

УДК 533.9.07: 621.373.4
EDN: DZMQRE

PACS: 87.50.S-

Влияние времени воздействия СВЧ-излучения на микробную деконтаминацию и потребительские свойства какао-порошка

© Н. А. Васильева, В. Н. Тихонов, Н. А. Фролова, О. А. Губина*, И. А. Иванов, С. А. Горбатов, А. В. Тихонов

*НИИ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, г. Обнинск, Калужская область, 249035 Россия
* E-mail: olgubina@yandex.ru**Статья поступила в редакцию 28.01.2025; после доработки 4.03.2025; принята к публикации 2.06.2025
Шифр научной специальности: 1.3.2*

Проведены исследования по воздействию микроволнового излучения на какао-порошок с целью антимикробной обработки продукта. Показано, что при удельной мощности 0,15 кВт/кг на частоте 2,45 ГГц достаточно 20 мин экспозиции СВЧ для подавления роста плесневых грибов и дрожжей, но недостаточно для полной инактивации бактериальных спор. Данный вид обработки можно рекомендовать для деконтаминации какао-порошка с преимущественным загрязнением плесневыми грибами.

Ключевые слова: микроволновое излучение; СВЧ-технологии; какао-порошок; деконтаминация; плесневые грибы; споры бактерий.

DOI: 10.51368/1996-0948-2025-3-88-94

Введение

Современные тенденции развития технологических процессов термообработки пищевых продуктов и материалов направлены на использование в качестве источника тепла энергии микроволнового излучения. Это позволяет улучшить технические, микробиологические и органолептические характеристики обрабатываемых материалов за счёт объёмного и равномерного нагрева, а также повысить показатели самих технологических процессов, характеризующихся экологической чистотой, отсутствием тепловой инерции и высоким коэффициентом полезного действия [1].

Нагрев пищевых продуктов в электромагнитном поле отличается от обычного нагрева, так как теплота возникает в самих объектах нагрева при их взаимодействии с электромагнитным полем. СВЧ-нагрев имеет ряд преимуществ перед традиционными методами термической обработки, основными из которых является высокая скорость нагрева, высокая экономичность процесса, технологичность.

Какао-порошок – это оболочка (шелуха) какао-боба, порошок из какао-порошка обычно более ароматный, горький и вязкий, чем из какао-боба. Также в нём больше углеводов, клетчатки, целлюлозы и крахмала, а содержание жиров и белков существенно ниже. В основном этот продукт применяют на кондитерских фабриках, где им заменяют какао-порошок (либо используют смесь) при производстве шоколада, конфет, глазури и других изделий.

Как любой другой растительный продукт, употребляемый непосредственно в пищу, какао-порошок нельзя подвергать обработке химическими веществами. Поэтому для антимикробной обработки подходят только физические методы, такие как термическая, микроволновая и радиационная обработка. Радиационная стерилизация – довольно дорогостоящая технологическая операция, экономически выгодная только для больших объёмов продукции. Альтернативой ей может служить применение СВЧ-излучения, которое обеспечивает быстрый разогрев до температу-

ры, необходимой для инактивации вегетативных форм бактерий и плесневых грибов.

В качестве базового оборудования для использования микроволнового метода воздействия в производственных условиях могут

применяться микроволновые установки для сушки высокодисперсных продуктов МУС-А (рис. 1а) и МУС-В, разработанные НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ [2] и производимые ООО НПП «АгроЭкоТех» [3].



Рис. 1. а) – установка МУС-А; б) – экспериментальный стенд

Это установки циклического действия, они имеют объём рабочей камеры, оснащённой поворотной платформой, близкий к 1 м³ и мощность СВЧ-излучения порядка 3 кВт. В модификации МУС-В (с водяным охлаждением магнетронов) микроволновая мощность может быть увеличена до 6 кВт.

На поворотной платформе установки диаметром около 1 метра могут быть размещены вертикально два крафт-мешка объёмом 25 л, в которых помещается по 20 кг порошка какаоеллы в каждом. В случае вводимой микроволновой мощности 6 кВт, жёсткость режима воздействия (удельная мощность) составит:

$$P_{уд} = 6 \text{ кВт} / 40 \text{ кг} = 0,15 \text{ кВт/кг},$$

где $P_{уд}$ – средняя удельная мощность поглощаемой полезной нагрузкой энергии микроволнового излучения, величину которой принято называть жёсткостью режима микроволнового воздействия. При $P_{уд} > 1 \text{ кВт/кг}$ режим воздействия считается жёстким, при $P_{уд} < 1 \text{ кВт/кг}$ – мягким.

Цель настоящей работы – разработка и обоснование эффективных режимов термического воздействия СВЧ-излучения на порошок какаоеллы, обеспечивающих его микробиологическую безопасность и сохранность потребительских свойств.

Приборы и методы

Для моделирования условий протекания технологического процесса в реальных произ-

водственных условиях был смонтирован экспериментальный стенд на базе корпуса бытовой микроволновой печи «Panasonic» и магнетронного генератора регулируемой мощности диапазона 2,45 ГГц (рис. 1б) [4].

Мощность магнетронного генератора была установлена на уровне 300 Вт. На поворотной платформе микроволновой печи размещались вертикально два открытых крафт-пакета ёмкостью 2 л, в каждый из которых помещали по 1 кг порошка какаоеллы. Соответственно, жёсткость режима составила 0,15 кВт/кг.

Для изучения эффекта СВЧ-излучения были проведены эксперименты с обработкой образцов какаоеллы в течение 10, 15, 20 и 25 минут. Контроль температуры по окончании воздействия осуществляли в одном из двух аналогичных пакетов с помощью цифрового мультиметра модели UT50D с термопарой типа К (хромель-алюмель) производства Uni-Trend Technology, Китай. Отбор проб для анализа производили из другого пакета в асептических условиях во избежание контаминации микроорганизмами. Достигнутые температуры для каждого из вариантов времени экспозиции составили 82–86 °С, 102–106 °С, 110–115 °С и 123–127 °С соответственно.

Микробиологическое исследование образцов какаоеллы осуществляли до и после воздействия микроволновой энергией для проверки на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [5].

Контроль изменения цветности водных вытяжек порошка какаоеллы проводили согласно ОФС.1.2.1.0002 [6], щелочных вытяжек – согласно МУК 4.1.1698-03 на спектрофотометре СФ-2000 (Россия) [7]. Органолептический анализ проводили в соответствии с ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство» [8].

Результаты и обсуждение

Результаты испытаний образцов порошка какаоеллы на микробиологическую безопасность приведены в таблице 1.

Из представленных результатов видно, что образец какаоеллы до СВЧ-обработки не соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 по

содержанию плесени (норматив – менее 500 КОЕ/г).

Микроволновая обработка образцов в четырёх различных временных режимах показала, что при времени экспозиции 20 и 25 мин дрожжи и плесени отсутствуют и продукт соответствует нормам ТР ТС 021/2011 (табл. 1, рис. 2). Обработка СВЧ-излучением не оказывает заметного влияния на количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (табл. 1). Это объясняется тем, что они в основном представлены спорообразующими бактериями. Для инактивации бактериальных спор необходима значительно более высокая температура, чем для вегетативных клеток бактерий и спор плесневых грибов.

Таблица 1

Микробиологические показатели порошка какаоеллы

Показатель, КОЕ/г	Время СВЧ-обработки, минуты				
	контроль	10	15	20	25
		82–86 °С	102–106 °С	110–115 °С	123–127 °С
КМАФАнМ	$5,6 \pm 1,6 \times 10^3$	$5,3 \pm 0,6 \times 10^3$	$5,2 \pm 1,2 \times 10^3$	$2,6 \pm 1,8 \times 10^3$	$1,4 \pm 0,3 \times 10^3$
БГКП	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Дрожжи и плесени	Сплошной рост	$1,5 \pm 0,6 \times 10^3$	$0,2 \pm 0,1 \times 10^3$	Не обнаружено	Не обнаружено
Бактерии рода <i>Salmonella</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Спорообразующие бактерии	$4,4 \pm 1,0 \times 10^3$	$4,0 \pm 1,6 \times 10^3$	$3,8 \pm 0,6 \times 10^3$	$3,5 \pm 0,3 \times 10^3$	$2,5 \pm 0,3 \times 10^3$



Рис. 2. Действие микроволнового излучения на плесневые грибы: 1 – контроль; 2 – 10 мин; 3 – 15 мин; 4 – 20 мин; 5 – 25 мин экспозиции

Для характеристики процесса термической деструкции микроорганизмов введён ряд понятий. Время термической смерти (ВТС) – это время, необходимое для того, чтобы убить данное количество микроорганизмов при определённой температуре. В соответствии с этим показателем определяется время, необходимое для уничтожения всех микробных

клеток. Наиболее термоустойчивы бактериальные споры. У многих бактерий они способны выдерживать температуру кипения воды в течение нескольких часов. Во влажной среде споры бактерий гибнут при нагревании до 120–130 °С через 20–30 минут, а в сухом состоянии – при 160–170 °С через 1–2 часа. Термоустойчивость спор различных бактерий

неодинакова; особенно устойчивы споры термофильных бактерий. Например, время термической смерти спор *Clostridium botulinum* (150 000 спор на 1 мл) при 100 °С – 140 мин, при 120 °С – 17 мин.

Для оценки термостойкости и скорости термической гибели микроорганизмов чаще всего используют значение D, которое определяется как десятая доля времени, необходимого для деструкции 90 % их количества. Так для *Bacillus cereus* значение D для 95 °С составляет 13,8 мин. В водной среде большинство неспорообразующих бактерий, дрожжи и плесневые грибы уничтожаются при нагревании до 60 °С в течение часа, до 70 °С – в течение 10–15 мин, при кипячении (100 °С) – в течение нескольких секунд. В воздушной среде гибель этих микробов наступает при температуре 170 °С через 1–2 ч. Споры плесневых грибов и дрожжей хотя и более стойки, чем вегетативные клетки, но нагревание в водной среде до 100 °С часто вызывает их гибель [9].

Какао-вселла – продукт с низким содержанием воды ($\leq 10\%$), поэтому для инактивации микроорганизмов требуются более высокие температуры и длительная обработка. Технологический процесс переработки какао-бобов предусматривает их обжарку на начальном этапе в потоке горячего воздуха при температуре от 105 до 145 °С. Следовательно, микробная контаминация какао-вселлы в основном происходит на дальнейших стадиях технологической цепочки и, как правило, спорами бактерий и плесеней, так как вегетативные формы микроорганизмов погибают в процессе обжарки. Поэтому полностью инактивировать микроорганизмы при заданных условиях эксперимента невозможно. Дальнейшее повышение температуры и времени обработки может привести к изменению потребительских свойств продукта [10].

Для оценки влияния СВЧ-обработки на потребительские свойства продукта был проведён органолептический анализ и исследованы экстрактивные качества порошка какао-вселлы при разной длительности воздействия.

На рис. 3 представлены графики изменения оптической плотности водной и щелочной

вытяжек продукта в зависимости от времени экспозиции. При обработке образцов горячей дистиллированной водой (90 °С) установлено повышение экстрактивной способности порошка какао-вселлы с увеличением температуры и времени воздействия, что является благоприятным фактором для потребителя. При обработке какао-порошка 1 %-м водным раствором натрия гидроксида в раствор в виде натриевых солей переходят безазотистые экстрактивные вещества и пуриновые основания (теобромин, кофеин, теофиллин), отвечающие за антиоксидантные свойства, аромат и вкус продукта [7]. С увеличением времени экспозиции и, соответственно, температуры количество экстрагируемых биологически активных веществ (БАВ) уменьшается, т. е. происходит их деструкция. При максимальной интенсивности воздействия (25 мин и температуре 123–127 °С) количество БАВ уменьшается в среднем на 12–13 %, а при оптимальном режиме (20 мин и температуре 110–115 °С) всего на 7–8 %.

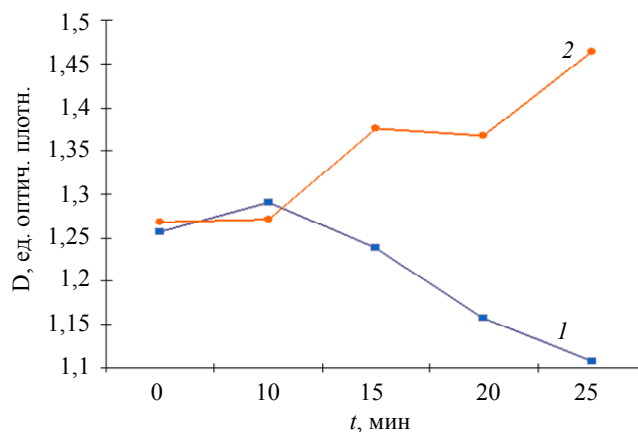


Рис. 3. Зависимость оптической плотности экстрактов порошка какао-вселлы от времени СВЧ-обработки: 1 (синий) – щелочная экстракция; 2 (оранжевый) – водная экстракция

Для оценки органолептических свойств какао-вселлы была создана комиссия из 5 испытателей. В качестве различительного теста использовали тест парного сравнения. Данный вид теста имеет преимущество над другими видами различительных тестов, которое заключается в простоте и слабо выраженной органолептической усталости. Испытателям

представляли две пробы (пару проб), одна из которых являлась контрольной. Для оценки результатов использовали балльный метод (скоринг) с использованием десятибалльной шкалы восприятия. Высший балл (10) был присвоен контрольной пробе (табл. 2).

Образец, длительность СВЧ-обработки которого составляла 10 минут, по своим органолептическим свойствам практически не от-

личался от контрольного образца. Следует отметить, что наибольшие изменения обнаруживали в порошке какаоеллы после воздействия микроволн в течение 25 мин. Его вкус и аромат приобрёл слегка горький оттенок. Тем не менее, все четыре образца соответствовали требованиям ГОСТ 34073-2017 «Какаоелла молотая. Технические условия».

Таблица 2

Органолептическая оценка какаоеллы

Показатели, баллы		Время СВЧ-обработки, мин				
		Контроль	10	15	20	25
Вкус	Напиток	10	9	8	8	6
Запах	Порошок	10	10	7	7	6
	Напиток	10	10	8	7	6

В представленной работе в качестве основного механизма обеззараживания учитывался только эффект термического нагрева продукта в результате воздействия СВЧ-излучения. Для сравнения рассмотрим результаты, которые были получены при обработке сухих специй на установке «Родник-Гамма» с 14 работающими магнетронами с частотой 2450 МГц в течение 250–300 с. Наибольший эффект в эксперименте получен в отношении дрожжей, плесени. СВЧ-обработка специй практически не влияла на органолептические свойства и содержание влаги в продукции. Показатель КМАФАнМ не опускался ниже 10^4 КОЕ/г [11]. При обработке порошка из какаоеллы в экспериментальной вакуумной СВЧ-сушилке с мощностью 1000 Вт и экспозицией 60 с, уровень КМАФАнМ также не опускался ниже 10^4 КОЕ/г, при этом отмечалось наличие плесени [12].

Заключение

Таким образом, показана технологическая целесообразность применения СВЧ-обработки порошка какаоеллы при преобладающей контаминации плесневыми грибами и дрожжами. Установка МУС-В полностью подходит для решения поставленной задачи. Оптимальным режимом является экспозиция не менее 20 минут и температура 110–115 °С.

При данном режиме продукт сохраняет все потребительские свойства (вкус, цвет, пищевую ценность) и становится микробиологически безопасным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королёв А. А., Тюрина С. Б., Тришканева М. В. / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 3. с. 81–91. doi: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-81-91. EDN CMIWZY
2. Санжарова Н. И., Тихонов В. Н., Тихонов А. В., Иванов И. А. Установка микроволновой сушики высокодисперсных сыпучих продуктов. Патент на полезную модель RU 200970 U1. 2020.
3. Микроволновая Установка Сушки высокодисперсных продуктов [Электронный ресурс]. URL: <https://agroecoteh.ru/index.php/katalog/mikrovolnovaya-ustanovka-mus-a> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Тихонов В. Н., Иванов И. А., Крюков А. Е., Тихонов А. В. / Прикладная физика. 2015. № 5. С. 102–106.
5. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».
6. ОФС.1.2.1.0002. Государственная фармакопея Российской Федерации Методы физического и физико-химического анализа.
7. МУК 4.1.1698-03 Методы контроля. Химические факторы.
8. ГОСТ ISO 6658-2016 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство.
9. Джей Д. М., Лёсснер М. Д., Гольден Д. А. Современная пищевая микробиология. Пер. 7-го англ. изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
10. ГОСТ 34073-2017 Какаоелла молотая. Технические условия.

11. Бараненко Д. А., Борисов А. Е., Борисова И. И., Лу Вейхун / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2017. № 3. С. 3–9.

12. Магомедов Г. О., Плотникова И. В., Зацепилина Н. П., Кривошеева А. В. / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 3. С. 100–103.

PACS: 87.50.S-

The influence of microwave exposure time on microbial decontamination and consumer properties of ground cocoa shells

N. A. Vasilyeva, V. N. Tikhonov, N. A. Frolova, O. A. Gubina*, I. A. Ivanov, S. A. Gorbatov and A. V. Tikhonov

NRC "Kurchatov Institute" – RIRAE, Obninsk, Kaluga Region, 249032 Russia

*E-mail: olgubina@yandex.ru

Received 28.01.2025; revised 4.03.2025; accepted 2.06.2025

Studies have been conducted on the effect of microwave radiation on ground cocoa shells for the purpose of antimicrobial treatment of the product. It has been shown that at a specific power of 0.15 kW/kg at a frequency of 2.45 GHz, 20 minutes of microwave exposure is sufficient to suppress the growth of mold fungi and yeast, but not enough to completely inactivate bacterial spores. This type of treatment can be recommended for decontamination of cocoa shells with predominant contamination by mold fungi.

Keywords: microwave radiation; microwave technology; ground cocoa shells; decontamination; mold fungi; bacterial spores.

REFERENCES

1. Korolev A. A., Tyurina S. B. and Trishkaneva M. V., Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya: Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv, № 3, 81–91 (2019) [in Russian].
2. Sanzharova N. I., Tihonov V. N., Tihonov A. V. and Ivanov I. A. Ustanovka mikrovolnovoj sushki vysokodispersnyh sypuchih produktov. Patent na poleznuju model' RU 200970 U1. 2020 [in Russian].
3. Mikrovolnovaya Ustanovka Sushki vysokodispersnyh produktov [Elektronnyj resurs]. URL: <https://agroecotech.ru/index.php/katalog/mikrovolnovaya-ustanovka-mus-a> (date of access 03.03.2025) [in Russian].
4. Tihonov V. N., Ivanov I. A., Krjukov A. E. and Tihonov A. V., Applied Physics, № 5, 102–106 (2015) [in Russian].
5. TR TS 021/2011 Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii» [in Russian].
6. OFS.1.2.1.0002. Gosudarstvennaja farmakopeja Rossijskoj Federacii Metody fizicheskogo i fiziko-himicheskogo analiza [in Russian].
7. MUK 4.1.1698-03 Metody kontrolja. Himicheskie factory [in Russian].
8. GOST ISO 6658-2016 Organolepticheskij analiz. Metodologija. Obshhee rukovodstvo [in Russian].
9. Jay J. M., Loessner M. J. and Golden D. A. Modern Food Microbiology. Food Science Text Series. Seventh Edition. Springer Science + Business Media, Inc., New York, 2005. 790 p.; Moscow, BINOM. Laboratorija znaniy, 2011 [in Russian].
10. GOST 34073—2017 Kakaovella molotaja. Tehnicheskie uslovija [in Russian].
11. Baranenko D. A., Borisov A. E., Borisova I. I. and Lu Vejhun, Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv», № 3, 3–9 (2017) [in Russian].
12. Magomedov G. O., Plotnikova I. V., Zacepilina N. P. and Krivosheeva A. V., Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya, № 3, 100–103 (2016) [in Russian].

Об авторах

Васильева Наиля Анатольевна, старший научный сотрудник, к.б.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: nellyanat@yandex.ru. SPIN код РИНЦ 1486-2152

Тихонов Виктор Николаевич, научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: v.n.tihonov@yandex.ru. SPIN код РИНЦ 2888-3451

Фролова Наталья Александровна, научный сотрудник, к.б.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: nafc@yandex.ru. SPIN код РИНЦ 9286-5295

Губина Ольга Александровна, научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: olgubina@yandex.ru. SPIN код РИНЦ 4737-7567

Иванов Игорь Анатольевич, научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: ivanov.i.an@mail.ru. SPIN код РИНЦ 7884-6737

Горбатов Сергей Андреевич, научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: gorbatovsa004@gmail.com. SPIN код РИНЦ 7295-0868

Тихонов Александр Викторович, младший научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ (249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1). E-mail: ti_@list.ru. SPIN код РИНЦ 4479-1819