

УДК 66.047

**ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ СУШІННЯ
В ТЕХНОЛОГІЯХ СУХИХ ГРИБНИХ КОНЦЕНТРАТІВ****Авдєєва Л.Ю.¹, д.т.н., Декуша Г.В.², к.т.н., Турчина Т.Я.³ к.т.н., Макаренко А.А.⁴, к.т.н.**¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, старший науковий співробітник, avdeeva22@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3434-1669>²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, старший дослідник, tbds_itf@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8829-8221>³Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, старший науковий співробітник, t_turchina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4902-3732>⁴Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, tbds_itf@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2338-5364><https://doi.org/10.31472/tpe.3.2023.5>

Стаття присвячена літературному огляду та аналізу існуючих способів сушіння базидіального гриба шиїтаке. Розглянуто вплив теплотехнологічних параметрів конвективного, сублімаційного, розпилювального способів сушіння, а також за допомогою інфрачервоного випромінювання та комбінування різних способів на фізико-хімічні властивості гриба. Наведено переваги та недоліки кожного зі способів сушіння.

A paper is devoted to a literature review and analysis of existing methods of drying basidial shiitake mushrooms. The influence of heat-technological parameters of convective, sublimation, spray drying methods, as well as infrared radiation and combining different methods on the physicochemical properties of the fungus is considered. The advantages and disadvantages of each of the drying methods are presented.

Бібл. 37.

Ключові слова: гриб шиїтаке, конвективне сушіння, інфрачервоне випромінювання, сублімаційне сушіння, розпилювальне сушіння.

Вступ. Розроблення і впровадження нових енергозберігаючих технологій із використанням ефективних способів зневоднення для виробництва продуктів подовженого терміну їх зберігання є одним із головних завдань підприємств харчоконцентратної промисловості. Проведення експериментальних досліджень процесу сушіння дозволяють обрати оптимальний вид зневоднення та раціональні теплотехнологічні режимні параметри процесу для будь-якого матеріалу у відповідності до його фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей. При проведенні таких досліджень, окрім енергозбереження, необхідно брати до уваги особливості хімічного складу, збереження біологічно активних речовин, отримання високої харчової та біологічної цінності, а також необхідних показників якості висушеного продукту.

Продукти в сухій формі здавна користуються широким попитом, оскільки крім тривалого зберігання вони набувають нових функціонально-технологічних

характеристик і приемних органолептичних властивостей. Одним з популярних продуктів, споживання якого в останні роки набуває широкого попиту, в тому числі в сухій формі, є традиційний для Далекого Сходу гриб шиїтаке (*Lentinus edodes*). Завдяки унікальному комплексу біологічно активних речовин, він проявляє унікальні оздоровчі властивості, які використовуються при лікуванні імунodefіцитних станів, онкологічних і серцево-судинних захворювань, має гепатопротекторну, протизапальну та антивірусну дію [1, 2]. Тому, крім використання в харчовій промисловості, він затребуваний як цінна сировина у виробництві лікувальних і лікувально-профілактичних препаратів широкого спектру дії в медичній і фармацевтичній промисловостях. Найбільшими країнами-виробниками шиїтаке впродовж багатьох років традиційно залишаються Японія, Китай та Корея. Світовий обсяг вирощування шиїтаке за останні 40 років зріс більш ніж у 30 разів [3, 4] і він знаходиться серед лідерів у світовому об'ємі вироб-

ництва грибів. Динамічний розвиток промислового вирощування шіітаке із темпами зростання до 20% в рік спостерігається і в Україні. В нашій країні виробництво шіітаке орієнтовано здебільшого на внутрішній ринок. Вирощуванням та переробкою таких їстівних грибів займаються ТОВ «Фунготерра», ТОВ «Есмаш», ТОВ «Ніко Агро Холдінг» та ін. Сумарне виробництво не традиційних для нашої країни грибів, таких як шіітаке, агроцибе, ерінгів, становить близько 120 т/рік [5, 6].

Свіжі гриби відносяться до продукції, яка не підлягає тривалому зберіганню, що вимагає подальшої переробки. Більшість існуючих технологій переробки шіітаке передбачають виділення з грибної сировини лише фармакологічно активних речовин. Це, як правило, компоненти полісахаридного комплексу. В результаті, значна частина цінного біологічно активного потенціалу грибів залишається не використаною. Для їх безвідходної переробки, зниження рівня втрат і одержання біологічно цінного харчового напівфабрикату тривалого терміну зберігання необхідно застосування раціональних методів обробки грибної сировини. Тому створення і впровадження сучасної енергозберігаючої технології для комплексної безвідходної переробки плодового тіла гриба шіітаке із врахуванням унікальності складу та властивостей є актуальною науковою і складною технічною проблемою.

Важливим завданням при вирішенні цієї проблеми є проведення аналізу існуючих традиційних та сучасних способів і теплотехнологій сушіння грибної сировини. Важливим критерієм вибору є енергетичні характеристики, а також показники продуктивності і високої якості готового продукту. При переробці грибів шіітаке також необхідно враховувати збереження біологічно активних речовин і структурно-механічні особливості цієї грибної сировини. Такий аналіз дозволить встановити основні переваги та недоліки кожного способу сушіння, проходження процесу вологоперенесення і, в результаті, обрати та науково обґрунтувати раціональний спосіб переробки гриба шіітаке для створення сучасної високопродуктивної технології виробництва готової грибної продукції у сухій формі.

Метою статті є проведення аналізу існуючих способів сушіння і теплотехнологічних прийомів при переробці грибів шіітаке для наукового обґрунтування і розроблення раціональної технології виробництва сухого грибного концентрату з високою харчовою і біологічною цінністю.

Літературний огляд та аналіз. При переробленні грибів шіітаке та їх компонентів використовуються всі основні способи сушіння. Проведені аналітичні

дослідження показали значний вплив попередньої підготовки і обробки грибної сировини, її фізико-хімічного складу, обраного методу і теплотехнологічних режимів сушіння на якість сухого концентрату і вихід готового продукту. Важливим критерієм оцінки при виборі методу сушіння є енергетичні показники. При оцінці якості сухого продукту особливу увагу приділяють визначенню показників гігроскопічності, сипкості, здатності до регідратації, а також органолептичним характеристикам.

Традиційним методом сушіння шіітаке є *конвективне сушіння*. Сушіння даним способом зазвичай проводять в декілька етапів при невисоких температурах, а саме, в межах від 50 до 75°C. Швидкість руху теплоносія в середньому становить не менше 0,5 м/с. Загальна тривалість процесу в залежності від типу конвективної сушарки сягає до 10-12 год. Дослідження кінетики конвективного сушіння шапинок гриба в діапазоні температур 30–70°C показало, що верхня температурна межа не повинна перевищувати 50°C. Зі збільшенням температури та швидкості сушіння зразки характеризувались падаючими періодами швидкості сушіння при відсутності постійного періоду сушіння, що вказує на домінування дифузійного процесу видалення вологи із середини матеріалу на поверхню. Крім того, підвищення температури негативно впливало на колір висушеного матеріалу та його здатність до регідратації. [9, 10, 11].

Для повної інактивації грибних ферментів автори досліджень [12] рекомендують проводити сушіння за температури не вище за 70°C для запобігання накопиченню продуктів реакції Майяра та карамелізації продукту. В процесі сушіння посилюється аромат та унікальний смак гриба. Так, при зневодненні гарячим повітрям температурою 50°C в ніжках гриба відмічено утворення більшої кількості фенольних сполук, нейтральних цукрів, нуклеотидів, аміно- та уронових кислот ніж в шапінках. Підвищення температури до 60°C призводить до збільшення загального вмісту органічних кислот та ароматоутворюючих речовин. Зокрема, зразки висушені при температурі 70°C характеризувались найвищими показниками зазначених вище сполук (грибний смак уамі) [13].

Guo та ін. [14], дослідивши 6 варіантів теплотехнологічних режимів конвективного сушіння гриба стверджують, що для досягнення поліпшеного хімічного складу, регідратаційних властивостей та збереження кольору сухого продукту необхідно проводити сушіння грибів шіітаке періодичним способом за температури 55°C з певними інтервалами між періодами сушіння. Наприклад, впродовж перших 5 год

сушіння інтервали становлять 5 хв через кожні 55 хв процесу, впродовж наступних 7 год – 10 хв через кожні 50 хв висушвання та наприкінці висушвання інтервал збільшується до 15 хв через кожні 45 хв.

Конвективне сушіння шийтаке періодичним способом можна проводити як при невисокій температурі на початку сушіння, а потім її підвищувати, так і навпаки – спочатку висушувати матеріал за високих температур, а потім проводити досушвання при нижчих значеннях температури [15]. Так, у способі [16] для запобігання потемніння при сушінні гарячим повітрям, шийтаке попередньо замочують у слабкому розчині гідросульфату натрію (0,05–0,1%) впродовж 5–10 хв. Після цього слайси гриба висушують при температурі 30°C з поступовим її підвищенням (2°C/год) до 50°C із загальною тривалістю процесу 12–13 год. Для посилення аромату в кінці сушіння гриби нагрівають до 60°C та витримують за цієї температури впродовж 1 год. Даний спосіб сушіння дозволяє досягти найбільш сприятливого для зберігання вмісту вологи гриба – 6–8%, до того ж висушені шийтаке характеризуються підвищеною кількістю 5-рибонуклеотидів, що приймають участь у формуванні аромату [16, 17].

Для підвищення вмісту ароматоутворюючих речовин за рахунок термічної активації специфічних ферментів рекомендовано спочатку проводити попереднє конвективне сушіння шийтаке повітрям поступово підвищуючи температуру з 45°C до 75°C впродовж 30 хв з послідовним сушінням при зниженій до 45°C температурі впродовж 4,5 год. Впродовж проведення попереднього сушіння активність даних ферментів залишається високою, що сприяє утворенню ароматоутворюючих речовин та більш високому вмісту сполук сірки. Висушені за таких температурних режимів частинки гриба характеризуються більшою твердістю та коефіцієнтом регідратації, але зменшеним ступенем усадки та потемніння [15]. У [18] встановлено, що температура 55°C є оптимальною при конвективному сушінні шийтаке, оскільки забезпечує найменшу тривалість процесу та найбільший вміст біологічно активних β -глюканів. В той же час, дослідники [12] зазначають, що при сушінні гарячим повітрям у шийтаке відмічено зниження гідрофільних властивостей та здатність до регідратації, утворення темного кольору та твердої текстури.

Таким чином, при традиційному конвективному способі сушіння шийтаке головною перевагою є простота та доступність обладнання. Серед недоліків треба відзначити значні втрати біологічно активних речовин та погіршення якості продукції. Даний спосіб

сушіння відрізняється підвищеними питомими витратами електроенергії та значною тривалістю процесу. Так, для отримання сушеного гриба з кінцевим вмістом вологи 4–5% тривалість сушіння матеріалу може становити 10–12 год. Для інтенсивного переносу енергії від теплоносія до матеріалу необхідно забезпечити переміщення в камері сушарки великі об'єми повітря, оскільки в конвективних сушарках втрачається більше половини витраченої енергії.

Для сушіння грибів досить широко застосовують енергію *інфрачервоного* (ІЧ) випромінювання у тунельних стрічкових сушарках конвеєрного типу або багатофункціональних ІЧ сушильних шафах. Прискорення процесу сушіння рослинної сировини пояснюється тим, що ІЧ хвилі впливають лише на молекули води в матеріалі. Променевий потік тепла частково проникає всередину капілярно-пористих тіл і майже повністю поглинається, особливо ефективним є сушіння тонких шарів матеріалу – до 5–7 мм. Процес характеризується великим коефіцієнтом теплообміну, на одиницю поверхні сировини може бути передано значно більше тепла в одиницю часу, ніж при конвективному способі сушіння.

Технологічний процес ІЧ сушіння грибної сировини відбувається за рахунок ІЧ випромінювання хвиль довжиною $\lambda=0,76\text{--}15$ мкм при потужності нагрівачів $N=1\text{--}75$ кВт. Продукт, нарізаний пластинами до 60 мм, розкладають в один шар та сушать в температурному діапазоні 40–60°C на відстані від джерела випромінювання до 14 см при завантаженні 2 кг/м². Дослідники пропонують раціональні умови сушіння грибів шийтаке за допомогою ІЧ випромінювання в діапазоні хвиль $\lambda =2,4\text{--}3,0$ мкм, температурою нагріву – 60°C при швидкості повітря – 1,4 м/с [19]. Для збільшення ефективності сушіння використовують попередні методи термічної підготовки грибної сировини, наприклад бланшування або обсмажування (пат 83002 UA), або комбінування енергії ІЧ-випромінювання з іншими способами сушіння [20].

Отже, метод ІЧ сушіння грибної сировини дозволяє провести швидке видалення вологи при невисоких температурах (до 60°C), що дозволяє практично повністю зберегти цінні біологічно активні речовини, вітаміни, природний колір, смак і аромат висушуваних продуктів. Однак, цей спосіб є все ж таки проблематичним, оскільки характеризується низькою продуктивністю і високими питомими витратами енергії. Крім того, через особливості поглинання ІЧ випромінювання, сушіння відбувається тільки в поверхневих шарах матеріалу, що ускладнює видалення вологи із внутрішніх шарів.

Іншим технологічним прийомом є використання *надвисокочастотного електромагнітного випромінювання*

(НВЧ), при якому нагрівання гриба відбувається більшою мірою зсередини на відміну від ІЧ випромінювання, яке розігріває об'єкт ззовні всередину. Так, електромагнітні хвилі НВЧ-діапазону ($\lambda = 0,001\text{--}1\text{ м}$, $\nu = 2,45\text{ ГГц}$, потужність $0,5\text{--}1\text{ кВт}$) глибоко проникають всередину матеріалу, що забезпечує більш рівномірне його прогрівання у всьому об'ємі, суттєво прискорюючи процес сушіння. Завдяки високій швидкості сушіння зберігаються корисні властивості гриба, його натуральний смак, колір та аромат.

Сушіння за допомогою НВЧ-випромінювання в декілька разів продуктивніше за конвекційний спосіб. До недоліків даного способу сушіння можна віднести той факт, що волога, яка випаровується з матеріалу, осідає на стінках робочої камери, що призводить до її нагрівання, необхідності її додаткового провітрювання та постійного перегортання продукту, внаслідок чого тривалість сушіння збільшується. Крім того, цей спосіб не дозволяє провести досушування грибів до заданого вмісту сухих речовин. Тому НВЧ-випромінювання також часто використовують у поєднанні з іншими способами сушіння грибів.

Високу якість висушених грибів забезпечує *сублімаційне сушіння*. Даний спосіб є дорогим та складним в апаратурному відношенні, але витрати на обладнання та експлуатацію можуть бути виправдані відмінними показниками якості висушеного гриба [13].

Згідно з одним із способів бланшовані гриби подають на заморожування у вакуумну камеру з безперервним зниженням тиску, в якому відбувається інтенсивне випарювання вологи (до $10\text{--}15\%$) та охолодження грибів до температури кристалізації води. Далі сировину швидко заморожують до температури $-15\text{--}-18^\circ\text{C}$ не допускаючи формування кристалів та проводять випарювання вакуумуванням ($133,3\text{--}13,3\text{ Па}$). Послідууючи сублімацію замороженого матеріалу проводять в оберненому температурному режимі, а саме, температуру продукту збільшують від максимально низької досягнутої при заморожуванні до 1°C , при цьому видалення вологи складає більше 50% . Після цього матеріал досушують за температури близько 30°C . Процес сушіння грибів закінчують при досягненні вмісту вологи в грибі не більше $6\text{--}8\%$ [21].

Перевагами сублімаційного способу сушіння є висока якість готової грибної продукції, збереження кольору, смаку, складу та швидка відновлюваність. Однак, сушіння даним способом має свої недоліки, до яких відносять періодичність, тривалість та енергоємність процесу, складність та підвищені вимоги до обладнання, а також висока гігроскопічність висушеного матеріалу.

Основна причина високої вартості сублімаційного сушіння полягає в тому, що процес, який протікає при від'ємних температурах, відбувається менш інтенсивно, оскільки його рушійна сила нижча, ніж у випадку теплових способів сушіння. Крім того, при звичайному вакуумно-імпульсному сушінні може значно знижуватися вміст ароматоутворюючих речовин у порівнянні з конвекційним способом.

В [22] автори порівнювали вплив *різних способів сушіння*, а саме: сублімаційний (FD), сушіння ІЧ випромінюванням дальнього спектру (FIRD), із застосуванням теплового насосу (HPD), гарячим повітрям (HAD) та вакуумно-імпульсним (DIC) способом на ефективність сушіння та показники якості сушеного шийтаке. Порівняно зі способами сушіння HPD, HAD та DIC, шийтаке, висушений FIRD, мав кращий зовнішній вигляд, меншу усадку, твердість та вищий коефіцієнт регідратації ($7,55$); дані показники були близькими до значень зразків, висушених FD способом. Крім того, у зразках, висушених FD та FIRD, було виявлено значно більший вміст білка ($2,5\text{ мг/г}$ та $2,3\text{ мг/г}$ відповідно) та полісахаридів ($1,8\text{ мг/г}$ та $1,4\text{ мг/г}$ відповідно). При FIRD тривалість сушіння скоротилась на $66,3\%$ у порівнянні з FD, а вміст ароматоутворюючих компонентів був найвищим, серед яких найбільший відсоток склали специфічні сульфіді ($24,6\%$). Таким чином, шийтаке, висушений FIRD характеризується одними з кращих показників якості серед зразків, висушених іншими способами.

Комбіновані способи сушіння гриба. Значна кількість робіт присвячена дослідженням впливу комбінованих способів сушіння, що дозволяє інтенсифікувати процес та скоротити тривалість сушіння [23–26]. Поєднання радіаційного сушіння з гарячим повітрям забезпечує найкоротший час сушіння, в той час як комбінування конвекції та радіочастотної енергії демонструє кращі властивості кольору та збереження поживних речовин гриба. За випробуваних умов, сушіння конвекцією з ІЧ випромінюванням в середньому діапазоні хвиль забезпечує мінімальну усадку та нижчу твердість при регідратації [27].

У [28] досліджено вплив поєднання ліофілізації впродовж 4 год та ІЧ випромінювання в середньому діапазоні хвиль на час сушіння, регідратацію, збереження ароматоутворюючих речовин та кольору. Таке поєднання способів сушіння дозволяє скоротити процес на 48% у порівнянні з сушінням лише ліофільним способом та зберегти якість продукту на прийнятному рівні.

В [29] шийтаке зневоднювали двома способами: мікрохвильовим сушінням під вакуумом (MVD) та мікрохвильовим сушінням під вакуумом у поєднанні з ІЧ сушінням (MVD+IR). MVD проводили при потужностях 56, 143, 209 і 267 Вт та тиску 18,6, 29,3, 39,9 і 50,6 кПа відповідно. При способі MVD+IR застосовували ІЧ випромінювання потужністю 100 і 200 Вт. Визначено, що швидкість сушіння збільшується при нижчих значеннях абсолютного тиску та більш високих потужностях мікрохвильового та ІЧ випромінювання. Сушіння способом MVD+IR при потужності мікрохвильового випромінювання 267 Вт, абсолютному тиску 18,7 кПа та потужності ІЧ випромінювання 200 Вт, забезпечує високі якісні показники висушеного шийтаке (колір, коефіцієнт регідратації та мікроструктуру регідратованого гриба).

Автори [27] наводять результати досліджень впливу трьох різних комбінованих способів сушіння шийтаке за температури 60°C на його якісні показники в сухій формі: конвективне сушіння у поєднанні з ІЧ випромінюванням з середнім діапазоном хвиль; сушіння гарячим повітрям у поєднанні з сушінням радіочастотним випромінюванням; сушіння гарячим повітрям у поєднанні з мікрохвильовим сушінням. За контроль приймали зразок, висушений за стандартною методикою гарячим повітрям. Найшвидше висушування шийтаке забезпечує спосіб, який поєднує сушіння гарячим повітрям з НСМД. Найбільш повне збереження поживних речовин, кольору гриба та мінімальну усадку висушеного матеріалу відмічено при двох інших способах: конвективному сушінні з послідовним ІЧ випромінюванням та сушінні гарячим повітрям у поєднанні з радіочастотним випромінюванням.

В [30] проведено порівняльний аналіз кінетики сушіння, кольору, ступеню регідратації, вмісту полісахаридів та складу ароматичних компонентів в шийтаке, висушених трьома різними способами: гарячим повітрям, ІЧ випромінюванням та переривчастим сушінням гарячим повітрям за допомогою НВЧ випромінювання. Використання останнього призвело до значного скорочення часу сушіння у порівнянні з іншими способами та відмічено найбільший вміст полісахаридів (240,3 мг/100 г). Шийтаке, висушені гарячим повітрям, містили найбільшу кількість сірковмісних ароматичних сполук (7,7%) та характеризувались високим показником регідратації та меншою зміною у кольорі шапинок.

Доцільність сушіння шийтаке ІЧ випромінюванням у поєднанні з гарячим повітрям стверджується у [31]. Такий спосіб дозволяє скоротити час процесу на 37,5% у порівнянні з сублимаційним способом, а висушений зразок характеризується високим вмістом полісахаридів,

стійкістю до окислення, приємним ароматом та найменшими змінами кольору у порівнянні з конвекційним сушінням гарячим повітрям. До того ж, сублимаційний спосіб не сприяв формуванню аромату гриба.

Аналіз результатів показав, що найнижчий та найвищий рівні споживання енергії при сушінні скибочок грибів були пов'язані з мікрохвильовою та вакуумною сушарками відповідно. Використання вакууму в поєднанні з мікрохвильовим сушінням збільшило споживання енергії відносно мікрохвильового способу сушіння. Комбінування гарячого повітря з ІЧ сушаркою зменшує споживання енергії порівняно з лише ІЧ способом сушіння. У мікрохвильово-вакуумній сушарці час сушіння та, як наслідок, споживання енергії зменшується порівняно з вакуумним способом. Отже, найменше споживання енергії відмічено при сушінні грибних слайсів ІЧ випромінюванням у поєднанні з гарячим повітрям. Але комбіновані методи сушіння призводять до збільшення стадійності обробки і ускладнення технології виробництва.

Для одержання грибних порошоків та гранульованих продуктів часто використовується *розпилювальне* сушіння. Даний спосіб дозволяє значно розвинути міжфазну поверхню і отримати значне збільшення поверхні випаровування, за рахунок чого досягається інтенсивний масо- та теплообмін між продуктом і сушильним агентом, а також підвищення енергетичної ефективності процесу загалом. Розчини, емульсії, суспензії або пастоподібні матеріали з грибів розпоршуються в сушильній камері і при контакті з гарячим сушильним агентом (повітрям або топковим газом) за досить невеликий проміжок часу зневоднюються. Сушіння методом розпилювання застосовують до матеріалів, які не можна зневоднити механічним шляхом, мають високу термочутливість і не можуть піддаватися впливу високих температур протягом тривалого часу, а також які містять частинки, здатні до агломерації. Процес протікає в дуже м'яких умовах, тому навіть нестійкі речовини добре зберігаються і легко регідратують. Цей тип сушіння дозволяє отримати сухі порошоків продукти із заданими структурними, дисперсними і смаковими характеристиками, який не поступається за якістю продуктам, отриманим при сушінні сублимацією. Сушильні установки розпилювального типу набули широкого розповсюдження за рахунок своєї універсальності і можливості сушіння практично будь-яких рідких речовин. Існує цілий спектр сушильних установок різних потужностей. При цьому способі сушіння повітря проходить фільтрацію, нагрівання і надходить в пристрій подачі, розташований у верхній частині апарату, звідти подається в камеру,

формує в ній обертальний повітряний потік. Одночасно з подачею повітря за допомогою відцентрових дисків або пневматичних чи механічних форсунок відбувається розсіювання водної суспензії в сушильній камері. При взаємодії повітря з дрібнодисперсними розпиленними частинками розчину випаровується волога. Висока інтенсивність випаровування вологи досягається за рахунок дисперсного розподілу матеріалу в робочій камері, через яку рухається нагріте повітря, при цьому питома поверхня випаровування стає настільки великою, що процес висушування завершується дуже швидко (приблизно до 15–30 с). Розпилені частинки перетворюються в порошок. Під дією сили тяжіння частина вже сухого продукту опускається на дно камери і виводиться з її нижньої частини. Інша частина зневодненої речовини потоком повітря транспортується в циклонний роздільник, звідки здійснюється його вивантаження. За допомогою регулювання потоку гарячого повітря можна скорочувати або збільшувати швидкість випаровування вологи. Вихідні газу після видалення найдрібніших частинок в мокрому скрубєрі виводяться з установки. Такий спосіб найбільш ефективний для отримання дрібнодисперсного сипучого порошку або гранул. Специфіка процесу дозволяє отримати високоякісний продукт за рахунок високої інтенсивності тепло- та масопереносу між матеріалом та газом-теплоносієм, що визначається ступенем дисперсності вологого матеріалу, температурою теплоносія та гідродинамічними особливостями апарату [32].

Для переробки використовуються цілі гриби шийтаке, окремі їх частини або екстракти. В цілому ряді публікацій і патентів описано способи отримання грибного порошку з екстрактів плодового тіла або міцелію (JPН07313089А, JP5856655А), які екстрагують водою або сумішшю води з етанолом концентрацією до 50% при температурі 10–60°C впродовж 15–30 хв, після чого отриманий екстракт швидко нагрівають до температури 60–100°C, охолоджують і фільтрують до прозорого стану. Отриманий екстракт висушують розпилюванням при температурі повітря на вході в сушильну камеру 150–180°C, на виході – 70–90°C. Для одержаного порошкового продукту характерні високі смакові властивості, наявність великої кількості фізіологічно активних речовин і покращена стабільність при зберіганні. Термічна обробка рідкого екстракту гриба призводить до накопичення сірковмісної ароматоутворюючої речовини – лентионіну [33, 34].

Для покращення умов сушіння шийтаке на стадії передпідготовки для отримання екстрактів і суспензій використовуються гідромеханічні методи диспергуван-

ня і гомогенізації. Для цього використовують механічні диспергатори, гомогенізатори високого тиску, колоїдні млини та пульсаційні апарати [35]. В (CN101617808А) описано спосіб отримання гранульованої грибної приправи з шийтаке. Технологія передбачає промивання грибів, кип'ятіння при температурі 95°C впродовж 2 хв, подрібнення при масовому співвідношенні гриб:вода як 1:2 за допомогою м'ясорубки або колоїдного млина до утворення пюре, гомогенізацію під високим тиском для руйнування клітинних стінок гриба, концентрування до вмісту сухих речовин 30–40%, розпилювальне сушіння, внесення смакових компонентів (глутамату натрію, мальтодекстрину, натрію хлориду, порошку яєчного жовтка тощо), гранулювання та сушіння у вакуумній камері при температурі теплоносія 55–60°C до кінцевого вмісту вологи 5%. Готова приправа має посилений свіжий аромат лугових та солон'яних грибів та м'який смак.

Особливістю використання в якості об'єкту розпилювального сушіння водної суспензії з шийтаке є її аномально висока в'язкість [36], що пов'язано з особливостями морфологічної будови гриба та хімічним складом, а саме значною кількістю високомолекулярних полісахаридів з сорбційними властивостями. Їх наявність ускладнює процес подачі матеріалу в сушильну камеру, а при розпилюванні водної суспензії порушуються умови утворення сферичної форми та однорідної дисперсності крапель. Це призводить до нерівномірності їх висушування і нашарування вологого продукту на стінках сушильної камери та погіршує якість сухого порошку. Покращенню умов сушіння сприяють структуруючі добавки – моно- і дисахариди, крохмаль, желатин, натрію гідрокарбонат, целюлоза мікрористалічна, метилцелюлоза, декстрини тощо [35]. В [33, 34, 37] встановлено, що найбільш дієвими речовинами для збереження ароматоутворюючих речовин є внесення мальто- або циклодекстрину. При обробленні грибних екстрактів або суспензій циклодекстрином відбувається включення компонентів в порожнину клатратів. За рахунок структуроутворення покращуються якісні властивості сухого порошку, підвищується стабільність і активність компонентів при зберіганні, поліпшується функціональність.

Таким чином, застосування методу розпилювального сушіння дозволяє організувати промислове виробництво високоякісного сухого грибного порошку з високим вмістом біологічно активних речовин і властивістю до регідратації. Характерним є порівняно висока економічність, незначний температурний вплив на продукт в процесі зневоднення, можливість сушіння термолабільних розчинів. Спосіб може бути вико-

ристаний для отримання нових наноструктурованих матеріалів. До недоліків даного способу сушіння можна віднести складність та високу вартість обладнання.

Висновки

Проведений аналіз цілого ряду опублікованих результатів досліджень показав значний інтерес до процесів перероблення гриба шиїтаке. Для подовження терміну зберігання і збереження біологічно активних речовин використовують всі відомі методи сушіння або їх поєднання. Велику увагу дослідників привертає енергоефективність обраних теплотехнологічних режимів в технологіях виробництва сухого грибного концентрату для отримання високих якісних показників сухого продукту.

Спосіб і теплотехнологічні режимні параметри проведення процесу сушіння мають значний вплив на якість і властивості отриманого сухого грибного продукту. Так, сушіння гриба конвективним способом в температурному діапазоні 50–60°C дозволяє максимально зберегти сполуки фенольної природи, органічні кислоти, нуклеотиди та посилити унікальний аромат гриба. Перевагою сушіння ІЧ випромінюванням є менша усадка, твердість та вищий коефіцієнт регідратації, при цьому час сушіння на 66% менший у порівнянні з сублімаційним сушінням. При вакуумному сушінні може значно знижуватись вміст ароматоутворюючих речовин у порівнянні з конвекційним сушінням. Розпилювальне сушіння має високу економічну доцільність і ефективність, дозволяє організувати промислове виробництво високоякісного сухого грибного порошку у великих обсягах. Характерним є незначний температурний вплив на продукт в процесі зневоднення, що надає можливість сушіння термолабільних розчинів з високим вмістом біологічно активних речовин і властивістю до регідратації. Використання структуруючих добавок дозволяє зберегти унікальний аромат гриба за рахунок капсулювання ароматоутворюючих сполук. Даний спосіб може бути використаний для отримання нових мікро- і наноструктурних матеріалів. Поєднання різних способів сушіння і прийомів попередньої підготовки сировини дозволяє отримати грибний порошок з заданими фізико-хімічними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Wasser S.P.* Medicinal mushroom science: current perspectives, advances, evidences, and challenges. *Biomedical Journal.* (2014) 37, P. 345–356. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.138318>.
2. *Sheng K., Wang C., Chen C., Kang M., Wang M., Liu K., Wang M.* Recent advances in polysaccharides from *Lentinus edodes* (Berk.): Isolation, structures and bioactivities. *Food Chemistry.* (2021) 358, 129883. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129883>.
3. *Shiitake Mushroom Market Size by Product Type (Fresh, Frozen and Dried), Category (Organic and Conventional), Distribution Channel (Hypermarkets & Supermarkets, Convenience Stores, Specialty Stores, Online Sales Channel), Region, Global Industry Analysis, Share, Growth, Trends, and Forecast 2022 to 2030.* Режим доступу: <https://www.thebrainyinsights.com/report/shiitake-mushroom-market-12716>.
4. *Shyitake. Zahalni vidomosti.* Ahrarnyi sektor Ukrainy [Shiitake. General Information. Agricultural sector of Ukraine]. Режим доступу: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-50/c-130/info/cag-235/>.
5. *Svoia nisha: yak navchytys vyroshchuvaty shyitake ta zalyshytysia na rynku ekzotychnykh hrybiv* [Your niche: how to learn how to grow shiitake and stay in the exotic mushroom market]. Режим доступу: <https://agravery.com/uk/posts/show/svoa-nisa-ak-navcitis-virosuvati-siitake-ta-zalisitisa-narinku-ekzoticnih-gribiv>.
6. *Ukrainske hrybivnytstvo: pohliad u maibutnie* [Ukrainian mushroom growing: a look into the future]. Режим доступу: <https://a7d.com.ua/novini/40360-ukrayinske-gribvnytstvo-poglyad-u-maibutnye.html>.
7. *Coates P.M., Paul M.C., Blackman M., Blackman M.R.* Encyclopedia of Dietary Supplements. Boca Raton: CRC Press; 2004. <https://doi.org/10.1201/b13959>.
8. *Mujumdar A.S.* Handbook of Industrial Drying. Boca Raton: CRC Press; 2014. 840 p.
9. *Wakchaure G.C., Manikandan K., Mani I., Shirur M.* Kinetics of Thin Layer Drying of Button Mushroom. *Journal of Agricultural Engineering.* (2010) 47(4), P. 41–46.
10. *Rhim J.W., Lee J.H.* Drying kinetics of whole and sliced Shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*). *Food Science and Biotechnology.* (2011) 20(2), P. 419–427.
11. *Doymaz I.* Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Convective Hot-Air Dried White Button Mushroom Slices. *Journal of Chemistry.* (2014) 2, P. 1–8.
12. *Zhang M., Bhandari B., Fang Z.* Handbook of drying of vegetables and vegetable products. Boca Raton: CRC Press; 2017. 554 p.
13. *Yang X., Zhang Y., Kong Y., Zhao J., Sun Y., Huang M.* Comparative analysis of taste compounds in shiitake mushrooms processed by hot-air drying and freeze drying. *International Journal of Food Properties.* (2019) 22(1), P. 1100–1111. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1628777>.

14. Guo X.H., Xia C.Y., Tan Y.R., Chen L., Ming J. Mathematical modeling and effect of various hot-air drying on mushroom (*Lentinus edodes*). *Journal of Integrative Agriculture*. (2014) 13(1), P. 207–216. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60265-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60265-8).
15. Xu L., Fang X., Wu W., Chen H., Mu H., Gao H. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). *Food Chemistry*. (2019) 285, P. 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.179>.
16. Mujumdar A.S. *Handbook of industrial drying*. Boca Raton: RC/Taylor and Francis; 2007. 1280 p.
17. Wu B.K. *Encyclopedia of Food Science and Technology*. New York; 1992 [Internet]. Available from: https://books.google.com.ua/books?id=80TMBQAAQBAJ&pg=PA660&lpg=PA660&dq=handbook+arun+mujumdar+shiitake&source=bl&ots=lcr3X6VjNU&sig=ACfU3U1fzgKqe1YMJo_5BQnJ9KYAv-hRMQ&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewiUq_7v7ZvxAhW0h_0HHSfmAEUQ6AEwDXoECBkQAw#v=onepage&q=handbook%20arun%20mujumdar%20shiitake&f=false.
18. Timm T.G., Pasko R.Z., da Gama Campos C.S., Helm C.V., Tavares L.B.B. Drying process of *Lentinula edodes*: Influence of temperature on β -glucan content and adjustment of mathematical models. *Agricultural Sciences*. (2019) 43, p. 1–12. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943025719>.
19. Wang H. *Mid-Infrared Drying Shiitake Mushrooms and Its Hybrid Study*. Wuxi: Jiangnan University. 2014.
20. Salehi F., Kashaninejad M., Mahoonak A.R., Ziaifar A.M. Drying Of Button Mushroom By Infrared-Hot Air System. *Iranian Journal Of Food Science And Technology*. (2017) 13(59), p. 151–159.
21. Xu D., Wei L., Guangyue R., Wenchao L., Yunhong L. Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*. (2015) 8(1), P. 91–97. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150801.012>.
22. Zhao Y., Bi J., Yi J., Jin X., Wu X., Zhou M. Evaluation of sensory, textural, and nutritional attributes of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) as prepared by five types of drying methods. *Journal of Food Process Engineering*. 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13029>.
23. Qi L.L., Zhang M., Mujumdar A.S. Comparison of Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*) Using Different Drying Methods. *Drying Technology: An International Journal*. (2014) 32(15), P. 1751–1761. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.929588>.
24. Burdo O.H. *Evoluytsiya sushilnyih ustanovok*. Odessa: Poligraf; 2010. 368 p.
25. Her J.Y., Kim M.S., Kim M.K., Lee K.G. Development of a spray freeze-drying method for preparation of volatile shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) powder. *International Journal of Food Science and Technology*. (2015) 50(10), P. 2222–2228. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12888>.
26. Motevali A., Minaei S., Khoshtaghaza M.H., Amirnejat H. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy*. (2011) 36(11), P. 6433–6441. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.024>.
27. Wang H., Zhang M., Arun S.M. Comparison of Three New Drying Methods for Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). *An International Journal of Drying Technology*. (2014) 32(15), P. 1791–1802. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.947426>.
28. Wang Hc., Benu A., Zhang M. Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food and Bioproducts Processing*. (2015) 94, P. 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.008>.
29. Kantrong H., Tansakul A., Gauri S. Mittal. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of Food Science and Technology*. (2014) 51(12), P. 3594–3608. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0888-4>.
30. Wang Q., Li S., Han X., Ni Y., Zhao D., Hao J. Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods. *Food science and technology*. (2019) 107, P. 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.020>.
31. Zhang J. Mujumdar S.A. et al. Role of thermal and non-thermal drying techniques on drying kinetics and the physicochemical properties of shiitake mushroom. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11348>. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.11348>.
32. Dolinskiy A.A., Maletskaya K.D. *Raspylitelnaya sushka*. [Spray drying]. Kiev: Akadempriodika; 2015. 390 p.
33. Shiga H., Yoshii H., Ohe H., Yasuda M. et al. Encapsulation of Shiitake (*Lentinus Edodes*) Flavors by Spray Drying. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*. (2004) 68(1), P. 66–71. <https://doi.org/10.1271/bbb.68.66>.
34. Yoshii H., Yasuda M., Furuta T., Kuwahara H., Ohkawar M. Retention of Cyclodextrin Complexed Shiitake (*Lentinus edodes*) Flavors with Spray Drying. *Drying Technology: An International Journal*. (2005) 23(6), P. 1205–1215. <https://doi.org/10.1081/DRT-200059343>.

35. *Sharkova N.O., Turchyna T.Ia., Zhukotskyi E.K., Dekusha H.V.* Mikrostrukturnyi analiz hrybnoi suspenszii na stadii pidhotovky do rozpyliuvalnoho sushinnia [Microstructural analysis of mushroom suspension at the stage of preparation for spray drying]. *Naukovi pratsi NUKhT.* (2018) 24(6), P. 240–247. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-6-29>.

36. *Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Dekusha H.V., Kostianets L.O.* Doslidzhennia dynamichnoi viazkosti vodnoi suspenszii plodovoho tila hryba shyitake [Studies of the dynamic viscosity of any suspension of the fruiting body of the shiitake mushroom]. *Naukovi pratsi NUKhT.* (2017) 23(6), P. 219–225. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2017-23-6-28>.

37. *Krittalak P., Panida B., Supaporn B., Nowwapan N., Takunrat T., Ubolwanna S.* Effect of Drying Process on the Physicochemical Properties and Biological Activities of Enzymatic Protein Hydrolysate from Shiitake Mushroom (*Lentinula edodes*). *Chiang Mai Journal of Science.* (2018) 45(2), P. 762–773.

APPLICATION OF DIFFERENT DRYING METHODS IN DRY MUSHROOM CONCENTRATE TECHNOLOGIES

Avdieieva L.Y.¹, Dekusha H.V.², Turchyna T.Y.³, Makarenko A.A.⁴

¹*Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist, Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-3434-1669, e-mail: avdeeva22@ukr.net*

²*PhD (Engin.), Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist, Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-8829-8221, e-mail: tbds_itf@ukr.net*

³*PhD (Engin.), Senior Research Scientist, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist, Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0003-4902-3732, e-mail: t_turchyna@ukr.net*

⁴*PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist, Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0003-2338-5364, e-mail: tbds_itf@ukr.net*

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2023.5>

A paper is devoted to the review of existing methods of drying the fruiting body of the shiitake mushroom, which is a valuable source of biologically active substances. The advantages and disadvantages of different methods of its drying are analyzed. Given here are the results of research on the influence of different drying methods and their parameters on structural and mechanical properties, chemical composition, content of aroma-forming substances and other compounds. When drying shiitake by convection in the temperature range of 50–60°C, compounds of phenolic nature, organic acids, nucleotides, sulfur aromatic substances are maximally preserved and the unique aroma of the mushroom is enhanced. The advantage of radiation drying is a lower degree of shrinkage of dried shiitake, a higher rehydration coefficient and hardness, while the duration of drying is 66% shorter compared to the sublimation drying method. The vacuum drying method allows to achieve a high quality of the product, however, the duration of the process is significantly increased and the

content of aromatic substances is reduced. Radiation drying in combination with hot air makes it possible to obtain a dry form of shiitake with a high content of protein and biologically active polysaccharides and reduce the process time by 37.5% compared to convective drying. The use of spray drying has a high economic feasibility and the possibility of organizing the industrial production of high-quality dry mushroom powder in large volumes. When using this drying method, it is advisable to add dextrin additives, which improve the structuring and moisture-conducting properties of the suspension and its heat resistance, and also contribute to the preservation of the unique aroma of the mushroom due to the encapsulation of the aroma forming substances. Studying the effects of various drying methods on the physicochemical properties of shiitake mushrooms will improve existing technological processes and obtain a product with desired properties.

References 37.

Keywords: shiitake mushroom, convective drying, infrared radiation, freeze drying, spray drying.

1. *Wasser S.P.* Medicinal mushroom science: current perspectives, advances, evidences, and challenges. *Biomedical Journal*. (2014) 37, P. 345–356. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.138318>.

2. *Sheng K., Wang C., Chen C., Kang M., Wang M., Liu K., Wang M.* Recent advances in polysaccharides from *Lentinus edodes* (Berk.): Isolation, structures and bioactivities. *Food Chemistry*. (2021) 358, 129883. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129883>.

3. *Shiitake Mushroom Market Size by Product Type (Fresh, Frozen and Dried), Category (Organic and Conventional), Distribution Channel (Hypermarkets & Supermarkets, Convenience Stores, Specialty Stores, Online Sales Channel), Region, Global Industry Analysis, Share, Growth, Trends, and Forecast 2022 to 2030.* Режим доступу: <https://www.thebrainyinsights.com/report/shiitake-mushroom-market-12716>.

4. *Shyitake. Zahalni vidomosti.* Ahrarnyi sektor Ukrainy [Shiitake. General Information. Agricultural sector of Ukraine]. Режим доступу: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-50/c-130/info/cag-235/>.

5. *Svoia nisha: yak navchytys vyroshchuvaty shyitake ta zalyshytysia na rynku ekzotychnykh hrybiv* [Your niche: how to learn how to grow shiitake and stay in the exotic mushroom market]. Режим доступу: <https://agravery.com/uk/posts/show/svoia-nisa-ak-navcitis-virosuvati-siitake-ta-zalisitisa-na-rynku-ekzotichnih-grybiv>.

6. *Ukrainske hrybivnytstvo: pohliad u maibutnie* [Ukrainian mushroom growing: a look into the future]. Режим доступу: <https://a7d.com.ua/novini/40360-ukrayinske-gribvniectvo-poglyad-u-maibutnye.html>.
7. *Coates P.M., Paul M.C., Blackman M., Blackman M.R.* Encyclopedia of Dietary Supplements. Boca Raton: CRC Press; 2004. <https://doi.org/10.1201/b13959>.
8. *Mujumdar A.S.* Handbook of Industrial Drying. Boca Raton: CRC Press; 2014. 840 p.
9. *Wakchaure G.C., Manikandan K., Mani I., Shirur M.* Kinetics of Thin Layer Drying of Button Mushroom. Journal of Agricultural Engineering. (2010) 47(4), P. 41–46.
10. *Rhim J.W., Lee J.H.* Drying kinetics of whole and sliced Shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). Food Science and Biotechnology. (2011) 20(2), P. 419–427.
11. *Doymaz I.* Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Convective Hot-Air Dried White Button Mushroom Slices. Journal of Chemistry. (2014) 2, P. 1–8.
12. *Zhang M., Bhandari B., Fang Z.* Handbook of drying of vegetables and vegetable products. Boca Raton: CRC Press; 2017. 554 p.
13. *Yang X., Zhang Y., Kong Y., Zhao J., Sun Y., Huang M.* Comparative analysis of taste compounds in shiitake mushrooms processed by hot-air drying and freeze drying. International Journal of Food Properties. (2019) 22(1), P. 1100–1111. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1628777>.
14. *Guo X.H., Xia C.Y., Tan Y.R., Chen L., Ming J.* Mathematical modeling and effect of various hot-air drying on mushroom (*Lentinula edodes*). Journal of Integrative Agriculture. (2014) 13(1), P. 207–216. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60265-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60265-8).
15. *Xu L., Fang X., Wu W., Chen H., Mu H., Gao H.* Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). Food Chemistry. (2019) 285, P. 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.179>.
16. *Mujumdar A.S.* Handbook of industrial drying. Boca Raton: RC/Taylor and Francis; 2007. 1280 p.
17. *Wu B.K.* Encyclopedia of Food Science and Technology. New York; 1992 [Internet]. Available from: https://books.google.com.ua/books?id=80TMBQAAQBAJ&pg=PA660&lpg=PA660&dq=handbook+arun+mujumdar+shiitake&source=bl&ots=lcr3X6VjNU&sig=ACfU3U1fzgKqe1YMJo_5BQnJ9KYAv-hRMQ&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewiUq_7v7ZvxAhW0h_0HHSfmAEUQ6AEwDXoECBkQAw#v=onepage&q=handbook%20arun%20mujumdar%20shiitake&f=false.
18. *Timm T.G., Pasko R.Z., da Gama Campos C.S., Helm C.V., Tavares L.B.B.* Drying process of *Lentinula edodes*: Influence of temperature on β -glucan content and adjustment of mathematical models. Agricultural Sciences. (2019) 43, p. 1–12. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943025719>.
19. *Wang H.* Mid-Infrared Drying Shiitake Mushrooms and Its Hybrid Study. Wuxi: Jiangnan University. 2014.
20. *Salehi F., Khashaninejad M., Mahoonak A.R., Ziaifar A.M.* Drying Of Button Mushroom By Infrared-Hot Air System. Iranian Journal Of Food Science And Technology. (2017) 13(59), p. 151–159.
21. *Xu D., Wei L., Guangyue R., Wenchao L., Yunhong L.* Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms. International Journal of Agricultural & Biological Engineering. (2015) 8(1), P. 91–97. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150801.012>.
22. *Zhao Y., Bi J., Yi J., Jin X., Wu X., Zhou M.* Evaluation of sensory, textural, and nutritional attributes of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) as prepared by five types of drying methods. Journal of Food Process Engineering. 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13029>.
23. *Qi L.L., Zhang M., Mujumdar A.S.* Comparison of Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinula edodes*) Using Different Drying Methods. Drying Technology: An International Journal. (2014) 32(15), P. 1751–1761. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.929588>.
24. *Burdo O.H.* Evolyutsiya sushilnyih ustanovok. Odessa: Poligraf; 2010. 368 p.
25. *Her J.Y., Kim M.S., Kim M.K., Lee K.G.* Development of a spray freeze-drying method for preparation of volatile shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) powder. International Journal of Food Science and Technology. (2015) 50(10), P. 2222–2228. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12888>.
26. *Motevali A., Minaei S., Khoshtaghaza M.H., Amirnejat H.* Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. Energy. (2011) 36(11), P. 6433–6441. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.024>.
27. *Wang H., Zhang M., Arun S.M.* Comparison of Three New Drying Methods for Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinula edodes*). An International Journal of Drying Technology. (2014) 32(15), P. 1791–1802. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.947426>.
28. *Wang Hc., Benu A., Zhang M.* Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. Food and Bioproducts Processing. (2015) 94, P. 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.008>.

29. Kantrong H., Tansakul A., Gauri S. Mittal. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of Food Science and Technology*. (2014) 51(12), P. 3594–3608. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0888-4>.
30. Wang Q., Li S., Han X., Ni Y., Zhao D., Hao J. Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods. *Food science and technology*. (2019) 107, P. 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.020>.
31. Zhang J. Mujumdar S.A. et al. Role of thermal and non-thermal drying techniques on drying kinetics and the physicochemical properties of shiitake mushroom. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11348>. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.11348>.
32. Dolinskiy A.A., Maletskaya K.D. Raspyilitelnaya sushka. [Spray drying]. Kiev: Akadempriodika; 2015. 390 p.
33. Shiga H., Yoshii H., Ohe H., Yasuda M. et al. Encapsulation of Shiitake (*Lentinus Edodes*) Flavors by Spray Drying. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*. (2004) 68(1), P. 66–71. <https://doi.org/10.1271/bbb.68.66>.
34. Yoshii H., Yasuda M., Furuta T., Kuwahara H., Ohkawa M. Retention of Cyclodextrin Complexed Shiitake (*Lentinus edodes*) Flavors with Spray Drying. *Drying Technology: An International Journal*. (2005) 23(6), P. 1205–1215. <https://doi.org/10.1081/DRT-200059343>.
35. Sharkova N.O., Turchyna T.Ia., Zhukotskyi E.K., Dekusha H.V. Mikrostrukturnyi analiz hrybnoi suspensii na stadii pidhotovky do rozpyliuvalnoho sushinnia [Microstructural analysis of mushroom suspension at the stage of preparation for spray drying]. *Naukovi pratsi NUKhT*. (2018) 24(6), P. 240–247. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-6-29>.
36. Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Dekusha H.V., Kostianets L.O. Doslidzhennia dynamichnoi viazkosti vodnoi suspensii plodovoho tila hryba shyitake [Studies of the dynamic viscosity of any suspension of the fruiting body of the shiitake mushroom]. *Naukovi pratsi NUKhT*. (2017) 23(6), P. 219–225. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2017-23-6-28>.
37. Krittalak P., Panida B., Supaporn B., Nowwapan N., Takunrat T., Ubolwanna S. Effect of Drying Process on the Physicochemical Properties and Biological Activities of Enzymatic Protein Hydrolysate from Shiitake Mushroom (*Lentinula edodes*). *Chiang Mai Journal of Science*. (2018) 45(2), P. 762–773.

Отримано 20.07.2023

Received 20.07.2023

Прийнято до друку 15.08.2023
Accepted for publication 15.08.2023