродуктор Л.П. Зубкус (1956, 1961, 1965) посвятила свою научную деятельность введению в культуру *E. sibiricum*. Это – короткокорневищно-луковичный геофит, характерной особенностью которого является эфемероидность, подснежный ритм развития, морозоустойчивость и высокая адаптационная возможность выживания в экстремальных условиях различных местообитаний.

Первые сведения о пищевых свойствах луковиц *E. sibiricum* и наличии в них крахмала, белка и глюкозы известны из монографии В.И. Верещагина и др.

(1959). По данным работ (Клышев и др., 1978; Bate-Smith, 1968), в роде *Erythronium* отмечено содержание флавоноидов – кверцетина и кемпферола. Позднее в цветках *E. sibiricum* обнаружены изорамнетин и мирицетин, а также наличие антоцианов и фенолкарбоновых кислот (Астанкович, Минаева, 1976). В работах Л.П. Зубкус, Л.И. Астанкович (1972), Е.С. Лапиной (1972) установлено накопление общих форм азота и фосфора, хлорофилла “a” и “b” в веге-

тативных и генеративных органах. Однако литературные сведения по накоплению некоторых групп соединений в вегетативных органах *E. sibiricum* отсутствуют, это послужило основанием для выполнения работы.

Цель исследования – сравнить содержание метаболитов основных групп веществ в луковицах и листьях *E. sibiricum*, интродуцированного в условия лесостепной зоны Западной Сибири.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа проведена в Центральном сибирском ботаническом саду (ЦСБС) СО РАН в 2009–2011 гг. *E. sibiricum* интродуцирован в лесостепную климатическую провинцию юго-восточного района Приобского округа в окрестности пос. Кирово из естественного местообитания (Томская область, с. Бол. Протопопово). По гидротермическим условиям и запасам влаги 2009 г. был прохладный, избыточно увлажненный; 2010 г. – теплый, умеренно увлажненный; 2011 г. – слабозасушливый с ранней теплой весной.

Определяли количественный состав пектинов, катехинов, сахаров, крахмала, сапонинов, дубильных веществ и аскорбиновой кислоты. Использовали свежесобранное сырье (луковицы, листья). Пробы для анализа (навеска 5–10 г) брали в соответствии с фенофазами развития растений до наступления в условиях Новосибирска устойчивых морозов: май – массовое цветение (21.05; 19.05; 24.05); июль – летний покой (10.07; 23.07; 15.07), начало формирования зачаточных генеративных органов; сентябрь (25.09; 20.09; 24.09) – предзимье, окончание формирования зачаточных генеративных органов в 2009–2011 гг. соответственно (Седелникова, 2002). Пектиновые вещества определяли карбазольным методом, основанным на получении специфического фиолетово-розового окрашивания уроновых кислот с карбазолом в сернокислой среде. Плотность окрашенных растворов измеряли на ФЭК-56М при длине волны 535 нм в кю-

вете с рабочей длиной 5 мм. Содержание пектиновых веществ установлено по калибровочной кривой, построенной по галактуроновой кислоте; сахара – по методу А.С. Швецова и Э.Х. Лукьяненко, основанному на восстановлении феррицианида калия редуцирующими сахарами в щелочной среде до ферроцианида, их количество – по калибровочному графику, выполненному по глюкозе (Ермаков и др., 1987). Количество катехинов определяли спектрофотометрическим методом, их содержание в пробе – по калибровочной кривой, построенной по ( $\pm$ )-катехину “Sigma” (Кукушкина и др., 2003). Крахмал находили методом кислотного гидролиза (Бородова и др., 1993); сапонины – весовым методом. При исследовании их содержания измельченные образцы экстрагировали хлороформом в аппарате Сокслета для извлечения липидов и смол, высушивали и вторично экстрагировали на водяной бане при 70 °С 30 минут последовательно 50, 60 и 96%-м этанолом. Объединенный экстракт упаривали до отсутствия запаха спирта и добавляли 7-кратный объем ацетона. Осадок через 18 ч отфильтровывали, высушивали при 70 °С и взвешивали (Киселева и др., 1991). Дубильные вещества определяли титрометрическим методом (Государственная фармакопея..., 1987). Все биохимические показатели, кроме аскорбиновой кислоты, рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья. Определения проводили в трехкратной повторности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение запасных и биологически активных веществ в листьях *E. sibiricum* в период короткой весенней вегетации и массового цветения позволило установить наличие семи компонентов (табл. 1). За все годы наблюдений в них отмечено высокое содержание аскорбиновой кислоты – 64.7–134.0 мг%. Однако в избыточно увлажненный вегетационный период (2009 г.) ее количество было в 2 раза больше по сравнению с сухим периодом вегетации (2011 г.). Такую же зависимость содержания катехинов от погодных факторов наблюдали в листьях, где их количество возрастало в 10–30 раз в 2010–2011 гг. Показания сахаров были изменчивы по годам, так их не обнаружено во влажный 2009 г., в умеренно увлажненный 2010 г. – 25.1 %, а в слабозасушливый 2011 г. – 43.7 %.

Состав сапонинов в листьях *E. sibiricum* варьировал по годам наблюдений. Отмечено, что в весенний период 2010–2011 гг. их содержание было в 8–10 раз больше по сравнению с прохладным избыточно увлажненным периодом вегетации 2009 г. Установлено, что среднее содержание флавонолов было стабильным – 2.1–2.6 %. Показания пектинов – 0.3–0.8 %, протопектинов – 3.4–4.6 %. Обнаружено, что в листьях пектинов в 1.5–2 раза меньше, чем протопектинов (см. табл. 1). Содержание крахмала в листьях *E. sibiricum* не отмечено, а их влажность была достаточно высокая за все годы наблюдений – 81.2–88.7 %.

Исследование запасных веществ в луковицах *E. sibiricum* в период массового цветения, летнего покоя и предзимья показало наличие семи компонентов:

Таблица 1

Содержание некоторых групп соединений (%)  
в листьях *E. sibiricum*

Показатель	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Влажность	81.2	87.8	88.7
Аскорбиновая кислота, мг%	134.0	104.6	64.7
Сахара	–*	25.1	43.7
Флавонолы	2.6	2.5	2.1
Катехины	2.6	1.1	0.08
Пектины	0.29	0.81	0.81
Протопектины	4.82	3.36	4.6
Сапонины	1.15	9.87	13.3

\* Прочерк означает отсутствие вещества.

сахаров, крахмала, пектинов, протопектинов, катехинов, сапонинов, аскорбиновой кислоты, пять из них представлены в табл. 2. В луковичах *E. sibiricum* наблюдали высокое содержание крахмала – от 32.99 до 49.77 % (2010 г.), от 32.90 до 44.75 % (2011 г.). Причем накопление в луковичах крахмала увеличивалось как в течение одного года вегетации, так и в разные вегетационные периоды. Количество сахаров в луковиче в 2010 г. составляло 7.6–11.4 %, а в более сухой период 2011 г. их было в 2 раза меньше. Обнаружено, что их показатели были в 1.5–2 раза больше в весенний период, чем в предзимье, т. е. когда происходило интенсивное возобновление луковичи и начало формирования в ней зачатков генеративных органов следующего года вегетации. Увеличение содержания крахмала как нерастворимого полисахарида и сахара способствует ускорению метаболических процессов в тканях запасящих органов лукович, что обуславливает их значительную морозоустойчивость и усиливает адаптационные возможности в период перезимовки. Накопление этих веществ обеспечивает жизненное состояние единственного зачаточного генеративного побега с одним цветком и двумя листьями, зимующих в почке возобновления у ежегодозаменяющейся луковичи с туникатным типом строения чешуи.

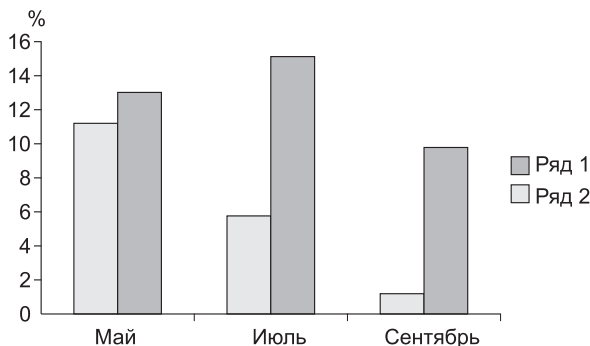


Рис. 1. Гистограмма распределения содержания сапонинов в луковичах *Erythronium sibiricum*.

Ряд 1 – 2010 г., ряд 2 – 2011 г.

Таблица 2

Сравнительные показатели содержания  
запасных веществ и некоторых групп соединений (%)  
в луковичах *E. sibiricum* в условиях Новосибирска  
за 2010–2011 гг.

Месяц	Пектины	Протопек- тины	Катехины	Сахара	Крахмал
2010 г.					
Май	0.65	5.54	1.72	11.42	32.99
Июль	0.46	14.47	0.11	7.63	37.78
Сентябрь	0.55	24.35	0.06	9.25	49.77
2011 г.					
Май	2.31	14.62	0.10	6.54	32.90
Июль	0.63	4.2	0.03	12.77	41.29
Сентябрь	1.55	4.18	0.04	3.53	44.75

Установлено, что в период цветения (май) содержание пектинов (0.65–2.31%) в луковичах *E. sibiricum* в 1.5–2 раза больше, чем осенью (сентябрь). Однако обнаружено, что количество протопектинов весной в 7–8 раз больше по сравнению с пектинами. Также отмечено, что в период цветения в течение трех лет наблюдений было самое высокое содержание катехинов (0.10–1.72%), несмотря на то, что их количественное изменение уменьшалось к предзимью в 2 раза. Относительно количественного соотношения сапонинов нами выявлено варьирование этого показателя по годам. Самое высокое содержание сырого сапонины (13.02–15.00 %) было весной во время цветения и летнем покое *E. sibiricum*, в 2011 и 2010 г. – 11.2 и 5.76 % соответственно (рис. 1). Их содержание понижалось в сентябре почти в 10–15 раз.

Количественные показатели аскорбиновой кислоты в луковичах *E. sibiricum* в мае были самыми высокими и соответствовали по годам наблюдений: 2009 г. – 42.07 мг%, 2010 г. – 16.5 мг%, 2011 г. – 21.06 мг% (рис. 2). Причем в период вегетации ее количество было стабильным, а к предзимью незначительно уменьшалось. Дубильных веществ и флавонолов в луковичах не обнаружено. Их влажность во все годы наблюдений имела самые высокие показатели в весенний период – 70.12–83.63 %.

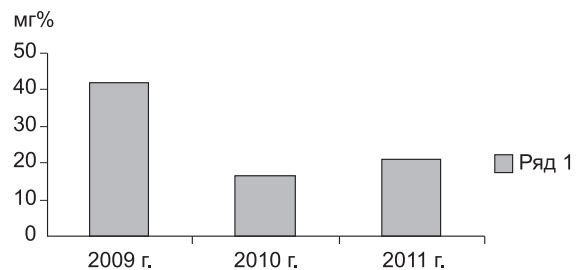


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты в луковичах *Erythronium sibiricum* в мае.

Анализ результатов исследования распределения метаболитов в период сезонного развития в луковичах и листьях *E. sibiricum* позволил установить индивидуальные и общие закономерности их накопления. Обнаружено, что количественное содержание крахмала в луковичах *E. sibiricum* в течение трех вегетационных периодов увеличивалось с весны к предзимью, а сахара – понижалось. Для коротковегетирующего эфемероида с продолжительностью вегетации 1.5–2 мес. и цветением в I–II декадах мая характерно высокое содержание в листьях аскорбиновой кислоты и флавоноидов. Очевидно, высокая устойчивость и жизнеспособность ежегоднотравающейся многолетней луковичи *E. sibiricum*, которая функционирует как однолетник и видоизмененный побег в течение годового цикла развития, обеспечены за счет высоко-

кого содержания в ней крахмала, сахаров, аскорбиновой кислоты. Наличие таких компонентов, как пектинов, протопектинов, катехинов и сапонинов, способствует усилению активного энергетического обмена для сохранения зачаточных вегетативно-генеративных органов в период относительно летнего и зимнего покоя. По-видимому, вторичные метаболиты обеспечивают адаптационные возможности в течение морфогенеза лукович и их выживание в крайне экстремальных условиях существования в летне-зимний период развития. Содержание крахмала, сахаров, аскорбиновой кислоты представляет основную пищевую ценность лукович. Таким образом, морфобиохимические процессы, происходящие при формировании видоизмененных побегов, взаимосвязаны и проявляются на органообразовательном уровне.

## ВЫВОДЫ

1. Листья и луковичи *E. sibiricum* содержат семь компонентов, из них шесть общих: сахара, аскорбиновая кислота, катехины, пектины, протопектины, сапонины; в луковичах не обнаружены флавонолы, в листьях – крахмал.

2. Высокое содержание крахмала (33–44.8 %), сахара (6.54–11.42 %), сапонинов (10.5–13 %), аскорби-

новой кислоты (40–44 мг%) в луковичах весной, в период массового цветения *E. sibiricum*. К предзимью количество пектинов, катехинов, сапонинов понижается.

3. Накопление вторичных метаболитов в луковичах связано с сезонным ростом и развитием *E. sibiricum*.

## ЛИТЕРАТУРА

- Астанкович Л.И., Минаева В.Г.** К изучению флавоноидов цветков кандыка сибирского *Erythronium sibiricum* (Fisch. et Mey) Kryl. // Актуальные вопросы ботанического ресурсосведения в Сибири. Новосибирск, 1976. С. 168–171.
- Бородова В.Я., Горенков Э.С., Клюева О.А., Малофеева Л.Н., Мегердичев Е.Я.** Методические указания по химико-технологическому сортоиспытанию овощных, плодовых и ягодных культур для консервной промышленности. М., 1993. С. 64–65.
- Верещагин В.И., Соболевская К.А., Якубова А.И.** Полезные растения Западной Сибири. М.; Л., 1959. 663 с.
- Государственная фармакопея СССР.** 11-е изд. Вып. 1. М., 1987. С. 286–287.
- Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.А.** Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 429 с.
- Зубкус Л.П.** Некоторые особенности роста и развития кандыка сибирского *Erythronium sibiricum* (Fisch. et Mey) Kryl. в природе // Тр. Бот. сада ЗСФ АН СССР. 1956. Вып. 1. С. 33–38.
- Зубкус Л.П.** Декоративные растения // Растительные богатства Новосибирской области. Новосибирск, 1961. С. 161–162.
- Зубкус Л.П.** Дикорастущие травянистые растения Западной Сибири, пути их изучения и введения в культуру // Растительные ресурсы Сибири, Урала и Дальнего Востока. Новосибирск, 1965. С. 359–364.
- Зубкус Л.П., Астанкович Л.И.** Формирование коробочки и динамика накопления азота и фосфора в отдельных органах кандыка сибирского // Растения природной флоры Сибири для зеленого строительства. Новосибирск, 1972. С. 188–194.
- Киселева А.В., Волхонская Т.А., Киселев В.Е.** Биологически активные вещества лекарственных растений Южной Сибири. Новосибирск, 1991. 135 с.
- Клышев Л.К., Бандюкова В.А., Алюкина Л.С.** Флавоноиды растений. Алма-Ата, 1978. 218 с.
- Кукушкина Т.А., Зыков А.А., Обухова Л.А.** Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.) как источник лекарственных средств // Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения: Материалы VII Междунар. съезда. СПб., 2003. С. 64–69.
- Лапина Е.С.** Декоративные качества и содержание хлорофилла в листьях кандыка сибирского // Растения природной флоры Сибири для зеленого строительства. Новосибирск, 1972. С. 194–198.
- Седельникова Л.Л.** Биоморфология геофитов в Западной Сибири. Новосибирск, 2002. 307 с.
- Седельникова Л.Л., Астанкович Л.И.** Ареал и местобитание *Erythronium sibiricum* (Fisch. et Mey.) Kryl. // Декоративные растения и их интродукция в Западную Сибирь. Новосибирск, 1977. С. 73–76.
- Черепанов С.К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб., 1995. 992 с.
- Bate-Smith E.C.** The phenolic constituents of plants and their taxonomic significance // J. Linn. Soc. (Bot.). 1968. V. 60, No. 383. P. 325–329.