ВЛИЯНИЕ ЛАМП СПЕЦСПЕКТРА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ВЕШЕНКИ УСТРИЧНОЙ (PLEUROTUS OSTREATUS)

Филиппова Мария Вадимовна
Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
многопрофильная гимназия №13
г. Пенза, Пензенская область, fmv_5@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена проблеме обеспечения продовольственной безопасности. Механизмы повышения урожайности вешенки без существенных затрат в условиях экологически безопасного производства могли бы посодействовать устойчивому развитию сельского хозяйства.

Ключевые слова: продовольственная безопасность; вешенка устричная (pleurotus ostreatus); лампы спецспектра; субстрат; плотность фотосинтетического фотонного потока; плодообразование; товарный вид.

M. Filippova (Russia). THE INFLUENCE OF SPECIAL SPECTRUM LAMPS ON THE PRODUCTIVITY OF OYSTER MUSHROOM (PLEUROTUS OSTREATUS)

Annotation: The work is devoted to the problem of ensuring food security. Mechanisms for increasing the yield of oyster mushrooms without significant costs in an environmentally safe production environment could contribute to the sustainable development of agriculture.

Key words: food safety; oyster oyster (pleurotus ostreatus); special spectrum lamps; substrate; photosynthetic photon flux density; fruit formation; marketable state.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетная задача экологии на современном этапе – поиск способов решения продовольственной проблемы (оптимизация количества и качества пищевой продукции) без ущерба для окружающей среды – с использованием замкнутых циклов производства. В этом отношении производство плодовых тел грибов – ксилотрофов, способных развиваться и давать товарную продукцию при использовании широкого спектра отходов самых различных производств (деревообрабатывающей промышленности и сельскохозяйственного производства) заслуживает пристального внимания.

Производство вешенки – одно из перспективных направлений выращивания сельхозпродукции. До 2014 г. Россия на 90% зависела от импорта грибов из других стран, в первую очередь из Польши и Нидерландов. После введения эмбарго на ввоз продовольствия, девальвации рубля, трёхкратного роста цен на грибную продукцию, возникли благоприятные условия для развития внутреннего производства, которое эксперты оценивают как «грибной бум» – один из самых удачных примеров импортозамещения в АПК за всю историю. В первую очередь это касается шампиньонов, производство которых в 2021 г. оценивалось в 120 тыс. т. Доля вешенки намного скромнее – 6,2 тыс. т, что составляет около 5 % от общего производства грибов [10].

Эксперты прогнозируют рост производства вешенки, так как потенциал рынка оценивается как минимум в 225 тыс. т (при современных 126 тыс. т), из расчёта минимального показателя большинства европейских стран 1,5 кг/чел (в РФ сейчас – 0,8 кг/чел, это рекордный показатель, наблюдается неуклонный рост потребления грибов). Доля вешенки должна увеличиваться в связи с кризисом перепроизводста шампиньонов, который сложился в отрасли к 2022 г. [10].

Культура потребления грибов в России ещё на низком уровне, что сдерживает развитие отрасли. Большинство потребителей уверены в «бесполезности» грибов, их «тяжести» для желудка. Однако опубликовано огромное количество исследований о диетических свойствах плодовых тел культивируемых грибов, так как они характеризуются низкой калорийностью, высоким содержанием белка, витаминов (особенно группы В), макро- и микроэлементов (калия, фосфора, селена, меди, кобальта) [9]. Вешенка в этом смысле выгодно отличается от шампиньона, поскольку в ней содержатся белки, которые лучше усваиваются организмом, с более высокой долей незаменимых аминокислот (валин, гистидин, изолейцини и прочие), с высокой активностью статинов – ферментов, широко используемых в медицине для снижеия в крови уровня холестерина липопротеинов низкой плотности. Исследуются её антибактериальные и противовирусные свойства; по противораковым свойствам вешенка очень близко стоит к шиитаке и рейши [2, 8, 9].

По сравнению с шампиньонами, вешенка требует больших затрат электричества, более прихотлива к условиям выращивания, что отражается на себестоимости её производства – 150–170 руб./кг, в то время как у шампиньонов 100–110 руб./кг (в 2021 г.) [10]. Поэтому поиск новых технологий выращивания вешенки, оптимизирующих её производство, направленных на снижение себестоимости – очень перспективное направление. При этом большая часть работ касается подбора субстрата для выращивания [1, 7, 12, 15, 16, 17], в то время как влияние условий освещения изучены явно недостаточно [6].

В Пензенской области производство вешенки развито в меньшей степени по сравнению с другими регионами, известно о производстве в Лунинском районе (7–10 тонн в месяц), поэтому для нашей области эта проблема очень актуальна.

<u>Актуальность исследования</u> заключается в слабой изученности вопроса влияния качества света на стимулирование ростовых процессов и развития гриба вешенки Pleurotus ostreatus в условиях культуры. Вешенка – гриб, который входит в «продуктовую корзину», и важно определить механизмы повышения урожайности вешенки без существенных затрат в условиях экологически безопасного производства.

<u>Практическая значимость работы</u> заключается в установлении возможности использования светодиодных ламп определённого спектра излучения для эффективного культивирования P. ostreatus.

Цель работы: выявить влияние качества видимой части спектра на продуктивность P. ostreatus на разных субстратах.

Задачи:

1. Изучить литературу по аспекту влияния света на рост, развитие, продуктивность грибов, установить степень изученности вопроса в отношении P. ostreatus, сформулировать наиболее значимые направления исследования.

2. Освоить современные практические методы культивирования грибов.

3. Определить плотность фотосинтетического фотонного потока светодиодных ламп GLP-FH1-20-B, GLP-FH1-20-R, GLP-GE1-18-41 и сравнить их по этому показателю.

4. Определить влияние спектрального состава светодиодных ламп и мощности светового потока на урожайность вешенки устричной P. ostreatus.

5. Выявить зависимость продуктивности вешенки устричной от характера субстрата.

6. Дать практические рекомендации по использованию светодиодных ламп GLP-FH1-20-B, GLP-FH1-20-R, GLP-GE1-18-41 при культивировании P. ostreatus на лузге и смешанном субстрате

Гипотеза: отличия в соотношении квантов света разной длины волны в светодиодных лампах GLP-FH1-20-B, GLP-FH1-20-R, GLP-GE1-18-41 определяют разную скорость образования плодовых тел *Pleurotus ostreatus*, продолжительность этого процесса, морфологию плодовых тел, что влияет на продуктивность вешенки устричной при выращивании на субстратах разного состава.

Объект исследования: популяция штамма вешенки устричной *Pleurotus ostreatus*

Предмет исследования: продуктивность вешенки устричной *Pleurotus ostreatus*

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА РОСТ, РАЗВИТИЕ, ПРОДУКТИВНОСТЬ ГРИБОВ (обзор литературы)

Грибы не являются фототрофными организмами, но многочисленными исследованиями выявлены разнообразные фотореакций у грибов [2, 3, 6]. Выявление механизмов фоторецепции – основа целенаправленной фоторегуляции его активности в биотехнологических процессах, что открывает широкие возможности реализации высокоэффективных микобиотехнологий, базирующихся на использовании искусственного освещения, в целях регулирования морфогенеза и метаболизма грибов. Для большинства грибов свет служит **морфогенетическим фактором,** запуская реакции фотоиндукции.

1.1. Пигментные системы грибов

За восприятие света отвечают молекулы пигментов. У грибов (аско-, базидио-, дискомицетов) обнаружены разнообразные пигменты: каротиноиды, меланины, флавины, цитохромы, недавно открытые рецепторы синего света криптохромы и фототропины, опсиновые системы на основе ретиналя. Широко используется понятие «микохромная система», отличительной чертой которой является рецепция синего и ультрафиолетового цвета.

Установлено, что чувствительность **к синему свету** обеспечивается фоторецептором на основе **флавина,** встроенного в электрон-транспортные цепи. Чувствительность к **красному свету** реализуется с помощью **фитохромов** (молекул, которые до недавнего времени считались присущими только растениям), которые также встроены в цепи электронного транспорта, задействованные в большинстве процессов, в том числе в дыхании, поэтому свет может изменять активность молекул-переносчиков, ускоряя, замедляя мембранные процессы, приводя к дисбалансу в зависимости от интенсивности света и длины волны [14]. Рецепция синего цвета установлена для криптохрома и фототропинов. Пигменты коричневого и черного света (меланины) вырабатываются клетками многих живых организмов как защитная реакция в ответ излучения. Низкоинтенсивный свет в синей части спектра является стимулятором синтеза меланина у *Inonotus obliquus*. Облучение лазерным светом в значительно большей степени индуцировало синтез меланина, чем облучение неполяризованным светом.

Набор пигментов индивидуален для разных групп грибов. Например, известно, что представители рода *Morchella* не обладают чувствительностью к синему свету [14].

1.2. Влияние света на рост, развитие, обмен веществ грибов

Выявление закономерностей воздействия света на рост и развитие грибов открыло бы огромные возможности для развития биотехнологии в сфере микологии. Эмпирический подход к разработке методов светового воздействия на грибы сейчас преобладает, что связано с отставанием теоретического и экспериментального обоснования механизма такого влияния, поэтому исследователям трудно объяснить выявляемые ими закономерности. Работа в этом направлении началась не так давно, и вопросов пока больше, чем ответов, но все же удалось установить ряд закономерностей, связанных с фотоиндукционными процессами.

Во-первых, установлено **влияние света на прорастание спор**, а именно активизирующее действие лазерного излучения на прорастание базидиоспор *Hericium erinaceus* (лазер ЛГН-215, длина волны 632,8 нм) в дозах 45–230 мДж/см^2 в 10–в 10^5 раз в

зависимости от штамма. Очень важно, что в вегетативном мицелии, сформировавшемся из модифицированных под действием света спор, сохраняется способность к ускоренному росту.

Во-вторых, установлено влияние света **на переход к образованию плодовых тел** [14].

На примере *Neurospora crassa* установлено накопление каротиноидов в вегетативном мицелии, обеспечивающее половое развитие. Развитие шляпочных грибов требует наличия соответствующего цикла «свет – темнота».

Недавно японскими исследователями были идентифицированы фотоответы генов на синий свет в мицелии гриба *Pleurotus ostreatus* [14].

На *Coprinus cinereus* было обнаружено **подавление фазы роста синим светом** зависит от его интенсивности, в то время как красный и дальний красный свет независимо от его интенсивности не влияет на фазу роста. **Наиболее сильное ингибирующее действие оказывали волны на синем участке спектра (445 нм).** Ранее считали, что рецепторами, ответственными за «реакцию на синий свет», являются каротины и флавин, однако более поздние работы 70–80-х гг. прошлого века свидетельствуют об участии в этих процессах флавонов.

Наиболее вероятной гипотезой, объясняющей переход к плодоношению на свету, считается следующая. Фотоиндукция начинается в условиях полного исчерпания ресурсов питания и пространства – мицелиальный рост задерживается и происходит вынужденная перестройка метаболизма, что приводит к воспроизведению в клетках мицелия гипотетического фоторецепторного предшественника, способного поглощать световую энергию. При поглощении световой энергии образуются специфические вещества, стимулирующие образование плодовых тел [14].

В-третьих, свет влияет **на биохимические процессы** мицелия и плодовых тел. Свет стимулирует синтез полисахаридов и лимонной кислоты у *Penicillium isariiforme, Blastocladiella emersonii,* стимулирует пентозофосфатные пути метаболизма и блокирует поступление пирувата. При этом содержание полисахаридов в мицелии увеличивается на свету в два раза. Облучение низкоинтенсивным лазерным светом 632,8 нм и 488,0 нм увеличивает синтез полисахаридов у *Ganoderma lucidum* более чем на 60% и способствует повышению содержания в экзополисахаридах ксилозы и глюкозы, а также и существенному (вдвое) уменьшению маннозы в стационарной культуре гриба на жидкой среде. При глубинном культивировании *G. lucidum* на такой же среде облучение инокулюма в аналогичных режимах, напротив, приводит к уменьшению содержания ксилозы и глюкозы и увеличению (в 5–6 раз) маннозы. Авторы полагают, что трансформация световой энергии, которая поглощается грибными клетками, в значительной степени определяется условиями культивирования гриба [14].

Свет может ингибировать поглощение глюкозы у *Aspergillus ornatus* и других видов этого рода, а также влияет на содержание хитина в клеточной стенке *Aspergillus giganteus,* приводя к двукратному увеличению.

Китайские ученые выявили фоторегулируемые гены у *Alternaria alternata,* контролирующие метаболизм липидов и окисление жирных кислот [14].

На примере *Blastocladiella emersonii* доказано влияние света на содержание нуклеиновых кислот. Показано влияние на белковый обмен: у *Aspergillus ornatus* потребление многих аминокислот значительно снижается на свету, хотя поглощение лизина увеличивается. На примере *Blastocladiella emersonii,* показано увеличение содержание протеина на 30%.

Свет влияет на синтез биологически активных веществ, в том числе токсинов, ускоряя рост одних и активизируя – других.

Конкретные механизмы всех этих влияний не раскрыты.

Таким образом, анализ изучения механизмов фоторецепции у грибов дает основания утверждать, что свет может участвовать в целенаправленной регуляции их морфогенеза и биологической активности, и это, несомненно, может быть использовано для создания новых экологически чистых интенсивных технологий их культивирования [14].

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Биологические особенности *Pleurotus ostreatus* как объекта исследования

Pleurotus ostreatus (Jacq.) P.Kumm. (1871) – вешенка обыкновенная, или устричная, глыва, устричный гриб – представитель отдела Базидиальных грибов, класса Агарикомицет, порядка Агариковые, семейства Вешенковые.

Морфология. Плодовые тела состоят из шляпки и ножки. Шляпка 3-17 см в диаметре, выпуклая или широковоронковидная, часто эксцентрическая, неслизистая, гладкая, влажная, темно-бурая или пепельно-серая. Гимениальный слой пластинчатый. Пластинки нисходящие, широкие, белые, желтеющие, с перемычками между ними. Мякоть плотная, белая. Ножка до 2–4 см высотой, до 3 см в диаметре, боковая, цилиндрическая, сплошная, белая, гладкая, может отсутствовать. Плодовые тела образуются продолжительное время – с мая по сентябрь.

Экология и география. По характеру ареала вешенка устричная относится к космополитам – встречается на всех континентах земного шара, кроме Антарктиды. В СССР известна из Арктики, европейской части, Кавказа, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии [2, 4]. Вид приурочен к лиственничным и смешанным лесам умеренных широт, встречается в парках и садах. В естественных условиях в основном ведет себя как сапрофит: растёт на пнях, сухостое. Иногда по отношению к слабым деревьям различных лиственных (дуб, берёза, ива), и очень редко – хвойных выступает в роли факультативного паразита – поселяясь на них, ускоряет их гибель, после переходит к сапротрофному питанию в роли ксилотрофа. Также вешенка способна вести себя как хищный гриб, вырабатывая нематотоксин, парализующий нематод, так компенсирующий недостаток азота.

Оптимальная температура для роста мицелия 26–27° С. При температуре выше 30°С рост гриба прекращается, при температуре ниже 26–27° С идет медленно, а при 5°С – прекращается. Для разных фаз жизненного цикла вешенки устричной необходима различная оптимальная температура: для роста мицелия 26–27°С, для формирования и роста плодовых тел 14–15°С. Вешенка обыкновенная относится к светолюбивым видам, нуждается в большом количестве воздуха. Оптимальное значение pH субстрата для развития данного гриба составляет 5,2–7,0, а для роста – 5,2–5,8 [2].

Плодовые тела вешенки являются ценным диетическим продуктом, поскольку имеют низкую калорийность (38–41 ккал на 100 г сырого веса). По содержанию белка (3,3% на 100 г сырой массы, 15–25 % в пересчёте на сухую массу) и составу аминокислот, включая незаменимые (валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин), вешенка близка к мясо-молочным продуктам. Белки плодовых тел вешенки характеризуются высокой усваиваемостью. Содержание жиров в плодовых телах вешенки невелико (0,4 г на 100 г сырой, 2,2 мг на 100 г сухой массы гриба), 67 % составляют полиненасыщенные жирные кислоты. Вешенка обыкновенная является природным источником статинов (ловастатин), ингибирующих синтез холестерина. Углеводы в плодовых телах вешенки составляют 6,1 г на 100 г сырой массы, 68–74 % сухой массы, из них доля легкоусваиваемых углеводов составляет 14–20 % [3, 4]. Полисахариды бета-глюканы (лентинан), выделенные из вешенок, обладают высоким

противоопухолевым и иммуномодулирующим действием; маннит и хитин клеточной стенки являются эффективным сорбентом токсических веществ.

В плодовых телах вешенки содержатся макро- и микроэлементы. Наибольший вклад использование в пищу плодовых тел вешенки может внести в регуляцию обмена меди (244 мкг, 24% от суточной нормы взрослого человека), калия (420 мг, 16%), фосфора (120 мг, 12%); присутствуют железо (1,3 мг, 9%), цинк (0,77 мг, 6%), магний (18 мг; 5%). Вешенка – превосходный источник водорастворимых и жирорастворимых витаминов. Ее плодовые тела содержат почти весь комплекс витаминов группы В (за исключением В12). Наиболее существенное содержание витамина В3 (5 мг на 100 г; 31 % суточной нормы взрослого человека), В2 (0,3 мг; 27%), В5 (1,3 мг; 26%); менее значим вклад в суточный рацион по витаминам В1 (0,1 мг в 100 г, или 10% суточной нормы взрослого человека), В4 (48,7 мг; 10%), , В6 (0,1 мг; 8,5%) В9 (38 мкг, 9,5%). Присутствуют витамины D и D2 в количестве 0,7 мкг (5% и 9% от суточной нормы взрослого человека соответственно). Витамин А и бета-каротин также присутствуют (2 мкг и 29 мкг; 0,2 и 0,6 % суточной нормы взрослого человека соответственно) [3, 4]. Активно изучается противовирусный и противоопухолевый эффект полисахаридов, содержащихся в плодовых телах вешенки [1].

Таким образом, плодовые тела вешенки характеризуются высокой питательной ценностью и лечебно-профилактическими свойствами. В основном в РФ их реализуют населению в свежем виде, но перспективны направления переработки: использование при производстве колбасных изделий как источника белка для замены сои [8]. Как и любой другой продукт, содержащий много белка, вешенки при использовании в пищу могут спровоцировать аллергию, поэтому их нужно с осторожностью вводить в рацион пожилым людям, беременным или кормящим женщинам. В отношении детского питания у педиатров нет единого мнения. Большинство придерживаются точки зрения, что до 5 лет лучше избегать их употребления в пищу, другие (например, Комаровский Е.О.) снижают возрастную планку до 2 лет при условии соблюдения правил введения в прикорм нового продукта (маленькими порциями, постепенно увеличивая количество, в отварном виде, например в виде крем-супов).

Культивирование вешенки и факторы, влияющие на продуктивность в условиях культуры, изучены довольно подробно. В Узбекистане как субстрат для выращивания сравнивали растительные остатки местных сельскохозяйственных культур: однокомпонентные смеси из соломы пшеницы, шелухи семян хлопчатника, шелухи зерновок риса и прочие. Установлено, что вид субстрата сильно влияет на урожайность. Наилучшие результаты получены на шелухе семянок хлопчатника (прирост урожая 74,5% по отношению к весу субстрата). Наихудшие результаты получены на шелухе зерновок риса [15]. Тульские учёные работают в направлении оптимизации производства вешенки путём подбора субстратов (отходы сельскохозяйственного производства (солома злаков, створки гречихи), отходы пивного производства. Выявили, что добавление к соломе зерна и отходов пивного производства увеличивают урожайность на 27% [5]. Пензенские ученые (Денисова Г.В.; Иванов А.И.; Блинохватов А.Ф.) для стимулирования ростовых процессов грибов разработали метод опрыскивания селенатом натрия, позволяющий сократить период выращивания в среднем в 1,4 раза. Есть работы по влиянию на рост вешенки регулятора роста эпибрассинолида [13].

Традиционный способ выращивания вешенки в РФ предусматривает соблюдение следующих параметров микроклимата в выростном помещении: влажность воздуха на уровне не ниже 85–95%, полив блоков не реже 4–5 раз в сутки; освещенность дневным светом на уровне 70–100 лк (до 200 лк) в течение 7–12 часов; содержание углекислого газа не более

0,05%, для чего проветривают помещение с 10-кратным воздухообменом в час для удаления образующегося углекислого газа, температура воздуха 14–23°С [3, 4, 7, 11]. Для освещения выростного помещения используют свет солнечного спектра (ксеноновые лампы и дуговые ртутные лампы); простые лампочки не пригодны. Разработан метод выращивания плодовых тел, при котором осуществляют экспозицию поверхности субстрата с грибницей светом синего спектра с длиной волны 430–470 нм, в качестве стимулятора роста плодовых тел используют светодиодное устройство, включающее излучатели синего света с интенсивностью светового потока 35–45 мкВт/см^2, мощностью 15–25 Дж/с, ежедневно при длительности экспозиции 55–65 минут. В качестве светодиодного устройства можно использовать биолампу «АВЕРС-Сан» (патент РФ №54792). Скорость плодообразования увеличилась на 1 день, урожайность на 45,8%. Авторы объясняют это бактерицидным действием синего света, снижающим появление гнилостных очагов, происходят фотохимические процессы, способствующие росту плодовых тел [13].

2.2. Материалы и методы исследования

Работу проводили в условиях лабораторного опыта на базе кафедры «Селекции, семеноводства и биологии растений» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет». Использовали светильники ТМ «Green-LP» - пензенского производителя светодиодных ламп, специализирующихся на оборудовании для теплиц, использующих светодиоды Bridgelux (производство США):

Вариант 1. GLP-FH1-20-B,

Вариант 2. GLP-FH1-20-R,

Вариант 3. GLP-GE1-18-41.

При производстве ламп не используются материалы высокого класса опасности и токсичности, поэтому они не требуют специальных условий и разрешений для утилизации, не относятся к опасным отходам. Утилизацию светильников проводят обычным способом. Срок службы ламп, заявленный производителем, не менее 12 лет, поэтому **экологические риски** сведены к минимуму. Отходы производства вешенки – органические (лузга подсолнечника, солома), поэтому могут быть использованы как органические удобрения.

Включение и выключение ламп производилось с помощью таймера. Время работы с 5.00–20.00 (18 ч). Для определения спектрограмм и показателя освещенности используемых ламп использовали спектрофотометр ТКА ВД-02 и прибор QUANTUM PAR METR (рис. 1).

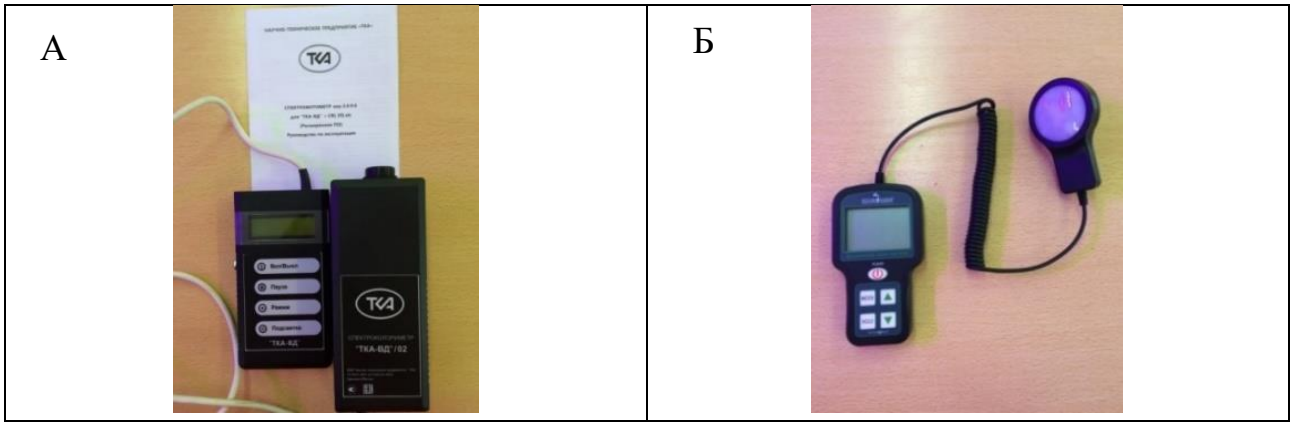


Рисунок 1 – Приборы для определения спектрограмм и освещенности: А – спектрофотометр ТКА ВД-02, Б – QUANTUM PAR METR

Спектрограммы исследуемых ламп были сделаны их производителем по специальной методике в абсолютно темном помещении с использованием компьютерной программы.

Результаты представлены на рис. 2. Так светодиодный светильник GLP-FH1-20-B (нормируемая мощность 20 Вт) имеет пики 455 и 660 нм в соотношении 1:0,7, что придает синий оттенок свечения. Светодиодный светильник GLP-FH1-20-R (нормируемая мощность 20 Вт) также имеет пики 455 и 660 нм, но в соотношении 0,5:1, что придает ему красноватый оттенок свечения. Светодиодный светильник GLP-GE1-18-41 (нормируемая мощность 18 Вт) имеет пики 455 и 550 нм, в соотношении 1:0,6, что придает ему белый оттенок свечения.

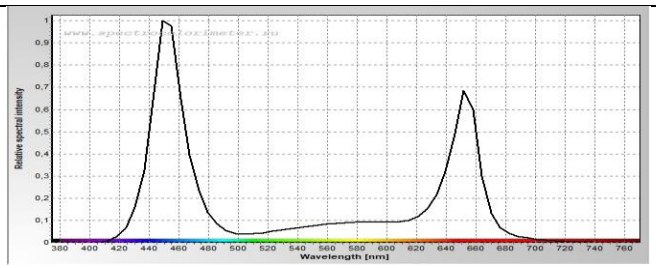
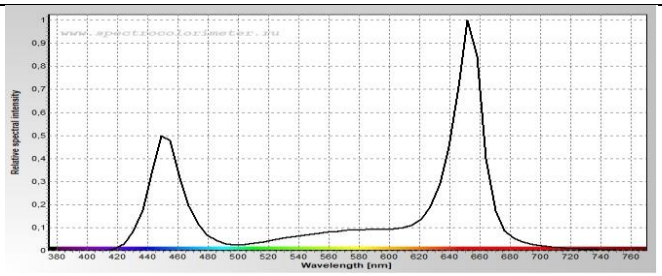
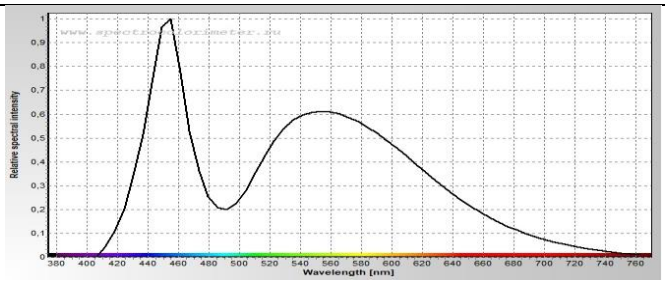
GLP-FH1-20-B (●●●)	
GLP-FH1-20-R (●●●)	
GLP-GE1-18-41 (●●●)	

Рисунок 2 – Спектрограммы исследуемых ламп

В опыте использовали готовые для промышленного выращивания инокулированные штаммом Santana 35 P /Pleurotus ostreatus/ блоки: на лузге подсолнечника (производитель ИП Барканов С.Н. Саратовской области); на соломе пшеницы + лузге подсолнечника (ООО «Ботаник «Грибы» Пензенской области). Лузга подсолнечника и сечка соломы являются отходами, которые образуются при обработке сельскохозяйственной продукции, в том числе в Пензенской области. Использование их как субстратов при культивации *Pleurotus ostreatus* позволит решить проблему утилизации отходов такого рода. Вес блоков составлял 11–12 кг. Выращивание вешенки устричной проводилось в камерах, оснащенных вышеописанными лампами, в зимний период с периодическим ручным проветриванием и увлажнением воздуха, при температуре 18–20^{0}С. Расход воды для опрыскивания составлял 100 мл в сутки в каждой повторности. Повторность в опыте четырехкратная. Эксперимент продолжался 30 суток. **Общее количество воды**, затраченное в эксперименте, составило 30 суток × 3 варианта × 4 повторности = 36 л. **Затраты электроэнергии** на работу светодиодных светильников:

Вариант 1. GLP-FH1-20-B: 20 Вт × 16 часов × 30 суток = 9600 Вт.

Вариант 2. GLP-FH1-20-R: 20 Вт × 16 часов × 30 суток = 9600 Вт.

Вариант 3. GLP-GE1-18-41: 18 Вт × 16 часов × 30 суток = 8640 Вт.

Итого: 27840 Вт

Результаты статистически обработаны. Статистическая обработка результатов опытов заключалась в определении среднего арифметического и ошибки репрезентативности (не более 5 %). Для расчётов использовали следующие формулы: $M = \frac{\sum a}{n}$; $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a - M)}{n}}$; $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

где *M* – среднее арифметическое; *a* – отдельное измерение; *Σa* – сумма отдельных измерений; n – число измерений; σ – среднее квадратичное отклонение; m – ошибка среднего [18]. Математическую обработку и представление данных в виде диаграмм выполняли с применением программы Microsoft Excel 10.0.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Оценка плотности фотосинтетического фотонного потока светодиодных ламп GLP

Прежде чем оценивать влияние светодиодных ламп, излучающих свет разного качества, нужно корректно подобрать единицы измерения интенсивности светового потока. При описании технических характеристик ламп используются различные единицы измерения: ватты, люмены, люксы, джоули. Один из самых распространённых методов оценки интенсивности светового потока – освещенность, измеряемая люксметром. Поскольку этот прибор был разработан для измерения освещённости в соответствии с чувствительностью человеческого глаза с его специфическими пигментами, использование люксметра для тестирования и оценки светодиодных ламп, используемых для стимулирования роста и развития грибов некорректно, так как их пигментные системы значительно отличаются от зрительных пигментов человека.

Эту проблему проработали на примере выращивания растений, у которых важным показателем является **фотосинтетически активная радиация** PAR, характеризующая свет в диапазоне 400–700 нанометров, используемый растениями для фотосинтеза. Для измерения спектральных характеристик такого света используются спектрофотометры, позволяющие получить спектрограмму света от источника, его интенсивность и другие характеристики. Ещё один важный показатель PPF (ФФП) — **фотосинтетический фотонный поток**. Он отражает количество световых частиц PAR в диапазоне 400-700 нанометров, излучаемых светодиодным светильником, в секунду. Единица измерения — микромоль в секунду (µmol/sec). На его основе разработан показатель PPFD (ПФФП) — **плотность фотосинтетического фотонного потока** или количество фотосинтетических активных фотонов, которые падают на данную поверхность каждую секунду. Измеряется в микромолях на квадратный метр в секунду (µmol/m^2/sec).

Конечно, грибы не являются фотосинтезирующими организмами, но часть пигментов у них сходна с высшими растениями, поэтому учёные сочли возможным распространить этот показатель и на грибы как нефотосинтетические организмы. В настоящее время при выращивании растений в условиях закрытого грунта эти показатели подробно изучены, установлены оптимальные диапазоны для многих видов, выявлены группы видов со сходными потребностями, например:

1. 75 µmol/s/м² (грибы, орхидеи)
2. 150 µmol/s/м² (пряные травы, корнеплоды)
3. 250 µmol/s/м² (земляника, перец, мелкоплодные сорта томатов (черри), цитрусовые).
4. Более 300 µmol/s/м² (крупноплодные сорта томатов, огурцы, бахчевые).

Таким образом, при выращивании грибов с использованием светодиодных ламп необходимо знать ПФФП, но большинство производителей такую информацию не предоставляют. Поэтому мы рассчитали ПФФП используемых в исследовании ламп (таблица 1).

Таблица 1

Результаты определения освещенности и плотности фотосинтетического фотонного потока используемых ламп

Название лампы	Освещенность, люкс	ПФФП, мкмоль/м^2/с$^{-1}$
GLP-FH1-20-B (●●●)	3200	115
GLP-FH1-20-R (●●●)	3500	150
GLP-GE1-18-41 (●●●)	9600	150

Так, плотность светового потока всех используемых ламп достаточна для плодообразования (превышает 75 мкмоль/м^2/с$^{-1}$). Если судить по освещенности, то минимальные пределы освещённости в 3000 лк, необходимые для правильного формирования плодовых тел, также достигнуты [14]. Следующим важным моментом является то, что при примерно сходной освещённости ламп GLP-FH1-20-B и GLP-FH1-20-R (3200 и 3500 люкс, разница в 8,6%) показатель ПФФП значительно отличается – на 30,4%. Также впечатляет разница между лампами красного GLP-FH1-20-R и белого света GLP-GE1-18-41. Они формируют одинаковую ПФФП при освещенности лампы GLP-GE1-18-41, в почти в три раза превосходящей аналогичную характеристику GLP-FH1-20-R. Поэтому использование красной лампы GLP-FH1-20-R более экономически и экологически оправдано, так как при меньших энергозатратах формируется фотонный поток той же плотности.

3.2. Влияние качества света и мощности светового потока светодиодных ламп GLP на продуктивность *Pleurotus ostreatus*

Данные эксперимента приведены в таблице 2. Продуктивность вешенки устричной при выращивании на стандартном субстрате – лузге подсолнечника – была наименьшей при использовании ламп GLP-FH1-20-B (вариант 1): 3,95 кг на 1 блок, что при перерасчёте на 1 квадратный метр составило 11,85 кг. При сравнении с литературными данными [6] это очень высокие показатели, то есть можно говорить о положительном влиянии синих ламп GLP-FH1-20-B на урожайность вешенки. Продуктивность вешенки при освещении лампами GLP-FH1-20-R (вариант 2) и GLP-GE1-18-41 (вариант 3) превышает аналогичные показатели варианта 1 на 27–28%.

При этом использование лампы GLP-GE1-18-41 с большой долей синих и зелёных лучей смещало пик плодообразования: если доля первой волны первого сбора в варианте 1 и 2 составляла соответственно 52,9% и 38,5%, то в варианте 3 – только 3,5%, а максимум приходился на второй сбор первой волны – 54,1%, в то время как в варианте 1 и 2 на долю второго сбора пришлось только 12,9 и 18,5% соответственно. В целом, использование лампы GLP-FH1-20-R с высокой долей красных лучей вызвало более равномерное плодообразование во времени – доля первого, второго, третьего сбора составляет 38,5; 18,5; 34,1% соответственно, что может быть важно при промышленном производстве для получения стабильного урожая во времени.

Таблица 2

Продуктивность вешенки устричной под лампами разного спектра на лузге подсолнечника (средняя по повторениям)

Название лампы	1 волна			2 волна	Общая, кг/блок	Общая, кг/м^2
	1 сбор, кг/блок	2 сбор, кг/блок	3 сбор, кг/блок	1 сбор, кг/блок		
Вариант 1 GLP-FH1-20-B (●●●)	**2,09** ± 0,10	**0,51**± 0,03	**1,15** ± 0,05	**0,20**± 0,01	**3,95**± 0,33	**11,85**± 0,72
Вариант 2 GLP-FH1-20-R (●●●)	**1,93**± 0,09	**0,93**± 0,05	**1,71**± 0,09	**0,45**± 0,02	**5,02**± 0,32	**15,06**± 0,93
Вариант 3 GLP-GE1-18-41 (●●●)	**0,18**± 0,01	**2,75**± 0,13	**2,03**± 0,14	**0,12**± 0,01	**5,08**± 0,27	**15,24**± 0,89

Особенности плодообразования показаны на рисунке 3.

Рисунок 3 – Выход плодовых тел вешенки устричной под лампами разного спектра (2 сбор 1 волны)

3.3. Влияние субстрата на продуктивность *Pleurotus ostreatus* в условиях искусственного освещения

Из литературных данных известно, что состав субстрата сильно влияет на урожайность вешенки, так как его химический состав способен значительно изменить особенности метаболизма. В нашем эксперименте добавление соломы к лузге подсолнечника вызвало следующие изменения по сравнению с однокомпонентным вариантом субстрата (лузга) (табл. 3).

Во-первых, общие закономерности продуктивности сохранились: максимальная урожайность получена при освещении лампами GLP-FH1-20-R с высокой долей красного света, однако прибавка по сравнению с лампой GLP-FH1-20-B не такая существенная – 16%. Вариант 1 и 3 достоверно по продуктивности не отличаются, в то время как при выращивании на лузге превышение лампы GLP-GE1-18-41 составляло 28%.

Таблица 3

Продуктивность вешенки устричной под лампами разного спектра на субстрате солома+лузга подсолнечника (средняя по повторениям)

Название лампы	1 волна		2 волна		Общая, кг/блока	Общая кг/м^2
	1 сбор, кг/блок	2 сбор, кг/блок	1 сбор, кг/блок	2 сбор, кг/блок		
Вариант 1. GLP-FH1-20-B (●●●)	**0,91**± 0,05	**1,34**± 0,08	**0,98**± 0,05	**0,71**± 0,04	**3,94**± 0,20	**11,82**± 0,65
Вариант 2. GLP-FH1-20-R (●●●)	**1,11**± 0,06	**1,14**± 0,06	**0,12**± 0,01	**2,21**± 0,11	**4,58**± 0,21	**13,74**± 0,71
Вариант 3. GLP-GE1-18-41 (●●●)	**1,51**± 0,07	**1,08**± 0,06	**0,72**± 0,04	**0,71**± 0,04	**4,02**± 0,19	**12,06**± 0,58

Во-вторых, субстрат сильно повлиял на динамику плодообразования. Если на лузге было сделано 3 сбора в первую волну и 1 сбор во вторую, то на субстрате «лузга и солома» – по 2 сбора в каждую волну.

В целом, плодообразование на смешанном субстрате более продолжительное по времени: если на последний сбор в варианте с лузгой приходилось только 5,1%, 9,0% и 2,4% об общего сбора (в варианте 1, 2 и 3 соответственно), то на смешанном субстрате – 18,0%, 48,2%, 17,7% соответственно.

На смешанном субстрате освещение лампой GLP-FH1-20-R уже не давало такого стабильного плодообразования, как в случае с однокомпонентным субстратом лузгой – первый сбор второй волны дал только 2,6%.

Анализируя урожайность вешенки под лампами разного спектра в целом необходимо отметить, что она, в целом, составила 30–50% от масса блока при заявленных поставщиком 25–30%. Таким образом, использование субстратов обоих производителей – и однокомпонентной лузги и смешанного (лузги с соломой) обеспечивает все необходимые потребности мицелия вешенки в питательных веществах, что приводит к плодообразованию с высокой урожайностью, с некоторым преимуществом однокомпонентного субстрата.

3.4. Товарные качества плодовых тел вешенки

В среднем во всех вариантах масса друз вешенки составляла 800–900 г, что соответствует стандартам. Плодовые тела с оптимальным соотношением ножки и шляпки, формы и цвета был получен под лампами GLP-FH1-20-R с высокой долей красного спектра на обоих субстратах. Под лампами GLP-GE1-18-41 с высокой долей синих и зелёных и GLP-FH1-20-B с высокой долей синих лучей друзы вешенки были более разнообразной формы с большим количеством плодовых тел нетоварного качества.

Ранее было установлено, что главным фактором, определяющим нормальную морфологию плодовых тел, повышающую их товарность. Является интенсивность освещения (выше 3000 лк) [14]. Наша работа показала, что только одного показателя освещённости недостаточно, так как при этом не учитывается плотность фотонного потока и влияния качества света.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. На основании литературных данных выявлена необходимость стимулирования урожайности P. ostreatus, в том числе за счёт подбора осветительных приборов нужного качества и количества света.

2. Освоена методика культивирования P. ostreatus в условиях защищённого грунта.

3. Установлена возможность использования ламп всех трёх типов (GLP-FH1-20-B, GLP-FH1-20-R и GLP-GE1-18-41) для культивировании P. ostreatus в условиях защищенного грунта, так как они обеспечивают нужную плотность фотонного потока для образования плодовых тел (115–150 мкмоль/м2/с-1 при минимальных значениях 75 мкмоль/м2/с-1). Они экологичны, не содержат опасных материалов (таких как ртуть), характеризуются относительно низким энергопотреблением (18–20 Вт/час) и долговечностью, легко монтируются, не вызывают трудностей в обслуживании.

4. Получены данные о наибольшей продуктивности P. ostreatus (13,74–15,06 кг/м2, что на 16 – 28% выше других вариантов), о более равномерном плодообразовании и максимальном выходе товарной продукции при использовании ламп GLP-FH1-20-R. Это обусловлено высокой долей квантов красного света в общем потоке, оказывающей стимулирующее влияние на формирование плодовых тел.

5. Обнаружено влияние субстрата на стимулирующие эффекты лампы GLP-FH1-20-R - преимущество чистой лузги по сравнению со смешанным субстратом из лузги и сечки соломы, что связано с более благоприятным химическим составом околоплодника семянок подсолнечника по сравнению со стеблями злаков, более бедных минеральным элементами, белками, и обогащёнными трудно гидролизуемыми полимерами.

6. Выявлено преимущество ламп GLP-FH1-20-R в экономическом и экологическом отношении, так как они образуют большую плотность фотонного потока при меньшей мощности, и, следовательно, затратах электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бардашева А.В. Динамика роста вешенки обыкновенной *Pleurotus ostreatus* при глубинном культивировании // Успехи медицинской микологии. 2014. Т. 12. С. 217–218.

2. Бисько Н. А., Дудка И. А. Биология и культивирования съедобных грибов рода вешенка. Киев: Наукова думка, 1987. 148 с.

3. Гарибова Л.В. Грибы в своем саду. М.: Институт технологических исследований, 1993. С.88–92.

4. Гарибова Л. В. Выращивание грибов. М.: Вече, 2005. 96 с.

5. Глазунова А. В., Песцов Г. В. Культивирование гриба *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. на различных субстратах // Вестник современных исследований. 2018. № 7.1 (22). С. 190–191.

6. Вдовенко С.А. Влияние интенсивности освещения на урожайность вешенки обыкновенной // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2013. № 1 (40). С. 93–97.

7. Девочкина Н.Л., Рубцова И.А. Выращивание вешенки в теплицах интенсивным способом // Теплицы России. 2009. №3. С.23–26.

8. Зарицкая В.В., Кочунова Н.А. Перспективы использования грибов рода вешенка *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm в производстве колбасных изделий // Дальневосточный агарный вестник. 2017. № 4 (44). С. 157–164.

9. Кочунова Н.А. Использование дереворазрушающих грибов класса Basidiomycetes в нетрадиционной медицине (Амурская область) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. № 51. С. 112–117

10. Михайлова А. На российском рынке шампиньонов наступил кризис перепроизводства // Агроинвестор. 2022. № 1. [Электронный ресурс] URL – https://www.agroinvestor.ru/markets/article/37328-gribnoe-izobilie-na-rossiyskom-rynke-shampinonov-nastupil-krizis-pereproizvodstva/ (дата обращения 06.03.2022)

11. Нурметов Р.Д., Девочкина Н.Л. Выращивание шампиньона и вешенки. М: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИИО, 2010, 68 с.

12. Партин Д.С. Особенности условии выращивания и системы защиты вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) при промышленном производстве. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата с.-х. наук. М., 2006. 32 с.

13. Патент RU 2488989 C1. Способ стимуляции вешенки. Грачёв В.И., Тихонов С.Л., Миршавка С.М., Кабатов С.В., Голуб О.В. 10.082013. Заявка № 2012125514/13 от 20.06.2012

14. Поединок Н.А. Использование искусственного света при культивировании грибов // Biotechnologia Acta. 2013. Вып. 6. № 6. С. 58–70.

15. Рахмонов У. Н. Культивирование вешенки *Pleurotus ostreatus* на различных субстратах // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №2. С. 175–178.

16. Рубцов А. А. Подготовка субстратов для вешенки // Картофель и овощи. 2006. №3. С. 39.

17. Тишенков А. Д. Субстраты для культивирования вешенки. Часть 1, 2. М., 1999.

18. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1984. 288 с.