

УДК 664.8.047

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КОЛОЇДНИХ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ СУШІННЯ НА ПРИКЛАДІ *PLEUROTUS ERYNGII*

Петрова Ж. О.¹, с.н.с., д.т.н.<http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>Кузнєцова І. В.², с.н.с., д.с.-з.н.,<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>Самойленко К. М.¹, с.н.с., к.т.н.<http://orcid.org/0000-0002-5169-4466>¹Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна²Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-14>

Предмет. Тепломасообмінні процеси при сушінні культивованих грибів *Pleurotus eryngii*.
Мета. Дослідити кінетику конвективного та інфрачервоного зневоднення культивованих грибів *Pleurotus eryngii* та вплив цих режимів на якісні характеристики (коефіцієнт набухання).
Методи. Культивовані гриби *Pleurotus eryngii* були висушені конвективним та методом інфрачервоного випромінювання при потужності лампи 100 Вт (3800 Вт/м²). Коефіцієнт набухання визначали методом зважування Б. В. Зозулевича. **Результати.** Культивовані гриби *Pleurotus eryngii* завдяки своїм лікувальним властивостям широко використовуються в раціоні харчування населення в усьому світі та є одним із найпоширеніших грибів на Сході. Проте, свіжі культивовані гриби загалом мають короткий термін зберігання: у свіжому вигляді вони зберігаються 1–3 дні при температурі навколишнього середовища 20°C та 3–5 днів при температурі 4°C. Тому шляхи переробки культивованих грибів постійно оновлюються та досліджуються. Одним із таких методів є сушіння, яке відноситься до енерговитратних. В результаті процесу важливо не лише знизити енерговитрати, а й зберегти якість сушеної продукції. В даній статті представлено результати експериментальних досліджень кінетики сушіння *Pleurotus eryngii*, що є одним із методів переробки. Було досліджено вплив конвективного сушіння (температура теплоносія – 60°C, 100°C, 100/60°C), режими із інфрачервоним випромінюванням (потужністю лампи 100 Вт) та комбінований режим (конвективно-інфрачервоне) 100 Вт + 60°C. В результаті досліджень отримано кінетичні криві сушіння культивованих грибів *Pleurotus eryngii*, які показують, що як конвективний двохстадійний, так і комбінований метод є ефективними в 1,4–1,5 разів порівняно із режимом сушіння 60°C. Після сушіння проводили порівняльну характеристику коефіцієнту набухання досліджуваних зразків. З результатів видно, що при ефективних режимах зневоднення показник коефіцієнту набухання лише на 7–11% є нижчим у порівнянні із режимом 60°C. Тому, рекомендовано використовувати запропоновані нами режимні параметри зневоднення, при яких якісні показники мають досить високі значення, наближені до режиму 60°C. **Сфера застосування результатів.** В подальшій розробці інноваційної теплотехнології отримання порошку із культивованих грибів *Pleurotus eryngii* будуть використані результати даного дослідження.

Ключові слова: *Pleurotus eryngii*, конвективне сушіння, ІЧ-випромінювання, енергоефективність, коефіцієнт набухання.

REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF THE DRYING PROCESS OF COLLOIDAL CAPILLARY-POROUS MATERIALS BY USING COMBINED DRYING METHODS: CASE OF *PLEUROTUS ERYNGII*

Zhanna Petrova¹, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,<http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>Inha Kuznietsova², D-r of Sc., Agriculture, Senior Researcher,<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Kateryna Samoilenko¹, PhD, Senior Researcher,
<https://orcid.org/0000-0002-5169-4466>

¹Institute of technical warmly physicists NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Institute of food resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-14>

Subject. Heat and mass exchange processes during drying of cultivated mushrooms *Pleurotus eryngii*. **Purpose** – to investigate the kinetics of convective and infrared dehydration of cultivated *Pleurotus eryngii* mushrooms and the influence of these regimes on quality characteristics (swelling coefficient). **Methods.** Cultivated mushrooms *Pleurotus eryngii* were dried by convective and infrared radiation methods at a lamp power of 100 W (3800 W/m²). The coefficient of swelling was determined by the method of weighing B. V. Zozulevych. **Results.** Cultivated mushrooms *Pleurotus eryngii*, due to their medicinal properties, are widely used in the diet of the population all over the world and are one of the most common mushrooms in the East. However, fresh cultivated mushrooms generally have a short shelf life: in fresh form, they are stored for 1–3 days at an ambient temperature of 20°C and 3–5 days at a temperature of 4°C. Therefore, ways of processing cultivated mushrooms are constantly updated and researched. One of these methods is drying, which is energy-consuming. As a result of the process, it is important not only to reduce energy costs, but also to preserve the quality of dried products. This article presents the results of experimental studies of *Pleurotus eryngii* drying kinetics, which is one of the methods of processing. The effect of convective drying (heat carrier temperature – 60°C, 100°C, 100/60°C), modes with infrared radiation (lamp power 100 W) and combined mode (convective-infrared) 100W + 60°C was investigated. As a result of the research, the drying kinetic curves of cultivated *Pleurotus eryngii* mushrooms were obtained, which shows that both the convective two-stage and the combined method are 1.4–1.5 times more effective compared to the drying mode 60°C. After drying, a comparative characteristic of the swelling coefficient of the studied samples was performed. From the results, it can be seen, that with effective dehydration regimes, the coefficient of swelling is only 7–11% lower compared to the regime of 60°C. Therefore, it is recommended to use the mode parameters of dehydration proposed by us, in which the quality indicators have fairly high values, close to the 60°C mode. **Scope of results.** The results of this study will be used in the further development of innovative thermal technology for obtaining powder from cultivated *Pleurotus eryngii* mushrooms.

Key words: *Pleurotus eryngii*, convective drying, IR radiation, energy efficiency, swelling coefficient.

Вступ. Виробництво культивованих грибів в усьому світі постійно збільшується та набирає обертів в зв'язку із тим, що гриби є відмінним джерелом клітковини, вуглеводів, білку, мінералів та вітаміну D і комплексом вітамінів B, що позитивно впливають на імунну та нервову систему людини [1, 2]. Одним із найбільш споживаних є рід *pleurotus*, який включає різноманітні групи культивованих видів грибів з високою харчовою цінністю. Серед видів *Pleurotus*, *Pleurotus eryngii* (*P. eryngii*), також відомий як королівська глива, є рідним для південної Європи, України, Північної Африки та Близького Сходу. Він широко культивується в усьому світі і вважається одним із найбільш комерційно важливих видів роду *Pleurotus* завдяки чудовому смаку, аромату та тривалому терміну зберігання. Вченими [1] досліджуються терапевтичні цінності з метою отримання наукових фактів, що підтверджують споживання цього гриба як функціональної їжі. Зокрема було досліджено антиоксидантну активність цього гриба та відзначено, що *Pleurotus eryngii* мають високий рівень Zn ($74,34 \pm 5,34$ мкг/г гриба), значні кількості Cu ($8,04 \pm 0,29$ мкг/г гриба) та селену Se ($0,33 \pm 0,04$ мкг/г гриба) за рахунок чого займають перше місце за кількістю цинку, міді і селену [1].

Pleurotus eryngii мають гіполіпідемічний дієтичний ефект та належать до їжі, що знижує рівень холестерину. Дедалі частіше зустрічаються застосування цих грибів як нутрицевтиків та корисних продуктів для здорової шкіри (активація колагену). *Pleurotus eryngii* є сильним активатором Nrf2 на молекулярному рівні, активність якого із віком людини знижується, тому активація Nrf2 стає важливою терапевтичною стратегією для

боротьби з неврологічними розладами, а також вони мають антихолестеринемічну, антиоксидантну, протипухлинну дію [1, 3].

За антиоксидантну активність *Pleurotus eryngii* відповідає Nrf2 – це ексклюзивна формула, призначена для активації генетичного шляху Nrf2. Цей шлях регулює виробництво важливих молекул, які передають антиоксидантну активність, таку як глутатіон і супероксиддисмутаза (SOD). Nrf2 також регулює виробництво детоксикаційних ферментів, включаючи S-трансферазу глутатіону, і пригнічує сигнальні фактори, такі як NF-κB. А також послаблює експресію і вивільнення ушкоджують цитокінів, таких як NF-κB. Підтримує природні шляхи детоксикації організму [1].

Виходячи із таких досліджень, існує потреба у вживанні протягом всього року грибів даного виду. Культивовані гриби відносяться до харчових продуктів, які через свої біологічні властивості, зокрема високий вміст вологи не можуть довго зберігатись у свіжому вигляді після збирання урожаю, що робить їх сприйнятливими до біохімічних реакцій і мікробного псування, тому технологія переробки вимагає консервації тим чи іншим способом [4].

Серед поширених методів консервування є сушіння – перенесення вологи з його поверхні у навколишнє середовище, тобто масообмін між матеріалом та середовищем, а також перенесення вологи із середини матеріалу до його поверхні [5].

Саме сушіння частіше всього використовується задля переробки культивованих грибів, що має свої переваги – це простий, економічно вигідний спосіб, який зменшує громіздкість матеріалу, а разом з тим і витрати на пакування, обробку, зберігання та транспортування. Вченими постійно досліджуються різні методи зневоднення: вакуумне, інфрачервоне, мікрохвильове, сублімаційне, конвективне [2, 6]. Основним недоліком є значні енерговитрати на процес та якість вихідної сировини. З метою досягнення високої якості сушеної продукції та зниження енерговитрат, часу сушіння, дедалі більшої активності набирають комбіновані методи зневоднення.

Матеріали та методи. Свіжі культивовані гриби *Pleurotus eryngii*, сортовані за формою, зрілістю і розміром були придбані в мережі супермаркетів у м. Київ від торгової марки «Esthetic foods». Усі зразки грибів доставили в лабораторію та зберігали при температурі $4\pm0,5^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 95% у холодильнику перед експериментом. Початкова вологість становила $88\pm1,4\%$. Усі зразки, використані для сушіння, були придбані з однієї партії.

Дослідження кінетики сушіння культивованих грибів *Pleurotus eryngii* проведено на конвективному сушильному стенді, який обладнаний автоматичною системою обробки та збору інформації, що дозволяє більш точно характеризувати процес сушіння із побудовою кривих сушіння та швидкості сушіння. Експерименти із дослідження кінетики сушіння проводились при швидкості теплоносія $v = 3$ м/с (швидкість вибиралася з умови більш ефективного сушіння цього ж матеріалу в існуючих сучасних сушарках); при температурі теплоносія 60°C , 100°C , $100/60^{\circ}\text{C}$), режими із інфрачервоним випромінюванням (потужністю лампи 100 Вт) та комбінований режим (конвективно-інфрачервоне) $100\text{ Вт}+60^{\circ}\text{C}$. Процеси зневоднення тривали до залишкової вологості 5,0% та в межах часу 60–240 хв.

Для визначення якісних характеристик (коефіцієнту набухання), досліджувані зразки сушених грибів були підготовлені у вигляді порошку. Коефіцієнт набухання визначали методом зважування Б.В. Зозулевича [7]. Суть методу полягає в тому, що в підготовлених бюксах зважується досліджуваний матеріал, заливається водою (45°C) у співвідношенні 1:10. Витримується певний проміжок часу – 30 хв, рідина зливається, а відновлений зразок зважується та розраховується коефіцієнт набухання K_n , який показує відносне збільшення маси продукту після набухання і визначає здатність до відновлювання початкових властивостей матеріалу при зневодненні. Коефіцієнт набухання розраховується за формулою:

$$K_n = \frac{G_2}{G_1}$$

де K_n – коефіцієнт набухання; G_1 та G_2 – маса матеріалу до та після набухання відповідно, г.

Вологість досліджуваних матеріалів до та після сушіння визначали за стандартною методикою.

Результати та обговорення. Характер процесу сушіння найбільш повно описується кривими сушіння (в координатах вологість матеріалу – час), кривими швидкості сушіння (в координатах швидкість сушіння – вологість матеріалу) та температурними кривими (в координатах температура матеріалу – вологість). Криві сушіння характеризують зміну середньої (інтегральної) вологості матеріалу W_c в часі τ [5].

Температурні криві мають важливе значення для аналізу процесу сушіння. На рис. 1 представлені криві конвективного сушіння (крива 1, 1') із температурою теплоносія 60°C , інфрачервоне сушіння з потужністю лампи 100 Вт на конвективному сушильному стенді – далі ІЧВ (крива 2, 2') із температурою навколишнього середовища 20°C та комбінований спосіб сушіння 100 Вт+ 60°C (крива 3, 3').

На початковій стадії прогріву температура поверхні матеріалу підвищується, швидко досягаючи температури мокрого термометра, тому перший період практично не прослідковується. В цей період відбувається найбільш інтенсивна вологовіддача і вся теплота, яка передається матеріалу, витрачається на випаровування води; в цей час матеріал не нагрівається і температура його рівна температурі рідини, що випаровується.

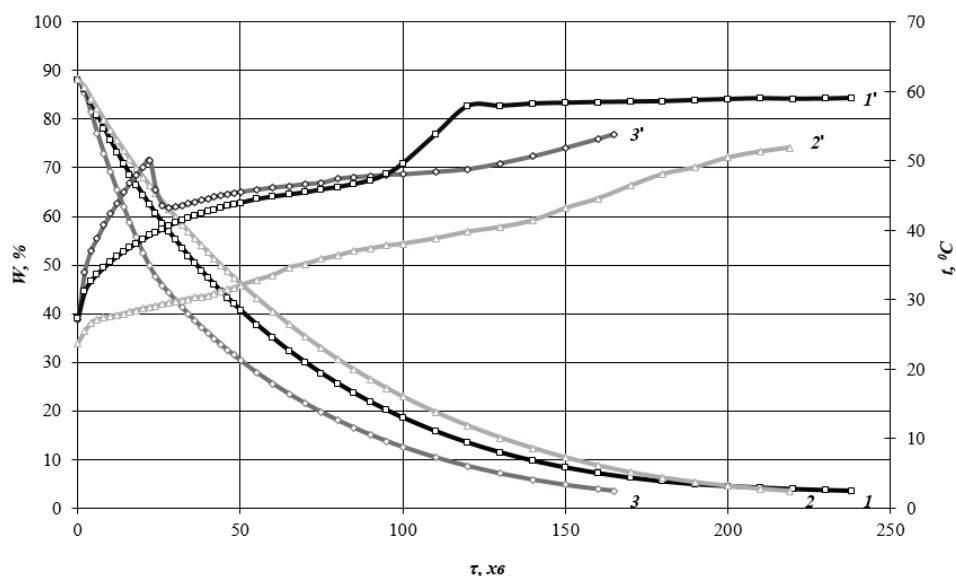


Рис. 1. Вплив інфрачервоно-конвективного випромінювання на кінетику процесу сушіння грибів *Pleurotus eryngii* $v = 3$ м/с, $d=10$ г/кг с.п.

1, 1' – конвективне сушіння 60°C ; 2, 2' – інфрачервоне сушіння 100 Вт;
3, 3' – комбіноване сушіння 100 Вт+ 60°C

Як видно з рис. 1, тривалість сушіння культивованих грибів *Pleurotus eryngii* при конвективному способі становить 240 хв (крива 1, 1'), а при ІЧВ – 225 хв (крива 2, 2'). При комбінованому способі процес сушіння починається із одночасної подачі теплоти від двох енергоносіїв, а саме інфрачервоне випромінювання 100 Вт та конвективне 60°C . Як видно з кривих 3, 3' (рис. 1), на початку процесу спостерігається стрімке нагрівання матеріалу до 50°C за 20 хв. З метою запобігання перегріву матеріалу та збереження біологічно активних речовин, вимикаємо один із теплоносіїв (ІЧВ 100 Вт). Спостерігаємо різке зниження температури матеріалу до 43°C із подальшим поступовим нагрівом не вище 55°C . При

комбінованому способі тривалість становить лише 160 хв, при чому процес інтенсифікується в 1,5 р. у порівнянні із конвективним режимом 60°C.

Швидкість сушіння – зміна вологості матеріалу за одиницю часу. На рис. 2 представлено вплив інфрачервоно-конвективного способу на швидкість сушіння грибів *Pleurotus eryngii*. Як видно з рисунку, швидкість сушіння при 60 °C становить 1,2%/хв, а комбінованим способом – 2,2%/хв.

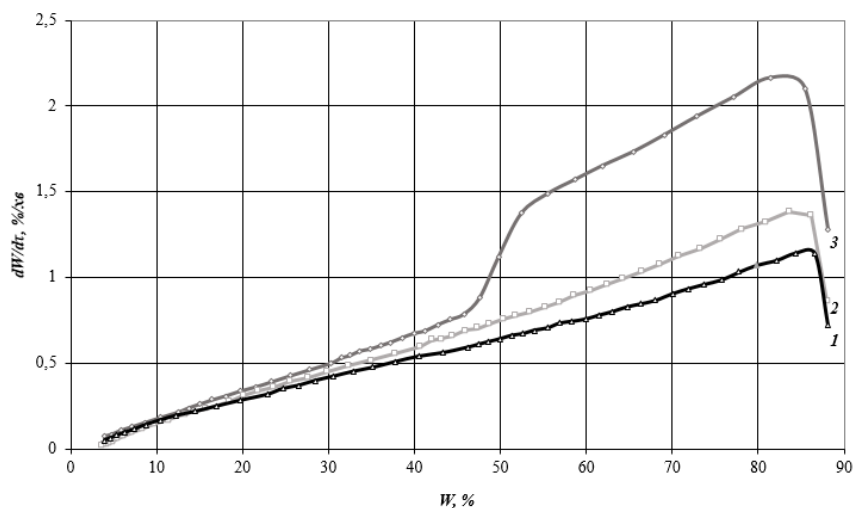


Рис. 2. Вплив конвективно-інфрачервоного випромінювання на швидкість сушіння грибів *Pleurotus eryngii* $v = 3$ м/с, $d=10$ г/кг с.п:

1 – конвективне сушіння 60°C; 2 – інфрачервоне сушіння 100 Вт;
3 – комбіноване сушіння 100 Вт+60°C

На рис. 3 та 4 представлено порівняльну характеристику двостадійного та комбінованого режимів сушіння грибів *Pleurotus eryngii* з метою визначення найбільш оптимальних. Як видно з рис. 3–4, із збільшенням температури теплоносія, тривалість сушіння зменшується, а швидкість збільшується. При температурі теплоносія 60°C (крива 1, 1') тривалість процесу є в 3,2 р. довше, ніж при температурі теплоносія 100°C (крива 4, 4').

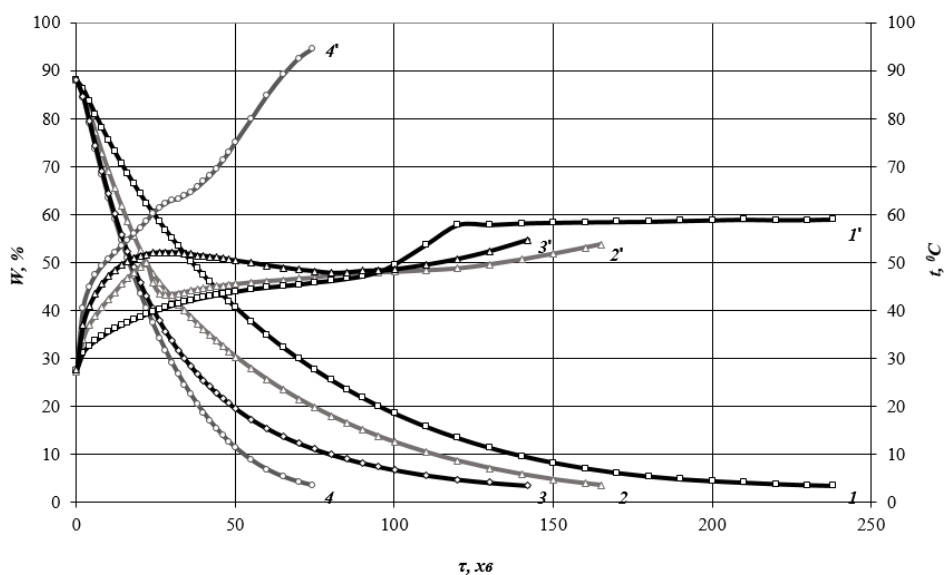


Рис. 3. Вплив режимів на тривалість сушіння *Pleurotus eryngii* $v = 3$ м/с, $d=10$ г/кг с.п:

1, 1' – конвективне сушіння 60°C; 2, 2' – комбіноване сушіння 100Вт+60°C;
3, 3' – конвективне двоступеневе сушіння 100/60°C; 4, 4' – конвективне сушіння 100°C

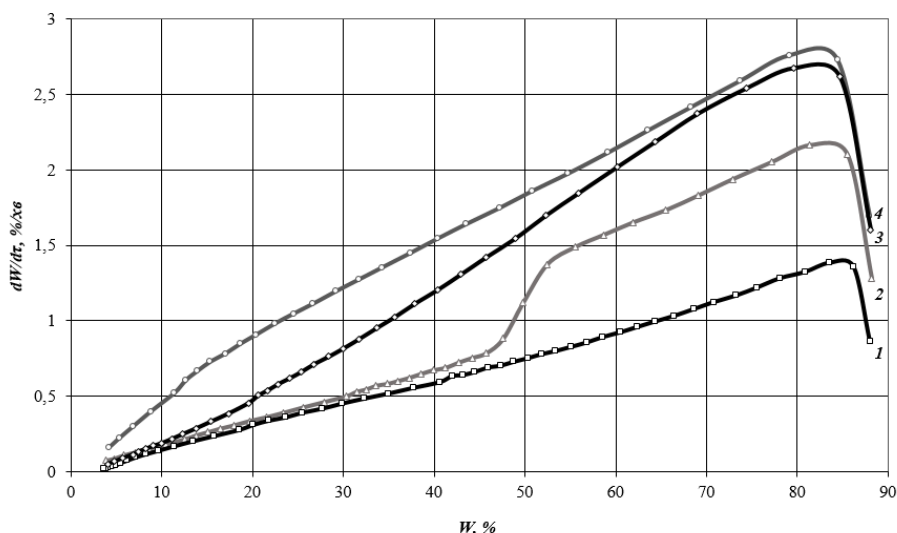


Рис. 4. Вплив різних режимів на швидкість сушіння грибів *Pleurotus eryngii*
 $v=3$ м/с, $d=10$ г/кг с.п:

1 – конвективне сушіння 60°C ; 2 – комбіноване сушіння $100\text{Вт}+60^{\circ}\text{C}$;
 3 – конвективне двоступеневе сушіння $100/60^{\circ}\text{C}$; 4 – конвективне сушіння 100°C

Для зменшення енерговитрат та збереження біологічно активних речовин нами був розроблений конвективний двоступеневий режим. На початку процесу конвективного сушіння при вологості матеріалу $85\text{--}88\%$, можливо використання теплоносія із температурою 100°C . При досягненні матеріалом температури $48\text{--}50^{\circ}\text{C}$ (на 20 хв експерименту), знижуємо теплоносієм до 60°C . Проте температура матеріалу продовжувала зростати до 53°C , оскільки в даному випадку температура теплоносія по інерції знижувалась поступово.

Порівнюючи комбінований (крива 2, 2') та конвективний двоступеневий (крива 3, 3') способи сушіння грибів *Pleurotus eryngii*, можна зробити висновок, що обидва способи мають інтенсифікацію порівняно із режимом сушіння 60°C у $1,5\text{--}1,6$ р. із різницею між собою у 15 хв.

На рис. 4 представлені криві швидкості сушіння грибів *Pleurotus eryngii*, з якого видно, що найнижча швидкість у режиму 60°C (крива 1), найвища при температурі теплоносія 100°C – $2,75\text{ \%}/\text{хв}$, для двоступеневого режиму швидкість сушіння є досить високою (майже такою, як і для режиму 100°C) та становить приблизно $2,6\text{ \%}/\text{хв}$, і для комбінованого – $2,2\text{ \%}/\text{хв}$. Для висушеної сільськогосподарської продукції регідратаційні характеристики часто використовуються як індекс структурної якості [8]. Ці характеристики значною мірою залежать від умов сушіння, що застосовувалися. Оскільки одним із важливих показників якості сировини після сушіння є відновлюваність та коефіцієнт набухання, то були проведені хімічні аналізи по визначенню якісних характеристик грибів *Pleurotus eryngii* після сушіння. Визначено коефіцієнт набухання всіх зразків у вигляді порошку в лабораторії фізико-хімічних досліджень.

Коефіцієнт набухання – це показник якості, що показує наскільки харчовий продукт здатен відновлюватись після сушіння та дорівнює відношенню об'єму набухлої породи до її максимально первісного об'єму.

На рис. 5 представлено експериментальні дослідження, з яких видно, що найвище значення коефіцієнту набухання K_n є у зразку, що був висушений конвективним двоступеневим режимом $100/60^{\circ}\text{C}$ – $6,11\%$. При температурі теплоносія 100°C коефіцієнт набухання має нижче значення на 27% порівняно із двоступеневим режимом. Комбінований режим $100\text{ Вт}+60^{\circ}\text{C}$ дав результат $5,38\%$, а режим ІЧВ найнижче – $4,3\%$.

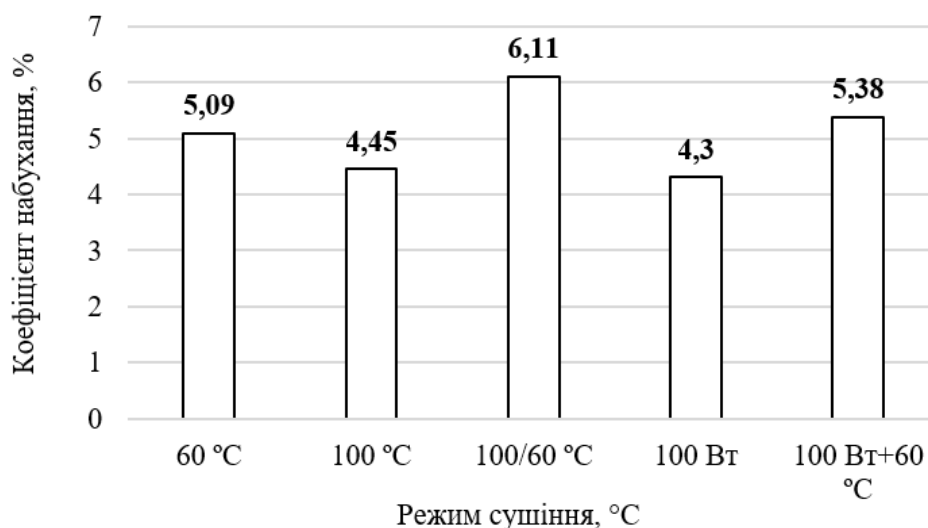


Рис. 5. Залежність коефіцієнту набухання грибів *Pleurotus eryngii* від режимів сушіння

Висновки. В результаті проведених експериментів щодо впливу різних режимних параметрів в залежності від способу енергопідведення, досліджено кінетику зневоднення культивованих грибів *Pleurotus eryngii* та запропоновано найбільш ефективні з них – конвективний двоступеневий 100/60°C та комбінований 100 Вт+60°C. При цьому зменшується тривалість сушіння грибів *Pleurotus eryngii* в 1,3 р. у порівнянні із ІЧ-режимом 100 Вт та у 1,5 р в порівнянні з режимом 60°C. За рахунок зменшення тривалості сушіння, майже не відбувається окислення грибів, що є запорукою світлого кольору сухого продукту. Досліджено якісні характеристики (коефіцієнт набухання) та їх зміни під впливом сушильних параметрів. Рекомендовано використовувати запропоновані нами режимні параметри зневоднення, при яких якісні показники мають досить високі значення, наближені до режиму 60°C.

Бібліографія

1. Soumia Teniou, Abderrahmane Bensegueni, Brooks M. Hybertson, Bifeng Gao, Swapan K. Bose, Joe M. McCord, Benoît Chovelon, Chawki Bensouici, Ahc`ene Boumendjel, Isabelle Hininger-Favier (2022). Biodriven investigation of the wild edible mushroom *Pleurotus eryngii* revealing unique properties as functional food. *Journal of Functional Foods*. 89 (2022) 104965. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104965>.
2. Rui-Lin Yang, Qin Li & Qing-Ping Hu. Physicochemical properties, microstructures, nutritional components, and free amino acids of *Pleurotus eryngii* as affected by different drying methods. *Scientific Reports*. 2020. 10 (121), <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56901-1>.
3. Ba, D. M., Ssentongo, P., Beelman, R. B., Muscat, J., Gao, X., & Richie, J. P. Higher Mushroom Consumption Is Associated with Lower Risk of Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Advances in Nutrition*. 2021. 12 (5), 1691–1704. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab015>.
4. Guo, Y.; Chen, X.; Gong, P.; Wang, R.; Qi, Z.; Deng, Z.; Han, A.; Long, H.; Wang, J.; Yao, W.; et al.. *Advances in Postharvest Storage and Preservation Strategies for Pleurotus eryngii*. *Foods*. 2023. 12, 1046. <https://doi.org/10.3390/foods12051046>.
5. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Самойленко К. М., Слободянюк К. С. Тепломасообмінні процеси отримання комбінованих функціональних порошків. Монографія. Видавництво «Тропея». 2022. 148 с. ISBN 978-617-789-60-4.
6. Li, T., Lee, JW., Luo, L. Jongkee Kim & BoKyung Moon. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on the quality preservation of *Pleurotus eryngii*. *Appl. Biology Chemistry*. 2018. 61, 257–265. <https://doi.org/10.1007/s13765-018-0354-8>.

7. Петрова Ж. О., Снежкін Ю. Ф. Енергоефективні теплотехнології переробки функціональної сировини. Монографія. Наукова думка. 2018. 187 с.

8. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О. Тепломасообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошків. Київ: ВД «Академперіодика». 2007. 162 с.

References

1. Soumia Teniou, Abderrahmane Bensegueni, Brooks M. Hybertson, Bifeng Gao, Swapan K. Bose, Joe M. McCord, Benoît Chovelon, Chawki Bensouici, Ahe'ene Boumendjel, Isabelle Hininger-Favier (2022). Biodriven investigation of the wild edible mushroom *Pleurotus eryngii* revealing unique properties as functional food. *Journal of Functional Foods*. 89 (2022) 104965. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104965>.

2. Rui-Lin Yang, Qin Li, Qing-Ping Hu (2020). Physicochemical properties, microstructures, nutritional components, and free amino acids of *Pleurotus eryngii* as affected by different drying methods. *Scientific Reports*, 10 (121), <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56901-1>.

3. Ba, D. M., Ssentongo, P., Beelman, R. B., Muscat, J., Gao, X., & Richie, J. P. (2021). Higher Mushroom Consumption Is Associated with Lower Risk of Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Advances in Nutrition*, 12(5), 1691–1704. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab015>.

4. Guo, Y.; Chen, X.; Gong, P.; Wang, R.; Qi, Z.; Deng, Z.; Han, A.; Long, H.; Wang, J.; Yao, W.; et al. (2023). Advances in Postharvest Storage and Preservation Strategies for *Pleurotus eryngii*. *Foods*. 12, 1046. <https://doi.org/10.3390/foods12051046>.

5. Sniezkin, Yu. F., Petrova, Zh. O., Samoilenko, K. M., Slobodianiuk, K. S. (2022). Teplomasoobminni protsesy otrymannia kombinovanykh funktsionalnykh poroshkiv [Heat and mass exchange processes of obtaining combined functional powders. Monograph]. Vydavnytstvo «Tropea». 148 p. ISBN 978-617-789-60-4. [in Ukrainian].

6. Li, T., Lee, J.W., Luo, L. Jongkee Kim, BoKyung Moon. (2018). Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on the quality preservation of *Pleurotus eryngii*. *Appl. Biology Chemistry*, 61, 257–265. <https://doi.org/10.1007/s13765-018-0354-8>.

7. Petrova, Zh. O., Sniezkin, Yu. F. (2018). Enerhoefektyvni teplotekhnolohii pererobky funktsionalnoi syrovyny [Energy-efficient heat technologies for processing functional raw materials. Monograph]. Naukova dumka. 187 p. [in Ukrainian].

8. Sniezkin, Yu. F., Petrova, Zh. O. (2007). Teplomasoobminni protsesy pid chas oderzhannia karotynovmisnykh poroshkiv [Heat and mass exchange processes during the production of carotene-containing powders. Monograph]. Kyiv: VD «Akademperiodyka». 162 p. [in Ukrainian].