

УДК 633.494

- В. Н. Леонтьев**, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Д. А. Дубарь, младший научный сотрудник (ЦБС НАН Беларуси);
В. Г. Лугин, кандидат химических наук, директор ЦФХМИ (БГТУ);
Е. В. Феськова, младший научный сотрудник (БГТУ);
О. С. Игнатовец, кандидат биологических наук, старший преподаватель (БГТУ);
В. В. Титок, доктор биологических наук, директор (ЦБС НАН Беларуси)

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТОПИНАМБУРА КАК ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Исследования, направленные на импортозамещение фармацевтической продукции, а также на укрепление пищевой безопасности Республики Беларусь, являются весьма актуальными. В связи с этим большой интерес представляет универсальная культура топинамбур, ценность которой обусловлена возможностью ее использования в кормопроизводстве, в пищевой и фармацевтической промышленности. В работе представлены исследования продуктивности сортов топинамбура с различным вегетационным периодом, проведена оценка минерального состава клубней, определено содержание инулина как наиболее ценного компонента указанной сельскохозяйственной культуры.

Studies aimed to import pharmaceutical products, as well as to strengthen the food security of the Republic of Belarus, are highly relevant. In this connection an universal culture of Jerusalem artichoke is of interest, the value of which is determined due to the possibility of its use in feed, food and pharmaceutical industries. The paper presents the productivity research of Jerusalem artichoke varieties with different growing seasons, the estimation of mineral composition of tubers, the content of inulin as the most valuable component of said agricultural crops was determined.

Введение. Топинамбур, или земляная груша (*Helianthus tuberosus* L.), – многолетнее травянистое растение семейства Астровые высотой от 40 см до 4 м с прямостоячим ветвящимся, опушенным короткими волосками стеблем и подземными побегами, на которых развиваются клубни.

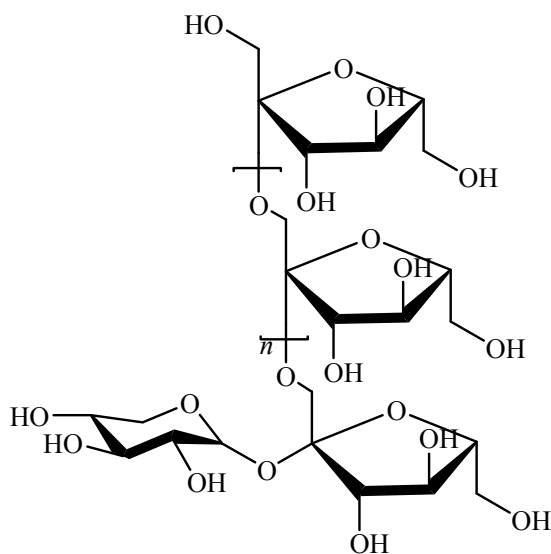
Высокое содержание различных биологически активных веществ в топинамбуре свидетельствует о перспективности использования этой культуры в диетическом питании и в лекарственных фитопрепаратах.

Топинамбур считается одним из основных источников инулина среди высших растений [1]. Белок топинамбура обладает высокой питательной ценностью благодаря наличию почти всех незаменимых аминокислот и их сбалансированному содержанию [2]. Еще один вариант потенциального использования этого растения – кормовая культура [3]. В последние десятилетия топинамбур рассматривается и в качестве культуры для получения биомассы для производства этанола, поскольку топинамбур содержит высокий уровень углеводов [4]. При определенных условиях производство биогаза из биомассы топинамбура является экономически выгодным [5].

Исследования по питательной ценности топинамбура показали, что клубни содержат компоненты важные для сбалансированного питания. Топинамбур содержит разнообразные витамины и минералы. По содержанию железа топинамбур значительно превосходит другие

клубни (морковь, картофель, репу, свеклу и пр.). Кроме того, в состав топинамбура входят калий, кальций, кремний, магний, натрий, фтор, хром и другие минералы. Топинамбур содержит клетчатку, пектин, органические кислоты, жиры, белки и незаменимые аминокислоты. Богат топинамбур и витаминами: В₁, В₂, В₆, С, РР, каротиноидами, а также содержит незаменимые аминокислоты: аргинин, валин, лизин, лейцин и др. Все это делает топинамбур продуктом, просто необходимым для поддержания здоровья. Особенно ценится в топинамбуре то, что его клубни, в отличие от других культур, накапливают как запасное вещество не крахмал, а инулин, потребление которого не изменяет гликемический индекс. Именно поэтому топинамбур рекомендуют в первую очередь больным сахарным диабетом.

Инулин (С₆Н₁₀О₅)_n представляет собой природный линейный биополимер построенный из молекул D-фруктозы, соединенных гликозидными связями (рисунок). В растениях вместе с инулином почти всегда встречаются родственные углеводы – псевдоинулин, инуленин, левулин, гелиантенин, синистрин, иризин и др., дающие, как и инулин, при гидролизе D-фруктозу. Инулин все чаще используется в производстве пищевых продуктов, поскольку он имеет необычные адаптационные характеристики. Он может быть использован для замены сахара, жира и муки.



Структурная формула инулина

В питании инулин является одной из форм растворимых пищевых волокон и классифицируется как пребиотик. Он также оказывает благотворное влияние на усвоение некоторых важных элементов, таких как кальций, магний и т. д.

В фитотерапии инулин рассматривается как естественный питательный компонент, который оказывает благотворное влияние на организм человека путем снижения сахара и холестерина в крови, и применяется для лечения пациентов с сахарным диабетом и сердечнососудистыми заболеваниями. По количеству углеводов топинамбур превосходит сахарную свеклу и сахарный тростник.

Введение топинамбура в культуру сдерживалось ввиду его недостаточной изученности, отсутствия технологии и системы машин для промышленного возделывания, а также разработок по вопросам использования и переработки. В настоящее время выращивание топинамбура во многих странах демонстрирует высокую экономическую эффективность. Топинамбур – одно из самых высокоурожайных растений. В США, Канаде, Бразилии, Франции, России и других странах на плодородных землях при внесении необходимых доз органических и минеральных удобрений урожай зеленой массы достигает 120–150 т/га, а клубней 100–120 т/га. Суммарный сбор биомассы достигает от 200 до 270 т/га и более, и такие урожаи считаются нормой. Топинамбур неприхотлив к почвам. Его можно выращивать на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, на бывших карьерах и свалках, на песчаных и супесчаных почвах. Это растение является отличным рекультиватором выведенных из сельскохозяйственного использования земель.

Для Республики Беларусь эта сельскохозяйственная культура остается «нетрадиционной» и малоизвестной и возделывается в основном лишь в приусадебных хозяйствах и как декоративное растение. В связи с вышеизложенным целью настоящей работы явился анализ биологического потенциала коллекционных сортов топинамбура, в качестве сырья для пищевой и фармацевтической промышленности Республики Беларусь.

Основная часть. Объектом исследования являлись 10 сортов топинамбура, культивируемых на опытном поле ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», среди них 5 позднеспелых (Диетический, Violet de Rennes, Сиреники-2, Киевский белый, Канадский), 2 среднеспелых (Интерес, Находка) и 3 раннеспелых (Бланк Брекос, Гигант, Скороспелка). Выделение наиболее перспективных сортов топинамбура требует изучения многих морфогенетических параметров, их устойчивости и вариабельности, определяющих как биохимический состав, так и стабильную продуктивность клубней в различных почвенно-климатических условиях. Сорт, являясь устойчивой группой культурных растений, обладает устойчивым генотипом и фенотипической пластичностью, основанной на сложных механизмах взаимодействия «генотип – среда». Урожайность в первую очередь определяется результатом данного взаимодействия, где средой являются не только почвенно-климатические условия, но и технологические приемы возделывания. И, если такие морфогенетические параметры сортов топинамбура, как облиственность, форма и цвет клубня, форма и окраска стебля, окраска, форма, опушенность и зубчатость края листа, являются стабильными и неизменными, то биохимические показатели, а также высота растений и продуктивность клубней являются вариабельными.

Вегетационный период в 2013 г. составил 178 дней (с 22 мая по 16 октября) и характеризовался теплой осенью. Средняя температура воздуха за летний сезон составила +18,5°C, что на 1,7°C выше климатической нормы. За лето в среднем по Беларуси выпало 197 мм осадков, что составляет 81% климатической нормы летнего сезона.

Для изучения вариабельности морфогенетических параметров 10 сортов топинамбура по окончании вегетационного периода, нами был проведен учет высоты растений топинамбура, их масса, среднее количество клубней с одного растения, масса клубней одного растения и урожайность в пересчете на центнеры с гектара (табл. 1).

Таблица 1

**Высота растений, продуктивность надземной массы
и клубней коллекционных сортов топинамбура**

Сорт	Средняя высота на конец вегетации, м	Средняя масса надземной части растения, кг	Количество клубней с 5 растений, шт.	Средний урожай клубней с растения, кг	Урожай клубней в сыром весе, ц/га
Диетический	2,56 ± 0,04	1,266 ± 0,22	76	0,508 ± 0,22	290,28
Violet de Rennes	2,46 ± 0,06	1,036 ± 0,10	68	0,446 ± 0,20	254,86
Бланк Брекос	1,89 ± 0,07	0,268 ± 0,03	215	1,646 ± 0,35	940,57
Гигант	2,77 ± 0,06	1,158 ± 0,09	208	1,738 ± 1,29	993,15
Сиреники-2	2,60 ± 0,06	1,030 ± 0,16	272	1,538 ± 0,47	878,86
Киевский белый	2,69 ± 0,06	1,226 ± 0,33	252	2,140 ± 1,22	1 222,86
Находка	1,95 ± 0,09	1,312 ± 0,10	236	1,752 ± 1,38	1 001,14
Интерес	3,08 ± 0,05	1,310 ± 0,17	170	1,140 ± 0,06	651,43
Скороспелка	2,44 ± 0,06	1,180 ± 0,20	125	0,828 ± 0,24	473,14
Канадский	2,94 ± 0,16	1,530 ± 0,37	160	1,300 ± 0,42	742,86

Средняя высота растений отдельных сортов достигала 3 м (сорт Интерес), по продуктивности надземной биомассы выделился сорт Канадский – средняя высота растений составила 2,94 м, а средняя масса растений – более 1,5 кг. Наибольшую урожайность клубней показали сорта Бланк Брекос – 941 ц/га, Гигант – 993 ц/га, Сиреники-2 – 878 ц/га, Киевский белый – 1223 ц/га и Находка – 1001 ц/га.

Статистический анализ полученных данных показал, что наиболее стабильный показатель – высота растений, а урожайность надземной биомассы и клубней являются переменными (табл. 1). Стандартное отклонение по высоте растений по выборке составило от 1,62% у сорта Интерес до 5,44% у сорта Канадский. Наименее переменным сортом по показателю «надземная биомасса» является сорт Находка (7,62%), а наиболее переменным – сорт Киевский белый (26,92%). По урожайности клубней с растения все сорта, за исключением сорта Интерес (5,26%), показали высокий уровень переменности – от 21,26% у сорта Бланк Брекос до 74,22% у сорта Гигант. Анализ полученных данных показал, что наиболее стабильным сортом топинамбура для получения устойчивых урожаев клубней является сорт Интерес.

Накопление данных о продуктивности различных сортов, а также содержания в них минеральных веществ и биологически активных соединений (в первую очередь инулина) позволит прогнозировать перспективность привлечения различных сортов для промышленного использования. В связи с этим было проанализировано содержание инулина, а также минеральных компонентов в клубнях топинамбура.

На первом этапе нами были проанализированы литературные источники по современным методам анализа растительных полисахаридов [2]. Таким образом, была адаптирована методика

определения инулина в свежих клубнях топинамбура.

Клубни топинамбура измельчали на мелкой терке, отжимали сок. Жом промывали горячей водой (80°C). Промывные воды объединяли с соком, добавляли к раствору аскорбиновую кислоту (0,5 г на 100 мл раствора) для осветления раствора и нагревали до 80°C. Далее к одной части горячего раствора приливали две части изопропанола, оставляли в холодильнике для формирования осадка. Надосадочную жидкость декантировали, осадок центрифугировали при скорости 6000 об/мин. Полученный осадок пересаждали добавлением к нему горячей воды. Для удаления белков добавляли QAE Sephadex (5 мл полностью набухшего геля на 100 мл раствора), периодически перемешивая и поддерживая температуру около 60°C для предотвращения осаждения инулина. Частицы геля служили сорбентом для окрашенных веществ и белков. Через час надосадочную жидкость декантировали, осадок промывали небольшим количеством горячей воды. Промывные воды объединяли с декантированной жидкостью и добавляли изопропанол в том же соотношении. Полученный гомогенат использовали для кристаллизации инулина. Осадок инулина (от белого до кремового цвета) отделяли центрифугированием при 6000 об/мин и сушили на воздухе. В среднем, по образцам, содержание инулина составило 13%, минимальное количество инулина обнаружено в клубнях сорта Интерес (9,8%), максимальное – Violet de Rennes (15,2%).

Состав минеральных компонентов клубней топинамбура определяли в зольном остатке с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV, оснащенного системой электронно-зондового энергодисперсионного химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). Результаты представлены в табл. 2.

Состав минеральных компонентов в золе клубней топинамбура

Сорт	Общее содержание элементов, %	Содержание, % от общего количества минералов в пересчете на оксиды									
		Al	Ca	Fe	K	Mg	P	Si	S	Cu	Zn
Диетический	8,20	–	2,9	–	75,0	2,6	10,9	–	4,0	1,8	–
Violet de Rennes	3,74	0,2	2,4	–	71,9	2,7	16,6	–	2,3	1,4	0,2
Бланк Брекос	7,35	0,3	3,3	0,9	72,6	1,6	9,7	3,8	3,7	0,4	1,8
Гигант	9,21	0,4	2,2	0,2	75,9	1,7	12,0	0,2	3,7	0,9	0,6
Сиреники-2	5,47	–	–	–	76,5	2,9	14,5	–	2,3	0,9	1,5
Киевский белый	5,06	0,3	–	0,4	78,5	2,1	8,2	0,7	3,1	1,4	1,1
Находка	7,24	–	–	0,4	75,4	2,4	13,8	0,6	4,7	1,4	0,3
Интерес	6,14	–	–	–	72,1	3,0	16,3	0,4	2,8	2,1	0,3
Скороспелка	6,14	0,6	–	0,2	70,0	3,0	15,5	0,7	5,6	1,6	1,4
Канадский	7,18	0,3	–	0,3	69,1	2,7	18,2	0,4	5,5	0,9	0,3

Сравнительный анализ определения минерального состава клубней топинамбура показал, что преобладающим элементом во всех образцах является калий (от 69,1 до 78,5% от общего содержания минералов). Также топинамбур содержит большое количество кальция, магния, фосфора, серы и меди, что актуально при использовании этой культуры в качестве сырья для пищевой промышленности.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что раннеспелые сорта в среднем образуют урожай клубней топинамбура на уровне 370 ц/га, среднеспелые – 430 ц/га, а позднеспелые – 360 ц/га. Прирост надземной части у всех сортов составил от 6,4 до 7,9 см в сутки. Содержание инулина во всех сортах в среднем одинаково, но по содержанию минеральных веществ образцы достаточно сильно различаются. Среди проанализированных образцов по продуктивности, содержанию золы и минеральных веществ (в частности фосфора и магния) выделились сорта Сиреники-2 и Интерес. Продуктивность данных сортов составляет соответственно: 513 и 575 ц/га, содержание золы – 9,21 и 7,24%, содержание фосфора в золе – 14,5 и 16,3%, содержание магния – 2,9 и 3,0%. Данные показатели позволяют рекомендовать указанные сорта для посадки и передачи в конкурсное сортоиспытание с целью последующего внедрения в промышленность.

Представленные в статье результаты исследований выполнены в рамках задания БРФФИ «Разработка биохимических критериев идентификации генотипов топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) со сбалансированным содержанием биологически активных соединений для промышленного производства медицинских препаратов и пищевых добавок».

Литература

1. Saengthongpinit W., Sajjaanantakul T. Influence of harvest time and forage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers // *Postharvest Biology and Technology*. 2005. Vol. 37, No. 1. P. 93–100.
2. Carbohydrates and proteins from *Helianthus tuberosus* / D. A. Rakhimov [a. o.] // *Chemistry of Natural Compounds*. 2003. Vol. 39, No. 3. P. 312–313.
3. Seiler G. J., Campbell L.G. Genetic variability for mineral element concentrations of wild Jerusalem artichoke forage // *Crop Science*. 2004. Vol. 44, No. 1. P. 289–292.
4. Denoroy P. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model oriented view // *Biomass and Bioenergy*. 1996. Vol. 11, No. 1. P. 11–32.
5. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for biogas production / S. Gunnarson [a. o.] // *Biomass*. 1985. Vol. 7, No. 2. P. 85–97.

Поступила 28.02.2014