

УДК 615.322:582.949.27:542.47:57.086.142:54-74(045)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТРАВЫ ТИМЬЯН МАРШАЛЛА *

© А.С. Шереметьева^{1**}, А.В. Фролкова¹, Н.А. Дурнова^{1,2}, Ю.А. Фомина¹, Н.Б. Шестопалова¹,
А.В. Никулин¹, В.Н. Стрижевская¹, И.В. Симакова¹

¹Саратовский государственный медицинский университет
им. В.И. Разумовского, ул. Б. Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия,
anna-sheremetyewa@yandex.ru

²Первый Московский государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет),
ул. Трубецкая, 8, Москва, 119991, Россия

Оптимальный и эффективный тип сушки для растительного сырья позволяет сохранить максимальное количество биологически активных веществ, что обуславливает актуальность подбора условий обезвоживания. Нами проведено сравнительное исследование анатомо-диагностических признаков и числовых показателей травы тимьяна Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), высушенной естественным (воздушно-теневым) и тепловым (инфракрасным) способами. В результате исследования показано, что сырье, высушенное двумя способами, имеет идентичные внешние признаки и морфолого-анатомическое строение, а также примерно одинаковые показатели влажности, содержания экстрактивных веществ и эфирных масел. Извлечения из травы тимьяна Маршалла двух видов сушки имеют сходные хроматографические профили и спектральные характеристики – два выраженных максимума, близкие по значениям, но оптическая плотность на дифференциальных спектрах после добавления алюминия хлорида выше у тимьяна Маршалла, высушенного методом инфракрасной сушки, что свидетельствует о большем содержании флавоноидов.

Для тимьяна Маршалла инфракрасная сушка при температуре 30–32 °С в течение 2 суток позволяет сохранить большее количество флавоноидов, не изменяя качественный состав и не приводя к потере экстрактивных веществ и эфирного масла.

Ключевые слова: тимьян Маршалла, сушка, флавоноиды, эфирные масла, экстрактивные вещества.

Для цитирования: Шереметьева А.С., Фролкова А.В., Дурнова Н.А., Фомина Ю.А., Шестопалова Н.Б., Никулин А.В., Стрижевская В.Н., Симакова И.В. Применение технологии инфракрасной сушки для обезвоживания травы тимьян Маршалла // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 365–373. DOI: 10.14258/jcprm.20240213423.

Введение

Представители рода *Thymus* L. семейства *Lamiaceae* распространены по всему миру, в том числе в Европе и Азии. Известно, что они содержат два основных класса вторичных метаболитов – эфирные масла и полифенолы (в частности, флавоноиды). Такие растения обладают широким спектром биологической активности, включая антиоксидантное, противовоспалительное и противомикробное действия [1], что обуславливает их применение в медицине. Виды *Thymus* L. также используют в качестве ароматических трав и специй, поэтому данный род представляет большой интерес для фармацевтической, пищевой и косметической промышленности [2].

Наиболее распространенным на территории Саратовской области является тимьян Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), неофициальный вид, но перспективный для расширения ресурсного потенциала представителей рода тимьян. Основными химическими соединениями являются эфирные масла, фенольные соединения, тритерпеновые соединения, полисахаридные комплексы, минеральные элементы, аминокислоты, органические кислоты [3].

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20240213423s

** Автор, с которым следует вести переписку.

Лекарственное растительное сырье (ЛРС) в основном используется в высушенном виде, так как сушка является наиболее распространенной формой консервирования. Этот процесс улучшает стабильность, поскольку значительно снижает содержание влаги и микробиологические процессы, сводит к минимуму физические и химические изменения во время хранения сырья и позволяет длительно сохранять значительную часть биологически активных веществ [4–7].

Сушка ЛРС подразделяется на естественную (воздушно-теневую, солнечную) и тепловую (конвективную и радиационную). Естественная сушка (ЕС) подразумевает высушивание без использования оборудования для подогрева [8], что увеличивает время сушки. При медленной сушке в растительных клетках продолжается жизнедеятельность, и ферментативные процессы могут инактивировать биологически активные вещества [9]. В процессе сушки конвективного типа тепло передается от горячего воздуха к продуктам, а испаренная вода передается воздуху посредством конвекции. Однако сушка горячим воздухом может привести к нежелательным изменениям в продукте [10].

Инфракрасная сушка (ИКС) – это метод сушки, при котором материалы непосредственно поглощают инфракрасные лучи и преобразуют их в тепловую энергию для достижения эффекта нагрева и сушки. По сравнению с сушкой горячим воздухом, она обладает преимуществами быстрой сушки за счет прямого проникновения тепла в продукт и более равномерного нагрева, что делает этот метод более эффективным, чем обычный нагрев при аналогичных условиях. Технология также обладает высокой эффективностью производства, энергосбережения и уже широко используется для сушки фруктов и овощей, повышая качество продуктов [6, 11–13].

Характер сушки зависит от морфологической группы ЛРС, преобладающей группы биологически активных соединений в сырье и ряда других условий [14]. Например, сырье, содержащее эфирные масла, необходимо сушить медленно, при температуре не выше 30–40 °С, так как при более высокой температуре эфирные масла улетучиваются. При такой невысокой температуре продолжается процесс образования эфирных масел и в высушенном сырье их может быть больше, чем в свежем, а сырье, содержащее гликозиды – при температуре 50–60 °С для быстрой инактивации ферментов, разрушающих их [15].

Ранее проводилось изучение влияния различных условий сушки на содержание биологически активных веществ в некоторых видах ЛРС. Так, например, в исследовании А.А. Лебедьковой и др. (2018) проведено сравнительное изучение влияния тепловой, воздушно-теновой и инфракрасной сушек на содержание целевых биологически активных веществ в траве синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.), донника лекарственного (*Melilotus officinalis* L.) и овса посевного (*Avena sativa* L.). В сырье синюхи голубой, высушенном инфракрасной сушкой, выявлено меньшее содержание экстрактивных веществ и сапонинов, чем в сырье, высушенном воздушно-теновой и тепловой сушками. В траве донника лекарственного, высушенного с помощью инфракрасной сушки, было наибольшее содержание полисахаридов и наименьшее содержание экстрактивных веществ. В траве овса посевного выявлено также наименьшее количество экстрактивных веществ, как и в двух других образцах, а содержание флавоноидов при трех видах сушки варьировало незначительно и было примерно одинаковым [14].

В исследовании Н.В. Складневской и др. (2021) при спектрофотометрическом исследовании спиртовых извлечений, полученных из травы козлятника лекарственного (*Galega officinalis* L.), водяники черной (*Empetrum nigrum* L.) и клевера лугового (*Trifolium pratense* L.), высушенных методами воздушно-теновой, тепловой и инфракрасной сушки, выявлено, что содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин в сырье *Galega officinalis*, высушенном тремя видами сушки, отличается незначительно. В сырье *Trifolium pratense* большее содержание флавоноидов отмечено в образцах, высушенных воздушно-теновым способом, а в траве *Empetrum nigrum* – в сырье, полученном с помощью тепловой сушки [4].

Следует отметить, что в указанных работах [4, 14] не описаны условия сушек (время, температурный режим, используемое оборудование).

В исследовании S.S. Kumaг и др. (2020) листья талинума треугольного (*Talinum triangulare* (Jacq.) Willd.) сушили различными методами (в помещении, на солнце, в духовке, сушка в поперечном потоке, в осушителе, микроволновая, инфракрасная и сублимационная сушки). Образцы, высушенные инфракрасным способом в течение 5 ч при 50–55 °С, сохранили максимальное содержание хлорофилла и фенолов, но содержание флавоноидов было максимальным в образцах сырья, высушенных в духовке, а также с помощью микроволновой и сублимационной сушек. И только при определении содержания отдельных флавоноидов

методом ВЭЖХ, в сырье, высушенном методом инфракрасной сушки, выявлено самое высокое содержание катехина [16].

Сохранение максимального количества биологически активных веществ при выборе оптимального и эффективного типа обезвоживания ЛРС обуславливает актуальность определения условий сушки для травы тимьяна Маршалла, как сырья, содержащего эфирные масла и флавоноиды.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа анатомо-диагностических признаков и числовых показателей травы тимьяна Маршалла (*Thymus marschallianus* Willd.), высушенной естественным (воздушно-теневым) и тепловым (инфракрасным) способами.

Экспериментальная часть

Объекты исследования: трава тимьяна Маршалла, собранная в окрестностях поселка Красный Текстильщик города Саратова (долгота: 45.79; широта: 51.36) в фазе цветения (июнь–июль 2022 г.). Определение вида проводилось по ключу В.Н. Гладковой и Ю.Л. Меницкого («Флора европейской части СССР», 1978) и подтверждено ведущим специалистом по флоре Саратовской области, д.б.н., профессором М.А. Безуцким.

Сушку сырья осуществляли двумя способами: естественным (воздушно-теневым) – в сухом, хорошо проветриваемом помещении в течение 7–10 дней и тепловым (с помощью ИК-дегидрататора ИКС-70 производства ООО «Сатор», Саратов) – при температуре 30–32 °С в течение 2 суток.

Методики макроскопического, микроскопического и фитохимического анализа травы проводили согласно требованиям фармакопейных статей ГФ XV ОФС 1.5.1.0002 «Трава», ОФС 1.5.3.0003 «Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов», ОФС.1.5.3.0007 «Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов», ОФС.1.5.3.0006 «Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах», ОФС.1.5.3.0010 «Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» [17]. Микроскопический анализ осуществляли при помощи микроскопа «Primo Star» (ZEISS, Германия) при увеличении $\times 400$.

Для спектрофотометрического анализа получали водно-спиртовые извлечения из сырья (масса 1,0 г точная навеска), экстрагировали 70%-ным этанолом при нагревании на кипящей водяной бане в течение 60 мин, затем фильтровали. К 2,5 мл фильтрата добавили 5 мл спиртового 5%-го раствора алюминия хлорида и через 10 мин 1 мл 3%-ной уксусной кислоты. Объем раствора доводили 70% спиртом до 25 мл, перемешивали [17]. В качестве раствора сравнения использовали раствор, не содержащий хлорида алюминия. Спектры поглощения регистрировали через 30 мин. на спектрофотометре SHIMADZU UV-1800 (Япония) в кварцевых кюветах ($l=10$ мм) в диапазоне 200–550 нм. Определение суммы флавоноидов проводили методом градуировочного графика по стандартному образцу цинарозида [18].

Все измерения проведены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента» [19] с помощью MS Excel 2010.

Для хроматографирования использовали пластины Silica gel 60 (Merck, Германия) размером 10×10 см; элюент – этилацетат : муравьиная кислота безводная : вода = 70 : 15 : 15. Детектирование проводили при облучении УФ-светом длиной волны 365 нм после обработки проявляющим реагентом (2%-ным спиртовым раствором алюминия хлорида). В этих условиях соединения фенольной природы имеют характерные окраски зон адсорбции. В качестве СО использовали рутин (Phytolab, $\geq 97\%$, Германия), кверцетин (USP Reference Standard, 100%, Китай), цинарозид (Sigma-Aldrich, $\geq 98\%$, Германия), лютеолин (Sigma-Aldrich, $\geq 98\%$, Франция), розмариновую кислоту (Toronto Research Chemicals, 97.94%, Канада).

Для изучения количественного содержания установленных фенольных соединений применяли метод ВЭЖХ. Анализ проводили на хроматографе SHIMADZU Prominence LC-20 (Япония), состоящего из насоса LC-20AB, дегазатора DGU-20A₅, автосемплера SIL-20A, термостата CTO-20A, контроллера CBM-20A и диодно-матричного детектора SPD-M20A, под управлением программного обеспечения – LabSolution V. 5.106. В качестве СО использовали цинарозид и розмариновую кислоту. В эксперименте использовали стальную колонку SUPELCO «DISCOVERY» размером 150×4.6 мм, заполненную гидрофобным силикагелем с привитыми группами C18 зернистостью 5 мкм. Детектирование проводили при длинах волн 254 нм, 330 нм.

Объем пробы – 20 мкл. Элюирование проводили в градиентном режиме с возрастанием доли раствора В (смесь ацетонитрил : спирт метиловый : раствор хлорной кислоты рН 2.5 в соотношении 40 : 40 : 20) в смеси с раствором А (водный раствор хлорной кислоты рН 1.8) от 0 до 100% при температуре 30 °С, продолжительность анализа – 80 мин.

Обсуждение результатов

Сравнительный макро- и микроскопический анализ показал, что образцы травы тимьяна Маршалла, высушенные воздушно-теневым и инфракрасным способами, имеют идентичные внешние признаки и морфолого-анатомическое строение [20].

В ходе анализа определена влажность образцов цельного сырья тимьяна Маршалла, высушенного инфракрасной и естественной сушкой: влажность сырья после ИКС составила $7.84 \pm 0.32\%$, а после ЕС – $7.85 \pm 0.38\%$.

Спектры поглощения водно-спиртовых извлечений из сырья тимьяна Маршалла двух видов сушек, имеют два выраженных максимума, близкие по значениям и незначительно отличающиеся по интенсивности (рис. 1), форма спектров свидетельствует о наличии в извлечениях соединений фенольной природы. При добавлении $AlCl_3$ наблюдается незначительный батохромный сдвиг длинноволновых полос поглощения (рис. 1), что использовали для количественного определения суммы флавоноидов методом дифференциальной спектрофотометрии (рис. 2).

Оптическая плотность на дифференциальных спектрах выше у тимьяна Маршалла, высушенного методом инфракрасной сушки ($1.37 \pm 0.06\%$), что свидетельствует о большем содержании флавоноидов по сравнению с сырьем, высушенным естественным способом ($1.17 \pm 0.05\%$). Следует отметить, что количественное определение содержания суммы флавоноидов в траве тимьяна Маршалла, высушенной воздушно-теневым способом, проводилось нами в период 2018–2022 г. (табл. 1) [18, 21].

Хранение сырья осуществляли в одинаковых условиях (в картонных коробках при температуре 20 °С). Нами показано, что в свежесушенном сырье содержание суммы флавоноидов выше, чем в сырье, которое хранили более 7 месяцев, что согласуется с результатами исследований, проведенными ранее. Например, при изучении изменчивости содержания биологически активных веществ травы череды поникшей в процессе хранения [22] установлено, что снижение содержания суммы флавоноидов в данном сырье отмечалось через 6 месяцев.

Хроматограммы извлечений, полученных из травы тимьяна Маршалла, высушенной инфракрасным и естественным способами, имеют одинаковые профили. На хроматограмме СО обнаруживали желто-оранжевую зону адсорбции рутина ($R_f 0.50 \pm 0.05$), желтую зону цинарозида ($R_f 0.68 \pm 0.04$), желто-зеленую зону лютеолина ($R_f 0.94 \pm 0.02$), зеленую зону кверцетина ($R_f 0.95 \pm 0.01$) и голубую зону розмариновой кислоты ($R_f 0.95 \pm 0.01$). Кверцетин и розмариновая кислота имеют близкие коэффициенты подвижности и при одновременном присутствии в ЛРС их зоны адсорбции могут накладываться, что может приводить к ошибочной интерпретации хроматограммы. Согласно литературным данным, в траве тимьяна Маршалла отсутствует кверцетин, что подтверждено нами с помощью ВЭЖХ анализа и позволяет исключить наложение голубой и зеленой зон адсорбции в данных условиях хроматографирования [23]. Хроматограммы извлечений, полученных из сырья тимьяна Маршалла, высушенного двумя разными способами, не отличались количеством зон адсорбции и незначительно отличались интенсивностью некоторых зон, что проявлялось при облучении УФ-светом с длиной волны 365 нм (рис. 3). Наибольшее количество зон адсорбции проявлялось в виде зеленовато-желтых и голубых зон.

На хроматограмме испытуемых образцов извлечений тимьяна Маршалла двух видов сушки, обнаружено 11 зон адсорбции: зона бледно-желтого цвета ($R_f 0.25 \pm 0.03$), две зоны темно-голубого цвета ($R_f 0.30 \pm 0.04$; 0.36 ± 0.04), две зоны бледно-желтого цвета ($R_f 0.48 \pm 0.03$; 0.52 ± 0.03), одна зона светло-голубого цвета ($R_f 0.58 \pm 0.03$), зона желтого цвета ($R_f 0.64 \pm 0.03$), две зоны светло-желтого цвета ($R_f 0.67 \pm 0.03$; 0.73 ± 0.03), зоны светло-голубого ($R_f 0.88 \pm 0.02$) и голубого цвета ($R_f 0.94 \pm 0.01$). Зона желтого цвета, имеющая 0.67 ± 0.03 , совпадает по цвету и положению с СО цинарозида ($R_f 0.68 \pm 0.04$), а интенсивно голубая зона с $R_f 0.94 \pm 0.01$ совпадает с СО розмариновой кислоты ($R_f 0.95 \pm 0.01$), что свидетельствует об их наличии в этанольных извлечениях. В образцах обоих извлечений бледно-желтые зоны с $R_f 0.48 \pm 0.03$ и 0.52 ± 0.03 по положению совпадают с СО рутина, но не соответствуют ему по цвету, а также отсутствуют зоны адсорбции, совпадающие по цвету с СО лютеолина и кверцетина, что свидетельствует об отсутствии этих флавоноидов.

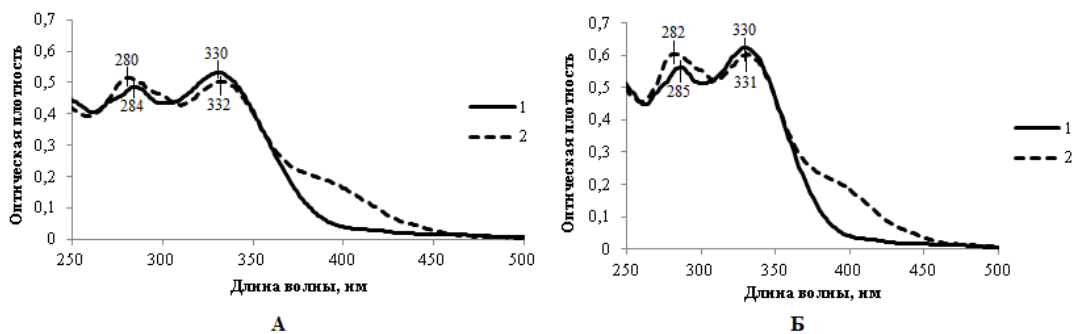


Рис. 1. Электронные спектры поглощения водно-спиртовых извлечений из травы тимьяна Маршалла, высушенного: А – естественной сушкой; Б – инфракрасной сушкой (1 – без добавления $AlCl_3$; 2 – с добавлением $AlCl_3$)

Рис. 2. Дифференциальные спектры поглощения водно-спиртовых извлечений из тимьяна Маршалла: ЕС – естественная сушка; ИКС – инфракрасная сушка

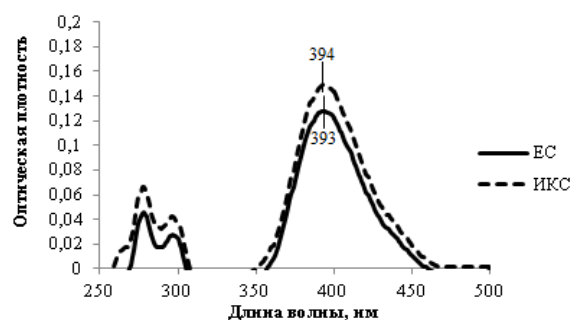


Таблица 1. Количественное содержание суммы флавоноидов в траве тимьяна Маршалла, собранной в 2018–2022 годах

Год сбора сырья	Место сбора	Период хранения после сбора	Сумма флавоноидов, %
2018	окрестности города Саратова, Лысая гора	24 месяцев	1.41±0.12
2019		12 месяцев	1.71±0.10
2020		3 месяца	1.44±0.09
2021	окр. пос. Красный Текстильщик г. Саратова	1 месяц	1.93±0.09%
2022		1 месяц	1.77±0.05 (ЕС) 1.97±0.06 (ИКС)
		7 месяцев	1.17±0.05 (ЕС) 1.37±0.06 (ИКС)

При исследовании количественного содержания фенольных соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии установлено, что в сырье, высушенном естественным и инфракрасным способами, из оксикоричных кислот преобладает розмариновая кислота. Ее содержание – варьирует от $1.61 \pm 0.02\%$ у травы тимьяна Маршалла, высушенной естественной сушкой, до $1.93 \pm 0.03\%$ – инфракрасным способом (электронное приложение). Среди флавоноидов преобладает цинарозид (лютеолин-7-О-глюкозид), содержание которого колеблется от $0.58 \pm 0.01\%$ (воздушно-теньевая сушка) до $0.67 \pm 0.02\%$ (ИК-сушка). Данные соединения наряду с компонентным составом эфирного масла являются маркерами растений рода тимьян и их можно использовать для целей количественного анализа [23].

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что в сырье тимьяна Маршалла, высушенном инфракрасным способом, сохраняется большее количество флавоноидов.

Результаты проведенных ранее исследований [4, 14, 16] показали, что способ сушки по-разному влияет на сохранность целевых веществ в растительном сырье. Наши данные подтверждают, что условия сушки (способ, температура, время) влияют на сохранность биологически активных веществ в растительном сырье. Для тимьяна Маршалла инфракрасная сушка при температуре $30\text{--}32^\circ\text{C}$ в течение 2 суток позволяет сохранить большее количество флавоноидов, не изменяя качественный состав и не приводя к потере экстрактивных веществ и эфирных масел (табл. 2).

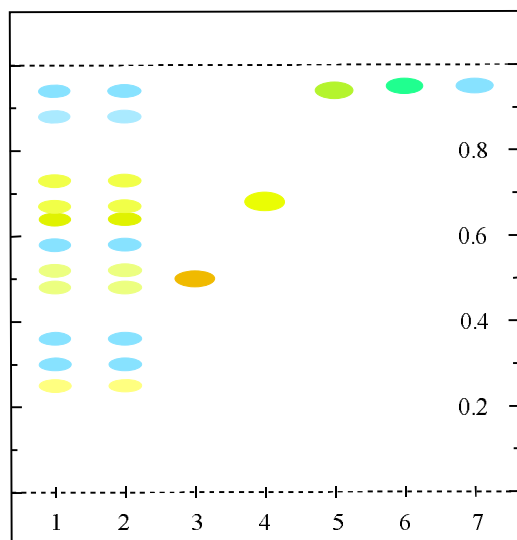


Рис. 3. Схема хроматограммы извлечений из травы тимьяна Маршалла: 1 – извлечение из травы тимьяна Маршалла, высушенного естественным способом; 2 – извлечение из травы тимьяна Маршалла, высушенного инфракрасным способом; 3 – СО рутина; 4 – СО цинарозида; 5 – СО лютеолина; 6 – СО кверцетина; 7 – СО розмариновой кислоты

Таблица 2. Сравнительные результаты разных видов сушек травы тимьяна Маршалла

Показатели	Инфракрасная сушка, %	Естественная сушка, %
Влажность	7.84±0.32	7.85±0.38
Содержание суммы флавоноидов	1.37±0.06	1.17±0.05
Содержание экстрактивных веществ, извлекаемых 70% этанолом	32.09±4.66	29.36±0.94
Содержание экстрактивных веществ, извлекаемых водой	33.33±2.39	34.97±1.43
Содержание эфирного масла	1.25±0.15	1.12±0.15
Содержание розмариновой кислоты	1.93±0.18	1.61±0.11
Содержание цинарозида	0.67±0.05	0.58±0.03

Несмотря на ускорение процесса высушивания сырья в два раза с помощью ИК-дегидрататора и сохранение большего содержания флавоноидов, следует отметить, что тимьян Маршалла является ценным источником эфирного масла, но на сохранность эфирного масла данный вид сушки не повлиял.

Полученные результаты легли в основу технических документов на производство сырья тимьяна Маршалла обезвоженного, разработанных авторами: опытно-промышленного технологического регламента – ОПТР 01963503-001-2022 и технических условий, которые распространяются на высушенную цельную и измельченную траву многолетних травянистых растений тимьяна Маршалла, предназначенную для использования в качестве растительного сырья.

Выводы

1. ИК-сушка не влияет на сохранность эфирного масла в траве тимьяна Маршалла.
2. В образцах травы тимьяна Маршалла, высушенных инфракрасным методом сушки, сохраняется большее количество флавоноидов, при этом содержание экстрактивных веществ и эфирных масел не отличаются при двух разных видах сушки.
3. Извлечения из травы тимьяна Маршалла, высушенной двумя разными способами, имеют сходные спектральные характеристики и хроматографические профили, что свидетельствует об идентичности качественного состава флавоноидов.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprn.20240213423s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Саратовского государственного медицинского университета имени В.И. Разумовского. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Zhumakanova B.S., Korona-Główniak I., Skalicka-Wozniak K., Ludwiczuk A., Baj T., Wojtanowski K.K., Jozefczyk A., Zhararkulova K.A., Sakipova Z.B., Malm A. Phytochemical fingerprinting and in vitro antimicrobial and antioxidant activity of the aerial parts of *Thymus marschallianus* Willd. and *Thymus seravschanicus* Klokov. growing widely in southern Kazakhstan // *Molecules*. 2021. Vol. 26, no. 11. 3193. DOI: 10.3390/molecules26113193.
2. Губаненко Г.А., Маюрникова Л.А. Перспективы применения тимьяна ползучего в производстве продуктов питания // *Ползуновский вестник*. 2013. №4-4. С. 183–187.
3. Шереметьева А.С., Напшева А.М., Дурнова Н.А. Противоопухолевая активность *in vivo* водного и спиртового экстрактов *Thymus marschallianus* Willd // *Фармация и фармакология*. 2021. Т. 9, №6. С. 476–484. DOI: 10.19163/2307-9266-2021-9-6-476-484.
4. Складаревская Н.В., Генералова Ю.Э., Бескостая М.Д. Влияние условий сушки на содержание биологически активных веществ в некоторых видах растительного сырья // 90 лет от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы. М., 2021. С. 222–228. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_222.
5. Тепляшин В.Н., Ченцова Л.И., Невзоров В.Н. Технологии и оборудование для сушки растительного сырья. Красноярск, 2019. 173 с.
6. Завалий А.А. Инфракрасная сушка растительного сырья // *Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства*. М., 2018. С. 92–98.
7. Doymaz I. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices // *Journal of Food Science and Technology*. 2012. Vol. 49. Pp. 760–766. DOI: 10.1007/s13197-010-0217-8.
8. Никулин А.С., Бревнова Е.С. Сушка лекарственного растительного сырья // Актуальные вопросы совершенствования технологий производства и переработки продукции сельского хозяйства. Йошкар-Ола, 2022. С. 140–143.
9. Худоногова Е.Г., Худоногов И.А., Худоногов А.М. Влияние инфракрасно-конвективно-вакуумного способа сушки на содержание биологически активных веществ в лекарственном растительном сырье // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2012. №5. С. 343–346.
10. Tezcan D. et al. Infrared drying of dill leaves: Drying characteristics, temperature distributions, performance analyses and colour changes // *Food Science and Technology International*. 2021. Vol. 27, no. 1. Pp. 32–45. DOI: 10.1177/1082013220929142.
11. Быкова Т.О., Макарова Н.В. Влияние способа сушки на химический состав и антиоксидантные свойства вишни // *Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств*. Тверь, 2016. С. 173–175.
12. Zhang D. et al. Ultrasonic assisted far infrared drying characteristics and energy consumption of ginger slices // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023. Vol. 92. 106287. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106287.
13. Jafari F., Movagharnjad K., Sadeghi E. Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 333. 127423. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127423.
14. Лебедевкова А.А., Повыдыш М.Н. Влияние режимов сушки на содержание биологически активных веществ в сырье донника лекарственного, овса посевного и синюхи голубой // *Перспективы лекарственного растениеводства*. М., 2018. С. 479–484.
15. Карпунин М.Ю. Температурный режим сушки лекарственных растений // *Вестник биотехнологии*. 2017. №2. С. 12.
16. Kumar S.S. et al. Evaluation of various drying methods on bioactives, ascorbic acid and antioxidant potentials of *Talinum triangulare* L., foliage // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020. Vol. 75. Pp. 283–291. DOI: 10.1007/s11130-020-00804-4
17. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/>.
18. Шереметьева А.С., Фомина Ю.А., Шестопалова Н.Б., Дурнова Н.А. Комплексный подход к определению подлинности травы тимьяна ползучего и тимьяна Маршалла // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2023. Т. 26, №3. С. 21–26. DOI: 10.29296/25877313-2023-03-03.
19. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. I, II, IV. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopoeia14>.
20. Адамович А.А., Шереметьева А.С., Абуталиева Т.В., Минзюк Е.В., Стрижевская В.Н., Симакова И.В. Анатомо-диагностические признаки травы тимьяна Маршалла при разных видах сушки // *Биологические науки: традиции, достижения, инновации*. Саратов, 2023. С. 60–61.

21. Шереметьева А.С., Фомина Ю.А., Шестопалова Н.Б., Дурнова Н.А. Влияние условий экстракции на содержание флавоноидов в извлечениях из травы тимьяна Маршалла и тимьяна ползучего // Фармация. 2021. Т. 70, №7. С. 41–46. DOI: 10.29296/25419218-2021-07-07.
22. Лапова Н.В. Изменчивость содержания биологически активных веществ травы череды поникшей в процессе хранения // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2022. Т. 21, №1. С. 104–109. DOI: 10.22263/2312-4156.2022.1.104.
23. Старчак Ю.А. Фармакогностическое изучение растений рода тимьян (*Thymus* L.) как перспективного источника получения фитопрепаратов: дисс. ... докт. фарм. наук. Курск, 2016. 472 с.

Поступила в редакцию 9 августа 2023 г.

После переработки 31 августа 2023 г.

Принята к публикации 13 сентября 2023 г.

Sheremet'yeva A.S.^{1*}, Frolkova A.V.¹, Durnova N.A.^{1,2}, Fomina Yu.A.¹, Shestopalova N.B.¹, Nikulin A.V.¹, Strizhevskaya V.N.¹, Simakova I.V.¹ APPLICATION OF INFRARED DRYING TECHNOLOGY FOR DEHYDRATION *THYMUS MARSCHALLIANUS* WILLD. HERB

¹Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, B. Kazachya st., 112, Saratov, 410012, Russia, anna-sheremetyeva@yandex.ru

²First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Trubetskaya str., 8, Moscow, 119991, Russia

The optimal and effective type of drying for plant raw materials allows to preserve the maximum amount of biologically active substances. This determines the relevance of the selection of dehydration conditions. We conducted a comparative study of anatomical and diagnostic signs and numerical indicators of *Thymus marschallianus* herb dried by natural (air-shade) and thermal (infrared) methods. The study showed that the raw materials dried in two ways have identical external signs and morphological and anatomical structure, approximately the same moisture content, extractive substances and essential oils. Extracts of *Thymus marschallianus* herb of two types of drying have similar chromatographic profiles and spectral characteristics – two pronounced maxima, similar in values, but the optical density on the differential spectra recorded after the addition of aluminum chloride is higher in *Thymus marschallianus* dried by infrared drying, which indicates a higher content of flavonoids. Infrared drying at a temperature of 30–32 °C for 2 days allows you to save more flavonoids without changing the qualitative composition and without leading to the loss of extractives and essential oils for *Thymus marschallianus*.

Keywords: *Thymus marschallianus* Willd., drying, flavonoids, essential oils, extractives.

For citing: Sheremet'yeva A.S., Frolkova A.V., Durnova N.A., Fomina Yu.A., Shestopalova N.B., Nikulin A.V., Strizhevskaya V.N., Simakova I.V. *Khimiya Rasitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 365–373. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240213423.

References

1. Zhumakanova B.S., Korona-Główniak I., Skalicka-Wozniak K., Ludwiczuk A., Baj T., Wojtanowski K.K., Jozefczyk A., Zhaparkulova K.A., Sakipova Z.B., Malm A. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 11, 3193. DOI: 10.3390/molecules26113193.
2. Gubanenko G.A., Mayurnikova L.A. *Polzunovskiy vestnik*, 2013, no. 4-4, pp. 183–187. (in Russ.).
3. Sheremet'yeva A.S., Napsheva A.M., Durnova N.A. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2021, vol. 9, no. 6, pp. 476–484. DOI: 10.19163/2307-9266-2021-9-6-476-484. (in Russ.).
4. Sklyarevskaya N.V., Generalova Yu.E., Beskostaya M.D. *90 let ot rasteniya do lekarstvennogo preparata: dostizheniya i perspektivy*. [90 years from plant to medicinal product: achievements and prospects]. Moscow, 2021, pp. 222–228. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_222. (in Russ.).
5. Teplyashin V.N., Chentsova L.I., Nevzorov V.N. *Tekhnologii i oborudovaniye dlya sushki rastitel'nogo syr'ya*. [Technologies and equipment for drying plant materials]. Krasnoyarsk, 2019, 173 p. (in Russ.).
6. Zavaliy A.A. *Sushka, khraneniye i pererabotka produktsii rasteniyevodstva*. [Drying, storage and processing of crop products]. Moscow, 2018, pp. 92–98. (in Russ.).
7. Doymaz I. *Journal of Food Science and Technology*, 2012, vol. 49, pp. 760–766. DOI: 10.1007/s13197-010-0217-8.
8. Nikulin A.S., Brevnova Ye.S. *Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*. [Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products]. Yoshkar-Ola, 2022, pp. 140–143. (in Russ.).
9. Khudonogova Ye.G., Khudonogov I.A., Khudonogov A.M. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 5, pp. 343–346. (in Russ.).
10. Tezcan D. et al. *Food Science and Technology International*, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 32–45. DOI: 10.1177/1082013220929142.

* Corresponding author.

11. Bykova T.O., Makarova N.V. *Kachestvo i ekologicheskaya bezopasnost' pishchevykh produktov i proizvodstv*. [Quality and environmental safety of food products and production], Tver, 2016, pp. 173–175. (in Russ.).
12. Zhang D. et al. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, vol. 92, 106287. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106287.
13. Jafari F., Movagharnjad K., Sadeghi E. *Food Chemistry*, 2020, vol. 333, 127423. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127423.
14. Lebed'kova A.A., Povydysh M.N. *Perspektivy lekarstvennogo rasteniyevedeniya*. [Perspectives of medicinal plant science]. Moscow, 2018, pp. 479–484. (in Russ.).
15. Karpukhin M.Yu. *Vestnik biotekhnologii*, 2017, no. 2, p. 12. (in Russ.).
16. Kumar S.S. et al. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2020, vol. 75, pp. 283–291. DOI: 10.1007/s11130-020-00804-4
17. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XV ed.]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/>. (in Russ.).
18. Sheremet'yeva A.S., Fomina Yu.A., Shestopalova N.B., Durnova N.A. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 21–26. DOI: 10.29296/25877313-2023-03-03. (in Russ.).
19. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. I, vol. II, vol. IV. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopea14>. (in Russ.).
20. Adamovich A.A., Sheremet'yeva A.S., Abutaliyeva T.V., Minzyuk Ye.V., Strizhevskaya V.N., Simakova I.V. *Biologicheskiye nauki: traditsii, dostizheniya, innovatsii*. [Biological sciences: traditions, achievements, innovations]. Saratov, 2023, pp. 60–61. (in Russ.).
21. Sheremet'yeva A.S., Fomina Yu.A., Shestopalova N.B., Durnova N.A. *Farmatsiya*, 2021, vol. 70, no. 7, pp. 41–46. DOI: 10.29296/25419218-2021-07-07. (in Russ.).
22. Lapova N.V. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2022, vol. 21, no. 1, pp. 104–109. DOI: 10.22263/2312-4156.2022.1.104. (in Russ.).
23. Starchak Yu.A. *Farmakognosticheskoye izucheniye rasteniy roda tim'yan (Thymus L.) kak perspektivnogo istochnika polucheniya fitopreparatov: diss. ... dokt. farm. nauk*. [Pharmacognostic study of plants of the genus thyme (Thymus L.) as a promising source of herbal medicines: dissertation. ... doc. pharm. Sci.]. Kursk, 2016, 472 p. (in Russ.).

Received August 9, 2023

Revised August 31, 2023

Accepted September 13, 2023

Сведения об авторах

Шереметьева Анна Сергеевна – старший преподаватель кафедры общей биологии, фармакогнозии и ботаники, anna-sheremetyewa@yandex.ru

Фролкова Анастасия Валерьевна – ординатор, frolkova.anastasiya@mail.ru

Дурнова Наталья Анатольевна – доктор биологических наук, профессор кафедры фармацевтического естествознания Сеченовского Университета, заведующая кафедрой общей биологии фармакогнозии и ботаники Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского, ndurnova@mail.ru

Фомина Юлия Андреевна – кандидат химических наук, начальник лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств, fominaya@mail.ru

Шестопалова Наталья Борисовна – кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии и биотехнологии, shestopalovanb@yandex.ru

Стрижевская Виктория Николаевна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-производственного центра технологий здорового питания, viktoriya_strizh@mail.ru

Симакова Инна Владимировна – доктор технических наук, профессор, директор научно-производственного центра технологий здорового питания, simakovaiv@yandex.ru

Никулин Александр Владиславович – химик-эксперт лаборатории по исследованию и контролю качества лекарственных средств, aleksander.ni2014@yandex.ru

Information about authors

Sheremetyeva Anna Sergeevna – senior lecturer of the department of general biology, pharmacognosy and botany, anna-sheremetyewa@yandex.ru

Frolkova Anastasia Valerievna – medical resident, frolkova.anastasiya@mail.ru

Durnova Natalya Anatolyevna – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Pharmaceutical Natural Sciences of Sechenov University, Head of the Department of General Biology of Pharmacognosy and Botany of Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, ndurnova@mail.ru

Fomina Yulia Andreevna – Candidate of Chemical Sciences, Head of the Laboratory for Research and Quality Control of Medicines, fominaya@mail.ru

Shestopalova Natalia Borisovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Technology and Biotechnology, shestopalovanb@yandex.ru

Strizhevskaya Victoria Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Research and Production Center for Healthy Nutrition Technologies, viktoriya_strizh@mail.ru

Simakova Inna Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research and Production Center for Healthy Nutrition Technologies, simakovaiv@yandex.ru

Nikulina Alexander Vladislavovich – chemist-expert at the laboratory for research and quality control of medicines, aleksander.ni2014@yandex.ru