УДК 66.047
DOI.....

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ β -ЦИКЛОДЕКСТРИНУ ЯК СТРУКТУРУЮЧОЇ ДОБАВКИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ВОДНОЇ СУСПЕНЗІЇ ІСТІВНОГО ГРИБА ШИІТАКЕ

Турчина Т.Я., к.т.н., с.н.с., Жукотський Е.К., Костянець Л.О., Макаренко А.А., к.т.н.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. Вивчено вплив структуруючої добавки на кінетику сушіння крапель водної суспензії гриба шиїтаке та морфологічні, термoplastичні і адгезійні характеристики висушених часток. Дослідження процесу сушіння крапель грибної суспензії з введенням β -циклодекстрином (далі по тексту ГС+ЦД) у кількості 10% та 25% за сухими речовинами проводились на стенді в потоці нагрітого теплоносія (повітря).

За отриманими кінетичними залежностями відносної тривалості випарювального та сушильного періодів визначено, як в залежності від кількості ЦД змінюється їх співвідношення. Збільшення відносної тривалості сушильного періоду при сушінні крапель ГС+10%ЦД при температурі теплоносія 160...200°C пояснюється недостатнім для ефективного структурування і вологопереносу вмістом ЦД, а для ГС+25%ЦД при температурі 140...160°C - недостатнім підведенням тепла.

Темп прогрівання крапель у стадії кіркоутворення та досушування істотно залежить від вмісту ЦД. Для ГС+25%ЦД при підвищенні температури від 160 до 180°C темп прогрівання крапель у стадії кіркоутворення зростає у 2 рази, при цьому на 25% вищий за ГС+10%ЦД, що свідчить про менший вологовміст крапель ГС+25%ЦД завдяки покращенню її структуруючих та паропровідних властивостей.

Зниження темпу прогрівання крапель ГС+ЦД у порівнянні з ГС без ЦД свідчить про стримуючий ефект ЦД при прогріванні крапель, що, незважаючи на незначне подовження часу сушіння крапель ГС+ЦД, сприяє уникненню перегрівання продукту і збереження усіх цінних складових гриба при сушінні.

За отриманими результатами визначено, що для покращення структуруючих та вологопровідних властивостей матеріалу при зневодненні вміст ЦД в грибній суспензії має бути більше 10%, але менше 25%, а температура теплоносія – не менше 180°C, але менше 200°C.

Встановлено, що введення ЦД забезпечує більшу міцність і щільність висушених частинок і, тим самим, покращує структурно-механічні характеристики порошку, а підвищення термостійкості матеріалу в сукупності з досягненням ефекту мікрокапсулювання мікрочастинок термолабільних складових гриба при розпилювальному сушінні дозволяють отримувати грибний порошок високої якості.

Ключові слова: β -циклодекстрин, грибна суспензія, крапля, випарювання, температура, сушіння.

MODELING OF THE INFLUENCE OF β -CYCLODEXTRIN AS A STRUCTURAL SUPPLEMENT ON THE DRYING KINETICS FOR MUSHROOM SHIITAKE SUSPENSION

Turchyna T.J., Ph.D, Senior Research Officer, Zhukotsky E.K., Kostyanets L.A., Makarenko A.A. Ph.D
Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kyiv

Abstract. The influence of the structural additive on the kinetics of drying droplets of aqueous suspensions of the Shiitake mushrooms and the morphological, thermoplastic and adhesion characteristics of the dried particles were studied. Investigation of the process of drying drops of mushroom suspension (MS) with introduced β -cyclodextrin (CD) in the amount of 10% and 25% by dry substances was carried out on a stand in a stream of heated heat coolant (air).

The obtained dependences of the relative duration of the evaporation and drying periods showed that the temperature increase from 140°C to 160 °C in different ways affects the kinetics of drying of droplets of the MS depending on the amount of CD. At 140 °C the ratio of evaporation and drying periods for MS + 10% CD is 0,55/0,45, and at 160°C it is already 0,43/0,57.. For MS + 25% CD, this ratio is on average 0,46 / 0,55. With an increase of temperature from 160oC to 180 ... 200oC for MS + 10% CD this ratio remains almost unchanged (0,43 / 0,57), and for MS + 25% CD the relative duration of the evaporative period increases on the contrary, and the dryer decreases to the values of their ratio of 0,54 / 0,46.

An increase in the relative duration of the drying period occurs due to resistance to the processes of moisture transfer from the surface of the crust. In MS + 10% CD at a temperature of the coolant 160 ... 200oC it is explained by the insufficient content of the structuring additive for effective structuring and moisture transfer. In MS + 25% CD at a temperature of 140 ... 160 ° C this is due to insufficient supply of heat.

The rate of warming up of droplets in the stage of formation of the crust and drying significantly depends on the content of the CD. For MS + 10% CD, raising the temperature from 140 to 200 °C leads to a gradual increase in the rate of warming up of droplets. For MS + 25% CD, temperature increase from 160°C to 180°C leads to an increase in the rate of heating of drops by 2 times. The warm-up rate of the MS + 25% CD is 25% higher than the heating rate of the MS + 10% CD. This indicates a lower moisture content of drops of the MS + 25% CD due to the better structuring of the surface crust and more efficient flow of the moisture transfer process.

Lowering the rate of warming up of droplets of the MS + CD in comparison with the MS without CD indicates a deterrent effect of CD, which, despite the slight lengthening of the drying time of drops of MS + CD, helps to avoid overheating the product and to preserve all valuable components of the mushroom during drying.

On the basis of the obtained results it was determined that in order to improve the structurally and drainage properties of the material during dehydration, the content of CD in the MS should be more than 10% but less than 25% and the temperature of the coolant - not less than 180 °C, but up to 200 °C.

It was established that the introduction of CD provides greater strength and density of dried particles and, thus, improves the structural and mechanical characteristics of the powder. Increasing the thermal stability of the material in conjunction with the achievement of the microcapsulation effect of microparticles of the thermoprotective component of the fungus during spray drying allows obtaining a high quality mushroom powder.

Key words: β -cyclodextrin, mushroom suspension, drop, evaporation, temperature, drying.

Вступ. Дослідження процесу сушіння одиничних крапель водних суспензій гриба шиїтаке, які проводились в системі «крапля – парогазове середовище» на експериментальному стенді в потоці нагрітого теплоносія [1], та дослідно-промислова апробація технології розпилювального сушіння на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3 показали, що отримання якісного сипкого порошку з грибної суспензії, підготовленої шляхом подрібнення та гомогенізації плодового тіла гриба шиїтаке з додаванням води за умов дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ-обробки), без застосування структуруючих добавок призводить до зниження виходу порошкового продукту до 40%. І цьому є декілька причин.

Як показали попередні дослідження на стенді в потоці нагрітого теплоносія, краплі грибної суспензії, навішані на спай термопари, висушувалися до сухого стану, але структура висушених часток у потоці теплоносія була м'яка і неміцна, а після охолодження ставала крихкою: при торканні розсипалась, як скло. В камері розпилювальної сушарки це призвело до утворення значної кількості дрібнодисперсної фракції порошку, сепарація якого була ускладнена проблемою його вловлювання через високу ступінь дисперсності мікрочастинок (1...4мкм) і низьку насипну густину.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як відомо [2, 3], цінні речовини онкостатичної і імунорегілюючої дії так надійно запаковані у надміцних хітин-глюканових структурах клітин гриба шиїтаке, що в організмі людини не піддаються перетравленню. Їх вилучення з гриба шиїтаке вимагає глибоких хімічних реакцій з застосуванням додаткових реагентів, що як відомо [4], обумовлює високу вартість таких препаратів.

При виготовленні грибної суспензії в умовах ДІВЕ-обробки відбуваються процеси подрібнення, змішування, екстракції, дифузії, структурування, агрегування та ін.[5-8], коли з структурних систем гриба у воду екстрагуються речовини різної природи, молекулярної маси та властивостей, у т.ч. і комплексу лікувальних полісахаридів. В результаті такої обробки гриба шиїтаке у складі отриманої гомогенної і в той же час гетерогенної системи, якою є грибна суспензія, збільшується кількість речовин низької температури плавлення, що надає їй як об'єкту розпилювального сушіння нових не характерних для сировинного продукту(гриба як самого) якостей - прояву термопластичних та адгезійних властивостей. За таких умов на стінках камери в експериментальній сушарці РЦ-1,3 спостерігалось утворення пластичного шару продукту. А порошок, що надходив до приймальної ємності, мав темно-коричневий колір, що свідчило про руйнування термолабільних компонентів гриба шиїтаке при сушінні, і проявляв гіроскопічні властивості.

Враховуючи сукупність наведених вище якостей грибної суспензії як об'єкту розпилювального сушіння, було висунуте завдання обрати структуруючу добавку і дослідити її вплив на кінетику сушіння та властивості висушених частинок.

Декстринвмісні добавки, як відомо [10, 11], сприяють покращенню структуроутворюючих та паропровідних властивостей складних колоїдних систем при розпилювальному сушінні, істотно підвищують термостійкість матеріалу при сушінні, а завдяки ефекту мікрокапсулювання мікрочастинок нерозчинних фракцій гетерогенної системи сприяють збереженню цінних поживних та біологічно активних складових вихідного термолабільного сировинного продукту, і в той же час надають більшої міцності і щільності висушеним частинкам, в результаті чого покращуються структурно-механічні властивості порошку, що важливо для своєчасного його вилучення з зони дії високих температур в камері сушарки.

Мета роботи полягала у вивченні впливу структуруючої добавки на кінетичні закономірності процесу зневоднення одиничних крапель водної суспензії гриба шиїтаке у потоці нагрітого теплоносія та стан висушених часток на наявність термопластичних та адгезійних властивостей, на їх міцність та щільність.

Матеріали та методи досліджень. В якості структуруючої добавки в дослідженнях використовувався β -циклодекстрин, який у кількості 10% та 25% від загальної маси сухих речовин був введений до грибної суспензії на стадії її ДІВЕ-обробки в роторно-пульсаційному апараті циліндричного типу.

Дослідження процесу сушіння одиничних крапель грибної суспензії з введеним циклодекстрином (далі по тексту ГС+ЦД) проводились на експериментальному стенді в потоці теплоносія [1], нагрітого до температури 140, 160, 180, 200°C. Швидкість потоку теплоносія, при якому проводились дослідження, складала 0,5 м/с. Розмір крапель, що навішувались на спай термопари, складав ~1,5 мм.

Отримані термограми сушіння крапель ГС+10%ЦД та ГС+25%ЦД, наведені на рис.1, не відрізняються за характером від термограм сушіння крапель ГС без ЦД [1]. Згідно класифікації матеріалів як об'єктів сушіння методом розпилювання [4] дані продукти також відносяться до II типу рідинних матеріалів, процес зневоднення яких протікає у два періоди, розділених на термограмах сингулярною крапкою кр.1:

- випарювальному, тривалість якого складається з короткочасної стадії прогрівання краплі τ_1 та стадії випарювання води з вільної поверхні τ_2 при температурі краплі, близькій до температури «вологого» термометру: $\tau_{\text{вип}} = \tau_{\text{кр.1}} = \tau_1 + \tau_2$;

- сушильному, тривалість якого складається зі стадії кіркоутворення τ_3 та (за відсутності стадії кипіння) стадії досушування τ_5 : $\tau_{\text{суш}} = \tau_{\text{заг}} - \tau_{\text{кр.1}} = \tau_3 + \tau_5$.

Рис. 1. Термограми сушіння крапель грибної суспензії при температурах теплоносія 140-200°C:
а) ГС+10%ЦД; б) ГС+25%ЦД

За кінетичними залежностями відносної тривалості випарювального $\tau_{\text{вип}}/\tau_{\text{заг}} = f(T_n)$ і сушильного $\tau_{\text{суш}}/\tau_{\text{заг}} = f(T_n)$ періодів (рис. 2) видно, що підвищення температури теплоносія від 140°C до 160°C по різному впливає на кінетику сушіння крапель ГС в залежності від кількості введеного ЦД. Так, при 140°C співвідношення відносної тривалості випарювального (крива 1) та сушильного (крива 2) періодів для ГС+10%ЦД складало 0,55/0,45, при 160°C - 0,43/0,57, а для ГС+25%ЦД складає в середньому 0,46/0,55.

При збільшенні температури від 160°C до 180...200°C для ГС+10%ЦД це ж співвідношення залишається майже без змін (0,43/0,57), а для ГС+25% відносна тривалість випарювального періоду навпаки збільшується, а їх співвідношення складає в середньому вже 0,54/0,46.

Результати досліджень. Виходячи з кінетичних залежностей (рис. 2), збільшення відносної тривалості сушильного періоду, викликане опором процесу вологопереносу з боку поверхневої кірочки, пояснюється для ГС+10%ЦД при температурах теплоносія 160...200°C недостатнім для ефективного протікання процесів структурування і вологопереносу вмістом ЦД, а для ГС+25%ЦД при температурах теплоносія 140...160°C - недостатнім підведенням тепла.

За кінетичними залежностями (рис.3, а) темп прогрівання крапель суспензій ГС+10%ЦД та ГС+25%ЦД в стадії кіркоутворення істотно залежить від вмісту ЦД. Якщо графічна залежність $(dT_k/d\tau)_{\text{кірк}} = f_n$ для суспензії ГС+10%ЦД при підвищенні температури від 140 до 200°C поступово зростає (крива 1), то для ГС+25%ЦД (крива 2) при температурах 140-160°C і 180-200°C значення $(dT_k/d\tau)_{\text{кірк}}$ є величинами постійними, при цьому для більших температур (180-200°C) - у 2 рази вищі.

Рис. 2. Кінетичні залежності відносної тривалості випарювального $\tau_{\text{вип}}/\tau_{\text{заг}} = f(T_n)$ та сушильного $\tau_{\text{суш}}/\tau_{\text{заг}} = f(T_n)$ періодів при сушінні крапель грибних суспензій:
а) ГС+10%ЦД; б) ГС+25%ЦД від температури теплоносія T_n

Крім того, при $T_n = 180^\circ\text{C}$ темп прогрівання крапель ГС+25%ЦД на 25% вищий за ГС+10%ЦД, що свідчить про менший вологовміст крапель з більшим вмістом ЦД завдяки кращому структуруванню поверхневої кірочки і більш ефективному протіканню процесу вологопереносу при сушінні крапель ГС+25%ЦД.

Порівняльний аналіз кінетичних залежностей темпу прогрівання крапель ГС+ЦД (рис. 3, а) та без ЦД [1] показав, що криві $(dT_K/dt)_{\text{кірк}} = f_n$ для ГС+ЦД розташовані нижче кривих ГС без добавок. Такий результат демонструє стримуючий ефект ЦД при прогріванні крапель, що, незважаючи на незначне подовження (на 5...7%) часу сушіння крапель ГС+ЦД, в той же час сприяє уникненню перегрівання продукту під дією високих температур і збереженню усіх цінних складових гриба при сушінні, що край важливо для такого термолабільного продукту, як гриб шітатке.

Рис. 3. Кінетичні залежності: а) темпу прогрівання крапель; б) загального часу сушіння крапель грибних суспензій від температури теплоносія T_n

За умов зростання темпу прогрівання крапель обох композицій з ЦД у стадії кіркоутворення при підвищенні температури теплоносія від 160°C до $180...200^\circ\text{C}$, як показано на рис. 3 (а), тривалість їх зневоднення до крапки кр. 3 дещо знижується, але при $T_n = 160-180^\circ\text{C}$ залишається достатньо високою - 0,7-0,75, що свідчить про можливість висушування крапель до сухого стану.

Загальний час сушіння крапель ГС+ЦД при збільшенні температури теплоносія від 140°C на кожні 20° скорочується в середньому на 25% (рис.3, б). Слід відмітити, що для ГС+10%ЦД загальний час сушіння при $T_n = 160-180^\circ\text{C}$ не змінний, а при $T_n \geq 180^\circ\text{C}$ - майже не залежить від вмісту ЦД.

За аналізом отриманих результатів встановлено позитивний вплив введеного ЦД на кінетику сушіння крапель ГС+ЦД і у порівнянні з ГС без добавок [1] виявлено наступні відмінності:

- відносна тривалість випарювального періоду скоротилась в середньому у 1,5 рази при незначному скороченні часу зневоднення до крапки кр.3;
- у 1,5 рази знизився темп прогрівання крапель у стадіях кіркоутворення та досушування, що свідчить про підвищення захисних властивостей матеріалу при сушінні;
- при незначному збільшенні часу сушіння крапель (всього на 5-7%), висушені частки у потоці теплоносія проявляли більшу термостійкість і пружність, а в охолодженому стані - твердість і міцність.

Висновки.

Проведені дослідження показали, що для отримання високоякісного сипкого порошку гриба шийтаке методом розпилювання доцільно до грибної суспензії ввести декстринвмісну структуруючу добавку, наприклад, β -циклодекстрин, кількість якої має складати більше 10%, але менше 25%.

Експериментально встановлено, що ЦД забезпечує більшу міцність і щільність висушених часточок як чинників поліпшення сипкості порошку, а підвищення термостійкості матеріалу у сукупності з досягненням ефекту мікрокапсулювання термолабільних складових гриба при розпилювальному сушінні дозволяють отримувати грибний порошок високої якості.

За результатами проведених досліджень визначені раціональні температурні режими розпилювального сушіння суспензії з гриба шийтаке з введеним ЦД, при апробації яких на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3 були отримані дослідні партії сипкого порошку тривалого зберігання.

References

1. Sharkova, N.O., Turchina, T.Ya., Zhukotsky, E.K., Konstantin, L.O. (2018). Doslidzhennya protsesu sushinnya suspendovanoho hriba shiyitake v sistemi «kraplya-parohazove sere-dovishche». Zb. prats` KhVII Mizhn. nauk. konf. «Udoskonalennya protsesiv i obladnannya kharchovikh ta khimichnikh virobnitstv», Odesa: ONAKhT, 55-57.
2. Chl.-kor. NAN Ukrainy S.P. Vassera. (2012.) Biologicheskie svoystva lekarstvennykh makromitsetov v kul'ture. Sbornik nauchnykh trudov v dvukh tomakh. 2: 459.
3. Chl.-kor. NAN Ukrainy S.P. (2011) Vassera. Biologicheskie osobennosti lekarstvennykh makromitsetov v kul'ture. Sbornik nauchnykh trudov v dvukh tomakh. 1. 212.
4. Korhonen, H. (2002) Technology options for new nutritional concepts. International journal of Dairy Technology. 2. 55, 79-90.
5. Nakorchevs'kiy, A.I., Basok, B.I. (2001) Hidrodinamika i teplomassoperenos v heterohennykh sistemakh i pul'siruyushchikh potokakh. Kiyv: Naukova dumka, 345.
6. Voyutskiy, S.S. (1964) Kurs kolloidnoy khimii. M: Khimiya. 574.
7. Efremov, H.I. (2001) Makrokinetika protsessov perenosa. Moskva, Kinetika khimiko-tekhnologicheskikh protsessov s tverdoy fazoy i otdelki vo-loknistyykh materialov. 289.
8. Halaktionov, S.H., Nikiforovich, H.V., Perel'man, T.L. (1974) Diffuziya v slozhnykh molekulyarnykh strukturakh. Minsk: Nauk i tekhnika. 240.
9. Dolinskiy, A.A., Ivanitskiy, H.K. (1984) Optimizatsiya protsessov raspylitel'noy sushki. Kiev: Naukova dumka. 240.
10. Dolins'kiy, A.A., Turchina, T.Ya., Zhukots'kiy, E.K. (2014) Suchasni metodi vplivu na strukturoutvoryuyuchi vlastivosti skladnikh materialiv yak ob'ektiv roz-pilyuval'noho sushinnya. Naukova pratsya. Odes'ka natsional'na akademiya nauk Ukrayini. 3. 45, 13-17.
11. Turchina, T.Ya., Zhukots'kiy, E.K. (2014) Doslidzhennya vplivu protsesiv strukturoutvorennya na effektivnist' znevodnennya skladnikh koloyn-dnikh sistem metodom rozpilyuvannya. Promyshlennaya teplotekhnika. 36. 5, 27-33.
12. Dolinskiy, A.A., Maletska, K.D. (2011) Raspylitel'naya sushka. V 2-kh tomakh. 1: Teplofizicheskie osnovy. Metody intensifikatsii i enerhosberezheniya. 376.
13. Dolinskiy, A.A., Maletska, K.D. (2015) Raspylitel'naya sushka. V 2-kh tomakh. 2: Teplotekhnologii i oborudovanie dlya polucheniya poroshkovykh materialov. 390.

Отримано в редакцію 16.04.2019
Прийнято до друку 20.06.2019

Received 16.04.2019
Approved 20.06.2019