

УДК 631.243

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУШКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЭНЕРГОПОДВОДА*

Н.С.ЛЕВИНА,
ст. науч. сотр.,

Т.А.КОНДРАТОВА,
инженер,

И.А.БИДЕЙ,
инженер

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, vim@vim.ru, Москва, Российская Федерация

Топинамбур – ценная овощная, кормовая и лечебная культура. В нем около 80 процентов содержания сухих веществ представлены лечебным препаратом инулин. Наиболее эффективным методом сохранения клубней считается сушка. Исследовали влияние конвективного, инфракрасного и микроволнового способов сушки клубней топинамбура на содержание общих и редуцирующих сахаров, а также энергозатратность этих методов. Конвективную сушку клубней проводили на лабораторной установке при температуре 60 градусов Цельсия. Для инфракрасной сушки клубней использовали установку FD-230 (Япония). Сушку под действием микроволнового излучения осуществляли в СВЧ-установке VT-1650 мощностью 140 Вт при нагреве не выше 60 градусов. Установили, что к недостаткам конвективного способа сушки относятся высокие удельные энергозатраты, составляющие 1,6-2,5 киловатт-час на килограмм, большие потери тепла. В ходе инфракрасной сушки удаление влаги возможно при невысокой температуре испаренной влаги (40-60 градусов Цельсия), что позволяет сохранить естественный цвет, вкус и аромат, а также витамины, биологически активные вещества на уровне 80-90 процентов от исходного сырья. Эта технология позволяет практически на 100 процентов использовать подведенную энергию и получать высокие значения КПД. При микроволновом методе сушки разогрев происходит во всем объеме продукта. Ограничением этого метода стал относительно низкий КПД (60 процентов) преобразования энергии электрического тока в энергию СВЧ поля. В этой связи целесообразно применение микроволнового оборудования при влажности ниже 50 процентов.

Ключевые слова: клубни топинамбура, содержание сахара, инулин, сушка, влажосъем.

Ценность топинамбура как овощной, кормовой, лечебной и технической культуры обусловлена его уникальным химическим составом. В клубнях содержится до 20% сухих веществ, среди которых белки, витамины, пектины, органические кислоты, жизненно важные микроэлементы – железо, магний, кальций, калий, натрий [1]. Около 80% от общего содержания сухих веществ приходится на долю высокоценного лечебного препарата – инулина, полимерного гомолога фруктозы.

Высокое содержание влаги в клубнях топинамбура (до 85%) и сахаров, тонкий пробковый слой на их поверхности характеризуют его как скоропортящийся продукт [2]. Потери клубней при хранении могут достигать 50% [3]. Главной целью технологической переработки клубней топинамбура является по-

лучение конечного продукта высокого качества с сохранением в нем всех биологически активных веществ, присутствующих в исходном материале, и с длительным сроком его хранения.

Один из наиболее эффективных методов сохранения клубней, отвечающих предъявленным требованиям, – сушка. Известно большое количество способов сушки растительных материалов: сублимационная, конвективная, импульсно-конвективная, инфракрасная, микроволновая, акустическая, кондуктивная и др. [4-5]. Выбор оптимального способа сушки определяется природой материала, его физико-химическими свойствами и требованиями к качеству готовой продукции. Перед практическим использованием того или иного способа обезвоживания высоковлажного растительного материала необходи-

*Статья подготовлена в рамках выполнения Программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» Государственного контракта № 243/19 от 18 февраля 2014 года. Договор № 15/03-2014 от 17 марта 2014 года.

ма информация о влиянии применяемого метода на качественные показатели конечного продукта.

Цель исследований – изучение влияния конвективного, инфракрасного и микроволнового способов сушки на содержание общих и редуцирующих сахаров в конечном продукте и на их энергозатратность.

Материалы и методы. Объектом исследования стали клубни топинамбура, предварительно вымытые, очищенные от столонов и корней, нарезанные на кубики размером 6х6х6 мм, прошедшие бланшировку при температуре 90°C в течение 2 мин и обработанные 0,1% раствором бисульфита натрия в течение 2 мин. Для удаления свободной влаги кубики выдерживались при комнатной температуре в течение 40 мин.

Исходный образец нарезанных клубней топинамбура влажностью 83,6% был разделен на три одинаковые по массе пробы для дальнейшего их обезвоживания при температуре 60°C.

Конвективную сушку проводили на лабораторной установке при заданной температуре агента сушки 60°C до влажности конечного продукта не более 13%. Скорость агента сушки поддерживали на уровне $0,5 \pm 0,05$ м/с. Для инфракрасной сушки клубней использовали установку FD-230 (Япония), обеспечивающую автоматическое поддержание заданной температуры 60°C. Сушку под действием микроволнового излучения проводили в СВЧ-установке VT-1650 с заданной мощностью 140 Вт, что соответствовало температуре нагрева 60°C.

Во всех трех опытах нарезанные кубики топинамбура находились в монослое. Каждые 10 мин измеряли убыль массы высушиваемого материала. Кинетические характеристики сушки рассчитывали после определения содержания сухих веществ в конечном продукте.

Содержание общих и редуцирующих сахаров в вытяжках из исходного образца и обезвоженных проб изучали колориметрическим методом, основанным на реакции избытка гексацианоферрата калия с редуцирующими сахарами, с использованием фотоэлектрического колориметра КФК-2. Пробы предварительно измельчали, растворяли и осаждали из полученных растворов мешающие вещества.

Для определения содержания общих сахаров проводили их предварительный гидролиз 1М-раствором соляной кислоты.

Оптическую плотность измеряли в кювете длиной 10 мм при длине волны $\lambda = 440$ нм. Все вычисления, а также пересчет концентраций сахаров по фруктозе и содержанию инулина проводили при помощи предварительно построенного градуировочного графика и по расчетным формулам согласно методике [6].

Результаты и обсуждение. На основании проведенных экспериментальных исследований получены кривые изменения влажности и скорости сушки

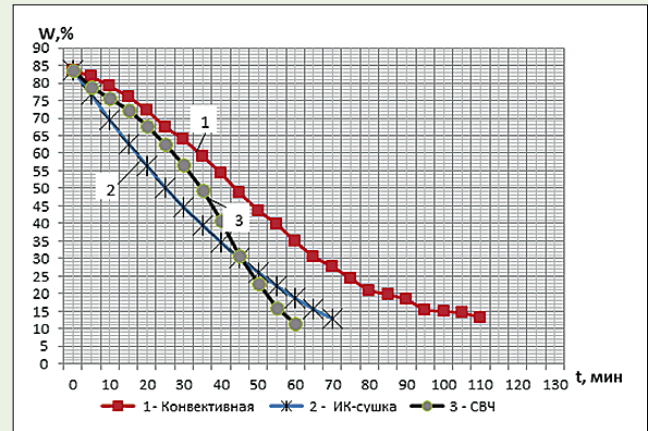


Рис. 1. Изменение влажности при сушке клубней топинамбура

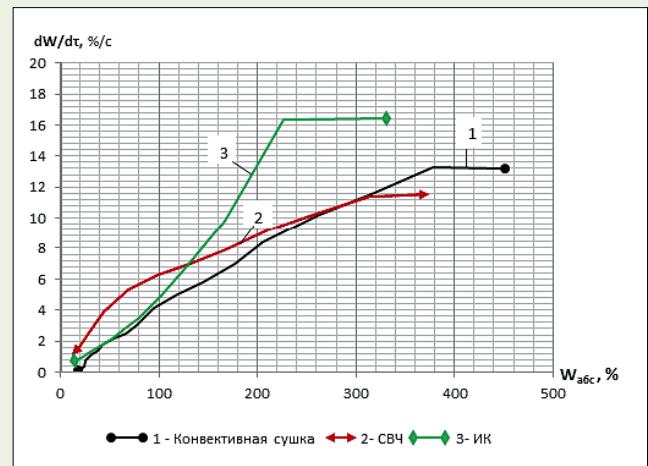


Рис. 2 Скорость сушки клубней топинамбура

ки при различных способах обезвоживания клубней топинамбура (рис. 1, 2).

При конвективной сушке можно выделить три периода: нагрева, постоянной и падающей скорости. Причем довольно длительные периоды прогрева и падающей скорости, существенно влияют на продолжительность процесса сушки.

При сушке клубней в поле инфракрасного излучения первый период практически отсутствует, а период постоянной скорости существенно короче, по сравнению с конвективной сушкой, и длительность сушки ниже.

При сушке микроволновым излучением высокой частоты период прогрева по длительности занимает промежуточное положение между конвективной и ИК-сушкой. Период постоянной скорости наименьший. Величина скорости сушки в период падающей скорости существенно выше.

Анализ полученных результатов показал, что при конвективном способе процесс сушки был наи-

Таблица

СОДЕРЖАНИЕ ИНУЛИНА И РЕДУЦИРУЮЩИХ САХАРОВ В КЛУБНЯХ ТОПИНАМБУРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ СУШКИ (В ПЕРЕСЧЕТЕ НА СУХОЕ ВЕЩЕСТВО)

Способы сушки	Содержание редуцирующих сахаров, в т.ч. инулина, %		Содержание редуцирующих сахаров, %		Затраты энергии, кВт·ч/кг исп. влаги
	до сушки	после сушки	до сушки	после сушки	
Конвективный	13	8,5	2,3	3,1	1,4
СВЧ	13	9,2	2,3	0,5	2,2
ИК	13	10,6	2,3	0,2	1,8

более длительным (112 мин). Длительность процесса сушки ИК- и СВЧ-способом значительно ниже – 72 и 62 мин соответственно.

Результаты анализа различных способов обезвоживания клубней с исходной влажностью 83,6% и проб с конечной влажностью, равной 13%, а также удельные затраты на сушку приведены в *таблице*.

Анализ полученных результатов показал, что способы термообработки оказывают влияние на содержание в клубнях топинамбура инулина и редуцирующих сахаров. Из исследуемых способов сушки наименьшее снижение содержания инулина (на 2,4%) наблюдалось при инфракрасном способе сушки. Наиболее энергозатратной из исследуемых способов сушки оказалась микроволновая технология сушки.

Выводы. При переработке таких высоковлажных и биологически ценных пищевых продуктов, как клубни топинамбура, необходимо уделять особое внимание стабилизации и сохранению в них

биологически активных компонентов на стадии термической обработки.

Проведенные исследования способов сушки топинамбура показали эффективность применения инфракрасной сушки, способствующей интенсивному и равномерному испарению влаги с минимальным распадом полисахаридов. При этом энергозатраты на данный способ сушки составили 1,8 кВт·ч/кг испаренной влаги. По содержанию редуцирующих сахаров и инулина в конечном продукте длительность процесса микроволнового способа сушки приближается к инфракрасному, однако отличается значительно большей энергозатратностью – 2,2 кВт·ч/кг испаренной влаги.

При конвективной сушке клубней топинамбура величина удельных энергозатрат на 0,4кВт·ч/кг испаренной влаги ниже, чем при ИК-сушке.

Однако содержание инулина в конечном продукте снизилось на значительную величину, равную 4,5%.

Литература

1. Кахана Б.М., Арасимович В.В. Биохимия топинамбура. – Кишинев: Штинца, 1974. – 79 с.
2. Зеленков В.Н., Шаин С. Многоликий топинамбур в прошлом и настоящем. – Новгород: Арис, 2000. – 241 с.
3. Хрипко И.А. Разработка технологии низкотемпературного консервирования топинамбура для производства продуктов функционального питания: Дисс... канд. техн. наук. – Краснодар, 2005. – 202 с.
4. Голубкович А.В., Евтюшенков Н.Е., Павлов С.А., Крюков М.Л. Моделирование процессов сушки в перемешиваемом слое семян // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуаль-

ных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 287-289.

5. Голубкович А.В., Павлов С.А., Чижиков А.Г. Кинетика кондуктивной сушки растительных материалов с фазовыми превращениями // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2013. – С. 64-68.

6. Тутельян В.А., Эллер К.И., Алешко-Ожеский Ю.П. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 240 с.

References

1. Kakhana B.M., Arasimovich V.V. Biokhimiya topinambura [Topinambur biochemistry]. Kishinev: Shtinitsa, 1974, 79 pp. (Russian).
2. Zelenkov, V.N., Shain S. Mnogolikiy topinambur v proshlom i nastoyashchem [Many-sided topinambur

in the past and at present]. Novgorod: Aris, 2000, 241 pp. (Russian).

3. Khripko I.A. Razrabotka tekhnologii nizkotemperaturnogo konservirovaniya topinambura dlya proizvodstva produktov funktsional'nogo pitaniya [Development of technology of low-temperature topinambur

conservation for functional nutrition products production]: Dis. kand. tekhn. nauk. Krasnodar, 2005, 202 pp. (Russian).

4. Golubkovich A. V., Evtushenkov N. E., Pavlov S. A., Kryukov M. L. Modelirovanie protsessov sushki v peremeshivaemom sloe semyan [Modeling of drying processes in the mixed layer of seeds]. Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2014. pp. 287-289 (Russian).

5. Golubkovich A. V., Pavlov S. A., Chizhikov A. G. Kinetika konduktivnoy sushki rastitel'nykh materialov

s fazovymi prevrashcheniyami [Kinetics of conductive drying of plant materials with phase transformations]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2013. pp. 64-68 (Russian).

6. Tutel'yan V. A., Eller K. I., Aleshko-Ozhevskiy Yu. P. Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche [Guidance on methods of quality control and safety of dietary supplements to food]. Moscow: Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 240 pp. (Russian).

RESEARCH OF PROCESS OF TOPINAMBUR TUBERS DRYING AT VARIOUS WAYS OF A POWER SUPPLY

Levina N.S., Kondratova T.A., Bidey I.A., All-Russian Research Institute of Mechanization for Agriculture, e-mail: vim@vim.ru, Moscow, Russian Federation

Topinambur is a valuable vegetable, fodder and medical crop. A medical preparation inulin is contained in it and reach about 80 percent of the dry matter content. Drying is considered as the most effective method of preservation of tubers. Influence of convective, infrared and microwave topinambur tubers drying ways on the content of the total and reducing sugars, and also energy consumption of these methods is investigated. Convective drying of tubers was carried out on laboratory machine at a temperature of 60 degrees Celsius. The FD-230 facility (Japan) was used for infrared drying of tubers. Drying under the influence of microwave radiation was carried out in the microwave machine VT-1650 with a power of 140 W at heating by not higher than 60 degrees. It is established that high specific energy consumption, worked out 1.6-2.5 kilowatt-hour per kilogram, big heat losses belong to shortcomings of a convective drying. During infrared drying moisture removal is possibly at a low temperature (40-60 degrees Celsius) that enables to keep natural color, taste and aroma, and also vitamins, biologically active agents at the level of 80-90 percent from initial raw materials. This technology renders possible to use practically for 100 percent the delivered energy and to get high efficiency. At a microwave drying method the warming up occurs in all volume of a product. Rather low efficiency (60 percent) of transformation of energy of electric current to energy of the microwave field became limitation of this method. In this regard use of the microwave equipment is effectually at humidity lower than 50 percent.

Keywords: Topinambur tubers; Sugar content; Inulin; Drying; Moisture removal.

ВНИМАНИЮ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ

Согласно приказу Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Министерства образования и науки Российской Федерации диссертационному совету Д 006. 020. 01 Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (ВИМ) разрешено проводить защиту диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук по специальностям:

05.20.01 - технология и средства механизации сельского хозяйства (технические науки);

05.13.06 - автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (сельское хозяйство, технические науки).