

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 544.032

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/03>**Зінченко Н.Ю.**

Національний університет харчових технологій

Попова І.В.

Національний університет харчових технологій

ВИВЧЕННЯ СОРБЦІЇ ПАРІВ ВОДИ ІНУЛІНОМ

Виробництво функціональних харчових продуктів – це сегмент продовольчого ринку, який досить активно розвивається в багатьох країнах.

Маркетологи, які займаються вивченням інтересів споживачів, відзначають, що однією з найбільш актуальних задач харчової промисловості є зниження калорійності харчового продукту. Саме ці задачі ставляться перед технологами. Включення в раціон харчування збагачених продуктів дозволить зберегти здоров'я сучасної людини. Тому ведеться активний пошук інгредієнтів, які здатні знизити калорійність без погіршення смакових властивостей і текстури харчових продуктів. Особлива увага надається натуральним інгредієнтам.

Використання рослинних компонентів сприяє підвищенню якісних характеристик, харчової та біологічної цінності готової продукції. Розроблення технологій дієтичних продуктів на основі топінамбура для життєзабезпечення хворих із порушеннями обміну речовин і профілактичного харчування є актуальним і соціально важливим завданням.

У харчовій промисловості інулін використовується не тільки як харчове волокно (функціональні харчові продукти), але і як технологічний інгредієнт (жирозамінник, стабілізатор емульсій та аерованих продуктів тощо).

Технологічні властивості інуліну достатньо різноманітні. Він широко використовується в харчовій промисловості Європи, Сполучених Штатів Америки й Канади завдяки здатності замінити цукор і жир з метою зниження загальної калорійності продукту. Інулін – цінний сировинний інгредієнт, який має лікувально-профілактичні властивості.

Робота присвячена вивченню фізико-хімічних властивостей біополімеру інуліну, одержаного з топінамбура. Досліджено сорбційно-десорбційний процес водяної пари зразками інуліну, фруктози, глюкози, сахарози. Отримані ізотерми сорбції-десорбції водяної пари зазначеними зразками. Встановлено наявність гістерезису такого процесу. Результати досліджень представлені в графічному вигляді. Одержані дані можуть бути використані в технологічних процесах харчової та фармацевтичної промисловості.

Ключові слова: інулін, топінамбур, біополімер, гідрофільність, сорбція, десорбція.

Постановка проблеми. Збільшення долі продуктів масового вживання з високою харчовою та біологічною цінністю, а також створення продуктів харчування функціонального призначення є пріоритетною соціальною проблемою. Створення лікарських препаратів на основі рослинної сировини, що здатні сповільнювати процеси старіння організму, зв'язувати й виводити з організму шкідливі речовини, перешкоджати розвитку хвороб завжди актуальне. Найбільш унікальною за хімічним складом, перспективною інуліновмісною сировиною є топінамбур (*Helianthus tuberosus*), який характеризується високими технологічними властивостями і є джерелом поліфруктанів, міне-

ральних речовин, органічних кислот, вітамінів. Питання про використання інуліну й інуліновмісної рослинної сировини в харчовій і фармацевтичній промисловості завжди актуальне. Незважаючи на велику кількість вже існуючих природних біологічно активних добавок, світовий ринок дієтичних добавок на основі інуліну постійно зростає [2].

Існує два види поліфруктанів: інуліноподібні, в молекулах яких фруктофуранозні залишки сполучені глікозидними (β 2-1) зв'язками, і леваноподібні – де залишки моносахаридів сполучені (β 2-6) глікозидними зв'язками. Найбільш важливим представником першої групи поліфруктанів є інулін. Солодкість інуліну складає 10% від

солодкості сахарози [1]. Інулін є одним з провідних функціональних інгредієнтів при виготовленні різних функціональних продуктів харчування або лікарських засобів. Інулін, отриманий з топінамбура, характеризується високою молекулярною масою, що розширює можливості його застосування в медичних цілях. Повна безпечність інуліну для організму людини й особливості будови його молекули дають можливість широко використовувати інулін як ефективний технологічно-функціональний інгредієнт [1,2,3]. Відомо, що лікарські препарати при введенні їх в організм людини швидко засвоюються і за досить короткий термін (протягом кількох годин) виводяться з організму. Це послаблює їхній вплив на хворий орган. З'ясовано, що якщо ці лікарські речовини «прив'язати» до ланцюга молекули інуліну, то вони можуть зберігатися в організмі протягом декількох діб. Для використання інуліну в зазначених цілях необхідно знати його фізико-хімічні властивості для виробництва медичних препаратів.

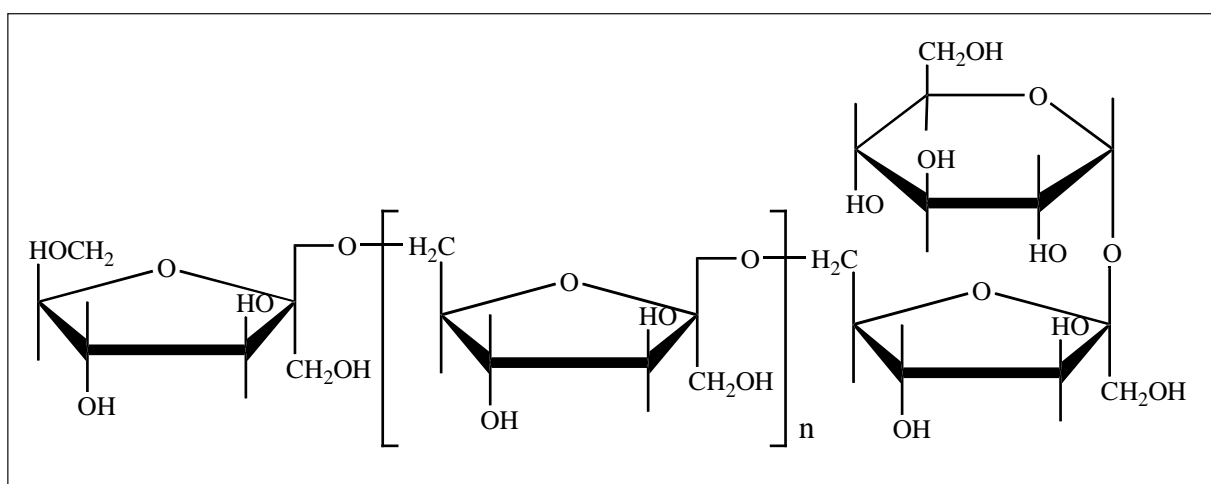
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних даних показав, що останнім часом спостерігається науковий і практичний інтерес до інуліну.

У літературі є ряд повідомлень щодо застосування інуліну в харчовій промисловості у якості технологічного інгредієнта. Інулін додають до продуктів дитячого харчування, молочних продуктів, молочного шоколаду, дієтичних продуктів та іншого. Особливою технологічною властивістю інуліна є його здатність утворювати з водою білий непрозорий кремоподібний гель, який за текстурою подібний до текстури жиру. Тому він може вводиться до знежирених продуктів для часткової заміни жиру і поліпшення текстури, смакових і органо-

лептичних властивостей. При цьому концентрація інуліну повинна бути не менше 2% (оптимально 2,5%–5%; 1 г жиру замінюється 0,25 г інуліну). Крім того, при застосуванні інуліну для аерованих продуктів (стабілізація мусів, пудингів, морозива) та емульсій (спреда, соуси, пасти) забезпечується підвищення їхньої стабільності без зміни смаку і кольору кінцевого продукту [2; 4].

Наукові дослідження, які проводяться з кінця ХХ ст., виявили багато цілющих властивостей інуліну для профілактики та лікування ряду серйозних захворювань, які скорочують життя сучасної людини. Цей натуральний полісахарид не має штучних аналогів. Експериментальними дослідженнями доведено, що регулярне використання інуліну в їжу забезпечує ряд оздоровчих ефектів в організмі людини. Інулін як рослинний пребіотик відіграє позитивну роль у формуванні здорової мікрофлори кишківника, поліпшує ліпідний обмін (знижує рівень «шкідливого» холестерину, тригліцеридів і фосфоліпідів у крові), має низький глікемічний індекс, нормалізує рівень цукру в крові, знижує індекс маси тіла, регулює рівень інсуліну в крові, стимулює імунну систему організму, знижує ризик виникнення і розвитку атеросклерозу, інгібує розвиток пухлин, нормалізує роботу серцевої та кровоносної систем, зміцнює нервову систему. Доведена абсорбційна ефективність інуліну при детоксикації організму. Інулін позитивно впливає на засвоєння кальцію організмом людини [3; 5; 8; 9].

Як і більшість природних полісахаридів інулін інтенсивно адсорбує воду, тобто відзначається великою гідрофільністю. Тому у практичній роботі важливими є дослідження його сорбційних властивостей. Сорбційні властивості мають велике значення при транспортуванні або зберіганні



Структурна формула інуліну

харчових продуктів. Сорбційні властивості характеризують здатність харчових продуктів поглинати з оточуючого середовища пари води і летки речовини. Сорбція і десорбція парів і газів призводять до зміни якості продукта, тому важливо контролювати активність води в харчових продуктах, чим можна суттєво покращити їх якісні характеристики при зберіганні. На практиці найбільше значення мають процеси сорбції і десорбції водяних парів. Вивчення сорбційних процесів полісахариду інуліну на нашу думку є актуальним завданням дослідницької діяльності як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Постановка завдання. Метою нашої роботи було дослідження здатності інуліна поглинати воду з парової фази, а також віддавати вологу при різних значеннях вологості оточуючого середовища. Для порівняння з інуліном паралельно також були досліджені зразки сахарози, глюкози та фруктози. Вибір цих речовин зумовлений будовою молекули інуліну. Представляло інтерес порівняти поведінку високомолекулярної сполуки інуліну і його низькомолекулярних складових (моносахаридів і дисахариду) в процесах сорбції – десорбції водяної пари.

Серед технологічних властивостей інуліну можна відзначити його *гідрофільність*. Гідрофільність (здатність зв'язувати воду і контролювати активність води в харчових продуктах) – одна з головних властивостей вуглеводів, корисних для харчування людини. Гідрофільність зумовлена наявністю значної кількості гідроксильних груп в молекулі. Взаємодія гідроксильних груп з молекулами води призводить до сольватації та розчинення вуглеводів та інших полімерів. Гідрофільність зумовлює необхідність постійно контролювати надходження вологи до продукту, що містить вуглеводи [1].

Зволоження харчового продукту, тобто *сорбція* ним водяних парів, спостерігається тоді, коли парціальний тиск пари на поверхні продукта менший за парціальний тиск пари повітря. В процесі сорбції вологи маса продуктів зростає, погіршуються їх органолептичні показники. Наприклад, поглинання вологи призводить до розм'якшення і деформації (вафлі, печиво, пряники, сухарі); до злежування і втрати сипучості (цукор-пісок, сіль, борошно, крохмаль тощо); до зміни стану поверхні (у карамелі, мармеладу, пастили, зефіру, халви поверхня спочатку стає липкою, а потім виробі втрачають форму і течуть).

Процес випаровування – *десорбції* – спостерігається при більших значеннях тиску парів на поверхні продукту у порівнянні з тиском пари

повітря. Десорбція також несприятливо впливає на якість продукту. Десорбція вологи є характерною для свіжих плодів, овочів і рідких продуктів. У результаті випаровування вологи з плодів і овочів разом із втратою маси відбувається їх в'янення та погіршення якості, спостерігаються фізико-хімічні зміни в його структурі (послаблення тургору клітин) і властивостях.

Виклад основного матеріалу досліджень. Об'єктом дослідження був інулін харчовий, виділений із свіжих бульб топінамбуру сорту «Вадим» осіннього врожаю з високим вмістом інуліну за відомою методикою [13].

Визначення сорбційних властивостей інуліну здійснювали ваговим методом, який ґрунтується на вимірюванні ваги зразка до і після сорбції. Для проведення сорбційного дослідження використовували вакуумну установку з пружинними кварцовими вагами Мак-Бена. Точну наважку досліджуваного зразка у кількості 0,1–0,3 г вносили в тонкостінну скляну чашку, маса якої не перевищує 0,1 г. Чашку з наважкою підвішували до кварцової пружини і встановлювали у сорбційній колонці. За допомогою повітряного термостату в робочій частині сорбційної колони встановили і підтримували температуру 25°С. У дві стадії отримували вакуум в системі. За допомогою форвакуумного насосу створювали форвакуум з остаточним тиском приблизно 1 Па. За допомогою дифузійного насосу утворювали високий вакуум з остаточним тиском 10⁻³ Па. За цих умов витримували досліджуваний зразок до досягнення ним постійної ваги, тобто переводили його у практично зневоднений стан. Потім спеціальним дозатором подавали у колонку порцію водяної пари і витримували всю систему до досягнення рівноважного стану. Після цього зразок зважували, визначали кількість адсорбованої вологи і знову подавали у колонку наступну порцію водяної пари, витримували систему до досягнення рівноважного стану, зважували зразок і т. д. Коли тиск насиченої пари води дорівнював 17,54 мм рт. ст., дозатор відкривали повністю, відкачували з установки водяну пару до досягнення заданого тиску водяної пари. При відключеному насосі залишали наважку до досягнення нею постійної ваги при даному тиску водяної пари. Після встановлення рівноваги знову проводили відкачку, доводили систему до рівноважного стану. Процес проводили до повного зневоднення зразка. Про зменшення ваги зразка свідчило скорочення спіралі, яке фіксували за допомогою катетометра КМ-8. Цей прилад призначений для безконтактного дистанційного вимірювання вертикальної відстані між двома точками,

яке не можливо виконати безпосереднім вимірюванням. Похибка вимірювання вертикальних відрізків складає $\pm 0,05$ мм. За допомогою катетометра вимірювалась довжина пружини в процесі сорбції – десорбції, визначалась кількість сорбованої або десорбованої водяної пари. За рівнем олії в колінах манометра визначали тиск водяної пари при відповідному значенні сорбції. Вакуум у системі вимірювали термодинамічним вакуумметром, а тиск водяної пари – масляним манометром.

Після досягнення гігроскопічної вологості зразка, закінчували сорбцію і далі проводили зворотній процес десорбції (або сушіння) у рівноважному стані [14; 15].

За даними дослідження нами отримані ізотерми сорбції і десорбції водяної пари зразками інуліну, сахарози, фруктози і глюкози, які представлені на рисунках 1–4. З'ясувалось, що всі

криві виявляють гистерезисну петлю, тобто ізотерми зволоження і сушки зразків не співпадають. Однак петля сорбційно-десорбційного гистерезису водяної пари для інуліну (рис. 1) за формою відрізняється від інших. Гістерезисні петлі для сахарози, фруктози і глюкози (рис. 2-4) мають ідентичний хід кривих. Кількість максимально поглиненої води не однакова для різних зразків. Так, при максимальному зволоженні у паровій фазі сахароза, глюкоза і фруктоза утворюють розчини і максимальна кількість води у зразках становить відповідно 178, 200 і 300%. В той же час для інуліну розчин не утворився і кількість води становить лише 50%.

Як видно з рис. 2–4 для зразків сахарози, фруктози, глюкози при значеннях відносного тиску водяної пари приблизно 0,6–0,8 кількість поглиненої води є невеликою (1–2%). Потім спостері-

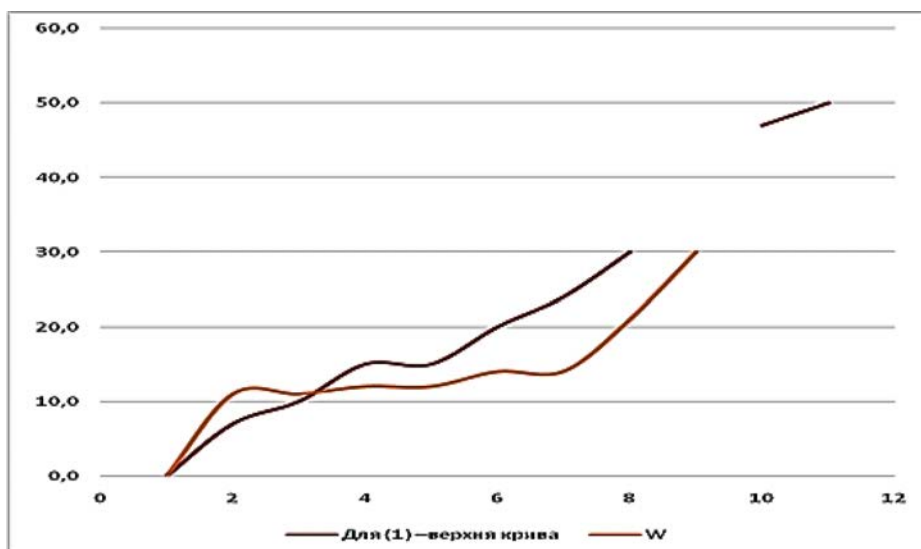


Рис. 1. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари інуліном

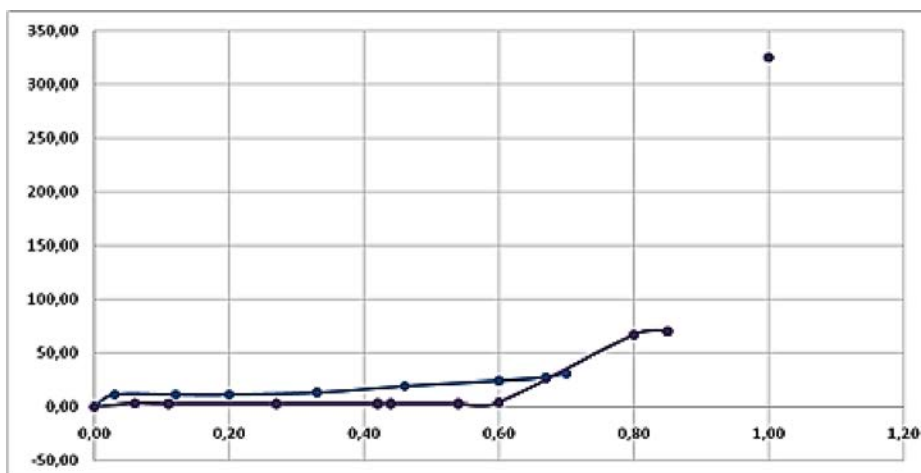


Рис. 2. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари фруктозою

гається різкий стрибок в ході ізотерми сорбції і в межах невеликого інтервалу значень P/P_s суттєво збільшується кількість поглиненої вологи (P/P_s – відносний тиск пари, P – рівноважний тиск пари).

В процесі сушки (десорбції) видалення вологи ускладнюється: досліджувані зразки залишаються достатньо вологими у порівнянні зі зразками в сорбційному процесі за тих самих значень P/P_s . Важливо відзначити, що в процесі сушки трьох зазначених зразків кристалізація відбувалась таким чином, що утворювався прозорий моноліт твердої речовини.

Інулін у порівнянні з іншими зразками поглинає значно меншу кількість вологи. В процесі сорбції відбувається більш інтенсивне поглинання вологи (10–15%) в інтервалі від 0,1 до 0,7 P/P_s . Гістерезисна петля також чітко виявляється, хоча є більш звуженою. При десорбції зразок інуліну залиша-

ється також більш зволеним в усьому інтервалі значень P/P_s . Неспівпадіння ізотерм сорбції і десорбції пояснюється тим, що після зволоження в процесі сушки система залишається рихлою і за однакових значень P_{H_2O}/P_s утримує більше вологи, ніж в процесі зволоження. А при одній тій самій вологості тиск насиченої пари відрізняється для зволоженого і висушеного зразків.

Для зразків сахарози, фруктози і глюкози гістерезисна петля може бути пояснена тим, що при кристалізації в процесі сушки за даних умов, можливо, ці речовини утримують значну кількість кристалізаційної вологи.

Вода – важлива складова продуктів харчування. Здатність зв'язувати воду і контролювати активність води (a_w) в харчових продуктах – це одна з важливих властивостей вуглеводів. Активність води служить мірою вільної (незв'язаної)

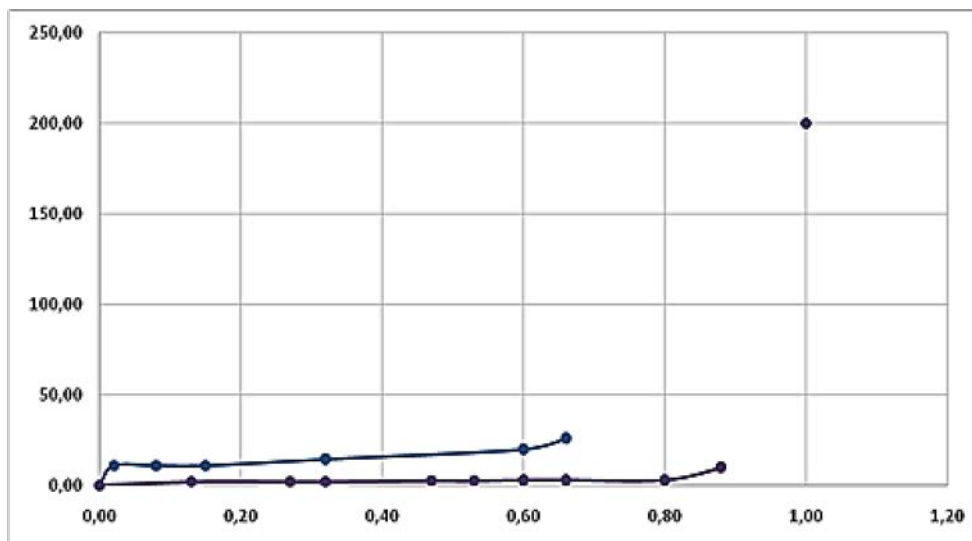


Рис. 3. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари глюкозою

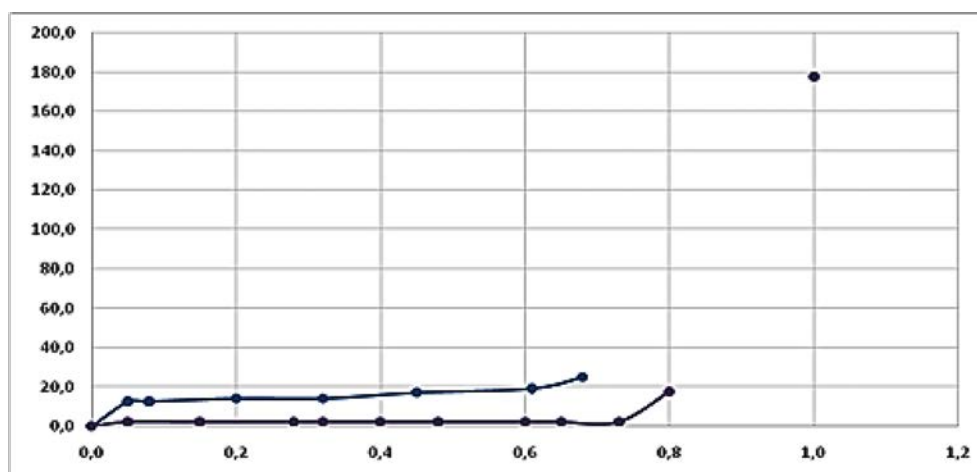


Рис. 4. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари сахарозою

води, яка є істотним чинником мікробіологічної, ензиматичної і фізико-хімічної активності і, таким чином, вона визначає термін придатності харчових продуктів [6,11,12].

Висновки. Досліджено сорбційно-десорбційний процес водяної пари зразками фруктози, глюкози, сахарози, інуліну. Отримані ізотерми сорбції-

десорбції водяної пари зазначеними зразками і встановлено наявність гістерезису даного процесу. Встановлені гідрофільні властивості інуліну, отриманого з топинамбура дозволять правильно підібрати технологічні режими виробництва вуглеводмісних продуктів та фармацевтичних препаратів.

Список літератури:

1. Тагер А.А. Физикохимия полимеров /под ред. А.А. Аскадского. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Науч. мир, 2007. 576 с.
2. Грушецький Р.І. Інулін – джерела сировини, одержання, властивості. Київ : Знання України. 2003. 112 с.
3. Аникиенко Т.И., Цугленко Н.В. Эколого-энергетические и медико-биологические свойства топинамбура. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2008. 214 с.
4. Грушецький Р.І., Гриненко І.Г., Хомічак Л.М. Природні джерела здоров'я. Київ : Аграрна наука, 2016. 108 с.
5. Зяблицева Н.С., Белоусова А.Л., Компанцев В.А., Кисиева М.Т. Возможности использования топинамбура в медицинских целях. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13658>.
6. Глаголева Л.Э., Корнеева О.С., Родионова Н.С., Шуваева Г.П. Определение сорбционных характеристик растительных полисахаридных комплексов в различных технологических средах. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 1. С.1–6.
7. Дубров К.І. Інулін і олігофруктоза – пребіотики з давніх часів і до наших днів. *Харчова промисловість*. 2007. № 4. С. 37.
8. Перковец М.В. Вплив інуліну і олігофруктози на зниження ризику деяких «хвороб цивілізації». *Харчова промисловість*. 2007. № 5. С. 22–23.
9. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В., Шуленина Ю.С. Перспективы применения инулина в медицинской и фармацевтической практике. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012. Т. XIX. С. 45–46.
11. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Исследование сорбции и десорбции лекарственных трав. *Химическая технология. Контроль и управление*. 2010. № 4. С. 9–12.
12. Дорохович А.Н., Дорохович В.В. Дослідження сорбційних та десорбційних властивостей цукрів і цукрозаміників, прогнозування їхнього впливу на процеси під час зберігання кондитерських виробів. *Удосконалення малої хладопелотехніки використання холоду в харчовій галузі Всеукраїнська науково-технічна конференція*, м. Донецьк, 19–21 вересня 2012 р. Донецьк, 2012. С. 276–284.
13. Способ получения инулина из клубней топинамбура : пат. 2148588 РФ : МКИ 7 С 08 В 37/00, 37/18. № 98115947/04 ; заявл. 20.08.1998 ; опубл. 10.05. 2000. Бюл. №13.
14. Манк В.В. Адсорбція води харчовими вуглеводами. *Хімічні науки* : збірник наукових праць. Київ : Націонал. пед. Університет ім. М. П. Драгоманова, 1998. С. 12–19.
15. Лапкина К.И., Лоскутов К.Н., Вотинов Г.Н. и др. Спецразделы физики : методические указания к лабораторному практикуму. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. 36 с.

Zinchenko N.Yu., Popova I.V. THE STUDY OF WATER VAPOUR SORPTION INULIN

Functional food production is a segment of the food market that is actively developing in many countries.

Marketers who study consumer interests say that one of the most urgent tasks of the food industry is to reduce the caloric content of the food. These are the tasks that technologists are facing. Inclusion of enriched foods in the diet will help to preserve the health of the modern man. Therefore, an active search for ingredients that are able to reduce calories without impairing the taste and texture of foods. Particular attention is given to natural ingredients.

The use of plant components contributes to improving the quality, nutritional and biological value of the finished product. Development of technologies of diet products based on Jerusalem artichoke for the life support of patients with metabolic disorders and preventive nutrition is an urgent and socially important task.

In the food industry, inulin is used not only as a food fiber (functional food) but also as a technological ingredient (a fat substitute, a stabilizer of emulsions and aerated products, etc.).

The technological properties of inulin are quite diverse. It is widely used in the food industry in Europe, the US and Canada due to its ability to replace sugar and fat in order to reduce the overall calorie content of the product. Inulin is a valuable raw material ingredient that has curative and prophylactic properties.

This work is devoted to the study of the physicochemical properties of the inulin biopolymer extracted from Jerusalem artichoke. Studied the sorption-desorption process of water vapor with inulin, fructose, glucose, and sucrose samples. The obtained isotherms sorption-desorption of water vapor by said samples. The hysteresis of this process is established. The results of the studies are presented graphically. The results can be used to measure the molecular weight of inulin, as well as in the application of the polysaccharide in the food and pharmaceutical industries.

Key words: *inulin, topinambure, biopolymer, adsorption and desorption of water.*