

ІЧ-СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Шустов А.В., Товпига Д.А.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Подано результати дослідження процесу ІЧ-сушіння рослинної сировини та визначенні раціональні параметри та фактори, які суттєво впливають на тривалість теплової обробки. До найбільш перспективних видів рослинної сировини відноситься: яблуко, пряно-ароматична сировина, аронія, калина та ін. Оскільки саме ця сировина має характерну сезонність, а сільськогосподарське та харчове виробництво повною мірою не забезпечує її використання впродовж усього року. Видалення вологи з рослинної сировини шляхом ІЧ-сушіння до вологості 4...4,5% забезпечує її зберігання тривалий час без спеціальних умов. Для отримання сушених рослинних напівфабрикатів з максимальним збереженням більшості цінні компоненти початкової важливе значення має технологія сушіння і її параметри. Особливо це актуально для рослинної сировини, які є природною коморою біологічно активних речовин.

Ключові слова: ІЧ-сушіння, параметри, вологість, експериментальна установка, випромінювач, сировина.

Постановка проблеми. У зв'язку з погіршенням екологічного становища в Україні однією з головних завдань харчової промисловості є виробництво продукції з біологічною цінністю природного походження. Одним з можливих шляхів збереження якості продуктів харчування і вдосконалення структури харчування населення є введення в раціон принципово нових різновидів напівфабрикатів рослинного походження, що містять у своєму складі комплекс білків, ліпідів, мінеральних речовин, вітамінів і що мають високі поживні, смакові і лікувально-профілактичні властивості.

До найбільш перспективних видів рослинної сировини відноситься: яблуко, пряно-ароматична сировина, аронія, калина, та ін. Оскільки саме ця сировина має характерну сезонність, а сільськогосподарське та харчове виробництво повною мірою не забезпечує її використання впродовж усього року. Видалення вологи з рослинної сировини шляхом ІЧ-сушіння до вологості 4...4,5% забезпечує її зберігання тривалий час без спеціальних умов.

Для отримання сушених рослинних напівфабрикатів з максимальним збереженням більшості цінні компоненти початкової важливе значення має технологія сушіння і її параметри. Особливо це актуально для рослинної сировини, які є природною коморою біологічно активних речовин.

Технологічний процес ІЧ-сушіння заснований на властивостях інфрачервоного випромінювання з певною довжиною хвилі активно поглинається рідким середовищем, що міститься в рослинній сировині, але при цьому не поглинається тканиною даної сировини, тому видалення вологи можливе за умов використання невисокої температури (45...65°C), що дозволяє раціональне збереження: вітаміни, біологічно активні речовини, природний колір, смак і аромат. ІЧ-сушіння також забезпечує вміст вітамінів і інших біологічно активних речовин в сушеному напівфабрикаті на рівні 80...90% від початкової сировини. При нетривалому замочуванні (8...15 хв.) сушений напівфабрикат відновлює усі свої початкові властивості (смакові, фізичні і хімічні) і може безпосередньо вживатися або ж піддаватися будь-яким видам кулінарної обробки. В порівнянні з традиційною сушкою, рослинна сировина оброблена ІЧ-випромінюванням після відновлен-

ня має смакові якості, максимально наближені до свіжих. Крім того, сировина, що пройшла інфрачервону обробку, має протизапальні і антиоксидантними властивості, а сушений напівфабрикат не критичний до умов зберігання і стійкий до розвитку певних різновидів мікрофлори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для зменшення тривалості теплової обробки та забезпечення раціонального збереження біологічної цінності продуктів харчування рослинного походження з природним вмістом БАР одним з перспективних способів їх переробки є сушіння. Теоретичними і експериментальними дослідженнями доведено, що застосування ІЧ-випромінювання в технології сушіння рослинної сировини дозволяє значно підвищити якість готової продукції [1-2].

Проте на увагу заслуговують не лише властивості отримуваних сушених напівфабрикатів, але особливості устаткування для їх виробництва за допомогою ІЧ-випромінювання і технологічних процесів, заснованих на цьому принципі. Технологія ІЧ-сушіння рослинної сировини дозволяє практично на 98% використати підведену до сировини енергію. Оскільки молекули рідини, що знаходяться в ній, поглинають ІЧ-промені і тим самим, забезпечують її нагрівання, тобто, на відміну від усіх інших видів сушіння, енергія підводиться безпосередньо до рідинної складової сировини, чим досягається високий ККД, з одночасною відсутністю необхідності підвищення температури для певної сировини, що піддається сушінню (45...65°C). Запропонований спосіб сушіння рослинної сировини має дві переваги: по-перше, при таких температурах забезпечується раціональне збереження сировини (не рвуться клітини, не знищуються вітаміни, не карамелізується цукор та ін.); по-друге, низькі температури не викликають істотне нагрівання сушарного устаткування, тобто втрат тепла кризь огороджуючі стінки є мінімальними. В той же час ІЧ-випромінювання при температурі 45...65°C дозволяє знищити більшу частину мікрофлори, що знаходиться на поверхні продукту, роблячи його фактично стерильним.

Окрім усього, перерахованого сушарне устаткування є універсальним і дозволяє переробляти будь-яку рослинну сировину та отримувати швидко відновлювані сушені на-

півфабрикати природного походження [3]. Устаткування для сушіння рослинної сировини, має наступні переваги:

- найнижче питоме енергоспоживання на 1 кг випарованої вологи;
- менше 1 кВтгод/кг (у два рази менше будь-яких сушарних установок);
- сушіння продуктів при низькій температурі – 45...65°C;
- сушіння з високою швидкістю – 30...200 хв.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Якщо взяти наприклад традиційне сушіння, в якому рослина сировина після певної обробки має не чіткий вигляд, а після відновлення навіть втрачає свої смакові властивості зі значною частиною вітамінного складу. Перепад температур має згубний вплив на продукцію, а саме відбувається пошкодження поверхневих клітин. Також висушена сировина занадто вразлива до розвитку мікрофлори [4].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідити та проаналізувати експериментальні данні ІЧ-сушіння рослинної сировини та визначити основні значущі фактори, які істотно впливають на процес сушіння.

Виклад основного матеріалу. З метою проведення початкових етапів дослідження процесів сушіння рослинної сировини спроектована експериментальна ІЧ-сушарка з верхнім розташуванням рефлекторів різної геометричної форми, а саме циліндричного та синусоїдального перерізу. Запропонована установка складалася з робочої камери (1), циліндричного або синусоїдального рефлектора (2), напрямних для лотків (3), патрубку для відведення пари (конденсату) під час проведення процесу ІЧ-сушіння (4), лінійного кварцового ІЧ-випромінювача (5) з номінальною потужністю 1 кВт, сітчастого піддона для продукту (6), термопар (7), блока керування з вмонтованим регулятором температури «ТРМ101» (8) та монтажної шпильки (9). Схему експериментальної установки наведено на рис. 1.

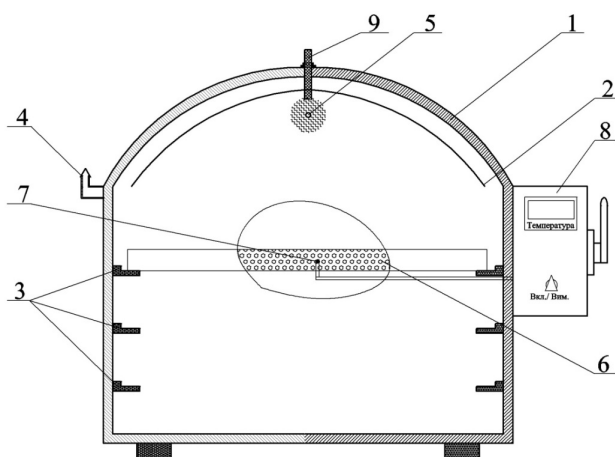


Рис. 1. Схема експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора:

1 – робоча камера; 2 – циліндричний або синусоїдальний рефлектор; 3 – напрямні для лотків; 4 – патрубок для відведення пари; 5 – лінійний кварцовий ІЧ-випромінювач; 6 – сітчастий піддон для плодоягідної сировини; 7 – термопар; 8 – блок керування з вмонтованим регулятором температури «ТРМ101»; 9 – монтажна шпилька

З метою визначення та контролювання температурних параметрів технологічного процесу в робочій камері сушарки встановлені термопар (7), що розташовані у просторовому об'ємі робочої камери та у товщині шару з плодоягідної сировини, при цьому регулювання температурного параметра відбувається за допомогою регулятора температури «ТРМ101», вмонтованого в пристінний корпус блока управління апарата (8).

Зміна рефлекторів різних геометричних форм та просторового розташування лінійного кварцового ІЧ-випромінювача здійснюється за допомогою монтажної шпильки (9). Технічні параметри експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні параметри експериментальної ІЧ-сушарки з верхнім розташуванням рефлектора

Технічний параметр	Од. Вим.	Значення
Напряга живлення	Вт	220
Споживча потужність ІЧ-випромінювача	кВт	1
Підтримувана температура в робочій камері	°C	40...60 ± 2
Тривалість виходу на робочий режим	с	7
Вага установки (в упаковці)	кг	20
Габаритні розміри	м	0,5x0,6x0,6

Під час проведення досліджень у спроектованій експериментальній ІЧ-сушарці було перевірено вплив наступних чинників: різної геометричної форми рефлекторів на забезпечення рівномірності розподілу теплових потоків на приймальних поверхнях, зміни висот розміщення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача та приймальної поверхні (сітчастого піддона), згідно із зазначеними параметрами для цих умов, на зміну вологості рослинної сировини та тривалість процесу ІЧ-сушіння.

Для визначення ефективності процесу ІЧ-сушіння при різних відстанях приймальної поверхні та лінійного кварцового ІЧ-випромінювача до рефлекторів з різною геометричною формою були проведені експериментальні дослідження, аналіз яких дозволив визначити вплив запропонованих параметрів на процес ІЧ-сушіння. Результати запропонованих досліджень дозволили зробити висновки щодо обґрунтування вибору раціональних за геометричною формою рефлекторів залежно від обраних факторів.

Під час експериментальних досліджень було визначено вплив просторового розташування, згідно зі схемою (рис. 2) приймальної поверхні – $h_{п.п.}$ (сітчастого піддона) зі значеннями: 0,175, 0,225, 0,275 м та відстанями лінійного кварцового ІЧ-випромінювача $h_{ІЧ-випр.}$: а – 0,075 м, б – 0,05 м, в – 0,025 м, при запропонованій товщині шару сировини $h_{ябл.}$ – 0,007, 0,017 та 0,024 м.

Як відгук рівняння регресії була обрана вологість, оскільки саме вона є основною ознакою сушеного напівфабрикату.

Кількісними керованими чинниками обрано такі параметри: X_1 – відстань до продукту зі значеннями: 0,175, 0,225 та 0,275 м; X_2 – відстань від випромінювача до відбивача: 0,025, 0,05 та

0,075 м; X_3 – тривалість сушіння зі значеннями: 1800, 5400 та 9000 с; X_4 – висота шару сировини зі значеннями: 0,007, 0,017 та 0,024 м. План 4-х факторного експерименту із зазначенням верхнього та нижнього рівнів вказуємо в табл. 2.

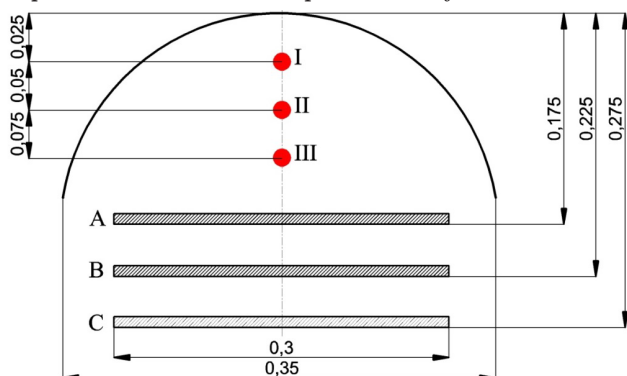


Рис. 2. Схема геометричного розташування лінійного кварцового ІЧ-випромінювача та приймальної поверхні (сітчастого піддона з рослинною сировиною) від запропонованих рефлекторів

Під час дослідження процесу ІЧ-сушіння рослинної сировини було проведено експеримент для 3-х рівнів, отже, кількість спостережень складала $3^4 = 81$ за умови необхідного мінімуму $3 \times 6 = 18$.

Таблиця 2

План 4-х факторного експерименту

Рівень факторів	Назва фактора			
	Відстань приймальної поверхні до вершини рефлектора, м X_1	Відстань від ІЧ-випромінювача до відбивача, м X_2	Тривалість сушіння, s^{-1} X_3	Висота шару сировини, м X_4
Нижній	0,175	0,025	30	0,007
Основний	0,225	0,050	90	0,017
Верхній	0,275	0,075	150	0,024

Функцією відгуку Y було обрано остаточну вологість рослинної сировини, яка стабілізувалася у процесі сушіння. У результаті проведення статистичної обробки експериментальних даних отримано лінійне рівняння регресії (1), яке накладає зв'язок між чинниками експерименту та відгуком

$$Y = 43,0566 + 0,0399 \cdot x_1 - 0,0312 \cdot x_2 - 0,2234 \cdot x_3 + 8,4002 \cdot x_4 \quad (1)$$

Гіпотеза є достовірною, на що вказує критерій Фішера (значущість $F < 0,5\%$). Коефіцієнти кореляції та детермінації становлять, відповідно, 95% та 90%, отже, кінцева вологість істотно залежить від сукупного впливу обраних факторів.

Відповідно до статичної значущості за такого плану експерименту найвпливовішим чинником є час ІЧ-сушіння (X_3), відстань приймальної поверхні до ІЧ-випромінювача (X_1) та висота шару плодючої сировини (X_4). З рівняння 3.1 статистична незначущість другого фактора (X_2) ні в якому разі не є приводом до виключення його з плану, бо це призведе до зміни рівняння регресії. Статистична значущість стохастичної похибки вказує на те, що всі фактори експерименту істотно впливають на відгук (Y).

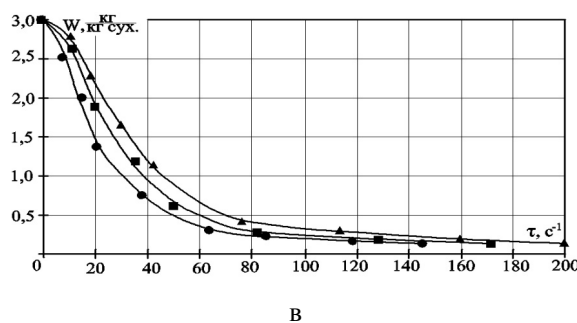
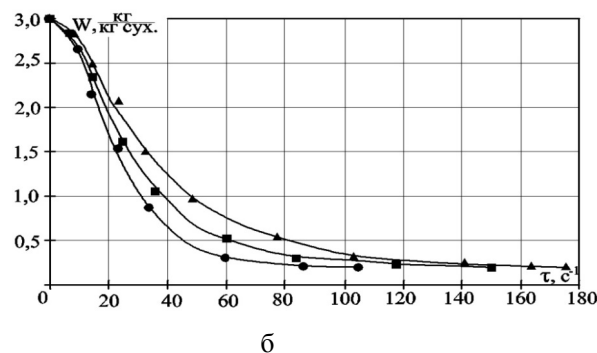
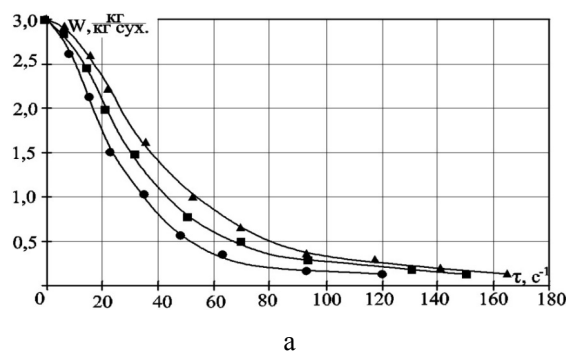


Рис. 3. Зміна вологості яблучної сировини за висоти шару $h_{абл.} = 0,007$ м, віддалення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача від рефлектора ($h_{ІЧ-випр.}$): а – 0,025 м, б – 0,05 м, в – 0,075 м та відстанях ІЧ-випромінювача до приймача ($h_{п.п.}$): \circ – 0,175 м; \square – 0,225 м; \triangle – 0,275 м

Аналізуючи графіки зміни вологості яблучної сировини за умов використання лінійного кварцового ІЧ-випромінювача від рефлектора $h_{ІЧ-випр.} = 0,075$ м (рис. 3.а) та за умов висоти шару сировини $h_{абл.} = 0,007$ м, раціонального висотою розташування приймальної поверхні є висота $h_{п.п.} = 0,225$ м з тривалістю процесу ІЧ-сушіння $150 s^{-1}$. Хоча за висоти розташування приймача $h_{п.п.} = 0,175$ м тривалість сушіння менша ($120 s^{-1}$), але за умов використання рефлектора циліндричного перерізу спостерігалось утворення певної смуги зразка невисокої якості, це підтверджується й результатами комп'ютерного моделювання з рівномірності розподілу теплового потоку на приймальній поверхні, а у разі застосування рефлектора синусоїдального перерізу, навпаки, нерівномірний розподіл теплового потоку спостерігається в центрі приймальної поверхні.

А за висоти розташування приймальної поверхні $h_{п.п.} = 0,275$ м спостерігається збільшення тривалості процесу ІЧ-сушіння ($170 s^{-1}$).

За умов розміщення лінійного кварцового ІЧ-випромінювача на відстані $h_{ІЧ-випр.} = 0,05$ м (рис. 3.б)

та за умов висоти шару сировини $h_{\text{ябл.}} = 0,007$ мм прийнятною висотою розташування приймальної поверхні є висота $h_{\text{п.п.}} = 0,225$ м з тривалістю процесу ІЧ-сушіння 150 с^{-1} . За інших висот спостерігається пригорання в граничних межах приймальної поверхні ($h_{\text{п.п.}} = 175$ мм) або ж штучне збільшення тривалості процесів сушіння сировини ($h_{\text{п.п.}} = 275$ мм).

Аналізуючи отриману залежність при подальшому розташуванні лінійного кварцового ІЧ-випромінювача на відстані $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,025$ м від рефлектора при використанні синусоїдального або ж напівциліндричного рефлектору (рис. 3.в), можна стверджувати, що тривалість процесу сушіння сировини значною мірою збільшується порівняно з отриманими результатами за висот розташування ІЧ-випромінювача $h_{\text{ІЧ-випр.}} = 0,05$ мм та $0,075$ м, а зовнішній вигляд її є досить придатним для споживання (результати отримані під час досліджень), це обумовлене нерівномірністю розподілу теплового потоку.

Отримані дані підтверджують пересушування поверхневих шарів сировини та штучне збільшення тривалості процесу, а отже й витрата електроенергії, що є недоцільним для процесів ІЧ-сушіння.

Висновки і пропозиції. Аналіз проведеного експерименту показав, які з параметрів та припущень мають вплив на тривалість технологічного процесу, якість та ефективність роботи устаткування. Головними чинниками, які значною мірою впливають на технологічний процес було обрано: відстань між ІЧ-випромінювачем та продуктом, відстань між ІЧ-випромінювачем та відбивачем (рефлектором), товщина шару продукту на лотку та тривалість сушіння.

Пропонуємо застосовувати ІЧ-сушіння в харчовій промисловості більш інтенсивніше, тому що цей спосіб не тільки зберігає біологічно активні речовини та збільшує термін зберігання продукції але й він значно економічніший в плані витрати електроенергії та металоємності.

Список літератури:

1. Инфракрасная сушка – [Электронный ресурс] – режим доступа: http://alifar.ru/sushka_fruktov_i_ovoschey
2. Лаго Л.А., Завалий А.А., Янович И.В. Инфракрасная сушка виноградной вижимки / Лаго Л.А., Завалий А.А., Янович И.В. // Збірник наукових праць ПФ НУФ і П України «Кримський агротехнологічний університет» (технічні науки), № 131. – Сімферополь: 2010. – 152 с.
3. Загорулько А.Н., Загорулько А.Е., Киптелая Л.В. Исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок. – 2015.
4. Заметки по эконометрике: Учебное пособие. Часть 1 / С.С. Валландер; СПб.: Европейский университет в Санкт-Петербурге. – 2002. – 47 с.

Шустов А.В., Товпыга Д.А.

Харьковский государственный университет питания и торговли

ИК-СУШЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Аннотация

Представлены результаты исследования процесса ИК-сушки растительного сырья и определены рациональные параметры и факторы, которые существенно влияют на продолжительность тепловой обработки. Наиболее перспективными видами растительного сырья являются: яблоко, пряно-ароматическое сырье, арония, калина и др. Поскольку именно это сырье имеет характерную сезонность, а сельскохозяйственное и пищевое производство в полной мере не обеспечивает ее использование в течение всего года. Удаление влаги из растительного сырья путем ИК-сушки до влажности 4...4,5% обеспечивает ее хранение длительное время без специальных условий. Для получения сушеных растительных полуфабрикатов с максимальным сохранением большинства ценные компоненты большое значение имеет технология сушки и ее параметры. Особенно это актуально для растительного сырья, которое являются природной ячейкой биологически активных веществ.

Ключевые слова: ИК-сушка, параметры, влажность, экспериментальная установка, излучатель, сырье.

Shustov A.V., Towpyha D.A.

Kharkiv State University of Food Technology and Trade

INFRARED DRYING OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Summary

The results of the research process, IR-drying plant raw material and defined rational parameters and factors that significantly affect the cooking duration. The most promising types of vegetable raw materials are: apple, spicy and aromatic raw materials, chokeberry, cranberry, and others. Since it is the raw material is characterized by seasonality, and agricultural and food production does not fully ensure its use throughout the year. Removing moisture from plant material by infrared drying up to humidity 4...4,5% allows its storage for a long time without any special conditions. For dried vegetable semis with maximum preservation of most valuable components of great importance drying technology and its parameters. This is especially true for the plant material, which is a natural unit of biologically active substances.

Keywords: infrared drying, parameters, the humidity, the experimental setup, the radiator, the raw material.