

ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПЛОДОВЫХ ТЕЛ ТРУТОВИКА В ТЕХНОЛОГИИ КРАШЕНИЯ ШЕРСТЯНОЙ ПРЯЖИ

© 2026 Кириллова Маргарита Дмитриевна*
студент

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь
E-mail: Margaritaakirillova@gmail.com

© 2026 Шитикова Анна Александровна*
студент

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь
E-mail: anasitikova60@gmail.com

Ключевые слова: натуральное крашение, трутовик окаймленный, СВЧ-обработка.

В статье рассматриваются способы интенсификации этапа экстрагирования красильных веществ плодовых тел трутовика для окрашивания натуральной пряжи. Проведен сравнительный анализ результатов крашения и энергозатрат при обработке грибной массы в СВЧ-полях и традиционным способом.

Ключевым и наиболее энергозатратным этапом в технологии применения натуральных красителей является экстракция пигментов из сырья. Традиционный метод, такой как длительная термическая обработка на водяной бане, обеспечивает выход красящих веществ, но является длительным, трудоемким, характеризуются значительными потерями энергии на нагрев большого объема воды и поддержание температуры в течение нескольких часов. Это делает процесс ресурсоемким и снижает его экономическую и экологическую привлекательность для применения.

Современные физические методы интенсификации, такие как ультразвуковая и микроволновая (СВЧ) экстракция, предлагают принципиально иной подход. Например, в пищевой промышленности оборудование с использованием СВЧ энергии широко применяется для процессов тепловой обработки. Воздействие СВЧ поля на различные материалы, в т. ч. растительное сырье, можно разделить на термическую и волновую компоненту. Микроволновый нагрев применяется в процессах сушки, нагрева, варки, стерилизации и имеет значительные преимуще-

* Научный руководитель – **Скобова Наталья Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

ства по сравнению с обычными методами нагрева, в том числе и по показателям энергоэффективности¹. Динамика нагрева материала под воздействием микроволнового излучения зависит от его диэлектрических свойств². Под воздействием СВЧ поля молекулы воды (диполи) совершают колебательные и вращательные движения, ориентируясь с частотой поля по его электрическим линиям, выделяя тепловую энергию³. При высоком содержании влаги в заданном объеме задействуется значительное количество молекул, участвующих в движении, тем самым происходит большее выделение тепловой энергии и разогрев происходит по всему объему продукта. Процесс обработки сырья в СВЧ поле проходит с высокой скоростью нагрева и относительно низкой температурой процесса. Эти параметры микроволновой обработки способствуют высокому уровню сохранения полезных веществ.

Цель работы – оценка технологической эффективности двух методов подготовки красильных экстрактов из гриба *Fomitopsis pinicola*: традиционного на водяной бане и при воздействии СВЧ полей. Исследование направлено на выявление способа, обеспечивающего максимальный выход красящих пигментов при минимальном расходе электроэнергии.

Объектом исследований выбраны высушенные плодовые тела трутовика окаймленного (*Fomitopsis pinicola*), в виде крупных фракций.

Части плодового тела без предварительного замачивания укладывали в емкость, заливали дистиллированной водой и подвергали СВЧ обработке в течение 20, 30 и 40 минут при мощности 500 Вт. Традиционный способ экстрагирования заключался в подготовке экстракта на водяной бане при температуре 85–90°C в течение 1 часа.

Эффективность выхода красильных веществ оценивали по насыщенности цвета водного экстракта грибов, а также по анализу электронного спектра волн раствора, взятого из красильной ванны (рисунок 1), построенного с использованием спектрофотометра Solar P2201.

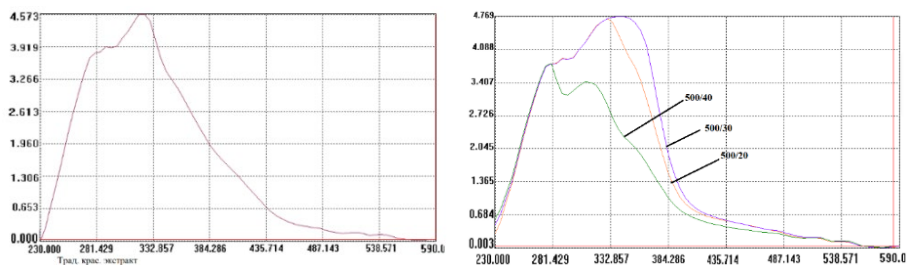


Рис. 1. Электронный спектр волн водного экстракта красильного раствора трутовика окаймленного (традиционный способ экстрагирования (а), интенсификация экстракции СВЧ обработкой (б))

Для идентификации вида красящих веществ, переходящих в раствор при различных методах экстракции, были сняты электронные спектры поглощения полученных красильных экстрактов в УФ- и видимой области (см. рисунок 1).

Оба графика демонстрируют двухволновой спектр волн, что указывает на извлечение идентичного набора красящих соединений, вне зависимости от способа воздействия. В электронных спектрах экстрактов наблюдаются характерные полосы поглощения. Пик в области 280 нм, характерен для фенольных соединений и флавоноидов, которые придают волокну золотистый оттенок. Выраженные экстремумы в области 330 нм и 355 нм соответствуют меланинам – группе высокомолекулярных пигментов, ответственных за формирование песочно-коричневых и коричневых тонов.

Сравнительный анализ показывает, что график (б), соответствующий экстракту, полученному с использованием полей СВЧ диапазона (500 Вт, 30 мин), практически на всем протяжении спектра демонстрирует более высокие значения оптической плотности. Особенно это заметно в области 280 нм (фенольные соединения и флавоноиды), а в области 330–355 нм отмечается более протяженный пик. Это свидетельствует о более полном извлечении красящих веществ из сырья под действием микроволнового излучения. Объемный характер нагрева и внутреннее давление, возникающее в клетках под действием СВЧ-поля, приводят к более интенсивному разрушению структуры плодового тела и выходу как флавоноидов, так и меланинов в раствор. Традиционный нагрев на водяной бане, напротив, обеспечивает менее полный выход пигментов за то же время, что подтверждается более низкими значениями плотности на всех характерных длинах волн.

Существенное превосходство СВЧ-метода по энергоэффективности объясняется принципиальными различиями в механизме нагрева. При традиционном нагреве основная часть энергии расходуется нецелевым образом: на нагрев массы воды в бане, самой водяной бани, компенсацию тепловых потерь в окружающую среду в течение длительного времени. Нагрев самого сырья происходит медленно, путем теплопроводности извне. СВЧ-нагрев является объемным и селективным. Энергия поглощается непосредственно полярной влагой внутри клеток гриба, что приводит к их мгновенному разогреву и разрушению. Время контакта с растворителем минимально, а потери энергии в окружающую среду пренебрежимо малы из-за кратковременности процесса.

Следует отметить, что при повышении времени СВЧ-обработки с 30 до 40 минут оптическая плотность заметно снизилась. Это говорит о том, что основной массив красящих веществ экстрагируется в первые 30 минут, и увеличение времени до 40 минут ведет к снижению выхода высокомолекулярных или прочно-связанных компонентов.

Сравнительный анализ образцов шерстяной пряжи по цвету, после окрашивания в полученных растворах (рисунок 2), показывает цветовые различия в окраске. Интенсификация процесса экстракции волнами сверхвысокочастотного диапазона позволила выделить из плодовых частей грибов

тон придает сырью группа меланинов, выделившихся в красильный раствор в большем количестве при традиционном способе экстракции.

С использованием ваттметра сняты фактические показатели энергопотребления водяной бани, применяемой при традиционном способе подготовке сырья, и СВЧ камеры при режиме обработки 500 Вт.



Рис. 2. Образцы шерстяной пряжи, окрашенные экстрактами трутовика окаймленного

Анализ данных, представленных в таблице, демонстрирует существенное снижение энергопотребления при СВЧ-методе подготовки сырья. Максимальное время СВЧ-обработки (40 мин) требует 440 Вт электроэнергии, что в 2,9 раз меньше, чем энергозатраты на традиционную экстракцию в течение 1 часа (1296 Вт) при условии достижения одинаковой интенсивности окраски образцов пряжи.

Сравнительное энергопотребление процессов экстракции

Энергопотребление	СВЧ камера (режим 500 Вт)	Водяная баня
20 мин	220	-
30 мин	330	-
40 мин	440	-
60 мин	660	1296 Вт

Следует отметить, что энергопотребление водяной бани рассчитано за полный цикл работы, включая поддержание заданной температуры, в то время как СВЧ-камера работает только в заданном временном интервале.

Таким образом, СВЧ-экстракция является высокоэффективным и энергосберегающим методом подготовки красильных экстрактов из плодовых тел трутовика окаймленного (*Fomitopsis pinicola*).

Установлено, что режим СВЧ-обработки (мощность 500 Вт, время 30 мин) обеспечивает выход более полного спектра групп красящих веществ, включающих флаваноиды, придающих пряже более насыщенные и яркие оттенки. Приме-

нение излучения СВЧ диапазона позволяет сократить энергопотребление на цикл обработки пряжи не менее чем в 3,9 раза.

Внедрение СВЧ-технологии на этапе подготовки натуральных красителей может стать значимым шагом к снижению углеродного следа текстильной промышленности, сочетая экологические преимущества природных пигментов с энергетической эффективностью современного «зеленого» процесса.

¹ А.А. Королев, В.В. Кондратенко (2021) Разработка метода определения граничных условий обработки сырья в СВЧ поле для нивелирования термической компоненты // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств» № 2, 2021. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-3-12.

² Witkiewicz K., Nastaj J.F. Simulation strategies in mathematical modeling of microwave heating in freeze-drying process. Drying Technol. 2010, no. 28, pp. 1001–1012.

³ Ahmed J., Ramaswamy H.S., Raghavan V.G.S. Dielectric properties of Indian Basmati rice flour slurry. J. Food Eng. 2007, no. 80, pp. 1125–1133.

CHOOSING AN ENERGY-EFFICIENT METHOD FOR PREPARING FRUIT BODIES OF THE TRUMPET IN WOLLEN YARN DYEING TECHNOLOGY

© 2026 Kirillova Margarita Dmitrievna*
Student

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
E-mail: Margaritaakirillova@gmail.com

© 2026 Shitikova Anna Alexandrovna*
Student

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
E-mail: anasitikova60@gmail.com

Keywords: natural dyeing, bracket fungus, microwave treatment.

The article discusses various methods of preparing tinder mushrooms for dyeing natural yarn. A comparative analysis of the dyeing results obtained using microwave treatment and the traditional method is conducted.

* Scientific adviser – **Skobova Natalia Victorovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.