

УДК 664.8/9

Пуригін І. О.,

*ri.com.63@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3546-4369,
аспірант кафедри технологій та безпеки харчових продуктів,
Сумський національний аграрний університет, м. Суми*

Назаренко Ю. В.,

*nazarenko.sumu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4870-4667,
к.т.н., доц., доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів,
Сумський національний аграрний університет, м. Суми*

Синенко Т. П.,

*t.p.sypenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5300-5142,
доктор філософії, доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів,
Сумський національний аграрний університет, м. Суми*

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ СУШІННЯ ГРУШ В УМОВАХ КРАФТОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. *Актуальним напрямком для крафтових виробництв є виробництво сухих продуктів. Адже сушіння – найефективніший спосіб збереження продуктів харчування, оскільки в висушених продуктах сповільнюються мікробіологічні процеси, а склад поживних і біологічно цінних речовин залишається наближеним до природного. Оскільки існують різні методи сушіння, найбільш підходящий метод сушіння слід вибирати відповідно до типу сировини, її характеристик, виробничих потужностей і необхідних властивостей кінцевого продукту. Метою дослідження є вибір раціонального способу сушіння груш в умовах крафтового виробництва. У роботі досліджували плоди груш сорту «Конференція» в процесі сушіння та порошки із них. Для проведення дослідження використовувалися наступні сушарки: конвективна (дегідратор) – WFD-K650S виробник WetAir (Китай); лабораторна інфрачервона сушарка кафедри технологій та безпеки харчових продуктів Сумського НАУ (Україна); виробнича сублімаційна сушарка ТОВ «Галфрост» (Україна). Контроль якості сухих груш та їх порошоків здійснювали за загальноприйнятими методиками. Порівнюючи способи сушіння грушевих скибочок, можна зробити висновок, що зменшення вмісту вологи при інфрачервоному сушінні відбувається швидше. Однак саме груші за сублімованого сушіння мають найвищий вміст вітаміну С (20,1 мг/100 г). Дослідження впливу температури та часу на сушіння плодів груші показало, що оптимальною температурою для всіх способів сушіння є (55±2)°С. Встановлено, що колір скибочок груш при конвективному сушінні найбільше піддається потемнінню – відбувається реакція Майяра, за рахунок високого вмісту цукрів в плодах груш. Колір плодів груш та їх пористість висушених за сублімаційним способом залишаються максимально наближеними до нативних характеристик сировини. Виявлено, що порошок із груші висушеної конвективним або інфрачервоним способами характеризувався злежуванням або комкуванням через високий вміст цукру в складі продукту. Порошок із сублімованої груші менше піддається до злипання, а утворені грудочки добре розділяються при натиску. Дослідження фізико-хімічних показників зразків порошоків груш показали, що за сублімаційного сушіння отримується максимально сухий дрібнодисперсний порошок з високим вмістом вітаміну С та клітковини. Таким чином, з точки зору збереження якості, сублімаційне сушіння є найдосконалішим з усіх методів сушіння у крафтовому виробництві.*

Ключові слова: сушіння, рослинна сировина, груші, клітковина, органолептичні показники, крафтове виробництво.

Puryhin I. O.,

ru.com.63@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3546-4369,
Ph.D. Student at the Department of Technologies and Food Safety,
Sumy National Agrarian University, Sumy

Nazarenko Yu. V.,

nazarenko.sumy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4870-4667,
Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technologies and Food Safety,
Sumy National Agrarian University, Sumy

Sylenko T. P.,

t.p.sylenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5300-5142,
Ph.D., Associate Professor at the Department of Technologies and Food Safety,
Sumy National Agrarian University, Sumy

CHOOSING A RATIONAL METHOD OF DRYING PEARS IN THE CONDITIONS OF CRAFT PRODUCTION

Abstract. The production of dried products is a relevant area for craft production. This is because microbiological processes are slower in dried products and the composition of nutrients and biologically valuable substances is closer to nature. Since there are various drying methods available, the best drying method must be selected according to the type of raw material, its characteristics, production capacity, and the required properties of the final product. The objective of this study is to select a reasonable pear drying method under the conditions of craft production. In this study, pear fruits of the "Conference" variety and their powders were examined during drying. The following dryers were used in the study: convection (dehydrator) – WFD-K650S from WetAir (China), laboratory infrared dryer from the Faculty of Food Technology and Safety, Sumy National Academy of Sciences (Ukraine), freeze dryer for production from Gulfrost LLC (Ukraine) Machine. Quality control of dried pears and their powder was performed according to generally accepted methods. Comparing the drying methods of pear slices, it can be concluded that infrared drying results in faster moisture loss. However, the vitamin C content of freeze-dried pears is the highest (20,1 mg/100 g). The effect of temperature and time on the drying of pear fruit was studied, and it was found that the optimal temperature for any drying method is (55±2)°C. The color of pear slices during convection drying was found to be the darkest – due to the high sugar content of pear fruit, the Maillard reaction occurs. The color of pear fruit dried by the freeze-drying method and its porosity remain as close as possible to the original properties of the raw material. Pear powders dried by convection or infrared methods were found to be characterized by caking and clumping due to the high sugar content in the product. Freeze-dried pear powder was less likely to clump, and the resulting clumps separated well under pressure. Studies of physicochemical parameters of pear powder samples showed that freeze-drying produces the driest possible fine powder with a high vitamin C and fiber content. Thus, in terms of quality retention, freeze-drying is the most advanced of all drying methods in craft production.

Key words: drying, plant material, pears, fiber, organoleptic indicators, craft production.

JEL Classification: L66

DOI 10.32782/2522-1221-2024-37-07

Постановка проблеми. Одним із викликів, що стоять перед харчовою промисловістю, є раціональне використання сировини та продуктів для зменшення їх втрат. Більшість продуктів харчування містять значну кількість води, яка входить до складу рослинних і тваринних тканин і є необхідним елементом. Однак надлишок вологи знижує поживну цінність продуктів харчування, збільшує транспортні витрати і зумовлює нестабільність під час зберігання через бактеріальне, ферментативне та хімічне псування. Для того,

щоб зберегти сировину протягом тривалого часу, необхідна спеціальна обробка для запобігання псуванню.

Сушіння – найефективніший спосіб збереження продуктів харчування, оскільки в висушених продуктах сповільнюються мікробіологічні процеси, а склад поживних і біологічно цінних речовин залишається наближеним до природного. Крафтові виробники в Україні пропонують широкий асортимент сушених продуктів (фруктові та овочеві чіпси, висушені ягоди та гриби, а також порошки із них).

На сьогодні існує велика кількість різних технологій сушіння (зневоднення) придатних для крафтових (невеликих потужностей) виробництв: природна сушка, конвекційна, інфрачервона сушка, сушка в електромагнітному полі надвисоких частот, сублімаційна та інші. Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки. Визначення найбільш ефективного методу сушіння для певної сировини з урахуванням її характеристик залишається актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш поширені крафтові технології сушіння засновані на механізмах конвективного зневоднення. Однак ці методи не гарантують високої якості продукції і характеризуються високими енерговитратами. Такі недоліки конвективного сушіння пов'язані з особливостями взаємодії гарячого повітря з матеріалом, що висушується, на різних етапах процесу сушіння [1].

Інфрачервоне сушіння (ІЧ-сушіння) розглядається як перспективний спосіб крафтового сушіння харчових продуктів. Механізм дії інфрачервоного випромінювання під час сушіння вологих продуктів полягає в наступному – енергія проникає в матеріали на невелику глибину, а потім перетворюється на тепло [2]. У порівнянні зі звичайними технологіями сушіння, ІЧ-сушіння має такі переваги, як висока енергоефективність, короткий час сушіння, рівномірне нагрівання сировини, легкий контроль температури сировини, висока якість кінцевого продукту і низькі витрати на електроенергію. Іншими перевагами інфрачервоного сушіння є можливість модифікації, адаптивність, простота обладнання, легкість поєднання з іншими способами сушіння, такими як конвекційне, вакуумне та мікрохвильове, а також дешевизна і простота встановлення та використання [3]. Недоліком цього методу є необхідність «ручного» перемішування продукту на піддоні в інфрачервоній сушарці, без якого процес сушіння стає нерівномірним і окремі частинки злипаються.

Процес сублімаційного сушіння – це інноваційний метод сушіння, що характеризується сушінням продуктів у замороженому стані в глибокому вакуумі [4]. Основний вміст води (75-90%) видаляється під час сублімації льоду, коли температура продукту нижче 0°C (залишковий тиск 6,65-332,50 Н/м або 0,05-2,50 мм рт. ст.), і лише залишкова вода видаляється при нагріванні матеріалу до 40-60°C. Сублімаційне сушіння не піддається окислювальному впливу кисню повітря, тому висушений продукт має високу якість, підвищену відновлювальну здатність, зберігає максимально поживні речовини, зберігає колір і пористу структуру [5, 6]. Однак

цей спосіб сушіння використовується рідко через високу вартість обладнання.

Визначення ефективності технологій сушіння базується на використанні відносно невеликої системи параметрів (критеріїв): продуктивності, енергоемності, швидкості сушіння, зберігання в процесі сушіння корисних речовин і вітамінів.

Багато вчених працюють над покращенням якості сушіння рослинної сировини та зменшенням енерговитрат. Це стосується скорочення часу сушіння, тобто часу теплового впливу на сировину, який залежить від рівномірності нагріву і максимального зниження вмісту вологи в процесі сушіння. Для досягнення цієї мети розробляються нові методи сушіння на основі вже існуючих.

У роботі [7] розглянуто процес конвективного сушіння гарбуза та шляхи покращення технології. Авторами запропоновано комплексне використання конвективного сушіння, етанолу та ультразвуку. Результати показали, що комбінація етанолу та ультразвуку призвела до найбільшого скорочення часу сушіння (59%) та споживання енергії (44%). Крім того, попередньо оброблені зразки зберегли 100% вмісту каротиноїдів, тоді як контрольний зразок показав часткову деградацію (23%). Отримані результати відкривають нові перспективи щодо інноваційних способів покращення процесу сушіння та якості продукції шляхом поєднання етанолу та ультразвуку.

У роботі [8] розроблено технологію сублімаційного сушіння солодкої картоплі (батат). Встановлено, що готовий сухий продукт має поліпшений зовнішній вигляд і текстурні властивості, а також зберігаються функціональні властивості.

У роботі [9] розглянуто вплив різних способів сушіння (конвективне, мікрохвильове та сушіння під вакуумом) на антиоксидантну активність в бульбах солодкої картоплі (батат). Результати показали, що батат, висушений у мікрохвильовій печі, мав найвищу антиоксидантну активність, тоді як батат, висушений у конвекційній печі, – найнижчу.

У роботі [10] розглянуто технологію сушіння ягід лохини інноваційним способом – імпульсивно-вакуумною сушкою з нагріванням в інфрачервоному діапазоні. Результати показали, що температура сушіння, тиск і тривалість мали значний вплив на процес сушіння та якісні характеристики сушених ягід чорниці за органолептичними та технологічними показниками. У порівнянні з чорницею, висушеною гарячим повітрям, імпульсивно-вакуумна сушка з нагріванням в інфрачервоному діапазоні пошкодила клітинні стінки чорниці при сушінні за температури 65°C.

У роботі [11] досліджено інноваційний спосіб сушіння авокадо. Автори пропонують використовувати інфрачервоне сушіння для отримання функціональних продуктів з авокадо для харчової та косметичної промисловості. Результати показали, що сушіння м'якої авокадо з використанням інфрачервоного випромінювання може бути здійснено за короткий час і має високий потенціал для застосування у виробництві високоякісних сушених авокадо, таких як порошок авокадо.

У роботі [12] визначено вплив сублімаційної сушки на процес отримання якісного порошку із ківи. Результати показали, що зі збільшенням тиску легкість сублімованого ківи зменшується, а жовтий і зелений колір збільшується. Зі збільшенням тиску осмотична здатність ківи зростала, а здатність до гідратації зменшувалася.

У роботі [13] досліджено вплив температури конвекції та сублімаційного сушіння плодів суниці лісової на кінетику сушіння та якісні характеристики сушених плодів. Встановлено, що підвищення температури сушіння до 60°C як для конвекційного сушіння, так і для сублімаційного сушіння призвело до зниження загального вмісту фенольних сполук і антиоксидантної активності сушених фруктів. Підвищення температури конвекційного сушіння зменшувало легкість сухофруктів. Однак при сублімаційному сушінні ці властивості мало змінювалися, незважаючи на підвищення температури сушіння. Найяскравіші сухофрукти були отримані при температурі сублімаційного сушіння 60°C. На основі отриманих кольорів, терміну зберігання L-аскорбінової кислоти та антиоксидантних властивостей сухофруктів було запропоновано метод сублімаційного сушіння як найкращий.

Оскільки існують різні методи сушіння, найбільш підходящий метод сушіння слід вибирати відповідно до типу сировини, її характеристик, виробничих потужностей і необхідних властивостей кінцевого продукту. Вище зазначене вказує на перспективність дослідження способу сушіння фруктів та овочів з акцентом на крафтові виробництва.

Постановка завдання. Метою дослідження є вибір раціонального способу сушіння груш в умовах крафтового виробництва.

Для досягнення мети були поставлено задачу дослідити вплив способу сушіння груш на органолептичні та фізико-хімічні показники зневоднених груш та порошку з них.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі досліджували плоди груш сорту «Конференція» в процесі сушіння та порошки із них.

Для проведення дослідження використовувалися наступні сушарки: конвективна (дегідратор) – WFD-K650S виробник WetAir (Китай);

лабораторна інфрачервона сушарка кафедри технологій та безпечності харчових продуктів Сумського НАУ (Україна); виробнича сублімаційна сушарка ТОВ «Галфрост» (Україна).

Масову частку вологи у зневоднених плодах груш визначали згідно з ДСТУ 7804:2015. Вміст вітаміну С – згідно з ДСТУ 7803:2015.

Контроль якості порошоків із груш за органолептичними та фізико-хімічними показниками здійснювали за ДСТУ 8498:2015. Розмір часток, крупність подрібнення, дефекти за зовнішнім виглядом визначали згідно з ГОСТ 13340.1-77. Вміст клітковини – згідно з ДСТУ ISO 5498:2004. Масову частку цукрів визначали згідно з ДСТУ 4954:2008.

Відомо, що в типовому процесі сушіння волога в твердих матеріалах спочатку випаровується з поверхневого шару, а потім безперервно зменшується до тих пір, поки волога всередині продукту не переміститься назовні за допомогою процесу дифузії [14].

Порівнюючи способи сушіння грушевих скибочок (рис. 1), можна дійти висновку, що зменшення вмісту вологи при інфрачервоному сушінні відбувається швидше. Однак саме груші за сублімованого сушіння мають найвищий вміст вітаміну С (20,1 мг/100 г).

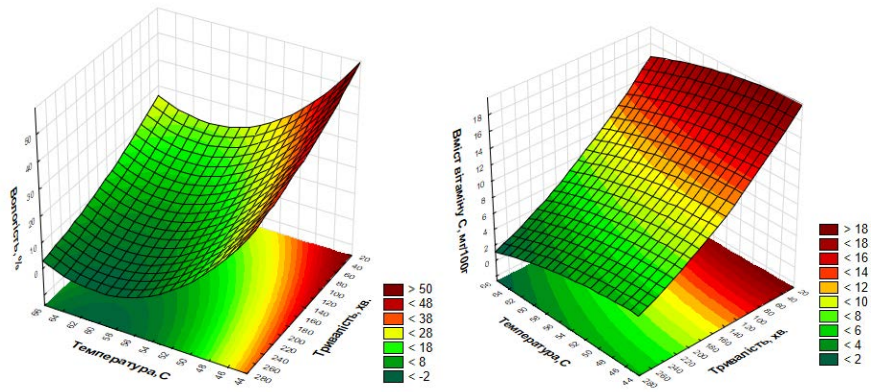
На швидкість видалення вологи при конвективному та інфрачервоному сушінні впливає високий вміст цукру в свіжих грушах (58,5±2,8 г/100 г). Під час процесу сушіння концентрація цукру збільшується в міру випаровування води, що в поєднанні з усадкою плодів збільшує опір руху води.

Дослідження впливу температури та часу на сушіння плодів груші показало, що оптимальною температурою для всіх способів сушіння є (55±2)°C. Це дозволяє мінімізувати час сушіння при максимальному збереженні біологічної цінності продукту, особливо вітаміну С.

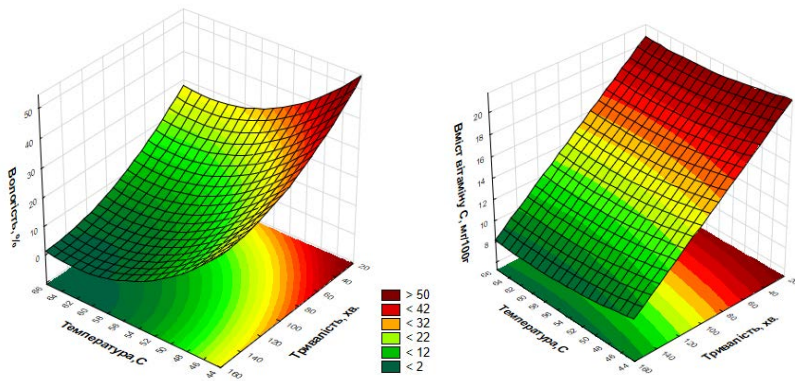
Зовнішній вигляд зневоднених плодів груші за оптимальних температурних умов сушіння показано на рис. 2.

Встановлено, що колір скибочок груш при конвективному сушінні найбільше піддається потемнінню – відбувається реакція Майяра, за рахунок високого вмісту цукрів в плодах груш. Колір плодів груш та їх пористість висушених за сублімаційним способом залишаються максимально наближеними до нативних характеристик сировини.

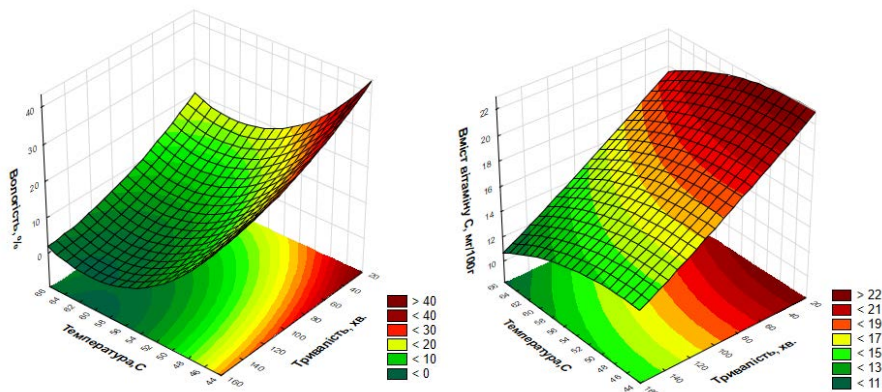
Отримані зневоднені плоди груш подрібнювали за допомогою лабораторного млина. Зовнішній вигляд отриманих порошоків із груш представлено на рис. 3.



a



б



в

Рис. 1. Залежність вмісту води і вітаміну С у зневоднених плодах груш від параметрів сушіння: *a* – конвективного; *б* – інфрачервоного; *в* – сублимаційного



Рис. 2. Зовнішній вигляд плодів груш після сушіння: *a* – конвективного; *б* – інфрачервоного; *в* – сублимаційного



Рис. 3. Зовнішній вигляд порошоків із груш: *a* – конвективного сушіння; *б* – інфрачервоного сушіння; *в* – сублимаційного сушіння

Фізико-хімічні показники дослідних зразків порошоків із груш (n= 3, p ≤ 0,05)

Показник	Конвективне сушіння	Інфрачервоне сушіння	Сублімаційне сушіння
Дисперсність, мм	≤ 0,8	≤ 0,6	≤ 0,5
Вміст вологи, %	8,5 ±0,2	6,1 ±0,5	4,2 ±0,3
Вміст клітковини, г/100 г	17,6 ±1,1	18,0 ±1,0	18,2 ±1,5
Вміст цукрів, г/100 г	16,4 ±1,5	19,8 ±1,0	21,1 ±1,2
Вміст вітаміну С, мг/100 г	14,7 ±0,5	17,5 ±0,8	20,1 ±0,5

Виявлено, що порошок із груші висушеної конвективним або інфрачервоним способами характеризувався злежуванням або комкуванням через високий вміст цукру в складі продукту. Порошок із сублімованої груші менше піддається до злипання, а утворені грудочки добре розділяються при натиску.

В таблиці 1 представлено фізико-хімічні показники отриманих порошоків із груш.

Дослідження фізико-хімічних показників зразків порошоків груш показали, що за сублімаційного сушіння отримується максимально сухий дрібнодисперсний порошок з високим вмістом вітаміну С та клітковини. Відповідні результати можуть залежати від параметрів сушіння продукту (тривалості і температури). Адже при конвективному або інфрачервоному процесі триває за підвищених значень параметрів сушіння, порівняно із помірними значеннями параметрів сублімаційного способу сушіння.

Таким чином, з точки зору збереження якості, сублімаційне сушіння є найдосконалішим з усіх методів сушіння у крафтовому виробництві. Пориста мікроструктура продуктів сублімаційного сушіння покращує поглинання і транспортування вологи, відновлює функціональні властивості свіжих продуктів і допомагає створювати продукти з кращою вологістю, особливо в чутливих до температури продуктах, таких як овочі та фрукти.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Дегідратація (сушіння) і консервація рослинної сировини та її збут є перспективним напрямком для виробників, у тому числі крафтових. Оскільки існують різні методи сушіння, необхідно детально вивчити вплив на окремі види сировини та обрати найбільш раціональний метод.

Встановлено, що сублімаційне сушіння груш зберігає нативний вигляд плодів і максимально зберігає їхню біологічну цінність (наприклад, вітамін С), порівняно з конвективним та інфрачервоним способом.

Порошки, отримані зі зневоднених груш, мають відмінні фізичні та хімічні властивості, але сублімовані порошки мають більш привабливий зовнішній вигляд, кращу сипучість і вищий вміст вітаміну С.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу порошоків сублімованих груш на якісні показники харчових продуктів, таких як кисломолочні, хлібобулочні, десертні тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. V. P. C. Convective drying of food materials: An overview with fundamental aspect, recent developments, and summary. *Heat Transfer*. 2020. Vol. 49, no. 3. P. 1281–1313. DOI: <https://doi.org/10.1002/htj.21662>
2. Salehi F. Recent Applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A Review. *International Journal of Fruit Science*. 2019. № 20 (3). P. 586–602. DOI: <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1616243>
3. Application of infrared radiation in the drying of food products / D. Huang et al. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110. P. 765–777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>
4. Oyinloye T. M., Yoon W. B. Effect of Freeze-Drying on Quality and Grinding Process of Food Produce: A Review. *Processes*. 2020. Vol. 8, no. 3. P. 354. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8030354>
5. Ratti C. Freeze drying for food powder production. *Handbook of Food Powders*. 2024. P. 37–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-98820-9.00001-6>
6. Liu Y., Zhang Z., Hu L. High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>
7. Rojas M. L., Silveira I., Augusto P. E. D. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. *Food and Bioprocess Processing*. 2020. Vol. 119. P. 20–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.008>
8. Savas E. The Modelling of Convective Drying Variables' Effects on the Functional Properties of Sliced Sweet Potatoes. *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 5. P. 741. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11050741>

9. Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoes / J. Yang et al. *Agricultural Sciences in China*. 2010. Vol. 9, no. 10. P. 1522–1529. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(09\)60246-7](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(09)60246-7)

10. Improvement of drying efficiency and quality attributes of blueberries using innovative far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) / Z.-L. Liu et al. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2022. Vol. 77. P. 102948. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102948>

11. Nguyen T.-V.-L., Nguyen P.-B.-D., Tran T. T. V. Kinetics of infrared drying of avocado (*Persea americana*) pulp with different formulations. *Cogent Food & Agriculture*. 2024. Vol. 10, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2303835>

12. Influence of the Freeze-drying Conditions on the Physicochemical Properties and Grinding Characteristics of Kiwi / M. Domin et al. *International Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 16, no. 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0315>

13. Wild Strawberry *Fragaria vesca* L.: Kinetics of Fruit Drying and Quality Characteristics of the Dried Fruits / A. Krzykowski et al. *Processes*. 2020. Vol. 8, no. 10. P. 1265. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8101265>

14. Di Scala K., Crapiste G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT-Food Science and Technology*. 2008. Vol. 41, no. 5. P. 789–795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>

REFERENCES:

1. V. P., C. 2020. Convective drying of food materials: An overview with fundamental aspect, recent developments, and summary. *Heat Transfer*, vol. 49, no. 3, pp. 1281–1313. doi: <https://doi.org/10.1002/htj.21662>

2. Salehi, F. 2019. Recent Applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A Review. *International Journal of Fruit Science*, no. 20 (3), pp. 586–602. doi: <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1616243>

3. Huang, D. et al. 2021. Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 110, pp. 765–777. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>

4. Oyinloye, T. M., Yoon, W. B. 2020. Effect of Freeze-Drying on Quality and Grinding Process of Food Produce: A Review. *Processes*, vol. 8, no. 3, pp. 354. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8030354>

5. Ratti, C. 2024. Freeze drying for food powder production. *Handbook of Food Powders*, pp. 37–56. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-98820-9.00001-6>

6. Liu, Y., Zhang, Z., Hu, L. 2021. High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1–19. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>

7. Rojas, M. L., Silveira, I., Augusto, P. E. D. 2020. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 119, pp. 20–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.008>

8. Savas, E. 2022. The Modelling of Convective Drying Variables' Effects on the Functional Properties of Sliced Sweet Potatoes. *Foods*, vol. 11, no. 5, pp. 741. doi: <https://doi.org/10.3390/foods11050741>

9. Yang, J. et al. 2010. Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoes. *Agricultural Sciences in China*, vol. 9, no. 10, pp. 1522–1529. doi: [https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(09\)60246-7](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(09)60246-7)

10. Liu, Z.-L. et al. 2022. Improvement of drying efficiency and quality attributes of blueberries using innovative far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 77, pp. 102948. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102948>

11. Nguyen, T.-V.-L., Nguyen, P.-B.-D., Tran, T. T. V. 2024. Kinetics of infrared drying of avocado (*Persea americana*) pulp with different formulations. *Cogent Food & Agriculture*, vol. 10, no. 1. doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2303835>

12. Domin, M. et al. 2020. Influence of the Freeze-drying Conditions on the Physicochemical Properties and Grinding Characteristics of Kiwi. *International Journal of Food Engineering*, vol. 16, no. 1-2. doi: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0315>

13. Krzykowski, A. et al. 2020. Wild Strawberry *Fragaria vesca* L.: Kinetics of Fruit Drying and Quality Characteristics of the Dried Fruits. *Processes*, vol. 8, no. 10, pp. 1265. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8101265>

14. Di Scala, K., Crapiste, G. 2008. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, no. 5, pp. 789–795. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>

*Стаття надійшла до редакції
13 березня 2024 року*