

СОДЕРЖАНИЕ ИНУЛИНА В КЛУБНЯХ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ТОПИНАМБУРА

Э.К. АФРИКЯН, В.Б. ГОГНИЯЦ, К.А. ДАРБИНЯН

Центр микробиологии и депонирования микробов НАН Армении, 2201, г. Абовян,
microbio@sci.am

Изучено содержание инулина в клубнях 26 сортов топинамбура, выращенных в Нижегородской области России. Содержание инулина в клубнях варьирует от 8 до 29 %, а наиболее высоким содержанием инулина характеризуются клубни сорта Дадилуфтал (Норвегия) с содержанием инулина 29,3%. Основываясь на особенностях клубней, более перспективные сорта топинамбура предлагаются для применения в производстве.

Բնութմանսիրվել է ինուլինի պարունակությունը գետնախնձորի 26 սորտերի պալարներում աճեցված Ռուսաստանի երկրի Լովգորոդի շրջանում: Ինուլինի պարունակությունը պալարներում տատանվում է 8-ից 29% սահմաններում, իսկ ինուլինի առավել բարձր պարունակությամբ բնութագրվել է Դադիլֆուտալ (Նորվեգիա) տեսակը, 29,3% ինուլինի պարունակությամբ: Հիմնվելով ուսումնասիրված տեսակների առանձնահատկությունների վրա, առավել հեռանկարային սորտերն առաջարկվում են արտադրության մեջ կիրառելու համար:

The content of inulin in 26 sorts (cultivars) of topinambur tubers, grown in Nizhni Novgorod region of Russia, has been studied. It varies in limits of 8 to 29%, more high content of inulin are characterized the sortal tubers of Dadilufthal (Norway) with content of 29.3% of inulin. Based on characteristic patterns of tubers and inulin content, more preferable sorts of topinambur are proposed for industrial application.

Топинамбур – инулин

В последние годы инулинсодержащие растения, прежде всего топинамбур и шкорный корневой (*Cichorium intybus* var. *sativum* L.) привлекают большой практический интерес для производства инулина, фруктозы и других фруктозанов, кормовых и пищевых продуктов, а также биоспирта как альтернативного топлива [6, 9-11]. Большое научно-производственное значение имеет возможность замены традиционного сахара на фруктозу и другие олигофруктаны с целью профилактики и лечения диабета. Фруктаны являются исходным субстратом для получения гидрокси метилфурфурола (ГМФ), являющегося основой для получения многих фармацевтических веществ, пигментов и других биологически активных соединений.

Наибольший интерес проявляется к перспективным сортам топинамбура: Клубни топинамбура, *Helianthus tuberosus* L., Jerusalem artichoke, содержат до 25% инулина. Инулин – это полимер, который по сравнению с крахмалом и целлюлозой, содержащих исключительно глюкозу, состоит в основном из

фруктозы с малыми примесями глюкозы. Фруктоза - наиболее ценный пищевой сахар, обладающий лечебными свойствами, сладостью и не имеет побочного действия. В настоящее время широкомасштабное производство фруктозы и глюкозо-фруктозного сиропа основано главным образом на крахмалсодержащем сырье и его ферментативном гидролизе и переработке. Это производство использует технологию, включающую трудоемкие, многоступенчатые процессы с применением микробных ферментов.

Наиболее важным преимуществом использования клубней топинамбура является возможность одностадийного ферментативного получения фруктозо-глюкозного сиропа (ФГС) и фруктанов. В полученном ФГС содержание фруктозы составляет 75-90%, чего невозможно достигнуть при гидролизе крахмала и другого сырья. Таким образом, возможно в одностадийном процессе получить из инулина, содержащегося в клубнях топинамбура, ФГС третьего и более высоких поколений. Техничко-экономические показатели использования топинамбура выше таковых у существующих методов получения этих продуктов с использованием другого сырья [7, 8]. С учетом урожайности топинамбура 30-40 т с 1 га, выход конечных продуктов с земельной площади составляет (т/га): ФГС - 7-8; фруктоза - 5-6; этанол - 3,5-4,0.

В результате проведенных у нас работ разработана безотходная технология ферментативного / микробиологического получения сахаристых продуктов и этанола из клубней топинамбура, обеспечивающая высокие технико-экономические показатели производства [4]. Разработанная интегральная схема переработки клубней топинамбура, помимо основных целевых продуктов - ФГС и этанола, включает метановое брожение отходов, выработку из отходов кормовых и других полезных продуктов. Себестоимость спирта - в пределах 50 центов/литр. Из расчета урожайности клубней топинамбура 40 т/га, можно выработать этанол в 1,7; 2 и 3,7 раза больше, чем соответственно из сахарной свеклы, кукурузного и пшеничного зерна.

Топинамбур сам по себе может явиться источником инулина, использование которого рекомендуется для профилактики диабета, как малокалорийный пищевой продукт, содержащий углеводы. Для получения фруктозы, фруктозо-глюкозного сиропа или спирта необходим предварительный гидролиз (осахаривание) инулина, который осуществляется химическим (кислотой) или ферментативным путем с применением инулиназы микробного происхождения. Выделены и охарактеризованы инулиназы из многих видов микроорганизмов. Наиболее предпочтительными продуцентами инулиназ являются грибы и дрожжи. С использованием некоторых бродильных дрожжей достигается одновременно ферментативный гидролиз и ферментация инулинового сырья в этанол. В этой связи топинамбур рассматривается как перспективное сырье для получения биоспирта - заместителя автогорючего.

Топинамбур имеет много преимуществ для улучшения экологической ситуации. Его можно выращивать на неплодородных и залежных почвах, в горных районах. Топинамбур - одна из культур, обладающих самой высокой фотосинтетической активностью. Зеленый массив топинамбура вырабатывает

в 2 раза больше кислорода, чем аналогичная территория леса. Уникальная устойчивость к вредителям сельского хозяйства позволяет довести до минимума использование химических пестицидов и гербицидов, исключая загрязнение окружающей среды. Возможность уборки топинамбура осенью и ранней весной позволяет организовать круглогодичную работу предприятий, что имеет важное социальное значение.

В отличие от картофеля, надземная зеленая масса топинамбура с урожайностью 50-70 т/га - хороший кормовой продукт, прекрасно силосуется. Таким образом, топинамбур является хорошей основой для развития кормовой базы животноводства.

Замена традиционного сахара (сахарозы) на фруктозу, помимо экономической выгоды (фруктоза слаще сахарозы в 1.6 раза), имеет существенное медико-биологическое значение из-за большого целебного действия этого сахара. На основе фруктанов сейчас проводится широкий комплекс научно-производственных работ для получения новых подсластителей.

Учреждения и специалисты Армении внесли весомый вклад в программу микробиологической переработки топинамбура для получения сахаристых продуктов, этанола и других биологически активных соединений. По инициативе Института микробиологии НАН Армении Правительство Армении приняло еще в 1987г. специальное постановление (27.05.87г., № 353) с утверждением программы научно-технических и промышленных разработок по топинамбуру. В 1990г. в СССР была принята Всесоюзная программа "Топинамбур" по получению сахаристых и других продуктов на основе топинамбура, в которой важная роль по решению ряда ключевых проблем возлагалась на Институт микробиологии нашей Республики. Преемником этих работ явился Центр Депонирования Микробов НАН Армении, который выполнил большой объем работ по выделению перспективных продуцентов инулиназ и их практическому использованию для переработки клубней топинамбура. Необходимо подчеркнуть, что в Армении группой специалистов (С.В. и В.С. Априкяны, Р.Г. Елоян, С.Л. Арутюнян, Г.Г. Шекоян и др.) в течение многих лет изучались различные сорта топинамбура и перспективы его медико-биологического применения [1-3].

Интерес к топинамбуру, учитывая и перспективы его использования для получения альтернативного топлива, все более возрастает и расширяется. В этом плане топинамбур рассматривается и как стратегический ресурс России [9]. Основополагающее значение для успешной реализации данной программы имеет правильный выбор и получение новых продуктивных по инулину сортов, их районирование, разработка рациональной агротехники возделывания в различных эколого-географических условиях. В этой области в России, на Украине и других странах СНГ накоплен огромный фактический материал, и его использование представляет большое практическое значение. Данная статья подытоживает некоторые собственные данные в этой области.

Материал и методика. Анализировали клубни 26 сортов топинамбура, выращенных в Нижегородской области и любезно предоставленных В.И. Подобедовым. Клубни были

собраны 7-14 сентября 2006 г., хранились в холодильнике (-6°) и анализированы в начале января 2007г. Перед исследованиями клубни тщательно ошмывались, крошились в мисорубке, высушивались под вакуумом при 60° и растирались в ступке. Клубни с высоким содержанием воды после растирания и отделения жидкой фазы фильтрованием центрифугировались с дальнейшим отделением осадка и последующей его сушкой. Подробно описывались форма, величина и другие особенности клубней. Повторность анализа 3-кратная.

Извлечение сахаров из порошка клубней топинамбура осуществляли путем трехкратной спиртовой экстракции (80-82° этиловый спирт), к 100 мг навески добавляли 5 мл 82° этилового спирта, тщательно взбалтывали и помещали в водяную баню при $40-45^{\circ}$ на 15 мин, затем центрифугировали. Процедуру повторяли трижды.

Отобранную надосадочную жидкость выпаривали в вакуум роторном испарителе при $40-45^{\circ}$, осадок растворяли в 1 мл дистиллированной воды. Количество редуцирующих сахаров определяли методами (а) Шомоджи-Нельсона и по (б) тюрбарбитуровой кислоте (ТБК). К осадку добавляли 4 мл дистиллированной воды и кипятили в водяной бане в течение 2-х ч. Охлажденный раствор доводили до 5 мл, тщательно перемешивали и центрифугировали 10 мин, при 5000 об/мин. Гидролиз инулина проводили отбором 2 мл фугата и добавлением к нему 0,1 мл 10% соляной кислоты с последующим нагреванием в течение одного часа с обратным холодильником.

(а) Гидролизованную пробу разбавляли в 1000 раз, откуда для анализа отбирали 1 мл, добавляли 1 мл раствора Шомоджи и кипятили в кипящей водяной бане в течение 15 мин, затем охлаждали, добавляли 1 мл раствора Нельсона и 2 мл дистиллированной воды. Измерения проводили на спектрофотометре СФ-26 при 520 нм.

(б) Для определения количества фруктозы по ТБК объем гидролизованной пробы доводили до 4 мл, откуда отбирали 0,1 мл и разбавляли в 100 раз. В опыте использовался 1 мл пробы, при добавлении 1 мл соляной кислоты и 1 мл 0,02 М ТБК. Смесь размешивали и кипятили в течение 6 мин в кипящей водяной бане. Измерения проводили на спектрофотометре СФ-26 при 432,5 нм.

Расчет количества инулина проводили по следующей формуле:

$$X = \frac{V_1 \times V_2 \times a \times 100 \times 0,9}{c \times I \times V_3}$$

где V_1 - первоначальный объем экстракта, мл; V_2 - объем гидролизата после гидролиза, мл; V_3 - объем отобранной пробы для определения сахара, мл; I - объем отобранного экстракта для гидролиза, мл; c - навеска исследуемого вещества, мг; a - количество сахара, найденное в пробе после гидролиза, мг; 0,9 - коэффициент пересчета фруктозы в инулин.

Результаты и обсуждение. Топинамбур как нетрадиционная сельскохозяйственная культура был известен сотни лет и возделывался в основном для кормовых целей, хотя в ряде стран имеется опыт использования его клубней для замены сахара, а также в лечебных целях при некоторых пищевых расстройствах. Работы по выведению новых сортов (культурваров) и условий их возделывания ставили основной целью получение высокоурожайных по зеленой массе и клубням разновидностей топинамбура. К сожалению, подобный неправильный подход отмечается и сейчас, когда топинамбур становится «индустриальной» сельскохозяйственной культурой с ведущей значимостью содержания и выхода инулина, а не валового сбора урожая топинамбура.

Перелом в этой области и новая реориентация на выход инулина наметились в 70-ые годы прошлого века после известных работ Института с/х исследования в Лондоне, Канаде, и последовавших широкомасштабных работ во Франции, США, Нидерландах, Германии и некоторых других странах по изучению и применению микробных инулиназ для переработки клубней топинамбура и получения сахаристых продуктов и этанола.

СОДЕРЖАНИЕ ИНУЛИНА В КЛУБНЯХ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ТОПИНАМБУРА

Таблица 1 Содержание инулина и свободных сахаров в клубнях разных сортов топинамбура (на нативный вес клубня, %)

Сорт	Клубни: характеристика, размеры, см	Содержание инулина, %		Редуцирующие сахара, %
		по ТБК	по Шомолдзи-Нельсону	
Скороспелка 1 ярус №1	Клубни округлые неправильной формы, 4-6x2-4	9.6	7.9	3.1
Мичуринский 1 ярус №4	Основной стolon крупный, прилаточные клубни округлые, 3-4x1-2	20.06	19.74	3.4
Далифуртал, Норвегия 2 ярус №1	Клубни удлиненные, 4-5x2-3	30.2	29.31	5.4
Блак 1 ярус №5	Основной стolon крупный, прилаточные клубни мелкие, 1-3x1-3	22.5	21.3	4.4
Интерес-21 2 ярус №4	Клубни продолговатые, 4-6x1-3	27.9	21.38	6.1
Виллардский 1 ярус №8	Основной стolon выражен, клубни продолговатые, неправильной формы, 4-5x1-2	21	15.62	4.2
Фаворит, клон, Германия 1 ярус №2	Основной стolon крупный, грушевидный, 1-3x2-3	9.8	8.06	3.4
Киевский белый 2 ярус №8	Основной стolon средней величины, перпендикулярно расположенные клубни, чешуйчатые, удлиненные, веретенообразные, 2-5x1-3	19.6	16.45	2.6
Урожайный 1 ярус №7	Клубни неправильной формы, шероховатые, изрезанные, 2-5x2-4	14.5	13.16	3.4
Скороспелка	Основной стolon грушевидный. Клубни округлые, слабо чешуйчатые, радиально борозчатые, 2-5x2-4	16.9	13.16	3.4
Гигант, клон, Германия 1 ярус №3	Клубни грушевидные, чешуйчатые, 2-4x1-3	18.9	15.6	3.8
Находка 1 ярус №6	Клубни продолговатые к кону заостренные, 4-5x1-2	12.0	9.9	4.1
Смесь сортов, Беларусь 2 ярус №13	Клубни удлиненные, конусообразные, чешуйчатые, 4-5x1-3	23.3	22.4	4.1
Венгерский 2 ярус №10	Стержневой корень, сегментированный, длинный, местами утолщенный, 10-25x1 Клубней нет.	28.9	26.32	2.4
Лола 1 ярус №9	Здесь и далее анализирован сухой препарат клубней	21.9	18.1	3.1
Смесь сортов 1 ярус №16		18.9	22.6	4.2
Новость, ВНР 2 ярус №2		27.9	21.38	6.1
Великан 2 ярус №1		24.5	19.5	4.4
Отборная форма 2 ярус №5		25.1	23.03	6.1
Находка, Госре- естр, 2 ярус №6		25.1	19.74	4.2
Валон 2 ярус №9		9.8	8.8	3.4
Лола, Германия 2 ярус №11		21.1	14.3	2.6
Смесь сортов 2 ярус №12		14.5	13.16	3.4
Гном 2 ярус №15		12.83	14.1	2.6
Егерский 2 ярус №17		20.6	15.29	3.8

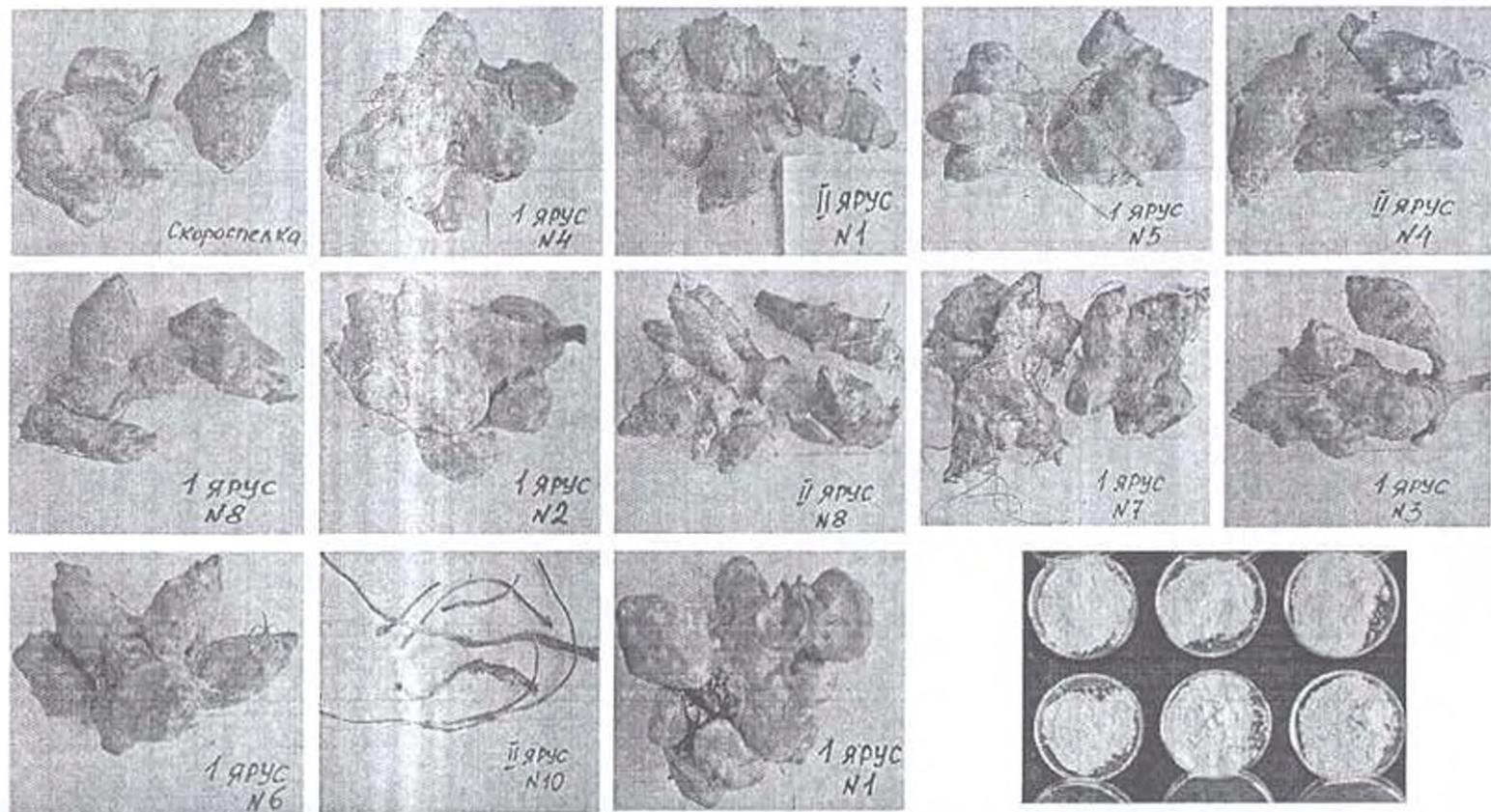


Рис. 1. Формы клубней изученных сортов топинамбура (уменьшение 7 х, см. таблицу 1).

Сводные данные о содержании инулина и редуцирующих сахаров в клубнях 26 сортов топинамбура обобщены в таблице 1. Основная часть сортов представлена таковыми, используемыми в России и Украине и характеризующимися высоким содержанием инулина.

Клубни сорта «Скороспелка» по содержанию инулина могут быть охарактеризованы как перспективные, в варианте этого сорта (1 ярус N1) отмечено его значительно низкое содержание в клубнях, что по-видимому вызвано гидролизом его в период хранения у нас, в лаборатории. Исключительно высокое содержание инулина выявлено в клубнях сорта «Дадифутрал» (Норвегия), в пределах 30% на нативный вес. Указанный сорт может быть предметом выбора и широкого внедрения, при высокой урожайности клубней в определенных эколого-географических условиях. Подобное высокое содержание инулина обнаружилось нами в наших ранних исследованиях у французских сортов «Violet de Rennes» и «Fuscau-60», 20-28% соответственно.

Среди исследованных сортов топинамбура используемых в СНГ, выделяются «Интерес -21» (28%), «Мицуринский» (20%), «Бланк» (22%), «Киевский белый» (20%), «Новость, ВИР» (28%), «Великан» (24%), «Отборная форма» (28%), «Находка» (25%). Следует отметить также высокое содержание инулина в стержневом корне у сорта «Венгерский» (29%), однако обследованный нами материал клубней не содержал. Сорт «Фаворит, Германия» (основной столовый) характеризовался низким содержанием инулина (10%), однако сорт «Лола, Германия» выделялся достаточно высоким его содержанием (21%).

На рис. 1 представлены клубни изученных сортов топинамбура. Из исследованных сортов топинамбура наиболее технологически приемлемыми по форме клубней мы считаем сорта «Интерес-21» и «Новость, ВИР». Среди изученных иностранных сортов выделяется «Fuscau-60» (Франция) правильными формами клубней, позволяющими эффективную их отмычку от почвы и дальнейшую переработку.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цирицян С.С., Цирицян Ч.С.* Ազրարտ, գրողություն և արտադրություն Երևան, 5, 50-65, 1990.
2. *Цирицян С.С., Егнян Н.З., Цирицян Ч.С., Зартирцянյան Ա.Ա., Շեկոյան Գ.Գ.* Հայաստանի կենսաբան. հանդես. 1-2 (54), 2003.
3. *Егнян Н.З., Цирицян С.С., Շեկոյան Գ.Գ.* Գեոբուստանձ, Երևան, 124 էջ, 2007 (տպագրության մեջ):
4. *Антоян Л.Г., Балаян А.М., Африкян Э.Г.* Докл. НАН Армении, 2 (105), 165-169, 2005.
5. *Балаян А.М., Манукян Л.С., Абеян В.А., Африкян Э.К.* Биолог. журн. Армении. 59, 3-4, 283-287, 2007.
6. *Голубев В.И., Пасько Н.М., Волкова И.В.* Ж-л "Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья", N 5, 41-45, 1995.
7. *Зеленков В.Н.* Культура топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) – перспективный источник сырья для производства продукции с лечебно-

- профилактическими свойствами, Автореф. докт. дисс. 53 с., 1999.
8. *Зимин В.С.* Экономическая эффективность механизации возделывания и переработки топинамбура. Автореф. канд. дисс. 19 с., 1997.
 9. *Сумин Ю.А.* Программа "Топинамбур" - стратегический ресурс России. *Наша власть.* N 3 (61). 42-43, 2006.
 10. *Fuchs A.* Perspectives of inulin and inulin-containing crops in the Netherlands and in Europe. Proceedings of 3rd Seminar on Inulin. NRLO Report N 90/128, 80-111, 1989.
 11. *Fuchs A. (Ed.)* Inulin and inulin-containing crops. Elsevier Sci. Publ., The Netherlands, 418pp., 1993.

Поступила 03.XII.2007