ПЛОДООВОЧІВНИЦТВО

УДК 635.89 https://doi.org10.31548/agr2021.03.085

ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРИБА *CYCLOCYBE AEGERITA* ШТАМІВ 2229, 2230, 2231 ІВК ЗА УМОВ ПРОМИСЛОВОГО КУЛЬТИВУВАННЯ

І. І. БАНДУРА, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент*
http://orcid.org/0000-0001-7835-3293
E-mail: irabandura@gmail.com
А. С. КУЛИК, кандидат технічних наук, доцент
http://orcid.org/0000-0001-5403-3084
С. В. МАКОГОН, *магістр, http://orcid.org/0000-0002-4791-5115*
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
О. М. ЦИЗЬ, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент*
http://orcid.org/0000-0001-7174-7011
О. В. ХАРЕБА, *доктор сільськогосподарських наук, професор*
http://orcid.org/0000-0002-6763-1988
В. В. ХАРЕБА, *доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН*
http://orcid.org/0000-0001-9947-2689
Національний університет біоресурсів і природокористування України
З. І. КОВТУНЮК, *кандидат сільськогосподарських наук, доцент*
http://orcid.org/0000-0001-6581-2315
Уманський національний університет садівництва

Анотація. *Опеньок тополевий має привабливі за зовнішнім виглядом та смаковими властивостями плодові тіла. Відомо також, що гриби C. aegerita містять унікальні речовини, зокрема білки, полісахариди та ароматичні речовини з доведеною харчовою цінністю та лікарською дією. Втім, відсутність обґрунтованої технології вирощування за використання доступної рослинної сировини обмежує насиченість вітчизняного ринку грибами цього виду. Досліджено три штами C. aegerita з Національної колекції культур шапинкових грибів ІВК на предмет можливості впровадження їх у промислову культуру. Визначено, що в штамів 2230 та 2231 тривалість вегетаційного циклу становить 42 доби проти 46–64 діб для попередньо досліджених штамів. Найвищу урожайність у досліді отримано для штаму 2231, яка коливалася від 217 до 220 г із кілограма субстрату за три цикли культивування. Біологічна*

ефективність штамів за результатами першої хвилі плодоношення складала від 20,2 (2229) до 60,4 % (2231), що узгоджується з опублікованими даними інших дослідників. Детально описано зовнішній вигляд та проаналізовано параметри плодових тіл штамів, що відрізнялися між собою як за кольором шапинок, так і за розмірами. Штами 2230 та 2231 за мікрокліматичних умов досліду мали насичений коричневий колір шапинок, тоді як сформовані плодові тіла штаму 2229 відрізнялися приємним молочно-кремовим кольором. Найбільші за масою плодові тіла отримували за вирощування штаму 2229 (7,5 ± 0,4 г), що в середньому на 2 г вище, ніж вага грибів інших штамів, що вивчалися. Найвищі плодові тіла виявлено ву штаму 2230 з висотою 91,0 ± 1,8 мм, які мали також найширші шапинки з діаметром 29,5 ± 0,9 мм. Найбільший діаметр ніжки, що досягав у середньому 10,8 ± 0,3 мм, було визначено у плодових тіл штаму 2229. Досліджено варіативність морфологічних ознак та виявлені тенденції щодо кількості плодових тіл певного розміру в загальному об'ємі зібраних грибів, що спрощує проєктування пакувальних та маркетингових заходів.

Ключові слова: *опеньок тополевий, вегетаційний цикл, урожайність, біологічна ефективність, морфологічні ознаки, штучне культивування*

Актуальність.

Cyclocybe aegerita (V.Brig.) Vizzini (синоніми *Agrocybe aegerita*, *C. cylindracea*), англійською – «black poplar», «pioppino mushroom», в Україні має назву опеньок тополевий. На вітчизняному ринку гриб трапляється дуже рідко, але широко культивується в усьому світі на субстратах із відходів рослинництва та переробки технічних культур, як їстівний та продуцент біоактивних речовин (Chang & Wasser, 2017; Diyabalanage et al., 2008; Huaqi et al., 2004; Muthu et al., 2014)"Mushroom is a distinctive fruiting body of a macrofungus, which produce spores that can be either epigeous or hypogeous and large enough to be seen with the naked eye and to be picked by hand." Thus, mushrooms need not be members of the group Basidiomycetes, as commonly associated, nor aerial, nor fleshy, nor edible. This definition is not perfect, but it has been accepted as a workable term to estimate the number of mushrooms on Earth (approximately 16,000 species according to the rules of International Code of Nomenclature. Звичайні споживачі цінують його за особливий насичений аромат, зумовлений наявністю 11 ароматичних сполук (Surup et al., 2019). Лікарські властивості цього виду привертають увагу поціновувачів здорового харчування та професійних виробників біоактивних добавок (Diyabalanage et al., 2008; Jing et al., 2018; Landi et al., 2017; Stránský et al., 2010; Zhao et al., 2003)Agrocybe aegerita is a popular edible mushroom with reported anti-tumor properties. A bioactivity-guided investigation gave positive results for ceramide (1. Можливо, саме з цих причин сучасна ціна на опеньок тополевий у 2–6 разів перевищує вартість печериці, що робить його привабливою культурою для грибовиробників (Mulderij, 2016). Вид має високу їстівну та лікарську цінність, тому вирощування цієї культури в промислових об'ємах із задовільною якістю плодових тіл дасть можливість поповнити

сучасний ринок функціональних продуктів важливим джерелом унікальних сполук, що мають природню антибіотичну, геронтологічну та антиоксидантну дію (Jing et al., 2018; Landi et al., 2017; Lo & Cheung, 2005; Stránský et al., 2010)CAT, GPx and T-AOC, inhibiting hepatic contents of LPO and MDA, as well as improving serum lipid levels of LDL-C, HDL-C, LDL-C/HDL-C, TG and TC. Furthermore, HYP measurements suggested that skin collagen in aging mice could be maintained. This study suggested that both Ac-MPS and Al-MPS could be used as potential natural agents or dietary supplements in attenuating aging and its complications.»,»container-title»:»International Journal of Biological Macromolecules»,»DOI»:»10.1016/j.ijbiomac.2017.08.138»,»ISSN»:»0141-8130»,»journalAbbreviation»:»International Journal of Biological Macromolecules»,»language»:»en»,»page»:»1270-1278»,»source»:»ScienceDirect»,»title»:»The antioxidative and anti-aging effects of acidic- and alkalic-extractable mycelium polysaccharides by Agrocybe aegerita (Brig..

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Опеньок тополевий – широко поширений вид, присутність якого зафіксовано на всіх континентах, але в північних широтах він трапляється рідше. Росте на живих деревах або мертвих стовбурах листяних дерев родів *Populus, Salix, Quercus, Ulmus, Acer* та *Robinia* (Frings et al., 2020; Uhart et al., 2008). У закордонній науковій літературі достатньо інформації щодо технічних характеристик та морфологічних особливостей природніх та комерційних штамів цього виду, але відомості про вітчизняні дослідження питань культивування *C. aegerita* практично відсутні. Природне різноманіття екотипів опенька тополевого викликає гострі дискусії щодо ідентифікаційних ознак цього виду та вносить суттєві незручності щодо впровадження його в промислову культуру. У наукових базах уже об'єднано результати досліджень щодо *Cyclocybe aegerita* та *Agrocybe aegerita*, ці назви є синонімічними. Але після аналізу генетичних доменів ДНК плодових тіл роду *Cyclocybe* вчені об'єднують цей вид в одну групу з *C. cylindracea* та запевняють в однорідності їхніх геномів, отже, у схожості певних фенотипічних ознак (Frings et al., 2020; Niveiro et al., 2020; Vizzini et al., 2014.)

Нині в каталозі Національної колекції культур шапинкових грибів ІВК Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України останнього видання (2016) нараховується 14 штамів *C. aegerita* та 1 штам *C. cylindracea* (DC.) Vizzini & Angelini, з яких у вітчизняному промисловому культивуванні не використовували жодного, хоча опубліковані результати дослідження з біології та фізіології цієї культури (Bisko et al., 2012; Buhalo et al., 2011; Bisko et al., 2016).

За аналізом останніх досліджень та публікацій визначені певні особливості практики штучного вирощування *C. aegerita*:

1) формули субстратів розробляють на основі тирси, соломи, кукурудзяних початків, відходів очистки бавовни тощо; збагачують висівками, фосфорними добривами та додають гіпс чи крейду як джерело кальцію (Cheong et al., 2010; Huaqi et al., 2004; Jun-long, 2006; Siwulski et al., 2019)they are in financial difficulty because of the investment they need to do for facilities such as cultivation

room and automated systems. In the other hands, some retailers want to buy a small volume of mushrooms of many different mushrooms produced by the small farms and these small farms was required to investigate the common cultural condition for mushroom production of many different mushrooms. In this study, we investigated the common cultural conditions for production of many different mushrooms (e.g., Pleurotus eryngii and Agrocybe cylindracea;

2) інкубацію проводять за оптимальної для фізіологічного росту температури 25–27 °C; за опублікованими даними підвищення температури до 26 °C під час останньої половини періоду інкубації підвищує урожай на 25 % (Cheong et al., 2010; Landingin et al., 2020; Xing et al., 2004)they are in financial difficulty because of the investment they need to do for facilities such as cultivation room and automated systems. In the other hands, some retailers want to buy a small volume of mushrooms of many different mushrooms produced by the small farms and these small farms was required to investigate the common cultural condition for mushroom production of many different mushrooms. In this study, we investigated the common cultural conditions for production of many different mushrooms (e.g., Pleurotus eryngii and Agrocybe cylindracea;
3) оптимальною температурою для ініціації формування плодових тіл є 11–16 °C, але для деяких штамів цей процес відбувається за температури вище 16, інколи, навіть, за 26 °C (Fujisawa, 2002; Xing et al., 2004);
4) на урожайність та якісні ознаки плодових тіл впливає склад субстратної композиції, температура вирощування, інтенсивність освітлення тощо, тому удосконалення технології штучного культивування цього виду полягає в пошуку нових, перспективних для промислового вирощування штамів із високою біологічною ефективністю утилізації доступних рослинних залишків та визначення оптимальних умов мікроклімату, що забезпечують найвищі показники продуктивності (Bandura et al., 2020; Heo et al., 2019; Isikhuemhen et al., 2009; Uhart et al., 2008).

Мета дослідження. З висновків сучасних наукових досліджень стає зрозумілим, що пошук нових штамів, перспективних для комерційної реалізації та біотехнологічного використання, є актуальним питанням для практичного грибівництва всього світу. Тому метою представленої роботи було визначення якісних показників трьох штамів, що вирощувалися на субстратах із місцевих рослинних залишків, в умовах діючих господарств України. Обґрунтовували можливість впровадження штамів у промислову культуру за результатами аналізу технічних характеристик: тривалості вегетаційного циклу, урожайності та біологічної ефективності. Вивчали морфологічні ознаки плодових тіл: масу, розміри, зовнішні особливості штамів для формування характеристики їхніх якісних показників.

Матеріали і методи дослідження.

Культури трьох штамів *C. aegerita* 2229, 2230 та 2231 ІВК отримували з Національної колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного та підтримували на живильному середовищі такого складу: агар-агар – 20 г, мальт-декстро-

за – 30 г, пептон ферментований сухий або екстракт дріжджів сухий – 2 г; вода – до 1 літра; pH доводили до показника 6,7 ± 0,2 додаванням по краплинам 0,1N розчину КОН. Живильне середовище стерилізували 35 хв за температури 121 °C (Dudka et al., 1982).

Субстрати виготовляли методом стерилізації в промисловому автоклаві за температури 124 ± 1 °C (тиск – 1,4–1,5 атм.) у поліпропіленових пакетах із чотирма повітряними фільтрами. Пакети наповнювали субстратом масою 3120 ± 150 г та завертали так, щоб у процесі стерилізації пара потрапляла усередину субстрату. До складу субстратної композиції із суміші рослинних залишків (соломи ячменю та лушпиння соняшнику) додавали насіння ріпаку. Ефективність цього складу для культури *C. aegerita 2230* було визначено в попередніх дослідженнях (Bandura et al., 2018; Bandura et al., 2020; Bandura et al., 2021).

Інокуляцію субстрату 1 % (за масою) зернового міцелію та інкубацію проводили в асептичних умовах контрольованого мікроклімату лабораторії з виготовлення посівного зернового міцелію ТОВ НВП «Грибний лікар» (с. Садове Мелітопольського р-ну Запорізької області). Температура інкубації складала 24 ± 1 °C; вологість повітря в приміщенні підтримували на рівні 67 ± 2 %; вміст CO_2 – 1200 ± 150 ppm.

Ефективність штамів та особливості вирощування вивчали паралельно на потужностях трьох підприємств: ТОВ НВП «Грибний лікар», компанії ТОВ «ЕСМАШ-3» та ТОВ «Фунготерра» (м. Київ) упродовж трьох вегетаційних циклів із лютого до травня 2020 року з використанням однакових партій рослинної сировини урожаю 2019 року.

Пакети після інкубації впродовж 25 діб (перший цикл), 28 діб (другий) та 32 доби (третій) у кількості 50 штук кожного штаму в закритому вигляді доставляли до камер вирощування на підприємства та розміщували на полицях рандомно. Вздовж пакета робили розріз у верхній частині та відвертали на бік поліпропіленову плівку, отримуючи вузький отвір завширшки 10–25 мм на відстані 100–150 мм над поверхнею субстрату (Bandura et al., 2021). Умови мікроклімату підтримували відповідно до оптимумів, визначених попередніми дослідниками: температура повітря 16–18 °C, вологість – 90–93 %, уміст вуглекислого газу до 1300 ppm; освітлення на рівні 500–600 люкс (Stamets, 2000).

Тривалість вегетаційного циклу визначали за кількістю діб від інокуляції до дати збору плодових тіл.

Урожайність розраховували за масою свіжих плодових тіл першої хвилі плодоношення щодо початкової маси субстрату (до інкубації) для кожного пакета.

Біологічну ефективність штамів визначали у відсотках за відношенням маси свіжих плодових тіл першої хвилі до маси сухих речовин у субстраті, помноженим на 100.

Оцінку морфологічних показників плодових тіл (ПТ) проводили за визначенням особливостей кольору та будови шапинки та ніжки, показниками діаметрів шапинки й ніжки, висоти ніжки та плодового тіла загалом, маси плодових тіл. Варіативність ознак визначали за вибірками з кількістю не менше 40 плодових тіл на кожен цикл вирощування з вибіркою (n) для загального статистичного аналізу не менше 100 плодових тіл.

Статистичний аналіз проводили за допомогою пакету Microsoft Office Excel

2016 та вбудованої до нього програми QI Macros 2020. Штами порівнювали за результатами описової статистики, двофакторного та однофакторного аналізу ANOVA з використанням співставлення даних за тестами Тукі та Шеффе: a – найвищий показник у досліді; співпадіння літер говорить про відсутність істотної різниці; різні літери говорять про достовірні відмінності. Найменшу істотну різницю знаходили з використанням рівня значущості $\alpha = 0{,}05$.

Результати дослідження.

Технічні показники. Проведення інкубації потребує підтримання оптимальних мікрокліматичних умов упродовж певного періоду, тому будь-яка затримка цього процесу зумовлює збільшення енерго- та трудовитрат. За результатами статистичного аналізу показників дати отримання плодових тіл після трьох циклів культивування не виявлено суттєвого впливу подовження тривалості інкубації на технічні показники одного штаму, але визначені істотні відмінності між штамами ($p < 0{,}0001$) (табл. 1).

Штам 2229 характеризувався більшою тривалістю вегетаційного циклу, який у середньому закінчувався на 6 діб пізніше, ніж у 2231 та 2230. Найкоротшу вегетацію в досліді мав штам 2230, плодові тіла якого починали збирати після 41,1 ± 0,3 доби. За аналізом тривалості трьох циклів вирощування між штамами 2230 та 2231 суттєвої різниці не визначено, за усередненим результатом плодові тіла цих штамів отримували після 42 доби з моменту інокуляції. Визначені показники є значно нижчими, ніж результати Xeo та ін. (2019), які отримували плодові тіла штамів «Cham» та JBAC15-1 на 64 добу за температури вирощування 18 °C. Утім, показники тривалості вегетації вивчених штамів подібні до результатів скринінгу 4 промислових та 8 природніх штамів *C. aegerita,* за якими дослідники отримували плодові тіла на 46–64 день залежно від поживності субстратів (Heo et al., 2019; Uhart et al., 2008).

Отже, досліджені штами характеризуються коротким вегетаційним циклом, а затримка інкубації після 25

1. Технічні показники за три цикли культивування *C. aegerita* штамів 2229, 2230, 2231 ІВК (середнє ± ст. похибка)

Штам	Номер циклу (тривалість інкубації, доба)	Дата отримання ПТ, доба	Урожайність, г/кг субстрату	Біологічна ефективність, %
2231	1(25)	42,6 ± 0,6bc	219,5 ± 11,3a	59,32 ± 3,04a
	2(28)	42,9 ± 0,4bc	216,8 ± 15,1a	58,54 ± 2,85a
	3(32)	43,3 ± 0,3b	220,1 ± 9,7a	60,42 ± 3,31a
2230	1(25)	41,1 ± 0,3c	215,5 ± 9,5a	57,89 ± 2,37a
	2(28)	42,2 ± 0,5bc	218,1 ± 10,1a	58,89 ± 3,14a
	3(32)	42,7 ± 0,4bc	214,4 ± 9,8a	57,63 ± 1,97a
2229	1(25)	48,7 ± 1,2a	73,2 ± 12,5b	19,87 ± 3,37b
	2(28)	49,2 ± 1,3a	75,1 ± 10,2b	20,2 ± 4,06b
	3(32)	48,8 ± 0,8a	72,8 ± 14,1b	19,78 ± 3,88b
$НІР_{05}$		2,07	28,7	7,54
p-value		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

доби є недоцільною. Втім, за технологічних потреб, пов'язаних, наприклад, з логістичними затримками або додатковими операціями із санітарної підготовки камер вирощування, інкубація може подовжуватися до 8 діб без суттєвого впливу на урожайність та біологічну ефективність штамів.

Між штамами 2230 та 2031 не виявлено відмінностей за показниками урожайності та біологічної ефективності, тоді як штам 2229 достовірно ($p < 0,0001$) відрізнявся.

Найвищий показник урожайності 220,1 ± 9,7 г/кг субстрату в досліді було встановлено для штаму 2231, найменший у 72,8 ± 14,1 г/кг – для штаму 2229. Відповідно, відрізнялися й показники біологічної ефективності: найвищий у 60,42 ± 3,31 % розраховано для штаму 2231, а найменший – 9,78 ± 3,88 % – для 2229. Урожайність перевірених штамів узгоджується з опублікованими раніше даними. Зокрема Лі та ін. (1998), зазначали, що залежно від поживності субстратів урожай становив від 96 г (на рослинних залишках після екстракції медичних речовин) до 113 г свіжих плодових тіл із кілограма субстрату за збагачення тирси відходами гороху (10 %) (Lee et al., 1998). Ісікьюмен та ін. (2009) отримували від 95 до 643 г свіжих плодових тіл за збагачення соломи зерновими відходами вирощування птиці, а Ясинська та ін., культивуючи опеньок тополевий на тирсі листяних дерев, отримували від 87 до 395 г/кг (Isikhuemhen et al., 2009; Jasińska et al., 2011). Ухарт та ін. (2008) визначили, що біологічна ефективність *C. aegerita* є характерною ознакою штамів та коливається від 21 % (штам 313/00) до 70 % (621/04) на субстраті з пшеничної соломи, і цілком співвідноситься з нашими результатами. Але дослідники стверджують, що цей показник може значно підвищуватися внаслідок збільшення поживності субстрату. Наприклад, біологічна ефективність штаму 621/04 зростала до 140 % за додавання до соломи 20 % соєвого борошна (Uhart et al., 2008).

Отже, штами 2230 та 2231 є перспективними для впровадження в промислову культуру, але можливість покращення урожайності та біологічної ефективності завдяки оптимізації субстратної формули та умов вирощування потребує подальшого вивчення.

Морфологічні показники. Необхідною умовою ефективного впровадження штаму в промислову культуру є вивчення морфологічних характеристик зростків чи плодових тіл, необхідне для планування та організації післязбиральних заходів щодо реалізації або зберігання сировини з відповідною якістю. У досліджених штамів було визначено декілька фенотипічних ознак, за якими їх можливо було розрізнити візуально (рис. 1).

Зокрема, штами відрізнялися насиченістю кольору шапинок, фактурою поверхні шапинок та ніжок, мали певні особливості покривала (табл. 2).

Форма плодових тіл, характерні особливості щодо прикріплення шапинки до ніжки, розташування гіменію, розвитку та прикріплення покривала, наявності кільця на ніжці після досягнення біологічної стиглості у вивчених штамів не відрізнялися. Однак, за результатами статистичного аналізу, були виявлені достовірні відмінності між показниками маси та розмірів плодових тіл (табл. 3, рис. 2).

Найбільшу висоту було визначено у плодових тіл штаму 2230, який істотно відрізнявся від інших штамів у досліді ($p < 0,0001$). Потрібно додати, що варіативність цієї ознаки штаму 2230 була

2231 2230 2229

Рис. 1. Зовнішній вигляд зростків плодових тіл першої хвилі плодоношення штамів *C. aegerita*

2. Морфологічні ознаки плодових тіл *C. aegerita* штамів 2231, 2230, 2229 ІВК

Характеристики	2231	2230	2229
Форма шапинки	Опукла, кругла, з віком стає плоскою, але краєчок заокруглений до ніжки	Опукла, кругла, з віком стає плоскою, краєчок потонший, часто тріскається	У молодому віці конусоподібна, до технічної стиглості стає округло-опуклою, краєчок загнутий до ніжки
Колір шапинки	Яскраво коричневий, білий на краєчку, з віком шапинка світлішає, але без суттєвого розподілу відтінків	Темно-коричневий, без поділу на відтінки на початку розвитку, з віком від насиченого темного коричневого на вершечку до майже білого по краю шапинки	Колір розподіляється кільцево від темно- коричневого на вершечку до яскраво білої спіднички на початку розвитку. З віком змінюється до кольору пряженого молока
Фактура	Оксамитова	Оксамитова	Спочатку оксамитова, потім гладенька
Колір ніжки	Молочний, з віком бежевого відтінку	Бежевий	Молочно-білий
Колір гіменію	Бежевий, з віком темнішає до коричневого	Бежевий, з віком більш насичений	Молочно-білий, з віком стає бежевим
Наявність покривала	Присутнє, залишає кільце на ніжці, часто темного кольору	Присутнє, залишає кільце на ніжці, яке з віком зникає	Присутнє, у молодих плодових тіл з краю шапинки має кільце-спідничку з повітряного міцелію
Характеристика лусочок	Наявні незначні лусочки (менше 1 мм) по всій поверхні плодового тіла	Лусочки до 2 мм, у верхній та середній частині ніжки, біля основи ніжки практично відсутні	Лусочки маленькі, практично не помітні, але створюють бархатистість

найменшою: плодові тіла мали висоту від 57 мм до 138 мм (рис. 3).

Коефіцієнт асиметрії ($К_{ас}$) вибірки складав «-0,006», що свідчить про високу симетричність графіка розподілу, але негативний знак визначає незначне відхилення до більш високих величин параметра.

Найменшу висоту в досліді мали плодові тіла штаму 2229 (74,7 ± 1,5 мм), що

3. Морфологічні параметри плодових тіл першої хвилі плодоношення штамів C. aegerita 2229, 2230, 2231 ІВК

Штам	Висота ПТ, мм	Довжина Н, мм	Діаметр Н, мм	Діаметр Ш, мм	Маса ПТ, г
2231	78,2 ± 2,3b	68,6 ± 2,1b	8,3 ± 0,3b	28,6 ± 1,2a	5,5 ± 0,6b
2230	91,0 ± 1,8a	81,1 ± 1,7a	7,8 ± 0,2b	29,5 ± 0,9a	4,9 ± 0,3b
2229	74,7 ± 1,5b	64,2 ± 1,4b	10,8 ± 0,3a	25,4 ± 0,7b	7,5 ± 0,4a
$НІР_{05}$	5,25	4,92	0,77	2,62	1,25
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,007	< 0,0001

Примітки: ПТ – плодове тіло, Н – ніжка, Ш – шапинка.

2231 2230 2229

Рис. 2. Плодові тіла *C. aegerita* штамів 2231, 2230, 2229 ІВК першої хвилі плодоношення

статистично не відрізнялося від цієї характеристики штаму 2231 (78,2 ± 2,3 мм), з відповідними значеннями коефіцієнтів: $К_{ас}$ 2229 = 0,97 та $К_{ас}$ 2231 = 0,2 з тенденцією до більш низьких величин.

За аналогічної товщини шапинки, що складала 10 ± 1 мм в усіх штамів, у загальній висоті плодових тіл штамів визначальною була довжина ніжки, відповідно, найбільша в штаму 2230 (81,1 ± 1,7 мм), а найменша в штаму 2229 (64,2 ± 1,4 мм), а розподіли вибірок були подібними до величин висоти ПТ.

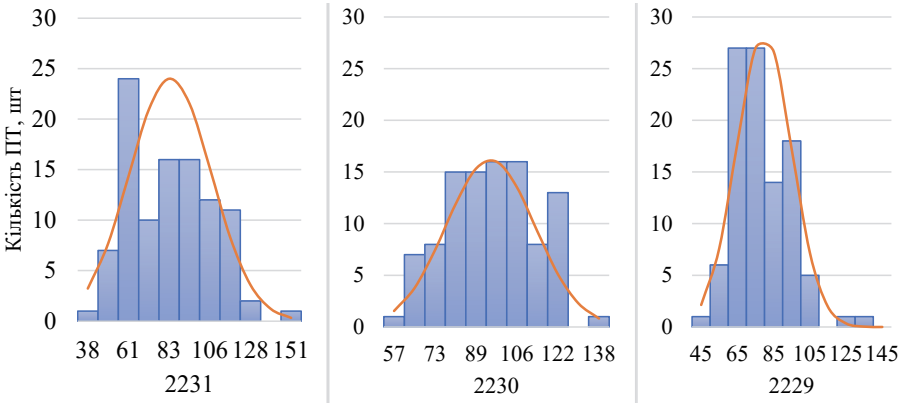

Рис. 3. Варіативність висоти плодового тіла (мм) штамів за n = 100

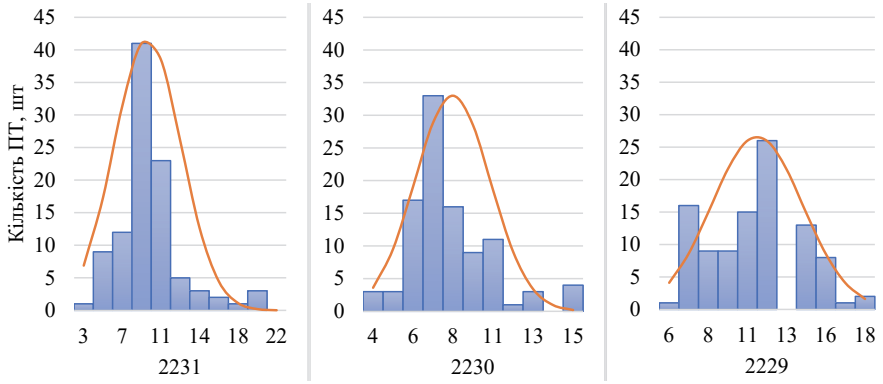

Рис. 4. Варіативність діаметра ніжки (мм) штамів за n = 100

За результатами аналізу виявили, що найбільший діаметр ніжки 10,8 ± 0,3 мм мали плодові тіла штаму 2229 (від 6 до 18 мм) з істотною відмінністю від інших штамів у досліді. $К_{ас}$ 2229 складав 0,21, тоді як $К_{ас}$ 2231 та $К_{ас}$ 2230 мали значення відповідно 1,51 та 1,12 (рис. 4).

Штами 2231 та 2230 мали суттєво ширшу шапинку, хоча варіативність цього показника була вищою, якщо порівняти зі штамом 2229 (рис. 5). Найбільший діаметр шапинки в досліді мав штам 2230 (29,47 ± 0,86 мм), не відрізнявся штам 2231 (28,59 ± 1,17), а шапинки штаму 2229 були в середньому на 4–5 мм вужчими (25,43 ± 0,73).

Найбільшу середню масу грибів було встановлено для штаму 2229 (7,46 ± 0,42 г), тоді як плодові тіла штамів 2231 та 2230 важили в середньому на 2 г менше (відповідно 5,53 ± 0,59 та 4,91 ± 0,27). Варіативність цього показника в досліді була достатньо високою, але для всіх штамів коефіцієнти асиметрії були вище одиниці ($К_{ас}$ 2231 = 3,34; $К_{ас}$ 2230 = 1,60; $К_{ас}$ 2229 = 1,28) (рис. 6). Цей факт говорить про загальну тенденцію вибірок до низьких показників маси плодових тіл, які в досліді приймали значення від 1 до 43 г.

Дослідження тенденцій варіативності морфологічних ознак штамів дає змогу оцінити їхню сталість та, відповідно, дає можливість прогнозувати загальну кількість плодових тіл певного розміру в загальному об'ємі врожаю, що є важливим для пакування продукції та маркетингових операцій.

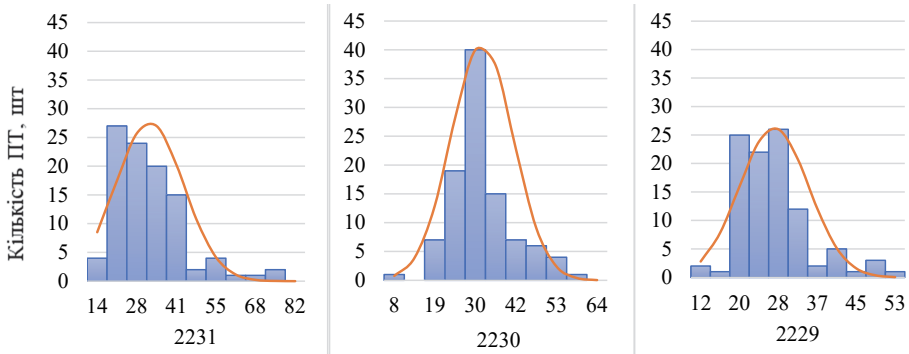

Рис. 5. Варіативність діаметра шапинки (мм) штамів за n = 100

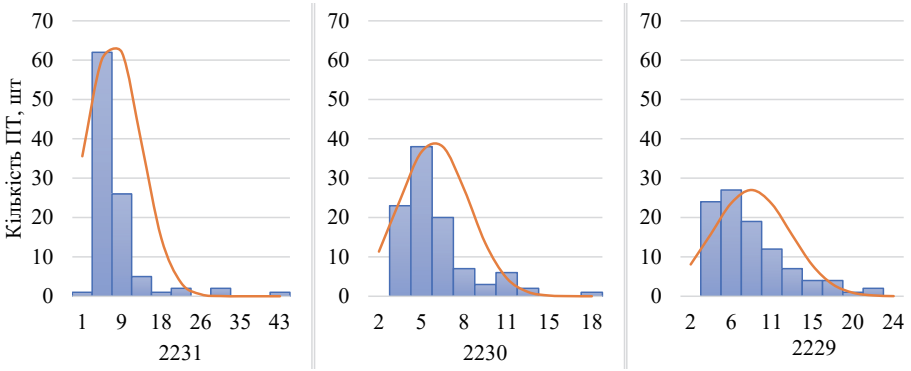

Рис. 6. Варіативність маси плодового тіла (г) штамів за n = 100

Параметри плодових тіл вивчених штамів за масою та розмірами збігалися з результатами морфологічної оцінки штамів інших дослідників за подібних умов культивування. Зокрема, науковці з Південної Кореї отримували плодові тіла *A. cylindracea* штамів JBAC15-1 та Cham масою від 3,0 до 5,5 г відповідно. Однак, вони підкреслюють наявність залежності морфологічних ознак від температурних режимів плодоношення: збільшення діаметра шапинки штаму JBAC15-1 від 32,2 ± 0,7 мм за вирощування за 18 °C до 43,0 ± 2,3 мм – за 25 °C та висоти ніжки від 70,1 ± 1,8 (18 °C) до 85,1 ± 1,9 (25 °C) (Heo et al., 2019).

Визначені показники діаметрів шапинок також мали збіжність із результатами аналізу трьох штамів *C. aegerita,* що досліджувалися вченими з Аргентини, які отримували діаметр шапинки від найменшого 26 ± 5 мм (штам 9/98) до максимального в досліді розміру в 42 ± 8 мм (штам 621/04) (Uhart et al., 2008).

Утім, визначені середні показники маси та висоти ніжок дослідних штамів були значно вищими, ніж результати Ясинської та ін. (2012), які отримували плодові тіла масою 3,7 г на субстраті з тирси берези та масою 2 г на субстраті з тирси буку. За їхніми даними, плодові тіла досягали максимальної висоти в 48 мм на субстраті із суміші тирси буку та вільхи. Однак, діаметр шапинок *A. aegerita* набував значень від 27 мм (бук) до 31 мм (береза), що не суперечить результатам нашого досліду (Jasińska et al., 2012). Очевидно, що прояви фенотипічних показників пов'язані не лише з унікальними властивостями штамів. На морфологічні ознаки плодових тіл впливають технологічні параметри вирощування: використання субстратів різного складу, відмінності в мікрокліматичних умовах тощо. Цей висновок підтверджується результатами Xeo та ін., які зазначають, що умови впливають не лише на розміри плодових тіл, а також на колір шапинок. Так, штам «Cham» за температури 18 °C мав насичений темний колір шапинки, а за 25 °C – світлий із білим краєчком (Heo et al., 2019). Отже, дослідження морфологічних показників є важливою складовою оптимізації технології вирощування та формування споживчої якості плодових тіл *C. aegerita* та потребує більш детального вивчення.

Висновки і перспективи.

Аналізом технічних показників ефективності культивування та морфологічних ознак трьох штамів *C.*

aegerita обґрунтовано можливість їх впровадження в промислову культуру. Гриби штамів 2230 та 2231 ІВК отримували на 42 ± 1 день з урожайністю від 214 до 220 г/кг субстрату на першій хвилі плодоношення, що узгоджується з результатами інших дослідників. Штам 2229 мав низьку урожайність та подовжену тривалість вегетаційного циклу проти штамів 2230 та 2231, але відрізнявся цікавими морфологічними ознаками: молочно-кремовим кольором шапинки, найбільшою масою плодових тіл (7,5 ± 0,4 г) та найтовщою в досліді ніжкою (10,8 ± 0,3). Отже, його зовнішня привабливість надає можливість підвищити ціну реалізації, тим самим компенсувати знижену ефективність його культивування. Проаналізовано варіативність морфологічних ознак штамів та обчислені коефіцієнти асиметрії вибірок, які дають змогу прогнозувати отримання плодових тіл певного розміру. Доведено, що вивчені штами мають стабільні морфологічні ознаки, а тому їх можна рекомендувати для поширення. Втім, високі результати вирощування штамів *C. aegerita* закордонного походження на субстратах з оптимізованими формулами спонукають до подальших наукових пошуків удосконалення технік культивування цього цінного їстівного та лікарського виду.

References

1. Bandura, I., Kulyk, A., Chausov, S., Tsyz, O. (2020). Influence of plant substrate composition on the efficiency of edible mushrooms cultivation Cyclocybe aegerita (V. Brig.), Pleurotus eryngii (DC.) Quel., Pleurotus citrinopileatus Singer та Flammulina velutipes (Curtis) Singer. Vìsn. agrar. nauki Pričornomor'â, 3(107), 62-71. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-8 (in Russ.)
2. Bandura, I., Kulyk, A. S., Makohon, S. V., Khareba, O. V., Khareba, V. V. (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/10.21498/2518-1017.17.2.2021.236519. (in Ukrainian).
3. Bandura, I., Kulik, A., Makogon, S., Sinyagovskiy, S. (2018). Study of features of introduction of productive strains of exotic fungi Cyclocybe aegerita (V. Brig.) Vizzini and Pleurotus eryngii (DC.) Quél. Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University 8(2), 1–11. https://doi.org/10.31388/2220-8674-2018-2-52 (in Ukrainian).
4. Bisko, N. A., Babitskaya, V. G., Bukhalo, A. S. (2012). Biological properties of medicinal macromycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes. T. 2/ Edited by Wasser, S. P., Kiev: Alterpress, 345-371. (in Russ.)
5. Bisko, N. A., Lomberg, M. L., Mitropolska, N. Y., Mikhaylova, O. B. (2016). Collection of Cap Fungi Cultures (IBK) (Institute of Botany named M.G. Kholodnyi, National Academy of Sciences of Ukraine). Alterpres, 29–30. (in Ukrainian).
6. Buhalo, A. S., Babitskaya, V. G., Bisko, N. A., Wasser, S. P., Dudka, I. A., Mitropolskaya, N. Y., Mikhaylova, O. B., Negreiko, A. M., Poedinok, N. L., Solomko, E. F. (2011). Biological properties of medicinal macromycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes. T. 1/ Edited by Wasser, S. P., Kiev: Alterpress, 123–124. (in Russ.)
7. Chang, S. T., Wasser, S. P. (2017). The Cultivation and Environmental Impact of Mushrooms. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.231.
8. Cheong, J.-C., Jhune, C.-S., Lee, C.-J., Oh, J.-A., Yoo, Y.-B. (2010). Common substrates for bottle cultivation of Pleurotus eryngii and Agrocybe cylindracea. 8(4), 190–190.
9. Diyabalanage, T., Mulabagal, V., Mills, G., DeWitt, D. L., Nair, M. G. (2008). Health-ben-

eficial qualities of the edible mushroom, Agrocybe aegerita. Food Chemistry, 108(1), 97–102. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.049.
10. Dudka, I. A., Wasser, S. P., Ellanskaya, I. A. et al. (1982). Methods of experimental mycology: Handbook. Naukova Dumka. (in Russ.)
11. Frings, R. A., Maciá-Vicente, J. G., Buße, S., Čmoková, A., Kellner, H., Hofrichter, M., Hennicke, F. (2020). Multilocus phylogeny- and fruiting feature-assisted delimitation of European Cyclocybe aegerita from a new Asian species complex and related species. Mycological Progress, 19(10), 1001–1016. https://doi.org/10.1007/s11557-020-01599-z.
12. Fujisawa, T. (2002). Effect of the high temperature control processing in sawdust-based cultivation of Agrocybe cylindracea (DC.: Fr) Maire (preliminary report). Bulletin of the Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center (Japan). https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=JP2003000924.
13. Heo, B.-S., Seo, S.-Y., Choi, K.-H., Choi, Y.-M., Kwon, S.-J., Jang, K.-Y., Yoo, Y.-J. (2019). Development of a safe culture technique for Agrocybe cylindracea. Journal of Mushroom, 17(1), 1–6. https://doi.org/10.14480/JM.2019.17.1.1
14. Huaqi, H., Gang, W., Changru, C., Guoshi, L. (2004). Test on the Cultivation of Agrocybe aegerita with Corncobs. Quarterly of Forest By-product and Speciality In China.
15. 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. https://doi.org/10.1007/s10532-008-9226-y.
16. Jasińska, A., Siwulski, M., & Sobieralski, K. (2012). Mycelium growth and yielding of black poplar mushroom-Agrocybe aegerita (Brig.) Sing. on different substrates. Journal of Agricultural Science and Technology A, 2(9), 1040–1047.
17. Jasińska, A., Siwulski, M., Sobieralski, K. (2011). Mycelium growth and yielding of Agrocybe aegerita (Brig.) Sing. On different substrates. Mushroom biology and mushroom products. Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Arcachon, France, 4-7 October, 2011. Volume 2. Poster session, 168–175.
18. Jing, H., Li, J., Zhang, J., Wang, W., Li, S., Ren, Z., Gao, Z., Song, X., Wang, X., Jia, L. (2018). The antioxidative and anti-aging effects of acidic- and alkalic-extractable mycelium polysaccharides by Agrocybe aegerita (Brig.) Sing. International Journal of Biological Macromolecules, 106, 1270–1278. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.138
19. Jun-long, M. (2006). Effect of Different Composts on the Yield of Agrocybe Cylindracea. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition).
20. Landi, N., Pacifico, S., Ragucci, S., Iglesias, R., Piccolella, S., Amici, A., Di Giuseppe, A. M. A., Di Maro, A. (2017). Purification, characterization and cytotoxicity assessment of Ageritin: The first ribotoxin from the basidiomycete mushroom Agrocybe aegerita. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects, 1861(5, Part A), 1113–1121. https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2017.02.023.
21. Landingin, H. R. R., Francisco, B. E., Dulay, R. M. R., Kalaw, S., & Reyes, R. (2020). Optimization of culture conditio optimization of culture conditions for mycelial growth and basidiocarp production of Agrocybe cylindracea (Maire). CLSU International Journal of Science & Technology, 4(1), 1–17. https://doi.org/10.22137/ijst.2020.v4n1.01.
22. Lee, H.-D., Kim, Y.-G., Kim, H.-G., Han, G.-H., Moon, C.-S., & Hur, I.-B. (1998). Bottle cultivation of Pleurotus ostreatus and Agrocybe aegerita using agricultural by-product. The Korean Journal of Mycology, 26(1), 47–50.
23. Lo, K. M., Cheung, P. C. K. (2005). Antioxidant activity of extracts from the fruiting bodies of Agrocybe aegerita var. Alba. Food

Chemistry, 89(4), 533–539. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.006.
24. Muthu, N., Shanmugasundaram, K., Subramanian, K. (2014). Comparitive study of various substrate supplements in the growth and yield of Agrocybe aegerita, Black poplar mushroom. World Journal of Pharmaceutical Research, 3(8), 487–496.
25. Niveiro, N., Uhart, M., Albertó, E. (2020). Revision of the genera Agrocybe and Cyclocybe (Strophariaceae, Agaricales, Basidiomycota) in Argentina. Rodriguésia, 71. https://doi.org/10.1590/2175-7860202071038.
26. Mulderi, J R. (2016). Overview global market mushrooms. Retrieved July 6, 2021, from https://www.freshplaza.com/article/2165878/overview-global-market-mushrooms/
27. Siwulski, M., Rzymski, P., Budka, A., Kalač, P., Budzyńska, S., Dawidowicz, L., Hajduk, E., Kozak, L., Budzulak, J., Sobieralski, K., Niedzielski, P. (2019). The effect of different substrates on the growth of six cultivated mushroom species and composition of macro and trace elements in their fruiting bodies. European Food Research and Technology, 245(2), 419–431. https://doi.org/10.1007/s00217-018-3174-5
28. Stamets, P. (2000). Growing gourmet and medicinal mushrooms (third edition). Ten Speed Press.
29. Stránský, K., Semerdžieva, M., Otmar, M., Procházka, Ž., Buděšínský, M., Ubik, K., Kohoutová, J., Streinz, L. (1992). Antifungal Antibiotic from the Mushroom Agrocybe aegerita (BRIG.) SING. Collection of Czechoslovak Chemical Communications, 57, 590-603. https://doi.org/10.1002/CHIN.199228275.
30. Surup, F., Hennicke, F., Sella, N., Stroot, M., Bernecker, S., Pfütze, S., Stadler, M., & Rühl, M. (2019). New terpenoids from the fermentation broth of the edible mushroom Cyclocybe aegerita. Beilstein Journal of Organic Chemistry, 15(1), 1000–1007. https://doi.org/10.3762/bjoc.15.98
31. Uhart, M., Piscera, J. M., Albertó, E. (2008). Utilization of new naturally occurring strains and supplementation to improve the biological efficiency of the edible mushroom Agrocybe cylindracea. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 35(6), 595–602. https://doi.org/10.1007/s10295-008-0321-1.
32. Vizzini, A., Angelini, C., & Ercole, E. (2014). Le sezioni velatae e aporus di agrocybe sottogenere aporus: rivalutazione del genere Cyclocybe velen. Ed una nuova specie. Bollettino della associazione micologica ed ecologica Romana 92. 21-38. http://hdl.handle.net/2318/151924.
33. Xing, C., Yangqiu, Z., Xiaokun, L. (2004). Statistical analysis on the impact of Agrocybe aegerita on the properties of cultivation. Edible Fungi of China, 23(4), 16–19.
34. Zhao, C., Sun, H., Tong, X., & Qi, Y. (2003). An antitumour lectin from the edible mushroom Agrocybe aegerita. The Biochemical Journal, 374(Pt 2), 321–327. https://doi.org/10.1042/BJ20030300

I. I. Bandura, A. S. Kulyk, S. V. Makohon, O. M. Tsyz, O. V. Khareba, V. V. Khareba, Z. I. Kovtuniuk (2021). QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE FUNGUS CYCLOCYBE AEGERITA STRAINS 2229, 2230, 2231 UNDER INDUSTRIAL CULTIVATION CONDITIONS. *PLANT AND SOIL SCIENCE, 12(3): 85–99. https://doi.org/10.31548/agr2021.03.085*

Abstract. *The "poplar" mushroom C. aegerita has fruiting bodies that are attractive for their appearance and tasty properties. It is also known that mushrooms contain unique substances, especially proteins, polysaccharides, and aromatic terpenes with enhanced nutritional and*

medicinal value. However, the lack of a well-founded technology of cultivation using available agriculture wastes interferes with the domestic market saturation with this mushroom. Three strains of C. aegerita from the IBK mushroom culture collection were investigated on the possibility of introducing them into the industrial culture. The vegetation cycle of strains 2230 and 2231 was found to have a duration of 42 days versus 46-64 days for the previously studied strains. The highest yield was obtained in the study for strain 2231, which yielded from 217 to 220 grams per kilogram of the substrate during three cycles of cultivation. The biological efficiency of the strains as a result of the first fructification flush was from 20,2 (2229) to 60.4 % (2231), which is in agreement with the published data of other investigators. The external appearance was described in detail and parameters of fruiting bodies of strains were analyzed, which differed from each other both by shape and size. Microclimatic conditions for the study, strains 2230 and 2231 had brown caps, whereas the formed fruiting bodies of strain 2229 were distinguished by a pleasing milky cream color. The heaviest fruiting bodies were formed in strain 2229 (7.5±0.4 g), which was an average of 2 g higher than the weight of fungi of other strains studied. The highest fruiting bodies were found in strain 2230 at a height of 91.0±1.8 mm, which also had the widest cap with a 29.5±0.9 mm diameter. The greatest diameter of the stipe, reaching an average of 10.8±0.3 mm, was observed in fruiting bodies of strain 2229. The variability of morphological characters and the tendencies in the number of fruiting bodies of a certain size in the total volume of harvested mushrooms were investigated, which can help in the design of packing and marketing measures.

Keywords: *poplar mushroom, vegetation cycle, yield, biological efficiency, morphological indexes, pre-industrial production*