

Таблиця 2 – Вміст інуліну в екстрактах

Густина вапняного молока	Кількість інуліну в екстракті з топинамбуру, мг/100 г		
	20 °C	40 °C	60 °C
1000 кг/м ³	299	283	272
1500 кг/м ³	341	338	333
Без очищення	282	275	268

Результати досліджень показали, що з підвищенням концентрації вапняного молока та зменшенням температурних значень вміст інуліну в екстракті збільшується.

Висновки. Отримано температурний діапазон (20...40 °C), в якому можна працювати з екстрактом з топинамбура, і який дає хороші позитивні результати в процесі відстоювання та фільтрування по кількості барвних речовин та вмісту інуліну.

Проаналізовані результати підтверджують доцільність використання вапняного молока при переробці топинамбура для вилучення з екстракту високомолекулярних сполук, таких як білок та пектинові речовини, а також осадження органічних кислот. І отже, отримання інулінвмісного напівфабрикату з максимально можливою кількістю важливо необхідної для людей речовини, особливо для населення, що хворіє на цукровий діабет.

Література

1. Черненко А.В. Перспективные направления в технологии переработки топинамбура / А.В. Черненко, М.К. Алтуньян, Н.А. Кубышкина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 5-6. – С.39-41.
2. Голубев В.Н., Волкова И.В., Кушалаков Х.М. Топинамбур. Состав, свойства, способы переработки, область применения. – М., 1995. – 83 с.
3. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1999. – 237 с.

УДК 66.047

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА

Гузьова І.О., канд. техн. наук, доцент, Атаманюк В.М., д-р техн. наук, професор,
Микичак Б.М., канд. техн. наук, Зейналієва Ю., студент
НУ «Львівська політехніка», м.Львів

Стаття присвячена дослідженню зміни температурних режимів процесу сушіння у виробництві цукатів з гарбуза. Проведені експериментальні дослідження з теплообміну та кінетики сушіння цукатів з гарбуза різної температури. Експериментально підтверджена доцільність проведення процесу сушіння за умов температур цукатів, рівних температурі кипіння сиропу. Згідно теплового балансу проведені розрахунки кількості енергії, накопиченої шаром гарбуза та енергії випарованої вологи.

The change of temperature conditions of the drying process of the production of the candied pumpkins was researched. Heat transfer and kinetics of drying of the candied pumpkin at different temperatures was experimental studied. The feasibility of the drying process under conditions of temperature of the candied pumpkins equal to the boiling temperature of the syrup has been confirmed. Accumulated energies of the layer of the pumpkin and the evaporated moisture was calculated according to the heat balance of the process.

Ключові слова: гарбуз, цукат, сушіння, температурні режими, кінетика, тепловий баланс.

Актуальність. В харчовій промисловості виробництво різних видів кондитерських продуктів стрімко зростає. За останні 3 роки в Україні виробництво кондитерських виробів із сушених овочевих продуктів становило не менше 7000 тон на рік [1]. Їх асортимент є достатньо широким, що сприяє росту конкурентоспроможності. Тому сьогодні сучасний споживач орієнтується не тільки на смакові якості, а й, насамперед, на хімічний склад продукту, який мусить мати позитивний вплив на здоров'я людини. Такими корисними продуктами, які з кожним роком збільшуються на ринку споживача є цукати.

Цукати – продукти переробки фруктів (овочів) шляхом одноразового або багаторазового варіння в цукровому сиропі, підсушені до масової частки сухих речовин не менше 80%, призначені для тривалого зберігання за умов відносної вологості повітря не більше 70%.

Асортимент цукатів на ринку України представлений як вітчизняними, так і закордонними виробниками. Переважна більшість таких продуктів характеризуються великим вмістом харчових добавок та штучних барвників. Такі хімічні складові додаються до цукатів з метою збереження природного забарвлення та збільшення терміну зберігання, однак їх наявність погіршує харчову цінність продукту.

На даний час в Україні немає єдиних затверджених державних стандартів щодо технічних умов виробництва цукатів. Проте, як в Україні так і за кордоном існують різні способи виготовлення сухих цукатів, які суперечать один одному, тому харчова якість таких продуктів є надзвичайно різноманітною. Разом із цим важливе значення має організація процесу виготовлення цукатів без використання харчових добавок та барвників, їх сушіння за різних температурних режимів з метою отримати продукт високої якості, який при довготривалому зберіганні не буде пліснявіти, злипатися, буде зберігати природне забарвлення та корисні для здоров'я людини поживні речовини. Тому теоретичні та експериментальні дослідження сушіння цукатів є актуальною задачею.

Аналіз джерел літератури. Найбільш поширеною є технологія сушіння цукатів з гарбуза, запропонована авторами [2, 3]. Після варіння частинок гарбуза у цукровому сиропі за температури 80 °C їх охолоджують до температури навколишнього середовища протягом години шляхом обдування атмосферним повітрям. Далі сушіння здійснюють в 2 стадії: перші дві години температура теплового агенту становить 40 – 45 °C, а потім її збільшують до 60 – 65 °C та сушать протягом 4 – 5 годин. За необхідності цукати досушують за температури 40 °C до абсолютної вологості 20-23%. Тривалість такого процесу становить 10 – 12 годин. Автори [2 - 4] вважають, що за температур теплового агенту вище 65 °C, а самого плоду – вище 80 °C виникає локальне підгоряння та погіршення прозорості і кольору цукатів. Проте, не вказано за яких конкретних температур можливе таке погіршення якості.

Аналогічну технологію сушіння автори [4] пропонують здійснювати за умови додаткового інфрачервоного енергопідведення 1,2 – 3,8 кВт/м², а автори [5] вважають, що відокремлену від рідкої фази сировину перед сушінням необхідно промивати водою з температурою 90 – 95 °C до видалення залишків сиропу з поверхні.

З метою покращення якості та прискорення процесу сушіння автори [6, 7] пропонують сушіння здійснювати за температури плодів, яка дорівнює температурі кипіння сиропу, та за температури теплового агенту – 110 – 120 °C. Це забезпечує видалення вологи по всій товщині матеріалу, пришвидшує процес зневоднення та дає змогу здійснити сушіння за 1 – 2 години до вологості 21 %, що приводить до покращення якості цукатів та їх зовнішнього вигляду.

З огляду джерел літератури бачимо, що запропоновані авторами температурні режими знаходяться в широкому діапазоні (40 – 120 °C) [2 - 8], а процес сушіння плодів рекомендують як охолоджених [2, 3], так і плодів з температурою кипіння сиропу [6, 7].

Отже, не має однозначного підходу щодо технології виробництва цукатів, а процес сушіння є проблемою мало вивченою, що потребує детальних теоретичних та експериментальних досліджень, які мають бути спрямовані на скорочення енергозатрат, покращення якісних показників готових цукатів, забезпечення їх харчової цінності та покращення органолептичних властивостей.

Мета і завдання експериментальних досліджень. Метою роботи було експериментальне дослідження кінетики сушіння цукатів гарбуза, встановлення характеру зміни температури теплового агенту під шаром гарячих (80 °C) та холодних (20 °C) цукатів та характеру зміни їх вологовмісту і швидкості сушіння.

Об'єкт дослідження. Гарбуз є місцевою дешевою каротиновмісною сировиною з багатим комплексом біологічно активних речовин. Для приготування цукатів використовували гарбуз сорту «СтофунтовкаВасма» – плоди великих розмірів, жовтого кольору, масою до 20 кг. Період дозрівання 112-140 днів. М'якоть пухка, жовто-помаранчевого кольору товщиною 40 – 60 мм. Сорт характеризується відмінною транспортабельністю і можливістю тривалого зберігання. Гарбуз «Стофунтовка» має відмінні смакові якості і використовується як в домашній так і в промисловій кулінарії.

Методика проведення експерименту. Підготовку цукатів здійснювали згідно наступних етапів: нарізання скибок гарбуза, варіння та витримання їх в цукровому сиропі, відокремлення сировини від рідкої фази, сушіння.

Підготовку сировини варіння та витримання в цукровому сиропі здійснювали згідно технології наведеної в літературі [2 – 4]. Із гарбуза вирізали скибки однакових розмірів – 20x10x10мм. Маса всіх скибок становила 1 кг. Підготовлену сировину варили та витримували в цукровому сиропі (75 % мас.) за температури 80 °C.

Просочені скибки гарбуза відділяли від рідкої фази і розділяли на дві половини. Першу половину гарячих (80 °С) скибок висушували фільтраційним методом. Другу половину залишали в сиропі до повного охолодження (20 °С), після чого також висушували. Сушіння відбувалося на установці та за методикою наведеною в [9, 10].

Схема контейнера для сушіння цукатів фільтраційним методом представлена на рис. 1. Контейнер діаметром 0,1 м складається з чотирьох частин, які мають перфоровані перегородки. Стінки контейнера та перфоровані перегородки виготовлені з фторопласту з метою виключення кондуктивного нагрівання цукатів під час сушіння.

Гарячі (80 °С) та холодні (20 °С) цукати сушили за однакових технологічних параметрів теплового агенту. На кожну з чотирьох перфорованих перегородок цукати розкладали по 16 штук рівномірно в один шар. Такий метод розміщення цукатів сприяє рівномірному розподіленню теплового агенту, мінімізує гідралічний опір шару. Загальна маса цукатів становила 395 г. Крізь сформований шар цукатів профільтровували тепловий агент зі швидкістю 2 м/с. Через задані проміжки часу фіксували зміну ваги контейнера за допомогою електронної ваги AXSIS-3000 з точністю до 0,01 г. Дослід тривав до досягнення цукатами вологості 20 % (за сухою речовиною).



Рис. 1 – Схема контейнера для сушіння цукатів

Над матеріалом і під перфорованою перегородкою встановлювали термопари для вимірювання температури теплового агента. Температура над шаром підтримувалась постійною з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ за допомогою терморегулятора РТ-102, а під шаром матеріалу температуру вимірювали восьмиканальним термоелектричним перетворювачем ПТ-102-8, який дає змогу виводити виміряні значення на персональний комп'ютер через 1,8 с.

Результати досліджень та їх обговорення.

Результати досліджень зміни в часі температури теплового агента на виході з шару гарбуза наведені на рис. 2.

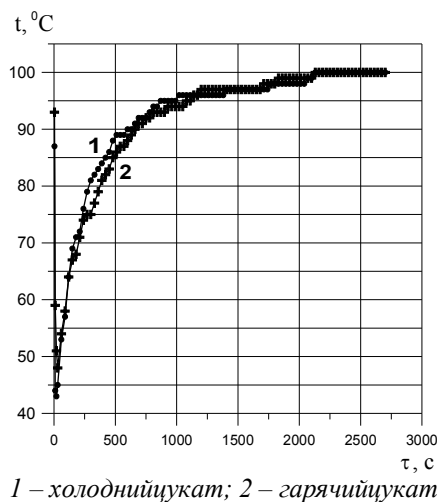


Рис. 2 – Залежність температури теплового агента на виході з шару в часі

Як видно з рис. 2, в початковий момент часу температура теплового агенту на виході з шару приблизно відповідає температурі мокрого термометра. З шару холодних цукатів вона становить 43°C , а на виході з шару гарячих цукатів більша і становить 48°C . З плином часу температура на виході з шару як холодних так і гарячих цукатів починає зростати, внаслідок невеликої інтенсивності прогрівання скибок гарбуза і малоінтенсивного випаровування вологи. Після 2000с температура теплового агенту на виході з шару не змінюється і близька до температури теплового агенту на вході в шар.

Проте, з аналізу рис. 3. видно: якщо для досушування гарячих цукатів до кінцевої вологості необхідно ще 1600с, то для досушування холодних цукатів необхідно 6500с, тобто в 4 рази більше. Загальний час сушіння гарячого гарбуза (80°C) в 2,5 рази менший ніж холодного (20°C).

На рис. 4 зображені криві швидкості сушіння, що відповідають кінетичним кривим на рис. 3. Як бачимо з рис. 4., горизонтальний відрізок відсутній, що підтверджує відсутність інтенсивного поверхневого випаровування вільної вологи. Швидкість сушіння в такому випадку визначається швидкістю внутрішньої дифузії вологи з глибини матеріалу до його поверхні. В рослинній сировині наявна внутрішня волога клітин та осматично зв'язана міжклітинна волога. Внутрішня дифузія відбувається шляхом переміщення рідини всередині клітини, через їх мембрану у міжклітинний простір. З міжклітинного простору волога дифундує до поверхні. На поверхні скибок цукату рідина випаровується. Тому швидкість сушіння холодних цукатів в 2 – 3 рази менша, ніж гарячих (рис. 4).

Під час сушіння холодного гарбуза значна кількість енергії витрачається на нагрів частинок. Низька швидкість, а, відповідно, й тривалий час сушіння холодних цукатів пояснюється насамперед термодифузійним перенесенням вологи в середину частинки під впливом різниці температур на поверхні, яка приблизно дорівнює температурі теплового агенту та середини частинки, що прогривається повільно. Таким чином, значний температурний градієнт виявляє протидію переміщенню вологи з глибини до поверхні матеріалу де температура вища, ніж у внутрішніх шарах. Після прогрівання частинки по всьому об'єму волога із середини частинки знову дифундує до її поверхні, що і пояснює таку тривалість висушування холодних частинок.

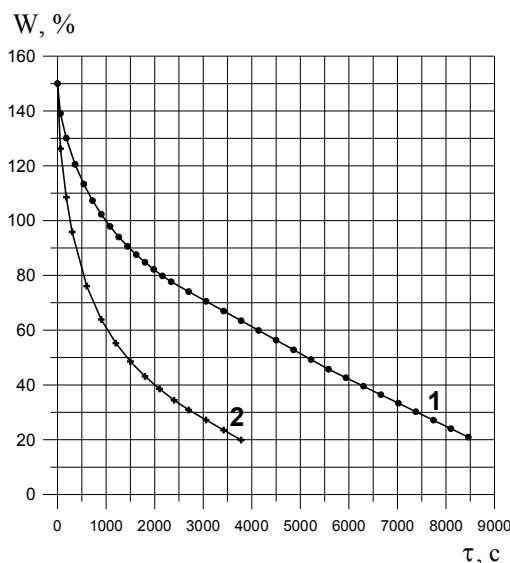


Рис. 3 – Кінетичні криві сушіння шарів холодних (1) і гарячих (2) цукатів

Під час сушіння гарячого гарбуза енергія витрачається на випаровування вологи. За рахунок випаровування вологи з поверхні цукату, в міжклітинному просторі зменшується кількість вологи і виникає градієнт концентрацій між вологою в міжклітинному просторі і клітинах, в наслідок чого волога дифундує з клітин, через мембрану в міжклітинний простір і до поверхні з якої випаровується в навколишнє середовище.

З характеру кінетичних кривих та кривих швидкості сушіння цукатів з гарбуза (рис. 3, 4) бачимо, що більш доцільно процес сушіння проводити за температури цукатів, рівних температурі кипіння сиропу (80°C). Проте, процес сушіння гарячих цукатів є довготривалим. Загальний час, як видно з рис. 3, становить 3780с, що призводить до значних енергетичних затрат на процес.

Саме тому, авторами статті, згідно теплового балансу були проведені розрахунки кількості теплоти теплового агенту, теплоти накопиченої шаром гарбуза та теплоти випаровуваної вологи (кДж).

Кількість теплоти, накопиченої шаром гарбуза

$$Q_{шару} = Q_{води} + Q_{сух.гарб.}, \quad (1)$$

де $Q_{води} = G_{води} \cdot c_{води} \cdot t_{води} \cdot \tau$ - кількість теплотивологи, що залишається в шарі в момент часу τ .

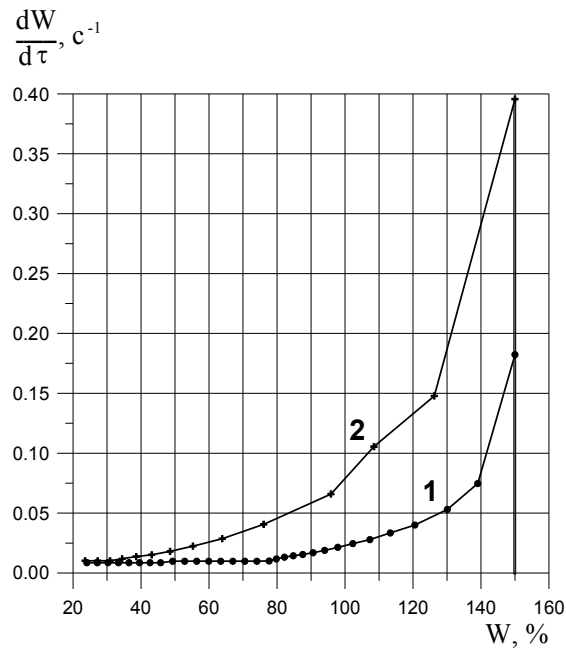
$Q_{сух.гарб.} = m_{сух.гарб.} \cdot c_{сух.гарб.} \cdot t_{сух.гарб.} \cdot \tau$ - кількість теплоти сухого гарбузав момент часу τ .

Кількість теплоти випаруваної води, що випаровується в момент часу τ .

$$Q_{вип} = G_{вип} \cdot r \cdot \tau \quad (2)$$

Кількість теплоти теплового агенту в момент часу τ .

$$Q_{т.а.} = G_{т.а.} \cdot c_{т.а.} \cdot (t_{т.а.вх} - t_{т.а.вих}) \cdot \tau \quad (3)$$



1 – холодний цукат; 2 – гарячий цукат

Рис. 4 – Швидкість сушіння

Результати розрахунків наведені в таблиці.

Таблиця – Зміна кількості теплоти в часі

τ , с	$Q_{шару}$, кДж	$Q_{вип}$, кДж	$Q_{т.а.}$, кДж
0	128.24	0	0
60	66.69	86.52	24.98
180	62.04	64.67	60.01
300	61.95	46.16	46.14
600	63.83	72.09	74.15
900	58.40	44.46	39.03
1200	55.83	31.37	28.62
1500	54.38	24.54	22.98
1800	53.39	19.73	18.65
2100	52.80	16.64	16.04
2400	52.38	15.05	14.74
2700	52.15	12.95	12.57
3060	52.27	13.37	13.53
3420	52.32	13.37	13.53

Як видно з таблиці, на момент часу 2400с маємо кількість енергії, накопиченої шаром гарбуза – $Q_{шару} = 52,58$ кДж, в той час, як на випаровування води до досягнення матеріалом кінцевої вологості

необхідно $Q_{\text{вип}} = 12.95 + 13.37 + 13.37 = 39.69$ кДж. Це означає, що на момент часу 2400 с, кількості енергії, накопиченої шаром гарбуза буде достатньо для випаровування такої кількості вологи, яку необхідно видалити за наступні 720 с.

Згідно отриманих експериментально-розрахункових даних авторами статті зроблено припущення, що після досягнення часу сушіння 2400с доцільно подати тепловий агент з температурою 20°C і проводити сушіння протягом наступних 720с холодним тепловим агентом.

Це дасть змогу висушити і охолодити цукати, термодифузія в цьому випадку сприятиме процесу сушіння. Економія тепла при цьому, як видно з таблиці, буде становити $Q_{\text{т.а.}} = 12.57 + 13.53 + 13.53 = 39.63$ кДж енергії теплового агента.

Висновки. Готові цукати з гарбуза після як одного так і другого режимів сушіння зберігалися за умов кімнатної температури 6 місяців. Під час зберігання в цукатах не виявилось ознак плісняви, бродіння, слизу, вони були однорідними за розміром та формою, не злипалися, мали кислувато-солодкий смак, природне забарвлення. Консистенція виробів була щільна, але не суха, без наявності грудок викристалізованого цукру, цукати мали рівномірну структуру, легко розрізалися.

З результатів експериментальних досліджень випливає, що більш доцільно процес сушіння проводити за умов температур цукатів, рівних температурі кипіння сиропу (80°C). Також авторами статті доведено, що після досягнення часу сушіння 2400с доцільно подати тепловий агент з температурою 20°C , що дасть змогу зменшити енергетичні затрати на процес.

Література

1. Національне рейтингове агентство «Рюрік». Огляд кондитерського ринку України 2014 рік. <http://ukrstat.gov.ua>.
2. Причко В. А. Совершенствование технологии производства цукатов из кабачков и тыквы с использованием моделирования технологических и массообменных процессов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук наук – Краснодар - 2005 – 130 с.
3. Технологическая инструкция ТИ 395-00668-34-01 по производству консервов «Цукаты натуральные». Г.М. Зайко, В.А. Причко. Краснодар - 2005 – 12 с.
4. Синяк С. В., Камнева А. С. Рациональный способ сушки цукатов / Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 6.
5. Способ производства цукатов. Горелова Л.М.; Малышева В.К.; Квасенков О.И. Патент 2092075. Класс патента A23L1/06. Дата публикации 10.10.1997.
6. Сборник технологических инструкций по производству консервов. Том II - М.: АППП "Консервплодоовощ", 1992, 105 с.
7. Способ сушки цукатов из цитрусовых плодов. Самедова, Андрейко, Василина. Патент SU 631136. Оpubл. 1992.
8. Алексанян И. Ю., Давидюк В. В. Способ получения цукатов методом вакуумной сушки / Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 1994. – № 1.
9. Атаманюк В.М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: Монографія / В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 276 с.
10. Спосіб сушіння адсорбенту. Атаманюк В.М., Гузьова І.О., Ходорівський Р.В., Симак Д.М. Патент України на корисну модель № 89927 Україна B01D 53/02, Оpubл. 12.05.2014, бюл. №9.
11. "Технология сушки: Учебно-методический комплекс", Киселева Т.Ф. - Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2007. - 117 с.
12. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / І.Ф. Малезик, П.С. Циганков, П.М. Немирович [та ін.]; за ред. І.Ф. Малезика. –К.: НУХТ, 2003. – 400 с.