

УСТРОЙСТВО ВОЗДУШНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ СУБСТРАТА ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБОВ

Д.В. Чашилов, Д.В. Минаков

*Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск*

e-mail: mazhay@bti.secna.ru

При переработке растительного сырья в сельском хозяйстве и лесоперерабатывающей промышленности образуется достаточно много различных отходов. Это пожнивные остатки – солома злаковых, масличных и технических культур, плодовые оболочки семян, древесные отходы лесопиления и деревообработки. Эти отходы содержат ряд ценных компонентов и могут служить сырьём в рамках принципа рационального использования природных ресурсов (концепция «зелёной химии»). Такое сырьё по составу является преимущественно лигноцеллюлозными и содержит некоторое количество белка и минеральных солей. В частности, во многих случаях это потенциальный субстрат для культивирования грибов [1].

Культивирование грибов может быть использовано как для выгонки плодовых тел, так и для выращивания непосредственно мицелия. Субстрат в процессе развития мицелия обогащается белками и потенциально может служить в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы [2].

Для культивирования грибов в качестве субстрата пригодны опилки из лиственных деревьев. Опилки обладают развитой боковой поверхностью, имеют малую толщину и легко осваиваются мицелием сапротрофных видов грибов. Для благоприятного культивирования мицелия требуется определённая влажность субстрата. Влага должна быть равномерно распределена в субстрате, а не скапливаться в нижней части субстрата. Субстрат увлажняют и, при необходимости, смешивают с белковыми и (или) минеральными добавками [3].

Необходимым условием для благоприятного роста мицелия является аэрация. При метаболизме мицелия происходит поглощение кислорода воздуха и выделение углекислого газа. В связи с этим, требуется определённая газопроницаемость субстрата для притока свежего воздуха (или кислорода) и удаления избытка CO_2 . Избыточное содержание углекислого газа ингибирует жизнедеятельность мицелия [4]. В связи с этим важен размер отдельных частиц субстрата. Слишком крупные частицы субстрата, с большой толщиной, трудно осваиваются мицелием. Слишком мелкие частицы субстрата легко уплотняются, и, слёживаясь, образуют плохо аэрируемый субстратный блок. Субстрат должен обладать определённой сыпучестью.

Для культивирования мицелия высших грибов субстрат обычно формируют в блоки. Субстратный блок помещается в технологическую тару. В качестве такой тары обычно используют мягкие полимерные пакеты или тканые полипропиленовые мешки. Объём субстратного блока составляет от 1 до 50 дм^3 . Необходимый газообмен может осуществляться через горловину тары или отверстия в стенке тары. Используют также и жёсткую технологическую тару, являющуюся многооборотной.

Для улучшения условий культивирования, часто используют термическую обработку субстрата. Термическая обработка может проводиться в виде стерилизации, пастеризации или тиндализации. Стерилизация обычно реализуется обработкой паром в автоклаве. Температура при этом поддерживается на уровне порядка 115 °С, длительность обработки составляет от 0,5 до 1,5 часов. Пастеризация проводится в более щадящих условиях – при температуре от 60 °С до 100 °С и течение от 1 до 48 часов, в зависимости от режима. Тиндализация предполагает несколько последовательных циклов (два-три) пасте-

ризации или стерилизации с промежутком определённого времени между ними от 16 до 24 часов [5].

Определённой проблемой является выбор режима и устройства для термической обработки субстрата или тары с субстратными блоками для исследования процесса культивирования грибов. Наиболее надёжна стерилизация, требующая автоклавной обработки, в среде водяного пара. Пастеризация проще, реализуется посредством горячего воздуха и пригодна для больших количеств субстрата, но менее надёжна и не исключает возможности последующего перехода уцелевших спор бактерий и патогенных грибов в вегетативную форму. Также возможно и вторичное обсеменение посторонней микрофлорой, в период между пастеризацией субстрата и инокуляцией мицелием грибов.

Целью данного исследования явилось создание устройства для пастеризации грибного субстрата в таре.

Задачами настоящего исследования выступили:

- подбор тары, удобной для наблюдений за субстратом и развитием мицелия;
- разработка конструкции воздушного (сухожарового) пастеризатора для групповой обработки тары с субстратными блоками;
- проверка пригодности разработанного пастеризатора для исследования процесса подготовки субстрата для культивирования грибов.

В качестве технологической тары для субстрата было решено использовать стандартную стеклобанку с внутренним объёмом 0,9; 0,95 или 1 дм³, используемую в пищевой промышленности. Стекло является прозрачным и позволяет наблюдать поверхность субстрата в процессе культивирования. Стекло устойчиво к высоким температурам, температурным ударам (до 60°C), действию воды, водяного пара и самого мицелия. Поверхность стекла легко очищается и позволяет оценить качество подготовки (чистоту) тары визуально. Стекло долговечно и допускает многооборотное использование. Банка может иметь горловину для крышки СКО или для крышки «твист-офф». Это позволяет закрывать банку стандартной крышкой. Также можно использовать специальную крышку, выполняющую роль газообменной мембраны. В качестве мембранного материала может быть использован полипропиленовый нетканый материал, например, типа агротехнического укрывного материала, строительного гидроизоляционного материала или аналогичный. Мембрана крепится на горловине банки при помощи резинового кольца.

Для термической обработки использовали устройство воздушной (сухожаровой) пастеризации – пастеризатор. Схема пастеризатора показана на рисунке 1.

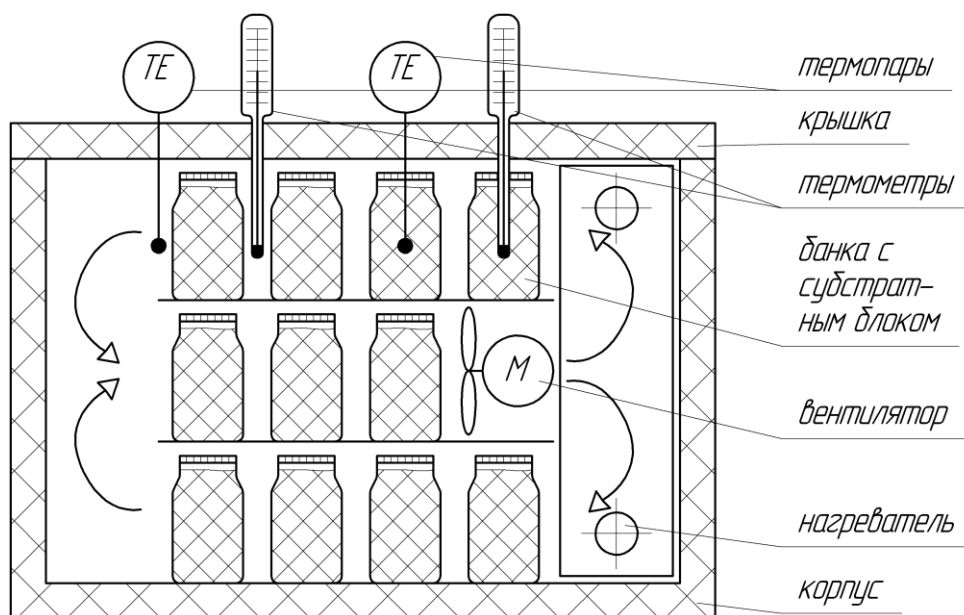


Рисунок 1 – Схема суховоздушного пастеризатора

Пастеризатор выполнен напольным и имеет три камеры для пастеризации, камеру нагрева воздуха и воздушный канал. Камеры пастеризации расположены каскадно, в три яруса. В среднем ярусе также расположен вентилятор. Вентилятор может свободно устанавливаться в любом из трёх ярусов. Вентилятор обеспечивает движение воздуха в любом направлении, в зависимости от своего расположения и схемы подключения. Сбоку ко всем этим камерам, с одной стороны, примыкает камера нагрева воздуха с электрическим нагревателем. С другой стороны располагается воздушный канал для замыкания циркуляционного контура.

Банки в камере пастеризации располагаются вертикально, в шахматном порядке, что обеспечивает равномерный обдув банок воздухом. В двух из камер может быть размещено по десять банок с субстратными блоками. В камере с вентилятором может быть размещено ещё восемь банок. Таким образом, при полной загрузке пастеризатор позволяет обработать за один цикл пастеризации до 28 банок с субстратными блоками.

Все камеры расположены в общем теплоизолированном корпусе с крышкой. Крышка выполнена отъёмной и обеспечивает доступ внутрь пастеризатора. В крышке расположены термометры для контроля температуры воздуха и температуры субстрата внутри контрольного субстратного блока. Верхняя часть термометра со шкалой при этом располагается снаружи пастеризатора. Контроль температуры субстратного блока может вестись только для верхнего яруса и выполняться как с помощью ртутного или спиртового термометра, так и с помощью термопары.

Нагреватель воздуха имеет развитую поверхность теплообмена и направляющие каналы для движения воздуха. Площадь теплообменной поверхности нагревателя составляет 1,25 м². Мощность нагревателя устанавливается ступенчато, тремя ступенями по 500 Вт. Максимальная электрическая мощность нагревателя составляет 1,5 кВт. Нагреватель также имеет регулятор, позволяющий устанавливать и поддерживать требуемую температуру воздуха. Уровень требуемой температуры задаётся бесступенчато. Заданная температура устанавливается в пределах от комнатной до 90 °С.

Пастеризатор работает следующим образом. В пастеризатор поярусно размещаются банки с субстратными блоками и устанавливается вентилятор, закрывается крышка и устанавливаются контрольные термометры и термопара. Включается вентилятор. Регулятор нагревателя устанавливается на заданную температуру и включается нагреватель. Нагреватель подогревает циркулирующий воздух. Тёплый воздух омывает банки с субстратными блоками и нагревает субстрат. Степень прогрева субстрата контролируется при помощи погружённого в него через мембрану термометра или термопары. При отключении нагревателя и частичном открытии крышки пастеризатора вентилятор, при необходимости, может охлаждать воздухом банки с субстратными блоками.

Работа пастеризатора была проверена контрольной пастеризацией. В качестве субстрата использовали опилки берёзы. Опилки были получены путём пиления поперёк волокон цепной бензопилой берёзовых бревен естественной влажности. Деревья произрастали в Красногорском районе Алтайского края, в смешанном лесу и были срублены и раскряжёваны в летний период в 2019 году. Опилки высушивались на воздухе и хранились до проведения экспериментов в помещении внутри полипропиленового тканого мешка при комнатной температуре. Для экспериментов опилки вручную просеивались через решета с крупностью ячеек 5 и 10 мм для удаления кусков бересты, щепок и мелких частиц. Для приготовления субстрата использовали фракцию +5–10. Опилки имели форму пластинки с поперечным размером от 5 до 8 мм. Толщина частиц опилок составляла от 0,2 до 0,5 мм.

Влажность опилок и субстрата определяли методом высушивания до постоянного веса при температуре 105 °С в сушильном шкафу. Влажность опилок составляла 5,5±0,5 % (отн.). Для получения субстрата в опилки доливали требуемое количество холодной водопроводной воды, и перемешивали смесь вручную в течение десяти минут для усреднения. При увлажнении субстрата произошло потемнение оттенка частиц, что связано с их сма-

чиванием водой. В субстрате при этом наблюдалось некоторое количество светлых частиц, сухих на ощупь. Очевидно, это обусловлено неравномерным распределением воды по всему объёму субстрата. Средняя влажность субстрата составила $60,5 \pm 0,5\%$ (отн.).

Параллельно готовили технологическую тару. Использовали чистые сухие стеклобанки типа «твист-офф» внутренним объёмом $0,95 \text{ дм}^3$. Каждую из банок промаркировали и взвесили на технических весах. Далее субстратом вручную, с послойным уплотнением, наполняли банки, формируя субстратные блоки. Масса субстратного блока в банке составляла $380 \pm 15 \text{ г}$ (вес нетто). Всего заполняли пять банок. Каждую из банок закрывали куском мембранного материала – агротехнической укрывной плёнки, предварительно смоченной этиловым спиртом. Мембрану крепили на горловине резиновым кольцом. Для контрольных банок мембрану по центру прокалывали для установки термометра и (или) термопары. Визуальный контроль состояния субстрата показал отсутствие скопления воды на дне банки. На внешней поверхности местами наблюдались ранее отмеченные светлые частицы субстрата.

Далее банки ставили в предварительно прогретый до рабочей температуры пастеризатор. Для удобства контроля банки размещались на верхнем ярусе вертикально. В одну из банок устанавливали ртутный стеклянный термометр, в другую – термопару. Использовали термометр с ценой деления $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Колба контрольного термометра и горячий спай термопары размещались в центре субстратного блока посередине его высоты. Также устанавливались аналогичный термометр и термопара для контроля температуры воздуха внутри пастеризатора, на уровне тары с субстратными блоками. Включали вентилятор и нагреватель на электрическую мощность $1,0 \text{ кВт}$. Устанавливали регулятор нагрева в положение, соответствующее $70 \text{ }^\circ\text{C}$. По мере нагрева периодически, с интервалом в 1 минуту, контролировали показания термометров и термопары. По достижении заданной температуры начинали отсчёт времени термической обработки. Обработку проводили в течение четырёх часов. После чего отключали нагрев и вентилятор и оставляли банки в пастеризаторе для остывания естественным образом. На следующий день, спустя 24 часа, термическую обработку повторяли в том же режиме. Использованный режим термической обработки соответствует режиму тиндализации с двукратным повтором.

Фрагмент графика изменения температуры воздуха и субстрата на стадии нагрева и начала стадии выдержки при заданной температуре показан на рисунке 2.

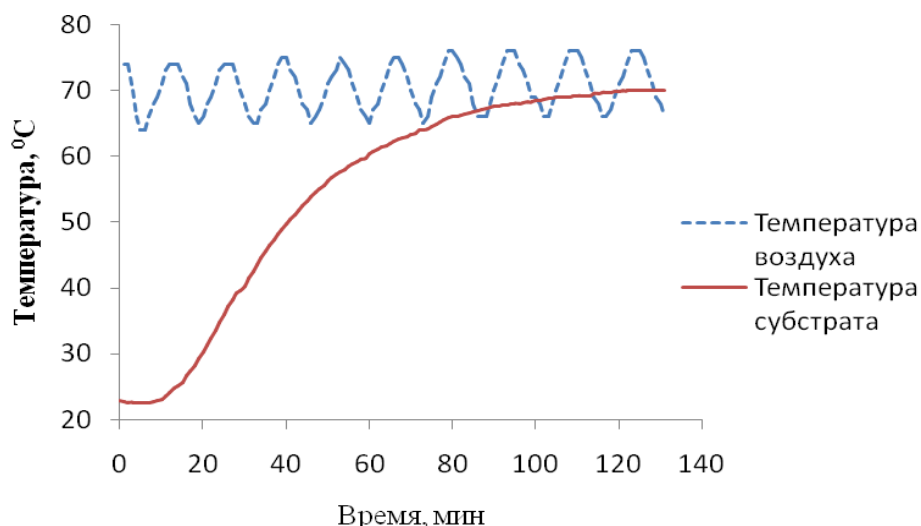


Рисунок 2 – Фрагмент графика изменения температуры воздуха и субстрата при пастеризации

Температура воздуха по достижении заданного уровня периодически колебалась в диапазоне от 66 до $74 \text{ }^\circ\text{C}$ с цикличностью порядка 14 минут. Это обусловлено как алго-

ритмом работы и уставками регулятора температуры, так и тепловой инерционностью нагревателя. При этом температура субстрата (в середине субстратного блока) после прогрева до 70 °С практически не изменялась. Измеренные колебания температуры в течение цикла не превышали 0,1 °С, что сопоставимо с погрешностью измерения. Разность показаний ртутного термометра и термопары не превышала 2 °С для воздуха и 1 °С для субстрата, что также находится на уровне погрешности измерения.

По завершении термической обработки и охлаждения до комнатной температуры банок с субстратными блоками их взвешивали, для оценки потери влаги при обработке. Убыль массы в каждой из банок составляла не более 5 г, в т.ч. в контрольных банках, что соответствует конечной влажности субстрата на уровне 60% (отн.). Также визуально оценивали состояние субстрата. Частилки субстрата имели более-менее однородный цвет. Светлых (несмоченных водой) частиц визуально не наблюдалось. Визуально скопление воды в нижней части банки также не наблюдалось. Очевидно, при термической обработке, вследствие внутреннего перераспределения влаги, произошло выравнивание поля влажности в толще субстратного блока.

Для оценки качества подготовки субстрата банки с неповреждённой мембраной (обработывавшиеся без термометра) были оставлены для наблюдения при комнатной температуре в отсутствие света. В течение двух недель визуально не наблюдалось проявления развития посторонней микрофлоры, в первую очередь, мицелия плесневых грибов. Вскрытие банок по завершении этого периода и визуальный осмотр извлеченного субстрата также показали отсутствие мицелия плесневых грибов.

Заключение

Разработана конструкция компактного пастеризатора для воздушной (сухожаровой) пастеризации лигноцеллюлозного субстрата для культивирования высших грибов.

Данный пастеризатор позволяет проводить термическую обработку стеклобанок с субстратными блоками в различных режимах под атмосферным давлением.

Показана возможность качественной подготовки в разработанном пастеризаторе стерильного субстрата из берёзовых опилок поперечного пиления, сформованного внутри стеклобанки в субстратный блок объёмом порядка 1 дм³, путём двойного повторного цикла термической обработки (тиндализации) при температуре 70 °С.

Данный пастеризатор может быть использован для термической обработки субстрата в лабораторных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта № 19-48-220008.

Литература

1. Тищенко, А.Д. Субстраты для культивирования вешенки. Часть 1. Характеристика субстратов [Текст] / А.Д. Тищенко. – М.: Школа грибоводства, 1999. – 59 с.
2. Минаков, Д. В. Изучение химического состава субстрата после выращивания некоторых базидиальных грибов [Текст] / Д. В. Минаков, А. Л. Верещагин, А. А. Сеницына // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : материалы X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Бийск, 2017. – С. 359–362.
3. Тищенко, А.Д. Субстраты для культивирования вешенки. Часть 2. Приготовление субстратов [Текст] / А.Д. Тищенко. – М.: Школа грибоводства, 2004. – 56 с.
4. Бухало, А.С. Культивирование съедобных и лекарственных грибов. Практические рекомендации [Текст] / А.С. Бухало. – Киев: Наукова думка, 2004. – 128 с.
5. Дулов, М. И. Совершенствование технологии культивирования грибов вешенка на основе приготовления субстрата методом пастеризации-ферментации в термической камере [Текст] / М. И. Дулов, Е. В. Вялая // Нива Поволжья. – 2011. – № 2 (19). – С. 17–21.