

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.8+615.322

doi: 10.17223/19988591/30/7

Е.С. Васфилова¹, Р.И. Багаутдинова², Т.Ф. Оконешникова²

¹Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Некоторые особенности накопления фруктозосодержащих углеводов в травянистых лекарственных растениях

Изучены особенности накопления фруктозосодержащих углеводов, в том числе полифруктанов, в подземных органах 39 видов травянистых лекарственных растений, интродуцированных в условия Среднего Урала (подзона южной тайги). Исследования проводились в ботанических садах Уральского отделения РАН и Уральского федерального университета (г. Екатеринбург). Содержание фруктанов определяли в конце вегетационного сезона (сентябрь – начало октября). Выявлено статистически значимое влияние характера широтного (поясно-зонального) распространения видов на накопление фруктозосодержащих углеводов и степень их полимеризации. Способность синтезировать данные соединения снижена у видов, распространенных только в лесной зоне (бореальных и неморальных); виды, ареал которых заходит в степную зону умеренного пояса и в субтропический пояс, обладают повышенной способностью к накоплению фруктозосодержащих углеводов и более высоким относительным содержанием полифруктанов. Широта ареала, по-видимому, не имеет большого значения; виды, распространенные от бореальной зоны до субтропического пояса, значимо не отличаются по накоплению фруктанов и степени их полимеризации от видов, характерных только для степей умеренного пояса и субтропического пояса.

Ключевые слова: *фруктозосодержащие углеводы; содержание фруктанов; лекарственные растения.*

Введение

Одним из наиболее важных направлений в области изучения лекарственных растений является поиск новых эффективных иммуномодулирующих средств, оказывающих влияние на отдельные механизмы иммунных реакций. Иммуномодуляторы природного происхождения имеют преимущество перед синтетическими, поскольку они участвуют в качестве естественных агентов в обмене веществ в организме человека, а это значительно снижает риск возникновения аллергических реакций. Биологически

активные вещества, используемые в иммуномодулирующих препаратах растительного происхождения, относятся к различным группам химических соединений. В частности, В.А. Куркин [1] отмечает высокую биологическую активность фенилпропаноидов – производных коричных спиртов и оксикоричных кислот.

В последнее время в этой связи возрос интерес к растительным полисахаридам. Установлено, что гемицеллюлозы гетероксилан, арабиногалактан и арабинорамногалактан, а также фруктозосодержащие полисахариды (инулин и др.) обуславливают иммуномодулирующие и противовоспалительные свойства некоторых растений (эхинацеи пурпурной и близких видов). Инулин активирует иммунную систему, усиливая движение лейкоцитов к областям инфекции, увеличивая растворимость иммунных комплексов, разрушая бактерии, вирусы и другие микроорганизмы, стимулируя фибробласты и угнетая гиалуронидазу [2].

Сырье, богатое инулином, широко используется и в составе различных пищевых добавок, применяемых при заболевании сахарным диабетом [3]. Инулин способствует отложению гликогена в печени, улучшает инсулинообразующую функцию поджелудочной железы [4]. Получены данные, свидетельствующие о том, что инулин снижает уровень глюкозы в крови при пероральной нагрузке углеводами; отмечены снижение уровня сахара в крови и нормализация показателей жирового обмена у больных сахарным диабетом второго типа [5]. Молекулы инулина способны сорбировать значительное количество глюкозы и препятствовать ее всасыванию в кровь, а также стимулировать усвоение глюкозы без участия инсулина [6].

Таким образом, лекарственные растения, накапливающие фруктозосодержащие углеводы, могут быть предметом химического изучения и фармакологического скрининга с целью создания препаратов с иммуномодулирующей активностью и другими видами фармакологического действия.

Работа в этом направлении ведется, в частности, в ботанических садах Уральского отделения РАН и Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина – УрФУ (г. Екатеринбург). Здесь созданы коллекции видов лекарственных растений научной и народной медицины. На протяжении ряда лет у многих видов проанализировано содержание фруктозосодержащих углеводов. В результате выявлены виды растений, способные накапливать эти соединения в больших количествах [7–10] и представляющие интерес в качестве перспективных источников сырья для разработки лекарственных препаратов иммуномодулирующего и противодиабетического действия. Однако далеко не все растения способны синтезировать фруктозосодержащие углеводы в значительных количествах; это определяется особенностями их метаболизма. Накопление фруктанов, как и других биологически активных веществ, в значительной степени может быть связано с различными особенностями видов (ареалогическими, экологическими, биоморфологическими и т.д.). На основе изучения и выяв-

ления таких взаимосвязей возможен целенаправленный поиск перспективных для использования объектов.

Целью нашей работы явилась оценка влияния различных факторов (особенностей видов) на накопление фруктозосодержащих углеводов в растениях.

Материалы и методики исследования

Изучено 39 видов травянистых растений (табл. 1), выращенных в открытом грунте в ботанических садах Уральского отделения РАН и Уральского федерального университета, расположенных в г. Екатеринбурге (Средний Урал, подзона южной тайги). В большинстве случаев анализировали подземные органы растений, поскольку именно в них главным образом накапливаются фруктаны. По данным Д.Н. Оленникова, Н.И. Кашенко [11], накопление фруктанов в корнях растений разных видов составляет 5–50%, что может быть связано с их ролью энергетического источника, особенно в период весеннего возобновления роста.

Материал для анализа брали от растений, находившихся в среднегенеративном возрастном состоянии. Количество фруктозосодержащих углеводов определяли в конце вегетационного сезона (сентябрь – начало октября). Для каждого конкретного образца брали усреднённую пробу из 4–10 растений. Выделяли две фракции углеводов, содержащих фруктозу: низкомолекулярную, в состав которой входят фруктоза и фруктозосодержащие олигосахариды, и высокомолекулярную, включающую полифруктаны, в том числе инулин. Низкомолекулярную фракцию получали экстракцией сухого растительного образца 80%-ным этанолом. Из растительного остатка водой экстрагировали высокомолекулярную фракцию с последующим гидролизом полифруктанов до фруктозы 30%-ным раствором соляной кислоты. Определение фруктозы проводили спектрофотометрическим методом, с помощью реакции с резорцином [7, 12]. Суммарное количество фруктозосодержащих углеводов и содержание полифруктанов рассчитывали в процентах на воздушно-сухую массу.

Анализ проводили в период с 1993 по 2012 г. У ряда видов (*Helianthus tuberosus*, виды родов *Echinacea*, *Inula*, *Polymnia* и др.) содержание фруктанов исследовали на протяжении нескольких лет; часть видов проанализирована однократно. Поскольку количество изучаемых веществ меняется в зависимости от условий вегетационного сезона, не вполне корректно сравнивать у разных видов процентное содержание фруктанов, которое определяли в разные годы. При проведении статистической обработки для каждого вида использовали не абсолютные значения содержания фруктанов (в процентах), а балльную оценку, соответствующую тому диапазону, в котором находились эти значения в годы наблюдений для конкретного вида. В связи с этим все виды разделили на три группы (см. табл. 1):

- 1) количество фруктанов менее 10% – 1 балл;
- 2) количество фруктанов от 10 до 20% – 2 балла;
- 3) количество фруктанов свыше 20% – 3 балла.

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Накопление фруктозосодержащих углеводов у изученных видов растений
[Accumulation of fructose-containing carbohydrates in the examined plant species]

Вид [Species]	Органы растений [Plant organs]	Семейство [Family]	Широтные группы видов* [Latitudinal species groups*]	Количество полифруктанов [Number of polyfructans]		Сумма фруктозо- содержащих углеводов [Sum of fructose- containing carbohydrates]		Степень полимеризации фруктанов [Degree of polymerization of fructans]	
				%	балл [score]	%	балл [score]	диапазон [range]	балл [score]
<i>Aconogonon weyrichi</i> (F.Schmidt.) Hara	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Polygonaceae Juss.	1	3,9	1	10,4	1	0,38	2
<i>Allium victorialis</i> L.	Луковицы и корни [Bulbs and roots]	Aliiaceae Agardh.	2	18,1–19,8	2	37,2–41,1	3	0,44–0,53	2
<i>Arctium lappa</i> L.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	2	30,6	3	59,2	3	0,52	2
<i>Asclepias syriaca</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asclepiadaceae R. Br.	2	6,0–10,8	1	14,5–16,8	2	0,36–0,66	2
<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Saxifragaceae Juss.	1	0	1	3,4	1	0	1
<i>Campanula latifolia</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Campanulaceae Juss.	1	13,0	2	26,6	3	0,49	2
<i>Campanula rapunculoides</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Campanulaceae Juss.	3	28,1	3	47,7	3	0,59	2
<i>Cichorium intybus</i> L.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	2	0–4,5	1	22,7–40,0	3	0–0,20	1
<i>Codonopsis clematidea</i> (Schrenk) C.B. Clarke	Корни [Roots]	Campanulaceae Juss.	2	23,4	3	47,5	3	0,49	2
<i>Colchicum autumnale</i> L.	Клубнелуковицы [Corms]	Melanthiaceae Batsch	1	0	1	4–5	1	0	1
<i>Echinacea angustifolia</i> DC.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	4	22,7–49,1	3	29,3–54,1	3	0,65–0,91	3

Продолжение табл. 1 [Table 1 (continuation)]

Вид [Species]	Органы растений [Plant organs]	Семейство [Family]	Широтные группы видов* [Latitudinal species groups*]	Количество полифруктанов [Number of polyfructans]		Сумма фруктозо- содержащих углеводов [Sum of fructose- containing carbohydrates]		Степень полимеризации фруктанов [Degree of polymerization of fructans]	
				%	балл [score]	%	балл [score]	диапазон [range]	балл [score]
<i>Echinacea pallida</i> (Nutt.) Nutt.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	4	20,5–67,5	3	33,5–73,3	3	0,57–0,92	3
<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	20,7–38,9	3	30,4–54,1	3	0,55–0,72	3
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	4	40,0	3	49,0	3	0,82	3
<i>Eupatorium perfoliatum</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	2	26,1–32,2	3	46,1–48,7	3	0,57–0,66	3
<i>Grindelia robusta</i> Nutt.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	2	11,7	2	30,1	3	0,39	2
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	Клубни [Tubers]	Asteraceae Dumort.	2	23,7–37,2	3	36,7–68,7	3	0,46–0,73	3
<i>Inula helenium</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	18,0–48,0	3	30,6–72,2	3	0,37–0,81	3
<i>Inula magnifica</i> Lipsky	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	21,6–51,5	3	45,1–61,5	3	0,48–0,84	3
<i>Petasites spurius</i> (Retz.) Rechb.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	2	37,8–42,9	3	51,1–54,1	3	0,74–0,79	3
<i>Polymnia sonchifolia</i> Poepp. & Endl.	Корневые клубни [Root tubers]	Asteraceae Dumort.	5	0	1	26,0–57,6	3	0	1
<i>Polymnia uvedalia</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	19,0–64,3	3	51,0–75,3	3	0,34–0,89	3
<i>Prunella grandiflora</i> (L.) Scholler	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Lamiaceae Lindl.	3	0	1	5,0–8,0	1	0	1
<i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Boraginaceae Juss.	1	4,0	1	13,0	2	0,31	1

Продолжение табл. 1 [Table 1 (continuation)]

Вид [Species]	Органы растений [Plant organs]	Семейство [Family]	Широтные группы видов* [Latitudinal species groups*]	Количество полифруктанов [Number of polyfructans]		Сумма фруктозо- содержащих углеводов [Sum of fructose- containing carbohydrates]		Степень полимеризации фруктанов [Degree of polymerization of fructans]	
				%	балл [score]	%	балл [score]	диапазон [range]	балл [score]
<i>Raphanus raphanistroides</i> (Makino) Nakai	Корнеплоды [Root tubers]	Brassica-ceae Burnett	1	0	1	13,4–24,3	2	0	1
<i>Rhaponticum carthamoides</i> (Willd.) Ilijin	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	1	7,2–14,0	2	13,2–20,0	2	0,51–0,57	2
<i>Rhodiola rosea</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Crassula-ceae DC	1	0	1	3,1	1	0	1
<i>Rudbeckia laciniata</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	5,4	1	14,1	2	0,38	2
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	Корни [Roots]	Rosaceae Juss.	1	0	1	4,0	1	0	1
<i>Saussurea controversa</i> DC.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	1	4,5	1	11,5	2	0,39	2
<i>Scopolia carniolica</i> Jacq.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Solanaceae Juss.	1	0	1	5,1	1	0	1
<i>Scorzonera hispanica</i> L.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	4	27,2	3	46,2	3	0,59	2
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	Корни и стебли [Roots and stems]	Asteraceae Dumort.	4	0–6,9	1	13,0–21,2	2	0–0,33	1
<i>Solidago canadensis</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	2	0	1	4,5	1	0	1
<i>Symphytum caucasicum</i> M. Bieb.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Boragina-ceae Juss.	1	22,0–25,0	3	44,0–51,4	3	0,49–0,50	2
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Корни [Roots]	Asteraceae Dumort.	6	36,4–41,8	3	56,4–69,0	3	0,58–0,70	3
<i>Telekia speciosa</i> Baumg.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	3	33,5	3	40,0	3	0,84	3

О к о н ч а ю щ и й т а б л. 1 [Table 1 (end)]

Вид [Species]	Органы растений [Plant organs]	Семейство [Family]	Широтные группы видов* [Latitudinal species groups*]	Количество полифруктанов [Number of polyfructans]		Сумма фруктозо- содержащих углеводов [Sum of fructose- containing carbohydrates]		Степень полимеризации фруктанов [Degree of polymerization of fructans]	
				%	балл [score]	%	балл [score]	диапазон [range]	балл [score]
<i>Tussilago farfara</i> L.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Asteraceae Dumort.	6	15,0	2	35,0	3	0,43	2
<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	Корневища и корни [Rhizomes and roots]	Melanthiaceae Batsch	1	0	1	3,8	1	0	1

Примечание. *Широтные группы видов: 1 – бореальные, бореально-неморальные и неморальные; 2 – бореально-неморально-степные и распространённые от бореальной зоны умеренного пояса до субтропического пояса; 3 – неморально-степные и распространённые от неморальной зоны умеренного пояса до субтропического пояса; 4 – степные и распространённые от степной зоны умеренного пояса до субтропического пояса; 5 – субтропические и тропические (1 вид); 6 – плуризональные (2 вида).

[Note. *Latitudinal species groups: 1 - boreal, boreal-nemoral and nemoral; 2 - boreal-nemoral-steppe and species distributed from the boreal zone of the temperate zone to the subtropical zone; 3 - nemoral-steppe and species distributed from the nemoral zone of the temperate zone to the subtropical zone; 4 - steppe species and species distributed from the steppe zone of the temperate zone to the subtropical zone; 5 - subtropical and tropical (1 species); 6 - plurizonal (2 species)]

Размах значений количества фруктозосодержащих углеводов у растений третьей группы оказался значительным, особенно у видов, которые изучались наиболее детально. Но дальнейшее подразделение этой группы вряд ли возможно в связи с трудностями дифференциации растений по содержанию фруктанов в пределах данной группы.

Изучали также степень полимеризации фруктозы, которую определяли как отношение процентного содержания полифруктанов к суммарному количеству фруктозосодержащих углеводов (в процентах) и рассчитывали для каждого отдельного образца сырья. Степень полимеризации может сильно меняться в течение года; наиболее высока она в конце лета – начале осени. В статье представлены результаты анализа сырья, собранного в этот период. По данному показателю растения распределены на три группы (см. табл. 1):

- 1 – степень полимеризации низкая, от 0 до 0,3;
- 2 – степень полимеризации от 0,35 до 0,6;
- 3 – степень полимеризации высокая, от 0,6 до 0,9.

Для выяснения влияния различных факторов (биологических особенностей видов) на накопление фруктозосодержащих углеводов и степень их полимеризации проводили однофакторный дисперсионный анализ с использованием программы StatSoft STATISTICA 6.0 for Windows. Из анализа исключали градации факторов, которым соответствовало менее 5 видов.

Результаты исследования и обсуждение

Как известно, фруктозосодержащие углеводы могут накапливаться в больших количествах у видов из семейств Астровые и Колокольчиковые [3]. По нашим данным (см. табл. 1), содержание этих веществ у растений сем. Астровые варьирует в довольно широких пределах. Большинство изученных видов этого семейства обладает повышенной способностью к биосинтезу фруктанов. В этой связи особо следует отметить *Helianthus tuberosus*, *Arctium lappa*, *Cichorium intybus*, *Echinops sphaerocephalus*, *Scorzonera hispanica*, *Taraxacum officinale*, виды родов *Echinacea* Moench, *Inula* L., *Polymnia* L., которые могут накапливать до 40% фруктанов и более. Высоким оказалось содержание суммы фруктанов в подземных органах мать-и-мачехи (до 35%); данные о присутствии фруктанов в растениях этого вида приводят также Д.Н. Оленников, Н.И. Кащенко [11]. Однако у ряда видов сем. Астровые (*Solidago canadensis*, *Saussurea controversa* и некоторых других) количество этих веществ оказалось низким.

Изученные нами виды семейства Колокольчиковые (*Campanula rapunculoides*, *C. latifolia*, *Codonopsis clematidea*) характеризуются высоким содержанием фруктанов (см. табл. 1). Оценить способность других семейств к накоплению фруктанов на изучавшемся материале не представляется возможным, поскольку они представлены одним (редко двумя) видом. Стоит отметить, что в этих семействах встречаются виды, способные синте-

зировать данные соединения в больших количествах, например *Symphytum caucasicum* (сем. Boraginaceae), *Allium victorialis* (сем. Alliaceae). Возможно, представляет интерес более подробное изучение видов этих семейств с целью поиска перспективных источников ценного сырья.

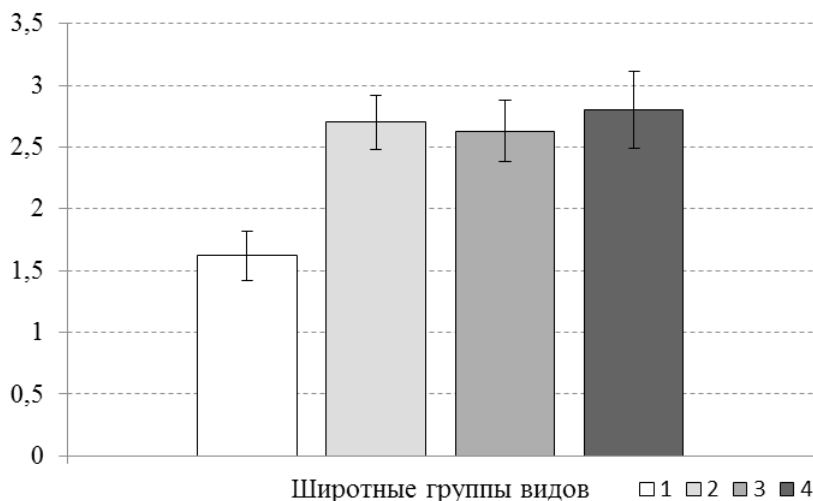


Рис. 1. Влияние особенностей широтного распространения видов на накопление суммы фруктозосодержащих углеводов.

По оси абсцисс – широтные группы видов (см. обозначения к табл. 1).

По оси ординат – суммарное количество фруктозосодержащих углеводов, баллы (показаны средние арифметические значения по группам и их ошибки)

[Fig. 1. Influence of the features of latitudinal species distribution on the accumulation of the sum of fructose-containing carbohydrates. On the abscissa axis - Latitudinal species groups (see the Symbols to the Table 1).

On the ordinate axis - The total sum of fructose-containing carbohydrates, in scores (arithmetic means in the groups and their errors are shown)]

Анализ показал значимое влияние особенностей широтного распространения видов (см. табл. 1) на накопление фруктозосодержащих углеводов ($F = 6,59$, $p = 0,0014$ для суммы фруктозосодержащих углеводов; $F = 5,16$, $p = 0,0051$ для полифруктанов) (рис. 1, 2). Изучаемые виды распределены по следующим широтным (поясно-зональным) группам (в анализ не включали один тропический и два плуризональных вида):

1) бореальные (растения таежной зоны), неморальные (растения зоны широколиственных лесов) и бореально-неморальные;

2) бореально-неморально-степные и распространенные от бореальной зоны умеренного пояса до субтропического (и в ряде случаев тропического) пояса;

3) неморально-степные и распространенные от неморальной зоны умеренного пояса до субтропического (и тропического) пояса;

4) степные и распространенные от степной зоны умеренного пояса до субтропического (и тропического) пояса.

Установлено, что накопление суммы фруктозосодержащих углеводов, а также полифруктанов статистически значимо ниже у видов группы 1 по сравнению с группами 2, 3 и 4 (см. рис. 1, 2). Таким образом, способность синтезировать фруктозосодержащие углеводы, очевидно, снижена у видов, распространенных только в лесной зоне (бореальных и неморальных). Виды, ареал которых заходит в степную зону умеренного пояса и в субтропический пояс (группы 2, 3, 4), обладают повышенной способностью к накоплению изученных соединений. При этом широта ареала, по-видимому, не имеет большого значения: так, виды, распространенные от бореальной зоны до субтропического пояса (группа 2), статистически значимо не отличаются по накоплению фруктозосодержащих углеводов от видов, характерных только для степной зоны умеренного пояса и для субтропического пояса (группа 4).

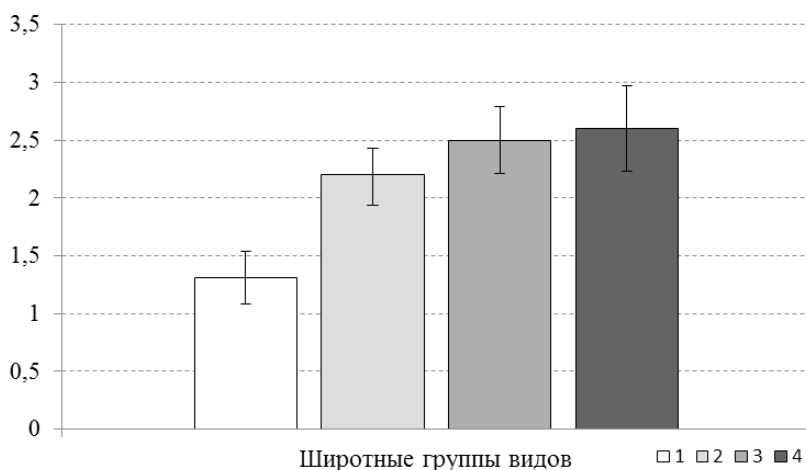


Рис. 2. Влияние особенностей широтного распространения видов на накопление полифруктанов.

По оси абсцисс – широтные группы видов (см. обозначения к табл. 1).

По оси ординат – содержание полифруктанов, баллы (показаны средние арифметические значения по группам и их ошибки)

[Fig. 2. The influence of the features of latitudinal species distribution on the accumulation of polyfructans.

On the abscissa axis - Latitudinal species groups (see the designations to the Table 1).

On the ordinate axis - The amount of polyfructans, in scores (arithmetic means in the groups and their errors are shown)]

Вероятно, причинами меньшего накопления фруктозосодержащих углеводов у бореальных и неморальных видов являются относительно короткий вегетационный период и пониженная освещенность соответствующих ме-

стообитаний. Так, по данным А.Г. Исаченко и А.А. Шляпникова [13], суммарная солнечная радиация в таежных и широколиственно-лесных ландшафтах варьирует от 70 до 120 ккал/см² в год, в степных ландшафтах она составляет 100–120, а в субтропических – 120–170 ккал/см² в год.

Анализ влияния на синтез фруктозосодержащих углеводов встречаемости (распространения либо отсутствия) видов в каждой природной зоне отдельно показал статистически значимое более низкое содержание суммы фруктозосодержащих углеводов ($F = 9,71$, $p = 0,0353$) и полифруктанов ($F = 4,40$, $p = 0,0429$) у видов, распространенных в тундровой и лесотундровой зонах (табл. 2). С другой стороны, статистически значимо выше накопление фруктозосодержащих углеводов у видов, встречающихся в субтропических степных и пустынно-степных ландшафтах ($F = 4,51$, $p = 0,0405$ для суммы фруктозосодержащих углеводов; $F = 4,68$, $p = 0,0371$ для полифруктанов). Способность к суммарному накоплению фруктозосодержащих углеводов статистически значимо выше ($F = 4,48$, $p = 0,0411$) и у видов, область распространения которых захватывает территорию Южной Азии (тропический пояс).

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Взаимосвязь содержания фруктозосодержащих углеводов
с особенностями распространения изученных видов**
[Interrelation of the content of fructose-containing carbohydrates
with the features of distribution of the studied species]

Особенности распространения видов [Features of species distribution]		Суммарное содержание фруктозосодержащих углеводов, баллы [Total content of fructose-containing carbohydrates, score]	Содержание полифруктанов, баллы [Content of poly- fructans, scores]
Распространение в тундре и лесотундре [Distribution in tundra and forest tundra]	отсутствуют [absent]	2,6 ± 0,14	2,2 ± 0,16
	встречаются [found]	1,7 ± 0,25	1,4 ± 0,30
Распространение в субтропических степных и пустынно-степных областях [Distribution in subtropical steppe and desert-steppe areas]	отсутствуют [absent]	2,1 ± 0,17	1,7 ± 0,19
	встречаются [found]	2,7 ± 0,20	2,4 ± 0,23

Как показали наши исследования, содержание высокомолекулярных фруктанов в большинстве случаев тесно взаимосвязано с накоплением суммы фруктозосодержащих углеводов; соответствующий коэффициент корреляции колеблется у более детально изученных видов (*Echinacea pallida*, *E. purpurea*, *Helianthus tuberosus*, *Inula helenium*, *Polymnia uvedalia*) от 0,59 до 0,97 и является статистически значимым. Однако у некоторых видов на-

капливаются почти исключительно олигофруктаны, а полифруктаны присутствуют в очень малых количествах либо вообще не обнаруживаются: это, в первую очередь, *Polymnia sonchifolia*, а также *Cichorium intybus*, *Raphanus raphanistroides*, *Silybum marianum* (см. табл. 1). Таким образом, резкие различия в степени полимеризации фруктозы встречаются у видов не только в пределах одного семейства, но даже в пределах одного рода – *Polymnia*. Крайне низкая степень полимеризации у *P. sonchifolia* (якона), по нашим данным, не зависит от срока сбора материала для анализа, ее нельзя связать с сезонными явлениями в жизни растений. В отношении цикория, дайкона и рапшора необходимы дальнейшие исследования.

Изучение влияния на степень полимеризации фруктозы особенностей распространения изученных видов показало, что она статистически значительно ниже у бореальных и неморальных видов ($F = 5,48$, $p = 0,0037$; рис. 3).

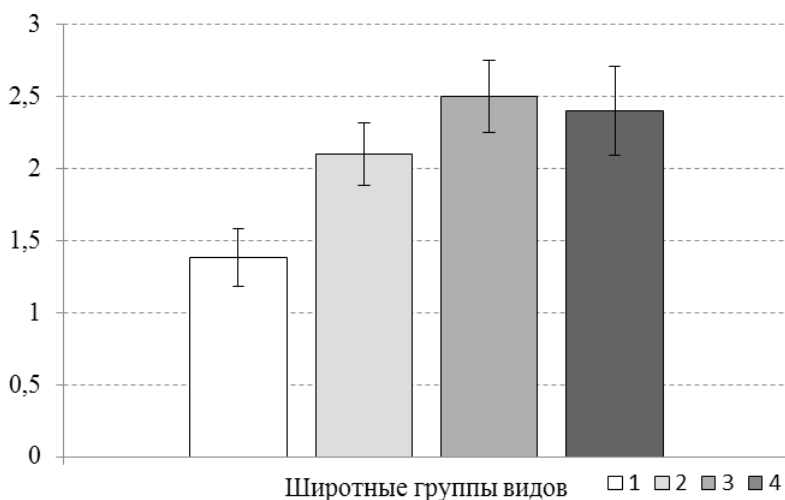


Рис. 3. Влияние особенностей широтного распространения видов на степень полимеризации фруктозы.

По оси абсцисс – широтные группы видов (см. обозначения к табл. 1).

По оси ординат – степень полимеризации фруктозы, баллы (показаны средние арифметические значения по группам и их ошибки)

[Fig. 3. Influence of the features of latitudinal species distribution on the degree of fructose polymerization.

On the abscissa axis - Latitudinal species groups (see the Symbols to the Table 1).

On the ordinate axis - Degree of fructose polymerization, in scores (arithmetic means of the groups and their errors are shown)]

Для видов, область распространения которых захватывает степную зону и субтропический пояс, характерна повышенная способность к полимеризации фруктозы. Возможно, это связано с особенностями температурного режима в различных зонах. Известно, что в зимний период уменьшение

длины дня и понижение температуры ведут к деполимеризации и резкому снижению содержания полифруктанов и накоплению в результате их гидролиза осмотически активных олигосахаридов (сахарозы, фруктозы и др.) Это обуславливает морозоустойчивость растений и благоприятствует возобновлению их роста весной [14, 15]. Возможно, сниженная степень полимеризации фруктанов у бореальных и неморальных растений в начале осени также носит адаптивный характер, но для ответа на этот вопрос необходимы дальнейшие исследования.

Помимо широтного распространения, изучался ряд других биологических особенностей видов, не оказавших, как установлено в результате анализа, статистически значимого влияния на накопление фруктозосодержащих углеводов:

- *принадлежность к определенным долготным группам* (в анализ включали виды евразийские; европейско-западноазиатские; европейско-югозападноазиатские и европейские; южно-сибирские и дальневосточные; северо-американские). Возможно, отсутствие влияния данного фактора связано с тем, что каждая долготная группа включает виды, распространенные в различных природных зонах, и поэтому гетерогенна по отношению к климатическому (температурному) фактору, который, как показано выше, играет большую роль в регуляции процессов биогенеза фруктозосодержащих углеводов;

- *особенности высотного распространения* (в анализ включали виды равнинные; равнинные и горно-лесные; горно-лесные и высокогорные (субальпийские и альпийские); распространенные от равнин до высокогорий);

- *жизненная форма по системе И.Г. Серебрякова* (в анализ включали стержнекорневые, длиннокорневищные, короткокорневищные растения);

- *отношение к увлажнению* (проанализированы группы мезогигро- и гигромезофитов; мезофитов; ксеромезо- и мезоксерофитов);

- *отношение к освещенности* (проанализированы светолюбивые и теневыносливые виды).

Отсутствие значимого влияния указанных факторов (биологических особенностей видов) на накопление фруктозосодержащих углеводов может быть связано также с ограниченным числом изученных видов лекарственных растений. Не исключено, что при увеличении количества изучаемых объектов могут выявиться новые факторы, влияющие на интенсивность биосинтеза фруктанов в травянистых растениях.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлено значимое влияние на накопление фруктозосодержащих углеводов и степень их полимеризации характера широтного (поясно-зонального) распространения изученных видов лекарственных растений. Установлено, что способность синтезировать

данные соединения снижена у видов, распространенных только в лесной зоне, а виды, ареал которых заходит в степную зону умеренного пояса и в субтропический пояс, обладают повышенной способностью к накоплению фруктозосодержащих углеводов, при этом степень их полимеризации выше. Это, очевидно, связано с влиянием природно-климатических условий (освещенность местообитаний, длина вегетационного периода, температурный режим). Полученные результаты дают возможность выделить факторы, влияющие на накопление фруктозосодержащих углеводов травянистыми растениями, и определить направления поиска видов, перспективных в качестве источников лекарственного сырья.

Литература

1. Куркин В.А. Фармакогнозия : учебник для фармацевтических вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Самара : ООО «Офорт» ; ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава», 2007. 1239 с.
2. Burick J., Quick H., Wilson T. Лечебные свойства эхинацеи // ЭЖ Провизор. 1998. Вып. 4. (Перевод С. Гаряевой). URL: http://www.provisor.com.ua/archive/1998/N4/ekhinac.php?part_code=8&art_code=1034
3. Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия : учеб. пособие / под ред. Г.П. Яковлева. СПб. : СпецЛит., 2006. 845 с.
4. Избранные лекции по фармакогнозии: учеб. пособие / В.Ф. Левинова, М.Д. Решетникова, А.В. Хлебников и др. ; под ред. Г.И. Олешко. Пермь : Пермская государственная фармацевтическая академия, 2006. 305 с.
5. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В. Определение суммарного содержания полифруктанов и динамики их накопления в корневищах и корнях девясила высокого (*Inula helenium* L.), произрастающего в Волгоградской области // Химико-фармацевтический журнал. 2013. Т. 47, № 3. С. 45–47.
6. Файзилова З.Т. Изучение влияния гликоинувита на течение экспериментальной гипергликемии // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2009. Т. 85, № 2. С. 99–100.
7. Багаутдинова Р.И., Федосеева Г.П., Оконешникова Т.Ф. Локализация и состав фруктозосодержащих углеводов у растений разных семейств // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. М., 2001. Вып. 5. С. 78–88.
8. Багаутдинова Р.И., Федосеева Г.П., Оконешникова Т.Ф. Фруктозосодержащие углеводы растений разных семейств – локализация и состав // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2001. Т. 2, № 5. С. 13–16.
9. Багаутдинова Р.И., Федосеева Г.П., Оконешникова Т.Ф., Рымарь В.П. Итоги многолетних исследований комплекса углеводов инулиновой природы у разных видов растений // Итоги интродукции и селекции травянистых растений на Урале. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2008. Вып. 2. С. 151–171.
10. Васфилова Е.С., Багаутдинова Р.А. Особенности накопления фруктанов в подземной части *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt. при интродукции в условия Среднего Урала // Растительные ресурсы. 2008. Т. 44, вып. 4. С. 108–115.
11. Оленников Д.Н., Кащенко Н.И. Полисахариды. Современное состояние изученности: экспериментально-наукотметрическое исследование // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 5–26.
12. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Л. : Колос, 1972. 456 с.

13. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Природа мира: Ландшафты. М. : Мысль, 1989. 504 с.
14. Gonzalez B., Boucaud J., Salette J., Langlois J. Fructan and cryoprotection in ryegrass (*Lolium perenne* L.) // New Phytologist. 1990. № 115. P. 319–323.
15. Багаутдинова Р.И., Федосеева Г.П., Тюкавин Г.Б., Рымарь В.П. Морфометрические признаки и химический состав растений яконо при интродукции на Среднем Урале // Сельскохозяйственная биология. 2003. № 1. С. 46–53.

Поступила в редакцию 15.10.2014 г.; повторно 24.02.2015 г.; принята 23.04.2015 г.

Авторский коллектив:

Васфилова Евгения Самуиловна – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории интродукции травянистых растений Ботанического сада УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия).

E-mail: euvas@mail.ru

Багаутдинова Равиля Исаевна – канд. биол. наук, с.н.с. Ботанического сада Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург, Россия).

E-mail: botsadurfu@mail.ru

Оконешникова Татьяна Федоровна – с.н.с. Ботанического сада Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург, Россия).

E-mail: botsadurfu@mail.ru

Vasfilova ES, Bagautdinova RI, Okoneshnikova TF. Some features of the accumulation of fructose-containing carbohydrates in herbaceous medicinal plants. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* – *Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;2(30):96–112. doi: 10.17223/19988591/30/7 In Russian, English summary

Evgeniya S. Vasfilova¹, Ravilya I. Bagautdinova², Tat'yana F. Okoneshnikova²

¹Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation

Some features of the accumulation of fructose-containing carbohydrates in herbaceous medicinal plants

The aim of our work was to estimate the influence of various factors (arealogical, ecological and other features of the species) on the accumulation of fructose-containing carbohydrates in plants. We conducted the studies in the Botanical Garden of the Ural Branch of the RAS and in the Botanical Garden of Ural Federal University (Yekaterinburg). We studied the features of accumulation of fructose-containing carbohydrates, including polyfructans, in the underground parts of 39 species of herbaceous medicinal plants grown in the conditions of the Middle Urals (southern taiga). We determined the content of fructans at the end of the vegetation season (September - early October). Since the content of fructans varies according to the conditions of the growing season, this parameter was evaluated for each species not in absolute terms (in percentage), but in numerical score, corresponding to the range in which these values existed during the years of observation for a particular species.

We showed that most of the studied species of the family Asteraceae enhanced the accumulation of fructans. However, in some species of this family the number of these substances was low. The one-way ANOVA method revealed a significant effect on the accumulation of fructose-containing carbohydrates and the degree of their polymerization of the character of latitudinal (zonal) distribution of the studied species. The ability to synthesize fructans and the relative content of polyfructans was decreased in species that are distributed only in the forest zone (boreal and nemoral). Species,

which are distributed in steppes of the temperate zone and in the subtropical zone, have an increased ability to accumulate fructans, and the degree of their polymerization was higher. Probably, the reasons for reducing the accumulation of fructose-containing carbohydrates in boreal and nemoral species are relatively short growing season and reduced illumination in appropriate habitats. The breadth of the area, apparently, does not really matter; species which are distributed from the boreal zone up to the subtropical zone do not differ significantly in the accumulation of fructans and the degree of their polymerization from the species which are distributed only in the steppes of the temperate zone and in the subtropical zone. So, the obtained results make it possible to identify some factors that affect the accumulation of fructose-containing carbohydrates in herbaceous plants.

The article contains 3 Figures, 2 Tables, 15 References.

Key words: fructose-containing carbohydrates; content of fructans; medicinal plants.

References

1. Kurkin VA. Farmakognosiya. Uchebnik dlya farmatsevticheskikh vuzov [Pharmacognosy. Textbook for pharmaceutical high schools]. 2nd ed. Samara: Ofort Publ; SamGMU Roszdruva Publ.; 2007. 1239 p. In Russian
2. Burick J, Quick H, Wilson T. Lechebnye svoystva ekhinatsei [Medicinal properties of Echinacea]. Garyaeva S, translated from English. *Provizor*. 1998;4. [Electronic resource]. Available at: http://www.provizor.com.ua/archive/1998/N4/ekhinac.php?part_code=8&art_code=1034 (accessed 28.04.2015). In Russian
3. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e. Farmakognosiya: uchebnoe posobie [Medicinal vegetative raw material. Pharmacognosy: study guide]. Yakovlev GP, editor. St. Petersburg: SpetsLit. Publ.; 2006. 845 p. In Russian
4. Levinova VF, Reshetnikova MD, Khlebnikov AV, Startseva NA, Yakovlev AB, Korepanova NS, Ivanova GA. Izbrannye lektsii po farmakognozii: uchebnoe posobie [Selected lectures in Pharmacognosy: study guide]. Oleshko GI, editor. Perm': Permskaya gosudarstvennaya farmatsevticheskaya akademiya Publ.; 2006. 305 p. In Russian
5. Mitrofanova IYu, Yanitskaya AV. Assay of the total content and dynamics of the accumulation of polyfructans in the rhizomes and roots of the elecampane (*Inula helenium* L.) grown in the Volgograd region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2013;47(3):169-171. doi: [10.1007/s11094-013-0918-1](https://doi.org/10.1007/s11094-013-0918-1)
6. Fayzieva ZT. Study of glikoinuvit influence on the course of experimental hyperglycemia]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2009;85(2):99-100. In Russian
7. Bagautdinova RI, Fedoseeva GP, Okoneshnikova TF. Lokalizatsiya i sostav fruktozosoderzhashchikh uglevodov u rasteniy raznykh semeystv [Localization and composition of fructose-containing carbohydrates in plants of different families]. In: *Netraditsionnye prirodnye resursy, innovatsionnye tekhnologii i produkty* [Nontraditional natural resources, innovative technologies and products]. Zelenkov VN, editor. Moscow: RAEN-MAANOI Publ.; 2001. pp. 78-88. In Russian
8. Bagautdinova RI, Fedoseeva GP, Okoneshnikova TF. Fruktozosoderzhashchie uglevody rasteniy raznykh semeystv – lokalizatsiya i sostav [Fructose-containing carbohydrates of plants of different families - the localization and composition]. *Khimiya i komp'yuternoe modelirovanie. Butlerovskie soobshcheniya*. 2001;2(5):13-16. In Russian
9. Bagautdinova RI, Fedoseeva GP, Okoneshnikova TF, Rymar' VP. Itogi mnogoletnikh issledovaniy kompleksa uglevodov inulinovoy prirody u raznykh vidov rasteniy [The results of long-term research of carbohydrate complex of inulin nature in different plant

- species]. In: *Itogi introduktsii i selektsii travyanistykh rasteniy na Urale* [Results of the introduction and selection of herbaceous plants in the Urals]. Fedoseeva GP, editor. Yekaterinburg: Ural'skiy universitet Publ.; 2008. pp. 151-171. In Russian
10. Vasfilova ES, Bagautdinova RI. The peculiarities of the fructans accumulation in underground part of *Echinacea pallida* (Asteraceae) under introducing in the Middle Urals]. *Rastitel'nye resursy*. 2008;44(4):108-115. In Russian, English Summary
 11. Olennikov DN, Kashchenko NI. Polysaccharides. Current state of knowledge: an experimental scientometric investigation. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*. 2014;1:5-26. doi: [org/10.14258/jcprm.1401005](https://doi.org/10.14258/jcprm.1401005) In Russian, English Summary
 12. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of Biochemical Plant Research]. Ermakov AI, editor. Leningrad: Kolos Publ.; 1972. 456 p. In Russian
 13. Isachenko AG, Shlyapnikov AA. Priroda mira: Landshafty [The nature of the world: Landscapes]. Moscow: Mysl' Publ.; 1989. 504 p. In Russian
 14. Gonzalez B, Boucaud J, Salette J, Langlois J. Fructan and cryoprotection in ryegrass (*Lolium perenne* L.). *New Phytologist*. 1990;115:319-323. doi: [10.1111/j.1469-8137.1990.tb00458.x/epdf](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00458.x/epdf)
 15. Bagautdinova RI, Fedoseeva GP, Tyukavin GB, Rymar' VP. Morphometric determinants and chemical structure in yakon plants during their introduction in Middle Ural]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya – Agricultural biology*. 2003;1:46-53. In Russian

Received 15 October 2014;

Revised 24 February 2015;

Accepted 23 April 2015

Authors info:

Vasfilova Evgeniya S, Cand. Sci. (Biol.), Laboratory of Introduction of Herbaceous Plants, Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a 8th of March Str., Yekaterinburg 620144, Russian Federation.

E-mail: euvas@mail.ru

Bagautdinova Ravilya I, Cand. Sci. (Biol.), Botanical Garden, Ural Federal University named after the first President of Russia BN Yeltsin, 19 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation.

E-mail: botsadurfu@mail.ru

Okoneshnikova Tat'yana F, Botanical Garden, Ural Federal University named after the first President of Russia BN Yeltsin, 19 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation.

E-mail: botsadurfu@mail.ru