

ПЕРЕРОБКА ХУРМИ (DIOSPYROS KAKI L.) СУШІННЯМ

Петрова Ж.О., д.т.н., професор, Новікова Ю.П., доктор філософії, Слободянюк К.С., к.т.н.,
Граков О.П., доктор філософії, Коваль І.О., аспірант
Інститут технічної теплофізики НАН України, м.Київ

Анотація. У світі збільшується попит на функціональне харчування, яке може забезпечувати організм людини макро- та мікронутрієнтами, зменшувати ризик хронічних захворювань, покращувати фізичний стан і психічне благополуччя. Функціональне харчування відіграє важливу роль у підтримці здорового способу життя та зниженні факторів ризику різних захворювань. До функціональних продуктів відносять ті, які містять один або кілька біологічно активних харчових інгредієнтів. У харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості значний потенціал для прогресу продемонстрували каротиноїди, завдяки своїй багатій поживній цінності та функціональними властивостями. Каротиноїди це природні органічні пігменти, що виробляються мікроорганізмами та рослинами. Сьогодні розпізнано близько 600 каротиноїдів. Їх поділяють на два класи: ксантофіли та каротини. Каротиноїди в основному містяться у фруктах, ягодах, овочах, мікроорганізмах і деяких морських організмах. Хурма (*Diospyros Kaki L.*) – це солодкий, злегка терпкий фрукт, який є джерелом бета-каротину, вітамінів А і Е, аскорбінової кислоти, багата вуглеводами, дубильними речовинами і фенольними сполуками, є хорошим джерелом клітковини, а також має потужну антиоксидантну дію. Хурма найбільш поширена в країнах Східної Азії. Хурма відноситься до сезонних продуктів, та має обмежені терміни зберігання, для їх збільшення можна використовувати сушіння. Більш розповсюдженими методами сушіння є конвекція, сублімація, сонячне та інфрачервоне. З цих методів конвективне сушіння дає якісний матеріал з меншими енерговитратами. Але при цьому в світі розповсюджується комбіноване сушіння. Тому метою роботи є переробка плодів хурми сушінням та визначення впливу різних режимів. Дослідження кінетики сушіння показало, що найбільш доцільними режимами є ступеневий та комбіновані режими сушіння, які інтенсифікують процес у 1,92 та 1,63 рази порівняно з 65 °С.

Ключові слова: сушіння, хурма, конфекція, комбіноване сушіння, інтенсифікація.

Постановка проблеми. Сьогодні у всьому світі збільшується попит на здорове харчування, яке полягає у раціональному та збалансованому поєднанні рослинної та тваринної продукції, для забезпечення організму людини необхідними макронутрієнтами, так і мікронутрієнтами на кожному етапі життя [1]. Макронутрієнти - це поживні речовини, які потрібні організму у великих кількостях, оскільки вони забезпечують організм енергією [2]. В основному їх класифікують як вуглеводи, білки та жири. Мікронутрієнти - це елементи, які містяться в раціоні в невеликих кількостях, такі як вітаміни та мінерали [3].

Велика кількість досліджень [4 – 6] стверджують, що споживання їжі, збагаченої інгредієнтами, які називають функціональними, (наприклад: вітамінами, мінералами, клітковиною та антиоксидантами), може зменшити ризик хронічних захворювань, покращити фізичний стан і психічне благополуччя.

Оскільки існує прямий зв'язок між їжею та здоров'ям, у світі розвиваються дослідження по визначенню впливу харчових продуктів або дієтичних речовин на ключові функції організму [7]. В Японії вперше почали використовувати термін «функціональні продукти» до самого продукту, який має користь для здоров'я [7, 8]. Це пов'язано з тим, що ними була поставлена мета збільшити тривалість життя населення і згодом знизити витрати на охорону здоров'я шляхом покращення щоденних харчових звичок [8].

До функціональних продуктів відносять ті, що містять один або кілька біологічно активних харчових інгредієнтів: хімічні елементи та речовини або інші компоненти їжі, які позитивно впливають на здоров'я людини, включаючи вітаміни [9], каротиноїди [10], флавоноїди [11] та пребіотики [12] та інше [13].

У харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості значний потенціал для прогресу продемонстрували каротиноїди, завдяки своїй багатій поживній цінності та функціональним властивостям [14]. Каротиноїди, також відомі як тетратерпеноїди, включають клас жиророзчинних пігментів, які утворені з восьми молекул п'яти ізопреноїдів вуглецю. Вони складаються з вуглеводню, що містить 40 атомів вуглецю та два кінцевих кільця, відповідальні за жовте, оранжеве та червоне забарвлення [15]. Сьогодні відомо про 600 каротиноїдів, і близько 40 людина регулярно вживає у своєму раціоні. Каротиноїди можна розділити на дві групи: оксигеновані ксантофіли (наприклад, астаксантин, лютеїн і зеаксантин) і вуглеводневі каротини, включаючи α -каротин, β -каротин і лікопін [15].

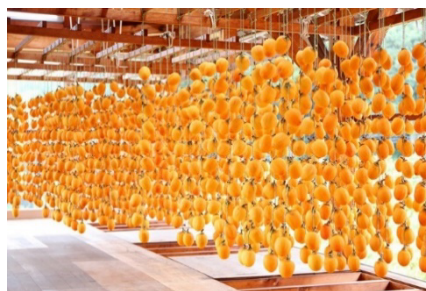
Каротиноїди в основному містяться у фруктах, ягодах, овочах, мікроорганізмах і деяких морських організмах [16, 17]. Більшість каротиноїдів міститься в жовто-помаранчевих та червоних фруктах, овочах та ягодах. Також вони містяться в низці зелених овочів та у травах [15].

Хурма (*Diospyros kaki L.*) – це субтропічний фрукт, який є джерелом бета-каротину, вітамінів А і Е, аскорбінової кислоти, багатий вуглеводами, дубильними речовинами і фенольними сполуками, є хорошим

джерелом клітковини, а також має потужну антиоксидантну дію [18 – 23]. Традиційними виробниками хурми є Китай, Корея та Японія, також вона була натуралізована в багатьох країнах Східної Азії та Південної Європи [24 – 26]. Китай – перша країна, яка культивувала дерева хурми, при цьому використання їх плодів було зафіксовано ще за часів династії Хань [27]. Китай також має найбільшу в усьому світі культивовану площу для виробництва хурми [28]. Плоди хурми можна переробляти на такі продукти, як сухофрукти [29], джеми, хурмовий оцет, фруктові соки [30, 31].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хурма відноситься до сезонних продуктів, та має обмежені терміни зберігання. Для збільшення термінів зберігання можна використовувати методи консервування, такі як сушіння, заморожування, пастеризація, маринування та інші [32]. Сушіння є одним із найстаріших методів консервування, що широко використовується у харчовій промисловості [26].

Зневоднення хурми на відкритому повітрі – це найдавніший і найпростіший спосіб сушіння хурми, при цьому отримують напівсуху хурму з вологістю близько 50% або доводять її до вологості 35% і нижче [33 – 35]. Спочатку хурму миють, потім або перев'язують «хвостики» або проколюють сухі плодоніжки міцними нитками, так щоб вони не торкалися один одного. Такі готові «гірлянди» підвішують від навісом (рис. 1 а) [33].



а



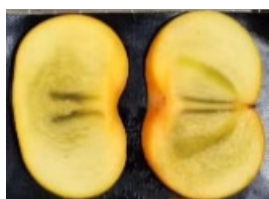
б

а – процес зневоднення, б – сушена хурма

Рис. 1 – Заводнення хурми на відкритому повітрі

Деякі виробники під час сушіння періодично злегка роздавлюють плоди пальцями, щоб надати їм кращої форми та прискорити появу цукрового нальоту (рис. 1 б). Сушіння плодів йде протягом місяця, але іноді їх залишають висіти на нитці до березня [33].

У Китаї науковцями проведено дослідження вакуумного сушіння хурми [36]. Свіжі плоди промивають, видаляють плодоніжки та нарізають на скибочки товщиною 4 мм. Дослідження проводили на імпульсно-вакуумній сушильній установці при температурах сушіння 60, 65, 70, 75 °C та постійним коефіцієнтом імпульсного вакууму 12:4 хв.. Сушіння проводили до вологості зразків 15,0±3%. Тривалість сушіння при різних температурах сушіння 60, 65, 70, 75 °C відповідно становили 412, 432, 314, 252 хв. Результати показали, що при підвищенні температури сушіння від 60 до 75 °C, час скорочується у 1,64 рази. На рис. 2 представлено порівняння імпульсно-вакуумних висушених зразків зі свіжими, яке показало, що чим довше обробляється зразок, тим більше знижується яскравість та міняється колір.



а



б



в



г



д

а – свіжа хурма; б – імпульсно-вакуумне сушіння при 60°C; в – імпульсно-вакуумне сушіння при 65°C; г – імпульсно-вакуумне сушіння при 70°C; д – імпульсно-вакуумне сушіння при 75°C

Рис. 2 – Порівняння хурми за різних умов імпульсно-вакуумного сушіння зі свіжою [36]

Науковцями були виконані дослідження з визначення коефіцієнту набухання та оцінка за допомогою скануючої електронної мікроскопії. Результати показали, що значний тривалий вплив теплового середовища або високої температури можуть призвести до колапсу клітин і тканин, які спричиняють погіршення відновлюваних властивостей матеріалу [36, 37].

Дослідниками з Туреччини проведені дослідження сублімаційного сушіння хурми [38]. Плоди нарізають скибочками товщиною 5 мм. Сушіння проводили на установці ScanVac Coolsafe марки Labogene. Скибочки хурми, заморожені при -15°C , поміщаються в установку та зберігаються протягом перших 60 хвилин. Експеримент починається при -40°C і тиску $0,01\text{кПа}$, а потім, підтримуючи постійний тиск йдуть наступні етапи: 180 хв при -30°C , 180 хв при -20°C , 120 хвилин при -10°C , 120 хв при 0°C ; 120 хв при 5°C і нарешті, протягом 60 хв при 10°C . За всіма наведеними вище етапами виконується процес сублімаційного сушіння, який загалом завершується за 14 годин [38].



а

б

а – свіжа хурма; б – сушена хурма

Рис. 3 – Порівняння хурми сублімаційного сушіння та свіжої [38]

На рис. 3 представлено зразки сублімаційно висушеної хурми зі свіжої. Хурма, яка висушена на сублімаційній установці, має неясний колір порівняно з імпульсно-вакуумним сушінням (рис. 2).

Одним із способів сушіння хурми є інфрачервоне випромінювання. У роботі [39] представлені дослідження інфрачервоного сушіння за двома режимами: безперервний та періодичний. Для досліджень хурму мили, відчищали від шкірок та нарізали на скибочки товщиною до 3 мм. Процес інфрачервоного сушіння проводився в спеціально розробленій сушарці, оснащеній галогенною інфрачервоною лампою потужністю 1500 Вт, яка розташована над матеріалом в повздовньому порядку на відстані 12 см. Використовували два режими інфрачервоного сушіння: безперервний і періодичний. У періодичному режимі використовувалися специфічні співвідношення: перше 30с увімкнено – 30с вимкнено і друге 20с увімкнено–40с вимкнено [39].

Для досліджень були використані потужності інфрачервоних ламп 300, 400 та 500 Вт. В результаті для безперервного режиму тривалість сушіння становила 225, 140, 100 хв; для першого періодичного співвідношення – 170, 90, 80 хв; для другого періодичного співвідношення – 85, 55, 40хв. При періодичному інфрачервоному сушінні утворені інтервали релаксації сприяють зниженню загальної температури зразка через теплову дифузію, що одночасно призводить до перерозподілу вмісту вологи [39].

Сушіння хурми виконувалося за комбінованим способом мікрохвильового та конвективного сушіння [40]. Плоди хурми мили, нарізали на скибочки товщиною 8 мм. Сушку плодів хурми комбінованим способом за допомогою мікрохвильової печі та конвективної сушарки. Мікрохвильова піч працювала на чотирьох мікрохвильових потужностях 200, 300, 400 і 500 Вт, тоді як конвективна сушарка працювала при постійній температурі 60°C . Мікрохвилі та гаряче повітря застосовували альтернативно відповідно до коефіцієнта імпульсів для сушіння шматочків плодів хурми до вологості $9,86 \pm 1,79\%$. Імпульсне співвідношення використовувалося на трьох рівнях для альтернативної роботи нагрівання за допомогою мікрохвиль і гарячого повітря у співвідношенні 1:5, 1:10 і 1:15 для проведення сушіння скибочок плоду хурми. На кожному рівні коефіцієнтів імпульсів мікрохвильова піч працювала протягом 1 хвилини, а гаряче повітря працювало на основі певного рівня. Наприклад, при коефіцієнті імпульсів 1:15 спочатку матеріал обробляли за циклом протягом 1 хвилини при вибраній потужності мікрохвиль у мікрохвильовій печі, а потім зразок сушили за допомогою гарячого повітря у сушарці при температурі 60°C протягом 15 хвилин. Цикли повторювали доки зразок не досягне бажаної вологості. Після кожного циклу сушіння відповідно до обраного рівня коефіцієнту імпульсу зразок аналізували на вміст вологи, загальний вміст фенолів, антиоксидантну активність, загальну кількість флавоноїдів і зміну кольору [40].

При коефіцієнті імпульсу 1:5 було встановлено, що час сушіння становив 66, 90, 102 і 114 хв для зразка, висушеного при рівні мікрохвильової потужності 500, 400, 300 і 200 Вт відповідно. При коефіцієнті імпульсу 1:10 було встановлено, що час сушіння знаходився в діапазоні 132 – 143 хв. При коефіцієнті імпульсу 1:15 було встановлено, що час сушіння становив 160, 177, 177 і 208 хв. для зразка, висушеного при рівні мікрохвильової потужності 500 Вт, 400 Вт, 300 Вт і 200 Вт відповідно. Результати показали, що збільшення часу сушіння погіршує фізико-хімічні якості плодів хурми [40].

Розповсюдженим методом є конвективне сушіння, яке є більш простим доступним, дешевшим. У роботі [41] представлено дослідження конвективного сушіння хурми при температурах теплоносія 45, 50, 55, 60 і 65 °С. Хурму мили та нарізали на слайси товщиною 6 мм. Експерименти з сушіння слайсів хурми проводилися в конвективній сушарці (FCV/E6L3, Zanussi, Порденоне, Італія), що працювала при постійній температурі. Скибочки хурми поміщали на пластикову сітку розміром 0,01 м × 0,01 м у сушарці та сушили при 45, 50, 55, 60 та 65 °С при фіксованій відцентровій швидкості повітря 2,3 м/с. Тривалість сушіння зразків становила 540, 465, 420, 360 та 320 хв. відповідно до 45, 50, 55, 60 і 65 °С. Тривале сушіння при 45 °С призвело до погіршення кольору та потемніння матеріалу, при цьому найкраща якість та колір близький до свіжого при режимі 65°С. Ці результати показують, що температура та час сушіння є вирішальними факторами при зневодненні хурми [41].

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено спосіб одержання харчового порошкоподібного барвника з плодів хурми [42]. Плоди хурми середньої стиглості миють та нарізають на шматочки. Після чого їх направляють на сушіння. Сушіння хурми проводять конвективним способом в сушарках, наприклад таких, як тунельних, стрічкових або теплонасосних, при температурі теплоносія 50-60 °С. Сушіння при даних температурах дозволяє зберегти з мінімальними втратами каротиноїди, білки, органічні кислоти та вуглеводи. Висушений продукт подрібнюють, а отриманий порошок розсіюють на різні фракції. Розмір частинок для порошкоподібного барвника має становити 0,16 мм. Отриманий порошок має кінцеву вологість 6-8 % [42, 43].

У таблиці наведено результати досліджень складу хурми та порошку з хурми [44]. Збільшення вмісту харчових речовин у порошках, порівняно зі свіжою хурмою, дозволяє стверджувати, що видалення води у процесі сушіння концентрувати мікро- і макронутрієнти у порошках.

Постановка завдання. Конвективне сушіння є одним з кращих методів сушіння плодів хурми, але при цьому має переважно велику тривалість, яку для кращого збереження функціональних властивостей необхідно зменшувати. Тому *метою роботи* є дослідження комбінованих методів сушіння, для зменшення тривалості.

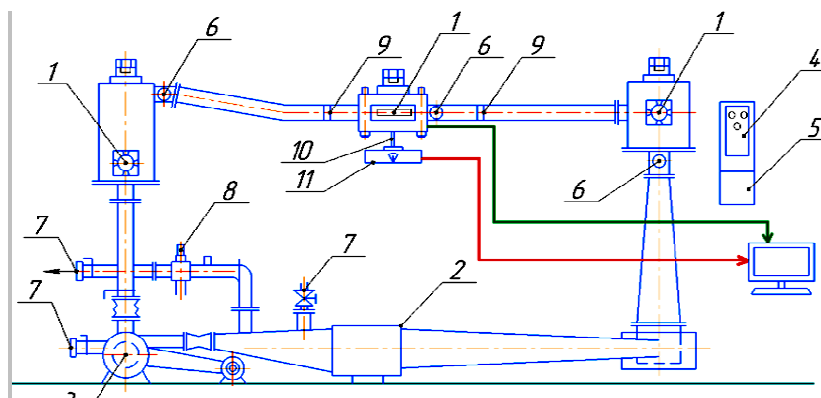
Для досліджень використовували плоди хурми, які спочатку мили, нарізали на кубики розміром близько 5х5 мм.

Таблиця 1

Хімічний склад хурми [44]

Назва продуктів		Добова потреба	Хурма свіжа			Порошок хурми		
			Хурма свіжа	Усього – 100	% добової потреби	Порошок хурми	Усього – 100	% добової потреби
Білок		80	0,6	0,6	0,75	4,5	4,5	5,63
Пектини		5	0,5	0,5	10	5,0	5,0	100
Мінеральні речовини, мг/100г	Ca	1200	127	127	10	317,5	317,5	26,46
	K	3500	200	200	5,71	501,4	501,4	14,33
	J	0,15	0,13	0,13	86,67	0,54	0,54	360
	Mg	500	56	56	11,2	130,48	130,48	26,1
	Na	3000	12	12	0,4	36,3	36,3	1,21
	Fe	15	2,5	2,5	16,67	6,67	6,67	44,47
Вітамін и, мг/100г	P	1500	42	42	2,8	97,44	97,44	6,5
	β-каротин	4	1,2	1,2	30	1,9	1,9	47,5
	B1	1,6	0,02	0,02	1,25	0,2	0,2	12,5
	B2	2	0,03	0,03	1,5	0,25	0,25	12,5
	PP	15	0,2	0,2	1,33	0,64	0,64	4,27

Дослідження кінетики сушіння матеріалу проводили на експериментальному конвективному стенді, який обладнаний автоматичною системою збору та обробки інформації (рис. 4) [45]. Який складається з основних компонентів: 3-х сушильних камер (1), блоку електричних нагрівачів (2), вентилятора (3), ізольованих повітропроводів та автоматичної системи контролю процесу сушіння.



1 – сушильні камери; 2 – електричні нагрівачі; 3 – вентилятор; 4 – терморегулятор; 5 – регулятор швидкості теплоносія; 6 – термометри опору; 7 – патрубки з шиберами; 8 – психрометр; 9 – спеціальні решітки; 10 – штанга вагів; 11 – ваги AD-500

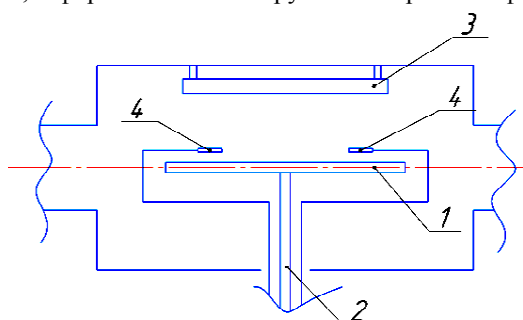
Рис. 4 – Схема експериментального конвективного стану для сушіння матеріалу [45]

На щиті керування регулятором швидкості теплоносія (5) налаштовується робота вентилятора (3), який дозволяє досягнути широкий діапазон коливань швидкості і температури теплоносія. Відцентровим вентилятором за допомогою перетворювача частоти при ручному регулюванні шляхом зміни подачі повітря регулюється швидкість руху теплоносія. Патрубками з шиберами (7) можливо регулювати співвідношення між відпрацьованим і свіжим повітрям.

Зразок дослідного матеріалу розміщують на штангах вагів (10), після встановлення на стенді заданого режиму дослідження. За допомогою вагів AD-500 (11), які з'єднані з комп'ютером, безперервно проводиться реєстрація зменшення маси зразка в процесі сушіння.

На конвективному сушильному стенді допускається здійснювати термічну обробку композитної сировини теплоносієм з температурою 40 – 150 °C і швидкістю 0,5 – 5 м/с. Встановлені високоточні ваги реєструють зміну маси зразка до 0,001 г. Температура в сушильній камері підтримується з точністю до 0,02°C. Зчитування даних експерименту в сушильній камері, а саме маси та температури зразку, а також температури теплоносія, відбувається 7 раз за хвилину і записується на комп'ютері. Похибки запису даних на експериментальному конвективному сушильному стенді з системою автоматизованого збору інформації, похибка вимірювання якої для температур не перевищує $\pm 1^\circ\text{C}$ та для маси $\pm 5\text{мг}$.

Експериментальний стенд оснащений допоміжним обладнанням, таким як аналого-цифровий перетворювач i-7018, конвертор інтерфейсів i-7520 та персональний комп'ютер з процесором CPU AMD ATHLON XP 2200+, для підвищення точності, інформативності та зручності обробки інформації.



1 – сітка, 2 – штанга вагів; 3 – інфрачервоні лампи, 4 – термопари

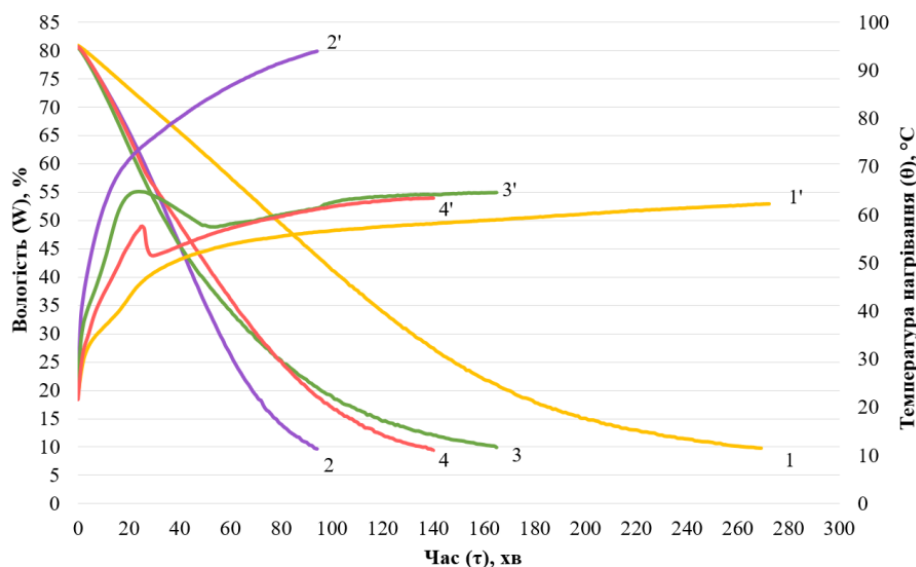
Рис. 5 – Схема експериментального конвективного стану для сушіння матеріалів [45]

Сушильна камера, представлена на рис. 5, являє собою прямокутний короб з металу з знімальним люком. Камера має прозоре скло, завдяки якому можливо спостерігати за станом матеріалу в процесі сушіння. Для визначення зміни маси під час сушіння на ваги встановлена штанга (2) із сіткою (1). На сітці розташовують матеріал, який піддається термічній обробці. Над сіткою (1) розміщені інфрачервоні лампи (3). В матеріал встановлюється хромель-копелеві термоелектричні перетворювачі 4 (ДСТУ 2837 – 94 [47]) діаметром 0,2 мм, для знімання експериментальних даних зміни температури. Також у камері встановлені інфрачервоні випромінювачі 3 на відстані 50 мм від матеріалу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження хурми проводили за режимами сушіння 65, 100, 100/65 °C та комбінованим 3800Вт/м² +65 °C, швидкість теплоносія 3,0 м/с. Сушіння проводили до вологості матеріалу $9,5 \pm 0,3\%$.

На рисунку 6 представлена зміна вологості та температури в середині шару плодів хурми нарізаних на кубики розміром 5x5 мм. Як видно з рисунку найбільша тривалість сушіння за режимом 65 °C і становить

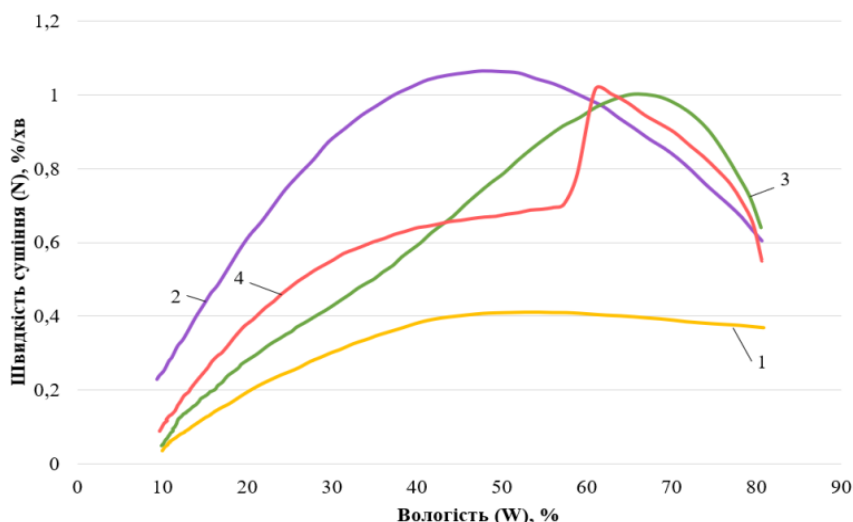
269 хв. Найменша тривалість сушіння за режимом 100 °C становить 94 хв.



1 – 65 °C, 3 м/с; 2 – 100 °C, 3 м/с; 3 – 100/65 °C, 3 м/с; 4 – 3800 Вт/м² + 65 °C, 3 м/с

Рис. 6 – Зміна вологості (1, 2, 3, 4) та температури всередині шару (1', 2', 3', 4') хурми нарізаної кубиками розміром 5х5 мм від часу

Для режимів сушіння 100/65 °C та 3800 Вт/м² + 65 °C, на початку процесу температуру матеріалу підіймали до 58 °C, після чого процес сушіння відбувався за температури теплоносія 65 °C. Як видно комбінований 3800 Вт/м² + 65 °C та ступеневий 100/65 °C режими сушіння мають нижчу тривалість сушіння порівняно з режимом 65 °C та становлять 140 і 165 хв. відповідно. На початку дослідження з комбінованим режимом 3800 Вт/м² + 65 °C працювали інфрачервоні лампи на потужності 3800 Вт/м² та теплоносії 65 °C а після досягнення температури матеріалу 58 °C вимикали інфрачервоні лампи та температура матеріалу починала знижуватися до 51,5 °C, далі вона підіймається до 63,5 °C. За ступеневим режимом 100/65 °C матеріал сушили при температурі теплоносія 100 °C температури матеріалу 58 °C. Потім температуру теплоносія зменшували до 65 °C, при цьому температура матеріалу збільшилась до 64,8 °C, після чого температура матеріалу поступово зменшувалася до 57,5 °C, та подальшому збільшувалася до 64,2 °C.



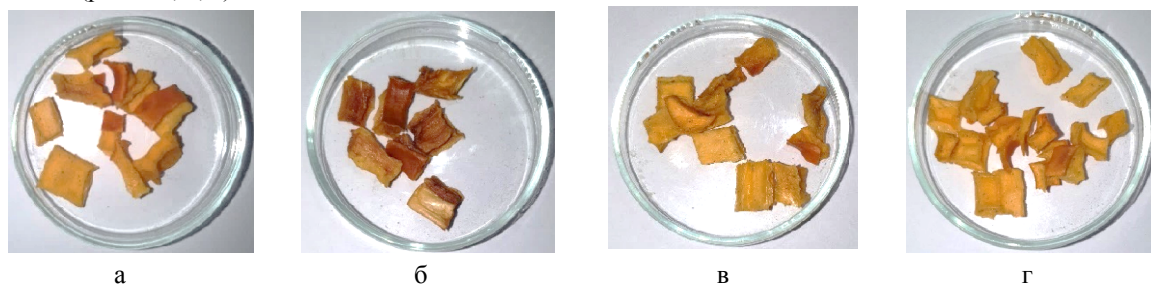
1 – 65 °C, 3 м/с; 2 – 100 °C, 3 м/с; 3 – 100/65 °C, 3 м/с; 4 – 3800 Вт/м² + 65 °C, 3 м/с

Рис. 7 – Зміна швидкості сушіння (1, 2, 3, 4) хурми нарізаної кубиками розміром 5х5 мм

На рис. 7 представлено зміна швидкості сушіння плодів хурми нарізаної на кубики розміром 5х5 мм. Як видно з рис. 7 найбільша максимальна швидкість сушіння за режимом 100 °C і становить 1,06 %/хв, найменша за режимом 65 °C – 0,41 %/хв. Комбінований режим 3800 Вт/м² + 65 °C має максимальну швидкість сушіння 1,02 %/хв при увімкнутих інфрачервоних лампах, при вимиканні спостерігається різке зменшення швидкості до 0,71 %/хв і потім іде поступове зменшення швидкості. За ступеневим режимом 100/65 °C максимальна швидкість сушіння 1 %/хв.

На рисунку 8 зображені висушена хурма при різних режимах 65, 100, 100/65 °C та комбінованим 3800

Вт/м² +65 °С. Потемніння матеріалу спостерігається при сушінні при температурі 100 °С (рис. 8 б). Найкраще зберігаються кольори у хурми при режимах 65 °С, та ступеневому 100/65 °С та комбінованому 3800 Вт/м² +65 °С (рис. 8 а, в, г).



а – 65 °С; б – 100 °С; в – 100/65 °С; г – 3800Вт/м² +65 °С

Рис. 8 – Порівняння висушених зразків хурми при різних режимах

Висновки. У роботі виконані дослідження впливу різних режимів сушіння на плоди хурми. Визначено, що найменша тривалість сушіння при режимі 100 °С становить 94 хв., але при цьому спостерігається потемніння матеріалу. Найбільша тривалість при режимі 65 °С і становить 269 хв., що у 2,86 разів більше за 100 °С, але при цьому зберігається яскравий колір. Ступеневий 100/65 °С та комбінований 3800 Вт/м² +65 °С режими сушіння інтенсифікують процес у 1,92 та 1,63 рази порівняно з 65 °С. Тому доцільно використовувати комбіновані або ступеневі режими сушіння для інтенсифікації процесу.

References

1. Cusquisibán-Alcantara, Y., Toledo-Garrido, C., Calizaya-Milla, Y. E., Carranza-Cubas, S. P., & Saintila, J. (2024). Impact of a Nutrition Education Intervention on Knowledge, Healthy Eating Index, and Biochemical Profile in a Rural Community in Peru. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 17, 1111–1125. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S440195>
2. Macronutrients & Micronutrients | Pomona College in Claremont, California - Pomona College. Pomona College in Claremont, California - Pomona College. <https://www.pomona.edu/administration/dining/health-wellness/macronutrients>
3. Taşğın, E. (2017). Macronutrients and Micronutrients in Nutrition. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 1(1), 10-15.
4. Arshad, M. S., Khalid, W., Ahmad, R. S., Khan, M. K., Ahmad, M. H., Safdar, S., Kousar, S., Munir, H., Shabbir, U., Zafarullah, M., Nadeem, M., Asghar, Z. & Suleria, H. A. R. (2021). Functional foods and human health: an overview. *Functional Foods Phytochem Health Promoting Potential*, 3. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.99000>
5. Sharma, L., & Yadav, A. (2022). Role of Functional Foods in Human Health and Disease Prevention. In *Bioactive Components: A Sustainable System for Good Health and Well-Being* (pp. 225-243). Singapore: Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-2366-1_14
6. Herdiana, Y. (2023). Functional Food in Relation to Gastroesophageal Reflux Disease (GERD). *Nutrients*, 15(16), 3583. doi:10.3390/nu15163583
7. Khairnar, S. J., Rudrapal, M., Ahire, E. D., Jagtap, M. R., & Kshirsagar, S. J. (2024). Overview of Functional Foods. In *Applications of Functional Foods in Disease Prevention* (pp. 1-31). Apple Academic Press. DOI: 10.1201/9781003395737-1
8. Sgroi, F., Sciortino, C., Baviera-Puig, A., & Modica, F. (2024). Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101041. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101041
9. Basu, T. K., & Dickerson, J. W. (1996). *Vitamins in human health and disease*. Cab International.
10. Amengual, J. (2019). Bioactive properties of carotenoids in human health. *Nutrients*, 11(10), 2388. <https://doi.org/10.3390/nu11102388>
11. Justino, J. (Ed.). (2017). *Flavonoids: From Biosynthesis to Human Health*. BoD–Books on Demand. <http://dx.doi.org/10.5772/65575>
12. Lee, E. S., Song, E. J., Nam, Y. D., & Lee, S. Y. (2018). Probiotics in human health and disease: from nutraceuticals to pharmabiotics. *Journal of Microbiology*, 56, 773-782. <https://doi.org/10.1007/s12275-018-8293-y>
13. McClements, D. J. (2014). *Nanoparticle-and microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds*. CRC press.
14. Meléndez-Martínez, A. J., Stinco, C. M., & Mapelli-Brahm, P. (2019). Skin carotenoids in public health and nutricosmetics: The emerging roles and applications of the UV radiation-absorbing colourless carotenoids phytoene and phytofluene. *Nutrients*, 11(5), 1093. doi: 10.3390/nu11051093
15. Cheng, S. H., Khoo, H. E., Kong, K. W., Prasad, K. N., & Galanakis, C. M. (2020). Extraction of carotenoids and applications. In *Carotenoids: Properties, Processing and Applications* (pp. 259-288). Academic Press.

- DOI:10.1016/b978-0-12-817067-0.00008-7
16. Li, Y., Zhao, Y., Zhang, H., Ding, Z., & Han, J. (2024). The Application of Natural Carotenoids in Multiple Fields and Their Encapsulation Technology: A Review. *Molecules*, 29(5), 967. <https://doi.org/10.3390/molecules29050967>
 17. Li, Y., Li, T., Yan, Z., Bariami, W., Wu, C., Yan, S., ... & Cheng, J. (2024). Carotenoids in berries: Composition, benefits, metabolic processes and influencing factors-A review. *Scientia Horticulturae*, 329, 112956. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112956
 18. Bozkir, H., Ergün, A. R., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics sonochemistry*, 54, 135-141. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.02.006
 19. Saeed, A. R., Tahle, M. A. K., & Tlay, R. H. (2023). Effect of drying agents on quality parameters of lyophilized persimmon purée powder. DOI: 10.21603/2308-4057-2024-2-605
 20. Karakasova, L., Babanovska-Milenkovska, F., Lazov, M., Karakasov, B., & Stojanova, M. (2013). Quality properties of solar dried persimmon (*Diospyros kaki*). *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 54–59.
 21. Suzuki, T., Someya, S., Hu, F., & Tanokura, M. (2005). Comparative study of catechin compositions in five Japanese persimmons (*Diospyros kaki*). *Food Chemistry*, 93(1), 149-152. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.017
 22. Luo, Z. (2007). Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 285-291. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.10.010
 23. Butt, M. S., Sultan, M. T., Aziz, M., Naz, A., Ahmed, W., Kumar, N., & Imran, M. (2015). Persimmon (*Diospyros kaki*) fruit: hidden phytochemicals and health claims. *EXCLI journal*, 14, 542–561. Doi: 10.17179/excli2015-159
 24. Anjum, N., Bhat, A., & Hameed, F. (2021). Effect of drying methods on chemical composition, color and bioactive compounds of persimmon (*Diospyros kaki* L.) pulp. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(39-40), 67-76.
 25. Jang, I. C., Oh, W. G., Ahn, G. H., Lee, J. H., & Lee, S. C. (2011). Antioxidant activity of 4 cultivars of persimmon fruit. *Food science and biotechnology*, 20, 71-77. Doi:10.1007/s10068-011-0010-0
 26. Hyun, J. E., Kim, J. Y., Kim, E. M., Kim, J. C., & Lee, S. Y. (2019). Changes in microbiological and physicochemical quality of dried persimmons (*Diospyros kaki* Thunb.) stored at various temperatures. *Journal of Food Quality*, 2019(1), 6256409. Doi: 10.1155/2019/6256409
 27. Lyu, Z.Y., Guan, C.F., Li, J.Y., Ding, Y., Fan, Z.R., Yang, Y. (2023). Research Progress on Tissue Culture of *Diospyros*. *North. Hortic*, 12, 129–137.
 28. Han, W.J., Cao, K., Diao, S.F., Sun, P., Li, H.W., Mai, Y.N., Suo, Y.J., & Fu, J. (2022). Characterization of browning during CO₂ deastringency treatment in astringent persimmon fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3), 2273-2281. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01298-1>
 29. Zhou, M., Chen, J., Bi, J., Li, X., & Xin, G. (2022). The roles of soluble poly and insoluble tannin in the enzymatic browning during storage of dried persimmon. *Food Chemistry*, 366, 130632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130632>
 30. Xu, Y., Liu, C., Yang, X., Wu, K., & Gong, B. (2023). Genome-wide microsatellite characterization and marker development in *Diospyros oleifera*. *Industrial Crops and Products*, 203, 117182. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050955>
 31. Lalou, S., Ordoudi, S. A., & Mantzouridou, F. T. (2021). On the effect of microwave heating on quality characteristics and functional properties of persimmon juice and its residue. *Foods*, 10(11), 2650. DOI: 10.3390/foods10112650 <https://doi.org/10.3390/foods10112650>
 32. Учасники проєктів Вікімедіа. (2011b, 19 липня). Консервування — Вікіпедія. Вікіпедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Консервування>
 33. Hafizov, G., Hafizov, S., & Hafizov, R. (2023). Processing Methods of Dried Persimmons. Preprints doi:10.20944/preprints202309.1119.v1
 34. Kim, J. H., Chung, I. K., Kim, H. Y., & Kim, K. M. (2018). Comparison of the quality of dried persimmon (*Diospyros kaki* THUNB.) treated with medicinal plant extracts and food additives. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 1991-1998. DOI: 10.1002/fsn3.673
 35. Kang, W. W., Kim, J. K., Oh, S. L., Kim, J. H., Han, J. H., & Choi, J. U. (2023). Physicochemical characteristics of Sangju traditional dried persimmons during drying process. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 33(2), 386–391. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.2.386>
 36. Yang, K. W., Wang, D., Vidyarthi, S. K., Li, S. B., Liu, Z. L., Wang, H., Chen, X.J. & Xiao, H. W. (2022). Pulsed vacuum drying of persimmon slices: Drying kinetics, physicochemical properties, microstructure and antioxidant capacity. *Plants*, 11(19), 2500. <https://doi.org/10.3390/plants11192500>
 37. Liu, Z. L., Xie, L., Zielinska, M., Pan, Z., Deng, L. Z., Zhang, J. S., Gao, L., Wang, S.Y., Zheng, Z.A. & Xiao, H. W. (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*, 77, 102948. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.102948
 38. Dağdeviren, A., Acar, B., Alhammadi, A., Roshanaei, K., Coşkun, T., İnanç, Ö., & Özkaymak, M. (2021).

- Freeze-drying of persimmon (*diospyros kaki*) slices investigation of drying characteristics. *Politeknik Dergisi*, 26(2), 487-494. <https://doi.org/10.2339/politeknik.949139>
39. Polat, A., Taskin, O., & Izli, N. (2024). Assessment of freeze, continuous, and intermittent infrared drying methods for sliced persimmon. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16994>
 40. Borah, M. S., Raj, G. B., Tiwari, A., & Dash, K. K. (2023). Effect of intermittent microwave convective drying on quality characteristics of persimmon fruit. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100816. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100816>
 41. Senadeera, W., Adiletta, G., Önal, B., Di Matteo, M., & Russo, P. (2020). Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices. *Foods*, 9(1), 101. doi: 10.3390/foods9010101
 42. Sniezhkin, Yu., Petrova Zh.O., Dziundzia O.V., & Peresichnyi M.I. (2011). Sposib oderzhannia kharchovoho poroshkopodobnoho barvnyka z plodiv khurmy (Patent Ukrainy № 97053). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy.
 43. Sniezhkin, Yu.F., Petrova, Zh.O., & Dziundzia, O.V. (2010). Sukhofrukty ta kharchovyi poroshok z khurmy. (Tekhnichni umovy TU U 15.3-05417118-037:2009). Ukrmetrteststandart.
 44. Petrova, Zh.O., & Dziundzia, O.V. (2010). Poroshok iz khurmy – produkt funktsionalnogo pryznachennia. Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv, 25, 100–106.
 45. Petrova, Z., Sniezhkin, Y., Paziuk, V., Novikova, Y., & Petrov, A. (2021). Investigation of the Kinetics of the Drying Process of Composite Pellets on a Convective Drying Stand. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 159-166. <https://doi.org/10.12911/22998993/137676>
 46. Petrova, Z., Novikova, Y., & Petrov, A. (2024). Intensyfikatsiia teplomasoobminnykh protsesiv pererobky zastarilykh mulovykh vidkladen. *Enerhetyka i avtomatyka*, 0(1), 54-65. [http://dx.doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.054](http://dx.doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.054)
 47. Derzhspozhyvstandart. (1996). Peretvoriuvani termoelektrychni. Zahalni tekhnichni umovy (DCTU 2857-94).

PERSIMMON (DIOSPYROS KAKI L.) PROCESSING BY DRYING

Petrova Zh.O., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor , Novikova Y.P., PhD, Slobodianiuk K.S., Ph.D., Grakov O.P. PhD, Koval I.O., graduate student
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Abstract. *There is a growing global demand for functional foods that can provide the human body with macro- and micronutrients, reduce the risk of chronic diseases, and improve physical and mental well-being. Functional food plays an important role in maintaining a healthy lifestyle and reducing risk factors for various diseases. Functional foods are those that contain one or more biologically active food ingredients. In the food, cosmetics and pharmaceutical industries, carotenoids have demonstrated significant potential for progress due to their rich nutritional value and functional properties. Carotenoids are natural organic pigments produced by microorganisms and plants. Today, about 600 carotenoids have been recognised. They are divided into two classes: xanthophylls and carotenes. Carotenoids are mainly found in fruits, berries, vegetables, microorganisms and some marine organisms. Persimmon (*Diospyros Kaki L.*) is a sweet, slightly tart fruit that is a source of beta-carotene, vitamins A and E, ascorbic acid, rich in carbohydrates, tannins and phenolic compounds, a good source of fiber, and has a powerful antioxidant effect. Persimmon is most common in East Asia. Persimmons are seasonal products and have a limited shelf life, which can be extended by drying. The most common drying methods are convection, sublimation, solar and infrared. Of these methods, convective drying produces high-quality material with lower energy consumption. But at the same time, combined drying is becoming more widespread in the world. Therefore, the aim of the work is to process persimmon fruits by drying and determine the effect of different modes. The study of drying kinetics has shown that the most appropriate modes are step and combined drying modes, which intensify the process by 1.92 and 1.63 times compared to 65 °C.*

Keywords: drying, persimmons, confectionery, combined drying, intensification.

Список використаної літератури

1. Cusquisibán-Alcantara Y., Toledo-Garrido C., Calizaya-Milla Y. E., Carranza-Cubas S. P., Saintila J. Impact of a Nutrition Education Intervention on Knowledge, Healthy Eating Index, and Biochemical Profile in a Rural Community in Peru // *Journal of Multidisciplinary Healthcare*. 2024., 17. P. 1111–1125. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S440195>
2. Macronutrients & Micronutrients | Pomona College in Claremont, California - Pomona College. *Pomona College in Claremont, California - Pomona College*. URL: <https://www.pomona.edu/administration/dining/health-wellness/macronutrients> (дата звернення: 19.06.2024).

3. Taşğın E. Macronutrients and Micronutrients in Nutrition // *International Journal of Innovative Research and Reviews*. 2017., 1(1). P. 10-15.
4. Arshad M. S., Khalid W., Ahmad R. S., Khan M. K., Ahmad M. H., Safdar S., Kousar S., Munir H., Shabbir U., Zafarullah M., Nadeem M., Asghar Z., Suleria, H. A. R. Functional foods and human health: an overview // *Functional Foods Phytochem Health Promoting Potential*. 2021., 3.
5. Sharma L., Yadav A. Role of Functional Foods in Human Health and Disease Prevention // *Bioactive Components: A Sustainable System for Good Health and Well-Being*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. Pp. 225-243.
6. Herdiana Y. Functional Food in Relation to Gastroesophageal Reflux Disease (GERD) // *Nutrients*. 2023., 15(16), 3583.
7. Khairnar S. J., Rudrapal M., Ahire E. D., Jagtap M. R., Kshirsagar, S. J. Overview of Functional Foods // *Applications of Functional Foods in Disease Prevention*. Apple Academic Press, 2024. Pp. 1-31.
8. Sgroi F., Sciortino C., Baviera-Puig A., Modica F. Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024., 101041.
9. Basu T. K., Dickerson J.W.T. Vitamins in human health and disease. Cab International, 1996. 368p.
10. Amengual J. Bioactive Properties of Carotenoids in Human Health // *Nutrients*. 2019., 11(10), 2388. <https://doi.org/10.3390/nu11102388>
11. Justino G.C, editor. Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health. InTech, 2017. 484 p. <http://dx.doi.org/10.5772/65575>
12. Lee E.S., Song E.J., Nam Y.D. et al. Probiotics in human health and disease: from nutraceuticals to pharmabiotics // *J Microbiol*. 2018., 56. P. 773–782 . <https://doi.org/10.1007/s12275-018-8293-y>
13. McClements D. J. Nanoparticle-and microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds. *CRC press*, 2014. 572 p.
14. Meléndez-Martínez A.J., Stinco C.M., Mapelli-Brahm P. Skin Carotenoids in Public Health and Nutricosmetics: The Emerging Roles and Applications of the UV Radiation-Absorbing Colourless Carotenoids Phytoene and Phytofluene // *Nutrients*. 2019., 11, 1093.
15. Cheng S.-H., Khoo H.E., Kong K.W., Prasad K.N., Galanakis C.M. 8—Extraction of carotenoids and applications // *Carotenoids: Properties, Processing and Applications* / Galanakis, C.M., Ed.. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020. pp. 259–288.
16. Li Y., Zhao Y., Zhang H., Ding Z., Han J. The Application of Natural Carotenoids in Multiple Fields and Their Encapsulation Technology: A Review // *Molecules*. 2024., 29, 967. <https://doi.org/10.3390/molecules29050967>
17. Li Y., Li T., Yan Z., Bariami W., Wu C., Yan S., Yan Sh., Fan G., Li. X., Zhou D., Cong K., Cheng J.. Carotenoids in berries: Composition, benefits, metabolic processes and influencing factors-A review // *Scientia Horticulturae*. 2024., 329, 112956. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112956
18. Bozkir H., Ergün A. R., Serdar E., Metin G., Baysal T. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit // *Ultrasonics sonochemistry*. 2019., 54. P.135-141. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.02.006
19. Saeed A. R., Kheir Tahle M. A., Tlay R. H. Effect of drying agents on quality parameters of lyophilized persimmon purée powder // *Foods and Raw Materials*. 2023. P. 256–263. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-605>.
20. Karakasova L., Babanovska-Milenkovska F., Lazov M., Karakasov B., Stojanova M. Quality properties of solar dried persimmon (Diospyros kaki) // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2013. P. 54–59.
21. Suzuki T., Someya S., Hu F., Tanokura M. Comparative study of catechin compositions in five Japanese persimmons (Diospyros kaki) // *Food Chemistry*. 2005., 93(1). P. 149-152. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.017
22. Luo Z. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (Diospyros kaki L.) fruit // *LWT-Food Science and Technology*. 2007., 40(2). P. 285-291. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.10.010
23. Butt M. S., Sultan M. T., Aziz M., Naz A., Ahmed W., Kumar N., Imran M. Persimmon (Diospyros kaki) fruit: hidden phytochemicals and health claims // *EXCLI journal*. 2015., 14. P. 542–561. Doi: 10.17179/excli2015-159
24. Anjum N., Bhat A., Hameed F. Effect of drying methods on chemical composition, color and bioactive compounds of persimmon (Diospyros kaki L.) pulp // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021., 22(39-40). P. 67-76.
25. Antioxidant activity of 4 cultivars of persimmon fruit / I.-C. Jang et al // *Food Science and Biotechnology*. 2011. Vol. 20, no. 1. P. 71–77. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0010-0>.
26. Changes in Microbiological and Physicochemical Quality of Dried Persimmons (Diospyros kaki Thunb.) Stored at Various Temperatures / J.-E. Hyun et al // *Journal of Food Quality*. 2019. Vol. 2019. P. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/6256409>.
27. Lyu Z.Y., Guan C.F., Li J.Y., Ding Y., Fan Z.R., Yang Y. Research Progress on Tissue Culture of Diospyros // *North. Hortic*. 2023., 12. P. 129–137.

28. Han W.J., Cao K., Diao S.F., Sun P., Li H.W., Mai Y.N., Suo Y.J., Fu J.M. Characterization of Browning During CO₂ Deastringency Treatment in Astringent Persimmon Fruit // *J. Food Meas. Charact.* 2022., 16. P. 2273–2281. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01298-1>
29. Zhou M., Chen J.X., Bi J.F., Li X., Xin G. The Roles of Soluble Poly and Insoluble Tannin in the Enzymatic Browning During Storage of Dried Persimmon // *Food Chem.* 2021., 366. 130632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130632>
30. Xu Y., Liu C., Yang X., Wu K., Gong B. Genome-wide microsatellite characterization and marker development in *Diospyros oleifera* // *Industrial Crops and Products.* 2023., 203. 117182. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050955>
31. Lalou S., Ordoudi S.A., Mantzouridou F.T. On the Effect of Microwave Heating on Quality Characteristics and Functional Properties of Persimmon Juice and Its Residue // *Foods.* 2021., 10, 2650. DOI: 10.3390/foods10112650 <https://doi.org/10.3390/foods10112650>
32. Учасники проєктів Вікімедіа. Консервування – Вікіпедія. *Bikinedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Консервування> (дата звернення: 20.06.2024).
33. Hafizov G., Hafizov S., Hafizov R. Processing Methods of Dried Persimmons // *Preprints.* 2023. doi:10.20944/preprints202309.1119.v1
34. Kim J. H., Chung I. K., Kim H. Y., Kim K. M. Comparison of the quality of dried persimmon (*Diospyros kaki* THUNB.) treated with medicinal plant extracts and food additives // *Food Science & Nutrition.* 2018., 6(8), 1991-1998. DOI: 10.1002/fsn3.673
35. Kang W. W. et al. Physicochemical characteristics of Sangju traditional dried persimmons during drying process // *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition.* 2023., 33, №. 2. 386 – 391. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.2.386>
36. Yang K. W., Wang D., Vidyarthi S. K., Li S. B., Liu Z. L., Wang H., Chen X.J., Xiao H. W. Pulsed vacuum drying of persimmon slices: Drying kinetics, physicochemical properties, microstructure and antioxidant capacity // *Plants*, 2022., 11(19). 2500. <https://doi.org/10.3390/plants11192500>
37. Liu Z. L., Xie L., Zielinska M., Pan Z., Deng L. Z., Zhang J. S., Gao L., Wang S.Y., Zheng Z.A., Xiao H. W. 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.* 2022., 77. 102948. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.102948
38. Dağdeviren A., Acar B., Alhammadi A., Roshanaei K., Coşkun T., İnanç Ö., Özkaymak, M. Freeze-drying of persimmon (*diospyros kaki*) slices investigation of drying characteristics // *Politeknik Dergisi.* 2021. 26(2). P.487-494. <https://doi.org/10.2339/politeknik.949139>
39. Polat A., Taskin O., Izli N. Assessment of freeze, continuous, and intermittent infrared drying methods for sliced persimmon // *Journal of Food Science.* 2024. V.89, Is.4. P. 2332-2346 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16994>
40. Borah M. S., Raj G. B., Tiwari A., Dash K. K. Effect of intermittent microwave convective drying on quality characteristics of persimmon fruit // *Journal of Agriculture and Food Research.* 2023., 14, 100816. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100816>
41. Senadeera W., Adiletta G., Önal B., Di Matteo M., Russo P. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices // *Foods.* 2020., 9(1), 101. doi: 10.3390/foods9010101
42. Спосіб одержання харчового порошкоподібного барвника з плодів хурми: пат. 97053 Україна: МПК (2011.01), A23L 1/27 (2006.01), A23P 1/06 (2006.01), C09B 61/00. № a201014614; заявл. 26.12.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл.№ 24. 2 с.
43. ТУ У 15.3-05417118-037:2009. Сухофрукти та харчовий порошок з хурми. Укрметртестстандарт, № 02568182/035794 від 01.07.2010 р.
44. Петрова Ж.О., Дзюндзя О.В. Порошок із хурми – продукт функціонального призначення // *Обладнання та технології харчових виробництв.* 2010. № 25. С. 100–106.
45. Petrova Z., Sniezhkin Y., Paziuk V., Novikova Y., Petrov A. Investigation of the Kinetics of the Drying Process of Composite Pellets on a Convective Drying Stand // *Journal of Ecological Engineering.* 2021. 22(6). P. 159-166. <https://doi.org/10.12911/22998993/137676>
46. Petrova Z., Novikova Y., Petrov A. Інтенсифікація тепломасообмінних процесів переробки застарілих мулових відкладень // *Енергетика і автоматика*, 2024., 1. С. 54-65. [http://dx.doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.054](http://dx.doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.054)
47. ДСТУ 2857-94. Перетворювані термоелектричні. Загальні технічні умови. Київ: Держспоживстандарт, 1996.

Отримано в редакцію 24.07.2024
Прийнято до друку 25.09.2024

Received 24.07.2024
Approved 25.09.2024