

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.), *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel., *Pleurotus citrinopileatus* Singer и *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer

И. И. Бандура, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ORCID ID: 0000-0001-7835-3293

А. С. Кулик, кандидат технических наук, доцент

ORCID ID: 0000-0001-5403-3084

С. В. Чаусов, кандидат технических наук, доцент

ORCID ID: 0000-0003-3811-9077

Таврийский государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

А. М. Цизь, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ORCID ID: 0000-0001-7174-7011

Национальный университет биоресурсов і природопользования Украины

Исследована возможность использования растительных субстратов на основе соломы и лузги подсолнечника с добавлением семян рапса и отходов переработки кукурузы для культивирования съедобных ксилотрофных грибов: опенка тополевого, вешенки лимонношляпочной и опенка зимнего (белой и желтой рас). Установлена оптимальная формула субстрата, применение которой увеличивает биологическую эффективность изученных штаммов и сокращает сроки получения свежих плодовых тел.

Ключевые слова: вешенка лимонношляпочная *Pleurotus citrinopileatus*, опенок тополевый *Cyclocybe aegerita*, опенок зимний *Flammulina velutipes*, биологическая эффективность, технологический цикл

Постановка проблемы. Стремительный всплеск разнообразия искусственно выращенных грибов на европейском рынке вызван растущим интересом покупателей к экзотическим грибам как продукту с многократно доказанными функциональными свойствами [1]. Иммуностабилизирующие, онкопротекторные, противовоспалительные функции грибов и продуктов их переработки сделали их желаемым продуктом в продовольственной корзине всех развитых стран [2]. В Украине ассортимент свежих грибов отечественного производства за последние десять лет увеличился в 5 раз. На прилавках супермаркетов, кроме обычных шампиньонов и вешенки обыкновенной, уже можно увидеть вешенку легочную, розовую и королевскую (степную), шиитаке, опенок тополевого и зимний, гериций и даже тропический молочный гриб [3]. Данные виды привлекательны внешне, имеют высокую питательную и лекарственную ценность [4-7]. Однако их стабильное производство ограничено

отсутствием интенсивных технологий, адаптированных к местным сырьевым ресурсам и климатическим условиям. При этом сельское хозяйство Украины обладает огромным потенциалом растительных отходов, биоконверсия которых может обеспечить объем свежих грибов, достаточный для удовлетворения потребностей внутреннего рынка и активного экспорта в европейские страны [8, 9].

Анализ публикаций. Активное развитие технологий культивирования ксилотрофных грибов связано с возможностью эффективного использования отходов сельского хозяйства и деревообрабатывающей промышленности: соломы, лузги подсолнечника и гречихи, опилок, стержней кукурузных початков, хлопковых очесов, соевого и оливкового шрота и т.п. [10, 11]. Качественные субстраты из доступного растительного сырья позволяют получать грибы дереворазрушающих видов с эффективностью от 50 до 150%. Индустриальное выращивание таких грибов переживает необычайный подъем

благодаря постоянному усовершенствованию технологий производства субстратов с использованием дешевых местных ресурсов [12–14].

Например, в Беларуси в грибоводстве активно используются отходы древесины. Исследовательский коллектив во главе с В. В. Трухоновцом, культивируя 6 видов вешенки на древесных субстратах, обогащенных отходами переработки зерновых культур, получил урожайность от 14 до 32% (по сырой массе субстрата) [15]. Ученые из Ганы, протестировав возможность использования банановых листьев, достигли 37% эффективности выращивания вешенки, но более весомый результат был отмечен на субстратах из рисовой соломы (51%) [16]. Мексиканские микологи успешно протестировали возможность усовершенствования формулы субстрата на основе сахарного тростника, а в Турции для этого эффективно используют отходы хлопка. Ученые сходятся во мнении, что основным фактором, определяющим продуктивность выращивания ксилотрофов и даже их качество, является сбалансированная формула субстратной композиции. Научный коллектив под руководством Марии Кувевы (María B.R. Cueva) из Аргентины доказывает, что между показателем отношения углерода к азоту и биологической эффективностью вешенки обыкновенной корреляция составляет 99% [17, 18]. С другой стороны, многие исследователи указывают на важность физических параметров субстратов, в частности, влажности и плотности [18, 19]. К сожалению, еще слабо изучены особенности выращивания экзотических видов съедобных грибов, ценных с пищевой и медицинской точки зрения. Нестабильность производства экзотов приводит к росту цен на европейском рынке и, как следствие, делает их недоступными рядовому потребителю [20].

Даже в работах украинских ученых тема сырьевых компонентов субстратов для культивирования ксилотрофов исследовалась только на примере штаммов вешенки. Так, профессор С. А. Вдовенко (Винницкий национальный аграрный университет) провел тщательный анализ особенностей использования отходов соломы зерновых и бобовых культур для эффективного выращивания этого гриба в условиях теплиц [21]. Интересные исследования молодых ученых Власенко Е. Н. и Леся М. М. также связаны с производством вешенки [22, 23]. Тщательный поиск отечественных научных разработок о промышленном культивировании других ценных видов грибов в современных наукометрических базах не дал результатов.

Постановка задачи. В лаборатории практической микологии Таврического государственного агротехнологического университета имени Дмитрия Моторного исследования по введению в промышленную культуру новых видов грибов ведутся с 2012 года. С успехом апробированы технологии выращивания опенка тополевого *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.) Vizzini и вешенки степной *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel. Доказаны преимущества использования субстратов, изготовленных методом стерилизации. Биологическая эффективность *P. eryngii* составила 67%, а *C. aegerita* – 40%, что согласуется с результатами зарубежных авторов [24, 25]. Особенности данного метода позволяют увеличить долю легкодоступных веществ: протеинов, липидов, простых углеводов в субстратных формулах, тем самым обеспечить культурам грибов интенсификацию питания. Однако, особенности промышленного изготовления и использования таких «обогащенных» субстратов в индустриальных условиях практически не изучены. Поэтому целью эксперимента стала оценка влияния состава субстратных композиций на показатели эффективности культивирования опенка тополевого (штамм *C.a. 2230*), а также новых для украинского рынка видов: вешенки лимонношляпочной *Pleurotus citrinopileatus* Singer (штамм *P.c. 2161*) и опенка зимнего *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer (штаммы *F.v.2039* – желтая раса и *F.v.2038* – белая раса). Основными критериями сравнительного анализа стали данные о биологической эффективности штаммов при выращивании в одинаковых условиях микроклимата и длительности технологического цикла: от момента инокуляции субстратов культурой гриба до первой волны плодоношения.

Материалы и методы исследования. Исследования влияния состава субстратов на биологическую эффективность съедобных грибов проводили в производственных условиях ООО НПП «ГРИБНОЙ ДОКТОР» (с. Садовое Мелитопольского р-на) в ноябре-апреле 2019–2020 годов за 3 цикла плодоношения. Использовали сырьевые материалы, полученные из хозяйств Запорожской области (ООО «АГРОФИРМА ОЛЬВИЯ», ЧП Димура Николай Иванович), топливные гранулы из лузги подсолнечника от ООО «Мелитопольский маслоэкстракционный завод».

Культуры штаммов получали из коллекции культур шляпочных грибов (ВК) Института ботаники им. Н. Г. Холодного и поддерживали на питательной среде следующего состава: агар-агар

– 20 г, мальт-декстроза – 20 г, дрожжевої екстракт сухої – 2 г; вода – до 1 літра. Активну кислотність доводили до показателя $6,7 \pm 0,2$ $0,1N$ розчином КОН. Питательну середу стерилизували 35 минут при $1,2 \pm 0,5$ атм. Культури вирощували на чашках Петри 8 суток (штамм *P.c. 2161*) і 10 суток (штамми *S.a. 2230*, *F.v.2039* і *F.v.2038*) до повної колонізації поверхні питательної середу. Содержиме чашек Петри використовували для приготування суспензії - инокулята із розрахунок – 1 чашка на 300 мл води.

Посевний мицелій. Формула зернового субстрата для виготовлення посевного мицелія складала із пшениці, ячменя, рапса і льна, з додаванням карбонату кальцію (мел) в співвідношенні 30:60:8:1:1. Зернові отваривали, рапс замачували на 8-10 годин холодною водою, лен додавали до вологої суміші зернових і рапса в сухому вигляді. Мел вводили в процесі перемішування суміші і її охолодження. Суміш масою 5500 г фасували в поліпропиленові пакети з чотирма спеціальними фільтрами товщиною 20 мм по ширині пакета. Пакети стерилизували при температурі $125-131^{\circ}C$ ($1,7-$

$1,8$ атм) в течение 180 минут. Стерильний субстрат охолождали в потоці очищеного повітря (НЕРА-фільтр 14 класу очищення).

100 мл инокулята в асептичних умовах вливали в зерновий субстрат, пакет герметично запаивали, содержиме ретельно перемішували. Інкубували зерновий субстрат при температурі $24 \pm 1^{\circ}C$ в течение 8 суток, знову ретельно перемішували для максимального розподілу культури гриба. Далі видаляли надлишок повітря через фільтри легким надавленням і формували брикети посевного мицелія. На 10-11 днів готовий мицелій охолождали і зберігали в холодильнику при $1 \pm 1^{\circ}C$ не більше 10 суток.

Субстрати. В якості основного показателя при розрахунок формули субстрата використовували співвідношення вуглецю до азоту (C/N). Стремився до показателя 20/1 в відповідності з рекомендаціями зарубіжних авторів (табл.1) [26]. З іншої сторони, складали формули таким чином, щоб досягти заданої вологості (61-65 %) і щільності субстрата ($500-700$ кг/м³) [27–29].

Таблиця 1

Состав формулы субстратных композиций по вариантам опыта, г

Вариант субстрата	Солома	Лузга	Гранулы из лузги	Рапс	Кукуруза молотая	Мел	Вода
1	250	311	563	164	138	8	2100
2	0	522	625	164	213	8	2300
3	333	0	688	182	188	8	2600
Влажность компонентов, %	$12,5 \pm 1,3$	$9,1 \pm 0,9$	$8,0 \pm 0,8$	$11,1 \pm 0,4$	$8,2 \pm 0,6$	$12,0 \pm 0,3$	100

Ячменную солому, лузгу подсолнечника и семена рапса заливали холодной водой и оставляли на 8-10 часов. Сливали остаток воды в течение 30 минут и слегка отжимали сырье. К гранулам добавляли горячую воду из расчета достижения 62-63% влажности (к 1 кг гранул с начальным показателем влажности 8% вливали 1500 ± 50 мл воды). Смешивали увлажненные компоненты в емкостях, добавляя молотую кукурузу и мел. Фасовали в полипропиленовые пакеты с фильтрами по 3250 ± 50 г.

Стерилизацию пакетов с субстратами проводили в промышленном автоклаве при температурі 120 ± 3 $1^{\circ}C$ ($1,3$ атм) в течение 120 минут [30]. Средняя масса пакета с субстратом после стерилизации составила 3249 ± 7 г.

Условия инкубации и плодоношения.

Инокуляцию проводили в асептичных условиях с внесением 5% зернового мицелія (5 г на 100 г субстрата по сырому весу или 165 ± 6 г на один пакет). Для каждого варианта опыта было изготовлено по 50 пакетов.

Инкубацию вариантов субстрата проводили при температурі $20 \pm 2^{\circ}C$ и относительной влажности воздуха 68 ± 3 %.

Инициацию плодоношения начинали с момента появления первых примордиев. Пакеты с субстратом взвешивали знову, фиксировали потери массы при инкубации. Определяли размеры 10 блоков каждого варианта по длине, ширине и высоте субстрата. Затем выносили в камеры и устанавливали на стеллажах рандомно. Пакеты вскрывали, но не освобождали от пленки. Площадь открытой поверхности не превышала 30%.

В период формирования плодовых тел (ПТ) поддерживали температурі $16 \pm 3^{\circ}C$, относительную влажность воздуха на уровне 96 ± 2 %. Нужно отметить, что температурі в камере плодоношения кратковременно опускалась до $13^{\circ}C$ в среднем 5-6 раз в периоды инициации плодоношения. Содержание углекислого газа составляло 1450 ± 150 ppm

(0,15%). Освещенность поддерживали на уровне 150 люкс в течение 8 часов.

Биологическую эффективность (БЭ) культур рассчитывали по общепринятой формуле: $\text{масса свежесобранных грибов} / \text{массу субстрата (по сухому веществу)} \times 100\%$ для каждого пакета с субстратом [31].

Общую длительность технологического цикла определяли по четырем критериям: 1) дата инокуляции; 2) дата образования примордиев (ДПр); 3) длительность морфогенеза (ДМ); 4) длительность технологического цикла (ДТЦ) по последней дате сбора ПТ первой волны. Длительность периода от момента инокуляции до момента образования примордиев характеризует период вегетативного развития культуры в субстрате и эффективность его колонизации. Период от появления примордиев до сбора урожая определяет длительность формирования плодовых тел культуры до наступления стадии съемной зрелости. Длительность технологического цикла культуры грибов определяется целесообразностью сбора нескольких волн плодоношения. Обычно, в лабораторных условиях, снимают до 5 волн, но производственные требования заставляют останавливать сборы урожая на второй-третьей, а иногда и первой волне. Эти условия определяются эффективностью получения последующих объемов урожая. Если доля следующей волны в общем объеме урожая составляет менее 10%, а длительность между волнами более 10 дней, такой сбор считают нецелесообразным по причине резкого увеличения себестоимости полученного продукта. Поэтому показатель ДТЦ рассчитывали по дате последнего сбора урожая, который соответствовал вышеуказанным критериям.

Анализ технических показателей субстратов проводили общепринятыми методами в трехкратной повторности для каждого цикла.

Содержание влаги определяли термогравиметрическим методом при

температуре $102 \pm 2^\circ\text{C}$ до остановки изменения веса (6-8 часов).

Общее содержание золы находили по методике, изложенной в «Методах биохимического анализа растений» Х. Н. Починка. Практику определения показателя общего азота методом Кьельдаля из данной книги использовали для анализа субстратных композиций.

Отношение C/N определяли по формуле

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

где а – показатель зольности, %; 0,52 – коэффициент содержания углеводов с учетом биохимических особенностей растительного сырья; N – содержание общего азота, % [32].

Плотность готового субстрата определяли расчетным методом после инокуляции пакетов культурой гриба. Для этого проводили замеры ширины, длины и высоты пакета с субстратом в пятикратной повторности для каждого варианта субстратной композиции. Измеренные пакеты с субстратом взвешивали, и плотность рассчитывали по формуле: $\rho = m/V$.

Статистическую обработку данных методом однофакторного и двухфакторного анализа проводили для каждого из вышеперечисленных показателей с помощью пакета Microsoft Office Excel 2016 MSO (16.0.4266.1001) код 00339-10000-00000-AA963 и программно-информационного комплекса “Agrostat New” [33]. Анализ средних по методу Дункана проводили с помощью программного обеспечения, разработанного Ю. Г. Приседским) [34]. Рассчитывали показатель наименьшей существенной разности при 5%-ом уровне значимости ($НСР_{05}$).

Результаты исследования и обсуждение.

В результате анализа технических показателей изготовленных вариантов субстрата выявлены достоверные отличия в физических характеристиках: влажности и плотности (табл. 2).

Таблица 2

Технические показатели субстратов

Варианты	Влажность, %	Общий азот, %	Зола, %	Отношение C/N	Плотность, кг/м ³
1	61,2±1,3	2,28±0,18	4,4±0,3	21,8±1,1/1	343±34
2	61,5±1,8	2,31±0,31	3,8±0,9	21,7±1,3/1	578±29
3	66,3±1,4	2,55±0,27	4,9±0,6	19,4±1,8/1	325±23
НСР ₀₅	1,1	0,24	0,87	1,6	83

Примечание. В таблице приведены среднее показателя ± стандартная ошибка за три цикла плодоношения, ноябрь-апрель 2019-2020.

Показатели влажности в изготовленных субстратах отвечали расчетным показателям.

Прогнозируемое уменьшение влажности субстратов после стерилизации не подтверждено,

общие потери массы пакета с субстратом не превышали 1%.

Высокая плотность субстрата № 2 была достигнута за счет отсутствия соломы. Лузга и частички гранул хорошо перемешивались и гарантировали равномерную структуру субстрата. В первом и третьем вариантах субстратов наличие измельченной соломы (частицы размером 5-7 см) способствовало увеличению объема субстратной массы.

В опыте не обнаружены существенные отличия по стандартным показателям содержания общего азота и зольных элементов во всех вариантах субстрата. Составленные формулы обеспечивали расчетное соотношение C/N на

уровне от 19,4 до 21,8 частей углерода к одной части азота. Следовательно, тщательный анализ сырьевых компонентов позволяет достигать точных расчетов заданных технических характеристик субстратов, изготовленных методом стерилизации. Необходимо подчеркнуть, что определяемые показатели не дают полного представления о комплексном биохимическом составе сырьевых компонентов, которые при сходном элементарном составе могут отличаться молекулярным строением. Поэтому влияние состава субстратной композиции на эффективность выращиваемых штаммов оценивалось как один общий фактор (рис.1).

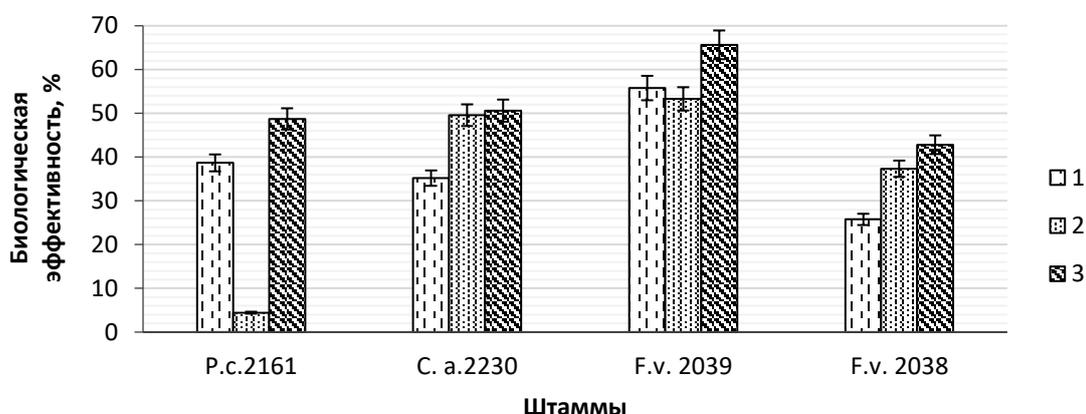


Рис. 1. Биологическая эффективность штаммов вешенки лимонношляпочной P.c.2161, опенка тополевого C.a.2230, опенка зимнего F.v.2039 и F.v.2038 на вариантах субстрата (1-3) (p<0.05)

Наиболее весомый результат был достигнут при культивировании опенка зимнего F.v.2039 желтой расы на субстрате № 3. Показатель БЭ этого штамма в 15 раз превышал показатель P.c.2161 на субстрате № 2 – самый низкий в исследовании.

Использование субстратной композиции № 3 способствовало получению высоких показателей эффективности для всех исследуемых грибов. Однако, для опенка тополевого существенных отличий при культивировании на субстратах № 2 и 3 не выявлено. Не обнаружено статистически доказанной разницы при выращивании штамма F.v. 2039 на субстратах №1 и №2.

Оптимизацией состава субстратов удалось увеличить биологическую эффективность опенка тополевого на 10-15% в сравнении с результатами предыдущих исследований.

Полученные данные являются первым научным обоснованием интенсивной технологии совместного культивирования новых для

украинского и европейского рынков экзотических съедобных грибов с высокой питательной и лекарственной ценностью. Однако, физические параметры и биохимический состав субстратов на основе местного растительного сырья, баланс органических и минеральных веществ в формулах субстратов, его влияние на урожайность и качество культивируемых грибов требует более глубокого и тщательного изучения. Актуальность этого вопроса подтверждается рядом современных научных публикаций ученых Словении, Италии, Греции и других стран мира [35-38]. Мы надеемся, что адаптация эффективных технологий выращивания экзотических грибов к местным условиям позволит расширить возможности украинских грибопроизводителей по насыщению местного рынка грибами с высокими функциональными свойствами, а также укрепить финансовую стабильность отечественных предприятий за счет экспорта.

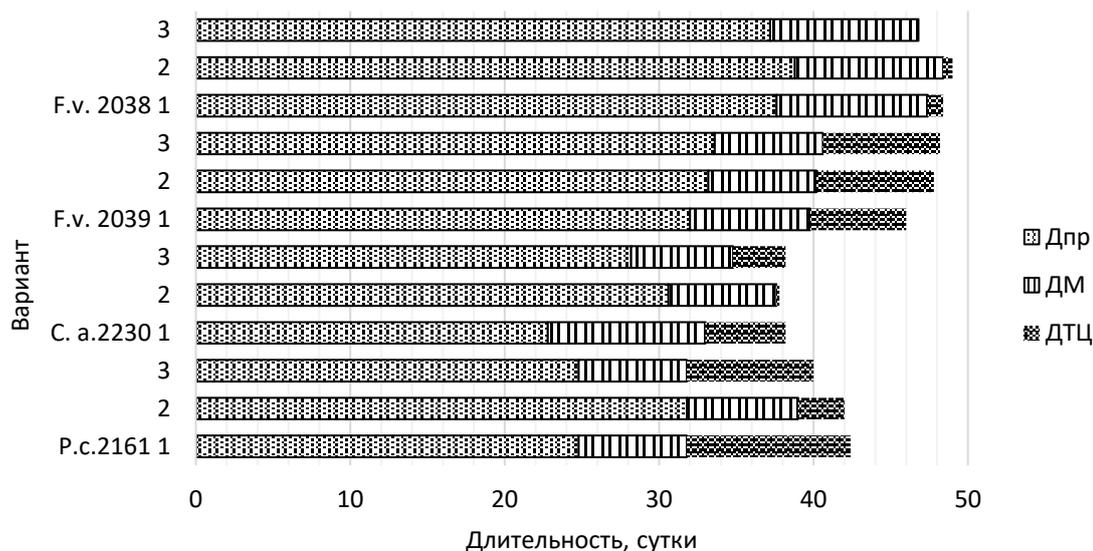


Рис. 2. Показатели технологического цикла выращивания вешенки лимонношляпочной P.c.2161, опенка тополевого C.a. 2230, опенка зимнего F.v.2039 и F.v.2038 по вариантам опыта: Дпр – дата образования примордиев, ДМ – длительность морфогенеза, ДТЦ– длительность технологического цикла

Если культуры опенков осваивали рыхлые и плотные субстраты с одинаковой эффективностью, то для вешенки лимонношляпочной плотность субстрата оказалась лимитирующим фактором развития. На момент сбора данных (60 дней от начала инкубации) на 30±8% блоков плодоношение не наступало.

Влияние состава субстрата отразилось и на показателях технологического цикла этой культуры (рис. 2). Первые примордии штамма P.c. 2161 появились на субстрате №1 уже на 20-е сутки, тогда как освоение субстрата №2 продолжалось еще 10 дней. На субстратах №1 и 3 собирали две волны плодоношения, а при использовании субстрата №2 за 60 дней удавалось получать только один урожай. Таким образом, использование субстрата №2 для культивирования вешенки лимонношляпочной штамма P.c. 2161 является нецелесообразным.

Наиболее длительный период вегетативного развития в опыте определен для штамма опенка зимнего F.v.2038 белой расы, появление зачатков плодовых тел которого происходило существенно позже в сравнении с другими штаммами на всех вариантах субстратов – на 37-39-е сутки от момента инокуляции. Следует отметить, что длительность вегетативного периода изученных штаммов опенка зимнего была существенно больше (на 8-10 суток) в сравнении с показателями вешенки и опенка тополевого на субстратах с оптимальными для их культивирования формулами. Самый короткий срок инкубации со средним показателем 22,8±0,8

дня был зафиксирован при выращивании опенка тополевого на субстрате формулы 1.

Длительность морфогенеза для всех изученных штаммов определялась биологическими особенностями культур, зависимости данного показателя от состава субстрата не обнаружено. Формирование плодовых тел всех штаммов длилось от 7 (у вешенки) до 11 дней (у опенка зимнего белой расы).

В результате анализа данных методом Дункана доказаны существенные различия между вариантами по изучаемым факторам. Фактор влияния состава субстрата оказался несущественным для обоих штаммов опенка зимнего, тогда как для вешенки лимонношляпочной и опенка тополевого выращивание на субстратах формулы 2 привело к значительному увеличению длительности формирования урожая. Если на субстратах вариантов 1 и 3 грибы этих штаммов собирали уже на 32-34 сутки, то на субстрате №2 требовалось еще 4-6 дня. Плодовые тела съемной зрелости штамма F.v.2038 белой расы получали на 47-48 день на всех вариантах субстратов одновременно, что на 15 суток дольше в сравнении со штаммами вешенки и опенка тополевого и на 10 суток дольше опенка зимнего желтой расы.

В результате статистического анализа длительности технологического цикла доказано, что действие фактора состава субстрата несущественно (0,4%), тогда как биологические особенности изученных культур являются определяющими (60,5%). В опыте самый

короткий цикл составлял 38 суток для штамма опенка тополевого, на 10 суток больше продолжалось культивирование штаммов опенка зимнего. При выращивании штаммов вешенки и опенка зимнего *F.v.2039* технологический цикл включал 2 волны сбора урожая, тогда как для опенка тополевого и опенка зимнего *F.v.2030* ограничивался одной волной.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

Расширение ассортимента культивируемых грибов предполагает упрощение технологий за счет использования однотипных субстратов, их адаптацию к одновременному выращиванию нескольких видов съедобных грибов без существенных изменений режимов микроклимата. Результаты нашего исследования доказывают возможность такого культивирования для четырех штаммов грибов трех различных видов: вешенка лимонношляпочная *P.c. 2161*, опенок тополевого *S.a. 2230*, опенок зимний *F.v.2039* (желтая раса) и *F.v.2038* (белая раса).

Установлено, что максимальная биологическая эффективность культивирования изученных

штаммов достигнута при использовании следующего состава (№3): солома – 333 г, гранулы топливные из лузги подсолнечника – 688 г, семена рапса – 182 г, кукуруза молотая – 188 г, мел – 8 г, вода – 2600 мл.

Максимальный урожай с эффективностью в $65,6 \pm 3,6\%$ был собран при выращивании опенка зимнего *F.v.2039* (желтая раса) с использованием субстрата № 3. Минимальный показатель эффективности ($42,8 \pm 4,3\%$) на этом субстрате был зафиксирован у штамма опенка зимнего *F.v.2038* (белая раса).

Доказано, что использование субстратов плотностью 578 ± 29 кг/м³ на основе лузги (№2) ухудшает эффективность культивирования вешенки лимонношляпочной в 11 раз по сравнению с максимальным результатом урожайности, полученном на субстрате № 3.

Авторы выражают благодарность руководителю предприятия ООО НПП «ГРИБНОЙ ДОКТОР» Севастьяновичу В. Н. за возможность проведения производственных испытаний и финансирование исследований.

Список использованных источников:

1. Jain, A., Ganeshpurkar, A., & Rai, G. (2010). Medicinal mushrooms: Towards a new horizon. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 127. DOI:10.4103/0973-7847.70904
2. Moon, B., & Lo, Y. M. (2014). Conventional and novel applications of edible mushrooms in today's food industry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(5), 2146-2153. DOI:0.1111/jfpp.12185
3. Итоги конференции «Украинское грибоводство: взгляд в будущее» | УМДИС: рынок грибов Украины. Retrieved from <http://www.umdis.org/news/itogi-konferencii-ukrainskoe-gribovodstvo-vzglyad-v-budushhee-20576>.
4. Chang, R. (2009). Functional Properties of Edible Mushrooms. *Nutrition Reviews*, 54(11), S91–S93. DOI:10.1111/j.1753-4887.1996.tb03825.x
5. R.P, A., & Ukkuru, P, D. M. (2016). Health Impact and Medicinal Properties of Nutritionally Edible Milky Mushroom (*Calocybe Indica*). *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(11), 235–237. DOI:10.22161/ijaers/3.11.36
6. Alam, N., Yoon, K. N., Lee, J. S., Cho, H. J., Shim, M. J., & Lee, T. S. (2011). Dietary effect of *Pleurotus eryngii* on biochemical function and histology in hypercholesterolemic rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(4), 403–409. DOI:10.1016/j.sjbs.2011.07.001
7. Phillips, K. M., Ruggio, D. M., Horst, R. L., Minor, B., Simon, R. R., Feeney, M. J., Haytowitz, D. B. (2011). Vitamin D and Sterol Composition of 10 Types of Mushrooms from Retail Suppliers in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(14), 7841–7853. DOI:10.1021/jf104246z
8. Кузнецова, А. (2010). Використання соломи в Україні – можливості та перспективи. Retrieved from http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/Agriculture_dialogue/2010/AgPP_31_ukr.pdf.
9. Хусид, С. Б., Гнеуш, А. Н., & Нестеренко, Е. Е. (2015). Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (107).
10. Chang, S.-T. (n.d.). Overview of Mushroom Cultivation and Utilization as Functional Foods. *Mushrooms as Functional Foods*, 1–33. DOI:10.1002/9780470367285.ch1
11. Ozelik, E., & Peksen, A. (2007). Hazelnut husk as a substrate for the cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). *Bioresource Technology*, 98(14), 2652–2658. DOI:10.1016/j.biortech.2006.09.020
12. Tesfaw, A., Tadesse, A., & Kiros, G. (2015). Optimization of oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushroom cultivation using locally available substrates and materials in Debre Berhan, Ethiopia. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 3(1), 15-20. DOI:10.7324/jabb.2015.3103

13. Kirbag, S., & Akyüz, M. (2008). Evaluation of agricultural wastes for the cultivation of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. var. ferulae Lanzi. *African Journal of Biotechnology*, 7 (20). Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59405>
14. Sözbir, G. D., Bektas, I., & Zulkadir, A. (2015). Lignocellulosic Wastes Used for the Cultivation of *Pleurotus ostreatus* Mushrooms: Effects on Productivity. *BioResources*, 10(3). DOI:10.15376/biores.10.3.4686-4693
15. Трухоновец, В. В., Колодий, Т. А., Бисько, Н. А., & Поединок, Н. Л. (2013). Вегетативний рост и плодоношение грибов рода *Pleurotus* на растительных субстратах. *Известия Гомельского госуниверситета*, 5 (80), 159–165.
16. Dhakad, P. K., Chandra, R., Yadav, M. K., & Patar, U. R. (2017). Comparative Study on Nutraceuticals of Five Strains of Milky Mushroom (*Calocybe indica*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(2), 645–648. DOI:10.20546/ijcmas.2017.602.073
17. Cueva, M. B. R., Hernández, A., & Niño-Ruiz, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 331–344. Retrieved from https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9699/20172-cp23-ruilova-cueva.pdf
18. Noble, R., & Gaze, R. H. (1996). Preparation of mushroom (*Agaricus bisporus*) composts in controlled environments: Factors influencing compost bulk density and productivity. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 37(1-2), 93–100. DOI:10.1016/0964-8305(95)00072-0
19. Contreras, E. P., Sokolov, M., Mejía, G., & Sánchez, J. E. (2004). Soaking of substrate in alkaline water as a pretreatment for the cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(2), 234–240. DOI:10.1080/14620316.2004.11511754
20. Rudolf Mulderij. (2016) Overview global market mushrooms [Electronic resource]. Retrieved from <https://www.freshplaza.com/article/2165878/overview-global-market-mushrooms>.
21. Вдовенко, С. А. (2011). Особливості культивування гливи звичайної на солом'яних субстратах. *Збірник наукових праць ВНАУ*, 8(48), 75–79.
22. Лесь М. М. (2016). ОСОБЛИВОСТІ УМОВ РОЗВИТКУ І КУЛЬТИВУВАННЯ PLEUROTUS OSTREATUS. *Abstracts of Papers. 1st International Scientific Conference "New Horizons: Achievements of Various Branches of Science"*. Morrisville, 2016. (pp. 145-147). Morrisville: Lulu Press.
23. Власенко, Е. Н. (2018). Вплив хімічного складу субстрату на показники росту, врожайності та синтез летких органічних сполук при твердофазному культивуванні *Pleurotus Ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kunt. *Наукові доповіді НУБіП України*, (2 (72)). DOI:10.31548/dopovidi2018.02.004.
24. Бандура І. І., Кулик А. С., Макогон С. В., Синяговський С. С. Дослідження особливостей інтродукції продуктивних штамів екзотичних грибів *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.) Vizzini та *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 8(2). DOI:10.31388/2220-8674-2018-2-52
25. Moonmoon, M., Uddin, M. N., Ahmed, S., Shelly, N. J., & Khan, M. A. (2010). Cultivation of different strains of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) on saw dust and rice straw in Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 17(4), 341–345. DOI:10.1016/j.sjbs.2010.05.004
26. Mehrdad Jafarpour. (2012). High protein complementation with high fiber substrates for oyster mushroom cultures. *African journal of biotechnology*, 11(14). DOI:10.5897/ajb11.1473
27. Rizki, M., Tamai, Y., Koda, K., Kojima, Y., & Terazawa, M. (2010). Wood density variations of tropical wood species: implications to the physical properties of sawdust as substrate for mushroom cultivation. *Wood Research Journal*, 1(1), 34–39. Retrieved from <http://ejournalmapeki.org/index.php/wrj/article/view/180>
28. Fidanza, M. A., Sanford, D. L., Beyer, D. M., & Aurentz, D. J. (2010). Analysis of Fresh Mushroom Compost. *Hort Technology*, 20(2), 449–453. DOI:10.21273/horttech.20.2.449
29. Membrillo, I., Sánchez, C., Meneses, M., Favela, E., & Loera, O. (2011). Particle geometry affects differentially substrate composition and enzyme profiles by *Pleurotus ostreatus* growing on sugar cane bagasse. *Bioresource Technology*, 102(2), 1581–1586. DOI:10.1016/j.biortech.2010.08.091
30. Oseni, T. O., Dlamini, S. O., Earnshaw, D. M., & Masarirambi, M. T. (2012). Effect of substrate pre-treatment methods on oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production. *International journal of agriculture and biology*, 14, 251–255. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-substrate-pre-treatment-methods-on-oyster-Oseni-Dlamini/74d5408d08586940b1679c72d5f33644bb82cfb9>.
31. Chang, S. T., & Hayes, W. A. (Eds.). (2013). *The biology and cultivation of edible mushrooms*. Academic press.
32. Зенова, Г. М., Степанов, А. Л., Лихачева, А. А., & Манучарова, Н. А. (2002). *Практикум по биологии почв*. Москва: Издательство Московского университета, 88 с.
33. Ушкаренко, В. О. (2013). *Програмно-інформаційний комплекс „Agrostat New”*. Херсон: Айлант.
34. Приседський Ю. Г. (1999). *Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навчальний посібник*. Донецьк: ТОВ “Норд Компьютер,” 210 с.
35. Gregori, A., Švagelj, M., Pahor, B., Berovič, M., & Pohleven, F. (2008). The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology*, 25(2-3), 157–161. DOI:10.1016/j.nbt.2008.08.003

36. Altieri, R., Esposito, A., Parati, F., Lobianco, A., & Pepi, M. (2009). Performance of olive mill solid waste as a constituent of the substrate in commercial cultivation of *Agaricus bisporus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(8), 993–997. DOI:10.1016/j.ibiod.2009.06.008
37. Mudakir, I., & Hastuti, U. S. (2015). Study of wood sawdust with addition of plantation wastes as a growth medium on yields and quality of white Oyster Mushroom. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 37(1). DOI:10.17503/agrivita-2015-37-1-p089-096
38. Philippoussis, A., & Diamantopoulou, P. A. (2011, October). Agro-food industry wastes and agricultural residues conversion into high value products by mushroom cultivation. In *Proceedings of the 7th international conference on mushroom biology and mushroom products (ICMBMP7), France* (pp. 4-7). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Antonios_Philippoussis/publication/268205847_Agro-food_industry_wastes_and_agricultural_residues_conversion_into_high_value_products_by_mushroom_cultivation/links/555c54f608ae8f66f3adecf9/agro-food-industry-wastes-and-agricultural-residues-conversion-into-high-value-products-by-mushroom-cultivation.pdf

І.І. Бандура, А.С. Кулик, С.В. Чаусов, О.М. Цизь. 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.

Досліджено можливість одночасного культивування їстівних грибів: опенька тополевого, гливи золотої та опенька зимового (білої та жовтої раси) в умовах промислового виробництва з позитивним результатом. Визначено терміни отримання плодових тіл споживчої стиглості: від 32 діб для гливи золотої (мінімальний строк) до 47 діб для опенька зимового (білої раси). Найвищий показник біологічної ефективності у досліді зафіксовано для опенька зимового (жовтої раси) на рівні 66%.

Ключові слова: культивування, глива золота *Pleurotus citrinopileatus*, опеньок тополевий *Cyclocybe aegerita*, опеньок зимовий *Flammulina velutipes*, біологічна ефективність, технологічний цикл.

I. Bandura, A. Kulyk, S. Chausov, O. Tsyz. Influence of plant substrate composition on the efficiency of edible mushrooms cultivation *Cyclocybe aegerita* (V. Brig.), *Pleurotus eryngii* (DC.) Quel., *Pleurotus citrinopileatus* Singer and *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer.

The possibility of using plant substrates based on straw and sunflower husk, with the addition of rape seeds and corn processing waste for the cultivation of edible xylotrophic mushrooms: poplar mushroom, lemon-hat oyster mushroom and winter mushroom (white and yellow races) was investigated. The optimal formula of the substrate was established, the use of which increases the biological effectiveness of the studied strains and reduces the time required for obtaining fresh fruit bodies.

Keywords: lemon-cap oyster mushroom *Pleurotus citrinopileatus*, poplar mushroom *Cyclocybe aegerita*, winter mushroom *Flammulina velutipes*, biological efficiency, technological cycle mushrooms (*Flammulina velutipes*), biological efficiency, technological cycle.

