

1. БІОЛОГІЯ

УДК 634.1:663.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2026.1.1>

ВПЛИВ ФЕРМЕНТАЦІЇ МІЦЕЛІЄМ ЇСТИВНИХ ГРИБІВ НА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХАРЧОВИХ КРУП

Бахлуков Дмитро Олександрович,

аспірант

відділу рослинних харчових продуктів та біофортифікації

Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»

ORCID ID: 0000-0001-9394-7436

Круподьорова Тетяна Анатоліївна,

доктор біологічних наук, провідний науковий співробітник

відділу рослинних харчових продуктів та біофортифікації

Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»

ORCID ID: 0000-0002-4665-9893

Scopus Author ID: 55545626900

Web of Science Researcher ID: HPH-1186-2023

У статті представлено результати органолептичної оцінки ферментованих круп (цільнозернової гречки, гороху, пшениці, перловки, рису, кукурудзи) міцелієм базидієвих видів грибів (*Cyclocybe cylindracea*, *Flammulina velutipes*, *Hericium erinaceus*, *Hypsizygus marmoreus*, *Laetiporus sulphureus*, *Lentinula edodes*, *Pholiota nameko*, *Pleurotus citrinopileatus*, *P. djamor*, *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*) з метою оцінки потенційної можливості створення веганської продукції аналогічної «Темпе». Для оцінки органолептичних характеристик було розроблено словник дескрипторів, який містив терміни, що описують властивості продуктів, такі як смак, запах, консистенція та зовнішній вигляд. Виявлено відмінності в органолептичних показниках ферментованих круп залежно від виду гриба, основи та тривалості ферментації. Усі види грибів ефективно колонізували харчові крупи міцелієм. За результатами скринінгу, найвищі органолептичні показники за зовнішнім виглядом, запахом, смаком та консистенцією були досягнуті при ферментації пшениці та рису міцелієм *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* та *F. velutipes*. Загальний зовнішній вигляд круп, ферментованих міцелієм грибів, суттєво не відрізнявся, при цьому спостерігалась тенденція формування білого міцелію, більш щільного ззовні, ніж всередині. Найбільше змінювався запах круп залежно від тривалості ферментації. Найбільш виражені запахи, що отримали максимальні оцінки, були встановлені на 14-ту добу ферментації в усіх зразках, за винятком ферментації пшениці міцелієм *P. ostreatus*. Найбільш вираженими запахами ферментованих круп міцелієм грибів були трав'яний, грибний, земляний та горіховий, тоді як найчастіше реєстрували солодкий, грибний та трав'яний смак. Найменш варіативним показником була консистенція ферментованих харчових круп. Результати аналізу головних компонентів показали наявність двох факторів, що впливають на органолептичні показники ферментованих круп: домінуючий фактор – основа ферментації, інший – взаємопов'язані між собою видова приналежність гриба та тривалість ферментації. Пшениця була виявлена як більш універсальна основа для отримання ферментованого продукту з високими органолептичними властивостями. Найвищі органолептичні оцінки за всіма параметрами були отримані для зразків пшениці, ферментованої міцелієм *P. ostreatus*, з оптимальним періодом ферментації від 21 до 28 доби. Відносну стабільність усіх чотирьох сенсорних дескрипторів було встановлено для *P. eryngii*, що може свідчити про більш сталий характер метаболічних процесів цього виду на досліджених зразках рису та пшениці. Обидва види *Pleurotus* є перспективними об'єктами для подальших досліджень, спрямованих на вивчення біосинтетичної активності метаболітів, які потенційно можуть визначати функціональні властивості ферментованої продукції.

Ключові слова: харчові крупи, ферментація, їстівні макроміцети, *Pleurotus* spp., органолептичні показники.

Bakhlukov Dmytro, Krupodorova Tetiana. The Impact of Edible Mushroom Mycelium Fermentation on the Organoleptic Properties of Cereal Grains

The article presents the results of the organoleptic evaluation of fermented cereal grains (whole-grain buckwheat, peas, wheat, pearl barley, rice, corn) fermented by basidiomycete fungi (*Cyclocybe cylindracea*, *Flammulina velutipes*, *Hericium erinaceus*, *Hypsizygus marmoreus*, *Laetiporus sulphureus*, *Lentinula edodes*, *Pholiota nameko*, *Pleurotus citrinopileatus*, *P. djamor*, *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*) with the aim of assessing the potential for creating vegan products similar to “Tempeh.” A descriptor dictionary was developed for the evaluation of organoleptic characteristics, which included terms describing product properties such as taste, odor, texture, and appearance. Differences in the organoleptic parameters of fermented cereal grains were found depending on the type of fungus, the substrate, and the fermentation duration. All fungi species effectively colonized the cereal grains with their mycelium. According to

© Бахлуков Д. О., Круподьорова Т. А., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



the screening results, the highest organoleptic scores for overall appearance, odor, taste, and texture were achieved in wheat and rice fermented with the mycelium of *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*, and *F. velutipes*. The overall appearance of the cereal grains fermented with fungal mycelium did not significantly differ, although there was a tendency for the formation of white mycelium, which was denser on the outside than inside. The odor of the cereal grains changed the most depending on the fermentation duration. The most intense odors, which received the highest scores, were established on the 14th day of fermentation in all samples except for wheat fermented with *P. ostreatus*. The most pronounced odors in the fermented cereal grains were grassy, fungal, earthy, and nutty, while the most frequently recorded tastes were sweet, fungal, and grassy. The least variable parameter was the consistency of the fermented cereal grains. Principal component analysis showed the presence of two factors influencing the organoleptic parameters of the fermented cereal grains: the dominant factor being the fermentation substrate, and the other being the fungal species and fermentation duration. Wheat was found to be a more universal substrate for obtaining a fermented product with high organoleptic properties. The highest organoleptic scores across all parameters were obtained for wheat fermented with *P. ostreatus* mycelium with an optimal fermentation period of 21 to 28 days. The relative stability of all four sensory descriptors was established for *P. eryngii*, which may indicate a more stable nature of the metabolic processes of this species in the studied rice and wheat samples. Both species of *Pleurotus* are promising subjects for further research aimed at studying the biosynthetic activity of metabolites, which may potentially determine the functional properties of fermented products.

Key words: cereal grains, fermentation, edible macromycetes, *Pleurotus* spp., organoleptic properties.

Вступ. Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості орієнтовані на створення інноваційних продуктів функціонального призначення, що відповідають вимогам споживачів щодо якості, екологічності та корисних властивостей [1]. На сучасному етапі розвитку харчової промисловості інновації повинні бути впроваджені активно, зокрема у виробництво оздоровчих та функціональних харчових продуктів, частка яких на глобальному ринку стабільно зростає [2; 3]. В умовах гармонізації українського законодавства з вимогами СОТ вже розроблена схема інтеграційного підходу до створення інноваційного харчового продукту [4].

Поряд із цим, останніми роками спостерігається суттєве зростання популярності веганських і сиродієвих дієт, що стають все більш поширеними серед споживачів, які прагнуть вести здоровий спосіб життя та зберігати екологічну свідомість [5; 6]. Веганство, яке виключає тваринні продукти з раціону, та сиродієння, що передбачає споживання лише необроблених термічно продуктів, привертають увагу не лише завдяки своїм потенційним перевагам для здоров'я, але й через етичні та екологічні фактори. У результаті цього зростає зацікавленість у розробці нових натуральних продуктів, зокрема на основі ферментованих харчових субстратів, які можуть бути включені до раціону різних дієт. Така ферментація дозволяє не лише покращити смакові та ароматичні властивості продуктів, але й збагатити їх біологічно активними речовинами, такими як вітаміни, антиоксиданти та амінокислоти, що робить продукти більш корисними для здоров'я [7]. Харчова цінність та вплив ферментованих грибами продуктів на здоров'я представлено у огляді Sivamaruthi et al. [8].

Особливу увагу в останні десятиліття привертають макроміцети [9; 10]. Ці гриби, зокрема базидієві види, відомі своїми унікальними біохімічними властивостями та здатністю виробляти низку різних корисних ферментів і метаболітів [11; 12]. Міцелій базидієвих видів грибів, завдяки своїй здатності до розкладу органічних складових і синтезу біологічно активних сполук, може бути перспективним інструментом у процесах ферментації харчових круп.

Актуальним напрямом використання міцелію їстівних видів грибів у харчовій промисловості є розробка альтернатив м'ясу та джерел білка [12; 13], а також част-

кового використання у якості інгредієнтів чи добавок [14; 15]. Для цих цілей ефективно культивування міцелію вимагає підбору безпечних субстратів, що забезпечують оптимальні умови для росту та розвитку грибів. Відповідно до даних літератури, у огляді [16] розглянуто приклади ферментації бобових, зернових і псевдозернових культур за участю видів їстівних та лікарських грибів (*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray, *G. gargal* (Singer) та *G. sordulenta* (Mont.) Singe., *Flammulina velutipes* (Curtis) P. Karst., *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. та *H. ramosum* (Bull.) Letell., *Irpex lacteus* (Fr.) Fr., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., *Schizophyllum commune* Fr., *Trametes versicolor* (L.) Lloyd) та продемонстровано можливі зміни фізико-хімічних властивостей ферментованих круп, а також вмісту біоактивних сполук. Оцінено можливість ферментації міцелієм *Coprinus comatus* (O.F. Müll.) Pers., *Flammulina velutipes*, *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué., *Trametes cinnabarina* (Jacq.) Fr. (= *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst.), *Schizophyllum commune*, *Stropharia rugosoannulata* Farl. ex Murrill, *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer коричневого рису та люпину у порівнянні з *Rhizopus microsporus* var. *oligosporus* (Saito) Schipper & Stalpers [17], видом який активно використовується для виробництва відомого веганського продукту – «Темпе».

Проте, для того щоб ці продукти були привабливими для споживачів, вони повинні мати високі органолептичні характеристики. Біохімічні і мікробіологічні процеси, що відбуваються в процесі ферментації грибами впливають на формування аромату, смаку та консистенції ферментованої основи. У процесі ферментації грибами в результаті метаболічної активності грибів утворюються різноманітні леткі сполуки, які і обумовлюють формування специфічного аромату і смаку, а також зміну фізико-хімічних властивостей субстрату внаслідок ферментативної активності міцелію. Також, Ферментація ініціює біосинтез широкого спектру летких метаболітів: альдегіди, амінокислоти, вуглеводні, гетероциклічні та ароматичні сполуки, спирти, ефіри, кетони, органічні кислоти [18-22]. Загалом, процес ферментації грибами є складним і багатогранним, оскільки він включає численні біохімічні реакції, також спрямовані і на розщеплення органічних сполук субстрату. У

кінцевому етапі цілий комплекс ферментаційних процесів може визначати формування складного букету аромату та смаку, що може варіюватися. Органолептичні показники ферментованої макроміцетами основи також обумовлені унікальністю кожного штаму гриба [18], навіть моно- і дикаріотичні культури різняться за своїми ароматами [22]. Слід також враховувати, що харчові основи різняться за своїм складом, що також впливає на формування органолептичних характеристик. Тому **метою роботи** було провести органолептичну оцінку харчових круп, ферментованих міцелієм їстівних грибів.

Матеріали та методи. Об'єктами дослідження були їстівні види *Cyclocybe cylindracea* (DC.) Vizzini & Angelini 2646 IBK, *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer 2337 IBK, *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. 977 IBK, *Hypsizygus marmoreus* (Peck) H.E. Bigelow 2994 IBK, *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill 2365 IBK, *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler 2639 IBK, *Pholiota nameko* (T. Itô) S. Ito & S. Imai 2648 IBK, *Pleurotus citrinopileatus* Singer 2627 IBK, *P. djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn 2289 IBK, *P. eryngii* (DC.) Quél. 563 IBK, *P. ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. 2462 IBK, *P. pulmonarius* (Fr.) Quél. 2307 IBK. з Колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України (IBK) [23]. Для ферментації у роздрібних торгових мережах було обрано такі харчові основи, як перлова крупа, цільна пшениця, довгозернистий пропарений рис, горох лущений шліфований, зелена гречка та цільні зерна кукурудзи.

Попередня підготовка харчових основ була проведена у промисловому варильному котлі КПЕ-100 (Україна) тривалістю від 10-15 хвилин для рису та 30-40 хвилин для інших випробуваних харчових основ за температури $100\pm 2^\circ\text{C}$. Основи (масою 150 г) поміщали у півлітрові банки, накривали фольгою і стерилізували в автоклаві при температурі 121°C протягом 30 хвилин, враховуючи відповідну пропорцію твердої та повітряної фаз у півлітровій банці. У стерильних умовах основи інокулювали трьома дисками (діаметр 1 см) 10-денними культурами відповідних видів грибів, попередньо вирощеними на комерційному картопляно-декстрозному агаризованому середовищі (Difco, США) при температурі $25\pm 2^\circ\text{C}$. Культивування проводили в термостаті ТС-80 (Київ, Україна) за температурі $25\pm 2^\circ\text{C}$ протягом 28 днів.

Дизайн експерименту був проведений відповідно до методики Aisala et al. [24]. Усі учасники пройшли перевірку смакової чутливості та здатності розрізняти основні смакові відчуття. Під час навчання учасники оволоділи методами оцінки зовнішнього вигляду, запаху, смаку та текстури харчових продуктів, а також навчилися застосовувати стандартні еталони та тести ранжування інтенсивності для дескрипторів сенсорної оцінки. Навчання для загального описового аналізу включало чотири сесії, кожна тривалістю 1,5 години. Процес навчання передбачав консенсусне обговорення та додатковий сліпий навчальний сеанс, що імітував реальні умови сенсорної оцінки. У ході першої сесії оцінювачам було представлено всі зразки грибів, і їх по-

просили описати їхні зовнішні характеристики, запах, смак, аромат, текстуру та властивості. Після цього відбулося обговорення результатів оцінки. На подальших сесіях відбулося уточнення словесного опису термінології, а також узгодження еталонних зразків і визначення їх інтенсивності. Для оцінки органолептичних характеристик було розроблено словник дескрипторів, який містив набір термінів, що описують властивості продуктів, такі як смак, запах, текстура та зовнішній вигляд.

З метою скринінгу загальна оцінка органолептичних характеристик ферментованих міцелієм грибів харчових круп була проведена на 26-й день росту. Для спрощення процесу оцінювання було використано шкалу оцінки показників, де кожен параметр оцінювався за трьохбальною системою: незадовільно – 1 бал, задовільно – 2 бали, сприятливо – 3 бали.

Описове профілювання органолептичних показників проводили на 14, 21 та 28 доби ферментації за участю 10 добровільних оцінювачів (5 чоловіків, 5 жінок, вік 28–52 років, середній вік 40 років). Інтенсивність кожного дескриптора (загальний вигляд, запах, смак, консистенція) відзначали за шкалою від 0 (немає) до 10 (дуже сильний).

Для оцінки впливу виду гриба, типу субстрату та тривалості культивування проведено багатовимірний статистичний аналіз методом головних компонент (Principal Component Analysis, PCA). Розрахунки з використанням методу сингулярного розкладання (SVD) та візуалізація виконані за допомогою он-лайн інструменту ClustVis [25].

Результати. За показником обростання харчових круп міцелієм грибів встановлено, що відібрані види грибів можуть бути культивовані на всіх досліджуваних харчових крупах. Ці результати узгоджуються з даними інших досліджень успішної колонізації міцелієм базидієвих видів різновидів рису [17; 26-28], пшениці [28], бобових [17; 29; 30]. Зазначимо, що вибір видів грибів та круп був обумовлений двома критеріями: по-перше, було обрано ті види, які вже використовувались у інших дослідженнях для можливості порівняння отриманих даних, а по-друге, нові види для розширення потенціалу використання грибів.

Була проведена органолептична оцінка, що є частиною сенсорної оцінки [31]. Це один з її основних підходів, зосереджений на оцінці якості харчових продуктів через їх органолептичні властивості. Органолептичні показники ферментованих міцелієм грибів харчових круп змінювалися залежно від виду гриба та типу харчової основи. Варто зазначити, що найкращий ріст міцелію за швидкістю та щільністю обростання спостерігався на основах, що мали незадовільні органолептичні показники після ферментації (таблиця 1).

Оцінка органолептичних показників досліджуваних зразків показала, що такі основи як гречка, перлова крупа, кукурудза та горох були непридатними для подальшого дослідження через їхні незадовільні органолептичні показники: смак (кислий, гіркий), запах (рибний, аміачний, землистий, гумовий), консистенція

Загальна кількісна оцінка органолептичних характеристик ферментованих міцелієм грибів харчових круп за результатами скринінгу

| Назва гриба | Гречка | Горох | Пшениця | Перловка | Рис | Кукурудза | Підсумковий бал |
|---------------------------|--------|-------|---------|----------|-----|-----------|-----------------|
| <i>C. cylindracea</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 7 |
| <i>F. velutipes</i> | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 11 |
| <i>H. erinaceus</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 9 |
| <i>H. marmoreus</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| <i>L. sulphureus</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| <i>L. edodes</i> | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 9 |
| <i>P. nameko</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| <i>P. citrinopileatus</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 9 |
| <i>P. djamor</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| <i>P. eryngii</i> | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 13 |
| <i>P. ostreatus</i> | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 13 |
| <i>P. pulmonarius</i> | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 12 |

Примітка. Шкала оцінки показників: незадовільно – 1 бал, задовільно – 2 бали, сприятливо – 3 бали.

(кашоподібна), а також зовнішній вигляд та наявність ексудату грибного міцелію під час ферментації грибами. В цілому, прийнятність харчових основ для ферментації обраними грибами зростала у ряду горох → гречка → кукурудза → перловка → пшениця → рис. Проте, більшість видів грибів (66,7 %) мали небажані загальні оцінки органолептики. Найгірші показники встановлено при ферментації грибами гороху. Ймовірно, інтенсивна деградація білків гороху та специфічних сірковмісних амінокислот під дією ферментів грибів призводить до накопичення аміачних сполук та легких метаболітів (альдегідів, кетонів), що й детермінує небажані аромати. Найкращі показники (> 10 балів) отримано у разі використання *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* та *F. velutipes*, при чому ці види грибів показали максимальні результати при використанні пшениці та рису. Зазначені види грибів та харчові крупи були відібрані для подальших експериментів.

Встановлено відмінності у органолептичних показниках в залежності від виду гриба, основи та тривалості ферментації (рис. 1-4). Описове профілювання органолептичних показників ферментованих міцелієм 4-х відібраних видів грибів пшениці та рису проводили в динаміці, оскільки зміни органолептичних властивостей можуть відбуватися протягом ферментації, і їх відстеження дозволяє визначити оптимальний період для досягнення бажаних характеристик продукту. Результати фіксували з 14-тої по 28-му добу з кроком 7 діб.

Загальний зовнішній вигляд круп ферментованих міцелієм грибів суттєво не відрізнявся. У всіх зразках формувався білий міцелій, і зовні він був щільнішим (рис. 1 А, В, Д, Є), ніж всередині (рис. 1 Б, Г, Е, Ж), що узгоджується з результатами іншого дослідження [17].

Зазначимо, що різниця зчеплення міцелієм зерен пшениці та рису всередині може бути обумовлена поганою аерацією, оскільки кисень є критично важливим для метаболічної активності грибів. Тому корегування більш оптимальної товщини блоків може сприяти кращому доступу кисню до різних частин міцелія та забезпеченню рівномірному розростанню грибного міцелію.

З часом (28 доба культивування), на рисі ферментованому *P. ostreatus* спостерігали утворення пігментованих плям (рис. 1 Д).

За результатами сенсорних профілів серед досліджених органолептичних показників, найбільше змінювався запах від тривалості ферментації (рис. 2). Найбільш виражені запахи за максимальними оцінками були встановлені на 14 добу ферментації у всіх зразках за виключенням ферментації *P. ostreatus* пшениці (рис. 2 Д). З восьми запахів найбільше оцінок отримали 4, які можна розмістити за частотою домінування в такому порядку: горіховий = земляний > грибний > трав'яний. Спільним для всіх зразків пшениці, ферментованих міцелієм грибів, була відсутність рибного запаху (рис. 2 А, В, Д, Є). Однак на 28-му дні ферментації міцелієм *F. velutipes*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* рису у зразках відчувався рибний запах (рис. 2 Б, Є, Ж). Для цих зразків на 14-й день ферментації було зафіксовано найбільше різноманіття запахів за ступенем їх вираженості.

Серед органолептичних смакових показників найбільш часто реєстрували солодкий, грибний та трав'яний смаки, тоді як менш вираженими були гіркий смак, а також мінімальні нотки м'ясного та кислого смаку (рис. 3). Для більшості досліджених зразків, максимальні бали оцінок смаків встановлено на 28 добу ферментації. При чому, спільним для всіх зразків рису, ферментованих міцелієм досліджених видів грибів, найбільш виражені смаки були встановлені за максимальної тривалості ферментації. Найчастіше було зафіксовано солодкий смак під час ферментації круп. Зокрема, на 28-му дні ферментації рису міцелієм *P. pulmonarius* (рис. 3 Ж) та пшениці міцелієм *P. eryngii* (рис. 3 В), а також на 21-му і 14-му днях – при ферментації пшениці міцелієм *P. ostreatus* (рис. 3 Д) та *P. pulmonarius* (рис. 3 Є), відповідно. Гіркий смак бу характерним для рису, ферментованого міцелієм *F. velutipes* (рис. 3 Б) та *P. ostreatus* (рис. 3 Е) на 28 добу ферментації. Грибний смак був вираженим у зразках пшениці, ферментованої міцелієм *F. velutipes* (рис. 3 А) та рису, ферментованих міцелієм *P. eryngii* (рис. 3 Г) на 14 та 28 добу, відповідно. Дещо

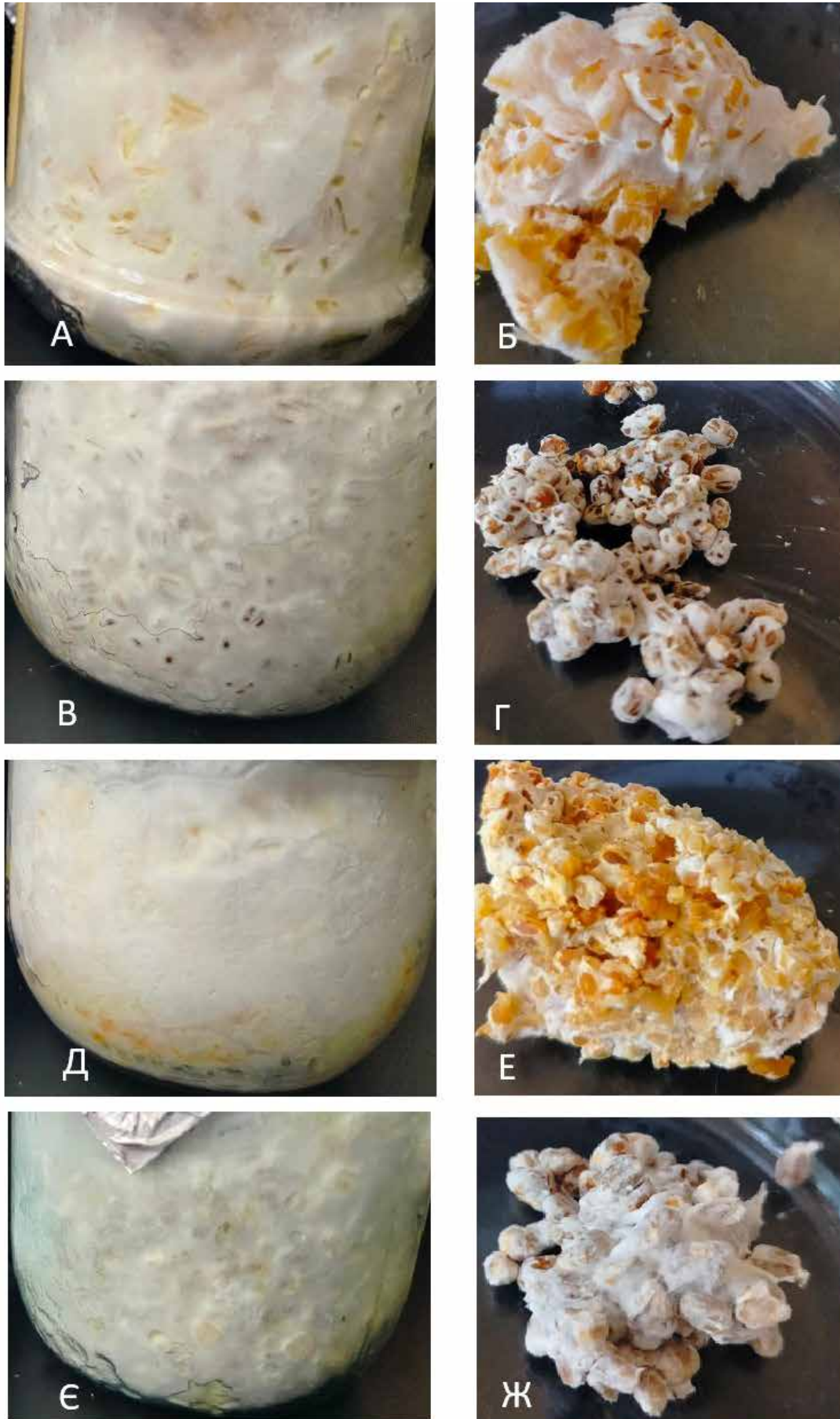


Рис. 1. Загальний зовнішній вигляд круп ферментованих міцелієм *Pleurotus pulmonarius* (А, Б, В, Г) та *P. ostreatus* (Д, Е, Є, Ж)

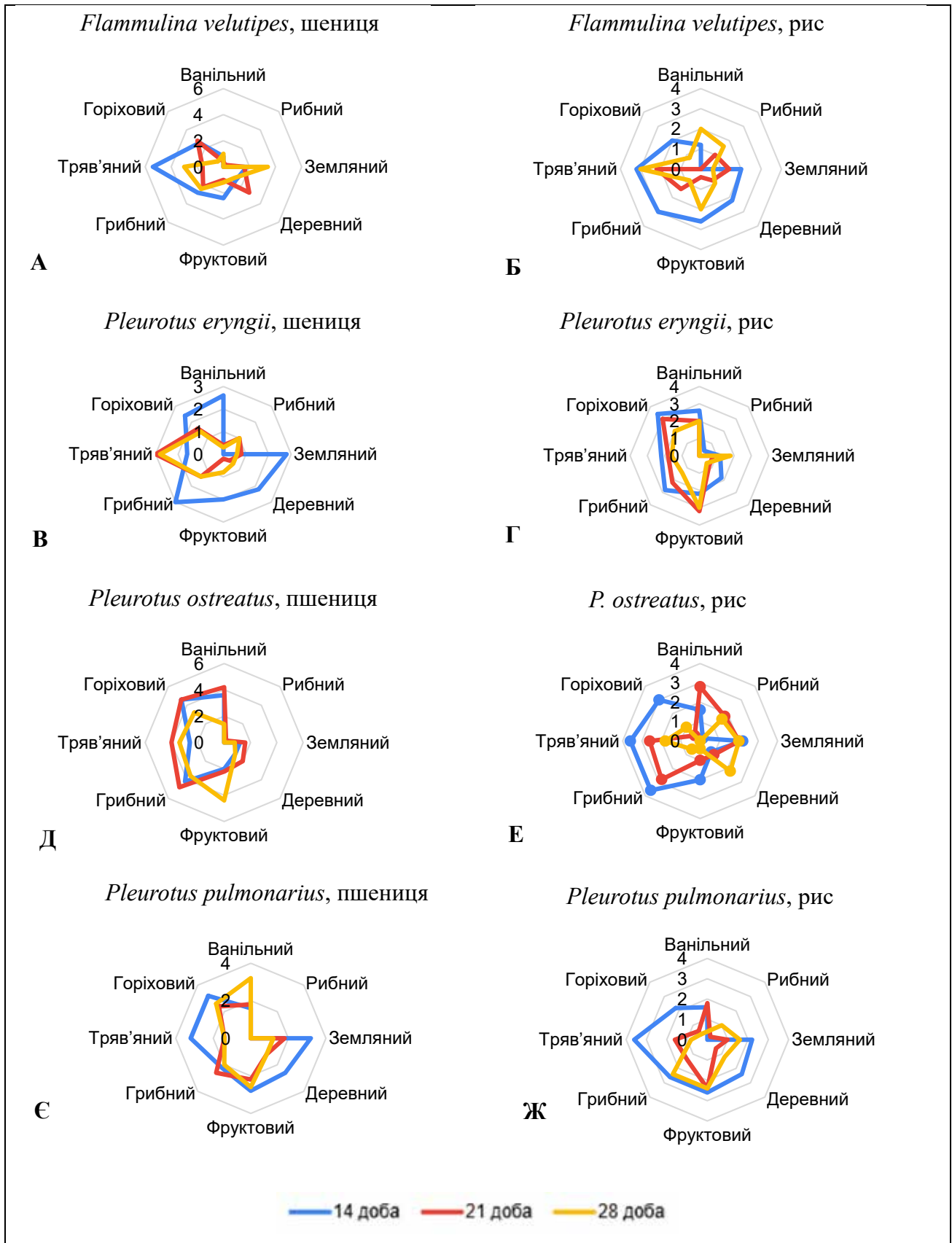


Рис. 2. Сенсорні профілі запаху ферментованої міцелієм грибів пшениці (А, В, Д, Є) та рису (Б, Г, Е, Ж)

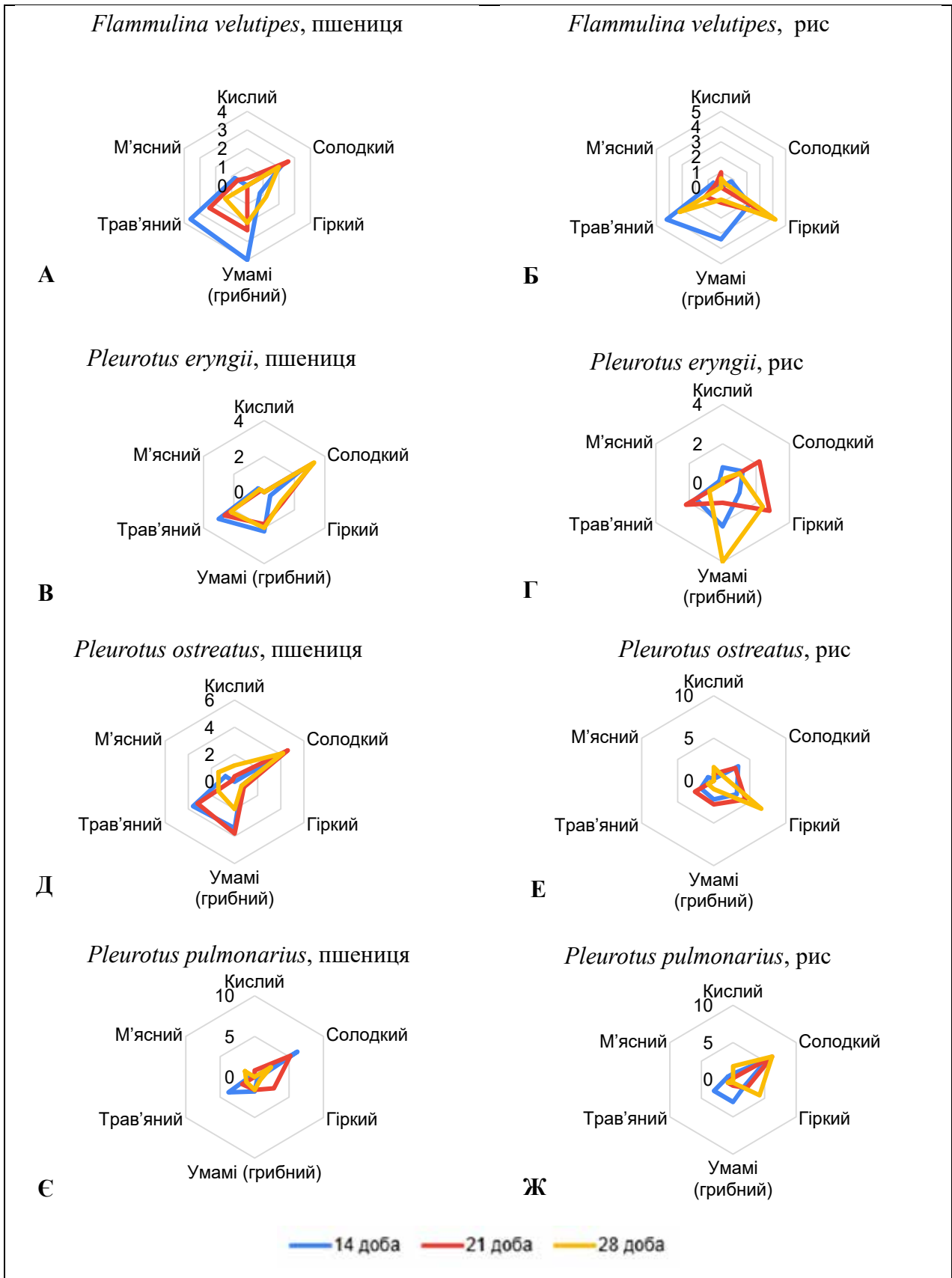


Рис. 3. Сенсорні профілі смаку ферментованої міцелієм грибів пшениці (А, В, Д, Є) та рису (Б, Г, Е, Ж)

подібними були смакові профілі пшениці, ферментованої міцелієм *F. velutipes* (рис. 3 А), *P. eryngii* (рис. 3 В) та *P. ostreatus* (рис. 3 Д). Слід відзначити, що тривалість ферментації пшениці міцелієм *P. eryngii*, найменше впливала на її смакові профілі (рис. 3 В).

Найменш варіативним показником за органолептичними характеристиками була консистенція ферментованих міцелієм грибів харчових круп. Для пшениці, ферментованої міцелієм *F. velutipes*, *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* спостерігалася певна тенденція: зерно

пшениці залишалося досить щільним, а міцелій грибів не забезпечував високого рівня зчеплення зерен, що проявлялося в його розсипчастості (рис. 4 А, В, Д, Є). Аналогічна тенденція була характерною і для рису, ферментованого міцелієм *F. velutipes* (рис. 4 Ж), *P. eryngii* (рис. 4 Е). Інших два види *Pleurotus*, забезпечували м'яка та кремову консистенцію рису (рис. 4 Б, Г). Найбільш стабільною була консистенція пшениці, ферментованої міцелієм *P. eryngii*, про що свідчить подібність профілів не залежно від тривалості ферментації (рис. 4 В).

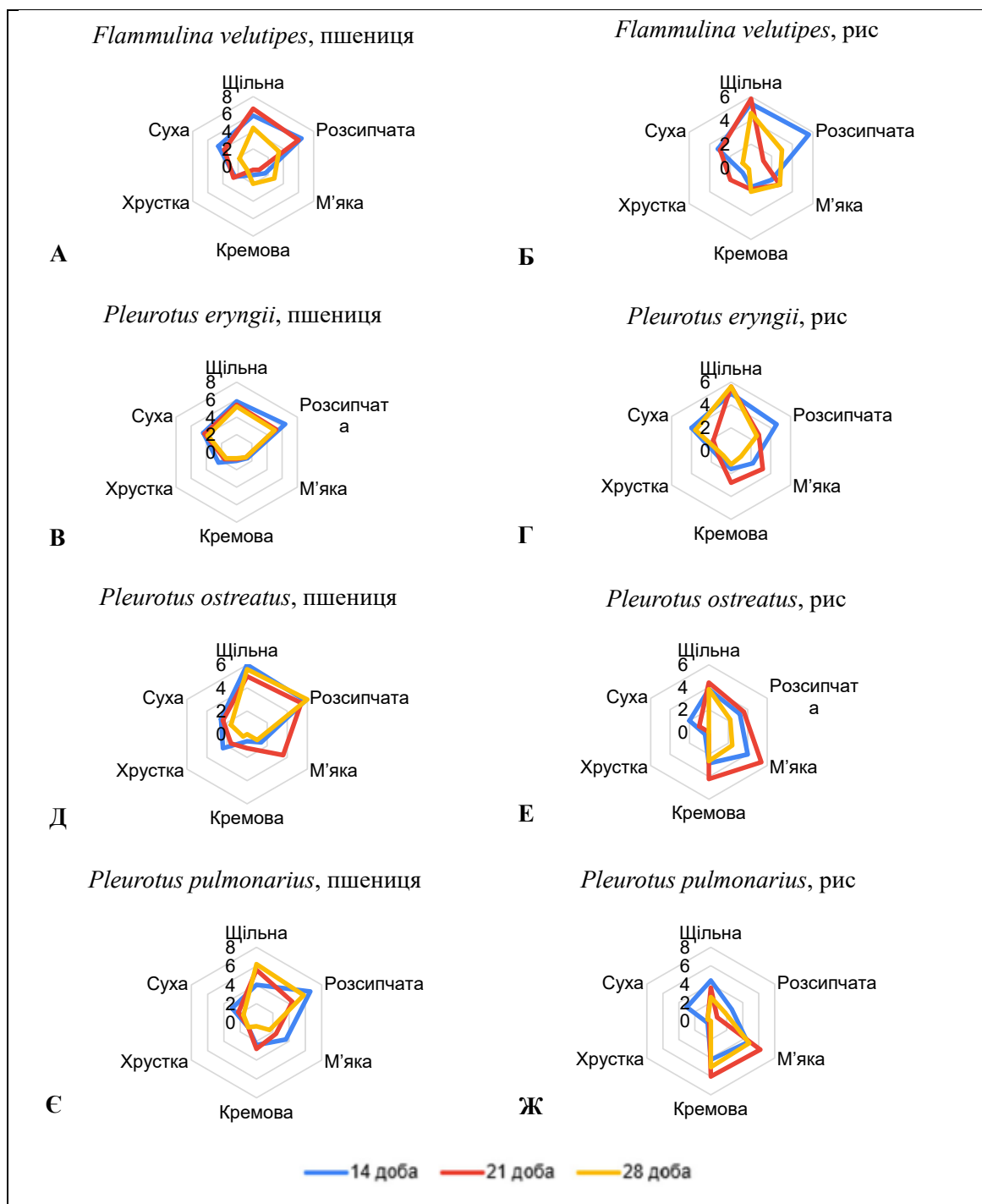


Рис. 4. Сенсорні профілі консистенції у ферментованій міцелієм грибів пшениці (А, В, Д, Є) та рису (Б, Г, Е, Ж)

Результати аналізу головних компонент (PCA) продемонстрували чітку диференціацію зразків залежно від умов культивування. Перші дві головні компоненти сумарно описують 92,3% загальної варіабельності даних, що свідчить про високу репрезентативність моделі (рис. 5).

Домінуючий фактор 1 (PC1 – 82.8% впливу) це вид субстрату. На графіку PCA зразки розділені на дві великі групи вздовж горизонтальної осі: ліворуч – рис (R), праворуч – пшениця (W). Це означає, що понад 80% усіх відмінностей у даних зумовлені виключно тим, на чому ріс гриб. Пшениця та рис диктують біохімічний профіль сильніше, ніж вид самого гриба. Інший фактор 2 (PC2 – 9.5% впливу) це взаємопов'язані видова приналежність гриба та тривалість ферментації. Цей фактор відповідає за вертикальне розміщення точок. Він показує тонші відмінності, зокрема як саме конкретний вид гриба адаптується до субстрату та як змінюються його властивості з 14-ї по 28-му добу.

Аналіз конфігурації об'єктів у просторі головних компонент дозволяє констатувати, що характер між-

видової подібності детермінується типом поживної основи. У правій частині графіка (позитивні значення PC1) зона пшениці (W) спостерігається найвища подібність між усіма видами: *P. ostreatus* (P. o) на пшениці (точки P.o_W_14, 21, 28) знаходиться у верхньому правому кластері. У цій же зоні, майже впритул до нього, розташовані точки *P. pulmonarius* (P. p) та *F. velutipes* (F. v) на 14-ту добу, що вказує на формування подібного фенотипового або біохімічного профілю за даних умов культивування. Перехід до рисової основи (від'ємні значення PC1) ініціює виражену сегрегацію зразків. Саме в цьому середовищі проявляється максимальна специфічність видів. Так, *P. ostreatus* (P. o) стає максимально відокремленим лише на рисі, що свідчить про його унікальну метаболічну відповідь на компоненти рису. Його точки (P.o_R_14, 21, 28) розкидані по всій лівій частині графіка. Особливо ізольованою є точка P.o_R_28, яка знаходиться в крайньому лівому куті. Далеко від усіх інших зразків. *P. pulmonarius* на рисі займає «свою» нішу: точки P.p_R_21 та P.p_R_28 знаходяться в окремій зоні, відокремлено від P.o та групи P. e/F. v. Це може

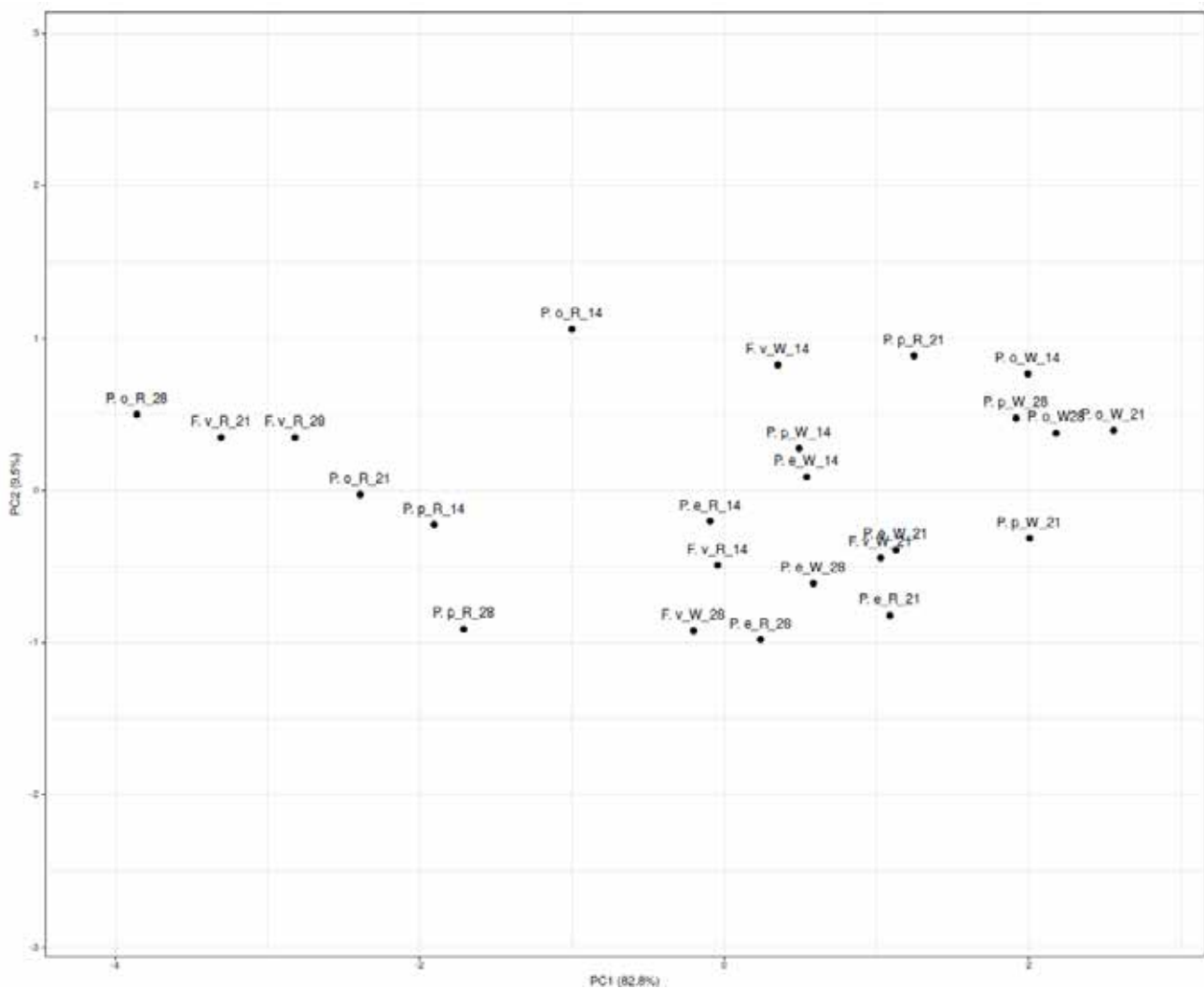


Рис. 5. Оцінка впливу виду гриба, субстрату та тривалості його ферментації методом головних компонент (PCA score plot). Примітка: P.o – *P. ostreatus*, P.e – *P. eryngii*, P.p – *P. pulmonarius*, F.v – *F. velutipes*; субстрати: R – рис, W – пшениця; цифри 14, 21, 28 – тривалість ферментації, доба.

свідчити про те, що цей вид має індивідуальну траєкторію трансформації субстрату, яка статистично відрізняється як від стабільних кластерів *P. eryngii*, так і від екстремальних зміщень *P. ostreatus*. На відміну від гливи звичайної, два види (*P. eryngii* та *F. velutipes*) зберігають високу подібність сенсорних та біохімічних характеристик незалежно від субстрату, про що свідчить їхня стабільна локалізація у центроїді графіку.

З метою комплексної оцінки органолептичних ознак було застосовано побудову теплової карти з ієрархічною кластеризацією на основі евклідової відстані (рис. 6). За результатами кластеризації досліджені зразки розділилися на три основні блоки, що відображають різний ступінь адаптації видів до субстратів. Аналіз верхньої дендрограми показав найвищий рівень кореляції між показниками «смак» та «консистенція», які утворюють стійкий функціональний вузол, тоді як «запах» та «зовнішній вигляд» мають вищу варіабельність залежно від термінів ферментації.

У кластері стабільно високих показників (центральний сегмент) зосереджено зразки з максимальними значеннями Z-score (інтенсивне червоне забарвлення). Домінуюче положення займає *P. ostreatus* на пшеничному субстраті (P.o_W), який зберігає високі бали на 14, 21 та 28 добу. Це свідчить про те, що для даного виду пшениця є оптимальним середовищем, яке забезпечує стабільну якість продукту незалежно від тривалості процесу. Також до цього кластеру увійшли *P. pulmonarius* (P.p_R_21) та *F. velutipes*

(F.v_R_21), із досягнення ними пікових кондицій саме на 21-шу добу.

Відзначимо, кластер видової специфічності (нижній сегмент), що характеризується помірними та стабільними показниками. Він об'єднує більшість часових точок для *P. eryngii* (P.e) на обох типах субстратів. Характерно, що зразки цього виду на 21-шу та 28-му добу (як на рисі, так і на пшениці) кластеризуються поруч, що доводить високу прогнозованість його сенсорного профілю та низьку чутливість до зміни зернової основи.

До кластера низьких показників та сенсорної деградації (верхній сегмент) потрапили зразки з вираженими від'ємними значеннями (синій колір). Важливою особливістю є об'єднання в одну групу початкових фаз ферментації (P.o_R_14, F.v_W_14) та фінальних стадій на рисовому субстраті (P.o_R_28, F.v_R_28). Такі результати показують, що тривала культивування на рисі призводить до втрати інтенсивності ознак.

На тепловій карті чітко простежується відокремлена позиція *P. pulmonarius*. Якщо на 21-шу добу (особливо на рисі) цей вид демонструє високі показники, що дозволяє йому входити до «лідуючого» кластера, то до 28-ї доби спостерігається різке зміщення в зону нижчих оцінок. Це вказує на вузьке «технологічне вікно» оптимальної якості для цього виду порівняно з *P. ostreatus*.

Аналіз інтенсивності забарвлення зон теплової карти дозволив деталізувати зміну кожного з чотирьох досліджуваних показників (зовнішній вигляд, запах, смак, консистенція) залежно від комбінації «вид – суб-

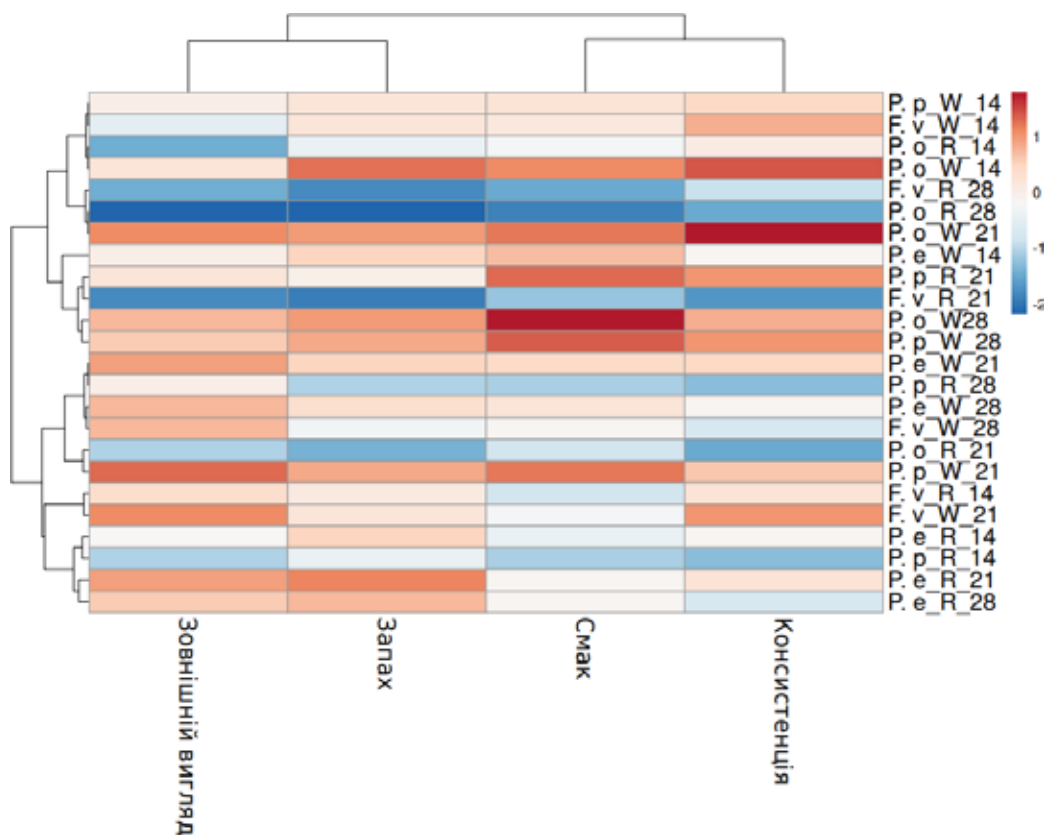


Рис. 6. Теплова карта ієрархічної кластеризації сенсорних профілів (Z-score нормалізація)

Примітка: P.o – *P. ostreatus*, P.e – *P. eryngii*, P.p – *P. pulmonarius*, F.v – *F. velutipes*; субстрати: R – рис, W – пшениця; цифри 14, 21, 28 – тривалість ферментації, доба.

страт –тривалість ферментації». Зовнішній вигляд виявився найменш чутливим до короткострокових змін часу, але критично залежним від субстрату. Усі зразки на пшениці (W) зберігають привабливий зовнішній вигляд (червоно-помаранчева гама) довше, ніж на рисі (R). Винятком є *P. pulmonarius*, який на 21-шу добу на рисі демонструє візуальні характеристики, порівняні з лідерами групи, проте втрачає їх до 28-ї доби. Показник запаху виявився найбільш стабільним для *P. eryngii* незалежно від субстрату, що відображено рівномірним забарвленням відповідних рядків. Натомість для *P. ostreatus* та *F. velutipes* на рисі характерними були деградація аромату на пізніх етапах (28 доба), де колір змінюється з нейтрального на темно-синій, що може бути пов'язано з накопиченням вторинних метаболітів або закисленням рисового субстрату. Смак та консистенція продемонстрували найбільш синхронну динаміку ($R^2 > 0,8$ за ієрархічним деревом ознак). Максимальні позитивні значення (темно-червоний сектор) зафіксовано для *P. ostreatus* на пшениці протягом усього періоду. Для *P. pulmonarius* на рисі спостерігається «пік»: стрімке зростання балів на 21-шу добу з різким падінням до 28-ї доби, що свідчить про швидку втрату структурної цілісності міцелію та погіршення смакових якостей при «перекультивуванні» на цій основі. Зразки на пшеничному субстраті (особливо *P. ostreatus*) демонструють стабільно високі показники консистенції (інтенсивний червоний колір) протягом усього періоду. Це вказує на формування щільного, пружного міцеліального матриксу, який не втрачає своїх властивостей до 28-ї доби. На рисовому субстраті спостерігається зовсім інша картина. Для *P. pulmonarius* та *P. ostreatus* на 28-му добу консистенція зміщується в екстремально синю зону (мінімальні значення Z-score). Це свідчить про явище «переферментації»: міцелій починає руйнувати структуру зерна занадто глибоко, що призводить до розм'якшення субстрату, втрати його пружності та погіршення зовнішнього вигляду. Такі зміни можуть бути обумовлені декількома факторами, зокрема відсутністю щільної оболонки на поверхні рисового зерна, швидким переокисленням або накопиченням специфічних метаболітів на рисовому субстраті. *P. eryngii* виявляє помірну, але стабільну консистенцію на обох субстратах. На тепловій карті ці зразки мають нейтральне або слабко-позитивне забарвлення, що підтверджує здатність цього виду підтримувати стабільну текстуру продукту навіть при тривалому культивуванні.

Висновки. Вперше проведена органолептична оцінка ферментованих круп (цільнозернової гречки, гороху,

пшениці, перловки, рису, кукурудзи) міцелієм базидієвих видів грибів (*Cyclocybe cylindracea*, *Flammulina velutipes*, *Hericiium erinaceus*, *Hypsizyugus marmoreus*, *Laetiporus sulphureus*, *Lentinula edodes*, *Pholiota nameko*, *Pleurotus citrinopileatus*, *P. djamor*, *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*) з метою оцінки потенційної можливості створення веганської продукції аналогічної «Темпе». Виявлено відмінності у органолептичних показниках в залежності від виду гриба, основи та тривалості ферментації. Усі види грибів ефективно колонізували харчові крупы міцелієм. За результатами скринінгу, найвищі значення органолептичних показників за загальним виглядом, запахом, смаком та консистенцією встановлено при ферментації пшениці та рису міцелієм *P. eryngii*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* та *F. velutipes*. Результати аналізу головних компонент, показали наявність двох факторів впливу на органолептичні показники ферментованих круп: домінуючий фактор – основа ферментації, інший – взаємопов'язані видова приналежність гриба та тривалість ферментації. Встановлено, що пшениця є більш універсальною основою для отримання ферментованого продукту з високими органолептичними властивостями. Найвищі органолептичні оцінки за всіма параметрами отримано для зразків пшениці ферментованої міцелієм *P. ostreatus* з оптимальним періодом ферментації від 21 до 28 доби. Відносну стабільність усіх чотирьох сенсорних дескрипторів встановлено для *P. eryngii*, що може свідчити про більш сталий характер метаболічних процесів цього виду на досліджених зразках рису та пшениці. Обидва види *Pleurotus* є перспективними об'єктами для подальших досліджень, спрямованих на вивчення біосинтетичної активності метаболітів, які потенційно можуть визначати функціональні властивості ферментованої продукції.

Внесок авторів: Дмитро Бахлуков – дизайн дослідження, проведення експерименту, отримання результатів; статистична обробка результатів, написання і редагування рукопису; Тетяна Круподьорова – формулювання концепції дослідження, узагальнення результатів наукового дослідження, редагування рукопису.

Подяка. Автори висловлюють щире подяку професору, доктору біологічних наук, куратору Колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України (ІБК) Ніні Анатоліївни Бісько за надані види грибів для проведення дослідження. Також автори вдячні волонтерам, які брали участь у проведенні органолептичної оцінки харчових круп, ферментованих міцелієм грибів.

Література:

- Porter J., Cook N., Coorey R., Gunasekera D., Hensher M., Kerr D.A., Pollard C. M., Yoong S., Dykes G., Lawrence M. Innovation in Healthy and Sustainable Food Product Development for Health and Aged Care: A Scoping Review. *Foods*. 2022. Vol. 11, № 22. P. 3604. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11223604>
- Пахуча Е.В., Севідова І.О. Тенденції розвитку міжнародного ринку функціональних продуктів. *Науково-видавничий журнал «Бізнес-навігатор»*. 2022. Вип. 1, № 68. С. 83–87. DOI: <https://doi.org/10.32847/business-navigator.68-26>.
- Essa M.M., Bishir M., Bhat A., Chidambaram S.B., Al-Balushi B., Hamdan H., Govindarajan N., Freidland R.P., Qoronfle M.W. Functional foods and their impact on health. 2023. *Journal of food science and technology*. Vol. 60, № 3. P. 820–834. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Здобутки і перспектививпровадження інновацій у харчовій промисловості України. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2021. №5. С. 109–115.

5. Kilian D., Hamm U. Perceptions of Vegan Food among Organic Food Consumers Following Different Diets. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, № 17. P. 9794. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179794>;
6. Łuszczki E, Boakye F, Zielińska M, Dereń K, Bartosiewicz A, Oleksy Ł, Stolarczyk A. Vegan diet: nutritional components, implementation, and effects on adults' health. *Front. Nutr.* 2023. Vol. 10, P.1294497. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1294497>
7. Borkertas S., Viskelis J., Viskelis P., Streimikyte P., Gasiunaite U., Urbonaviciene D. Fungal Biomass Fermentation: Valorizing the Food Industry's Waste. *Fermentation*. 2025. Vol. 11, № 6ю P. 351. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation11060351>
8. Sivamaruthi B. S., Sisubalan N., Kesika P., Sureka I., Chaiyasut C. A concise review of the nutritional profiles, microbial dynamics, and health impacts of fermented mushrooms. *Journal of Food Science*. 2024. Vol. 89. P. 3973–3994. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17172>
9. Ambhore JP, Adhao VS, Rafique SS, Telgote A, Dhoran RS, Shende BA. A concise review: edible mushroom and their medicinal significance. *Explor Foods Foodomics*. 2024. Vol. 2. P. 183–94. DOI: <https://doi.org/10.37349/eff.2024.00033>;
10. Singh A., Saini R.K., Kumar A., Chawla P., Kaushik R. Mushrooms as Nutritional Powerhouses: A Review of Their Bioactive Compounds, Health Benefits, and Value-Added Products. *Foods*. 2025. Vol. 14, № 5. P. 741. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14050741>
11. Berger R.G., Ersoy F. Improved Foods Using Enzymes from Basidiomycetes. *Processes*. 2022. Vol. 10, № 4. P. 726. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10040726>
12. Ionescu M., Dincă M.-N., Ferdeş M., Zăbavă B.-Ş., Paraschiv G., & Moiceanu G. Proteins from Edible Mushrooms: Nutritional Role and Contribution to Well-Being. *Foods*. 2025. Vol. 14, № 18. P. 3201. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14183201>
13. Shin HJ, Ro HS, Kawauchi M, Honda Y. Review on mushroom mycelium-based products and their production process: from upstream to downstream. *Bioresour Bioprocess*. 2025. Vol. 12, №1. P. 3. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00836-7>
14. Rangel-Vargas E., Rodriguez, J.A., Domínguez R., Lorenzo J.M., Sosa, M.E., Andrés S.C., Rosmini M., Pérez-Alvarez J.A., Teixeira A., Santos E.M. Edible Mushrooms as a Natural Source of Food Ingredient/Additive Replacer. *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 2687. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112687>
15. Wan Mohtar W. H. M., Wan-Mohtar W. A. A. Q. I., Zahuri A. A., Ibrahim, F., Show P. L., Ilham Z., ... Rowan N. Role of ascomycete and basidiomycete fungi in meeting established and emerging sustainability opportunities: a review. (2022). *Bioengineered*. Vol. 13, №7–12. P. 14903–14935. DOI: <https://doi.org/10.1080/21655979.2023.2184785>
16. Баклуков Д.О., Литвиненко Ю.І., Круподьорова Т.А. Ферментація зернобобових харчових круп макроміцетами: сучасний стан досліджень та актуальні тенденції 2025. *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. Вип 2. P.7-15. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.2.1>
17. Zwinkels J., van Oorschot S., van Mastrigt O., Smid E.J. The potential of mycelium from mushroom-producing fungi in alternative protein production: a focus on fungal growth, metabolism, and nutrition. *Current Research in Food Science*. 2026. Vol. 12. P. 101278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101278>
18. Zawirska-Wojtasiak R., Siwulski M., Mildner-Szkudlarz S., Wąsowicz E. Studies on the aroma of different species and strains of *Pleurotus* measured by GC/MS, sensory analysis and electronic nose. 2009. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* Vol. 8, № 1. P. 47-61.
19. Zhou J., Feng T., Ye R. Differentiation of Eight Commercial Mushrooms by Electronic Nose and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Sensors*. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1155/2015/374013>
20. Aisalaa H., Solaa J., Hopiab A., Linderborga K.M., Sandellb M. Odor-contributing volatile compounds of wild edible Nordic mushrooms analyzed with HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-O/FID. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 283. P. 566–578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.053>
21. Yin C., Fan X., Fan Z., Shi D., Yao F., Gaoa H. Comparison of non-volatile and volatile flavor compounds in six *Pleurotus* mushrooms. *J Sci Food Agric*. 2019. Vol. 99. P. 1691–1699. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9358>
22. Bürger F., Koch, M., Fraatz M.A., Omarini A.B., Berger R.G., Zorn H. Production of an Anise- and Woodruff-like Aroma by Monokaryotic Strains of *Pleurotus sapidus* Grown on Citrus Side Streams. *Molecules*. 2022. Vol. 27. P. 651. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27030651>
23. Bisko N., Lomberg M., Mykchaylova O., Mytropolska N. IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.8. The IBK Mushroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany. 2024. Available online at: <https://ukraine.ipt.gbif.no/resource?r=ibk&v=1.8> (Accessed September 25, 2025).
24. Aisala H., Sola J., Hopia A., Linderborg K. M., Sandell M. Odor-contributing volatile compounds of wild edible Nordic mushrooms analyzed with HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-O/FID. *Food chemistry*. 2019. 283, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.053>
25. Metsalu T., Vilo J. ClustVis: a web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic acids research*. 2015. Vol. 43. P. 566–570. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkv468>
26. Boonthatui Y., Chongsuwat R., Kittisakulnam S. Production of antioxidant bioactive compounds during mycelium growth of *Schizophyllum commune* on different cereal media. *CMU Journal of Natural Sciences*. 2021. Vol. 20, No 2. e2021032. DOI: <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.032>
27. Soodpakdee K., Nacha J., Rattanachart N., Owatworakit A., Chamyuang S. Fermentation with *Pleurotus ostreatus* enhances the prebiotic properties of germinated Riceberry rice. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 839145. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.839145>.

28. Nacha J., Soodpakdee K., Chamyuang S. Nutritional improvement of germinated Riceberry rice (*Oryza sativa*) cultivated with *Pleurotus ostreatus* mycelium. *Trends in Sciences*. 2023. Vol. 20, No 9. P. 5574. DOI: <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5574>.

29. Espinosa-Páez E., Alanis-Guzmán M.G., Hernández-Luna C.E., Báez-González J.G., Amaya-Guerra C.A., Andrés-Grau A.M. Increasing antioxidant activity and protein digestibility in *Phaseolus vulgaris* and *Avena sativa* by fermentation with the *Pleurotus ostreatus* fungus. *Molecules*. 2017. Vol. 22, No 12. P. 2275. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22122275>.

30. Suruga K., Tomita T., Kadokura K. Soybean fermentation with basidiomycetes (medicinal mushroom mycelia). *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2020. Vol. 7. P. 23. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00189-1>

31. Чокань М.І. Основні аспекти сенсорного аналізу в харчовій промисловості *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.С. Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2025. Т. 27, № 103ю С. 94-98 DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10314>

References:

1. Porter, J., Cook, N., Coorey, R., Gunasekera, D., Hensher, M., Kerr, D. A., Pollard, C. M., Yoong, S., Dykes, G., & Lawrence, M. (2022). Innovation in Healthy and Sustainable Food Product Development for Health and Aged Care: A Scoping Review. *Foods*, *11*(22), 3604. <https://doi.org/10.3390/foods11223604>

2. Pakhucha, E. V., & Sievidova, I. O. (2022). Tendentsii rozvytku mizhnarodnoho rynku funktsional'nykh produk-tiv [Trends in development of the international market for functional products]. *Biznes-navihator*, *1*(68), 83–87 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32847/business-navigator.68-26>

3. Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of food science and technology*, *60*(3), 820–834. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>

4. Simakhina, H. O., & Naumenko, N. V. (2021). Zdobutky i perspektyvy vprovadzhennia innovatsii u kharchovii promyslovosti Ukrainy [Achievements and prospects of innovation implementation in the food industry of Ukraine]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Hraal nauky»*, *5*, 109–115 [in Ukrainian].

5. Kilian, D., & Hamm, U. (2021). Perceptions of Vegan Food among Organic Food Consumers Following Different Diets. *Sustainability*, *13*(17), 9794. <https://doi.org/10.3390/su13179794>;

6. Łuszczki, E., Boakye, F., Zielińska, M., Dereń, K., Bartosiewicz, A., Oleksy, Ł. & Stolarczyk, A. (2023). Vegan diet: nutritional components, implementation, and effects on adults' health. *Front. Nutr.* 10:1294497. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1294497>

7. Borkertas, S., Viskelis, J., Viskelis, P., Streimikyte, P., Gasiunaite, U., & Urbonaviciene, D. (2025). Fungal Bio-mass Fermentation: Valorizing the Food Industry's Waste. *Fermentation*, *11*(6), 351. <https://doi.org/10.3390/fermentation11060351>

8. Sivamaruthi, B. S., Sisubalan, N., Kesika, P., Sureka, I., & Chaiyasut, C. (2024). A concise review of the nutritional profiles, microbial dynamics, and health impacts of fermented mushrooms. *Journal of Food Science*, *89*, 3973–3994. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17172>

9. Ambhore, J.P., Adhao, V.S., Rafique, S.S., Telgote, A., Dhoran, R.S., & Shende, B.A. (2024). A concise review: edible mushroom and their medicinal significance. *Explor Foods Foodomics*, *2*, 183–94. <https://doi.org/10.37349/eff.2024.00033>;

10. Singh, A., Saini, R. K., Kumar, A., Chawla, P., & Kaushik, R. (2025). Mushrooms as Nutritional Powerhouses: A Review of Their Bioactive Compounds, Health Benefits, and Value-Added Products. *Foods*, *14*(5), 741. <https://doi.org/10.3390/foods14050741>

11. Berger, R. G., & Ersoy, F. (2022). Improved Foods Using Enzymes from Basidiomycetes. *Processes*, *10*(4), 726. <https://doi.org/10.3390/pr10040726>

12. Ionescu, M., Dincă, M.-N., Ferdeş, M., Zăbavă, B.-Ş., Paraschiv, G., & Moiceanu, G. (2025). Proteins from Edible Mushrooms: Nutritional Role and Contribution to Well-Being. *Foods*, *14*(18), 3201. <https://doi.org/10.3390/foods14183201>

13. Shin, H.J., Ro, H.S., Kawauchi, M., & Honda Y. (2025). Review on mushroom mycelium-based products and their production process: from upstream to downstream. *Bioresour Bioprocess*, *12*(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00836-7>

14. Rangel-Vargas, E., Rodriguez, J.A., Domínguez, R., Lorenzo, J.M., Sosa, M.E., Andrés, S.C., Rosmini, M., Pérez-Alvarez, J.A., Teixeira, A., & Santos, E.M. (2021). Edible Mushrooms as a Natural Source of Food Ingredient/Additive Replacer. *Foods*, *10*, 2687. <https://doi.org/10.3390/foods10112687>

15. Wan Mohtar, W. H. M., Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., Zahuri, A. A., Ibrahim, M. F., Show, P. L., Ilham, Z., ... Rowan, N. (2022). Role of ascomycete and basidiomycete fungi in meeting established and emerging sustainability opportunities: a review. *Bioengineered*, *13*(7–12), 14903–14935. <https://doi.org/10.1080/21655979.2023.2184785>

16. Bakhlukov, D. O., Lytvynenko, Yu. I., & Krupodorova, T. A. (2025). Fermentatsiia zernobobovykh kharchovykh krup makromitsetamy: suchasnyi stan doslidzhen ta aktualni tendentsii [Fermentation of legume food groats by macromycetes: Current state of research and relevant trends]. *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Seriia: Pryrodnychi nauky*, *2*, 7–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.2.1>

17. Zwinkels, J., van Oorschot, S., van Mastrigt, O., & Smid, E. J. (2026). The potential of mycelium from mushroom-producing fungi in alternative protein production: A focus on fungal growth, metabolism, and nutrition. *Current Research in Food Science*, *12*, 101278. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101278>

18. Zawirska-Wojtasiak, R., Siwulski, M., Mildner-Szkudlarz, S., & Wąsowicz, E. (2009). Studies on the aroma of different species and strains of *Pleurotus* measured by GC/MS, sensory analysis and electronic nose. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, *8*(1), 47–61.

19. Zhou, J., Feng, T., & Ye, R. (2015). Differentiation of eight commercial mushrooms by electronic nose and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Sensors*, 2015, Article 374013. <https://doi.org/10.1155/2015/374013>
20. Aisala, H., Sola, J., Hopia, A., Linderborg, K. M., & Sandell, M. (2019). Odor-contributing volatile compounds of wild edible Nordic mushrooms analyzed with HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-O/FID. *Food chemistry*, 283, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.053>
21. Yin, C., Fan, X., Fan, Z., Shi, D., Yao, F., & Gao, H. (2019). Comparison of non-volatile and volatile flavor compounds in six *Pleurotus* mushrooms. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(4), 1691–1699. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9358>
22. Bürger, F., Koch, M., Fraatz, M.A., Omarini, A.B., Berger, R.G., & Zorn, H. (2022). Production of an Anise- and Woodruff-like Aroma by Monokaryotic Strains of *Pleurotus sapidus* Grown on Citrus Side Streams. *Molecules*, 27, 651. <https://doi.org/10.3390/molecules27030651>
23. Bisko, N., Lomberg, M., Mykchaylova, O., & Mytropolska, N. (2024). IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.8. The IBK Mushroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany. Available online at: <https://ukraine.ipt.gbif.no/resource?r=ibk&v=1.8> (Accessed September 25, 2025).
24. Aisala H., Sola J., Hopia A., Linderborg K. M., Sandell M. Odor-contributing volatile compounds of wild edible Nordic mushrooms analyzed with HS-SPME-GC-MS and HS-SPME-GC-O/FID. *Food chemistry*. 2019. 283, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.053>
25. Metsalu, T., & Vilo, J. (2015). ClustVis: a web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic acids research*, 43(W1), W566–W570. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv468>
26. Boonthatui, Y., Chongsuwat, R., & Kittisakulnam, S. (2021). Production of antioxidant bioactive compounds during mycelium growth of *Schizophyllum commune* on different cereal media. *CMU Journal of Natural Sciences*, 20(2), e2021032. <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.032>
27. Soodpakdee K., Nacha J., Rattanachart N., Owatworakit A., & Chamyuang S. Fermentation with *Pleurotus ostreatus* enhances the prebiotic properties of germinated Riceberry rice. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 839145. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.839145>.
28. Nacha, J., Soodpakdee, K., & Chamyuang, S. (2023). Nutritional improvement of germinated Riceberry rice (*Oryza sativa*) cultivated with *Pleurotus ostreatus* mycelium. *Trends in Sciences*, 20(9), 5574. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5574>
29. Espinosa-Páez, E., Alanis-Guzmán, M. G., Hernández-Luna, C. E., Báez-González, J. G., Amaya-Guerra, C. A., & Andrés-Grau, A. M. (2017). Increasing antioxidant activity and protein digestibility in *Phaseolus vulgaris* and *Avena sativa* by fermentation with the *Pleurotus ostreatus* fungus. *Molecules*, 22(12), 2275. <https://doi.org/10.3390/molecules22122275>
30. Suruga, K., Tomita, T. & Kadokura, K. (2020). Soybean fermentation with basidiomycetes (medicinal mushroom mycelia). *Chem. Biol. Technol. Agric.* 7, 23 <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00189-1>
31. Chokan, M. I. (2025). Osnovni aspekty sensorного analizu v kharchovii promyslovosti [Main aspects of sensory analysis in the food industry]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhytskoho. Serii: Kharchovi tekhnologii*, 27(103), 94–98 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-fl0314>

Дата першого надходження статті до видання: 19.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.05.2026