

MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF MUSHROOM SUSPENSION AT PREPARATION STAGE BEFORE SPRAY DRYING

N. Sharkova, T. Turchyna, E. Zhukotskyi, H. Dekusha

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

Shiitake mushroom

Dispersion

Homogenization

Suspension

Microstructural analysis

Article history:

Received 15.11.2018

Received in revised form

04.12.2018

Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

N. Sharkova

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

Expensive immunomodulatory and antitumor drugs produced by leading pharmaceutical companies are made by chemical isolation of therapeutic polysaccharides from shiitake fruit bodies, but in doing so the biologically active complex of proteins, vitamins and minerals of the fungus is lost.

The Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine has proposed a nanotechnological processing technique of shiitake body or its cap at the preparation phase for spray drying. In particular, during the homogenization a hydromechanical destruction of high-strength chitin-glucan structures is achieved and a high degree of dispersion of particles of insoluble fractions in the mushroom suspension is obtained, which should improve its fluid properties. However, in case of DPEI-processing of the shiitake bodies, stable, high-viscosity heterogeneous colloidal systems are formed and even diluted in water they are still non flowing and it is impossible to bring them into the spray dryer. That fact requires studying the nature of these phenomena.

A purpose of research is to study the microstructure of dispersed particles of the mushroom suspension obtained under different technological conditions at DPEI-processing of the shiitake bodies in the process of preparation for spray drying.

The microstructural analysis has shown that stems and caps of the fungus differ from each other not only in chemical composition, but also in structure, that determines their strength properties and the efficiency of dispersion and homogenization processes. Thus an aggregation of developed gif structures occurs in the mushroom suspension, that worsens the conditions of its spray drying.

Suspensions that are made of fungus caps have better viscosity characteristics and addition of 5% cyclodextrin to them contributed to a decrease in their viscosity by 25—35%. When spray drying such mushroom suspension, an increase in the yield of power from the drying chamber by 2 times, improvement in its quality and shelf life extension of product up to 1 year were achieved.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-29

МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ НА СТАДІЇ ПІДГОТОВКИ ДО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ

Н.О. Шаркова, Т.Я. Турчина, Е.К. Жукотський, Г.В. Декуша

Інститут технічної теплофізики НАН України

Високовартісні препарати імуномодулюючої та протипухлинної дії виробляються провідними фармацевтичними компаніями шляхом хімічного виділення лікувальних полісахаридів з плодового тіла гриба шиїтаке, при цьому унікальний за своїм складом біологічно активних речовин комплекс білків, вітамінів і мінеральних речовин гриба втрачається.

В ІТТФ НАН України запропоновано нанотехнологічний метод обробки плодового тіла гриба шиїтаке або його шапинок на стадії підготовки до розпилювального сушіння. Зокрема, в процесі гомогенізації досягається гідромеханічна деструкція високоміцних хітин-глюканових структур з отриманням високого ступеня дисперсності часточок нерозчинних фракцій у грибній суспензії, що має покращувати її текучі властивості. Проте при ДІВЕ-обробці плодового тіла шиїтаке утворюються стійкі високів'язкі гетерогенні колоїдні системи, які навіть при розведенні водою залишаються не текучими і не можуть подаватись в сушарку, що вимагає вивчення природи цих явищ.

Проведено дослідження мікроструктури дисперсних часток грибної суспензії, отриманої за різних технологічних умов ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння.

Мікроструктурний аналіз показав, що ніжки та шапинки гриба шиїтаке відрізняються за будовою та структурою, що визначає їх міцнісні властивості й ефективність процесів диспергування та гомогенізації. Так, у суспензії з плодового тіла гриба відбувається агрегування доволі розвинутих структур гіфів, що погіршує умови її розпилювального сушіння.

Суспензії з шапинок гриба мали кращі в'язкісні характеристики, а введення лише 5% β -циклодекстрину сприяло зниженню їх в'язкості на 25—35%. При розпилювальному сушінні такої грибної суспензії було досягнуто збільшення вдвічі виходу порошку з сушильної камери, покращення його якості і подовження терміну його зберігання до 1 року.

Ключові слова: *гриб шиїтаке, диспергування, гомогенізація, суспензія, мікроструктурний аналіз.*

Постановка проблеми. В технологіях розпилювального сушіння продуктів рослинного походження велике значення має стадія підготовки їх до сушіння, яка передбачає подрібнення і гомогенізацію вихідного матеріалу з отриманням достатньо текучої суспензії. Досягти цього не так просто, оскільки після диспергування і гомогенізації рослинної сировини утворюються переважно нетекучі желеподібні гетерогенні системи.

Збільшення тривалості гомогенізації або термічна обробка, як показано в [1—3], не завжди покращують текучі властивості цих систем. Більш того, деякі

з рослинних матеріалів одразу після гомогенізації або через деякий час (10... 30 хв) після гомогенізації, переходять у стан нетекучого гелю. Це обумовлено вилученням із зруйнованих структурних систем клітковини та волокон і переходом у розчинений стан таких речовин, як пектини, білки та полісахариди.

Рідинні системи із складними реологічними властивостями, в яких висока в'язкість обумовлена, зокрема, неоднорідністю гетерогенної системи через полідисперсність часток нерозчинних фракцій не можуть подаватись на розпилювальний диск сушильної установки, оскільки при формуванні краплі в момент відриву її від кромки дискового розпилювача не забезпечується її сферичність, а у факелі розпилу — однорідність дисперсного складу крапель. У таких випадках через нерівномірність висушування крапель полідисперсного складу в об'ємі камери відбувається утворення шару сухого або вологого продукту на стінках камери розпилювальної сушарки, що ускладнює її роботу. Якщо сухий порошок можна видалити зі стінок простукуванням або періодичним змітанням при короткочасних зупинках роботи сушарки, як це робиться на виробництві сухого молока або концентрату сироваткового білка, то видалення вологого продукту вимагає зупинки всієї лінії сушильного виробництва для очищення і миття камери, що призводить до матеріальних збитків.

Покращення текучості гетерогенних систем із фруктово-овочевої та плодово-ягідної сировини, як показано в [4], досягається лише при введенні декстринвмісної структуруючої добавки (патоки, мальтодекстрину) на перших хвилинах гомогенізації, що забезпечує обволікання шаром розчинених полісахаридів часточок в процесі їх утворення при руйнуванні волокон та клітковини. Такий обволікаючий шар між часточками в об'ємі гетерогенної системи виконує декілька важливих функцій, що позитивно впливають як на структурно-механічні та фізико-хімічні характеристики вихідної гетерогенної системи, так і на процеси тепломасопереносу при сушінні та якість порошкового продукту:

- амортизатора — запобіжника від зчеплення часток і утворення агломератів,
- консервуючого засобу — стабілізатора показників кислотності, що запобігає розвитку окислювальних реакцій на поверхні утворених дисперсних часток з відкритими зв'язками,
- засобу мікрокапсулювання термо- та ксеролабільних складових рослинної сировини та її біологічно активних речовин при розпилювальному сушінні.

Авторами [4] встановлено, що для забезпечення високого виходу порошку з сушильної камери та зниження його кінцевої вологості до 3—4% максимальні розміри часток нерозчинних фракцій у фруктово-овочевих та плодово-ягідних суспензіях, що подавались в дискову розпилювальну сушарку РЦ-1,3, не перебільшували 100—150 мкм.

Гриб шиїтаке (рис. 1а) відноситься до вищих базидіальних грибів, які в сучасних галузях медицини та біотехнології вивчаються й використовуються як продуценти у біологічно активних речовин для виробництва функціональних продуктів [5].

Сам гриб побудований з гіфів (рис. 1), які являють собою лінійні або розгалужені волокна циліндричної форми з гладкою поверхнею діаметром 3—5 мкм і

завдовжки до декількох (≥ 3 —5) міліметрів. За [5] гіфи мають порожнисту мікрофібрилярну будову клітинної стінки з її товщиною від 0,2 до 1 мкм і містять до 95% полісахаридів.

Джерелом імунорегулюючих та онкостатичних метаболітів гриба шийтаке є водорозчинний комплекс полісахаридів, який міститься у хітин-глюканових структурах клітин. Висока міцність хітинової оболонки гіфів гриба з одного боку, і маннопротеїнової — з другого, обумовлює високу стійкість цих структур до механічного руйнування і знижує доступність комплексу лікувальних полісахаридів [5]. Тобто при вживанні гриба у вигляді кріопорошків його лікувальний комплекс полісахаридів залишається мало доступним через неможливість вилучення його під дією кислот та ферментів у шлунково-кишковому тракті.

Високоякісні препарати імуномодулюючої та протипухлинної дії провідних фармацевтичних корпорацій Японії та Китаю виробляють шляхом виділення окремих фракцій або хімічної модифікації полісахаридів гриба шийтаке шляхом розщеплення молекул і їх активізації [5]. При цьому унікальний за своїм складом природний біологічно активний комплекс грибів — білків, вітамінів та мінеральних речовин, втрачається.

В ІТТФ НАН України запропоновано нанотехнологічний метод обробки плодового тіла гриба шийтаке або його шапинок перед розпилювальним сушінням, в якому в процесі гомогенізації досягається гідромеханічна деструкція хітин-глюканових структур з отриманням високого ступеня дисперсності часточок нерозчинних фракцій у грибній суспензії, що має покращувати її текучі властивості. Проте при підготовці грибної суспензії з плодового тіла шийтаке до розпилювального сушіння слід враховувати, що при високому вмісті полісахаридів (78% від вмісту с. р.) і наявності білків (17,5% від вмісту с. р.) за наявності води (90% від маси гриба) утворюються стійкі високов'язкі колоїдні рідинні системи [5], розведення яких водою з різним гідромодулем майже не впливає на текучість системи, що вимагає вивчення природи цих явищ.

Мета статті полягала у проведенні досліджень мікроструктури дисперсних часток грибної суспензії, отриманої за різних технологічних умов ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння.

Викладення основних результатів дослідження. При проведенні експериментальних досліджень з використанням механізмів дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) були досліджені дисперсні часточки нерозчинних фракцій суспензій як з плодового тіла гриба, так і його окремих частин.

Мікроструктурний аналіз дисперсного складу часток нерозчинних фракцій грибної суспензії, отриманої з плодового тіла гриба шийтаке, який проводився на електронному мікроскопі «Ахіо Imager» німецької фірми Carl Zeiss, дав змогу визначити форму та розміри дисперсних часток з різних частин гриба й особливості їх агрегування, що визначає їхні текучі властивості. Дослідження показали, що наявність в грибній суспензії часточок різної форми, структури та розмірів обумовлює погіршення структурно-механічних властивостей даної системи.

На рис. 1 наведено фотографії гіфів та їх пучків, що утворюються після першого проходу подрібненого плодового тіла гриба шиїтаке через роторно-пульсаційний апарат на стадії його підготовки до розпилювального сушіння.

Проведений нами мікроструктурний аналіз дисперсних часток грибно́ї суспензії з плодового тіла гриба шиїтаке дав змогу встановити нові дані стосовно параметрів та будови гіфів. Як виявилось, гіфи мають циліндричну форму різного діаметра вздовж усієї їх довжини, який коливається в межах 1...13 мкм, про що свідчать наведені на рис. 1 фотографії гіфів із збільшенням 1600х. На зрізах гіфів видно, що вони щільно заповнені дрібнозернистою губчастою структурою, завдяки чому проявляються пружність, гнучкість і стійкість під час механічних навантажень. Отримані результати свідчать, що довжина фрагментів гіфів у десятки і навіть тисячу разів перевищує їхній діаметр і становить 50...5000 мкм.

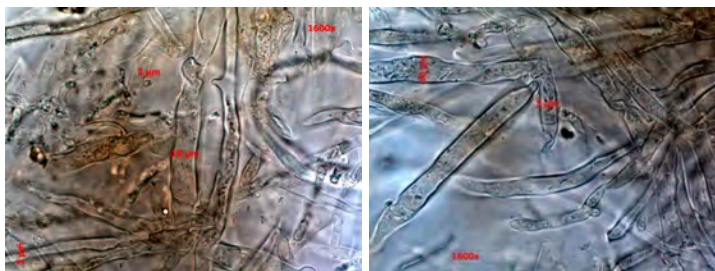


Рис. 1. Мікроструктура окремих гіфів та їх пучків у суспензії, отриманій при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення: 1600х

Ніжки та шапинки гриба шиїтаке відрізняються за будовою та структурою (рис. 2), що визначає їх структурно-механічні властивості і, як виявилось, ефективність процесів диспергування та гомогенізації.

У процесі досліджень було виявлено характерну особливість грибно́ї суспензії: незалежно від технологічних режимів ДІВЕ-обробки гетерогенна система проявляє схильність до самоорганізації фрагментів гіфів та їх скупчень в агрегати. Стикаючись своїми кінцями, частки гіфів та їх агрегати створюють в об'ємі гетерогенної системи нерівномірні просторові сітки — асоціати, розміром до 3—4 мм (рис. 3). Наявність рідинного прошарку між частками обумовлює меншу міцність структури, проте надає їй пластичності. Це погіршує структурно-механічні властивості грибно́ї суспензії і вимагає її додаткової гомогенізації безпосередньо перед подачею в сушарку.

Сушіння грибно́ї суспензії, що містить такі крупні агреговані включення (рис. 3), недоцільне через утворення у факелі розпилу крапель полідисперсного складу, що призводить до нерівномірності їх висушування і, як показали дослідження на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3, утворення на стінках камери пластичного шару вологого продукту. При цьому дрібнодисперсна фракція порошку, що у невеликій кількості (вихід до 35—40%) надходила до приймальної ємності під циклоном, характеризувалась більшою вологістю (≤ 8 —10%) і підвищеними гігроскопічними властивостями, що сприяло швидкому його псуванню.

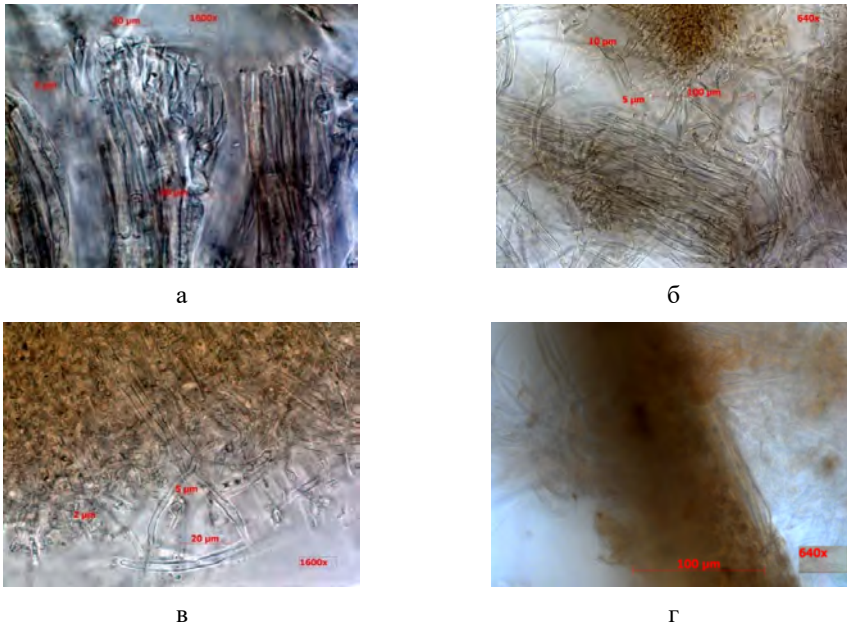


Рис. 2. Мікроструктура дисперсних частинок грибної суспензії: а) пучки гіфів тіла ніжки гриба; збільшення: 1600х; б) фрагменти гіфів плодового тіла ніжки гриба (нижня частина фото) і шапинки (у верхній частині фото; збільшення: 640х в) фрагмент тіла шапинки гриба; збільшення: 1600х; г) зріз тіла шапинки гриба; збільшення: 640х

Через складності отримання однорідної за дисперсним складом суспензії з цілісного плодового тіла гриба проведена серія дослідів виключно з шапинками гриба шиїтаке. Дослідження показали, що при диспергуванні і гомогенізації шапинок гриба шиїтаке ступінь дисперсності частинок нерозчинних фракцій у грибній суспензії підвищується і, відповідно, покращуються її структурно-механічні характеристики, що відбувається за рахунок меншого у 1,5 раза вмісту хітину у шапинках. Розміри частинок в суспензії на 80% від основної маси дисперсної фази складали від 10 до 150—180 мкм, а максимальні розміри окремих часточок — ≤ 200 —250 мкм (рис. 4). Підвищення ступеня дисперсності частинок грибної суспензії сприяло незначному зниженню її в'язкості.

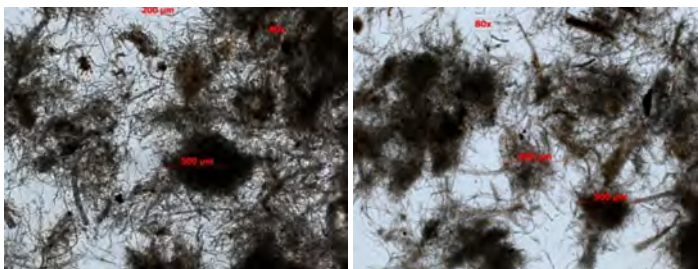


Рис. 3а. Мікроструктура грибної суспензії, отриманої в результаті ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення 80х

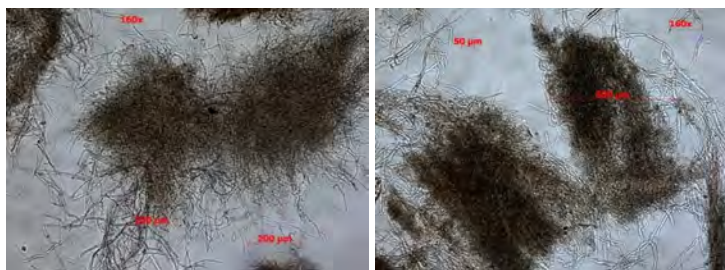


Рис. 3б. Мікроструктура грибної суспензії, отриманої в результаті ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення: 160х

Для покращення в'язкісних властивостей грибної суспензії було апробовано використання структуруючої добавки — β -циклодекстрину. Проведені дослідження показали доцільність введення даної декстринвмісної структуруючої добавки, що сприяло покращенню текучих властивостей грибної суспензії з гідромодулем 1,5. При введенні лише 5% масової частки β -циклодекстрину в'язкість грибної суспензії з температурою 80°C знижувалась на 25—35%, якщо порівняти з контрольним зразком, і становила 0,6... 0,8 Па · с [6].

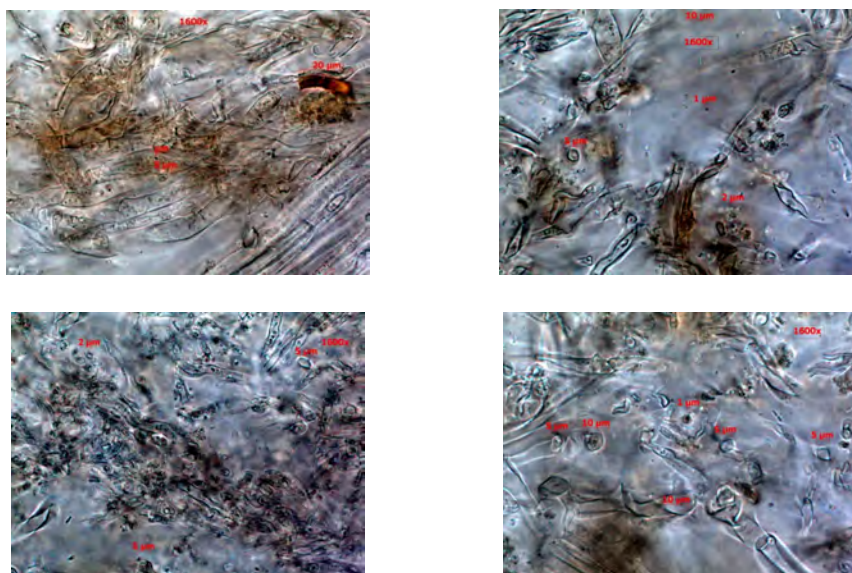


Рис. 4. Мікроструктура грибної суспензії після трьох проходів шапинок гриба шиїтаке через роторно-пульсаційний апарат, збільшення: 1600х

Крім того, введення декстринвмісної добавки сприяло мікрокапсулюванню термолабільних структурних елементів гриба при розпилювальному сушінні, а підвищення при цьому термостійкості матеріалу дало змогу підвищити температурні режими сушіння і таким чином забезпечити скорочення часу сушіння за умов збереження біологічно активних складових гриба.

Подача такого продукту на дисковий розпилювач сушарки здійснювалася за допомогою плунжерного насосу. Вихід порошку з розпилювальної сушарки збільшився до 85—90%. Отриманий дрібнодисперсний порошок був сипким і однорідним, у герметично запакованій скляній тарі його структурно-механічні й органолептичні властивості залишалися незмінними протягом 1 року.

Висновки

Проведені дослідження дали змогу охарактеризувати особливості мікроструктури грибної суспензії, отриманої при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шіітаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння. Показано, що структура дисперсних часток гриба в суспензії представляє собою гіфи циліндричної форми різного діаметра вздовж усієї їх довжини, який коливається в межах 1...13 мкм, а їх довжина становить 50...5000 мкм.

Встановлено, що складність отримання однорідної за дисперсним складом і достатньо текучої грибної суспензії з плодового тіла гриба шіітаке пов'язана з характерним для даної гетерогенної системи процесом самоорганізації часток гіфів в агрегати розміром до 3...4 мм і підвищенням у часі її в'язкості за рахунок високого вмісту полісахаридів і білків.

Дослідження мікроструктури грибних суспензій, отриманих при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шіітаке, показали, що підвищення ступеня їх дисперсності до заданого рівня досягається при застосуванні не всього плодового тіла гриба, а лише його шапинок, а введення 5% масової частки декстрин-вмісної структуруючої добавки (циклодекстрину) при температурі грибної суспензії 80°C знижує її в'язкість на 25...35%, що сприяє покращенню умов розпилювального сушіння грибної суспензії і збільшення виходу порошку удвічі.

Експериментально встановлено, що для уникнення підвищення в'язкості грибна суспензія має одразу після гомогенізації подаватись на дисковий розпилювач сушарки.

Література

1. Догадаев В.И., Тележенко Л.Н., Безусов А.Т. Использование предварительной тепловой обработки яблок для придания изготовленному из них порою необходимых реологических свойств. *Наукові праці ОНАХТ*. 2006. Вип. 28. Т.1. С. 70—72.
2. Кислая Л.В. Симахина Г.А., Голубева Л.А. и др. Влияние процессов механохимической деструкции на пектиновые вещества сочного растительного сырья. *Научные труды Украинского государственного университета пищевых технологий*. Киев, 1994. 8 с.
3. Дьяконова А.К., Безусов А.Т. Структурообразователи в производстве консервированных продуктов. Одесса: «Optimum», 2006. 249 с.
4. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка. Киев: Академперіодика, 2015. 390 с.
5. Бисько Н.А., Бабицкая В.Г., Бухало А.С. та ін. Биологические свойства лекарственных макромикробиот в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т.2. Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.П. Вассера. Киев, 2012. 459 с.
6. Шаркова Н.О., Жуковський Е.К., Декуша Г.В., Костянець Л.О. Дослідження динамічної в'язкості водної суспензії плодового тіла гриба шіітаке. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23. № 6. С. 219—224.