

UDC 631.17:635.8

FACTORS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGY OF CULTIVATION AND PROCESSING OF MUSHROOMS OF THE GENUS OYSTER MUSHROOM *PLEUROTUS* (FR.) P. KUMM

Bandura I.I., Kulyk A.S.

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
Bohdan Khmelnytsky ave., 18, Melitopol, Zaporizhzhia region, Ukraine, 72312

Khareba O.V., Khareba V.V.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroes of Defense str., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

Kovtuniuk Z.I.

Uman National University of Horticulture
Instytutska Str., 1, Uman, Cherkasy region, 20301, Ukraine

E-mail: vkhareba@ukr.net

<https://doi.org/10.32717/0131-0062-2021-69-63-78>

Mushrooms of the genus oyster mushroom *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm are a source of biologically active substances, the functionality of which has been repeatedly confirmed by scientific research. Unfortunately, there are no data on the dynamics of changes in the biochemical composition during the ripening of fruit bodies. This data could determine the optimal harvest time and processing directions that would maximize the nutritional value of the mushroom raw material. On the other hand, for the efficient production and processing of these mushrooms, it is necessary to study the organoleptic characteristics of strains with high yields, as well as the technological features of their primary processing. The characteristics of 6 strains of oyster mushroom were studied, which belong to two types *P. ostreatus* (Fr.) P. Kumm and *P. pulmonarius* (Fr.) Quél, which were divided into two groups according to the optimum growing temperature: 12...16 °C – group A and 19...24 °C – group B. The most productive strains were identified in the groups: 2316 (A) with a biological efficiency index of 78.9% and 431 (B) – 78.4%. An organoleptic assessment of the fruit bodies was carried out after a five-minute heat treatment, as a result of which strains 2301 and Z (A) were isolated. They have a rich color and delicate texture of fruit bodies. Fruit bodies of strain 2314 (B) were distinguished by a bright mushroom aroma and pleasant taste. The coefficients of loss of mushroom raw materials were found at two stages of primary processing: inspection and blanching. It turned out that the losses during cleaning did not exceed 10%, but they had different values for the aggregates that were collected at the stage of technical and biological maturity. Inspection of intergrowths of strain 2314 (A) was carried out with minimal losses (1–2%). Blanching of mature fruiting bodies did not lead to a decrease in the mass of raw materials, whereas during heat treatment of mushrooms of technical maturity, losses amounted to 3 to 7%. The study of the biochemical composition of fruiting bodies at different stages of morphogenesis made it possible to reveal a tendency towards a decrease in the content of dry substances, proteins and an increase in the amount of ash elements in mature fruiting bodies in the studied strains.

Key words: mushroom processing, *Pleurotus*, biological efficiency, biochemical compounds, cultivation, biological maturity, cluster, fruiting body.

ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ГРИБОВ РОДА ВЕШЕНКА *PLEUROTUS* (FR.) P. KUMM

Бандура И.И., Кулик А.С.

Таврийский государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного
пр. Богдана Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Запорожская обл., 72312

Хареба Е.В., Хареба В.В.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
ул. Героев обороны, 15, г. Киев, 03041

Ковтунюк З.И.

Уманский национальный университет садоводства
ул. Институтская, 1, г. Умань Черкасская обл., 20301
E-mail: vkhareba@ukr.net

Грибы рода вешенка *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm являются источником биологически активных веществ, функциональность которых подтверждена многократно научными исследованиями. К сожалению, отсутствуют данные о динамике изменения биохимического состава в процессе созревания плодовых тел. Эти данные могли бы определить оптимальное время сбора урожая и направления переработки, позволяющие максимально сохранить питательную ценность грибного сырья. С другой стороны, для эффективного производства и переработки этих грибов необходимо исследовать органолептические показатели штаммов с высокой урожайностью, а также технологические особенности их первичной переработки. Изучены характеристики 6 штаммов вешенки, относящихся к двум видам *P. ostreatus* (Fr.) P. Kumm и *P. pulmonarius* (Fr.) Quél, которые были разделены на две группы по оптимальной температуре выращивания: 12...16°C – группа А и 19...24°C – группа В. В группах определены наиболее продуктивные штаммы: 2316 (А) с показателем биологической эффективности – 78,9 % и 431 (В) – 78,4 %. Проведена органолептическая оценка плодовых тел после пятиминутной термической обработки, в результате которой выделены штаммы 2301 и Z (А), имеющие насыщенную окраску и нежную текстуру плодовых тел. Плодовые тела штамма 2314 (В) отличались ярким грибным ароматом и приятным вкусом. Найден коэффициент потери грибного сырья на двух этапах первичной переработки: инспектирования и бланширования. Оказалось, что потери при очистке не превышают 10%, но имеют разные значения для сростков, собранных на стадии технической и биологической зрелости. Инспектирование сростков штамма 2314 (А) проходило с минимальными потерями (1–2 %). Бланширование зрелых плодовых тел не приводило к уменьшению массы сырья, тогда как при термической обработке грибов технической зрелости потери составляли от 3 до 7 %. Исследование биохимического состава плодовых тел на разных стадиях морфогенеза позволило выявить тенденцию снижения содержания сухих веществ, протеинов и увеличения количества зольных элементов в зрелых плодовых телах изученных штаммов.

Key words: переработка грибов, *Pleurotus*, биологическая эффективность, выращивание, биологическая зрелость, биохимический состав, сросток, плодовое тело.

Анализ последних исследований и публикаций по исследуемой теме. Расширение ассортимента культивируемых грибов стало общей тенденцией в современном мире. На 8-й Международной конференции «Биология грибов и их переработка» (Индия, 2014) профессор Ройз Д. отметил, что в США потребление грибов увеличилось в 4 раза за последние 15 лет и продолжает расти (Royse D.J., 2014). Анализ производства грибов в Китае, чья доля на мировом «грибном» рынке превышает 30%, подтверждает увеличение потребления экзотических грибов с 6 кг/год в 2003 до 10 кг в 2008 (более, чем на 66%). При этом производство шампиньона в этой республике снизилось, а производство вешенки за 5 лет выросло в 1,4 раза, шиитакэ – в 1,7 раза, а опенка зимнего в 2,2 раза (Edible Mushroom Cultivation, 2020). По данным Фердауса (Firdaus S.M.) потребление вешенки в Малайзии с 1 кг выросло до 2,4 (Firdaus S.M. et al.). Прогноз мирового рынка грибов от *Mushroom Market Size* предполагает рост с 12,74 млн тонн в 2018 году до 20,84 млн тонн

в 2026. Аналитики связывают такое повышение интереса к грибной продукции с ростом идей здорового питания и веганства, низкой калорийностью грибов, что позволяет использовать их в диетах, контролирующих вес (Mushroom Market Size, 2020). При этом, американские ученые, анализирующие факторы, влияющие на потребления грибов в США, определяют повышение спроса в основной возрастной категории покупателей – людей в возрасте от 20 до 39 лет (Lucier G., Allshouse J.; Lin B.-H.).

Международная Маркетинговая Группа (ММГ), анализируя состояние украинского рынка грибов, подчеркивает, что спрос на грибную продукцию обусловлен ее вкусовыми характеристиками и высокими функциональными качествами, в частности, высоким содержанием белка. Причем цена на грибы не является лимитирующим фактором, так как грибы чаще всего покупают люди, чей доход выше среднего. По данным этого агентства, потребление грибов в Украине на одного человека в 2020 году составило 1,5 кг, тогда как во Фран-

ции – 3,1, в Англии – 2,7, а в США и Канаде – 2,2 кг в год (*Obzor ukrainskogo rynku gribov*). В это же время Рудольф Мулдерий (*Mulderij Rudolf*), редактор международного издания «Fresh Plaza» заявляет о растущем интересе европейского потребителя к экзотическим грибам. Он пишет: «Покупатели хотят новых цветов и вкусов на грибном рынке». Это подтверждается и ценовой политикой: например, в Италии стоимость шампиньона 1,8–2,0 евро, тогда как вешенки обыкновенной –2,5–3,0, а опенка тополевого (пиопинно) и эринги (вешенки степной) 9 и 4 евро соответственно.

Международный независимый институт анализа инвестиционной политики (МНИАП) определяет ключевые направления в развитии современного рынка грибов:

1) микоризные грибы, такие как трюфель, белый гриб и т.п., которые представлены на рынке дикорастущими видами, а технологии культивирования которых находятся в стадии научных разработок, либо отсутствуют;

2) целлюлозоразрушающие грибы (вешенка, шиитаке, опенки), технологические основы выращивания которых достаточно просты, поэтому могут быть получены в условиях малообъемных фермерских производств;

3) шампиньоны, требующие индустриально-го подхода к организации производства.

В исследовании, подчеркивается тенденция к разделению рабочих направлений в грибном бизнесе: производством компоста и субстратов занимаются крупные специализированные компании, которые объединяют вокруг себя фермерские хозяйства по выращиванию грибов, принимают у них уже готовую продукцию на реализацию, аккумулируют ее в достаточном количестве, чтобы обеспечить своевременные стабильные поставки свежих грибов в торговые сети (*Vysokie tekhnologii APK*, 2020).

В Украине этот принцип реализуется такими компаниями как ООО НПП «Экогриб» (г. Добровеличковка, Кировоградской области), ООО «Друиды» (г. Кривой Рог Днепропетровской обл.), ООО «Украинская грибная компания» (г. Каменское Днепропетровской обл.), ООО НПП «Грибной доктор» (г. Мелитополь Запорожской обл.), которые в общем эквиваленте определяли работу 80% производителей вешенки и других экзотических грибов в 2019 году. По данным отчетности от руководства компании «Грибной доктор», этими предприятиями за год было произведено более 5 млн кг субстрата, который при усредненной урожай-

ности в 20% обеспечил получение минимум 1 млн кг свежих грибов вешенки. Следовательно, всего за 2019 год в Украине было выращено и реализовано (с учетом отсутствия экспорта) 1 млн 250 тысяч кг вешенки, что по потреблению на душу населения в возрасте от 16 до 59 лет составило всего лишь 50 г (по данным Государственной статистической службы Украины эта категория населения на январь 2019 года составляла 25 млн 294 тысячи человек).

С чем связано такое низкое потребление вешенки в Украине? Почему цена на этот гриб, известный своей высокой питательной и лекарственной ценностью, существенно ниже на отечественном рынке в сравнении со странами Европы?

На наш взгляд, такая ситуация сложилась из-за следующих факторов:

1. Украинский потребитель не владеет информацией о полезных свойствах вешенки и других дереворазрушающих грибов, не знает о способах их переработки и применения в рецептурах домашних блюд. Исторически определено осторожное отношение покупателя к грибам, страх перед их токсичностью превалирует над желанием попробовать новые блюда из неизвестных видов. Например, интернет-поиск «блюда из шампиньонов» имеет средне-статистическую частоту запроса в месяц на уровне – 880, а «блюда из вешенки» – всего 50, из опят – 40, а из шиитаке – 10.

2. Украинские предприятия по выращиванию экзотов находятся на уровне малообъемного бизнеса, большинство из них – частные фермы семейного типа с объемом производства от 50 до 500 кг свежих грибов в день. У большинства отсутствует холодильное оборудование и условия безопасного хранения такой скоропортящейся продукции. Поэтому фермеры сознательно ограничивают свое производство доступной логистикой и страдают от финансовой нестабильности в ценовой политике из-за постоянных сбросов залежавшейся продукции на местные оптовые рынки. Весьма ограничена работа с торговыми сетями, которые требуют нормативного подтверждения пищевой безопасности грибов и стабильности поставок.

3. На полках отечественных супермаркетов ассортимент переработанной грибной продукции из экзотов весьма невелик, и ограничивается маринадами (*Klymenko M.M., Yastreba Yu.A.*, 2009; *Nakonechna Yu.H.* 2009; *Hunko S.M., Trynychuk O.O.*, 2014; *Kulyk A.S. et al.*, 2019.). Например, торговая марка «Трина» выпускает

маринованную вешенку под заказ, при этом называя ее «груздем» (<http://trina.com.ua/category/produkcija/produkcija-a-pod-zakaz>). И только с 2019, впервые в Украине ТМ «Розумний Вибір» начала выпуск консервов грибных стерилизованных «Вешенка резаная с овощами» из грибов местного производства.

Оценка состояния научно-технического потенциала отечественных производителей, а также наличие серьезной научной базы, основанной на работах ряда украинских исследователей, таких как Дудка И.А., Бухало А.С., Соломко Э.Ф., Бисько Н.А. и многих других, дает возможность говорить о перспективах расши-

рения ассортимента и укрепления рынка экзотических грибов в Украине.

В результате анализа мировых тенденций, современных научных данных и патентной базы, была составлена схема переработки грибов в различные виды продукции, позволяющие сохранить биологически активные вещества грибов и повысить функциональность других продуктов, содержащих определенную часть грибного сырья (Tikhonov V.V., Maslihov V.F., 2016; Perspektivy ispolzovaniya gribov roda veshenka *Pleurotus*, 2020; Kravchenko O.A., Roslyakov YU.F. 2011., Sposob polucheniya vegetarianskoy kolbasy, 2017) (рис.1).

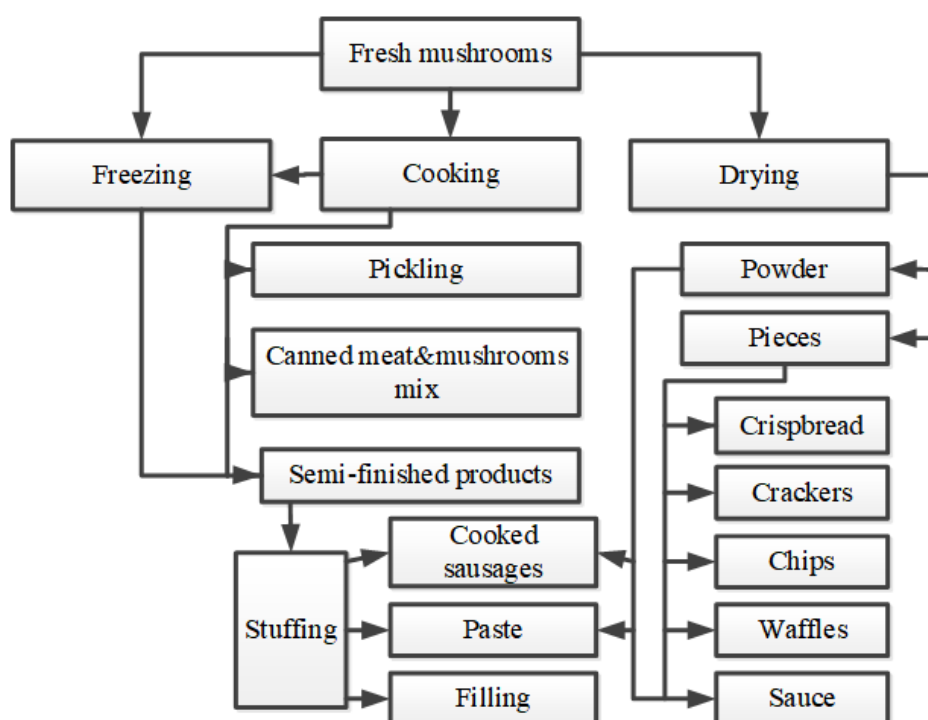


Рисунок 1. Перспективные направления переработки свежих грибов

Однако, обоснование данной схемы потребовало проведения ряда новых исследований и глубокого анализа предыдущих. Для увеличения потребительской заинтересованности и активного привлечения покупателей, кроме вопросов сохранения пищевой ценности грибной продукции во время переработки, следовало изучить органолептические показатели: цвет, форму, вкусовые качества грибов.

Поэтому целью данной работы стал анализ биологической эффективности и факторов качества грибов рода вешенка (*Pleurotus* (Fr.) P. Kumm) как модели эффективного выращивания ксилотрофных грибов с высокой функциональной ценностью.

Было изучено 6 штаммов рода *Pleurotus* виды: *P. ostreatus* (Fr.) P. Kumm (5 штаммов: 2301, Z, 2316, 2456, 431), *P. pulmonarius* (Fr.) Quél. (1 штамм – 2314), уже выращиваемых в Украине и перспективных для производства в промышленных объемах. Проведена оценка по следующим показателям:

- 1) биологическая эффективность штаммов, которые культивируются в разных температурных режимах и условно разделены на две группы – «зимние» и «летние»;
- 2) морфологическая и органолептическая характеристика плодовых тел на разных стадиях морфогенеза;
- 2) коэффициент потери на этапе инспекции;

3) коэффициент потери после бланширования;

4) биохимический состав плодовых тел разного возраста (сухое вещество, белки, эндополисахариды, зола) (Myronycheva O. et al., 2017).

Материалы и методы исследований.

Анализировали данные, полученные в результате лабораторных и производственных исследований с 2011 по 2019 гг. включительно, проводившихся в лаборатории ТГАТУ по программам «Розробка технологій вирощування та первинної обробки продукції рослинництва в степовій зоні України за умов глобального потепління» 2011–2015 рр. (номер державної реєстрації – 0111U002553 та відповідно до наукової теми 3.7 «Обґрунтування існуючих та розробка нових технологій виробництва та переробки їстівних та лікарських грибів» в науково-технічній програмі НДІ № НДІ №0116U002734 «Обґрунтування та розробка нових і вдосконалення існуючих технологій охолодження та консервованих рослинних продуктів») і на підприємствах ФОП Севастьянович и ООО НВП «Грибной Доктор» (с. Садовое, Мелитопольского района Запорожской обл.).

Изготовление посевного материала. Исследовали 2 категории штаммов, в которые отнесли штаммы с низкотемпературным оптимумом плодоношения (12...16 °С – группа А) и высокотемпературным (19...24 °С – группа В). К первой группе отнесли штаммы 2301, Z, 2316, ко второй 2314, 2456 и 431 (Bandura I.I., Mironycheva E.S., 2013; Bandura I.I., Mironycheva E.S. et al. 2014). Культуры штаммов были получены из коллекции культур шляпочных грибов ИВК Института ботаники им. Холодного НАН Украины. Культуры хранились в пробирках на питательных средах следующего состава: солодовый экстракт сухой 30 г, агар-агар – 20 г, вода до 1 литра, палочки из березы (2×140×5мм). Пробирки с питательной средой и палочками стерилизовали при температуре 120 ±2° С (1, 2 атм.) в течении 40 мин. Через 8–10 дней после инокуляции, когда мицелий покрывал 95–100 % площади косого среза, помещали в холодильник и хранили при температуре 3±1 °С до пересева на чашки Петри (не более 3-х месяцев).

За 7 дней до изготовления промежуточной зерновой культуры производили инокуляцию необходимого количества чашек Петри со стерильной питательной средой следующего состава: мальдекстроза 30 г, агар-агар 20 г, пептон ферментированный (или сухой дрожжевой экс-

тракт) 2 г; кукурузная (рисовая) мука 2 г, вода до 1 л (Nakasone K.K., Peterson S.W., 2004; Jong S.-C. 2004). Активную кислотность поддерживали на уровне pH – 6,5–7 с помощью 1 Н раствора гидроксида калия (Dudka I.A et al. 1982.). Инкубацию проводили при температуре 25±1 °С.

Готовили растворы для инокуляции промежуточной зерновой культуры следующим образом. Банку стеклянную (твист 0,314 л то-63) наполняли водопроводной водой на 80 % (250 мл) и добавляли 3 г кукурузной муки, тщательно перемешивали. Перед стерилизацией банки плотно закрывали твист-крышками с установленным механизмом для измельчения питательных сред. Внутреннюю поверхность крышки, прилегающую к стеклу, смазывали растительным маслом. Стерилизовали банки в биксе КСК-18 при температуре 120 °С в течении 40 мин. и охлаждали в асептических условиях.

Содержимое чашек после полной колонизации поверхности питательной среды культурой штамма переносили в банки в асептических условиях и измельчали с помощью миксера до частичек размером 1–5 мм. Подготовленную взвесь вносили в стерильную зерновую смесь в условиях ламинарной очистки воздуха (HEPA 14) в объеме 50 мл на 5 кг зерновой смеси.

Зерновую смесь для промежуточной культуры готовили следующим образом: рапс в количестве 30±2 кг заливали холодной водой в соотношении 1/3. Оставляли для набухания на 9±1 час. В кипящую воду объемом 150±10л (котел пищевой КПЭ 350) засыпали 45±3 кг зерна проса, варили 28±3 мин., добавляли 70±3 кг зерна пшеницы и варили еще 18±3 мин. при кипении. Настаивали 18±2 мин. и сливали излишек воды через сито в течение 15 мин. Готовую смесь выгружали в емкости для охлаждения. Добавляли рапс, мел (1кг на 100 кг увлажненной зерновой смеси, тщательно перемешивали и охлаждали до температуры 35±5 °С с помощью принудительной воздушной вентиляции. Готовую смесь засыпали в полипропиленовые пакеты компании SacO₂ (Бельгия) массой 5100±50 г. Пакеты заворачивали таким образом, чтобы упредить раскрытие во время стерилизации и располагали в корзинах автоклава по 8 штук на 1 м² каретки. Стерилизацию проводили в режиме температуры 125±2 °С в течение 190±10 мин.

Стерильную продукцию выгружали для остывания в условиях «чистой» зоны с очисткой воздуха 99,95 % (HEPA 13).

После внесения раствора со взвесью культуры гриба в охлажденную зерновую смесь пакеты запаивали в асептических условиях (НЕРА 14) и тщательно перемешивали. Инкубацию проводили при температуре 24 ± 1 °C в условиях чистой зоны до колонизации культурой 70% зерновой смеси, которое происходило стандартно на 7–8-й день инкубации. После визуальной проверки, без вскрытия, содержимое пакета осторожно перемешивали для разрыва гиф и ускорения колонизации. Легким надавливанием, через фильтры удаляли излишек воздуха и формировали блок. Оставляли еще на двое суток до полной колонизации зерновой смеси. Подготовленную «промежуточную» зерновую культуру использовали в качестве посевного материала для инокуляции коммерческого зернового мицелия. Коммерческий мицелий изготавливали вышеописанным методом, но использовали другой состав зерновой смеси: ячмень 55 %, пшеница 35 %, рапс 8 %, лен 1 %, мел 1 % (на сухие материалы).

Пакеты с охлажденной зерновой смесью инокулировали «промежуточной» культурой в количестве 0,5 % от массы зерна в пакете коммерческого мицелия.

На 5-й день инкубации осуществляли процедуру перемешивания зерновой смеси и удаляли воздух из пакетов, формируя прямоугольные блоки. Анализ на наличие бактериальной и плесневой контаминации, а также на активность роста зерновой культуры проводили на 6-е сутки из 2 % процентов подготовленной партии (Dudka I.A. et al. 1982.). При отрицательных пробах на контаминацию и наличии 100% опущения зерновок на 2–3 сутки инкубации при температуре 27 ± 1 °C коммерческий зерновой мицелий использовали для инокуляции субстрата.

Изготовление субстрата.

Субстрат для выращивания вешенки готовили методом аэробной ферментации в высоком слое (АФВС) (Bisko N.A., Dudka I.A., 1987; Holub N.A. et al. 2010). Использовали растительное сырье в следующих пропорциях: солома ячменя измельченная (40–60 мм) – 30–50 %; лузга подсолнечника 45–55 %; сено люцерны 4–9 %; кукурузная мука 1 %. Изменение рецептуры производили на основе биохимического анализа сырьевых материалов, состав которых зависел от агротехнологических условий их получения. Основным фактором для корректировки формулы субстрата был показатель общего азота, который рассчитывали на уровень

0,8% (по сухому весу). Материалы в расчетном количестве перемешивали и укладывали слоями в камеры ферментации общей высотой 1500 мм, каждый из которых (400–500 мм) тщательно увлажняли горячей водой (50...60 °C). Длительность процесса термической обработки сырья составляла от 3,5 до 5 суток в зависимости от микробиологического загрязнения сырьевых материалов с температурным алгоритмом: 1) 28...32 °C – 24–42 часа; 2) 70...75 °C – 12–24 часа; 3) 45...55 °C – 18–48 часов. Охлаждение субстратной массы до температуры 30 °C проводили с помощью активной вентиляции в течение 2–4 часов.

Оценку качества субстрата проводили по следующим критериям: влажность, pH, содержание общего азота, содержание минеральных элементов, соотношение углерода к азоту которые определяли стандартными методами в лаборатории ТДАТУ (Pochinok H.N., 1976.). Оценку микробиоты субстрата осуществляли авторским методом (Bandura I.I., 2015).

Подготовленный и охлажденный субстрат инокулировали в асептических условиях зерновым мицелием в количестве 0,35 кг на 10 кг субстрата с использованием частичной механизации процесса. Для изготовления блоков использовали полиэтиленовые пакеты размером 1000×330–350 мм, толщиной 70 мкм. Сформированные субстратные блоки имели следующие параметры: высота 850 ± 45 мм, диаметр 250 ± 20 мм, масса 12385 ± 135 г, плотность $0,07 \pm 0,01$ г/см³.

Субстратные блоки располагали в камерах выращивания по однозональной системе культивирования на стеллажах или подвеской со средней загрузкой камер от 50 до 120 кг/м² (Dudka I. O., 1978). Перфорацию блоков проводили разрезом 80 ± 30 мм таким образом, чтобы расстояние между разрезами составляло 100–150 мм. Общая поверхность перфораций не превышала 1,5 % поверхности блоков.

Получение плодовых тел (ПТ).

Инкубацию субстрата проводили при средней температуре 15 ± 5 °C в культивационной камере в зависимости от культуральных особенностей штаммов и сезона. При этом температура в субстратных блоках не опускалась ниже 16 °C в зимний период и не поднималась выше 31 °C в летнее время. Показатель относительной влажности воздуха составлял $70 \pm 5\%$. В лаборатории освещение использовали только для контроля роста мицелия, а в производственных помещениях с окнами интенсивность

освещения днем не превышала 100 люкс и определялась погодными условиями. Содержание углекислого газа в камерах не превышало 0,3%. Полную колонизацию субстратов фиксировали на 8 ± 2 сутки.

Изменение параметров микроклимата для инициации плодоношения начинали на 10 сутки инкубации в летний период и на 16 ± 2 сутки для осенне-весеннего периода. Интенсивность освещения увеличивали до 170 ± 50 люкс в течение 8–10 часов, влажность воздуха повышали до $85 \pm 5\%$, контролировали содержание углекислого газа на уровне $0,12 \pm 0,03\%$ системой активной вентиляции без использования рециркуляционных потоков. Проводили предварительную подготовку воздуха по следующей схеме: нагрев \rightarrow увлажнение. Охлаждения воздуха проводили водой с температурой $9 \pm 1^\circ\text{C}$. В летний период использовали дополнительный метод увлажнения через мелкодисперсные форсунки.

Фиксировали дату начала образования примордиев, длительность морфогенеза до стадий технической и биологической зрелости.

Анализ сростков и плодовых тел.

Проводили подсчет количества сростков, плодовых тел в сростках, их массы и размеров для каждого субстратного блока. Вариативность рассчитывали с выборкой $n=100$ как для сростков, так и для плодовых тел. Определяли потерю массы урожая на этапе инспектирования (удаление остатков субстрата, основания сростков, поврежденных плодовых тел).

Для определения биологической продуктивности рассчитывали общую массу плодовых тел с одного субстратного блока (выборка 50 шт.). Биологическую эффективность определяли только для первой волны плодоношения по формуле:

$\text{БЭ} = \text{масса плодовых тел} / \text{масса сухого вещества в блоке}$.

Массу сухого вещества находили по формуле:

$\text{Мсв} = \text{масса блока} \times (1 - \text{коэффициент влажности})$.

Определяли потерю массы плодовых тел после бланширования: 1000 г ПТ отваривали в кипятке в течение 5 мин., отбрасывали на сито на 10 мин. и производили взвешивание (потворность – пятикратная).

Биохимический состав плодовых тел в стадиях технической и биологической зрелости изучали стандартными методами. Количество протеинов рассчитывали умножением показателя общего азота на коэффициент 4,38 (Bukhalo A.S. et al., 2011).

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета Microsoft Office Excel 2016 MSO (16.0.4266.1001) код 00339-10000-00000-AA963, программно-информационного комплекса “Agrostat New” (2013).

Результаты исследований.

Известно, что эффективность штаммов культивируемых грибов зависит от многих факторов: состава сырья, качества температурной обработки субстрата, микроклиматических режимов во время инкубации и плодоношения, методов сбора, санитарного состояния камер выращивания. При этом качество субстрата является одним из основных показателей.

Статистическим анализом полученных данных не выявлено существенных различий в качестве субстрата, изготовленных на разных предприятиях методом АФВС, что позволяет говорить о стабильности и эффективности данной обработки сырьевых компонентов.

Физико-химические показатели исследуемых субстратов соответствовали требованиям отечественной нормативной документации (ДСТУ 7316:2013 Міцелій їстівних грибів субстратний. Технічні умови) (табл.1).

Таблица 1 – Динамика показателей субстратов, полученных методом АФВС (2014–2019)

Год	Влажность (RH)	pH	Азот общий (N total)	Зола (ash)	Соотношение C/N (Ratio C/N)
2014	$73,4 \pm 0,5$	$7,10 \pm 0,2$	$0,90 \pm 0,10$	$5,63 \pm 0,3$	$57 \pm 8,7$
2015	$74,0 \pm 0,9$	$6,95 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,04$	$6,84 \pm 0,7$	$57 \pm 2,8$
2016	$73,0 \pm 1,4$	$7,41 \pm 0,4$	$0,54 \pm 0,06$	$9,41 \pm 1,1$	$98 \pm 18,1$
2017	$74,2 \pm 1,4$	$7,61 \pm 0,4$	$0,59 \pm 0,05$	$7,65 \pm 0,6$	$85 \pm 6,90$
2018	$70,6 \pm 1,3$	$7,10 \pm 0,4$	$0,86 \pm 0,10$	$6,17 \pm 0,4$	$65 \pm 9,90$
2019	$72,1 \pm 1,3$	$7,69 \pm 0,4$	$0,89 \pm 0,20$	$7,57 \pm 0,98$	$69 \pm 21,5$

В то же время, выявлены изменения содержания общего азота и зольных элементов в субстратах, полученных в разные годы. Так как соотношение углерода к азоту является расчетной единицей, соответственно менялись данные и этого показателя (Tarariko O.H. et al., 2005). Определенная динамика требует дальнейшего изучения, так как существует возможность корректировать количество питательных

элементов в сырье изменениями в субстратных формулах: добавлением сена бобовых, зерновых отходов и т.п. (The Effects of Different Substrates, 2020).

В результате статистического анализа биологической эффективности зафиксированы существенные отличия среди изучаемых штаммов ($p < 0,01$) (рис.2, 3).

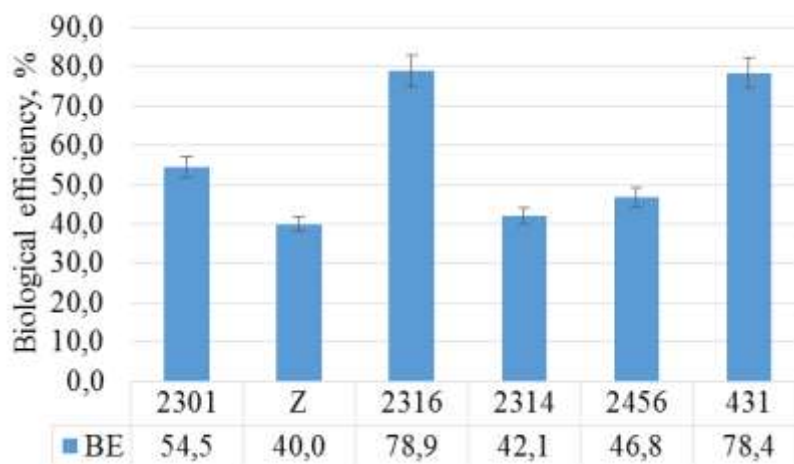


Рисунок 2. Биологическая эффективность штаммов по первой волне плодоношения (среднее за 2011–2019 гг.)

Штаммы 2316 (группа А) и 431 (группа В) уже в первую волну плодоношения использовали субстрат с 78 % эффективностью, что в 1,5–2,0 раза превышало показатели остальных культур. Продуктивность штаммов Z и 2314, 2456 была невысокой и достоверно не отличалась. Следует отметить, что масса первой волны плодоношения является показатель-

ной для экономического обоснования производства грибной продукции. Однако для штаммов с коротким технологическим циклом, таких как 2314 (сбор первой волны прошел на 13 день от начала инокуляции), следует учитывать и последующие волны, которые могут существенно повысить БЭ.

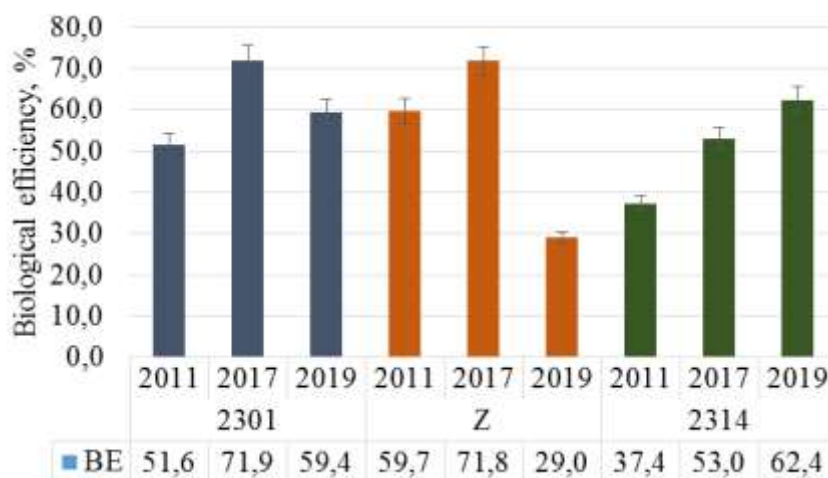


Рисунок 3. Динамика биологической эффективности штаммов 2301, Z и 2314 по первой волне плодоношения (среднее за 2011–2019 гг.)

Для трех изучаемых штаммов мы смогли провести оценку изменений биологической эффективности в течение ряда лет. Если уже известные в Украине штаммы 2301 и 2314 имели стабильно высокие показатели, то для штамма Z было отмечено существенное снижение значения БЭ в 2019 году на субстратах вышеописанной формулы. В тоже время, по данным, полученным при анализе сезона 2019 года на предприятии «Украинская грибная компания» (г. Каменское Днепропетровской обл.), на субстратах, изготовленных из лузги, этот показатель составлял 70 %. Данный факт говорит о необходимости более детального изучения вопроса влияния формулы субстрата на эффективность штамма.

В целом, по результатам сравнения средних (U-test) исследуемые группы не имели

достоверных отличий, что дает возможность говорить о целесообразности «летнего» культивирования. Смена штаммов позволит получать урожай в течение всего года без дополнительных экономических затрат на охлаждение или обогрев культивационных помещений.

К сожалению, плодовые тела высокоэффективных штаммов 2316 и 431 имели ряд органолептических недостатков, которые были изучены в процессе морфологического анализа и оценки основных вкусовых показателей (табл. 2, рис. 4–11). Оба штамма имели жесткую ножку, которая не изменяла структуру после бланширования.

Таблица 2 – Органолептическая оценка плодовых тел

Критерий	2301	Z	2316	2314	2456	431
Цвет	т-серый	т-серый	серый	с-коричневый	т-бежевый	т-бежевый
Текстура	мягкая	мягкая	жесткая	мягкая	средняя	жесткая
Аромат	слабый	слабый	слабый	яркий	слабый	слабый
Шляпка	толстая	толстая	средняя	тонкая	тонкая	средняя
Диаметр ножки	большой	большой	средний	маленький	средний	средний

Примечания: цвет: т – темный, с – светлый;

«Зимние» штаммы 2301 и Z, имели более насыщенную окраску поверхности шляпки, плотную «мякоть» и мягкую ножку, которая, несмотря на толщину, сохраняла нежную тек-

стуру даже после термообработки (рис. 4–5). Штаммы характеризовались крупными, плотными сростками с мягким основанием.



а



б

Рисунок 4. Сростки (а) и плодовые тела (б) штамма 2301 (группа А)



а



б

Рисунок 5. Стортки (а) и плодовые тела (б) штамма Z (группа А)



а



б

Рисунок 6. Стортки (а) и плодовые тела (б) штамма 2316 (группа А)

Стортки плодовых тел штаммов группы «В» были более рыхлыми, основание стортка – более жестким. Следует отметить практическое отсутствие основания стортка у штамма 2314 (*P. pulmonarius*), что позволяло разделять плодовые тела при сортировке без потери массы грибного сырья. Кроме того, средние размеры плодовых тел этого штамма были существенно ниже, что играет немаловажную роль при изготовлении консервов. Нет необходимости их измельчать перед укладкой в банку (рис. 7,б).

Штаммы группы В (летние) имели окраску шляпки в коричневых тонах, и несмотря на отсутствие определения «бежевого» оттенка в «Методике проведения экспертизы сортов растений группы овощных, картофеля и грибов на отличие, однородность и стабильность», мы

вынуждены были использовать этот термин, так как определение «светло-коричневый» использовалось для характеристики цвета ПТ штамма 2314, оттенок покровных тканей которого был на несколько тонов темнее (рис. 7–8).

На наш взгляд, необходимо учитывать еще одну характеристику – толщину края шляпки. Этот показатель определяет сохранность плодовых тел при сборе и транспортировке. Тонкий край шляпки, который был выявлен у штамма 2316 (группа А) и у всех штаммов группы В, был причиной глубокого растрескивания поверхности ПТ и повышения потерь сырья при инспектировании (DSTU 7786:2015, 2018).



а



б

Рисунок 7. Сростки (а) и плодовые тела (б) штамма 2314 (группа В)



а



б

Рисунок 8. Сростки (а) и плодовые тела (б) штамма 2456 (группа В)



а



б

Рисунок 9. Сростки (а) и плодовые тела (б) штамма 431 (группа А)

Следует отметить, что цвет ПТ всех штаммов после кратковременной температурной обработки не изменялся. Наиболее высокие органолептические показатели имел штамм 2314 и штаммы «зимней группы» 2301 и Z (см. рис.

4,5), графики которых совпадают и накладываются друг на друга. Самую низкую оценку по результатам исследования имел штамм 2456 (рис. 10).

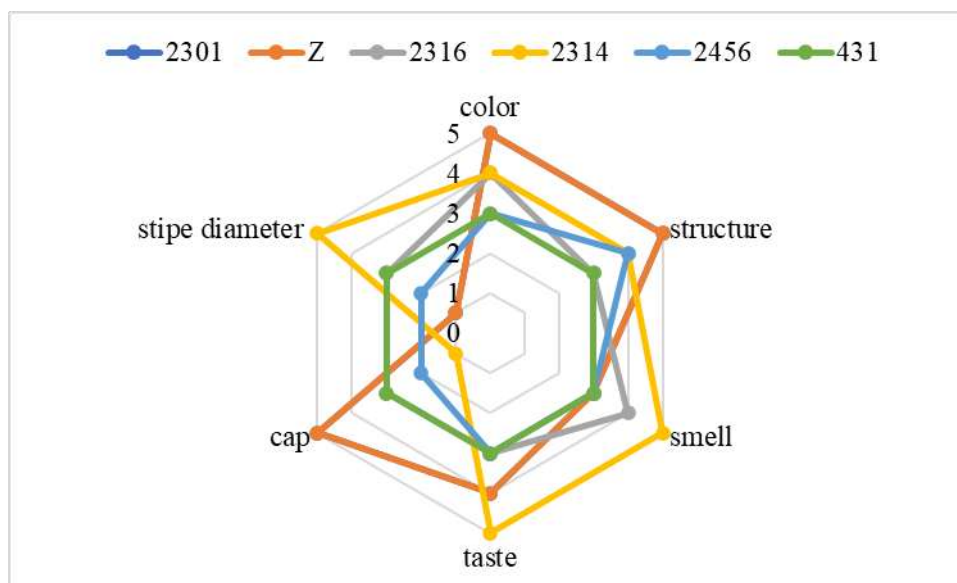


Рисунок 10. Оценка органолептических показателей плодовых тел

В результате анализа питательной ценности, зольных элементов и содержания функциональных веществ (протеинов и эндополисахаридов), обнаружена общая тенденция снижения

содержания сухих веществ при достижении биологической зрелости для штаммов группы «А» (рис.11).

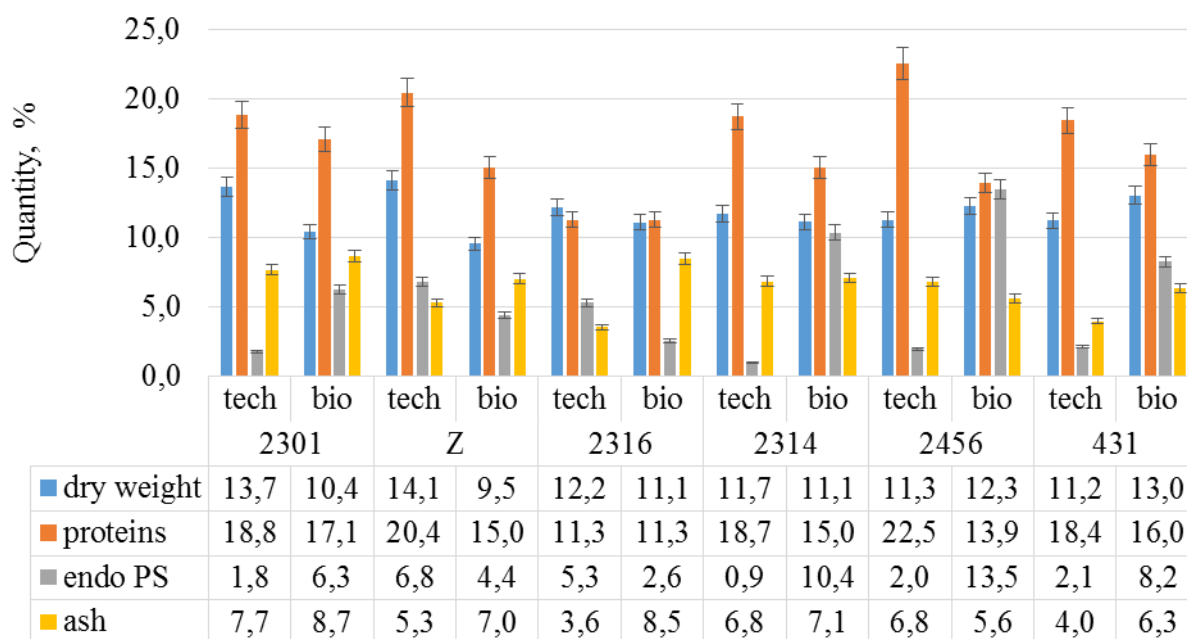


Рисунок 11. Содержание сухих веществ, протеинов, эндополисахаридов и золы в плодовых телах технической и биологической зрелости

При этом в группе «В», за исключением штамма 2314, наблюдали противоположный эффект.

Плодовые тела штаммов Z и 2456 в технологической зрелости содержали более 20% протеинов, количество которых опускалось на 5 % при дальнейшем созревании. У всех изученных штаммов этот показатель имел отрицательную

тенденцию с увеличением возраста ПТ, за исключением штамма 2316, у которого количество протеинов в ПТ биологической зрелости не уменьшалось.

Определено, что содержание биологически активных эндополисахаридов существенно (на 6–11 % по сухому веществу) возрастало в зре-

лых плодовых телах штаммов группы «В» и штамма 2301 (А). Напротив, у штаммов Z и 2316 (А) отмечали уменьшение количества эндополисахаридов в пределах 2,5 % с увеличением возраста ПТ.

Общее содержание зольных элементов для всех изученных штаммов увеличивалось к стадии биологической зрелости, за исключением штамма 2456, зрелые ПТ которого содержали золы на 2% больше.

Во время исследования были собраны данные о потерях грибной массы на этапе очистки и сортирования. Удаление основания сростка с остатками субстрата является неотъемлемой

частью подготовки грибов вешенки к переработке.

Для штаммов обеих групп уровень потерь не превышал 10 %, при этом следует отметить более высокое количество отходов для «зимних» штаммов (коэффициент 0,90–0,94). Грибы технологической зрелости необходимо было обрезать сильнее за счет формирования более жесткого основания. Следует подчеркнуть, что на стадии технического созревания все штаммы, за исключением 2314, имели одинаковый коэффициент потери массы (рис. 12).

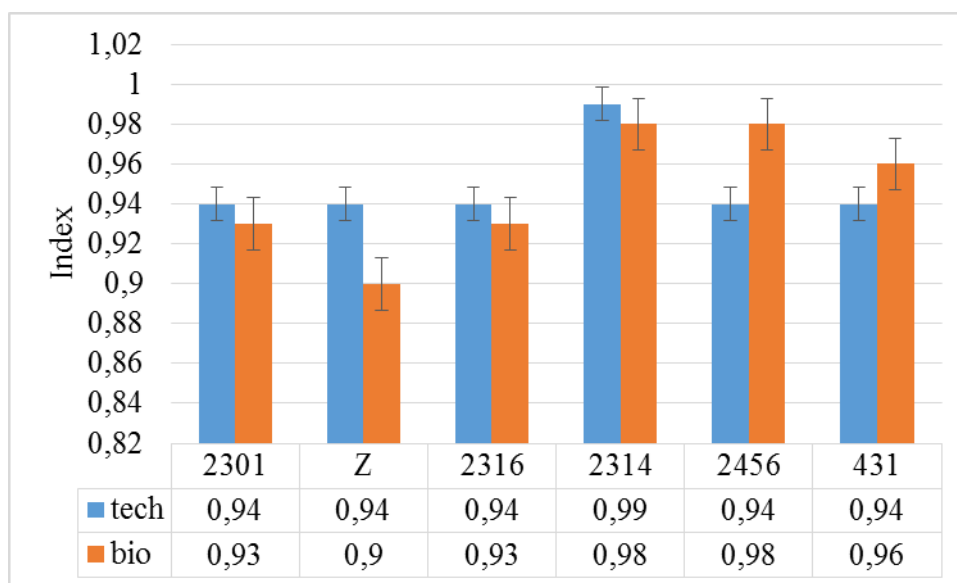


Рисунок 12. Коэффициент потери массы на этапе очистки и сортировки

Штамм 2314 относится к виду *P. pulmonarius*, который имеет определенные отличия в характере сростка, что позволяло сократить потери сырья на подготовительном этапе переработки. При этом достоверного увеличения потери массы при созревании этого штамма не выявлено. Интересный эффект наблюдали и для других штаммов, отнесенных к группе «В». При очистке более зрелых сростков потери сырья существенно уменьшались для штамма 2456 (от 6 % до 2 %). Статистически доказанного уменьшения этого показателя

для штамма 431 не выявлено, а потери массы при очистке сростков составляли лишь 4 %, что ниже в сравнении со штаммами группы «А».

Интересные данные были получены при изучении производственных потерь на этапе бланширования. Если при кратковременном (5 мин.) температурном воздействии плодовые тела технической зрелости всех штаммов, за исключением 2456, теряли массу, то более зрелые удерживали влагу и набирали вес (рис.13). Исключением был штамм 2301 (А).

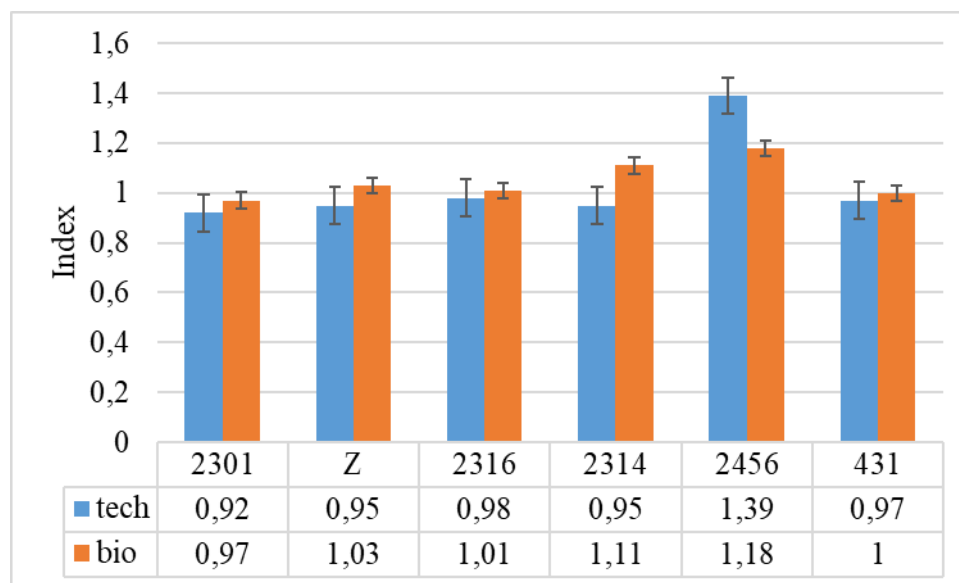


Рисунок 13. Коэффициент потери массы на этапе бланширования

По полученным данным штамм 2456 (В) достоверно ($p < 0,01$) отличался от других исследованных. После отваривания вес его плодовых тел технической зрелости увеличивался в 1,4 раза, а биологической – в 1,2.

Достоверных различий в изменении коэффициентов потери массы на этапе бланширования не выявлено для штаммов группы А и штамма 431 (В). Плодовые тела штамма 2314 в биологической зрелости при отваривании набирали 11 %, тогда как в технической – не отличались от других штаммов по данному показателю.

Обсуждение.

Анализ полученных в течение девяти лет данных о выращиваемых в Украине штаммах вешенки позволил определить основные направления научных исследований, которые позволяют обосновать главные методы оценки эффективности выращивания и направления переработки этих грибов, обладающих высокими функциональными качествами. По первой волне плодоношения, которая составляет от 50 до 80% общей урожайности, показатель биологической эффективности изученных штаммов варьировал от 28 до 78 %, что полностью соответствует данным других исследователей (Wang D., Sakoda A., 2001; Suzuki M., 2001; Ashraf J. et al., 2013).

Научные работы последних лет доказывают наличие у вешенки группы уникальных биологически активных веществ, способных влиять на обмен веществ и качественно улучшать иммунные реакции организма человека (Jesenak M. et al., 2013; Devi K.S.P. et al., 2013; Sari M. et al., 2017). Экспериментальные данные, полученные в ходе проведенных исследований, до-

полнили имеющуюся информацию и позволили выявить динамику изменений количества функциональных веществ в плодовых телах вешенки как в процессе выращивания, так и первичной переработки.

Впервые получен комплекс характеристик, который позволяет определить время сбора грибов для целевой переработки, а также рассчитать потери сырья на подготовительных этапах. При планировании этапов сортировки и очистки, следует учитывать наличие большой поверхности гимениальных пластинок на нижней части шляпки. Мыть плодовые тела вешенки нежелательно, так как они быстро напитываются влагой, при этом усложняются процессы их дальнейшей переработки. С учетом технологических принципов выращивания вешенки, контролируемого сбора и отсутствия контактов с почвой или полами, вполне допустимо избегать мытья как этапа подготовки грибов к переработке.

Функциональная ценность грибного сырья определяется наличием протеинов, β -глюканов, эссенциальных элементов. Изучение динамики изменения содержания этих биологически активных веществ в плодовых телах исследованных штаммов позволяет получать продукты с заданными характеристиками. Например, при планировании производства чипсов, порошков, фарша и других продуктов, не требующих отваривания, согласно результатам исследования, целесообразнее использовать штаммы группы В.

Выводы.

Определены показатели биологической эффективности 6 штаммов вешенки, относящихся к двум видам *P. ostreatus* (Fr.) P. Kumm (5

штаммов: 2301, Z, 2316, 2456, 431) и *P. pulmonarius* (Fr.) Quél (2314), которые культивируются в Украине с 2011 года. Наивысшие усредненные значения по первой волне плодоношения имели штаммы 2316 (78,9 %) из группы «зимних» штаммов (А) и 431 (78,4 %) из группы «летних» (В).

Самые высокие органолептические оценки получили штаммы 2301 и Z (А), с насыщенной окраской и мягкой текстурой плодовых тел, которая оставалась неизменной после термообработки. Штамм 2314 (В) отличался ярким грибным ароматом и глубоким вкусом.

Рассчитаны коэффициенты потери массы на этапах первичной переработки: инспектирования, сортировки для плодовых тел разной степени зрелости. Вариативность этого показателя для сростков технической зрелости была невысокой у всех штаммов и составила 6%, за исключением штамма 2314, при очистке которого потери были минимальными (1%). В среднем потери массы на этапе инспектирования сростков биологической зрелости составляли от 2 (2314 и 2456) до 10 (Z) %.

При проведении бланширования, коэффициент потери массы варьировал от 0,92 (2301) до 0,98 (2316) для технически зрелых плодовых тел, а для штамма 2456, напротив, составил 1,39. Увеличение массы наблюдалось и в случае кратковременной термической обработки сырья из зрелых плодовых тел всех штаммов, кроме 2301.

Впервые изучена динамика изменения биохимического состава плодовых тел на разных стадиях морфогенеза. Выявлена тенденция снижения содержания сухих веществ, протеинов и увеличения количества зольных элементов при достижении биологической зрелости. Определено значительное (от 6 до 10% по сухому веществу) увеличение количества эндополисахаридов в плодовых телах «летних» штаммов при достижении биологической зрелости.

References

- Ashraf J. et al. Effect of Different Substrate Supplements on Oyster Mushroom (*Pleurotus* spp.) Production. *Food Sci. Technol.* 2013. Vol. 1, № 3, pp. 44–51 [in English].
- Bandura I.I. Ekspres-metod ocenki mikrobiologicheskoy elektivnosti substratov v promyshlennom proizvodstve gribov roda *pleurotus*. 2015. Vol. 5, pp. 279–282 [in Russian].
- Bandura I.I., Mironycheva E.S. Biologicheskaya effektivnost shtammov veshenki obyknovnoy *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fr) Kumm pri nizkotemperaturnom kultivirovanii. *Zemledelie i zashchita rasteniy*. 2013. Vol. 5, № 90, pp. 33–35 [in Russian].
- Bandura I.I., Mironycheva E.S., Kyurcheva L.N. Otbor ustoychivyykh k vysokim temperaturam kultivirovaniya shtammov *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. *Agrar. Sci. Stiinta Agric.* 2014. Vol. №2, № 3–8, pp. 56–59 [in Russian].
- Bisko N.A., Dudka I.A. Biologiya i kultivirovanie siedobnykh gribov roda veshenka. Kyiv: Naukova dumka, 1987. 148 p. [in Russian].
- Bukhalo A.S. et al. Biologicheskie svoystva lekarstvennykh makromicetov v kulture. Sbornik nauchnykh trudov v dvukh tomakh. Institut botaniki im. M.G. Kholodnogo. Kiev: Alterpress, 2011. Vol. 1. 212 p. [in Russian].
- Devi K.S.P. et al. Characterization and lectin microarray of an immunomodulatory heteroglucan from *Pleurotus ostreatus* mycelia. *Carbohydr. Polym.* 2013. Vol. 94, № 2, pp. 857–865 [in English].
- DSTU 7786:2015 Hryby. Hlyva zvychayna svizha. Tekhnichni umovy [Electronic resource]. URL: http://document.ua/gribi_-gliva-zvychayna-svizha_-tehnichni-umovi-std27514.html (accessed: 18.04.2018) [in Ukrainian].
- Dudka I.A. et al. Metody eksperimentalnoy mikologii: Spravochnik. Kyiv: Naukova dumka, 1982. 550 p. [in Russian].
- Dudka I.O. Promyshlennoe kultivirovanie siedobnykh gribov. Kyiv: Nauk. dumka, 1978. 262 p. [in Russian].
- Edible Mushroom Cultivation for Food Security and Rural Development in China: Bio-Innovation, Technological Dissemination and Marketing [Electronic resource]. *Research Gate*. URL: https://www.researchgate.net/publication/277673773_Edible_Mushroom_Cultivation_for_Food_Security_and_Rural_Development_in_China_Bio-innovation_Technological_Dissemination_and_Marketing (accessed: 11.03.2020) [in English].
- Firdaus S.M. et al. Growth Performance and Postharvest Quality of Grey Oyster Mushroom (*Pleurotus sajor caju*) Subjected to Different Sound Intensity Treatments Prior to Fruiting Body Formation [in English].
- Holub H.A. et al. Tekhnolohichniy protses vyrobnytstva substratu dlia vyroshchuvannya hlyvy metodom fermentatsii v pasteryzatsiyni kameri. *Naukovyi svit*, 2010 [in Ukrainian].

Hunko S.M., Trynchuk O.O. Yakist hrybiv hlyva zvychna zalezno vid tryvalosti ta temperatury zberihannya. *SWorld*. 2014 [in Ukrainian].

Jesenak M. et al. Immunomodulatory effect of pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in children with recurrent respiratory tract infections. *Int. Immunopharmacol.* 2013. Vol. 15, № 2, pp. 395–399 [in English].

Klymenko M.M., Yastreba Yu.A., Nakonechna Yu.H. Sposib pryhotuvannya poroshkopodobnoho napivfabrykatu z hrybiv hlyva zvychna (*Pl. ostreatus*): pat. 41147 USA. 2009. P. 2 [in Ukrainian].

Kravchenko O.A., Roslyakov YU.F. Tekhnologiya polucheniya i primeneniya produktov pererabotki gribov veshenka v proizvodstve khlebobulochnykh izdeliy povyshennoy pishchevoy i biologicheskoy cennosti: 4. *Izvestiya Vysshykh Uchebnykh Zavedeniy. Pishchevaya Tekhnologiya*. 2011. Vol. 322, № 4 [in Russian].

Kulyk A.S. et al. Rozrobka retseptury miasnykh konserviv z hrybamy: 1. *Naukovyi Visnyk Tavriiskoho Derzhavnoho Ahrotekhnolohichnoho Universytetu*. 2019. Vol. 9, № 1.

Lucier G., Allshouse J., Lin B.-H. Factors Affecting U.S. Mushroom Consumption, p. 11 [in English].

Mushroom Market Size, Share, Growth - Industry Analysis 2026. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/mushroom-market-100197> (accessed: 10.03.2020) [in English].

Myronycheva O. et al. Assessment of the growth and fruiting of 19 oyster mushroom strains for indoor cultivation on lignocellulosic wastes. *BioResources*. 2017. Vol. 12, № 3, pp. 4606–4626 [in English].

Nakasone K.K., Peterson S.W., Jong S.-C. 3 - Preservation and Distribution of Fungal Cultures. *Biodiversity of Fungi* / ed. Mueller G.M., Bills G.F., Foster M.S. Burlington: Academic Press, 2004, pp. 37–47 [in English].

Obzor ukrainskogo rynku gribov | Mezhdunarodnaya Marketingovaya Gruppa [in Russian].

Perspektivy ispolzovaniya gribov roda veshenka *Pleurotus* (Fr.) p. Kumm. V proizvodstve kolbasnykh izdeliy – tema nauchnoy statii po

prochim selskohozyaystvennym naukam chitayte besplatno tekst nauchno-issledovatel'skoy raboty v elektronnoy biblioteke KiberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-gribov-roda-veshenka-pleurotus-fr-p-kumm-v-proizvodstve-kolbasnyh-izdeliy> (accessed: 11.03.2020) [in Russian].

Pochinok H.N. Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy. Kyiv: Naukova dumka, 1976. 336 p. [in Russian].

Royse D.J. A Global perspective on the high five: agaricus, pleurotus, lentinula, auricularia & flammulina. 2014, p. 6 [in English].

Sari M. et al. Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. *Food Chem.* 2017. Vol. 216, pp. 45–51 [in English].

Sposob polucheniya vegetarianskoj kolbasy [Electronic resource]. URL: <https://findpatent.ru/patent/232/2328160.html> (accessed: 11.03.2020) [in Russian].

Tarariko O.H. et al. Metodyka ahrokhimichnoho obstezhennia teplychnykh hruntiv ta osoblyvosti zastosuvannya dobryv. Kyiv: DIA, 2005 [in Ukrainian].

The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*): *Mycobiology*: Vol 43, No 4. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5941/MYCO.2015.43.4.423> (accessed: 21.03.2020) [in English].

Tikhonov V.V., Maslihov V.F. Sposob pererabotki gribov granulirovaniem i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya: pat. RU2572305C2 USA. 2016 [in Russian].

Vysokie tekhnologii APK: mirovoy rynek gribov – MNIAP [Electronic resource]. URL: <http://xn--80aplem.xn--p1ai/analytics/Vysokie-tekhnologii-APK-mirovoy-rynek-gribov/> (accessed: 10.03.2020) [in Russian].

Wang D., Sakoda A., Suzuki M. Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresour. Technol.* 2001. Vol. 78, № 3, pp. 293–300 [in English].