

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 615.322+581.192

doi: 10.17223/19988591/42/8

Е.С. Васфилова, Т.А. Воробьева

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Особенности накопления глюкофруктанов у видов рода *Allium* L. (Amaryllidaceae)

Работа выполнена в рамках темы «Теоретические и методические аспекты изучения и оценки адаптации интродуцированных растений природной и культурной флоры», номер государственной регистрации: АААА-А17-117072810010-4/

Изучены особенности накопления фруктозосодержащих углеводов (глюкофруктанов) у видов рода *Allium* при интродукции в условиях Среднего Урала. Для большинства видов такие данные получены впервые. Установлено, что содержание высокомолекулярных глюкофруктанов (GF_H) у видов луковичной жизненной формы (*A. aflatumense*, *A. caeruleum*) достоверно выше, чем у группы луковично-корневищных растений с крупными корневищами и слабо развитыми луковичами (*A. ledebourianum*, *A. nutans*, *A. ramosum*). Группа луковично-корневищных растений с крупными луковичами и слабовыраженными корневищами (*A. obliquum*, *A. altaicum*, *A. strictum*) занимала промежуточное положение между двумя предыдущими группами, не отличаясь достоверно ни от одной из них. Отмечены различия в накоплении низкомолекулярных (GF_L) и высокомолекулярных глюкофруктанов в разных органах растений: у *A. altaicum* и *A. obliquum*, из группы луковично-корневищных видов с хорошо развитыми луковичами, содержание GF_L и GF_H в луковичах в 1,5–2 раза выше, чем в корневищах. У *A. nutans* и *A. ramosum*, имеющих мелкие луковичи, различия в содержании GF_L невелики, а концентрация GF_H у *A. ramosum* в корневищах в 1,3 раза выше, чем в луковичах. Накопление глюкофруктанов значительно меняется в течение вегетационного сезона, что связано с различной интенсивностью процессов роста и развития растений. В период отрастания содержание GF_H очень низкое, максимальное их накопление отмечается в период цветения и плодоношения, а к концу вегетационного периода их концентрация заметно снижается. Содержание GF_L у разных видов достигает максимума в разные фазы, что определяется особенностями сезонного развития видов.

Ключевые слова: низкомолекулярные глюкофруктаны; высокомолекулярные глюкофруктаны; инулин.

Введение

Интерес к растительным полисахаридам, особенно фруктозосодержащим углеводам (глюкофруктанам), в последнее время заметно возрос, что

связано с появлением новых данных об их защитной роли в организме растения и о широком спектре их фармакологического действия. Установлено, что глюкофруктаны способствуют регуляции и нормализации углеводного и липидного метаболизма, снижению уровня холестерина и триглицеридов в крови (препятствуя развитию атеросклероза), снижению уровня сахара в крови, предотвращению заболеваний щитовидной железы, увеличению сопротивляемости бактериальным и вирусным инфекциям и инвазиям различных паразитов, благотворно влияют на иммунную систему, снижают опасность развития ожирения, остеопороза (повышая абсорбцию кальция и магния и увеличивая минерализацию костной ткани), усиливают функциональную активность печени и т.д. [1–5]. Глюкофруктаны представляют собой соединения с выраженной пребиотической активностью. Они не перевариваются в кишечнике человека, но при этом способствуют созданию оптимальных условий для роста и развития нормальной кишечной микрофлоры, особенно бифидобактерий, а также уменьшают риск развития рака толстого кишечника. Эта группа веществ широко используется в пищевой промышленности при производстве молока и молочных продуктов, масла, сыра, мороженого, хлебных изделий [4, 6–9]. Фруктаны типа левана (levan) обладают выраженным увлажняющим действием на кожу, сопоставимым с действием гиалуроновой кислоты, а также противовоспалительными свойствами, в связи с чем перспективны для использования в косметологии [10].

Около 15% всех цветковых растений обладают способностью синтезировать фруктаны [11, 12]. Эти соединения являются основными запасными углеводами у видов из семейств Asteraceae, Liliaceae и Gramineae [13]. Это легко мобилизуемый источник энергии, который используется в начальный период развития побегов и листьев или для восстановления нормального метаболизма после повреждения надземной части растения. Исследователи отмечают присутствие фруктанов у ряда злаков (пшеницы, овса, ячменя), овощей (лука, цикория, салата), декоративных растений (георгины, тюльпана) и др. [4, 12, 14–16]. О содержании в видах рода *Allium* L. значительного количества полисахаридов, в том числе на основе фруктозы, упоминают S.J. Shepherd, P.R. Gibson [17], A.C. Flores, J.A. Morlett., R. Rodríguez [18]. Для этого рода наиболее характерны фруктаны типа инулина (inulin), неоинулина (inulin neoseries), нео-левана (levan neoseries) [12, 19, 20].

В настоящее время выявлены различные виды фармакологического действия видов *Allium*. Они обладают антибиотическими свойствами, способны понижать уровень сахара и холестерина в крови, ингибируют агрегацию тромбоцитов, могут применяться для лечения атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний [21]. Исследование возможностей использования различных видов *Allium* в медицине представляет большой интерес. При этом есть основания предполагать, что установленные фармакологические эффекты связаны, в частности, с наличием фруктозосодержащих углеводов – глюкофруктанов.

Цель данной работы – изучение особенностей накопления глюкофруктанов у ряда видов рода *Allium*, интродуцированных в Ботаническом саду УрО РАН (г. Екатеринбург).

Материалы и методики исследования

Растительное сырье. Как отмечено ранее [22], фруктаны накапливаются, главным образом, в подземной части растений, где их концентрация может достигать 50%; в листьях содержание фруктанов составляет обычно 1–2%. По мнению Р.И. Багаутдиновой и соавт. [23], 2–5% низкомолекулярных фруктанов соответствуют уровню свободной фруктозы, которая является необходимым компонентом метаболизма у всех видов растений независимо от их систематического положения. В связи с этим нами изучены, в первую очередь, подземные органы различных видов *Allium*.

По особенностям морфологической структуры подземных органов в роде *Allium* выделяют следующие жизненные формы: луковичные, луковично-корневищные и корневищные [24]. Виды второй жизненной формы ряд авторов подразделяет на группу со слабовыраженным корневищем и развитыми луковичами и группу с хорошо выраженным корневищем и слабо-развитыми луковичами [25, 26]. Нами изучались виды луков, относящиеся к следующим группам:

- луковичные – *A. aflatunense* B.Fedtsch. (sect. *Megaloprason*), *A. caeruleum* Pall. (sect. *Coerulea*);
- луковично-корневищные со слабовыраженным корневищем и крупными луковичами (2–4 см и более) – *A. altaicum* Pall. (sect. *Cepa*), *A. obliquum* L. (sect. *Oreoprason*), *A. strictum* Schrad. (sect. *Rhizirideum*);
- луковично-корневищные с хорошо выраженным корневищем и мелкими луковичами (до 1,5–2 см) – *A. ledebourianum* Schult. & Schult. f. (sect. *Schoenoprasum*), *A. nutans* L. (sect. *Rhizirideum*), *A. ramosum* L. (sect. *Butomissa*).

Материал для анализа собирали в 2016–2017 гг. в условиях культуры в открытом грунте, в Ботаническом саду Уральского отделения РАН (Екатеринбург) от растений, находившихся в генеративном состоянии. Количество фруктозосодержащих углеводов определяли в сентябре, после плодоношения. Для *A. caeruleum*, *A. ledebourianum*, *A. nutans* в 2017 г. проводили изучение сезонной динамики накопления фруктанов; для этого отбирали пробы в различные фазы: весеннее отрастание, бутонизация, цветение, плодоношение, вегетация после плодоношения, конец вегетации.

Пробоподготовка. Для каждого конкретного образца брали усреднённую пробу от 5–10 особей. Свежесобранные и отмытые от земли луковичи и корневища измельчали до частиц размером 7–10 мм и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 100°C в течение 30 мин для инактивации ферментов; затем сырье досушивали при температуре 60°C до воздушно-сухого состояния. Непосредственно перед анализом сырье дополнительно

но измельчали и ситовым методом отбирали фракцию с размерами частиц 0,5–1 мм.

Количественный анализ глюкофруктанов. Для количественного определения фруктозосодержащих углеводов за основу взяли методику, разработанную Д.Н. Оленниковым и Л.М. Танхаевой [27, 28]. В основе анализа лежит спектрофотометрический метод, который довольно широко используется рядом исследователей для определения содержания глюкофруктанов, с использованием различных реагентов [13, 20, 29], в том числе резорцина [30].

Следует отметить, что объем понятий «олигофруктаны» (низкомолекулярные фруктаны), «полифруктаны» (высокомолекулярные фруктаны), «инулин» несколько различается у разных авторов. В некоторых работах все фруктаны со степенью полимеризации более 3 обозначают термином «инулин», ряд других исследователей под инулином понимает только полифруктаны. В целом принято считать, что у олигофруктанов степень полимеризации варьирует от 3 до 10, в среднем (DP_{av}) равна 4; у полифруктанов (длинноцепочечный или высокомолекулярный инулин, inulin HP) она колеблется от 10 до 60, DP_{av} равна 25 [4, 20].

В ходе анализа мы выделяли две фракции глюкофруктанов: низкомолекулярную (GF_L) и высокомолекулярную (GF_H). Низкомолекулярную фракцию получали трехкратной экстракцией сухого растительного материала 95%-ным этанолом (30, 15 и 15 мин, на водяной бане LB-217, ЗАО «Лабораторное обрудование и приборы» (Россия), при температуре 80°C, упаривали досуха и растворяли осадок в дистиллированной воде. Поскольку высокомолекулярные фруктаны практически не растворяются в этаноле высокой концентрации [27], можно предполагать, что в состав этой фракции входили фруктоза и низкомолекулярные глюкофруктаны, хорошо растворимые в спирте. Далее из растительного остатка водой экстрагировали высокомолекулярные глюкофруктаны (inulin HP), которые хорошо растворяются в воде (трижды по 60 мин, на кипящей водяной бане). Затем проводили гидролиз до фруктозы концентрированной хлористоводородной кислотой в течение 8 мин при температуре 100°C. Содержание фруктозы определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре SPECORD 50 «Analytik Jena» (Германия), используя реакцию с резорцином.

Статистическая обработка результатов. Содержание низко- и высокомолекулярных глюкофруктанов рассчитывали в процентах на воздушно-сухое сырье. Данные по каждому образцу представлены в виде среднеарифметического значения из трех измерений и его стандартной ошибки ($\pm SE$). Для каждого образца сырья вычисляли соотношение процентного содержания высокомолекулярных и низкомолекулярных глюкофруктанов (GF_H/GF_L). Различия в содержании глюкофруктанов (низкомолекулярных и высокомолекулярных) между образцами видов, относящихся к разным жизненным формам, оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа и с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса с использова-

нием программы StatSoft STATISTICA for Windows 6.0. Различия между группами (апостериорные сравнения) оценивали по критерию Unequal N HSD (модифицированный критерий Tukey HSD для выборок разного объема).

Результаты исследования и обсуждение

В настоящее время существуют единичные данные о содержании фруктанов у видов *Allium*. По сведениям Т.В. Barkhatova et al. [16], их концентрация относительно невелика – 1–1,75 г/100 г сырой массы. Как отмечают З.А. Бадретдинова и А.В. Канарский [31], содержание фруктанов у некоторых видов *Allium* (*A. porrum* L., *A. schoenoprasum* L. и др.) колеблется от 3,4 до 6,6%; однако в свежесобранных луковицах *A. sativum* L. оно составляет около 22–24%. S.J. Shepherd и P.R. Gibson [17] приводят данные о том, что содержание фруктанов у разных видов *Allium* колеблется от 1,1 до 10,1 г/100 г, в том числе у *A. sativum* – от 9 до 16 г/100 г; концентрация фруктозы и сахарозы в свежесобранном сырье разных видов луков варьирует от 0,7 до 4%.

Наши результаты показали значительное различие между изученными видами *Allium* по содержанию низко- и высокомолекулярных глюкофруктанов во время вегетации после плодоношения (у *A. aflatumense* и *A. obliquum* после окончания плодоношения наступает период покоя) (табл. 1). Это, вероятно, связано с особенностями морфологии подземных органов. Наиболее высоким оказалось содержание высокомолекулярных глюкофруктанов у *A. aflatumense* и *A. caeruleum*, относящихся к группе луковичных видов: от 22,22 до 41,40% (табл. 1). У этих видов *Allium* данные соединения накапливались в концентрациях, заметно превышающих таковые в корнях *Cichorium intybus* L., которые в европейских странах служат основным источником полифруктанов и содержат до 18–20% инулина [4, 7, 31]. Большая концентрация высокомолекулярных глюкофруктанов обнаружена также в образцах сырья *A. obliquum*, относящегося к группе луковично-корневищных растений с хорошо развитыми луковицами – от 18,12 до 28,41%. У всех этих видов отмечено также высокое соотношение концентраций высокомолекулярных и низкомолекулярных глюкофруктанов (GF_H/GF_L); у последнего вида оно доходит до 271,63 (табл. 1). Очевидно, это наиболее перспективные источники высокомолекулярных глюкофруктанов. Следует отметить, что данные виды устойчивы в культуре, хорошо воспроизводятся, накапливают достаточную подземную биомассу.

Несколько ниже, чем у луковичных, но все же достаточно высоким (16,87–27,71%) оказалось содержание высокомолекулярных глюкофруктанов в образцах двух других видов из группы луковично-корневищных растений с хорошо развитыми луковицами: *A. altaicum* и *A. strictum*, а также *A. ramosum*, относящегося к группе луковично-корневищных растений со слабовыраженными луковицами. При этом у *A. strictum* и *A. ramosum* показатель GF_H/GF_L тоже высокий (3,94–8,15); у *A. altaicum* он немного ниже: 1,26 в луковицах и 1,62 в корневищах (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Содержание низко- (GF_L) и высокомолекулярных (GF_H) глюкофруктанов
и отношение GF_H/GF_L у 8 изученных видов рода *Allium***

**[The content of low- (GF_L) and high molecular glucofructans (GF_H) and the
ratio of GF_H/GF_L in 8 studied species of the genus *Allium* (mean \pm SE)]**

Вид, орган [Species, organ]	Год [Year]	Содержание GF_L , % на воздушно-су- хое сырье [Content of GF_L , % for an air-dry raw material]	Содержание GF_H , % на воздушно-су- хое сырье [Content of GF_H , % for an air-dry raw material]	Отношение GF_H/GF_L [Ratio of GF_H/GF_L]
<i>Allium aflatumense</i> , луковицы [bulbs]	2016	3,04 \pm 0,29	41,40 \pm 0,94	13,62
	2017	0,47 \pm 0,17	33,83 \pm 2,09	71,98
<i>A. altaicum</i> , луковицы [bulbs]	2016	17,19 \pm 0,37	21,60 \pm 0,95	1,26
<i>A. altaicum</i> , кор- невища [rhizomes]	2016	9,45 \pm 0,13	15,32 \pm 0,13	1,62
<i>A. caeruleum</i> , луковицы [bulbs]	2016	8,33 \pm 0,20	35,55 \pm 0,21	4,27
	2017	9,13 \pm 0,04	22,22 \pm 0,50	2,43
<i>A. ledebourianum</i> , вся подземная часть [total un- derground part]	2017	12,95 \pm 0,71	4,83 \pm 0,07	0,37
<i>A. nutans</i> , луковицы [bulbs]	2017	11,61 \pm 0,03	0,29 \pm 0,15	0,02
<i>A. nutans</i> , корне- вища [rhizomes]	2017	9,67 \pm 0,44	0,00	0,00
<i>A. obliquum</i> , луковицы [bulbs]	2016	12,61 \pm 0,25	28,41 \pm 0,51	2,25
<i>A. obliquum</i> , кор- невища [rhizomes]	2016	0,08 \pm 0,06	21,73 \pm 0,10	271,63
<i>A. obliquum</i> , вся подземная часть [total underground part]	2017	12,76 \pm 0,12	18,12 \pm 0,74	1,42
<i>A. ramosum</i> , луковицы [bulbs]	2016	5,29 \pm 0,10	20,82 \pm 0,06	3,94
<i>A. ramosum</i> , кор- невища [rhizomes]	2016	3,40 \pm 0,05	27,71 \pm 0,59	8,15
<i>A. strictum</i> , вся под- земная часть [total underground part]	2016	2,71 \pm 0,08	16,87 \pm 0,52	6,23

Наиболее низкое содержание глюкофруктанов и значение GF_H/GF_L отмечены у видов из группы луковично-корневищных растений со слабовыраженными луковицами – *A. ledebourianum* и особенно *A. nutans*, у которого высокомолекулярные глюкофруктаны почти полностью отсутствуют, отношение GF_H/GF_L близко к нулю. Р.И. Багаутдинова и соавт. [23] приводят для *A. nutans* близкие данные: в первой декаде июня (в период активного роста) фруктосодержащие углеводы этого вида представлены преимущественно низкомолекулярной фракцией: 18,4% в корневищах, 5,3% в корнях; количество полифруктанов составляло соответственно 5,4 и 5,8%.

Различия между видами разных жизненных форм по содержанию высокомолекулярных глюкофруктанов подтверждены нами с помощью однофакторного дисперсионного анализа: $F=7,095$, $p=0,0093$. При этом статистически достоверные различия выявлены между видами луковичной жизненной формы, у которых наиболее высока способность к накоплению данных соединений, и луковично-корневищными видами с мощным корневищем и слабо выраженными луковицами, со сниженной способностью к синтезу высокомолекулярных глюкофруктанов ($p=0,0100$, по критерию Unequal N). Среднее значение содержания высокомолекулярных глюкофруктанов у образцов первой группы составляло $33,25 \pm 4,45\%$, у образцов второй группы – $10,74 \pm 3,98\%$. Достоверность влияния жизненной формы на накопление высокомолекулярных глюкофруктанов подтверждена также с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллиса ($p=0,0214$). Луковично-корневищные виды со слабовыраженным корневищем и хорошо развитыми луковицами занимали промежуточное положение между двумя предыдущими группами, не отличаясь достоверно ни от одной из них; средняя концентрация высокомолекулярных глюкофруктанов у образцов данной жизненной формы составила $20,34 \pm 3,64\%$.

Содержание низкомолекулярных глюкофруктанов наиболее высоко ($9,45$ – $17,19\%$) у *A. obliquum* (только в луковицах), *A. altaicum*, *A. ledebourianum* и *A. nutans* (табл. 1). Накопление этих соединений не связано, по-видимому, с особенностями жизненной формы. Проведенный дисперсионный анализ показал отсутствие различий между видами различных жизненных форм по содержанию низкомолекулярных глюкофруктанов, а также по соотношению GF_H/GF_L .

На накопление глюкофруктанов, помимо морфологической специфики, вероятно, оказывают влияние и особенности экологии изученных видов. Так, *A. ramosum*, относящийся к группе луковично-корневищных видов со слабовыраженными луковицами (для которых характерно пониженное содержание глюкофруктанов), обитает, в основном, в засушливых условиях – в степях, на сухих солонцеватых лугах, по степным каменистым и щебнистым склонам [32]. Рядом исследователей показано, что способность к повышенному накоплению фруктанов является одним из приспособлений к существованию в условиях водного дефицита и положительно коррелирует с устойчивостью растений к засухе [11, 19]. Возможно, поэтому *A. ramosum* накапливал все же довольно большое количество фруктанов, обеспечивающих его адаптацию к условиям естественной среды обитания.

Проведенный нами анализ выявил различия в накоплении глюкофруктанов в разных органах изученных видов. Так, у *A. altaicum* и *A. obliquum*, относящихся к группе луковично-корневищных видов с хорошо развитыми луковицами, содержание высокомолекулярных глюкофруктанов в луковицах оказалось почти в полтора раза выше, чем в корневищах (табл. 1): соответственно $21,60$ и $15,32\%$ у первого вида, $28,41$ и $21,73\%$ – у второго

вида. Содержание низкомолекулярных глюкофруктанов в луковицах *A. altaicum* и *A. obliquum* также выше, чем в корневищах – в два и более раз. Но у *A. ramosum*, имеющего слабо выраженные луковицы, картина обратная: содержание высокомолекулярных глюкофруктанов в луковицах примерно в 1,3 раза меньше, чем в корневищах (соответственно 20,82 и 27,71%); очевидно, у этого вида мелкие луковицы не могут быть источником запасных питательных веществ для растения, и высокомолекулярные глюкофруктаны в данном случае накапливаются в повышенном количестве в корневищах имеющих намного большую относительную биомассу. Различия в содержании низкомолекулярных глюкофруктанов в луковицах и корневищах, как у *A. ramosum*, так и у *A. nutans* незначительны (табл. 1). Следует отметить, что сопоставление содержания глюкофруктанов в различных органах (луковицах и корневищах) проведено для небольшого числа видов; для проверки предположения о различиях концентраций глюкофруктанов в луковицах и корневищах в зависимости от принадлежности вида к определенной жизненной форме необходимы дальнейшие исследования.

Накопление глюкофруктанов значительно менялось в течение вегетационного сезона, что связано с различной интенсивностью процессов роста и развития растений. Нами изучалась сезонная динамика накопления низко- и высокомолекулярных глюкофруктанов в 2017 г. у трех видов лука различных жизненных форм: *A. caeruleum* (луковичные), *A. nutans* и *A. ledebourianum* (луковично-корневищные).

Наши наблюдения показали, что у *A. caeruleum* и *A. ledebourianum* в период отрастания, а также у *A. ledebourianum* в фазе бутонизации содержание высокомолекулярных глюкофруктанов очень мало (0–0,78%), что может быть связано с активным ростом растений в этот период и усиленным расходом запасных питательных веществ. Максимальное накопление этих соединений отмечалось в период цветения и плодоношения (16,83–24,55%), а к концу вегетационного периода их содержание снижалось до 5,76–12,21% (табл. 2). Аналогичные данные приводят А.С. Flores, J.A. Morlett, R. Rodriguez [18], отмечая, что в подземных органах видов *Allium*, собранных в ранние сроки, содержалось больше полисахаридов, чем в собранных позднее; после хранения их количество также снижалось. Наиболее резко уменьшалось количество высокомолекулярных глюкофруктанов после плодоношения у *A. ledebourianum* (табл. 2), что, вероятно, связано с интенсивным ростом листьев второй (летне-осенней) генерации после окончания плодоношения и деполимеризацией глюкофруктанов. У *A. caeruleum*, в отличие от *A. ledebourianum*, после окончания плодоношения обычно наблюдается короткий период покоя, а затем начинается рост листьев второй генерации, но он менее интенсивный, чем у *A. ledebourianum*, поэтому снижение содержания GF_n происходит постепенно.

Содержание низкомолекулярных глюкофруктанов (так же, как и высокомолекулярных) у обоих изученных видов наиболее низко в период от-

растания. У *A. caeruleum* оно колебалось в довольно небольших пределах, достигая максимума в период бутонизации, что обусловлено, по-видимому, активным фотосинтезом сформировавшихся листьев; к периоду цветения содержание фруктозы снижалось до 6,83% (табл. 2). У *A. ledebourianum* количество низкомолекулярных глюкофруктанов нарастало в течение вегетационного периода, достигая максимума в фазе плодоношения, в конце июля (14,16%); к концу вегетации оно снижалось до 7,85% (см. табл. 2). Похожие данные приводят N. Shiomi, S. Onodera, H. Sakai [13] для трех сортов *Allium cepa* L.: содержание фруктозы и низкомолекулярных фруктанов у них увеличивалось от июня к августу, а затем снижалось в сентябре.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Сезонная динамика накопления низко- (GF_L) и высокомолекулярных (GF_H) глюкофруктанов у *Allium caeruleum* и *A. ledebourianum*, % на воздушно-сухое сырье
[Seasonal dynamics of accumulation of low- and high molecular glucofructans in *Allium caeruleum* and *A. ledebourianum*, % for an air-dry raw material (mean \pm SE)]

Вид, орган [Species, organ]	Тип фруктанов [Type of fructans]	Фенофазы [Phenophases]					
		Отраста- ние [Regrowth] 11.IV	Бутониза- ция [Budding] 30.V	Цветение [Flowering] 05.VII	Плодоно- шение [Fruiting] 28.VII	Вегета- ция после плодо- ношения [Vegetation after fruit- ing] 26.IX	Конец ве- гетации [End of the growing season] 24.X
<i>A. caeruleum</i> , луковицы [bulbs]	GF_L	7,15 $\pm 0,44$	15,16 $\pm 0,04$	6,83 $\pm 0,09$	9,33 $\pm 0,39$	9,13 $\pm 0,04$	10,66 $\pm 0,20$
	GF_H	0,00	17,61 $\pm 2,97$	24,55 $\pm 0,27$	28,53 $\pm 0,76$	22,22 $\pm 0,50$	12,21 $\pm 0,45$
<i>A. ledebourianum</i> , вся подземная часть [total un- derground part]	GF_L	2,41 $\pm 0,12$	5,57 $\pm 0,27$	9,65 $\pm 0,33$	14,16 $\pm 0,17$	12,95 $\pm 0,71$	7,85 $\pm 0,29$
	GF_H	0,78 $\pm 0,09$	0,00	16,83 $\pm 1,73$	16,47 $\pm 1,08$	4,83 $\pm 0,07$	5,76 $\pm 0,41$

У *A. nutans* в период бутонизации (в луковицах также и в период цветения) содержание низкомолекулярных глюкофруктанов минимально: 1,39–4,90% (табл. 3).

Это, вероятно, связано с их интенсивным расходом в период активной жизнедеятельности на фоне отсутствия высокомолекулярных глюкофруктанов. В конце августа, в период плодоношения, количество низкомолекулярных глюкофруктанов достигало максимума и оставалось на этом уровне до окончания вегетационного сезона (7,47–11,61%); это, возможно,

компенсирует отсутствие высокомолекулярных глюкофруктанов как запасных питательных веществ.

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

Сезонная динамика накопления низкомолекулярных глюкофруктанов (GF_L) у *Allium nutans*, % на воздушно-сухое сырье
[Seasonal dynamics of the accumulation of low molecular glucofructans (GF_L) in *Allium nutans*, % for an air-dry raw material (mean±SE)]

Орган [Organ]	Фенофазы [Phenophases]					
	Отрас- тание [Regrowth] 11.IV	Буто- низа- ция [Bud- ding] 30.V	Цветение [Flowering] 28.VII	Плодоно- шение [Fruiting] 29.VII	Веgetация после плодоношения [Vegetation after fruiting] 26.IX	Конец веgetа- ции [End of the growing season] 24.X
Луковицы [Bulbs]	9,23 ±0,19	4,90 ±0,25	3,75 ±0,29	7,47 ±0,25	11,61 ±0,03	10,45 ±0,25
Корне- вища [Rhizomes]	6,27 ±0,07	1,39 ±0,24	8,73 ±0,37	10,39 ±0,41	9,67 ±0,44	11,05 ±0,38

Таким образом, динамика накопления глюкофруктанов в значительной степени зависит от особенностей сезонного развития изученных видов.

Заключение

Изучение особенностей накопления глюкофруктанов у восьми видов рода *Allium*, интродуцированных в условия Среднего Урала (Екатеринбург), позволило установить взаимосвязь между содержанием этих соединений и особенностями морфологии подземных органов. Показано, что содержание высокомолекулярных глюкофруктанов (GF_H) у видов луковичной жизненной формы (*A. aflatunense*, *A. caeruleum*) достоверно выше, чем у группы луковично-корневищных растений с крупными корневищами и слабо развитыми луковицами (*A. ledebourianum*, *A. nutans*, *A. ramosum*). Виды из группы луковично-корневищных растений с крупными луковицами (*A. obliquum*, *A. altaicum*, *A. strictum*) занимали промежуточное положение между двумя предыдущими группами не отличаясь достоверно ни от одной из них. Содержание низко- и высокомолекулярных глюкофруктанов в луковицах оказалось в 1,5–2 раза выше, чем в корневищах, у луковично-корневищных видов с хорошо развитыми луковицами (*A. altaicum*, *A. obliquum*); но у *A. ramosum* с мощными корневищами и слабовыраженными луковицами содержание высокомолекулярных глюкофруктанов в корневищах в 1,3 раза выше, чем в луковицах. Содержание высокомолекулярных глюкофруктанов в период весеннего отрастания очень низкое, максимальное накопление этих соединений отмечалось в период цветения и плодоношения, а к концу вегетационного периода оно уменьшалось.

Литература

1. Kaur N., Gupta A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition // Journal of Biosciences 2002. Vol. 27. Iss.7. PP. 703–714. doi: [10.1007/BF02708379](https://doi.org/10.1007/BF02708379)
2. Криштанова Н.А., Сафонова М.Ю., Болотова В.Ц., Павлова Е.Д., Саканян Е.И. Перспективы использования растительных полисахаридов в качестве лечебных и лечебно-профилактических средств // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 1. С. 212–221.
3. Abrams S.A., Griffin I.J., Hawthorne K.M., Liang L., Gunn S.K., Darlington G., Ellis K.J. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents // The American Journal of Clinical Nutrition. 2005. Vol. 82. № 2. PP. 471–476.
4. Roberfroid M.B. Inulin – type fructans: functional food ingredients // Journal of Nutrition. 2007. Vol. 137, № 11. PP. 2493–2502.
5. Ferreira S.S., Passos C.P., Madureira P., Vilanova M., Coimbra M.A. Structure–function relationships of immunostimulatory polysaccharides: A review // Carbohydrate Polymers. 2015. Vol. 132. PP. 378–396. doi: [10.1016/j.carbpol.2015.05.079](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.079)
6. Gibson G.R., Beatty E.R., Wang X., Cummings J.H. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin // Gastroenterology. 1995. Vol. 108, is. 4. PP. 975–982. doi: [10.1016/0016-5085\(95\)90192-2](https://doi.org/10.1016/0016-5085(95)90192-2)
7. Niness, K.R., Inulin and oligofructose: What are they? // Journal of Nutrition. 1999. Vol. 129, № 7. PP. 1402–1406.
8. Boeckner L.S., Schnepf M.I., Tungland B.C. Inulin: A review of nutritional and health implications // Advances in Food and Nutrition Research. 2001. Vol. 43. PP. 1–63. doi: [10.1016/S1043-4526\(01\)43002-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(01)43002-6)
9. Caleffi E.R., Krausová G., Hysřlová I., Paredes L.L.R., dos Santos M.M., Sasaki G.L. Gonçalves R.A.C., de Oliveira A.J.B. Isolation and prebiotic activity of inulin-type fructan extracted from *Pfaffia glomerata* (Spreng) Pedersen roots // International Journal of Biological Macromolecules. 2015. Vol. 80. PP. 392–399. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2015.06.053](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.06.053)
10. Kim K.H., Chung C.B., Kim Y.H., Kim K.S. Cosmeceutical properties of levan produced by *Zymomonas mobilis* // International journal of cosmetic science. 2006. Vol. 28, № 3. PP. 231–232. doi:[10.1111/j.1467-2494.2006.00314_2.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2006.00314_2.x)
11. Hendry G.A.F. Evolutionary origins and natural functions of fructans - a climatological, biogeographic and mechanistic appraisal // New Phytologist. 1993. Vol. 123. Iss. 1. PP. 3–14. doi: [10.1111/j.1469-8137.1993.tb04525.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb04525.x)
12. Vijn I, Smeekens S. Fructan: More Than a Reserve Carbohydrate? // Plant Physiology. 1999. Vol. 120. Iss. 2. PP. 351–360. doi: [10.1104/pp.120.2.351](https://doi.org/10.1104/pp.120.2.351)
13. Shiomi N., Onodera S., Sakai H. Fructo-oligosaccharide content and fructosyltransferase activity during growth of onion bulbs // New phytologist. 1997. Vol. 136, Iss. 1. PP. 105–113. doi: [10.1046/j.1469-8137.1997.00726.x](https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00726.x)
14. Бельмер С.В., Гасилина Т.В. Пребиотики, инулин и детское питание // Вопросы современной педиатрии. 2010. Т.9. № 3. С. 121–125.
15. Watzl B, Girrbach S, Roller M. Inulin, oligofructose and immunomodulation // British Journal of Nutrition. 2005. Vol. 93, Iss. 1. PP. 49–55. doi: [10.1079/BJN20041357](https://doi.org/10.1079/BJN20041357)
16. Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials, 2015. Vol. 3, № 2. PP. 13–22. doi: [10.12737/13115](https://doi.org/10.12737/13115)
17. Shepherd S.J., Gibson P.R. Fructose malabsorption and symptoms of irritable bowel syndrome: Guidelines for effective dietary management // Journal of The American Dietetic Association. 2006. Vol. 106. PP. 1631–1639. doi: [10.1016/j.jada.2006.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.07.010)

18. Flores A.C., Morlett J.A., Rodríguez R. Inulin potential for enzymatic obtaining of prebiotic oligosaccharides // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016. Vol. 56, is. 11. PP. 1893–1902. doi: 10.1080/10408398.2013.807220
19. Livingston III D.P., Hinch D.K., Heyer A.G. Fructan and its relationship to abiotic stress tolerance in plants // *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2009. Vol. 66, is. 13. PP. 2007–2023. doi: 10.1007/s00018-009-0002-x
20. Salinas C., Handford M., Pauly M., Dupree P., Cardemil L. Structural modifications of fructans in *Aloe barbadensis* Miller (*Aloe vera*) grown under water stress // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, is. 7. PP. 1–24. doi: 10.1371/journal.pone.0159819.
21. Carson John F. Chemistry and biological properties of onions and garlic // *Food Reviews International*. 1987. Vol. 3, is. 1–2. PP. 71–103. doi: 10.1080/87559128709540808
22. Оленников Д.Н., Кащенко Н.И. Полисахариды. Современное состояние изученности: экспериментально-наукотметрическое исследование // *Химия растительного сырья*. 2014. № 1. С. 5–26. doi: 10.14258/jcprm.1401005
23. 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.
24. Черемушкина В.А. Биология луков Евразии. Новосибирск : Наука СО РАН, 2004. 280 с.
25. Гринберг Е.Г., Сузан В.Г. Луковые растения в Сибири и на Урале. Новосибирск : Наука СО РАН, 2007. 224 с.
26. Энциклопедия декоративных садовых растений. URL: http://flower.onego.ru/lukov/allium_i.html (дата обращения: 25.12.2017).
27. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Исследование колориметрической реакции инулина с резорцином в зависимости от условий ее проведения // *Химия растительного сырья*. 2008. № 1. С. 87–93.
28. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях лопуха (*Arctium* spp.) // *Химия растительного сырья*. 2010. № 1. С. 115–120.
29. Saengkanuk A., Nuchadomrong S., Jogloy S., Patanothai A., Srijaranai S. A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers // *European food research & technology*. 2011. Vol. 233, №4. PP. 609–616.
30. Ivanova L., Filova G., Ivanov I., Denev P., Petkova N. Antioxidants and carbohydrate content in infusions and microwave extracts from eight medicinal plants // *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2017. Vol. 7 (10). PP. 55–61. doi:10.7324/JAPS.2017.71008
31. Бадретдинова З.А., Канарский А.В. Фруктаны сельскохозяйственных культур // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 19. С. 207–210.
32. Флора Сибири. Агасеae – Орхидасеae / под ред. Л.И. Малышева, Г.А. Пешковой. Новосибирск : Наука, 1987. Т.4. С. 83–84.

Поступила в редакцию 29.01.2018 г.; повторно 12.05.2018 г.;
принята 17.05.2018 г.; опубликована 15.06.2018 г.

Авторский коллектив:

Васфилова Евгения Самуиловна – канд. биол. наук, доцент, с.н.с. лаборатории интродукции травянистых растений Ботанического сада УрО РАН (620144, г. Екатеринбург, Россия, ул. 8 Марта, 202а).
E-mail: euvas@mail.ru

Воробьева Татьяна Андреевна – ведущий инженер лаборатории интродукции травянистых растений Ботанического сада УрО РАН (620144, г. Екатеринбург, Россия, ул. 8 Марта, 202а).
E-mail: aroma.botsad@mail.ru

For citation: Vasfilova ES, Vorob'eva TA. Peculiarities of accumulation of glucofructans in *Allium* L. (Amaryllidaceae) species. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;42:160-175. doi: 10.17223/19988591/42/8 In Russian, English Summary

Evgeniya S. Vasfilova, Tat'yana A. Vorob'eva

Institute Botanic Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

Peculiarities of accumulation of glucofructans in *Allium* L. (Amaryllidaceae) species

Fructose-containing carbohydrates (glucofructans) are now intensively studied, which is associated with the appearance of new data on their protective role in the plant organism and their pharmacological properties. These compounds are present in a number of ornamental plants, cereals, and vegetables, including onions. Various types of pharmacological action of onions, which can be associated with the presence of fructans, are revealed. The aim of this work was to study the peculiarities of accumulating glucofructans in 8 *Allium* L. species, introduced in the Botanic Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg).

We studied species of onions belonging to the following morphological groups: bulbous - *A. aflatunense* B.Fedtsch. and *A. caeruleum* Pall.; bulbous-rhizomatous with a weakly expressed rhizome and large bulbs (2-4 cm and more) - *A. altaicum* Pall., *A. obliquum* L., and *A. strictum* Schrad.; bulbous-rhizomatous with a well-pronounced rhizome and small bulbs (up to 1.5-2 cm) - *A. ledebourianum* Schult. & Schult. f., *A. nutans* L., and *A. ramosum* L. The material for analysis was collected in 2016-2017, in conditions of culture in the open ground, from plants that were in a generative state. For each specific specimen, an average sample of 5-10 individuals was taken. Freshly harvested bulbs and rhizomes were ground to particles of 7-10 millimeters in size and were kept in a drying oven at a temperature of 100°C for 30 minutes, for inactivation of enzymes; then, the raw material was dried at a temperature of 60°C until air-dry state. Immediately prior to the analysis, the raw material was further milled and a fraction was selected with particle sizes of 0.5-1 mm. During the analysis the low-molecular and high-molecular fractions of glucofructans were isolated. The low molecular fraction was obtained by three-fold extraction of the dry plant material with 95% ethanol at 80°C, evaporated to dryness, and the precipitate dissolved in distilled water. From the plant residue, a high molecular fraction was extracted with water (three times for 60 minutes, in a boiling water bath), hydrolysis with concentrated hydrochloric acid was carried out for 8 minutes at a temperature of 100°C. The fructose content was determined spectrophotometrically using a reaction with resorcinol. The concentration of low- and high-molecular glucofructans was calculated as a percentage of air-dry raw materials. For each sample of raw materials, the ratio of concentrations of high molecular and low molecular glucofructans (GF_H/GF_L) was calculated. Differences in the content of glucofructans (low-molecular and high-molecular) between samples of species belonging to different life forms were estimated using the method of one-way analysis of variance and using the nonparametric Kruskal-Wallis criterion.

In the course of work, we revealed the relationship between the content of glucofructans and the features of the morphology of the underground organs. The highest content of high molecular glucofructans was found in *A. aflatunense* and *A. caeruleum*, belonging to the group of bulbous species: from 22.22 to 41.40% (See Table 1). A high

concentration of GF_H was also found in raw material of *A. obliquum* that belongs to the group of onion-rhizome plants with well-developed bulbs. These species have a high ratio of concentrations of high molecular and low molecular glucofructans (GF_H/GF_L). Somewhat lower than on bulbous species, but still high enough (16.87-27.71%) was the content of high molecular glucofructans in the raw materials of two other species from the group of onion-rhizome plants with well-developed bulbs - *A. altaicum* and *A. strictum*, as well as *A. ramosum* that belongs to the group of onion-rhizome plants with weakly expressed bulbs. In *A. strictum* and *A. ramosum*, the GF_H/GF_L ratio is high - 3.94-8.15; in *A. altaicum* it is slightly lower: 1.26 in bulbs and 1.62 in the rhizomes. The lowest content of glucofructans and the value of GF_H/GF_L were in species from the group of onion-rhizome plants with small bulbs - *A. ledebourianum* and especially *A. nutans*, in which high molecular glucofructans are almost completely absent. Univariate analysis of variance revealed statistically significant differences between species of *Allium* of bulbous life form (in which the ability to accumulate high molecular glucofructans is the highest) and species of bulbous-rhizome form with a powerful rhizome and weakly expressed bulbs, with a reduced ability to synthesis of these compounds ($p = 0.01004$, by the criterion of Unequal N HSD). There were no reliable differences between species of different life forms by the content of low molecular weight glucofructans, and also by the ratio GF_H/GF_L . Differences in the accumulation of glucofructans in different organs of the studied species are revealed. In *A. altaicum* and *A. obliquum*, belonging to the group of bulbous-rhizome species with well-developed bulbs, the content of high-molecular glucofructans in bulbs was almost 1.5 times higher than in rhizomes, and the content of low-molecular glucofructans was two or more times higher (See Table 1). But in *A. ramosum*, which has weakly expressed bulbs, the picture is inverse: the content of high-molecular glucofructans in bulbs is about 1.3 times less than in rhizomes; the differences in the content of low molecular glucofructans in bulbs and rhizomes are insignificant. The accumulation of high molecular glucofructans significantly changed during the growing season (See Tables 2 and 3). During the period of spring regrowth, their content is very low; the maximum accumulation was noted during flowering and fruiting, and by the end of the growing season it decreased. The content of oligofructans in different species reached a maximum in various phenophases, which is related to the specific features of seasonal development of the studied species.

The paper contains 3 Tables and 32 References.

Key words: low molecular glucofructans; high molecular glucofructans; inulin.

Funding: This work was carried out within the framework of the theme "Theoretical and methodological development, study and assessment of adaptation of introductory plants of natural and cultural flora" No AAAA-A17-117072810010-4.

References

1. Kaur N, Gupta AK. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Biosciences*. 2002;27(7):703-714. doi: [10.1007/BF02708379](https://doi.org/10.1007/BF02708379)
2. Krishtanova NA, Safonova MYu, Bolotova VTs, Pavlova ED, Sakanyan EI. The prospects of the use of vegetable polysaccharides as medical and medical and preventive drugs. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo univversiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2005;1:212-221. In Russian
3. Abrams SA, Griffin IJ, Hawthorne KM, Liang L, Gunn SK, Darlington G, Ellis KJ. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005;82(2):471-476.

4. Roberfroid MB. Inulin – type fructans: functional food ingredients. *Journal of Nutrition*. 2007;137(11):2493-2502.
5. Ferreira SS, Passos CP, Madureira P, Vilanova M, Coimbra MA. Structure–function relationships of immunostimulatory polysaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2015;132:378-396. doi: [10.1016/j.carbpol.2015.05.079](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.079)
6. Gibson GR, Beatty ER, Wang X, Cummings JH. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology*. 1995;108(4):975-982. doi: [10.1016/0016-5085\(95\)90192-2](https://doi.org/10.1016/0016-5085(95)90192-2)
7. Niness KR, Inulin and oligofructose: What are they? *Journal of Nutrition*. 1999;7:1402-1406.
8. Boeckner LS, Schnepf MI, Tungland BC. Inulin: A review of nutritional and health implications. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2001;43:1-63. doi: [10.1016/S1043-4526\(01\)43002-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(01)43002-6)
9. Caleffi ER, Krausová G, Hyrslová I, Paredes LLR, dos Santos MM, Sassaki GL, Goncalves RAC, de Oliveira AJB. Isolation and prebiotic activity of inulin-type fructan extracted from *Pfaffia glomerata* (Spreng) Pedersen roots. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015;80:392-399. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2015.06.053](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.06.053)
10. Kim KH, Chung CB, Kim YH, Kim KS. Cosmeceutical properties of levan produced by *Zymomonas mobilis*. *International journal of cosmetic science*. 2006;28(3):231-232. doi: [10.1111/j.1467-2494.2006.00314_2.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2006.00314_2.x)
11. Hendry GAF. Evolutionary origins and natural functions of fructans - a climatological, biogeographic and mechanistic appraisal. *New Phytologist*. 1993;123(1):3-14. doi: [10.1111/j.1469-8137.1993.tb04525.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb04525.x)
12. Vijn I, Smeekens S. Fructan: More Than a Reserve Carbohydrate? *Plant Physiology*. 1999;120(2):351-360. <https://doi.org/10.1104/pp.120.2.351>
13. Shiomi N, Onodera S, Sakai H. Fructo-oligosaccharide content and fructosyltransferase activity during growth of onion bulbs. *New phytologist*. 1997;136(1):105-113. doi: [10.1046/j.1469-8137.1997.00726.x](https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00726.x)
14. Bel'mer SV, Gasilina TV. Prebiotics, inulin and baby food. *Voprosy Sovremennoi Pediatrii = Current Pediatrics*. 2010;9(3):121-125. In Russian
15. Watzl B, Girrbaach S, Roller M. Inulin, oligofructose and immunomodulation. *British Journal of Nutrition*. 2005;93(1):49-55. doi: [10.1079/BJN20041357](https://doi.org/10.1079/BJN20041357)
16. Barkhatova TV, Nazarenko MN, Kozhukhova MA, Khripko IA. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Foods and Raw Materials*. 2015;3(2):13-22. doi: [10.12737/13115](https://doi.org/10.12737/13115)
17. Shepherd SJ, Gibson PR. Fructose malabsorption and symptoms of irritable bowel syndrome: Guidelines for effective dietary management. *Journal of the American Dietetic Association*. 2006;106:1631-1639. doi: [10.1016/j.jada.2006.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.07.010)
18. Flores AC, Morlett JA, Rodríguez R. Inulin potential for enzymatic obtaining of prebiotic oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016;56(11):1893-1902. doi: [10.1080/10408398.2013.807220](https://doi.org/10.1080/10408398.2013.807220)
19. Livingston III DP, Hinch DK, Heyer AG. Fructan and its relationship to abiotic stress tolerance in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2009;66(13):2007-2023. doi: [10.1007/s00018-009-0002-x](https://doi.org/10.1007/s00018-009-0002-x)
20. Salinas C, Handford M, Pauly M, Dupree P, Cardemil L. Structural modifications of fructans in *Aloe barbadensis* Miller (Aloe vera) grown under water stress. *PLoS One*. 2016;11(7):1-24. doi: [10.1371/journal.pone.0159819](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159819)
21. Carson JF. Chemistry and biological properties of onions and garlic. *Food Reviews International*. 1987;3(1–2):71-103. doi: [10.1080/87559128709540808](https://doi.org/10.1080/87559128709540808)
22. Olennikov DN, Kashchenko NI. Polisakharidy. Sovremennoe sostoyanie izuchennosti: eksperimental'no-naukometricheskoe issledovanie [Polysaccharides. Current state of

- knowledge: an experimental and scientometric investigation]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* = *Chemistry of Plant Raw Material*. 2014;1:5-26. In Russian. doi: [10.14258/jcprm.1401005](https://doi.org/10.14258/jcprm.1401005)
23. Bagautdinova RI, Fedoseeva GP, Okoneshnikova TF. Fruktozosoderzhashchie uglevody rasteniy raznykh semeystv – lokalizatsiya i sostav [Fructose-containing carbohydrates of plants of different families: localization and composition]. *Khimiya i komp'yuternoe modelirovanie. Butlerovskie soobshcheniya* = *Chemistry and Computational Simulation. Butlerov Communications*. 2001;2(5):13-16. In Russian
24. Cheremushkina VA. Biologiya lukov Evrazii [Biology of onions of Eurasia]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2004. 280 p. In Russian
25. Grinberg EG, Suzan VG. Lukovye rasteniya v Sibiri i na Urale [Onion plants in Siberia and the Urals]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2007. 224 p. In Russian
26. Kokoreva VA. Luki dekorativnye [Decorative onions]. Moscow: "Armada-Press"; 2001. 32 p. In Russian
27. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Issledovanie kolorimetricheskoy reaktsii inulina s rezortsinom v zavisimosti ot usloviy ee provedeniya [Investigation of the colorimetric reaction of inulin with resorcinol, depending on the conditions of its carrying out]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* = *Chemistry of Plant Raw Material*. 2008;1:87-94. In Russian
28. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Metodika kolichestvennogo opredeleniya summarnogo soderzhaniya polifruktanov v kornnyakh lopukha (*Arctium* spp.) [The method of quantitative determination of the total content of polyfructans in burdock roots]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* = *Chemistry of Plant Raw Material*. 2010;1:115-120. In Russian
29. Saengkanuk A, Nuchadomrong S, Jogloy S, Patanothai A, Srijaranai S. A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *European Food Research & Technology*. 2011;233(4):609-616.
30. Ivanova L, Filova G, Ivanov I, Denev P, Petkova N. Antioxidants and carbohydrate content in infusions and microwave extracts from eight medicinal plants. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2017;7(10):55-61. doi: [10.7324/JAPS.2017.71008](https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.71008)
31. Badretidinova ZA, Kanarskiy AV. Fruktany sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Fructans of agricultural crops]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013;16(19):207-210. In Russian
32. *Flora Sibiri. Araceae - Orchidaceae* [Flora of Siberia. Araceae - Orchidaceae]. Vol. 4. Malyshev LI, Peshkova GA, editors. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1987. pp. 83-84. In Russian

Received 29 January 2018; Revised 12 May 2018;

Accepted 17 May 2018; Published 15 June 2018

Authors info:

Vasfilova Evgeniya S., Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Senior Researcher, Laboratory of Introduction of Herbaceous Plants, Institute Botanic Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg 620144, Russian Federation.

E-mail: euvas@mail.ru

Vorob'eva Tat'yana A., Leading Engineer, Laboratory of Introduction of Herbaceous Plants, Institute Botanic Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta Str., Yekaterinburg 620144, Russian Federation

E-mail: aroma.botsad@mail.ru