



jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ ЖУРНАЛ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1726-817X

информационные технологии

інформаційні технології

information
technologies

новая экономика

нова економіка

new economy

промышленные технологии

промислові технології

industrial
applications

6/10(72)

2014

<http://rks.kh.ua>

- Экология
- Технологии и оборудование пищевых производств

6/10 (72) 2014

Содержание

ЭКОЛОГИЯ

- 4 Ущільнення та зневоднення червоного шламу під дією електричного поля
О. В. Різгонова, В. І. Сокольник
- 8 Розробка біоцентрично-мережевої структури екологічної мережі міста Вінниця з використанням геоінформаційних технологій
Є. М. Кішановський, А. В. Нагорна
- 13 Импульсный инфразвуковой сигнал, производимый ветроэнергетической установкой. Принципы оценки
Н. А. Афанасьева, Л. Д. Пляцук, Л. Г. Филатов, И. А. Трунова
- 20 Дослідження нітратного забруднення гідросфери у трансграничному районі басейну Сіверсько-Донецького
Ю. Ю. Ісавна, В. В. Яковлев, Д. В. Дядін, Ю. І. Вергелес, А. В. Чистикова, І. О. Жидких
- 27 Безпечність застосування поліетилентерефталатової (ПЕТ) упаковки у виробництві рослинних олій
І. В. Левчук, В. А. Кіщенко, М. І. Осейко, В. К. Тимченко, К. В. Куниця
- 32 Dynamic bayesian modelling for radionuclide soil-to-plant transfer
I. Zagirska, P. Bidyuk, D. Levin

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- 38 Дослідження амінокислотного складу напівкопчених ковбас з використанням сочевиці, ялівцю та чебрецю
І. І. Маркович
- 44 Використання емульгаторів у технологіях м'ясних продуктів
Н. В. Мурликін, М. О. Янчева
- 50 Розробка технології білкової захисної емульсії для м'яса птиці механічного обвалювання
В. М. Онищенко, Н. Г. Гринченко, В. А. Большакова
- 54 Розробка нанотехнології дрібнодисперсних добавок з використанням кріомеханічної модифікації
Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, О. С. Бессараб, К. С. Балабай, А. О. Борисова, С. М. Лосєва
- 59 Разработка функциональных оздоровительных нанонапитков на основе молочной сыворотки
Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, Т. С. Абрамова, А. А. Берестовая, С. М. Лосева
- 65 Abstract&References

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Бойник Анатолий Борисович

д. т. н., профессор, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (Украина)

Терзиян Ваган Яковлевич

д. т. н., профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники (Украина)

профессор Университета Ювяскюля (Финляндия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Бойник А. Б., д. т. н., проф., Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков (Украина); **Бутко Т. В.**, д. т. н., проф., Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков (Украина); **Годлевский М. Д.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина); **Cardoso Jorge**, Professor of University of Coimbra, Faculty of Science and Technology, Coimbra (Portugal); **Omelayenko Borys**, PhD, Senior Software Engineer at Elsevier Amsterdam Area, Amsterdam (Netherlands); **Rab Nawaz Lodhi**, PhD, COMSATS Institute of Information Technology Sahiwal Campus (Pakistan); **Рыбак Л. А.**, д. т. н., проф., Старооскольский технологический институт, Старый Оскол (Россия); **Самсонкин В. Н.**, д. т. н., проф., Государственный научно-исследовательский центр железнодорожного транспорта Украины, Киев (Украина); **Соболев Ю. В.**, д. т. н., проф., Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков (Украина); **Terziyan Vagan**, Professor of University of Jyväskylä, Department of Mathematical Information Technology, Jyväskylä (Finland); **Фурман И. А.**, д. т. н., проф., Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства, Харьков (Украина); **Jakab Frantisek**, Assoc. professor of Technical University of Kosice, Department of Computers and Informatics, Kosice (Slovak Republic)

МАТЕМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА – ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Ahmad Izhar, Associate Professor of King Fahd University of Petroleum and Minerals, Department of Mathematics and Statistics, Dhahran (Saudi Arabia); **Weber Gerhard Wilhelm**, Professor of Middle East Technical University, Institute of Applied Mathematics, Ankara (Turkey); **Дёмин Д. А.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», директор ЧП «Технологический Центр», Харьков (Украина); **Зельк Я. И.**, д. т. н., ведущий научный сотрудник, Институт космических исследований Национальной академии наук Украины и Государственное космическое агентство Украины, Киев (Украина); **Тевяшев А. Д.**, д. т. н., проф., Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, Харьков (Украина); **Trujillo Juan J.**, Professor of Universidad de la Laguna, Faculty of Mathematics, San Cristobal de La Laguna (Spain)

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Andrianov Igor, Professor of RWTH Aachen University, Department of General Mechanics, Aachen, (Germany); **Дудников А. А.**, к. т. н., профессор, Полтавская государственная аграрная академия, Полтава (Украина); **Львов Г. И.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, (Украина); **Machado Jose Antonio Tenreiro**, Professor of Polytechnic of Porto, Institute of Engineering, Department of Electrical Engineering, (Portugal); **Пермяков А. А.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина); **Подригало М. А.**, д. т. н., проф., Харьковский Национальный автодорожный технический университет, Харьков (Украина); **Самородов В. Б.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина)

ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА

Гламаздин А. В., к. ф.-м. н., старший научный сотрудник, Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков (Украина); **Марьянчук П. Д.**, д. ф.-м. н., проф., Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы (Украина); **Новосядлый С. П.**, д. т. н., проф., Прикарпатский национальный университет им. Василия Стефаника, Ивано-Франковск (Украина); **Соболь О. В.**, д. ф.-м. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина); **Стариков В. В.**, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина)

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Вахула Я. И., д. т. н., проф., Национальный университет «Львівська політехніка», Львов (Украина); **Arvaidas Galdikas**, Professor Kaunas University of Technology, Department of Physics, Kaunas (Lithuania); **Гликин М. А.**, д. т. н., проф., Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Северодонецк, (Украина); **Капустин А. Е.**, д. х. н., проф., Приазовский государственный технический университет, Мариуполь (Украина); **Carda Juan B.**, Professor of Universidad Jaume I, Department of Inorganic Chemistry, Castellon de la Plana (Spain); **Кондратов С. А.**, д. х. н., проф., Институт химических технологий Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, Луганск (Украина); **Чумак В. Л.**, д. х. н., проф., Национальный авиационный университет, г. Киев, (Украина)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Данько В. Г., д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина); **Клименко Б. В.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков (Украина); **Sutikno Tole**, Professor of Universitas Ahmad Dahlan, Department of Electrical Engineering, Yogyakarta (Indonesia); **Терещенко Т. А.**, д. т. н., проф., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев (Украина)

EDITOR IN CHIEF

Boynyk Anatoly

PhD, Professor of Ukrainian State Academy of Railway Transport (Ukraine);

Terziyan Vagan

PhD, Professor of Kharkov National University of Radioelectronics (Ukraine)

Professor of the University of Jyväskylä (Finland)

EDITORIAL BOARD

COMPUTER SCIENCE

Boynyk Anatoly, Professor of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Department of Automation and Computer telecontrol traffic, Kharkov (Ukraine); **Butko Tatiana**, Professor of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Department of operational work and international transportation, Kharkov (Ukraine); **Cardoso Jorge**, Professor of University of Coimbra, Faculty of Science and Technology, Coimbra (Portugal); **Furman Illya**, Professor of Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Department of Agricultural Mechanization, Kharkov (Ukraine); **Hodlyevskiy Mykhailo**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Automated Control Systems, Kharkov (Ukraine); **Jakab Frantisek**, Assoc. professor of Technical University of Kosice, Department of Computers and Informatics, Kosice (Slovak Republic); **Omelayenko Borys**, PhD, Senior Software Engineer at Elsevier Amsterdam Area, Amsterdam (Netherlands); **Rab Nawaz Lodhi**, PhD, COMSATS Institute of Information Technology Sahiwal Campus (Pakistan); **Rybak Larisa**, Professor of Staroskol Institute of Technology, Department of Automation and Industrial Electronics, Sary Oskol (Russia); **Samsonkin Valery**, Professor, Director of the State Research Center Railway Transport of Ukraine, Kyiv (Ukraine); **Sobolev Yuriy**, Professor, Advisor to the Rector of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov (Ukraine); **Terziyan Vagan**, Professor of University of Jyväskylä, Department of Mathematical Information Technology, Jyväskylä (Finland)

MATHEMATICS

Ahmad Izhar, Associate Professor of King Fahd University of Petroleum and Minerals, Department of Mathematics and Statistics, Dhahran (Saudi Arabia); **Demin Dmitriy**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», director of the Private Company «Technology Centers», Kharkov (Ukraine); **Teviashev Andrew**, Professor of Kharkov National University of Radioelectronics, Department of Applied Mathematics, Kharkov (Ukraine); **Trujillo Juan J.**, Professor of Universidad de la Laguna, Faculty of Mathematics, San Cristobal de La Laguna (Spain); **Weber Gerhard Wilhelm**, Professor of Middle East Technical University, Institute of Applied Mathematics, Ankara (Turkey); **Zyelyk Yarema**, Leading Researcher of Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine and National Space Agency of Ukraine, Kyiv (Ukraine)

ENGINEERING

Andrianov Igor, Professor of RWTH Aachen University, Department of General Mechanics, Aachen, (Germany); **Dudnikov Anatoly**, Professor of Poltava State Agrarian Academy, Department of the Repair machines and technology of constructional materials, Poltava (Ukraine); **Lvov Hennadiy**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Dynamics and Strength of Machines, Kharkov (Ukraine); **Machado José Antonio Tenreiro**, Professor of Polytechnic of Porto, Institute of Engineering, Department of Electrical Engineering, (Portugal); **Permiakov Alexander**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Mechanical Engineering, Kharkov (Ukraine); **Podrigalo Mykhailo**, Professor of Kharkiv National Automobile and Highway University, Department of Mechanical Engineering Technologies and Repairs, Kharkov (Ukraine); **Samorodov Vadim**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Cars and Tractors, Kharkov (Ukraine)

APPLIED PHYSICS

Glamazdin Alexander, PhD, National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology», Kharkov (Ukraine); **Novosiadlyi Stepan**, Professor of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Department of Physics and Technology, (Ukraine); **Maryanchuk Pavlo**, Professor of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Department of Physics, (Ukraine); **Sobol Oleg**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Materials Science, Kharkov (Ukraine); **Starikov Vadim**, Senior Researcher of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Physics of metals and semiconductors, Kharkov (Ukraine)

MATERIALS SCIENCE, CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

Carda Juan B., Professor of Universidad Jaume I, Department of Inorganic Chemistry, Castellon de la Plana (Spain); **Chumak Vitaliy**, Professor of National Aviation University, Department of Chemistry and Chemical Engineering, Kyiv (Ukraine); **Galdikas Arvidas**, Professor of Kaunas University of Technology, Department of Physics, Kaunas (Lithuania); **Glikin Marat**, Professor of East-Ukrainian National University, Technological Institute, Department of Technology of organic substances, fuels, and polymers, Severodonetsk (Ukraine); **Kapustin Alexey**, Professor of Pryazovskyi State Technical University, Department of Chemistry, Mariupol (Ukraine); **Kondratov Sergey**, Professor of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, Department of Mathematics and Computer Science, Lugansk (Ukraine); **Vakhula Yaroslav**, Professor of Lviv Polytechnic National University, Department of Silicate Engineering, Lviv (Ukraine)

ENERGY

Danko Vladimir, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Electrical Engineering, Kharkov (Ukraine); **Klimenko Boris**, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Department of Electrical Apparatus, Kharkov (Ukraine); **Sutikno Tole**, Professor of Universitas Ahmad Dahlan, Department of Electrical Engineering, Yogyakarta (Indonesia); **Tereshchenko Tatiana**, Professor of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Department of Industrial Electronics, Kyiv (Ukraine)

Почетный редактор

И. Г. Филипенко

доктор технических наук, профессор
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

Учредители

ЧП «Технологический Центр»
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта

Адрес редакции и издательства:
ул. Шатилова дача, 4, г. Харьков,
Украина, 61145

ЧП «Технологический Центр»
Тел.: +38 (057) 750-89-90

E-mail: nauka@jet.com.ua

Сайт: <http://www.jet.com.ua>,
<http://journals.urau.ua/ejet>

Международная представленность и индексация журнала:

- Index Copernicus.
- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
- Ulrich's Periodicals Directory.
- DRIVER.
- Bielefeld Academic Search Engine (BASE).
- WorldCat.
- Electronic Journals Library.
- DOAJ.
- EBSCO.
- ResearchBib.
- American Chemical Society.

Подписка:

оформляется через подписные агентства
«Идея», «Периодика», «Меркурий»
или через редакцию

Формат 60 x 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Свидетельство о государственной регистрации журнала

КВ № 17140-5910 ПР от 17.09.2010

Аттестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины
Перечень № 12 постановления Президиума
БАК № 1-05.36 от 11.06.03

Постановлением Президиума БАК Украины
№ 1-05/2 от 27.05.2009, № 1-05/3 от 08.07.2009.
Бюллетень БАК Украины № 8, 2009

Приказом Министерства
образования и науки Украины
№ 793 от 04.07.2014

Рекомендовано

Ученым Советом
Украинской Государственной Академии
железнодорожного транспорта
протокол № 10 от 25.11.14 г.

Подписано в печать
11.12.2014 г.

УДК 621.59: 613.229:547.455.65

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.32607

РОЗРОБКА НАНОТЕХНОЛОГІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ДОБАВОК З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОМЕХАНІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ

Р. Ю. ПавлюкДоктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії
України, Заслужений діяч науки і техніки України*

E-mail: ktprom@mail.ru

В. В. ПогарськаДоктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України*

E-mail: ktprom@mail.ru

О. С. БессарабКандидат технічних наук, професор,
Заслужений працівник освіти УкраїниКафедра технології консервування
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

E-mail: tk_nuft@i.ua

К. С. Балабай*

E-mail: ktprom@mail.ru

А. О. Борисова

Доцент**

E-mail: inter-dep62@mail.ru

С. М. Лосєва*

E-mail: ktprom@mail.ru

*Кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока

Кафедра іноземних мов*

***Харківський державний університет харчування і торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

Запропоновано та розроблено нанотехнології дрібнодисперсних добавок із топинамбуру в формі замороженого пюре та порошку сублімаційного сушіння з використанням кріомеханічної модифікації шляхом застосування кріогенного "шокового" заморожування та низькотемпературного подрібнення, що дозволяє отримати добавки та продукти з рекордною кількістю фруктози та інших БАВ у вільному стані, які легко засвоюються організмом людини

Ключові слова: нанотехнології, "шокове" заморожування, низькотемпературне подрібнення, кріодеструкція, механоактивація, топинамбур, інουλін, добавки

Предложены и разработаны нанотехнологии мелкодисперсных добавок из топинамбура в форме замороженного пюре и порошка сублимационной сушки с использованием криомеханической модификации путем применения криогенного "шокового" замораживания и низкотемпературного измельчения, что позволяет получить добавки и продукты с рекордным количеством фруктозы и других БАВ в свободном состоянии, которые легко усваиваются организмом человека

Ключевые слова: нанотехнологии, "шоковое" замораживание, низкотемпературное измельчение, криодеструкция, механоактивация, топинамбур, инулин, добавки

1. Вступ

Робота присвячена розробці нанотехнології переробки інуліновмісної сировини – топинамбуру в дрібнодисперсні добавки в формі замороженого пюре та порошку з використанням кріомеханічної модифі-

кації шляхом застосування кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного подрібнення та виявлення закономірностей їх впливу на біополімер – інουλін та збереження БАВ. Заморожене пюре може використовуватись самостійно як добавка, а також як напівфабрикат при отриманні порошків

за допомогою сублімаційного або розпилювального сушіння.

Глобальною проблемою, яка в даний час спостерігається в усіх країнах світу є незбалансованість харчування і дефіцит в раціоні харчування повноцінних білків, вітамінів, мінеральних речовин і інших біологічно активних речовин (БАР), потреба в яких у населення України задовольняється всього на 50 %. Крім того, на всій Землі спостерігається зниження імунітету населення. У зв'язку з цим, у багатьох країнах світу користуються великою популярністю функціональні оздоровчі продукти харчування (особливо із фруктів та овочів, а також комбіновані молочно-рослинні продукти), які спрямовані на зміцнення здоров'я. Цій проблемі в даний час приділяється велика увага в роботах, як вітчизняних, так і закордонних вчених [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В останні роки в міжнародній практиці з'явилась низка БАД із топінамбуру у вигляді порошку, пюре, сиропів, екстрактів, борошна та інших, які використовуються для виготовлення функціональних оздоровчих продуктів. Особливістю топінамбуру, так само як і лікарської рослинної сировини, є те, що він має здатність здійснювати виражену терапевтичну або фармакологічну дію на організм людини. Це пов'язано з особливістю його хімічного складу. Він відрізняється високим вмістом інуліну (від 11 до 20 %), який побудований із залишків фруктози. До складу топінамбуру входять також мінеральні речовини, фенольні сполуки, як низькомолекулярні, так і високомолекулярні, різні полісахариди, білок та інші [2].

Інулінвмісна сировина займає особливе місце серед рослинної сировини, яка використовується для виготовлення функціональних оздоровчих продуктів [1, 3, 4]. В Україні традиційним джерелом інуліну є топінамбур та корінь цикорію. Інουλін є природним лінійним полісахаридом, основним структурним мономером якого є залишки фруктози, що з'єднані β -фруктозними зв'язками. Прийнято вважати, що при споживанні продуктів харчування, збагачених інулінвмісною сировиною, з'являється можливість знижувати загальне вуглеводне навантаження на організм людини, що призводить до зниження глікемічного індексу і калорійності та значно посилює їх біологічну цінність. Ступінь засвоюваності інуліну топінамбуру в організмі людини не до кінця ясний і сьогодні ведуться численні науково-дослідні роботи з поглиблення знань за цим питанням. Коротко зупинимось на деяких з них [5].

Відомо, що при споживанні топінамбуру у свіжому вигляді та переробленого (у формі порошоків, борошна, пюре, сиропу та інших), інулін й олігофруктози, які входять до його складу та збудовані із залишків фруктози, що зв'язані β -фруктозидними зв'язками, не розщеплюється ферментами організму людини (ні в шлунку, ні в тонкому кишковнику) до фруктози. Тому інулін проходить шлях від ротової порожнини до товстого кишковника практично мало зміненим. Цей факт був доказаний багатьма вченими різних країн світу [5]. Крім того, показано, що в товстому кишковнику інулін і олігофруктоза повністю під дією кишкових бактерій перетворюються, головним чином, в ЛЖК (оцтову,

пропіонову, масляну та молочну), бактеріальну біомасу та газ. При цьому, в товстому кишковнику спочатку під дією мікробних ферментів інулін перетворюється у фруктозу, яка в свою чергу є поживним середовищем для розмноження біфідобактерій та лактобацил. Тобто рослинний інулін мало засвоюється організмом людини. За даними інших вчених, інулін, потрапляючи в шлунково-кишковий тракт, не засвоюється, а в незначній кількості розщеплюється соляною кислотою та ферментами в кислому середовищі шлункового соку на короткі фруктозні ланцюжки та окремі молекули фруктози, яка залишилась нерозщепленою, потрапляють в кровоносне русло судин, а сам інулін швидко виводиться з організму, зв'язавши собою значну кількість непотрібних організму токсичних речовин, таких як важкі метали, кристали холестерину, радіонукліди, жирні кислоти, різні токсичні хімічні речовини та глюкозу. Відомо також, що існуючі технології переробки топінамбуру в різні добавки у формі порошоків, паст, борошна, пюре, екстрактів з використанням паротермічної обробки, сушіння, не дозволяють частину інуліну перетворити в легкозасвоювану фруктозу [6].

Останнім часом були отримані позитивні результати при обробці стружки топінамбуру ферментними препаратами при отриманні сиропу: 10–15 % інуліну трансформувалися у залишки фруктози. Але в міжнародній практиці ці методи переробки топінамбуру не знайшли належного застосування. При переробці топінамбуру в порошки, сиропи, пюре є ще одна значна проблема – це потемніння продукту в результаті дії окислювальних ферментів. Йде пошук таких технологічних прийомів, які б дозволили інактивувати окислювальні ферменти та отримати кінцеві продукти високої якості. Крім того, при використанні теплових методів обробки топінамбуру при отриманні різних продуктів із нього відбувається руйнування фруктози (від 10 до 20 %) [6].

Відомо, що найбільш ефективними способами переробки рослинної сировини при отриманні пюре є швидке «шокове» заморожування, яке забезпечує найбільш високе збереження вітамінів та інших БАР [1, 4]. Однак, при розморожуванні заморожених продуктів спостерігаються втрати клітинного соку і вітамінів, а гарантійні терміни зберігання замороженої продукції обмежені 6 місяцями. За кордоном широке застосування знайшло кріогенне «шокове» заморожування, тобто заморожування з застосуванням кріогенних рідин (рідкого азоту, рідкої вуглекислоти та ін.) [7, 8]. В Україні цей спосіб заморожування поки не знайшов свого застосування, не розроблені також кріогенні технології і не вивчені біохімічні та фізико-хімічні процеси при отриманні заморожених пюре. Аналіз даних літератури показав, що відсутні холодильні технології переробки топінамбуру (такі як кріогенне шокове заморожування, сублімаційне сушіння, кріогенне подрібнення) [1, 3, 4].

Відомо, що одним з іновативних напрямків розвитку науки і техніки в міжнародній практиці є застосування способів дрібнодисперсного подрібнення, що призводять до процесів механодеструкції (у тому числі кріодеструкції), механоактивації і механохімії, які проявляються при збільшенні ступеня дисперсності подрібнених матеріалів, в результаті чого продукт набуває нових властивостей і знаходиться в наноструктурованій формі. В даний час перспективні способи

дрібнодисперсного подрібнення вже знайшли широке застосування в металургійній, текстильній, авіаційній, хімічній, будівельній галузі та ін. У харчовій промисловості ці процеси практично не вивчені [3, 9, 10].

У даній роботі при розробці технології дрібнодисперсних заморожених добавок із топінамбуру в формі пюре та порошоків як інновацію було запропоновано використовувати «шокове» заморожування або кріогенне «шокове» заморожування і низькотемпературне дрібнодисперсне подрібнення, що супроводжується процесами кріодеструкції, механоактивації і механохімії. Комплексне використання дозволило розробити новий спосіб отримання консервованих добавок у формі дрібнодисперсного замороженого пюре та порошку з якісно новими, ніж у вихідній сировині, характеристиками та хімічним складом, які не можна отримати, використовуючи традиційні методи. Літературних даних щодо впливу низьких температур при заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні на БАР та інулін топінамбуру практично немає та вони носять суперечливий характер. Ця область харчових технологій при використанні низьких температур мало вивчена [1, 3, 4]. Технологія консервування та переробки плодів та овочів і, зокрема топінамбуру, традиційно більше присвячена впливу високих температур (пастеризації, стерилізації, теплового сушіння та інших) на якість рослинної сировини, збереження БАР та біополімерів. Проте, переваги заморожування та дрібнодисперсного подрібнення безумовні.

3. Мета і задачі досліджень

Метою роботи є розробка нанотехнології переробки інуліновмісної сировини – топінамбуру в дрібнодисперсні добавки з використанням кріомеханічної модифікації шляхом застосування кріогенного «шокового» заморожування і процесів кріомеханодеструкції та виявлення закономірностей їх впливу на біополімер інулін та збереження БАР при отриманні замороженого дрібнодисперсного пюре, яке може використовуватись як самостійно в якості добавки, так і як напівфабрикат при отриманні порошоків.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- вивчити вплив кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на біополімери: інулін, білки, целюлозу, пектин, їх механодеструкцію та ступінь трансформації їх в водорозчинну форму у вигляді їх мономерів при отриманні заморожених дрібнодисперсних добавок із топінамбуру;

- вивчити вплив кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на збереження БАР топінамбуру (низькомолекулярних фенольних сполук, L-аскорбінової кислоти та поліфенольних речовин) при отриманні замороженого пюре;

- дати порівняльну характеристику вмісту БАР та поживних речовин свіжого топінамбуру та заморожених дрібнодисперсних добавок в формі пюре із топінамбуру, отриманого з використанням розробленої нанотехнології;

- вивчити якість дрібнодисперсних порошоків із топінамбуру, отриманих за допомогою сублимаційного сушіння та з використанням замороженого пюре з нього, підготовленого з використанням кріомеханічної обробки.

4. Експериментальні дані та їх обробка при виконанні науково-дослідних робіт за напрямком, який розглядається в даній статті: розробка нанотехнології дрібнодисперсних добавок з використанням кріомеханічної модифікації

Харківським державним університетом харчування та торгівлі запропоновано та розроблено нанотехнології дрібнодисперсних добавок із топінамбуру в формі замороженого пюре та порошку сублимаційного сушіння з використанням кріомеханічної модифікації шляхом застосування кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного механічного подрібнення. Унікальна нова технологія дозволяє отримати добавки та продукти, які містять рекордну кількість фруктози у вільному стані: 50–55 % інуліну трансформується у фруктозу у вільному стані, яка легко засвоюється організмом людини та призводить до зниження глікемічного індексу і укріплення імунної системи. Дослідження проведено в ХДУХТ на кафедрі технологій переробки плодів, овочів і молока на базі 2-х науково-дослідних лабораторій, які є на кафедрі «Інноваційні, кріо- та нанотехнології рослинних добавок та оздоровчих продуктів» і «Технології та біохімії фітоконцентратів». Роботу виконано з використанням сучасного обладнання, такого як: кріогенний програмний заморозувач з комп'ютерним забезпеченням, низькотемпературний подрібнювач (Франція), кріогенний подрібнювач, біокулярний мікроскоп з програмним забезпеченням, відеокамерою та калібрувальною шкалою в мікрометровому та нанометровому діапазоні.

Наукові дослідження, які приведені в даній статті, є продовженням робіт авторів по розробці кріогенних технологій переробки різних фруктів та овочів і дрібнодисперсних добавок в формі заморожених пюре та порошоків, що увійшли в роботу, яка в 2006 році була удостоєна Державної премії в галузі науки і техніки України [3].

Головним при розробці нанотехнології дрібнодисперсних добавок із топінамбуру у формі замороженого пюре та порошку з використанням заморожування, кріодеструкції та механодеструкції було повністю виключити теплову обробку сировини, провести трансформацію інуліну у розчинну форму (у вільну фруктозу), інактивувати окислювальні ферменти, максимально зберегти БАР та збільшити максимально ступінь їх вилучення з сировини, а також повністю виключити використання синтетичних харчових добавок.

Установлено, що при «шоковому» заморожуванні з використанням різних швидкостей заморожування до різних кінцевих температур в продукті (–18; –20; –25; –30; –40° С) та при дрібнодисперсному подрібненні топінамбуру значна частина інуліну (50–55 %) трансформується в розчинну вільну фруктозу (її кількість збільшується в 9–10 разів по відношенню до вихідної фруктози в свіжому топінамбурі за рахунок неферментативного і некіслого руйнування β-фруктозних зв'язків в інуліні. Цей процес відбувається за рахунок механічного руйнування – механокрекінгу. Так, наприклад, у вихідній сировині – топінамбурі міститься 11,7–13,0 % інуліну, та після низькотемпературної обробки в пюре залишається 3,2–3,5 % інуліну, а 9–10 % його трансформується у вільну фруктозу (рис. 1).

Установлено, що паралельно відбувається деструкція і деградація целюлози та білку: 50 % целюлози трансформується до її мономерів – глюкози, та 50 % білку руйнується до окремих вільних амінокислот.

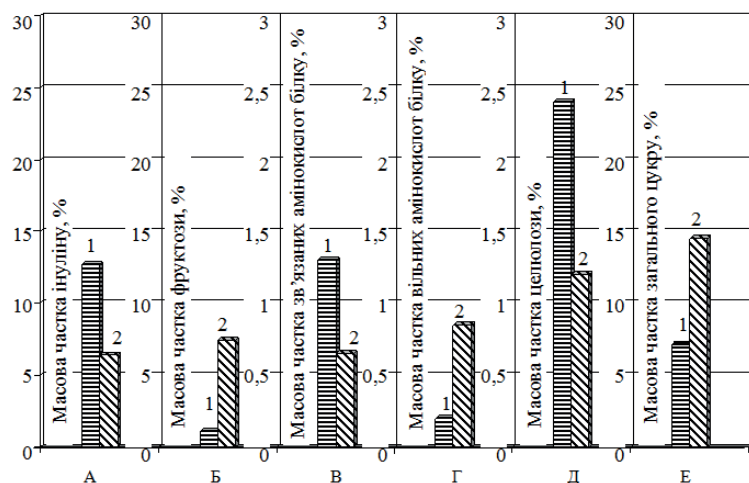


Рис. 1. Вплив заморожування та кріомеханодеструкції на інулін (А) топінамбуру та його трансформацію у вільну фруктозу (Б), на зв'язані амінокислоти білку (В) і трансформацію їх у вільні амінокислоти (Г) та на целюлозу (Д) і її механоліз до цукрів (Е) при отриманні дрібнодисперсного замороженого пюре; 1 — топінамбур свіжий, 2 — заморожене дрібнодисперсне пюре із топінамбуру

Установлено також, що при «шоковому» заморожуванні та дрібно-дисперсному подрібненні топінамбуру, яке супроводжується процесами механо- та кріодеструкції, механоактивації відбувається не тільки збереження всіх БАР, таких як фенольні сполуки, аскорбінова кислота, дубильні речовини та ін., але й їх більш повне вилучення із зв'язаних з біополімерами комплексів або асоціатів і трансформація їх у вільний стан (їх кількість в порівнянні з вихідною сировиною збільшується в 1,7–2,2 рази), що дає змогу отримати продукт з принципово новим хімічним складом і високими споживчими властивостями (рис. 2).

Нові холодильні нанотехнології переробки топінамбуру у дрібнодисперсні добавки відрізняються від традиційних тим, що виключають повністю теплову обробку продукту та засновані на використанні холодильної обробки сировини на стадії підготовки топінамбуру, заморожування та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення. Технологія порошоків із топінамбуру включає повністю указані стадії та подальше сушіння за допомогою сублімаційного або розпилювального сушіння. Нові технології дають можливість отримати добавки із топінамбуру у вигляді дрібнодисперсних заморожених добавок та дрібнодисперсних порошоків з розміром частинок в десятки разів менші, ніж при традиційному подрібненні. Їх якість за вмістом фруктози у вільному стані та БАР, які вилучені із зв'язаного стану, перевершує вітчизняні та закордонні аналоги.

Встановлено, що нові добавки із топінамбуру, отримані за холодильними технологіями, суттєво відрізняються від свіжого топінамбуру (табл. 1). Вони відрізняються високим вмістом фруктози у вільному стані. Так, в 100 г нової добавки із топінамбуру у вигляді порошку масова частка фруктози складає 25–26 %, в замороженому пюре 7–7,5 %, а кількість біополімерів, таких як інулін, білок, целюлоза зменшилась майже вдвічі в порівнянні з вихідною сировиною (при розрахунку на суху речовину). Показано також, що добавки відрізняються високим вмістом БАР, такими як фенольні сполуки, дубильні речовини та інші з Р-вітамінною активністю та з антиоксидантними властивостями. Так, у свіжому топінамбурі масова частка низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) складає $350 \pm 5,7$ мг в 100 г, флавонолових глікозидів (за рутином) $240 \pm 4,8$ мг в 100 г, а в замороженому дрібнодисперсному пюре відповідно $700,0 \pm 10,4$ мг в 100 г та $460,0 \pm 7,8$ мг в 100 г. Аналогічні закономірності стосуються і поліфенольних сполук (відповідно $300 \pm 6,4$ у свіжій сировині та $540,0 \pm 6,8$ мг в 100 г в дрібнодисперсному пюре із топінамбуру). Таким чином, дрібнодисперсні заморожені добавки, отримані за використанням таких інновацій при переробці топінамбуру як заморожування та процесів механоактивації і механодеструкції, дозволяє отримати якісно новий продукт, який неможливо отримати, використовуючи традиційні методи переробки рослинної сировини.

Отримані за допомогою хімічних методів наукові результати були підтверджені при використанні методів спектрального аналізу.

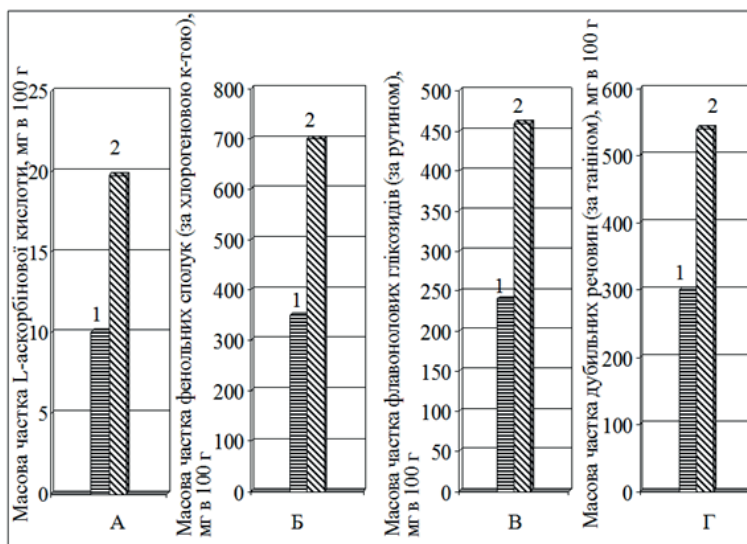


Рис. 2. Вплив заморожування та кріодеструкції на БАР топінамбуру при отриманні дрібнодисперсних заморожених пюре; 1 — топінамбур свіжий, 2 — заморожене дрібнодисперсне пюре; А — масова частка L-аскорбінової кислоти, Б — масова частка фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою), В — масова частка флавонолових глікозидів (за рутином); Г — масова частка дубильних речовин (за таніном)

Таблиця 1

Вміст БАР та харчових речовин в дрібнодисперсних добавках із топінамбуру (у формі замороженого пюре та порошку)

Найменування показника	Топінамбур свіжий	Дрібнодисперсне заморожене пюре з топінамбуру	Дрібнодисперсний порошок із топінамбуру
Вуглеводи, в тому числі:	17,1±0,5	18,4±0,6	73,6±0,5
інулін, %	12,8 ±0,5	6,4±0,1	25,6±1,5
загальний цукор, %	4,4±0,1	5,6±0,2	22,4±1,4
фруктоза, %	–	7,4±0,2	25,6±1,5
Білок, %	1,2±0,01	1,4±0,1	5,6±0,5
Целюлоза, %	2,0±0,1	0,8±0,01	3,6±0,1
Пектин, %	0,4±0,01	0,6±0,1	3,8±0,2
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	10,3±0,1	19,8±0,5	78,2±2,4
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	350,0±5,7	700,0±10,4	2800,0±15,8
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	240,0±4,8	460,0±7,8	1800,0±12,4
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	300,0±6,4	540,0±6,8	2160,0±14,0
Зольність, %	1,6±0,1	1,6±0,1	6,8±0,2
Сухі речовини, %	23,6±1,2	24,5±0,1	94,5±0,1
Органічні кислоти, %	0,3±0,01	0,4±0,01	2,0±0,1

Одержані результати стали основою при розробці нових технологій отримання замороженого пюре та дрібнодисперсних порошоків із топінамбуру для оздоровчого харчування із інуліном в легкозасвоюваній формі (до 50–55 % в формі вільної фруктози).

Відповідно до хімічного складу, нові продукти мають потенційну імуномодулюючу, протипухлинну та детоксикуючу дію. Нові технології пройшли апробацію у виробничих умовах в НПП «КРІАС». Розроблено нормативну документацію на дрібнодисперсне пюре і порошок із топінамбуру. На їх основі розроблені нові види оздоровчих продуктів (сиркові десерти, нанонапої, нові види наноморозива, швидкорозчинні фрукто- «інстант» нанонапої та соки).

5. Висновки

Запропоновано та розроблено нанотехнології дрібнодисперсних добавок із топінамбуру в формі замороженого пюре та порошку сублімаційного сушіння з використанням кріомеханічної модифікації шляхом застосування кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного механічного подрібнення. Унікальна нова технологія дозволяє отримати добавки та продукти, які містять рекордну кількість фруктози у вільному стані: 50–55 % інуліну трансформується у вільну фруктозу, яка легко засвоюється організмом людини та призводить до зниження глікемічного індексу і укріплення імунної системи.

Установлено, що при «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні топінамбуру, яке супроводжується процесами механо- та кріодеструкції, механоактивації відбувається не тільки збереження всіх БАР, таких як фенольні сполуки, аскорбінова кислота, дубильні речовини та ін., але й їх більш повне вилучення із зв'язаних з біополімерами комплексів або асоціатів і трансформація їх у вільний стан (їх кількість в порівнянні з вихідною сировиною збільшується в 1,7–2,2 рази), що дає змогу отримати продукт з принципово новим хімічним складом і високими споживчими властивостями.

Література

1. Павлюк, Р. Ю. Разработка технологии консервированных витаминных фитодобавок и их использование в продуктах питания профилактического действия [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.13 / Р. Ю. Павлюк. – Одесса, 1996. – 446 с.
2. Кочнев, Н. К. Топинамбур – биоэнергетическая культура XXI века [Текст] / Н. К. Кочнев, М. В. Калинин. – М. : Арес, 2002. – 150 с.
3. Павлюк, Р. Ю. Товароведение и инновационные технологии переработки лекарственно-технического растительного сырья [Текст] : уч. пос. / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. В. Яницкий, В. А. Павлюк. – Х., 2013. – 429 с.
4. Павлюк, Р. Ю. Нанотехнології заморожених пюре із плодів цитрусових з унікальними характеристиками [Текст] / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Н. М. Тимофєєва та ін. // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць Харк. держ. ун-ту харч. та торг. – 2013 – Вип. 1 (17). – С. 27–35.
5. Решетник, Л. А. Топинамбур – возможности его использования в лечебном питании детей [Текст] / Л. А. Решетник, К. С. Ладодо, О. В. Прокопьева, Н. К. Кочнев // Вопросы питания. – 1998. – № 1. – С. 18–21.
6. Черненко, А. В. Перспективные направления в технологии переработки топинамбура [Текст] / А. В. Черненко, М. К. Алтуньян, Н. А. Кубышкина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 5-6. – С. 39–41.
7. Каухчешвили, Э. И. Сублимация, криобиология, применение холода в медицине [Текст] / Э. И. Каухчешвили // Обзор докладов на заседании комиссии МИХ «Холодильная техника». – 1980. – № 6. – С. 58–60.
8. Алмаши, Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов [Текст] / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 408 с.
9. Барамбойм, Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений [Текст] / Н. К. Барамбойм. – М. : Химия, 1978. – 384 с.
10. Дубинская, А. Н. Механохимия лекарственных веществ [Текст] / А. Н. Дубинская // Хим.-фарм. журнал. – 1989. – № 6. – С. 755–764.