

УДК 635.2

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-17-21

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕВОДОВ В КЛУБНЯХ ТОПИНАМБУРА В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ

Левина Н.С.¹,
ст. науч. сотр.;

Тертышная Ю.В.^{1,2*},
канд. хим. наук;

Бидей И.А.¹,
лаб.-иссл.;

Елизарова О.В.¹,
лаб.-иссл.

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация,

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, ул. Косыгина, 4, Москва, 119334, Российская Федерация, *e-mail: moraxella@bk.ru

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – сельскохозяйственная культура, богатая витаминами, углеводами, клетчаткой. Из клубней топинамбура получают ценное вещество – инулин, который обладает комплексом полезных свойств. С целью повышения содержания питательных веществ, урожайности и климатической устойчивости селекционеры создают новые сорта и гибриды топинамбура. Проведен анализ на содержание влаги, сухого остатка и фракционного состава углеводов в клубнях топинамбура сортов Сиреники и Скороспелка, а также в гибридах ПББ и ПБК в разные фазы вегетации. Определено, что в фазе цветения влажность клубней исследуемых сортов находилась в пределах 77,2-81,3 процента, величина сухого остатка питательных веществ составила 18,7-22,8 процента. Установлено, что наибольшее количество общих и нередуцирующих сахаров в фазе цветения содержится в клубнях сорта Сиреники – 78,3 и 61,8 процента соответственно. Аналогичный анализ проведен на клубнях топинамбура исследуемых сортов и гибридов в фазе созревания. В этот период содержание сухого остатка несколько увеличилось и составило 22,9-26,2 процента. Отмечено повышение количества нередуцирующих сахаров (в том числе инулина), для всех изученных образцов топинамбура. Однако наибольшие значения (72 процента) зафиксированы у сорта Сиреники и гибрида ПБК. Определено, что содержание инулина зависит от фазы вегетации и от сортовых особенностей топинамбура при отсутствии явного превосходства гибридов.

Ключевые слова: топинамбур, инулин, углеводы, фазы вегетации, сухой остаток.

■ **Для цитирования:** Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Содержание углеводов в клубнях топинамбура в процессе вегетации // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №6. С. 17-21.

CARBOHYDRATES CONTENT IN JERUSALEM ARTICHOKE TUBERS DURING VEGETATION

Levina N.S.¹;

Tertyshnaya Yu.V.^{1,2*},
Ph. D. (Chem.);

Bidey I.A.¹;

Elizarova O.V.¹

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation

²Emanuel Institute of Biochemical Physics, Kosygin St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation, *e-mail: moraxella@bk.ru

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is rich in vitamins, carbohydrates, fiber. Tubers of Jerusalem artichoke consist valuable substance inulin, which has a complex of health properties. Breeders create new hybrids and varieties of Jerusalem artichoke to increase the content of nutrients, productivity and climate resilience. The authors analysed moisture content, dry residue and fractional composition of carbohydrates in the tubers of Jerusalem artichoke varieties Skorospelka and Sireniki and the hybrids PBB and PBK in various phases of vegetation. In the flowering stage the moisture of the tubers of the investigated varieties was in the range of 77.2-81.3 percent, the value of dry residue of nutrients was 18.7-22.8 percent. The greatest number of non-reducing and total sugars in the flowering stage contained in the tuber varieties of Sireniki and was equaled 78.3 and 61.8 percent, respectively. A similar analysis was conducted in the maturation phase. In this phase the solids content slightly increased and amounted to 22.9-26.2 percent. Non-reducing sugars content, including inulin, increased in all the studied samples of Jerusalem artichoke. However, the greatest values of 72 percent were noted for variety Sireniki and hybrid PBK. The content of inulin depends on the phase of the growing season and the varietal

characteristics of Jerusalem artichoke and the absence of decisive superiority of the hybrids.

Keywords: Jerusalem Artichoke; Inulin; Carbohydrates; Vegetation phases; Dry residue.

■ **For citation:** Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V. Carbohydrates content in Jerusalem artichoke tubers during vegetation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 6: 17-21. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-17-21. (In Russian)

В России до сих пор стоит вопрос о промышленном возделывании топинамбура как ценного поставщика инулина, поэтому актуальны исследования, связанные с его выращиванием, хранением, а также получением, строением и свойствами инулина [1-4].

Известно, что топинамбур – теплолюбивое растение, которое можно выращивать без особых затрат и искусственного орошения [4]. В его состав входят белки, жиры, углеводы, а также органические кислоты и витамины. Топинамбур содержит клетчатку, моно- и дисахариды, крахмал и инулин – органическое вещество группы полисахаридов, которое занимает промежуточное место между олигомерами и полимерами. Инулин ($C_6H_{10}O_5$)_n считается природным аналогом инсулина. Попадая в организм человека, некоторая часть инулина расщепляется и превращается в молекулы фруктозы, которая способствует выводу вредных образований [5]. Оставшаяся нерасщепленная часть также выполняет очищающие функции: связывает токсины, радионуклиды, холестерин.

Инулин – ценный продукт, который можно использовать в медицинской и пищевой промышленности [6-8]. Но в настоящее время еще не получил широкого распространения. Как было показано в исследованиях, содержание углеводов, витаминов и других полезных веществ меняется в процессе роста и развития растений, а также зависит от сорта. С целью повышения содержания питательных веществ и приобретения определенных свойств селекционеры создают гибриды. В данной работе изучена динамика накопления инулина в разные фазы созревания у сортов и гибридов топинамбура.

Цель исследования – биометрический анализ и определение комплекса углеводов в клубнях топинамбура разных сортов и гибридов в процессе вегетации.

Материалы и методы. В работе исследованы клубни топинамбура сортов Скороспелка, Сиреники и гибридов ПББ и ПБК, выращенных в ЗАО «Заволжское» Костромской области.

Содержание углеводного комплекса определяли следующим методом. Клубни топинамбура тщательно промывали, отделяли от корневой системы, нарезами на кубики размером 6×6×6 мм. От каждого образца выделяли пробу массой 100-200 г, которую измельчали до пюреобразного состояния.

Метод определения общих, редуцирующих и не-

редуцирующих сахаров основан на колориметрировании избытка щелочного раствора гексацианоферрата (III) калия после реакции с редуцирующими сахарами объекта исследования. При этом гексацианоферрат (III) восстанавливается до гексацианоферрата (II), что ведет к ослаблению окраски [8, 9]. Из измельченной пробы анализируемого образца отбирали субпробу, массу которой рассчитывали по формуле $M = CV/P$:

где C – оптимальная для данного метода концентрация сахаров в водной вытяжке на 100 см², г/см³;

V – вместимость колбы, мл;

P – предполагаемое содержание общего сахара в объекте исследования. Навеску растворяли в колбе емкостью 250 мл, фильтрацией удаляли мешающие сахара. Для определения редуцирующих сахаров использовали 10 мл фильтрата, добавляли дистиллированную воду и гексацианоферрат калия. Полученный раствор доводили до кипения (1 мин), охлаждали, затем при комнатной температуре измеряли оптическую плотность D при длине волны 440 нм с использованием фотоэлектроколориметра КФК-2-УХЛ. Для определения общего сахара использовали раствор соляной кислоты, едкий натр, гексацианоферрат калия. Содержимое доводили до кипения и после охлаждения определяли оптическую плотность. Содержание общего сахара, выраженное в глюкозе, % вычисляли по формуле:

$$C = \frac{m \cdot v \cdot 100}{v_1 \cdot m}$$

где M – количество глюкозы, найденное по градуировочному графику, мг;

V – объем исследуемого раствора, приготовленного из навески, см³;

V_1 – объем раствора, взятый для реакции с гексацианоферратом калия см³;

m – масса навески объекта исследования, мг.

Содержание нередуцирующих сахаров определяли по формуле:

$$C_{\text{неред.сахаров}} = (C_{\text{общ.}} - C_{\text{ред.сахаров}}) \cdot 0,92,$$

где $C_{\text{общ.}}$ – содержание общего сахара;

$C_{\text{ред.сахаров}}$ – содержание редуцирующего сахаров; 0,92 – коэффициент гидролиза.

Содержание влаги и сухого остатка определяли по ГОСТ Р 31640-2012.

Результаты и обсуждение. Чтобы выяснить, насколько содержание редуцирующих и нередуцирующих сахаров зависит от фазы вегетации и сорта,



Table 1 Таблица 1

ВНЕШНИЙ ВИД И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*) В ФАЗЕ ЦВЕТЕНИЯ
APPEARANCE AND BIOMETRICS PROPERTIES OF TUBERS OF JERUSALEM ARTICHOKE (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*) IN THE FLOWERING STAGE

Образцы Samples	Цвет кожуры Color of peel	Поверхность клубня Tuber surface	Форма клубня Tuber shape	Количество глазков, шт. Number of eyes, pcs	Длина клубней мм, Tubers length, mm	Ширина клубней, мм Tubers width, mm	Масса, клубней, г Tubers weight, g	Плотность, г/см ³ Density, g/sm ³
Скороспелка Skorospelka	белый white	гладкая smooth	округло- продолго- ватая orbicular- oblong	4-8	25-71	22-26	6-25	1,1
Сиреники Sireniki	бледно- фиолетовый lilaceous	гладкая с наростами smooth-gnarly	удлиненно- овальная long-oval	5-6	13-76	15-32	3-63	1,1
ПБК PBK	розовый pink	гладкая smooth	удлинен- ная long	4-5	39-66	16-22	7-15	1,1
ПББ PBV	белый white	гладкая с наростами smooth-gnarly	продолго- ватая oblong	6-8	22-54	18-24	38-56	1,2

были исследованы клубни гибридов и сортов топинамбура, убранные в фазах цветения и созревания.

На первом этапе исследовали клубни топинамбура, собранные в фазе цветения. Следует отметить, что клубни двух сортов топинамбура и двух гибридов были свежие, целые, не поврежденные вредителями, цвет мякоти у всех образцов был белый. В таблице 1 представлены их биометрические характеристики, из которых видно, что длина, ширина, и масса клубней зависят от сорта. Более однородные клубни, характерны для гибрида ПББ 38-56 г, а наибольший разброс по массе – у сорта Сиреники – от 3 до 63 г. Плотность клубней была практически одинаковой у всех образцов и составила 1,1-1,2 г/см³.

Далее был проведен общий химический анализ клубней топинамбура и определен фракционный состав углеводов (табл. 2). Величина сухого остатка питательных веществ заметно схожа у сортов

Скороспелка, Сиреники и гибрида ПБК – 21,7-22,8%, и только у гибрида ПББ это значение несколько ниже – 18,7%.

Особое внимание обращено на содержание нередуцирующих сахаров, которых в пересчете на сухое вещество оказалось больше в образце топинамбура сорта Сиреники – 61,8%, в то время как у остальных образцов величина данного показателя составила 45-56%.

Второй этап – исследование клубней топинамбура в фазе созревания. Предполагалось, что здесь произойдет изменение фракционного состава углеводов, так как в этой фазе вегетации происходит отток нередуцирующих сахаров из стеблей и листьев в клубни. Эта фаза позволяет определить, какой сорт топинамбура или гибрид наиболее ценен в отношении накопления инулина. Все клубни были свежие, без повреждений. Характеристика внеш-

Table 2 Таблица 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*) В ФАЗЕ ЦВЕТЕНИЯ
CHEMICAL COMPOSITION OF JERUSALEM ARTICHOKE TUBERS (*HELIANTHUS TUBEROSUS L.*) IN THE FLOWERING STAGE

Образцы, Samples	Масса образца, г Sampleweight, g	Влажность, % Humidity, %	Сухой остаток, % Dry residue, %	Общие сахара*, % Total sugar*, %	Редуцирующие сахара*, %, % Reducing sugar*, %	Нередуцирующие сахара*, %, % Nonreducing sugar*, %
Скороспелка Skorospelka	123,5	77,19	22,81	$\frac{17,94}{78,65}$	$\frac{4,58}{20,07}$	$\frac{12,29}{53,88}$
Сиреники Sireniki	253,4	78,32	21,68	$\frac{19,15}{88,33}$	$\frac{4,59}{21,17}$	$\frac{12,38}{61,81}$
ПБК PBK	126,2	77,4	22,60	$\frac{17,04}{79,84}$	$\frac{6,91}{30,5}$	$\frac{10,24}{45,32}$
ПББ PBV	135,1	81,31	18,69	$\frac{16,07}{85,98}$	$\frac{4,59}{24,56}$	$\frac{10,56}{56,50}$

* в числителе: в пересчете на сырую массу;
 в знаменателе: в пересчете на сухое вещество
 * in the numerator – expressed as wet weight basis
 in the denominator – expressed as dry matter

Образцы Samples	Цвет кожуры Color of peel	Поверхность клубня Tuber surface	Форма клубня Tuber shape	Количество глазков, шт. Number of eyes, pcs	Длина клубней мм, Tubers length, mm	Ширина клубней, мм Tubers wigth, mm	Масса, клубней, г Tubers weight,g	Плотность, г/см ³ Density, g/sm ³
Скороспелка Skorospelka	белый white	гладкая smooth	округлая orbicular- oblong	5-8	60-78	29-42	25-41	1,1
Сиреники Sireniki	фиолетовый violet	гладкая smooth	продолго- вато- овальная oblong-oval	3,5-8	32-78	28-35	18-42	1,1
ПБК РВК	розовый pink	гладкая smooth	удлинен- ная long	4-5	55-80	20-35	17-35	1,2
ПББ РВВ	белый white	гладкая smooth	овальная oval	6-7	43-54	15-32	40-63	1,2

него вида и биометрических показателей клубней топинамбура различных сортов, убранных в фазе созревания, приведена в таблице 3.

В фазе созревания уже не наблюдалось таких различий в биометрических характеристиках, как в фазе цветения. По данным таблицы 3, массы клубней двух сортов и гибрида ПБК очень близки по величине. Благодаря сортовым особенностям выделяется только гибрид ПББ, у которого средняя масса клубней больше. По сравнению с фазой цветения плотность клубней топинамбура не изменилась и осталась в пределах 1,1-1,2 г/см³.

Содержание сухого остатка питательных веществ, общих и редуцирующих и нередуцирующих сахаров в фазе созревания приведено в таблице 4. Заметно, что сухой остаток увеличился на 2-6% и значительно сократилось количество редуцирующих сахаров.

По сравнению с фазой цветения количество нередуцирующих сахаров в клубнях, наоборот, уве-

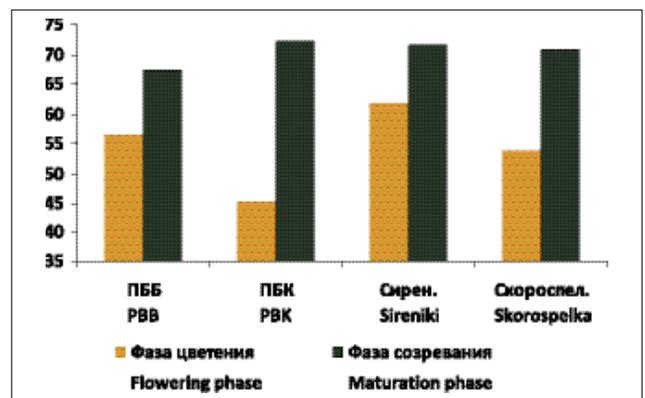


Рис. 1. Содержание нередуцирующих сахаров, в том числе инулина, в клубнях топинамбура в фазах цветения и созревания (в пересчете на сухое вещество)

Fig. 1. Non-reducing sugars content, including inulin, in tubers of Jerusalem artichoke in the phases of flowering and ripening (expressed as dry matter)

Образцы, Samples	Масса образца, г Sampleweight, g	Влажность, % Humidity, %	Сухой остаток, % Dry residue, %	Общие сахара*, % Total sugar*, %	Редуцирующие сахара, %, % Reducing sugar, %	Нередуцирующие сахара*, %, % Nonreducing sugar*, %
Скороспелка Skorospelka	308	75,7	24,3	$\frac{1878}{77,3}$	$\frac{0,71}{2,92}$	$\frac{17,17}{70,7}$
Сиреники Sireniki	291	73,8	26,2	$\frac{20,46}{78,3}$	$\frac{0,71}{2,69}$	$\frac{18,76}{71,6}$
ПБК РВК	232	77,1	22,9	$\frac{18,79}{82,05}$	$\frac{1,42}{6,19}$	$\frac{16,5}{72,1}$
ПББ РВВ	354	74,5	25,5	$\frac{19,5}{76,5}$	$\frac{1,42}{5,56}$	$\frac{17,18}{67,01}$



личилось. На рисунке показано содержание нередуцирующих сахаров в образцах топинамбура в зависимости от фазы вегетации. Их количество в пересчете на сухое вещество составило более 70% у гибрида ПБК и сортов Сиреники и Скороспелка, что считается удовлетворительным результатом.

Максимальное количество нередуцирующих сахаров, в том числе инулина, может составлять 78-80% в фазе полного созревания клубней топинамбура определенных сортов.

Выводы. В результате проведенного исследования установлено, что содержание углеводов в клуб-

нях топинамбура зависит от фазы вегетации. Наибольшее содержание нередуцирующих сахаров, в том числе инулина, накапливается в фазе созревания. Показано, что количественное содержание нередуцирующих сахаров, в том числе инулина зависит от сорта топинамбура. Однозначно отметить превосходство гибридов или сортов не представилось возможным. Все 4 образца топинамбура показали удовлетворительный результат по содержанию углеводного комплекса, но наибольшие значения нередуцирующих сахаров (72%) зафиксированы у гибрида ПБК и сорта Сиреники в фазу созревания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ху Ю.Ф., Лиу Ж.П. Ферменты антиоксидантной защиты и физиологические характеристики двух сортов топинамбура при солевом стрессе // *Физиология растений*. 2008. Т. 55. №6. С. 863-868.
 2. Левина Н.С., Кондратова Т.А., Бидей И.А. Исследование процессов сушки клубней топинамбура при различных способах энергоподвода // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №2. С. 16-19.
 3. Голубкович А.В., Павлов С.А., Левина Н.С., Кондратова Т.А. Осциллирующий режим сушки клубней топинамбура // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №2. С. 11-15.
 4. Monti A., Amaducci M.T., Venturi G. Growth Response, Leaf Gas Exchange and Fructans Accumulation of Jerl. Khu Yu.F., Liu Zh. P. Fermenty antioksidantnoy zashchity i fiziologicheskie kharakteristiki dvukh sortov topinambura pri solevom stresse // *Fiziologiya rasteniy*. 2008. V. 55; 6: 863-868.

5. Saengthongpinit W., Sajjaanantakul T. Influence of Harvest Time and Storage Temperature on Characteristics of Inulin from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers // *Postharvest Biol. Technol.* 2005. V. 37: 93-100.
 6. Рейнгарт Э.С., Кочнев Н.К., Пономарев А.Г. Топинамбур: выращивание – уборка – получение биоэтанола // *Сельский механизатор*. 2009. №1. С. 28.
 7. Шаненко Е.Ф., Силаева М.А., Ермолаева Г.А. Топинамбур – сырье профилактического питания // *Вопросы питания*. 2016. Т. 85. №52. С. 219.
 8. Жучкова М.А., Скрипников С.Г. Топинамбур – растение XXI века // *Овощи России*. 2017. №1. С. 31-33.
 9. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Исследование динамики накопления инулина в процессе вегетации топинамбура // *Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции*. М.: ВИМ. 2015. С. 120-124.

REFERENCES

1. Khu Yu.F., Liu Zh.P. Enzymes of antioxidant protection and physiological characteristics of two cultivars of a Jerusalem artichoke at a salt stress. *Fiziologiya rasteniy*. 2008. Vol. 55; 6: 863-868. (In Russian)
 2. Levina N.S., Kondratova T.A., Bidey I.A. Research of process of topinambur tubers drying at various ways of a power supply. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 2: 16-19. (In Russian)
 3. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Levina N.S., Kondratova T.A. Oscillating mode of topinambur tubers drying. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 2: 11-15. (In Russian)
 4. Monti A., Amaducci M.T., Venturi G. Growth Response, Leaf Gas Exchange and Fructans Accumulation of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as Affected by Different Water Regimes. *European Journal of Agronomy*. 2005; 23: 136-145. (In English)
 5. Saengthongpinit W., Sajjaanantakul T. Influence of

Harvest Time and Storage Temperature on Characteristics of Inulin from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers. *Postharvest Biology and Technology*. 2005; 37: 93-100. (In English)
 6. Reingart E.S., Kochnev N.K., Ponomarev A.G. Topinambur: cultivation – harvesting – bioethanol production. *Sel'skiy mekhanizator*. 2009; 1: 28. (In Russian)
 7. Shanenko E.F., Silaeva M.A., Ermolaeva G.A. Topinambur is raw material for diet and preventive nutrition. *Voprosy pitaniya*. 2016. Vol. 85; 52: 219. (In Russian)
 8. Zhuchkova M.A., Skripnikov S.G. Jerusalem artichoke is a plant of 21st century. *Ovoshchi Rossii*. 2017; 1: 31-33. (In Russian)
 9. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V. Research of dynamics of inulin accumulation in the course of vegetation of a Jerusalem artichoke. *Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2015: 120-124. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.