

Вплив складу субстрату на врожайність і показники харчової цінності плодових тіл їстівних грибів *Pleurotus citrinopileatus* та *Cyclocybe aegerita*

І. І. Бандура^{1*}, А. С. Кулик¹, С. В. Макогон¹, О. В. Хареба², В. В. Хареба²

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, пр-т Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, Україна, *e-mail: irabandura@gmail.com

²Національна академія аграрних наук України, вул. М. Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 01010, Україна

Мета. Установити вплив складу субстратних композицій на технічні показники та хімічний склад плодових тіл гливи золотої та опенька тополевого. **Методи.** Схема експерименту включала вирощування двох видів дереворуйнівних грибів *Pleurotus citrinopileatus* Singer (штам 2161 IBK) та *Cyclocybe aegerita* (V.Bríg.) Vizzini (штам 2230 IBK) на трьох варіантах субстратних композицій. Застосовано лабораторні, лабораторно-виробничі методи оцінки ефективності технології вирощування, хімічного складу отриманої сировини, статистичні методи аналізу. **Результати.** Структура та склад субстратів впливають на технологічні характеристики культури, фізичні та хімічні властивості плодових тіл. Найкоротший цикл плодоношення ($35,2 \pm 1,7$ доби) визначено для культури *C. aegerita* за умов вирощування на субстраті СК1 з формулою «солома / лушпиння / гранули / ріпак / кукурудза / крейда» у співвідношенні 30 : 40 : 70 : 20 : 20 : 1. Найвищу врожайність ($170,5 \pm 15,2$ г на 1 кг субстрату) у досліді визначено для *P. citrinopileatus* на субстраті СК2 з формулою «солома / гранули / ріпак / кукурудза / крейда» у співвідношенні 40 : 90 : 20 : 25 : 1. Плодові тіла *P. citrinopileatus*, отримані із субстрату СК3 з формулою «гранули / ріпак / кукурудза / крейда» у співвідношенні 60 : 110 : 20 : 30 : 1, мали найвищий у досліді вміст білків – $22,47 \pm 0,19\%$, а найменшу кількість білків – $17,38 \pm 2,60\%$ – мали плодові тіла із субстрату СК1. Плодові тіла *C. aegerita* містили більше ліпідів порівняно з плодовими тілами *P. citrinopileatus*, але чинник впливу складу субстрату на загальну кількість ліпідів для деяких культиварів виявився несуттєвим. Найвищу кількість ендополісахаридів виділено з плодових тіл *C. aegerita* ($6,81 \pm 0,41\%$), отриманих із субстрату СК3, а найменшу – у варіанті СК1 ($1,38 \pm 0,25\%$). Уміст ендополісахаридів у плодових тілах *P. citrinopileatus* мав меншу варіативність: від $2,54 \pm 0,54$ (СК3) до $4,72 \pm 0,61\%$ (СК1). **Висновки.** Склад субстратних композицій суттєво впливає на біологічну ефективність культиварів та вміст нутрієнтів у плодових тілах досліджених видів. Отримані результати дають змогу грибівникам спрогнозувати ефективність виробництва та якість отриманих грибів відповідно до використання доступної сировини.

Ключові слова: культивування грибів; глива золота; опеньок тополевий; біологічна ефективність; хімічний склад.

Вступ

Екзотичні гриби вже стали невід'ємним складником раціонів функціонального харчування завдяки вмісту біоактивних речо-

вин з доведеною харчовою та лікарською цінністю. У країнах Азії, що є лідерами у виробництві та споживанні грибів, перевагу віддають дереворуйнівним грибам, і найпопулярнішими є шіітаке та різні види гливи: звичайна, степова, або королівська, легенева та інші. Але останніми роками стрімко зростає попит на гливу золоту, або лимонно-шляпкову *Pleurotus citrinopileatus* Singer («Gold mushroom») та опеньок тополевий *Cyclocybe aegerita* (V.Bríg.) Vizzini, відомий у країнах Європи та Америці під назвою «піо-пінно» [1, 2].

Гливу золоту цінують за яскравий насичено жовтий колір шапинки та специфічний легкий і приємний аромат морепродуктів,

Iryna Bandura

<http://orcid.org/0000-0001-7835-3293>

Alina Kulyk

<http://orcid.org/0000-0001-5403-3084>

Serhii Makohon

<http://orcid.org/0000-0002-4791-5115>

Olena Khareba

<https://orcid.org/0000-0002-6763-1988>

Volodymyr Khareba

<https://orcid.org/0000-0001-9947-2689>

який з'являється після короткотривалої термічної обробки [3]. Плодові тіла цього гриба містять $22,10 \pm 2,03\%$ протеїну, а в біомасі, отриманій методом глибинної культури, уміст білків досягає $36,2 \pm 1,2\%$ [3, 4]. За опублікованими даними [5], кількість ліпідів змінюється від 1,32 до 3,37%, але не перевищує 5%. Такі цікаві дієтичні особливості *P. citrinopileatus* доповнюються вмістом речовин з високим лікарським потенціалом, наприклад, виявленим у свіжих плодкових тілах нелектиновим глікопротеїном РСР-ЗА [6]. Дослідники [7, 8] підкреслюють високу протипухлинну здатність глікопротеїнів цього виду гриби, а також їхні антиоксидантні та гіпоглікемічні властивості.

Головною кулінарною особливістю опенька тополевого є збереження форми та структури плодкових тіл після відварювання – гриби залишаються щільними й хрусткими, зберігають темне забарвлення шапинки [9]. Але на додаток до високих харчових показників, плодові тіла опенька тополевого містять унікальні кераміди з доведеним протипухлинним потенціалом [10]. Було виявлено антиоксидантні властивості екстрагованих полісахаридів та їхню здатність до стабілізації колагену шкіри, що розкриває перспективи використання цих речовин як природних агентів або харчових добавок у геронтологічній практиці та для боротьби з віковими ускладненнями [11].

Яскраві та насичені кольори плодкових тіл гриби золотої та опенька тополевого завжди приваблюють споживачів. З іншого боку ці види мають багаторазово доведену харчову та лікарську цінність, що робить їх невід'ємним складником оздоровчого харчування у країнах Азії та Європи [1–4]. Ціна цих грибів є на порядок вищою порівняно з уже відомими печерицями та гливою звичайною, що обумовлює зацікавленість грибівників у вирощуванні означених видів. Вітчизняна адаптація відомих регламентів культивування гриби золотої та опенька тополевого значно уповільнюється за відсутності інформації щодо можливості використання доступних побічних продуктів сільського господарства та її впливу на якість грибної продукції. Дослідники підкреслюють значний вплив складу субстратних композицій та методів їх приготування на технічні показники вирощування грибної культури, на вміст органічних та мінеральних речовин у грибах, що, відповідно, змінює їхній смак та аромат [3, 4]. Зокрема, науковці з Кенії визначили, що утворення примордіїв *P. citrinopileatus* розпочиналось на 13-ту добу з

дати інокуляції на субстратах з соломи бобів, тоді як на субстраті з тирси – лише на 31-шу; біологічна ефективність культури становила 149% із субстрату на соломі бобів та знижувалася до менш ніж 1% за використання тирси [4]. Збагачення субстратів на основі соломи пшениці твердими відходами вигодовування бройлерів та зерном проса дало змогу дослідникам із США підвищити біологічну ефективність вирощування *S. aegerita* вп'ятеро. У тому ж досліді оптимальне співвідношення 70 : 10 : 20 компонентів у формулі субстрату «солома / відходи / просо» сприяло збільшенню вмісту білків у плодкових тілах *S. aegerita* до 37,6%, тоді як на субстраті із соломи пшениці цей показник становив 27,1% [12–14].

Основними компонентами субстратів для штучного вирощування *P. citrinopileatus* і *S. aegerita* є солома зернових культур та лушпиння соняшнику, вартість яких зростає щороку й суттєво залежить від логістики. Попередні дослідження довели можливість використання паливних гранул, виготовлених із лушпиння соняшнику, для підвищення ефективності вирощування дереворуйнівних грибів [15]. Але висока щільність такої сировини зумовлює зниження аераційних характеристик субстратів, що може впливати на фізіологічні та біохімічні показники культури.

Мета дослідження – установити вплив складу субстратних композицій на технічні та хімічні показники свіжих плодкових тіл гриби золотої (*P. citrinopileatus*) и опенька тополевого (*S. aegerita*).

Матеріали та методика досліджень.

Культури досліджуваних видів – штами *P. citrinopileatus* 2161 ІВК та *S. aegerita* 2230 ІВК, отримували з колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки імені Н. Г. Холодного та підтримували на живильному середовищі такого складу: агар-агар – 20 г, мальт-декстроза – 20 г, дріжджовий екстракт сухий – 2 г, вода – до 1 л. рН середовища доводили до показника $6,7 \pm 0,2$, 0,1N розчином КОН та стерилізували 35 хв за температури 121 °C [16].

Для виготовлення субстратних композицій використовували такі компоненти: місцево сировину – подрібнену до 5–7 мм солому ячменю та лушпиння соняшнику, а також паливні гранули з лушпиння. Склад субстратних композицій розраховували таким чином, щоб досягти співвідношення вмісту карбону до нітрогену (C : N) 20 : 1, відповідно до опублікованих даних [17]. До формули додавали насіння ріпаку, щоб за-

безпечити необхідний уміст ліпідів [18]. З іншого боку, вираховували формули композицій таким чином, щоб досягти оптимальних значень показників вологості (63–65%)

та щільності субстратів від 350 до 550 кг/м³ [15]. Необхідний уміст води розраховували з урахуванням початкової вологості сировини (табл. 1).

Таблиця 1
Співвідношення компонентів субстратних композицій (СК) за масою (кг)

Код композиції	Солома	Лушпиння	Гранули	Ріпак	Кукурудза	Крейда (CaCO ₃)	Вода
СК1	30	40	70	20	20	1	263
СК2	40	0	90	20	25	1	325
СК3	0	60	110	20	30	1	288
Вологість, %	11,5	8,8	7,5	10,5	7,8	12,3	100

Солому, лушпиння та насіння ріпаку заливали надлишком холодної води на 8–10 годин. Змочену сировину складали в ємності для змішування. Окремо готували гранули: додавали теплу воду (30–40 °С), змішували зволожені компоненти, додаючи мелену кукурудзу й крейду. Готові композиції пакували в поліпропіленові пакети 580 × 480 мм, що мали у верхній частині чотири фільтри розміром 20 × 480 мм, по 3250 ± 50 г у кожний. Субстрати стерилізували в промисловому автоклаві за температури 121 ± 3 °С протягом 120 хв. Субстрати, охолоджені до температури 26 ± 1 °С, інокулювали в асептичних умовах зерновим міцелієм культур по 3% за масою (100 ± 15 г на один пакет). Для кожного варіанта досліду було виготовлено по 30 пакетів. Проби субстрату відбирали після інокуляції (з п'яти пакетів по 50 г кожна) та перемішували. Усереднену пробу використовували для аналізу.

Щільність субстрату визначали за формулою:

$$\rho = m / V,$$

де ρ – щільність субстрату, кг/м³; m – маса субстрату, кг; V – об'єм одиниці субстрату, м³.

Об'єм субстратного блоку визначали за формулою:

$$V = \pi \times a \times b \times h,$$

де π – 3,14; a – велика піввісь пакету, що після вставлення на полицю мав форму еліпса, м; b – мала піввісь, м; h – висота субстрату, м.

Вологість рослинної сировини та виготовлених субстратів визначали гравіметричним методом за температури 102 ± 1 °С, але висушування зразків плодових тіл спочатку проводили за температури 45 °С з урахуванням особливостей грибної сировини, а потім досушували до абсолютно сухої маси за 92 ± 2 °С.

Концентрацію водневих іонів (рН) субстрату визначали за ДСТУ ISO 10390:2007: Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2007, IDT).

Уміст золи визначали так: зважували 3 г абсолютного сухого порошку плодового тіла в керамічних тиглях відомої маси, спалювали в муфельній печі за температури 550 ± 10 °С упродовж трьох годин та охолоджували зразки в ексикаторі. Вираховували відношення залишкової маси до початкової маси зразка у відсотках.

Уміст загального азоту визначали хлорамінним методом за Починком.

Відношення С/Н визначали за формулою $C/N = 0,5 (100 - a) / N$, де a – показник зольності, %; 0,5 – коефіцієнт умісту вуглеводів, корегований з урахуванням біохімічних особливостей сировини; N – уміст загального азоту в субстраті [20].

Аналіз технічних показників субстратів та хімічний аналіз грибів проводили у триразовій повторності для кожного циклу вирощування.

Субстрати інкубували за температури 23 ± 3 °С та вологості 65% у приміщенні. Освітлення використовували лише для контролювання розвитку культури.

Ініціацію плодоношення починали з 20-ї доби. Пакети розміщували в камері вирощування з відповідними мікрокліматичними умовами: температура повітря 14 ± 1 °С, відносна вологість повітря 91 ± 5%; уміст вуглекислого газу 1250 ± 150 ppm (0,12%). Освітленість підтримували на рівні 150–200 люкс протягом 8 ± 1 годину на добу. З урахуванням різного рівня полиць на стелажах відповідно підлоги й можливої різниці в мікрокліматичних умовах, пакети встановлювали рандомно. На пакетах з культурою *P. citrinopileatus* робили два розрізи розміром 100 ± 20 мм, але не звільняли субстрат від плівки. На пакетах з культурою *S. aegerita* робили розріз у верхній частині та відвертали на бік поліпропіленову плівку (рис. 1). Урожай збирали на стадії технічної зрілості до початку спороношення.

Свіжі плодові тіла для біохімічного аналізу збирали з різних блоків відповідно до ва-

ріанта досліджу, висушували за температури 55 ± 3 °C протягом 8–10 годин і подрібнювали до стану борошна. Перед проведенням аналізу пробу додатково висушували за температури 102 ± 2 °C та охолоджували в ексикаторі.

Уміст вологи, кількості загального азоту й золи визначали за наведеними вище методиками у триразовій повторності. Уміст ліпідів визначали екстракцією зразків грибів (абсолютно сухої маси) у петролейному ефірі як розчиннику, використовуючи апарат Сокслета.

Уміст загального азоту на вміст сирих протеїнів перераховували з використанням коефіцієнта 4,38 у перерахунку на кількість перетравлюваних в організмі людини [16].



Рис. 1. Типи отворів на поліпропіленових пакетах для стимулювання плодоношення:

- а) два розміри 100 ± 20 мм для *P. citrinopileatus*;
б) один великий розмір для *C. aegerita*

Ендополісахариди (ендоПС) із сухої речовини екстрадували за такою методикою: до 10 мл дистильованої води додавали 2 г порошку з плодових тіл та ретельно перемішували; протягом 16 годин витримували в духовій шафі за температури $98 \pm 0,1$ °C; до отриманого екстракту додавали 96%-й етиловий спирт у співвідношенні 1 : 2 (за об'є-

мом) для осадження полісахаридів та відстоювали 24 години за температури 4 °C. Осад відокремлювали центрифугуванням за 5000 об/хв протягом 25 хвилин. Осад розчиняли додаванням 20–30 мл гарячої деонізованої води (90 ± 1 °C). Суспензовану фракцію ендополісахаридів висушували за 60 °C протягом 8 годин. Кількість ендополісахаридів у сухій речовині визначали гравіметрично та розраховували за формулою: *маса ендополісахаридів / маса зразка* × 100% [19].

Кількість вуглеводів у відсотках, за винятком ендополісахаридів, розраховували за формулою: *100 - кількість протеїнів (%) - кількість ліпідів (%) - кількість зольних елементів (%) - кількість ендополісахаридів (%)*.

Співвідношення C/N у субстраті визначали за формулою:

$$C/N = 0,52 (100 - a) / N,$$

де *a* – уміст золи, %; 0,52 – усереднений коефіцієнт умісту карбону, *N* – уміст загального нітрогену, % [20].

Урожай з кожного окремого пакету розраховували за відношенням маси зібраних грибів у грамах на кілограм маси виготовленого субстрату.

Біологічну ефективність (БЕ) культиварів розраховували за формулою:

$$БЕ = \frac{M_{пт}}{M_{сп}} \times 100\%,$$

де *M_{пт}* – маса сирих плодових тіл; *M_{сп}* – маса сухих речовин субстрату [21].

Статистичний аналіз отриманих результатів проводили за допомогою пакету Microsoft Office Excel 2016 MSO та вбудованої до нього програми QI Macros 2020. Проводили одно- та двофакторний аналіз ANOVA («a» – найвищий показник у досліді), для порівняння середніх у групах використовували U-тест (Mann–Whitney). Найменшу істотну різницю знаходили з використанням рівня значущості *p* = 0,05.

Результати досліджень

За результатами аналізу складу виготовлених субстратних композицій визначено відмітності в показниках умісту зольних елементів та щільності (табл. 2).

У субстратах СК1 та СК2, до складу яких уходила солома, було визначено вищі показники вмісту золи порівняно з СК3, у якому використовували лише відходи соняшнику. Останнє відповідає літературним даним щодо складу сировинних матеріалів [22]. Також субстрат СК3 суттєво відрізнявся від інших за показником щільності (568 ± 21 кг/м³), що пов'язано з відсутністю достатньо крупної

Таблиця 2

Характеристика субстратних композицій у досліді (середнє ± стандартна похибка)

Код	Вологість (%)	Нітроген загальний (%)	Зола (%)	Співвідношення С/Н	Щільність (кг/м ³)
СК1	63,4 ± 1,8	2,25 ± 0,21	4,6а ± 0,4	21,2 ± 0,8/1	337b ± 29
СК2	65,9 ± 1,7	2,38 ± 0,15	4,8а ± 0,7	20,0 ± 1,3/1	315b ± 42
СК3	63,9 ± 2,1	2,29 ± 0,29	3,6b ± 0,5	21,1 ± 1,0/1	568а ± 21
НІР _{0,05}	1,9	0,25	0,93	1,7	75

фракції соломи. Показники вологості та вмісту основних елементів живлення в розрахованих композиціях не відрізнялися, що свідчить про можливість теоретичного розрахунку формули субстрату за результатами аналізу сировинних матеріалів. За результатами статистичного аналізу доведено суттє-

вий вплив складу субстратних композицій на строк вегетативного розвитку культур у субстраті, закінчення якого визначалося датою утворення перших примордіїв, а також на показники загальної врожайності та біологічної ефективності культиварів (табл. 3).

Таблиця 3

Показники культивування *S. aegerita* та *P. Citrinopileatus* (середнє за 3 цикли вирощування ± стандартна похибка) (2019–2020 рр.)

Культура	СК	Утворення примордіїв (доба)	Збирання врожаю (доба)	Загальна врожайність (г/кг)	Біологічна ефективність (%)
<i>S. aegerita</i>	1	25,3с ± 1,45	35,22b ± 1,66	122,7а ± 23,1	31,46b ± 5,92
	2	28,2b ± 0,80	38,20ab ± 1,36	123,3а ± 22,7	35,27ab ± 6,48
	3	29,8ab ± 0,41	38,58ab ± 0,35	132,1а ± 11,5	33,87ab ± 2,95
<i>P. citrinopileatus</i>	1	26,3bc ± 1,62	41,18а ± 2,43	167,5а ± 27,2	42,95ab ± 6,96
	2	24,8с ± 1,02	40,00а ± 2,51	170,5а ± 15,2	48,71а ± 4,35
	3	32,0а ± 0,95	39,60ab ± 1,25	45,5b ± 4,6	11,66с ± 1,18
НІР _{0,05}	–	3,2	4,51	58,9	15,22
<i>p</i>	–	0,001	0,156	0,013	0,007

Найкоротший строк утворення примордіїв у досліді зафіксовано за вирощування *P. citrinopileatus* з використанням субстратної композиції СК2, а найдовший – також для цієї культури – на субстраті СК3 (24,80 ± 1,02 та 32,00 ± 0,95 доби відповідно).

Культури колонізували субстрати та починали утворювати примордії у різні строки. Найшвидший розвиток *S. aegerita* визначено на субстраті СК1 (25,33 ± 1,45 доби), тоді як культура *P. citrinopileatus* була активнішою на СК2 (24,80 ± 1,02 доби). Слід зазначити, що на субстраті СК3 в обох культур примордії з'являлися суттєво пізніше: *S. aegerita* на 29,84 ± 0,41 доби, а *P. citrinopileatus* на 32,00 ± 0,95 доби.

Суттєвої різниці між терміном закінчення збирання врожаю для вирощених культур двохфакторним аналізом даних ANOVA не виявлено ($p = 0,156$), але після порівняння методом Mann–Whitney U-Test окремих груп середніх, достовірно більшу тривалість плодоношення ($p < 0,05$) було визначено для культури *P. citrinopileatus*. Найкоротший цикл у досліді мала культура *S. aegerita* за використання субстрату СК1 (35,22 ± 1,66 доби).

Склад субстратних композицій суттєво ($p = 0,013$) впливав на врожайність досліджу-

ваних видів. У досліді найбільшу масу плодівих тіл було зібрано з культури *P. citrinopileatus* на СК1 і СК2 (167,5 ± 27,2 і 170,5 ± 15,2 г на 1 кг субстрату відповідно). Найнижчу врожайність у досліді (45,5 ± 4,6 г/кг) визначено також для цієї культури на субстраті СК3.

Загальний показник урожайності культивару *S. aegerita* в досліді (122,7...132,1 г/кг) був нижчим, ніж відомі наукові дані. Наприклад, за використання композиції із соломи пшениці, твердих відходів вирощування бройлерів та насіння проса у співвідношенні 70 : 20 : 10, дослідники отримували до 770,5 ± 118,4 г свіжих грибів з 5000 г субстрату [12]. Але отримані в досліді результати значно перевищують показники врожайності для *S. aegerita*, що вирощували на березовій тирсі (87 г/кг) [13]. Отримані показники врожайності *P. citrinopileatus* підтверджують результати [4] з визначенням низької ефективності цього виду за умов використання субстратів з високою щільністю. Також практично співпадали показники врожайності за вирощування на подібних рослинних рештках: на соломі – 109,6 г, на цукровій тростині – 177,1 г.

За результатами статистичного аналізу визначено достовірний вплив складу суб-

страту на біологічну ефективність (БЕ) культури *P. citrinopileatus* ($p = 0,006$), тоді як для культури *S. aegerita* суттєвої різниці за цим показником між варіантами досліду не виявлено ($p = 0,877$). Найвищий показник БЕ в досліді було отримано за умов культивування *P. citrinopileatus* на субстраті СК2 ($48,71 \pm 4,35\%$), а найменший ($11,66 \pm 1,18\%$) – на субстраті СК3 для цієї ж культури. Показник БЕ *S. aegerita* в досліді незначно варіювався від $31,46 \pm 5,92\%$ (СК1) до $35,27 \pm 6,48\%$ (СК2). Слід зазна-

чити, що результати проведеного аналізу були вищими порівняно з показниками БЕ *S. aegerita*, які отримали американські науковці [12] за умов використання субстратів із низьким співвідношенням карбону до нітрогену (C/N), де БЕ становила $6,3 \pm 2,4\%$ за C/N = 13/1 та $9,4 \pm 4,1\%$ у разі C/N = 30/1.

У результаті аналізу отриманих даних визначено суттєвий вплив субстратів на хімічний склад плодівих тіл досліджуваних видів (табл. 4).

Таблиця 4

Хімічні показники плодівих тіл *S. aegerita* та *P. citrinopileatus* за варіантами досліду

Види	СК	Сирий протеїн (%)	Ліпіди (%)	Ендополісахариди (%)	Інші полісахариди (%)	Зола (%)	Суша речовина (%)
<i>S. aegerita</i>	1	19,62ab ± 0,30	2,59a ± 0,08	3,38bc ± 0,89	72,79 ± 1,15	1,64b ± 0,55	8,67b ± 0,49
	2	20,53ab ± 0,60	2,77a ± 0,56	1,38c ± 0,25	73,86 ± 0,83	1,47b ± 0,35	10,52a ± 0,15
	3	21,78a ± 0,52	2,30ab ± 0,10	6,81a ± 0,41	61,45 ± 1,12	7,47a ± 0,17	10,11a ± 0,23
<i>P. citrinopileatus</i>	1	17,38b ± 2,60	1,41b ± 0,19	4,72b ± 0,61	67,38 ± 1,64	9,12a ± 1,42	10,33a ± 0,29
	2	20,45ab ± 0,90	1,41b ± 0,05	3,12bc ± 0,95	64,90 ± 1,80	10,14a ± 1,19	8,87b ± 0,05
	3	22,47a ± 0,19	1,63b ± 0,41	2,54c ± 0,54	65,90 ± 1,63	7,65a ± 0,26	8,22b ± 0,03
HP _{0,05}		3,63	0,93	2,03	–	2,76	0,80
<i>p</i>		0,111	0,021	0,001	–	0,0001	0,0001

Найвищий у досліді вміст протеїнів ($22,47 \pm 0,19\%$) визначено в плодівих тілах *P. citrinopileatus*, які вирощували на субстраті СК3, а найменший для цього ж виду ($17,38 \pm 2,60\%$) – у разі використання СК1. Слід зазначити, що в обох культиварів плодіві тіла отримані з СК3 мали найбільшу кількість протеїнів, тоді як вирощені на СК1 – найменшу.

Уміст ліпідів у плодівих тілах *S. aegerita* був суттєво вищим ($p = 0,021$) порівняно з цим показником у *P. citrinopileatus*, але чинник впливу складу субстрату на загальну кількість жирів для окремих культиварів виявився несуттєвим. Максимальну кількість ліпідів ($2,77 \pm 0,56\%$) містили плодіві тіла *S. aegerita*, отримані з СК2, а найменшу – плодіві тіла *P. citrinopileatus* на субстратах СК1 та СК2 ($1,41\%$).

Згідно з результатами статистичного аналізу даних було доведено суттєві відмінності за показником вмісту ендополісахаридів у плодівих тілах культиварів, отриманих на різних субстратах ($p = 0,001$). Зокрема, найвищу кількість ендополісахаридів ($6,81 \pm 0,41\%$) було виділено з плодівих тіл *S. aegerita*, що вирощували на СК3, а найменшу ($1,38 \pm 0,25\%$) – на СК1. Уміст ендополісахаридів у плодівих тілах *P. citrinopileatus* мав меншу варіативність: від $2,54 \pm 0,54$ (СК3) до $4,72 \pm 0,61$ (СК1). Показники вмісту інших полісахаридів були розрахованими, але найвище їх значення за-

фіксовано в плодівих тілах *S. aegerita* на субстраті СК2 ($73,86 \pm 0,83\%$), найменше, також для цього культивару, – на субстраті СК3 ($61,45 \pm 1,12\%$).

У результаті порівняння середніх методом Mann–Whitney U-Test було визначено суттєву відмінність між досліджуваними культурами за показником вмісту золи. Найвищий показник мали плодіві тіла *P. citrinopileatus*, отримані із субстрату СК2 ($10,14 \pm 1,19\%$), найменший – плодіві тіла *S. aegerita* із субстратів того ж складу ($1,47 \pm 0,35\%$).

За результатами двохфакторного статистичного аналізу визначено суттєвий вплив складу субстратних композицій на вміст сухих речовин (СР) у плодівих тілах культиварів. Найвищий вміст СР мали гриби *S. aegerita* із субстрату СК2 ($10,52 \pm 0,15\%$), найменший – *P. citrinopileatus* з СК3 ($8,22 \pm 0,03\%$). Цікаво, що згідно з однофакторним аналізом у плодівих тілах *P. citrinopileatus*, вирощених на субстраті СК1, був найвищий вміст СР ($10,33 \pm 0,29\%$), тоді як плодіві тіла *S. aegerita* на такому ж субстраті мали найнижчий показник ($8,67 \pm 0,49\%$).

Хімічний склад отриманих плодівих тіл збігається з результатами попередніх дослідників [23]. Наприклад, за умов культивування *S. aegerita* на субстратах з додаванням ферментованого курячого посліду вміст ліпідів у плодівих тілах варіював від 1,02 до 2,28%, тоді як вміст сирих протеїнів – від 27,1 до 37,6% за умов використання компо-

зиції «солома / відходи / просо» у співвідношенні 70 : 10 : 20 [12]. Згідно з даними Musieba [24], плодові тіла «золотої гливи» містили $22,10 \pm 2,03\%$ сирих протеїнів на субстратах, що містили солому. Отже, досліджені субстратні композиції дають змогу отримувати плодові тіла *P. citrinopileatus* та *C. aegerita* із задовільними показниками харчової цінності.

Висновки

Досліджено можливість використання побічної продукції сільського господарства для ефективного вирощування дереворуйнівних грибів *P. citrinopileatus* та *C. aegerita*. Визначено суттєвий вплив складу субстратів на технологічні та хімічні показники досліджених культур. Доведено ефективність використання субстратної композиції із соломи ячменю, паливних гранул з лушпиння соняшнику, насіння ріпаку, кукурудзяної муки та крейди у співвідношенні 40 : 90 : 20 : 25 : 1 за масовими частками. Отримані результати дали змогу позитивно оцінити харчову цінність плодівих тіл за вмістом сирих протеїнів у перерахунок на кількість перетравних в організмі людини – від 17,38 до 22,47% за сухою речовиною в *P. citrinopileatus* та від 19,62 до 21,78% – у *C. aegerita*. Наявність ендополісахаридів у плодівих тілах *P. citrinopileatus* (2,54–4,72%) та *C. aegerita* (1,38–6,81%) указує на можливість їхнього використання як джерела функціональних речовин в оздоровчому харчуванні.

Використана література

- Prasad S., Rathore H., Sharma S., Yadav A. S. Medicinal mushrooms as a source of novel functional food. *Int. J. Food Sci. Nutr. Diet.* 2015. Vol. 04, Iss. 5. P. 221–225. doi: 10.19070/2326-3350-1500040
- Royce D. J., Baars J., Tan Q. Current overview of mushroom production in the world. *Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications* / C. Zied Diego, A. Pardo-Giménez (Eds.). New York, NY : John Wiley & Sons, 2017. P. 5–13. doi: 10.1002/9781119149446.ch2
- Miyazawa M., Dejima Y., Takahashi T. et al. Characteristic Odor Components of Essential Oil from Dried Fruiting Bodies of Golden Oyster Mushroom (*Pleurotus citrinopileatus*). *J. Essent. Oil Res.* 2011. Vol. 43, Iss. 3. P. 58–63. doi: 10.1080/10412905.2011.9700459
- Musieba F., Okoth S. First record of the occurrence of *Pleurotus citrinopileatus* Singer on new hosts in Kenya. *Agric. Biol. J. North Am.* 2011. Vol. 2, Iss. 9. P. 1304–1309. doi: 10.5251/abjna.2011.2.9.1304.1309
- Тарнопольская В. В., Алаудинова Е. В., Саволайнен А. С., Поптопуло С. И. Химический состав глубинной культуры ксилотрофных базидиомицетов рода *Pleurotus*. *Хвойные бореальной зоны*. 2014. Т. 32, № 1–2. С. 78–80.
- Chen P. H., Weng Y. M., Lin S. M. et al. Molecular weight affected antioxidant, hypoglycemic and hypotensive activities of cold-water extract from *Pleurotus citrinopileatus*. *J. Food Sci.* 2017. Vol. 82, Iss. 10. P. 2456–2461. doi: 10.1111/1750-3841.13851
- Minato K. I. Immunomodulation activity of a polysaccharide fraction of a culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus citrinopileatus* Singer (Agaricomycetidae), *in vitro*. *Int. J. Med. Mushrooms.* 2008. Vol. 10, Iss. 3. P. 235–244. doi: 10.1615/IntJMedMushr.v10.i3.40
- Sheng Y., Zhao C., Zheng S. et al. Anti-obesity and hypolipidemic effect of water extract from *Pleurotus citrinopileatus* in C57 BL/6J mice. *Food Sci. Nutr.* 2019. Vol. 7, Iss. 4. P. 1295–1301. doi: 10.1002/fsn3.962
- Бандура І. І., Кулик А. С., Коляденко В. В. Ксилотрофні гриби як джерело біоактивних речовин для функціонального харчування. *Праці Таврійського держ. агротехнол. ун-ту*. 2020. Т. 2, Вип. 20. С. 132–140. doi: 10.31388/2078-0877-20-2-132-141
- Diyabalanage T., Mulabagal V., Mills G. et al. Health-beneficial qualities of the edible mushroom, *Agrocybe aegerita*. *Food Chem.* 2008. Vol. 108, Iss. 1. P. 97–102. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.10.049
- Jing H., Li J., Zhang J. et al. The antioxidative and anti-aging effects of acidic-and alkalic-extractable mycelium polysaccharides by *Agrocybe aegerita* (Brig.) Sing. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. Vol. 106. P. 1270–1278. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.138
- Isikhuemhen O. S., Mikiashvili N. A., Kelkar V. Application of solid waste from anaerobic digestion of poultry litter in *Agrocybe aegerita* cultivation: mushroom production, lignocellulolytic enzymes activity and substrate utilization. *Biodegradation.* 2009. Vol. 20, Iss. 3. P. 351–361. doi: 10.1007/s10532-008-9226-y
- Jasińska A., Siwulski M., Sobieralski K. Mycelium growth and yielding of black poplar mushroom – *Agrocybe aegerita* (Brig.) Sing. on different substrates. *J. Agric. Sci. Technol.* 2012. Vol. 2, Iss. 9. P. 1040–1047.
- Kleofas V., Sommer L., Fraatz M. A. et al. Fruiting body production and aroma profile analysis of *Agrocybe aegerita* cultivated on different substrates. *Nat. Res.* 2014. Vol. 5, Iss. 6. P. 233–240. doi: 10.4236/nr.2014.56022
- Бандура І. І., Кулик А. С., Чаусов С. В., Цизь О. М. Вплив складу рослинних субстратів на ефективність культивування їстівних грибів *Cyclocybe aegerita* (V.Brig.), *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel., *Pleurotus citrinopileatus* Singer та *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer. *Вісн. аграр. науки Причорномор'я*. 2020. № 3. С. 62–71. doi: 10.31521/2313-092X/2020-3(107)-8
- Бухало А. С., Дудка І. А. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев : Наукова думка, 1988. 144 с.
- Wanzenböckab E., Apprichab S., Tirpanalanab Ö. et al. Wheat bran biodegradation by edible *Pleurotus* fungi – A sustainable perspective for food and feed. *LWT – Food Sci. Technol.* 2017. Vol. 86. P. 123–131. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.051
- Pardo-Giménez A., Catalán L., Carrasco J. et al. Effect of supplementing crop substrate with defatted pistachio meal on *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* production. *J. Sci. Food Agric.* 2016. Vol. 96, Iss. 11. P. 3838–3845. doi: 10.1002/jsfa.7579
- Бороменський Д. О., Бісько Н. А. Вплив умов культивування на накопичення біомаси та ендополісахаридів грибами роду *Ganoderma* (Ganodermataceae). *Ukr. Bot. J.* 2020. Т. 77, № 2. С. 117–123. doi: 10.15407/ukrbotj77.02.117
- Зенова Г. М., Степанов А. Л., Лихачева А. А., Манучарова Н. А. Практикум по биологии почв. Москва : Изд-во МГУ, 2002. 120 с.
- The biology and cultivation of edible mushrooms / S. T. Chang, & W. A. Hayes (Eds.). New York, NY : Academic press, 2013. 842 p.
- Харьков В. В., Тунцев Д. В., Кузнецов М. Г. Термохимическая переработка лузги подсолнечника. *Вестник Казанского ГАУ*. 2018. № 4. С. 130–134. doi: 10.12737/article_5c3de39d111083.70940804
- Shevale S. B., Deshmukh H. V. Yield performance and nutritional analysis of *Pleurotus* species on different agro wastes and vegetable wastes. *Int. J. Plant Prot.* 2016. Vol. 9, Iss. 1. P. 162–167. doi: 10.15740/HAS/IJPP/9.1/162-167

24. Musieba F., Okoth S., Mibey R. K. et al. Proximate composition, amino acids and vitamins profile of *Pleurotus citrinopileatus* Singer: an indigenous mushroom in Kenya. *Am. J. Food Technol.* 2013. Vol. 8, Iss. 3. P. 200–206. doi: 10.3923/ajft.2013.200.206

References

- Prasad, S., Rathore, H., Sharma, S., & Yadav, A. S. (2015). Medicinal mushrooms as a source of novel functional food. *Int. J. Food Sci. Nutr. Diet.*, 04(5), 221–225. doi: 10.19070/2326-3350-1500040
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In C. Zied Diego, & A. Pardo-Giménez (Eds.), *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications* (pp. 5–13). New York, NY: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781119149446.ch2
- Miyazawa, M., Dejima, Y., Takahashi, T., Matsuda, N., & Ishikawa, R. (2011). Characteristic Odor Components of Essential Oil from Dried Fruiting Bodies of Golden Oyster Mushroom (*Pleurotus citrinopileatus*). *J. Essent. Oil Res.*, 23(3), 58–63. doi: 10.1080/10412905.2011.9700459
- Musieba, F., & Okoth, S. (2011). First record of the occurrence of *Pleurotus citrinopileatus* Singer on new hosts in Kenya. *Agric. Biol. J. North Am.*, 2(9), 1304–1309. doi: 10.5251/abjna.2011.2.9.1304.1309
- Tarnopol'skaya, V. V., Alaudinova, E. V., Savolaynen, A. S., & Rop-topulo, S. I. (2014). Chemical composition of *Pleurotus xylo-troph* basidiomycetes in submerged culture. *Hvojnje boreal'noj zony* [Conifers of the Boreal Area], 32(1–2), 78–80. [in Russian]
- Chen, P. H., Weng, Y. M., Lin, S. M., Yu, Z. R., & Wang, B. J. (2017). Molecular weight affected antioxidant, hypoglycemic and hypotensive activities of cold-water extract from *Pleurotus citrinopileatus*. *J. Food Sci.*, 82(10), 2456–2461. doi: 10.1111/1750-3841.13851
- Minato, K. I. (2008). Immunomodulation activity of a polysaccharide fraction of a culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus citrinopileatus* Singer (Agaricomycetideae), *in vitro*. *Int. J. Med. Mushrooms*, 10(3), 235–244. doi: 10.1615/IntJMedMushr.v10.i3.40
- Sheng, Y., Zhao, C., Zheng, S., Mei, X., Huang, K., Wang, G., & He, X. (2019). Anti-obesity and hypolipidemic effect of water extract from *Pleurotus citrinopileatus* in C57 BL/6J mice. *Food Sci. Nutr.*, 7(4), 1295–1301. doi: 10.1002/fsn3.962
- Bandura, I. I., Kulyk, A. S., & Koliadenko, V. V. (2020). Xylo-trophic mushrooms as a source of bioactive substances for functional nutrition. *Praci Tavrijs'kogo deržavnogo agrotehnologičnogo universitetu* [Proceedings of the Tavria State Agro-technological University], 20(2), 132–140. doi: 10.31388/2078-0877-20-2-132-141 [in Ukrainian]
- Diyabalanage, T., Mulabagal, V., Mills, G. L., DeWitt, D. L., & Nair, M. G. (2008). Health-beneficial qualities of the edible mushroom, *Agrocybe aegerita*. *Food Chem.*, 108(1), 97–102. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.10.049
- Jing, H., Li, J., Zhang, J., Wang, W., Li, S., Ren, Z., ... Jia, L. (2018). The antioxidative and anti-aging effects of acidic and alkalic-extractable mycelium polysaccharides by *Agrocybe aegerita* (Brig.) Sing. *Int. J. Biol. Macromol.*, 106, 1270–1278. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.138
- Isikhuemhen, O. S., Mikiashvili, N. A., & Kelkar, V. (2009). Application of solid waste from anaerobic digestion of poultry litter in *Agrocybe aegerita* cultivation: mushroom production, lignocellulolytic enzymes activity and substrate utilization. *Biodegradation*, 20(3), 351–361. doi: 10.1007/s10532-008-9226-y
- Jasińska, A., Siwulski, M., & Sobieralski, K. (2012). Mycelium growth and yielding of black poplar mushroom – *Agrocybe aegerita* (Brig.) Sing. on different substrates. *J. Agric. Sci. Technol.*, 2(9), 1040–1047.
- Kleofas, V., Sommer, L., Fraatz, M. A., Zorn, H., & Rühl, M. (2014). Fruiting body production and aroma profile analysis of *Agrocybe aegerita* cultivated on different substrates. *Nat. Res.*, 5(6), 233–240. doi: 10.4236/nr.2014.56022
- Bandura, I., Kulyk, A., Chausov, S., & Tsyž, O. (2020). Influence of plant substrate composition on the efficiency of edible mushrooms cultivation *Cyclocybe aegerita* (V.Brīg.), *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel., *Pleurotus citrinopileatus* Singer and *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer. *Visnik agrarnoi nauki Pričornomor'â* [Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science], 3, 62–71. doi: 10.31521/2313-092X/2020-3(107)-8 [in Ukrainian]
- Bukhalo, A. S., & Dudka, I. A. (1988). *Vysšhiye syedobnyye bazidiomitsety v chistoy kulture* [Higher edible basidiomycetes in pure culture]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]
- Wanzenböck, E., Apprigh, S., Tirpanalan, Ö., Zitz, U., Kracher, D., Schedle, K., & Kneifel, W. (2017). Wheat bran biodegradation by edible *Pleurotus* fungi – A sustainable perspective for food and feed. *LWT – Food Science and Technology*, 86, 123–131. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.051
- Pardo-Giménez, A., Catalán, L., Carrasco, J., Álvarez-Ortí, M., Zied, D., & Pardo, J. (2016). Effect of supplementing crop substrate with defatted pistachio meal on *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* production. *J. Sci. Food Agric.*, 96(11), 3838–3845. doi: 10.1002/jsfa.7579
- Boromenskyi, D. O., & Bisko, N. A. (2020). Influence of cultivation conditions on biomass and endopolysaccharide production by species of the genus *Ganoderma* (Ganodermataceae). *Ukr. Bot. J.*, 77(2), 117–124. doi: 10.15407/ukrbotj77.02.117 [in Ukrainian]
- Zenova, G. M., Stepanov, A. L., Likhacheva, A. A., & Manucharova, N. A. (2002). *Praktikum po biologii pochv* [Soil Biology Workshop]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. [in Russian]
- Chang, S. T., & Hayes, W. A. (Eds.). (2013). *The biology and cultivation of edible mushrooms*. New York, NY: Academic Press.
- Harkov, V. V., Tuncev, D. V., & Kuznecov, M. G. (2018). Thermochemical processing of sunflower husk. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], 4, 130–134. doi: 10.12737/article_5c3de39d111083.70940804 [in Russian]
- Shevale, S. B., & Deshmukh, H. V. (2016). Yield performance and nutritional analysis of *Pleurotus* species on different agro wastes and vegetable wastes. *Int. J. Plant Prot.*, 9(1), 162–167. doi: 10.15740/HAS/IJPP/9.1/162-167
- Musieba, F., Okoth, S., Mibey, R. K., Wanjiku, S., & Moraa, K. (2013). Proximate composition, amino acids and vitamins profile of *Pleurotus citrinopileatus* Singer: an indigenous mushroom in Kenya. *Am. J. Food Technol.*, 8(3), 200–206. doi: 10.3923/ajft.2013.200.206

UDC 635.89/577.11

Bandura, I. I.¹, Kulyk, A. S.¹, Makohon, S. V.¹, Khareba, O. V.², & Khareba, V. V.² (2021). Influence of the substrate composition on the yield and nutritional value of the fruiting bodies of the edible mushrooms *Pleurotus citrinopileatus* and *Cyclocybe aegerita*. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(2), 130–138. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.17.2.2021.236514>

¹Dmytro Motorny Tavriia State Agrotechnological University, 18 Bohdana Khmelnytskoho Ave., Melitopol, Zaporizhzhia region, 72312, Ukraine, *e-mail: irabandura@gmail.com

²National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 9 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., Kyiv, 01010, Ukraine

Purpose. To reveal the influence of the substrate compositions on technical indicators and chemical composition of the fruit bodies of the golden oyster mushroom and poplar mushroom. **Methods.** The experimental design included cultivation of two species of wood-decay fungi *Pleurotus citrinopileatus* Singer (strain 2161 IVK) and *Cyclocybe aegerita* (V.Brig.) Vizzini (strain 2230 IVK) on three variants of substrate composition. Laboratory, laboratory-production methods for evaluating the effectiveness of growing technology, chemical composition of the obtained raw materials, statistical methods of analysis were applied. **Results.** The structure and composition of substrates affected the technological characteristics of the culture, physical and chemical properties of fruit bodies. The shortest fruiting cycle of 35.2 ± 1.7 days was determined for *C. aegerita* grown on SC1 substrate which contained "straw / husk / granules / rapeseed / corn / chalk" in the ratio of 30: 40: 70: 20: 20: 1. The highest yield (170.5 ± 15.2 g per 1 kg of substrate) in the experiment was determined for *P. citrinopileatus* on SC2 substrate composed of "straw / granules / rapeseed / corn / chalk" in the ratio 40: 90: 20: 25: 1. Fruit bodies of *P. citrinopileatus* obtained from the SC3 substrate consisted of

"granules / rapeseed / corn / chalk" in the ratio 60: 110: 20: 30: 1 had the highest protein content – $22.47 \pm 0.19\%$, and fruiting bodies from the SC1 substrate had the least amount of proteins – $17.38 \pm 2.60\%$. Fruiting bodies of *C. aegerita* contained more lipids than those of *P. citrinopileatus*, but the factor of the influence of the substrate composition on the total amount of lipids for some cultivars was insignificant. The maximum amount of endopolysaccharides was isolated from the fruit bodies of *C. aegerita* ($6.81 \pm 0.41\%$) obtained from the SC3 substrate, and the smallest in the SC1 variant ($1.38 \pm 0.25\%$). The content of endopolysaccharides in the fruiting bodies of *P. citrinopileatus* had less variability from 2.54 ± 0.54 (SC3) to $4.72 \pm 0.61\%$ (SC1). **Conclusion.** Substrate compositions significantly affected the biological efficiency of cultivars and the content of nutrients in the fruit bodies of the studied species. The obtained results enable mushroom producers to predict the production efficiency and quality of grown mushrooms in accordance with the use of available raw materials.

Keywords: mushroom cultivation; golden oyster mushroom; poplar mushroom; biological efficiency; nutritional contents.

Надійшла / Received 28.04.2021
Погоджено до друку / Accepted 03.06.2021