

УДК 664.8/9

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІВЕ-ОБРОБКИ ПЛОДОВОГО ТІЛА ГРИБА ШИЇТАКЕ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ

Шаркова Н.О., канд. техн. наук, Жукотський Е.К., Турчина Т.Я., канд. техн. наук,
Декуша Г.В., канд. техн. наук, Макаренко А.А., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.4>

Вивчено вплив ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості грибної суспензії. Показано, що за певної компоновки робочих органів РПА розміри просторових агрегатів грибної суспензії зменшуються утричі, а при кавітаційній обробці її після трьох проходів через РПА динамічна в'язкість знижується на 20 %.

Изучено влияние ДИВЕ-обработки плодового тела гриба шиитаке на физико-механические свойства грибной суспензии. Показано, что при определенной компоновке рабочих органов РПА размеры агрегатов в грибной суспензии уменьшаются втрое, а при кавитационной обработке ее после трех проходов через РПА динамическая вязкость снижается на 20 %.

Effect of DPEI processing of shiitake fungus on physical and mechanical properties of mushroom suspension have been studied. It is shown that a certain layout of RPA working bodies allows to reduce the size of aggregates in the mushroom suspension three times. Cavitation processing after three passes through RPA decreases dynamic viscosity of mushroom suspension by 20 %.

Библ. 13, рис. 6.

Ключові слова: плодове тіло гриба шиїтаке, дискретно-імпульсне введення енергії, деструкція полісахаридного комплексу, мікроструктура.

t – температура,
ДІВЕ – дискретно-імпульсне введення енергії,

РПА – роторно-пульсаційний апарат,
ХГК – хітин-глюкановий комплекс.

Використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) в різних галузях стало надійним і ефективним інструментом інтенсифікації процесів тепломасообміну в різноманітних технологічних лініях і зниження питомих енерговитрат на виробництві. Вивчення процесів та структурних перетворень в гетерогенних системах під дією механізмів ДІВЕ відкривають все нові грані ефективного їх застосування. Виявляється, за певних умов ДІВЕ-обробки можна не тільки підготувати до розпилювального сушіння рідинну гетерогенну систему з певним ступенем дисперсності нерозчинних мікрочастинок, але й досягти покращення якісних характеристик отриманого порошкового продукту і навіть посилення певних його властивостей при збереженні усіх цінних складових вихідної сировини. Саме такого не очікуваного ефекту було отримано при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шиїтаке.

Широкий спектр лікувальних властивостей шиїтаке обумовлений комплексною дією на організм людини багатьох специфічних біологічно активних речовин: полісахаридів з імуномодельючими властивостями, білків, до складу яких входять усі незамінні амінокислоти, вітамінів, незамінних поліненасичених жирних кислот, низки найважливіших макро- і мікроелементів, в тому числі, дефіцитного в нашому харчуванні селену [1-3].

Актуальність використання деяких видів базидіаль-

них грибів з лікувальними властивостями, серед яких традиційний японський гриб шиїтаке, підтверджена багаторічними та численними результатами експериментальних і клінічних досліджень механізмів імуномодельючої і протипухлинної дії грибних полісахаридів та позитивним ефектом застосування високовартісних препаратів фармацевтичних корпорацій Японії, Китаю, які займають біля 30 % ринку імунокоректорів і протипухлинних препаратів [4-5].

Стінки клітини плодового тіла гриба містять 5...15 % сухої маси грибів і на 95 % складаються з природних полісахаридів: хітину, глюканів і протеогліканів. Хімічна будова їх макромолекул (тип глікозидного зв'язку, моносахаридний склад ланцюга, наявність функціональних груп) визначає їх біологічне призначення. Особливий інтерес представляє хітин-глюкановий полісахаридний комплекс (ХГК), біологічна активність якого визначається наявністю в ньому хітину і глюканів, між якими існують ковалентні зв'язки в мікрофібрилах, що обумовлює високу міцність клітинної стінки, надає стійкості ХГК і робить неможливим виділення одного компоненту без руйнування іншого. Таким чином, ХГК є розгалуженим полісахаридом, в якому ланцюг глюкана зв'язаний з ланцюгом хітину [6].

Глюканова складова в структурі ХГК має імуноморегулюючу і протипухлинну дію, однак доступність до цих біологічно активних речовин суттєво знижена

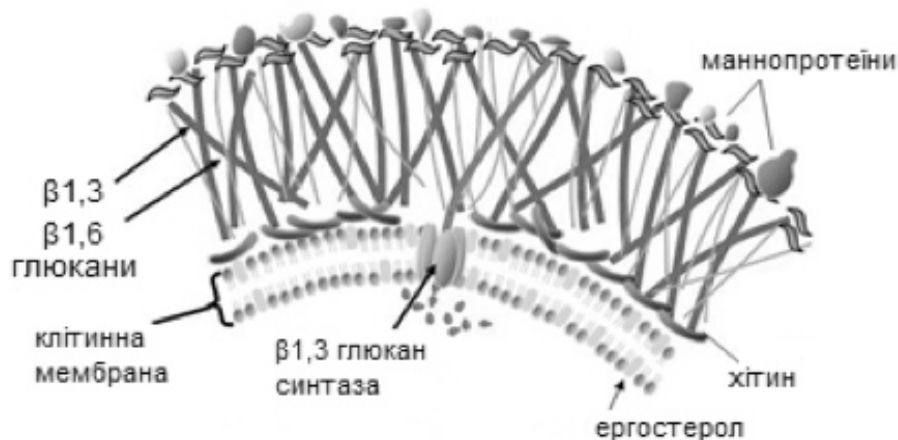


Рис. 1. Схема хітин-глюканового комплексу клітинної стінки гриба.

внаслідок міцності хітинової складової з внутрішньої сторони клітини, а з іншої — міцного шару молекул пептидогліканів, що вкриває зовнішню поверхню клітини мукополісахаридами (рис. 1).

Посилення лікувальної дії полісахаридів в імунокоректорах і протипухлинних препаратах відомих фармацевтичних корпорацій досягається за рахунок виділення окремих фракцій або хімічної модифікації полісахаридів шляхом розщеплення молекул за Смітом і активізації методом формолізу. Але при цьому втрачається унікальний за своїм складом природний біологічно активний комплекс речовин грибів — білків, вітамінів, жирів, мінеральних речовин тощо [7-8,13].

Для збільшення імуномодельючої і протипухлинної дії грибних полісахаридів перспективні різні методи їх модифікації, які дозволяють збільшити їх розчинність у воді і біодоступність. На сьогодні відомі різні методи модифікації полісахаридів з метою збільшення доступності біологічно активних речовин за рахунок руйнування великих молекулярних структур з утворенням (виділенням) низькомолекулярних фракцій олігосахаридів, що високоефективні в імунології: хімічні (вказано вище), механіко-хімічні, лазерно-кавітаційні, гідродинамічні [9-10].

Для розробки високоефективної технології з можливістю направленою керування технологічним процесом, нами запропоновано інноваційний метод нанотехнологічної обробки плодового тіла гриба шиїтаке. Даний метод дозволяє за рахунок проведення гідромеханічної деструкції полісахаридних структур збільшити в декілька разів доступність до біологічно активного полісахаридного комплексу, зберігаючи цінний природний потенціал всього гриба.

Для здійснення гідромеханічної деструкції полісахаридного комплексу плодового тіла гриба шиїтаке нами було запропоновано технологію з використан-

ням принципу ДІВЕ. Спрямована і локальна дія концентрованої енергії на дисперсні включення в гетерогенних системах під час обробки в РПА дозволяє значно збільшити сумарну поверхню контакту фаз та інтенсифікувати масообмін і гідродинамічні процеси при істотно невеликому рівні питомих енерговитрат.

Мета роботи полягала у вивченні впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості та структурні характеристики грибної суспензії як об'єкту розпилювального сушіння.

Отримана грибна суспензія — це складна полідисперсна колоїдна гетерогенна система, яка складається з двох фаз: дисперсної фази — часточок подрібненого плодового тіла гриба і дисперсійного середовища — води. Складність цієї системи визначається не тільки хімічним складом плодового тіла гриба шиїтаке — здатністю полісахаридів і білків в присутності води утворювати стійкі колоїдні розчини, але і структурними особливо-

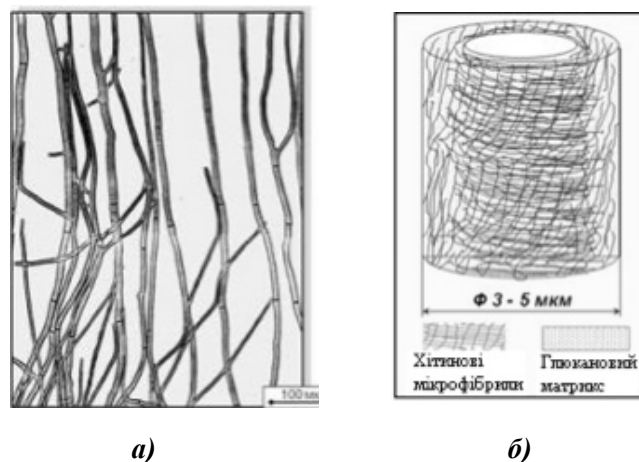


Рис. 2. Будова грибної гіфи: а) вегетативні гіфи гриба; б) схема мікрофібрилярної будови клітинної стінки грибної гіфи.

стями гіфоподібної будови плодового тіла (рис. 2).

Відомо, що для розчинів полісахаридів характерна аномальна в'язкість, яка залишається високою навіть в дуже розведених розчинах. Реологічні властивості грибної суспензії обумовлені анізотричною формою часток, величиною сил взаємодії між частками, структурою агрегатів, що формуються, та величиною об'ємної концентрації дисперсійної фази. Стикаючись своїми кінцями частки гіфів (рис. 2 а) та їх агрегати створюють в об'ємі гетерогенної системи нерівномірні просторові сітки – асоціати. Наявність тонкого рідинного прошарку між частками обумовлює меншу міцність структури та надає їй пластичності. Утворення просторових структур (агрегатів) при отриманні грибної суспензії з певними властивостями залежить не тільки від особливостей хімічного складу та будови плодового тіла гриба, а і від методу диспергування і гомогенізації [2].

При проведенні експериментальних досліджень в технологічних процесах переробки гриба шийтаке для визначення раціональних режимів отримання грибної суспензії з заданими властивостями вивчено зміну динамічної в'язкості в залежності від співвідношення дисперсної фази та дисперсійного середовища, температурних режимів та компоновки робочих органів РПА. Залежність зміни динамічної в'язкості грибної суспензії із різним співвідношення дисперсної та дисперсійної фази (гідромодуля) від температури представлено на рис. 3.

Грибна суспензія надзвичайно складна в технологічній обробці. Дані на рис. 3 свідчать, що при нагріванні всіх зразків водної грибної суспензії від 20 до 80 °С їх

в'язкість знижується в середньому в 2 рази. Зниження динамічної в'язкості грибної суспензії більш суттєво залежить від гідромодуля. Так, зміна значень гідромодуля від 1 до 2 при температурі 20 °С призводить до зниження в'язкості суспензії у три рази, а при температурі 80 °С – удвічі.

Зміни структурно-механічних властивостей дисперсної системи можливі за рахунок направленого регулювання шляхом:

- компоновки робочих органів РПА;
- збільшення зовнішнього тиску, підвищуючи швидкість течії грибної суспензії [2].

При розгляді механізму подрібнення дисперсних часток в потоці дисперсійного середовища визначальними факторами є створені в потоці високі градієнти швидкості і пульсації тиску, що призводять до руйнування дисперсних включень. Це досягається за рахунок конструктивних особливостей апаратів роторного типу, робочими органами яких є коаксіальні перфоровані циліндри з малими величинами ширини каналів і малими зазорами між ними. Міжциліндрові зазори є областями найбільш ефективного гідродинамічного впливу на гетерогенне середовище. Вплив відцентрових сил на гідродинамічні процеси призводить до появи вихорів, що рухаються вздовж потоку, а виникнення відцентрової нестійкості потоку в мікроканалах дозволяє розглядати ефекти проковзування потоку на стінках апарату. Крім того, дисперсна частка в процесі її руху піддається силовим впливам зі сторони дисперсійного середовища. Різке гальмування або прискорення потоку на певних ділянках робочого об'єму РПА призводить до

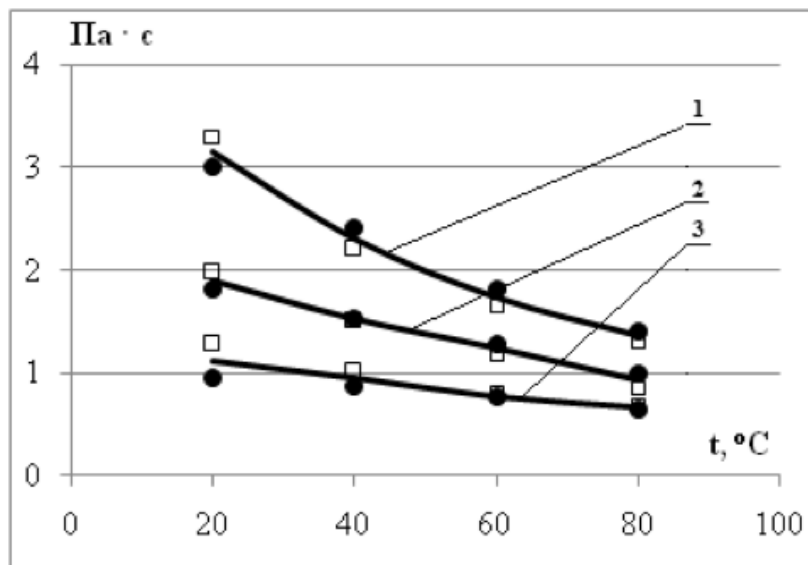


Рис. 3. Зміна динамічної в'язкості зразків грибної суспензії, приготовлених на РПА різних варіантів компоновки робочих органів (□ – 1 варіант: ротор-статор-ротор; ● – 2 варіант: статор-ротор-статор) в залежності від її температури при різних гідромодулях: 1 – гідромодуль 1; 2 – гідромодуль 1,5; 3 – гідромодуль 2.

деформації і руйнування часток дисперсної фази [11-12].

Можливості зміни фізико-механічних властивостей грибною гетерогенною системою досліджувались в процесі диспергування і гомогенізації плодового тіла гриба шийтаке в робочих об'ємах РПА двох типів компоновки – системи коаксіальних циліндрів: ротор-статор-ротор (варіант 1) та статор-ротор-статор (варіант 2).

Аналіз результатів досліджень виявив незначне зниження показників в'язкості грибною суспензії (5...10 %) при послідовності робочих органів в РПА 2-го варіанту компоновки (статор-ротор-статор) (рис. 3, криві 2 і 3).

В обмеженому об'ємі робочої зони РПА рух потоків рідкого середовища має обертально-пульсаційний характер, який характеризується високими рівнями локальних швидкостей, прискорень, градієнтів тиску, що відбуваються за дуже малі проміжки часу. Сукупність усіх цих чинників діє на гетерогенне середовище, що обробляється, і призводить до ефективного подрібнення дисперсних часток.

Важливим показником роботи РПА є дисперсний склад часточок нерозчинних фракцій грибною суспензії, про що свідчить аналіз її мікроструктури. На рис. 4 представлено фотографії мікроструктури грибною суспензії, що пройшла ДІВЕ-обробку в РПА при різній послідовності компоновки робочих органів.

Дослідження структури грибною суспензії, отриманої після ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке проводили на електронному мікроскопі «Olympus BX53» та з цифровою фотокамерою «Olympus DP72», визначення розмірів структурних елементів проводили за допомогою програми «Olympus Labsens».

Електронно-мікроскопічні дослідження мікроструктури грибною суспензії дозволили визначити розміри дисперсних часток, зміну просторової структури агрегатів в об'ємі дисперсійного середовища в залежності від конструктивних особливостей диспергуючого обладнання. Отримані дані показали, що при

диспергуванні плодового тіла гриба в РПА розміри часток гіфів і наступна самоорганізація їх в агрегати і структурні просторові сітки-асоціати суттєво відрізняється в залежності від послідовності компоновки робочих органів РПА (ротора і статора).

При використанні РПА 1-го варіанту компоновки робочих органів (ротор-статор-ротор) розміри гіфів грибною суспензії складають 2,6...25 мкм (рис. 4 б), а при обробці в РПА 2-го варіанту компоновки (статор-ротор-статор) розміри гіфів складають ≥ 50 мкм (рис. 4 а, в).

Однак, як показали результати досліджень мікроструктури зразків грибною суспензії після певної витримки грибною суспензії у часі, чим менші розміри диспергованих частинок азометричних за формою гіфів, тим більше спостерігається їх активна взаємодія між собою (самоорганізація) з утворенням більших за об'ємом агрегатів (асоціатів) (рис. 4 а, в), що вимагає негайної подачі щойно підготовленої грибною суспензії з однорідним складом часток дисперсної фази (≤ 100 -150 мкм) в розпилювальну сушарку.

Відомо, що зниження в'язкості грибною суспензії можна досягти і при її обробці в кавітаційному пристрої, де за рахунок збільшення зовнішнього тиску і швидкості руху колоїдної системи відбувається руйнування просторової структури агрегатів дисперсної фази [12].

Досліджено вплив кількості проходів грибною суспензії через РПА та через кавітаційний пристрій на зміну її динамічної в'язкості. Кавітаційну обробку грибною суспензії проводили на експериментальному стенді для дослідження впливу гідродинамічної кавітації на властивості гетерогенних систем, розробленому в ІТТФ НАН України (рис. 5 а). Основним робочим органом кавітаційного пристрою є сопло Лавалля (трубка Вентурі) (рис. 5 б) з наступними параметрами:

- внутрішній діаметр горловини сопла $d = 3$ мм;
- довжина горловини $c = 20$ мм,
- кут розкриття дифузору $\alpha = 10^\circ$.

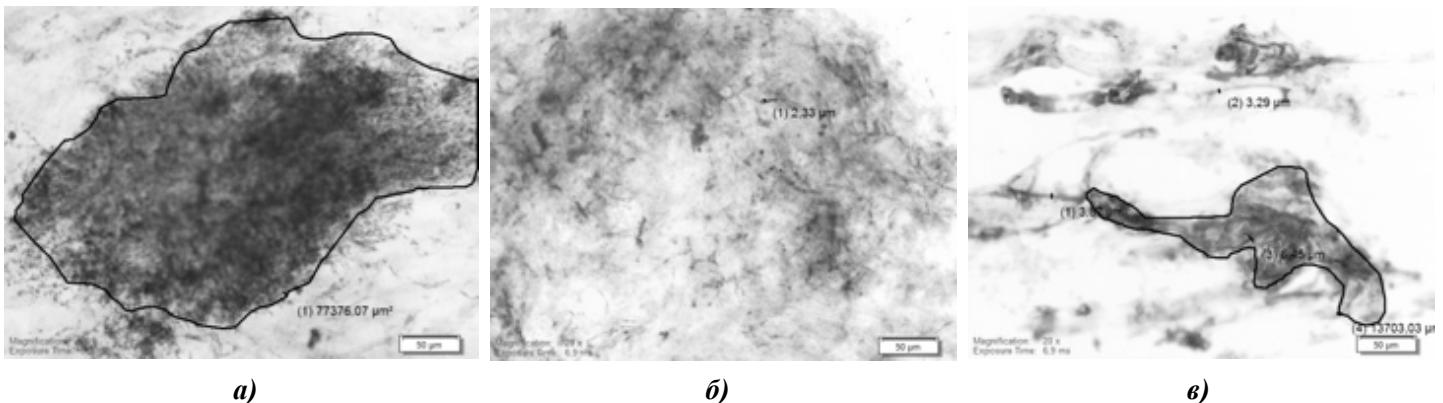
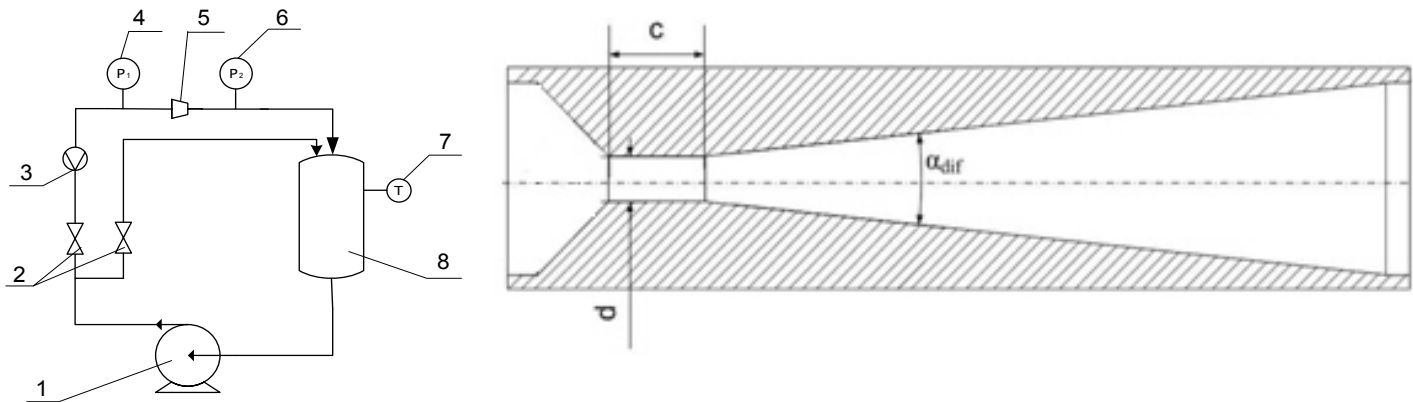


Рис. 4. Мікроструктура грибною суспензії, отриманої після ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке в РПА двох варіантів компоновки робочих органів: а, б) 1-й варіант: ротор-статор-ротор; в) 2-й варіант: статор-ротор-статор.



а)

б)

Рис. 5. Схема кавітаційного стенду а) та його робочого органу б) для обробки грибної суспензії: 1 – відцентровий насос; 2 – вентиль; 3 – ультразвуковий витратомір; 4, 6 – манометр; 5 – сопло Лавалю; 7 – датчик температури; 8 – резервуар.

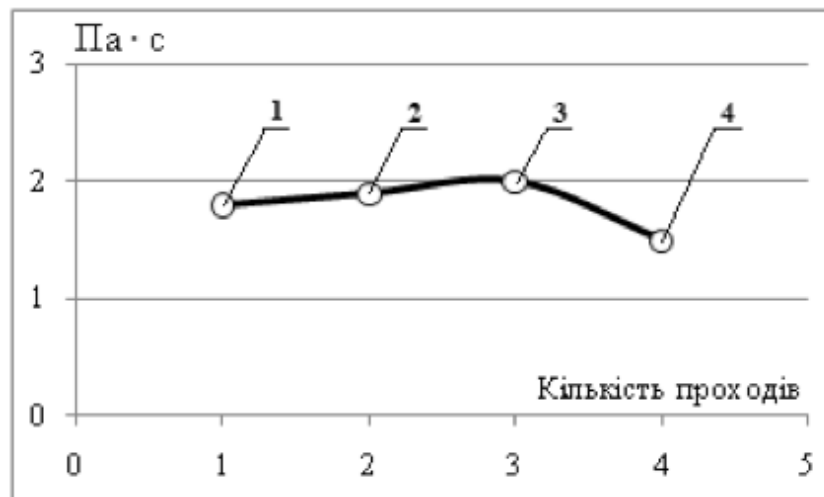


Рис. 6. Залежність динамічної в'язкості зразків грибної суспензії від методу гідродинамічної обробки: 1 – один прохід через РПА; 2 – два проходи через РПА; 3 – три проходи через РПА; 4 – три проходи через РПА і кавітаційний пристрій.

Процес гідродинамічної обробки грибної суспензії в кавітаційному пристрої протікав при наступних його технічних характеристиках:

тиск $p = 4$ ата,

витрати $Q = 1,3 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$,

швидкість руху суспензії всередині сопла $v = 183 \text{ м/с}$,

число кавітації $\chi = 0,0023$.

Визначення зміни динамічної в'язкості зразків грибної суспензії в залежності від методу гідродинамічної обробки проводили наступним чином. Грибну суспензію з температурою 20°C , отриману після трьох проходів через РПА, подавали відцентровим насосом на кавітаційний пристрій. Значення динамічної в'язкості

зразків суспензії вимірювали після кожного проході через РПА і після кавітаційного пристрою (рис. 6).

Результати досліджень динамічної в'язкості грибної суспензії, яка була тричі пропущена через РПА з подальшою обробкою на кавітаційному пристрої, показали зниження значень в'язкості на 20 %, що підтверджує тезу про руйнування дисперсної фази колоїдної системи, в тому числі просторових агрегатів, за рахунок збільшення зовнішнього тиску і швидкості руху системи.

В ході досліджень було встановлено, що грибна суспензія, яка містить 4,5 % сухих речовин, представляє собою текучу однорідну колоїдну систему желеподібної консистенції світло-коричневого кольору з сіруватим відтінком з властивим даній сировині вираженим гриб-

ним смаком і запахом. Суспензія стійка до розшарування, не піддається фільтруванню та центрифугуванню і з часом її густина незначно зростає. І хоча після механічного і гідродинамічного руйнування при ДІВЕ-обробці система здатна відновлювати свою структуру, вона проявляє властивості, що характерні для псевдопластичних неньютонівських рідин.

Таким чином, проведені дослідження дали можливість визначити раціональні теплотехнологічні параметри процесу переробки плодового тіла гриба шиїтаке з отриманням достатньо текучої грибної суспензії на стадії підготовки її до розпилювального сушіння.

Підтвердженням ефективності застосування механізмів ДІВЕ при отриманні грибної суспензії є те, що за рахунок проведення гідромеханічної деструкції полісахаридних структур ХГК гриба шиїтаке вміст біодоступного комплексу водорозчинних онкостатичних та імунорегулюючих полісахаридів у порошок, отриманому при сушінні грибної суспензії на експериментальній розпилювальній сушарці ІТТФ НАН України, збільшено в 6 разів, що підтверджено провідними мікологами України.

Висновки.

Проведений комплекс експериментальних досліджень впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості та структурні характеристики грибної суспензії показав доцільність використання механізмів ДІВЕ для досягнення деструкції високоміцних структур хітин-глюканового полісахаридного комплексу гриба і зниження в'язкості грибної суспензії перед розпилювальним сушінням. Експериментально встановлено, що з підвищенням гідромодуля та температури грибної суспензії досягається зниження в'язкості в 2...3 рази. Досліджено вплив конструктивних особливостей РПА та застосування кавітаційного пристрою на в'язкісні характеристики грибної суспензії. Показано, що кавітаційна обробка грибної суспензії після трьох проходів через РПА дає можливість знизити динамічну в'язкість суспензії на 20 %.

В результаті мікроструктурного аналізу грибної суспензії встановлено, що більш високий ступінь дисперсності частинок досягається при використанні РПА першого варіанту компоновки (ротор-статор-ротор), але в такій суспензії з часом відбувається процес самоорганізації просторових агрегатів значно більших розмірів ніж в суспензіях, отриманих в РПА другого варіанту компоновки (статор-ротор-статор), що вимагає організації негайної подачі грибної суспензії з РПА в розпилювальну сушарку для уникнення підвищення її динамічної в'язкості та втрати однорідності її дисперсного складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух то-*

мах. Т.1 / Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.В. Вассера. – К.: Альтпрес, 2011. – 212 с.

2. *Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т.2 / Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.В. Вассера. – К.: Альтпрес, 2012. – 459 с.*

3. *Цивилева О.М.* Природные биологически активные вещества грибного происхождения / Химия биологически активных веществ: Межвузовский сборник научных трудов. Саратов: Изд-во «КУБиК». 2012. – С. 30–32.

4. *Wasser S.P.* Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences and challenges // *Biomed journal.* – 2014. – 37(6). – pp. 345–356.

5. *Лукьянчук В.Д., Мищенко Е.М., Бабенко М.Н.* Бета-глюканы как основа создания средств иммуно-модулирующего действия // *Український медичний часопис.* 2011. – Т.5 (85) – С. 92–93.

6. *Нудьга Л.А.* Структурно-хімічна модифікація хітину, хітозану і хітин-глюканового комплексу. Автореферат докт. дис., Санкт-Петербург, 2006 р. 361 с.

7. *Герасименя В.П., Гумаргалиева К.З., Захаров С.В. др.* Экстракты базидиальных грибов и их полифункциональная медико-биологическая активность / Москва: Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, ООО «Инбиофарм», 2014. – 128 с.

8. *Wasser S.P.* Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides // *Applied microbiology and biotechnology.* – 2002. – 60 (3). – pp. 258–274.

9. *Иозен А.А.* Разработка путей модификации природных полисахаридов с целью создания новых биологически активных веществ : автореферат дис. ... доктора фармацевтических наук: 15.00.02.- Санкт-Петербург, 1999.- 48 с.

10. *Баранов Г.А., Беляев А.А., Оникиенко С.Б. и др.* Гидродинамические эффекты, вызывающие модификацию полисахаридов при облучении их водного раствора лазерным лучом // *Письма в журнал технической физики,* 2002, Т. 28, Вып. 17. – С. 25–30.

11. *Долінський А.А., Авраменко А.О., Іваницький Г.К.* Фізичні основи, математичні підходи та технологічні аспекти використання ДІВЕ для керування кінетикою протікання нанорівневих процесів в дисперсних та супрамолекулярних системах. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ. К. 2015. – С. 308–323.

12. *Басок Б.И., Давыденко Б.В.* Особенности гидродинамики, теплопереноса и процессов диспергирования в рабочих объемах цилиндрических роторно-пульсационных аппаратов / Микро- и нано- уровневые процессы в технологиях ДИВЭ. – К.: 2015. – С. 464.

13. *Литвяк В.* Хитин-глюкановый комплекс: получение и свойства // *Наука и инновации.* – 2016. – 9 (163).

RESEARCH OF EFFECT OF DPEI-PROCESSING OF SHIITAKE FRUIT BODY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MUSHROOM SUSPENSION

Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Turchyna T.Y., Dekusha H.V., Makarenko A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.4>

The use of discrete-pulse energy input (DPEI) mechanisms in various industries has become a reliable tool for intensification of heat and mass transfer processes in different technological lines and reduction of specific energy consumption. The study of structural transformations in heterogeneous systems under influence of DPEI mechanisms opens up new possibilities for their use. Under certain conditions it is possible to prepare mushroom suspension with specified characteristics for spray drying and enhance medicinal properties of obtained powder product retaining all valuable components of feedstock.

An article presents the results of research of DPEI-processing effect of shiitake mushrooms on physical and mechanical properties and structural characteristics of mushroom suspension. The influence of hydro module, temperature and layout of working bodies of rotor-pulse apparatus (RPA) on dynamic viscosity of suspension has been studied and possibility of reducing its viscosity by 2-3 times has been shown. Analysis of microstructure of mushroom suspension has shown that a certain layout of working bodies of RPA makes it possible to control the degree of particle dispersion and change spatial structure of aggregates in dispersion medium volume. It has been determined that self-organization of spatial aggregates from individual hyphae in such suspensions occurs over time. Moreover, the smaller hyphae size (≤ 25 microns after processing in RPA of the first version of the arrangement: rotor-stator-rotor), the larger size of spatial aggregates are formed in suspension. After processing in RPA of second layout option, the hyphae fragments have sizes ≥ 50 μm , but dimensions of spatial aggregates are three times smaller.

It was found that three-time passing of mushroom suspension through RPA and its subsequent processing in a cavitation apparatus are able to reduce dynamic viscosity of suspension by 20 %.

Confirmation of DPEI effectiveness when obtaining mushroom suspension is hydromechanical destruction of polysaccharide structures of shiitake chitin-glucan complex. Content of bioavailable complex of water-soluble oncostatic and immunoregulatory polysaccharides in powder, that was obtained by drying of mushroom suspension in an experimental spray dryer, has increased by 6 times. References 13, figures 6.

Key words: fruit body of shiitake, discrete-pulse energy input, destruction of polysaccharide complex, microstructure.

1. *Wasser S.* [Biological properties of medicinal macro-mycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes], Kyiv, Altpress, 2011, V.1, 212 p. (Rus.)

2. *Wasser S.* [Biological properties of medicinal macro-mycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes], Kyiv, 2012. V.2, 459 p. (Rus.)

3. *Tsivileva O.M.* [Natural biologically active substances of fungal origin], [Chemistry of biologically active substances: Interuniversity collection of scientific papers], Saratov: Publishing House "KUBiK", 2012. P. 30–32. (Rus.)

4. *Wasser S.P.* [Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences and challenges], [Biomedical journal], 2014. 37(6). P. 345–356. (Eng.)

5. *Lukyanchuk V.D., Mishchenko E.M., Babenko M.N.* [Beta glucans as a basis for creating immunomodulating agents], [Ukrainian medical journal]. 2011. Vol. 5 (85). P. 92-93. (Rus.)

6. *Nudha L.A.* [Structural chemical modification of chitin, chitosan and chitin-glucan complex], IPA thesis, Saint-Petersburg. 2006. 361 p. (Rus)

7. *Herasymentia V.P., Humarhalyeva K.Z., Zaharov S.V. et al.* [Extracts of basidiomycetes and their multifunctional medicobiological activity], Moscow: Semenov institute of chemical physics of Russian Academy of Sciences, PLC «Inbiopharm», 2014. 128 p. (Rus.)

8. *Wasser S.P.* [Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides], [Applied microbiology and biotechnology], 2002. 60 (3). P. 258-274. (Eng.)

9. *Iozep A.A.* [Development of ways to modify natural polysaccharides in order to create new biologically active substances], Saint-Petersburg, dissertation abstract... doctor of pharmacy: 15.00.02, 1999. 48 p. (Rus)

10. *Baranov H.A., Beliaev A.A., Onikienko S.B. et al.* [Hydrodynamic effects causing modification of polysaccharides upon irradiation of their aqueous solution with a laser beam], [Technical Physics Letters], 2002, V. 28, Iss. 17. P. 25–30. (Rus)

11. *Dolinskyi A.A., Avramenko A.O., Ivanytskyi H.K.* [Physical principles, mathematical approaches and technological aspects of using DPEI to control the kinetics of the flow of nano-level processes in dispersed and supramolecular systems], Kyiv, [Micro- and nano-level processes in DPEI technologies], 2015. P. 308-323. (Ukr.)

12. *Basok B.I., Davydenko B.V.* [Features of hydrodynamics, heat transfer and dispersion processes in working volumes of cylindrical rotary pulsation apparatus], Kyiv, [Micro- and nano-level processes in DPEI technologies], 2015. P. 464. (Rus.)

13. *Lytviak V.* [Chitin-glucan complex: preparation and properties], [The Science and Innovations], 2016. 9 (163). (Rus.)

Отримано 20.12.2019

Received 20.12.2019