УДК 542.61:582.663.2 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-29

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ CO_2-ЭКСТРАКЦИИ СЕМЯН РАСТЕНИЯ РОДА *AMARANTHUS* НА ВЫХОД ЦЕЛЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Анна Андреевна Петрова, ассистент кафедры
E-mail: annapet1120@mail.ru
Олеся Владимировна Салищева, д-р хим. наук, заведующий кафедрой
E-mail: salishchevaov@mail.ru
Александр Сергеевич Марков, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

Выделение биологически активных соединений из растительных матриц дает возможность ученым и исследователям изучать химический состав, биологическую активность и потенциальное использование этих соединений. Применяя экстракцию целевых компонентов из растительного сырья, можно создавать функциональные продукты и пищевые добавки, повышать качество и безопасность продуктов. Существует множество способов проведения экстракции, и постоянное совершенствование этих способов способствует созданию экологичных и эффективных технологий. Рассмотрены следующие способы: мацерация, экстракция с помощью ультразвука, микроволновая экстракция, жидкостная экстракция под давлением и сверхкритическая флюидная экстракция. Представлено описание проведения данных способов экстракции, а также их достоинства и недостатки. Исследован метод сверхкритической CO_2-экстракции для извлечения целевых компонентов из семян амаранта. Входными параметрами оптимизации процесса были взяты степень измельчения и рабочее давление, температура принята за постоянный параметр. Установлено, что ключевым фактором, влияющим на выход экстракта, является степень измельчения семян амаранта: чем меньше степень измельчения, тем выше выход экстракта. Повышение давления приводило к увеличению выхода в случае меньшей дисперсности частиц. При давлении 300 атм для фракций 0,31–0,56 и 0,16–0,31 мм наблюдалось снижение выхода экстракта по сравнению с рабочим давлением 200 атм. Суммарный выход экстракта при рабочем давлении 100 атм составил от 10,00 ± 0,20 до 18,20 ± 0,20 %, при давлении 200 атм – от 10,54 ± 0,20 до 19,45 ± 0,20 %, при давлении 300 атм – от 11,64 ± 0,20 до 16,31 ± 0,20 %. В работе также отражена перспектива применения полученного экстракта амаранта в качестве добавки к растительным маслам, к спредам и сырам для улучшения их качества.

Ключевые слова: экстракция, сверхкритическая флюидная экстракция, амарант, *Amaranthus,* выход экстракта, параметры экстракции, биологически активные вещества

Для цитирования: Петрова, А. А. Влияние параметров сверхкритической CO^2-экстракции семян растения рода *Amaranthus* на выход целевых компонентов / А. А. Петрова, О. В. Салищева, А. С. Марков // Молочная промышленность. 2025. № 1. С. 55–63. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-29

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая в последние годы потребность в продуктах биотехнологии требует поиска новых пищевых технологий и разработки методов получения концентратов биологически активных веществ (БАВ), а также функциональных пищевых продуктов, произведенных на их основе. Кроме того, новые способы производства должны соответствовать принципам «зеленой химии».

Современная пищевая промышленность широко использует растительные экстракты для обогащения продуктов питания биологически активными веществами и повышения их пищевой ценности, для создания продуктов питания лечебно-профилактического и функционального назначения и, как пищевые добавки, для улучшения потребительских свойств продуктов [1, 2].

Одним из перспективных методов разделения и концентрирования является экстракция – процесс извлечения компонента (компонентов) из растворов или твердых материалов избирательными растворителями – экстрагентами. Параметры процесса экстракции биологически активных соединений из растительных систем сказываются на стоимости конечного продукта, в который вводятся выделенные функциональные компоненты. Выбор метода экстракции и оптимизация параметров, влияющих на полноту протекания процесса, обусловлены свойствами конкретного природного материала.

Выделение биологически активных соединений из растительных матриц необходимо для изучения их химического состава, биологической активности и потенциального применения.

Такие исследования позволяют разработать усовершенствованные методы экстракции, могут привести к открытию новых биоактивных молекул и инновационным достижениям в области биотехнологии и фармации [3–5]. Это позволит расширить понимание биоактивного потенциала растительного сырья и биологически активных веществ, исследовать влияние биологически активных компонентов различных систем на здоровье и долголетие человека.

Экстракция, как способ выделения биологически активных веществ. Экстракция биологически активных веществ включает использование различных методов выделения и концентрирования целевых компонентов. Для этой цели используются различные методы экстракции, охватывающие как традиционные подходы, так и более сложные методологии [6]. К традиционным методам относят метод экстракции подходящим растворителем (мацерация, настаивание, отвар и кипячение с обратным холодильником). Дополнительно после извлечения требуется очистка и идентификация компонентов.

Хотя современные методы экстракции становятся все более популярными, традиционные методы остаются значимыми в определенных контекстах. И те, и другие методы экстракции находят свое применение и активно используются для получения экстрактов растений, содержащих биологически активные вещества иммуномодулирующего действия [7, 8]. Современный мир требует применения экологически безопасных эффективных методов экстракции [9].

Мацерационная экстракция. Техника мацерационной экстракции представляет собой процесс, во время которого сырье подвергается тщательному измельчению для увеличения площади поверхности или измельчению с последующим погружением в соответствующий растворитель для облегчения экстракции целевых соединений. Выбор растворителя, такого как вода, этанол, органические гидрофобные или гидрофильные жидкости, зависит от конкретных соединений, предназначенных для экстракции. Погружение исходного сырья в растворитель и выдержку осуществляют в заданный период времени, варьирующийся от нескольких часов до нескольких дней с периодическим перемешиванием смеси. По истечении заданного периода экстракции смесь подвергают фильтрации для отделения жидкого экстракта от твердых остатков. В результате процесса фильтрации получается экстракт, либо прозрачный, либо частично прозрачный. Чтобы получить более концентрированный экстракт, можно подвергнуть жидкий экстракт дополнительным методам концентрирования, таким как выпаривание растворителя при пониженном давлении, ротационное испарение или сушка вымораживанием. Метод мацерационной экстракции – относительно простой подход, который можно использовать в небольших масштабах. Однако важно отметить, что этот метод может иметь определенные ограничения по сравнению с современными методами экстракции, особенно в отношении селективности и эффективности [10].

Для обеспечения повышенной эффективности процесса извлечения к традиционному извлечению добавляют дополнительные приемы. Эти приемы направлены на разрушение или повышение проницаемости растительной клеточной стенки [12]. К ним относят обработку с помощью ультразвука или микроволнового излучения, криодробление, воздействие высоким гидростатическим давлением и другие. Причем обрабатывать можно и само сырье, и растворитель, необходимый для экстракции.

Экстракция с помощью ультразвука. Ультразвук как способ интенсификации процессов растворения и экстракции биологически активных веществ из разных видов растительного и животного сырья получил широкое применение в области прикладных научных исследований и различных сферах пищевых, фармацевтических и биотехнологических производств [13]. В ультразвуковой экстракции используются ультразвуковые волны для улучшения процесса экстракции за счет создания эффекта кавитации [14]. Это включает в себя образование, рост и схлопывание микропузырьков внутри экстракционной среды, что приводит к разрушению клеточных стенок и высвобождению биологически активных соединений (рис. 1).

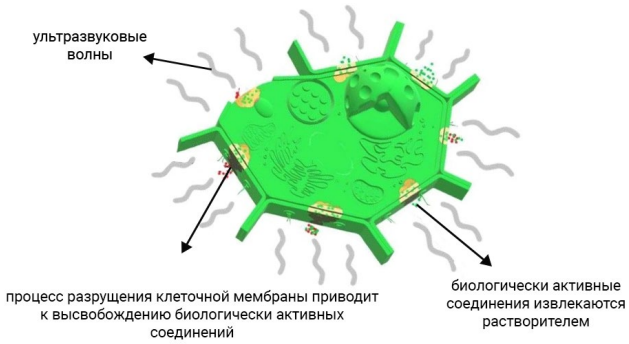

Рисунок 1. Иллюстрация метода экстракции с помощью ультразвука, опубликовано под лицензией CC BY 4.0 DEED [14]

N. R. Putra, S. Fajriah, L. Qomariyah и другие считают, что «распространение ультразвуковых волн позволяет большему количеству растворителя проникать в матрицу образца, увеличивая контакт между образцом и растворителем (или реагентом) и скорость массопереноса. Более того, поскольку этот подход стимулирует разрушение биологических клеточных стенок, он также позволяет эффективно извлекать химические вещества из живых организмов. Этот метод обеспечивает одновременную экстракцию многих веществ, использование небольших количеств растворителя, сокращение рабочего времени и повышение выхода и качества экстракта» [15]. Известно, что ультразвуковая экстракция позволяет извлекать биологически активные соединения с хорошим выходом при относительно невысоких температурах, меньших количествах растворителя и длительности процесса, способна обеспечить переход в экстракт веществ, не извлекаемых другими способами [13].

Микроволновая экстракция. Данный метод широко применяется для усиления экстракции биоактивных соединений из растительных материалов. Для оптимизации данного вида экстракции можно варьировать мощность микроволнового излучения, время экстракции, тип растворителя и количественное соотношение растворителя к образцу. Метод не эффективен в случае извлечения термолабильных компонентов.

Применение микроволновой энергии в процессе экстракции помогает быстро и равномерно генерировать тепло внутри образца, способствуя высвобождению и диффузии целевых соединений из растительной матрицы в растворитель. Интенсивное нагревание также благоприятствует разрушению клеточных стенок и расщеплению сложных молекул, тем самым способствуя экстракции нужных компонентов.

A. A. Casazza, M. Pettinato, P. Perego утверждают, что «…большинство экстракций проводится из высушенного растительного материала, растительные клетки сохраняют мельчайшие микроскопические остатки влаги, которые служат мишенью для микроволнового нагрева. Когда микроволновое воздействие нагревает воду внутри растительной клетки, она испаряется, оказывая огромное давление на клеточную стенку и вызывая ее набухание, растяжение и, в конечном итоге, разрыв. Этот процесс позволяет активным компонентам разорвавшихся клеток просачиваться в окружающий растворитель, увеличивая выход фитокомпонентов» [16].

Источник изображения: freepik.com

Сверхкритическая флюидная экстракция. Для получения высококачественных экстрактов применяют передовые методы экстракции, такие как сверхкритическая флюидная экстракция. Эта технология обеспечивает эффективную селективную экстракцию путем контроля температуры и давления, которые определяют плотность и мощность растворителя. Среди различных протестированных растворителей CO_2 чаще всего используется для экстракции природных соединений, поскольку он нетоксичен, негорюч и неагрессивен, его критическая температура и давление относительно безопасны и легко достижимы (31,1°C и 73,03 атм соответственно), CO_2 доступен в больших количествах, обладает высокой степенью чистоты и легко удаляется из экстрагируемых продуктов [17]. Сверхкритический диоксид углерода имеет низкую полярность; в результате его растворимость ограничена, и он может экстрагировать только неполярные или низкополярные биоактивные соединения, что делает его селективным растворителем. Типы функциональных групп, входящих в структуру биологических молекул, влияют на их поведение растворимости в сверхкритическом CO_2. На растворимость в сверхкритическом CO_2 влияют количество колец, положение и тип полярных заместителей, количество ароматических ядер, а также структурные особенности, такие как длина и разветвление молекулярной цепи [18]. Растворимость соединений в сверхкритическом CO_2 можно улучшить, добавив полярный модификатор, например этанол. Накопленный научный и практический опыт показывает, что CO_2 как экстрагент для пряно-ароматического, эфиромасличного и лекарственного растительного сырья в большей мере удовлетворяет требованиям к промышленным растворителям.

Экстракция Сокслета. К передовым методам экстракции относят процесс экстракции Сокслета. Этот вариант позволяет удалять труднорастворимые вещества из твердых частиц с помощью растворителя. Дополнительным преимуществом проведения процесса в установке Сокслета является чистота получаемого экстракта, повышение скорости фильтрации раствора после проведения процесса экстрагирования, а также увеличение содержания целевого компонента в субстанции [10]. Модернизация методики в аппарате Сокслета обеспечивается путем нагревания экстрагента в экстракционной камере. В работе авторов Г. Н. Турманидзе, В. В. Сорокина, К. С. Степанова, М. А. Игнатенко идет речь о том, что «холодный спирт не может обеспечить необходимую скорость экстракции и растворения, процесс насыщения экстрагента будет занимать длительное время. Обогрев камеры ускоряет процесс экстракции, поскольку повышение температуры способствует повышению скорости диффузионных и массообменных процессов внутри клеток и на границах фаз» [10].

В таблице приведены преимущества и недостатки различных методов экстракции [11].

Использование математических и статистических методов может уменьшить общее количество испытаний, сократить стоимость и время проведения экспериментов. Применение этих методов в совокупности позволяет целенаправленно варьировать параметры процесса применительно к конкретному растительному сырью и конечному продукту, что обеспечивает возможность с высоким выходом выделять из растительного сырья концентраты БАВ. Таким образом, внедрение инновационных тех-

Таблица. Преимущества и недостатки различных методов экстракции

Метод	Преимущества	Недостатки
Мацерация	Простота, вариабельность объема экстракции	Процесс занимает много времени, выход целевого продукта небольшой
Ультразвуковая экстракция	Разнообразие объемов экстракции, простота использования, высокая скорость процесса и низкий расход растворителя	Необходимость фильтрации, ограниченный объем, низкий выход целевого экстракта
Экстракция с помощью микроволн	Простота, высокая скорость процесса, низкий расход растворителя, возможность поддержания температуры	Высокая стоимость оборудования, небольшой объем, низкая эффективность для неполярных компонентов, не подходит для термически нестабильных компонентов
Сверхкритическая флюидная экстракция сжиженным CO_2	Высокий выход целевого продукта, гибкость параметров процесса, экологичность, стабильность при хранении, высокая скорость процесса	Стоимость аппаратного оформления, не применим для экстрагирования ионных и полярных компонентов периодичность процесса
Экстракция Сокслета	Простота, не требует сложного оборудования, подходит для экстракции из различных матриц	Длительность, опасность из-за использования органического растворителя, большой расход растворителя

нологических подходов к получению экстрактов БАВ растительного происхождения определяет перспективы производства широкого спектра специализированной пищевой продукции, отвечающей высоким требованиям безопасности и эффективности [12, 13].

Амарант, как сырье для сверхкритической CO_2-экстракции. Семена амаранта являются источником белков, витаминов и минеральных веществ. Амарант в листьях и соцветиях содержит значительные группы фитонутриентов и природных антиоксидантов, таких как *β*-цианин, *β*-ксантин, амарантин, беталаин, фенольные соединения, каротиноиды, витамин С и флавоноиды [19], обладающих способностью поглощать свободные радикалы, защищать от многих заболеваний, включая дегенеративные. Зерна амаранта содержат важные антиоксидантные молекулы, включая сквален, витамин Е, *β*-каротин и линолевую кислоту, отличаются высокой концентрацией фенольных соединений и флавоноидов [20, 21, 22]. Таким образом, амарант признан важным и перспективным источником природных антиоксидантов, с возможностью применения выделенных целевых компонентов, как в чистом виде, так и в виде многокомпонентных составов в антиоксидантной терапии.

Целью работы являлось изучение влияния параметров сверхкритической CO_2-экстракции семян растения рода *Amaranthus* на выход целевых компонентов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования: семена амаранта, сорт «Кинес», ТУ 01.11.99-001-0086728806-2019.

Оборудование: установка CO_2-экстракции «ЭЗТ-10/2-1/1-3-ВА», производитель ООО «ЦНР», Россия. Основные характеристики: номинальная мощность до 16 кВт, температура экстракции – 30–60 °С, давление при экстракции – 394,7 атм, давление в емкости для сепарации до 157,91 атм. Мельница жерновая: марка HR-2200, производитель Foodatlas, страна производства – Китай, потребляемая мощность – 2,2 кВт, скорость – 1500 об/мин, размер помола от 50 до 200 мкм.

Перед экстракцией проведена подготовка сырья. Предварительная обработка семян амаранта включала очистку от примесей, измельчение в жерновой мельнице и просеивание полученного материала через сита для получения

Источник изображения: pixabay.com

однородной фракции. Просеивание осуществлялось с помощью сит с различным диаметром ячеек: 0,80–1,00, 0,56–0,67, 0,31–0,56, 0,16–0,31 мм.

Экстракция проводилась на установке CO_2-экстракции «ЭЗТ-10/2-1/1-3-ВА», представленной на рисунке 2.

Для сверхкритической CO_2-экстракции были подобраны следующие параметры:

1. Давление 100 атм, температура 35 °С,
- сепаратор 1 (S1) – давление 60 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 2 (S2) – давление 50 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 3 (S3) – давление 40 атм, температура 30 °С.

2. Давление 200 атм, температура 35 °С,
- сепаратор 1 (S1) – давление 60 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 2 (S2) – давление 50 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 3 (S3) – давление 40 атм, температура 30 °С.

3. Давление 300 атм, температура 35 °С,
- сепаратор 1 (S1) – давление 60 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 2 (S2) – давление 50 атм, температура 35 °С;
- сепаратор 3 (S3) – давление 40 атм, температура 30 °С.

Рисунок 2. Установка сверхкритической CO_2-экстракции «ЭЗТ-10/2-1/1-3-ВА»

Исследована зависимость выхода экстракта семян амаранта в зависимости от условий экстрагирования и степени измельчения семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 3–5 представлены зависимости, отражающие влияние времени экстрагирования, размера частиц и рабочего давления на выход экстракта из семян амаранта. Все экстракты были получены в трех повторностях. Выполнена обработка полученных данных в Microsoft Excel.

Установлено, что ключевым фактором, влияющим на выход экстракта, является степень измельчения семян амаранта. Результаты показали, что по мере уменьшения степени измельчения семян амаранта, выход экстракта увеличивается при всех значениях установленного давления и температуры. Это объясняется увеличением площади соприкосновения поверхности семян и углекислым газом, что облегчает диффузию растворителя. Наибольший выход экстракта наблюдается при степени фракционирования 0,31–0,56 и 0,16–0,31 мм. При давлении, равном 100 атм, повышение времени экстракции в два раза приводит к увеличению выхода экстракта более чем в два раза. Суммарный выход экстракта при рабочем давлении 100 атм составил от 10,00 ± 0,20 до 18,20 ± 0,20 %. При давлении 200 атм выход экстракта увеличился и по сравнению со 100 атм, что можно объяснить повышением растворяющей способности CO_2, и составил от 10,54 ± 0,20 до 19,45 ± 0,20 %. При 300 атм для времени экстракции 30 и 60 минут выход экстракта при степенях фракционирования 0,8–1 и 0,56–0,67 мм повысился, а при снижении размера частиц (0,31–0,56 и 0,16–0,31 мм) выход экстракта уменьшился по сравнению с давлением 200 атм. Возможно, это связано с наступлением равновесия в системе за указанный промежуток времени при высоком давлении и высокой дисперсности частиц семян. Суммарный выход экстракта при рабочем давлении 300 атм составил от 11,64 ± 0,20 до 16,31 ± 0,20 %.

Полученные нами результаты согласуются с результатами, представленными в работе [23]. В ней также исследовано влияние условий сверхкритической экстракции на выход экстракта амаранта. Эксперименты по влиянию давления проводились при значениях 78,9, 88,8, 98,7, 148,04 и 197,4 атм при температуре 50 °C и времени экстракции 120 мин. Наибольший выход экстракта (6,8 %) был получен при давлении 88,8 атм.

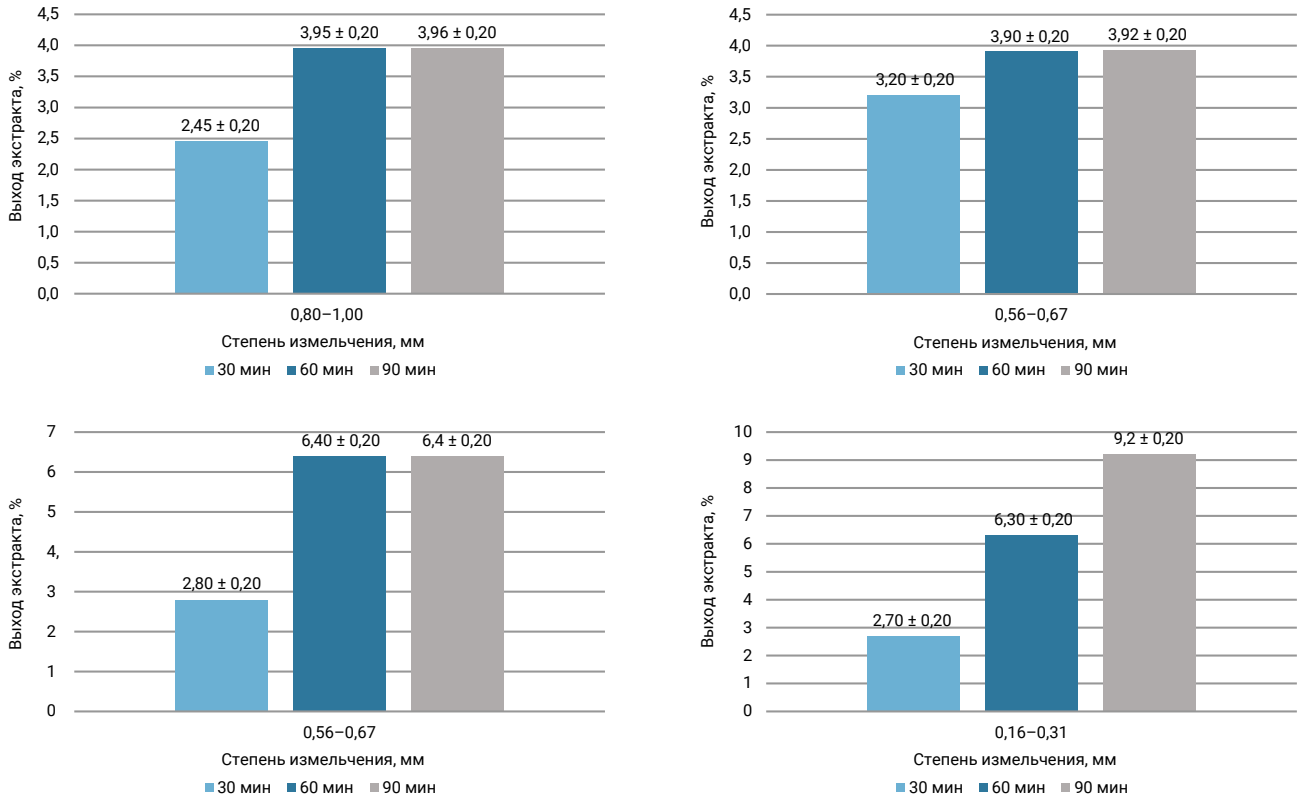

Рисунок 3. Выход экстракта семян амаранта в зависимости от степени измельчения и времени экстракции (давление в колонке 100 атм, температура 35 °C)

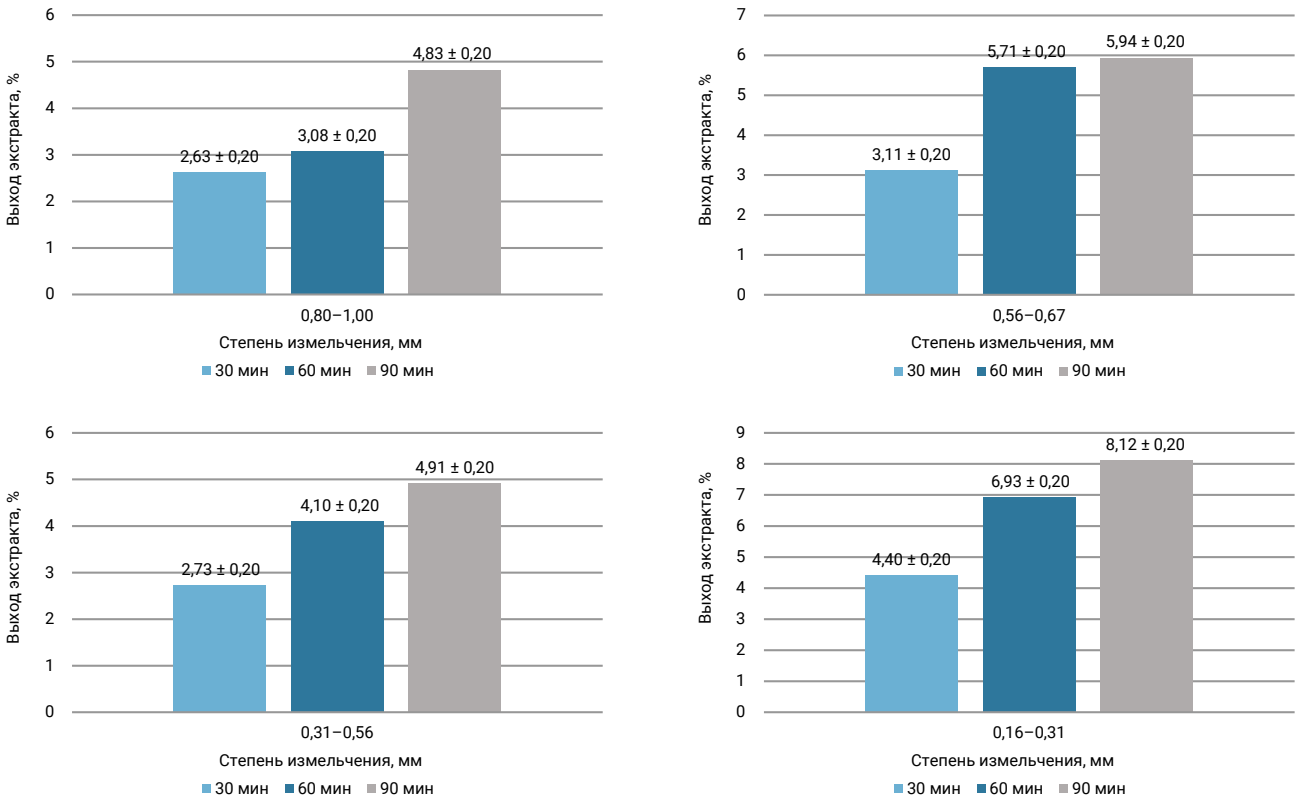

Рисунок 4. Выход экстракта семян амаранта в зависимости от степени измельчения и времени экстракции (давление в колонке 200 атм, температура 35 °С)

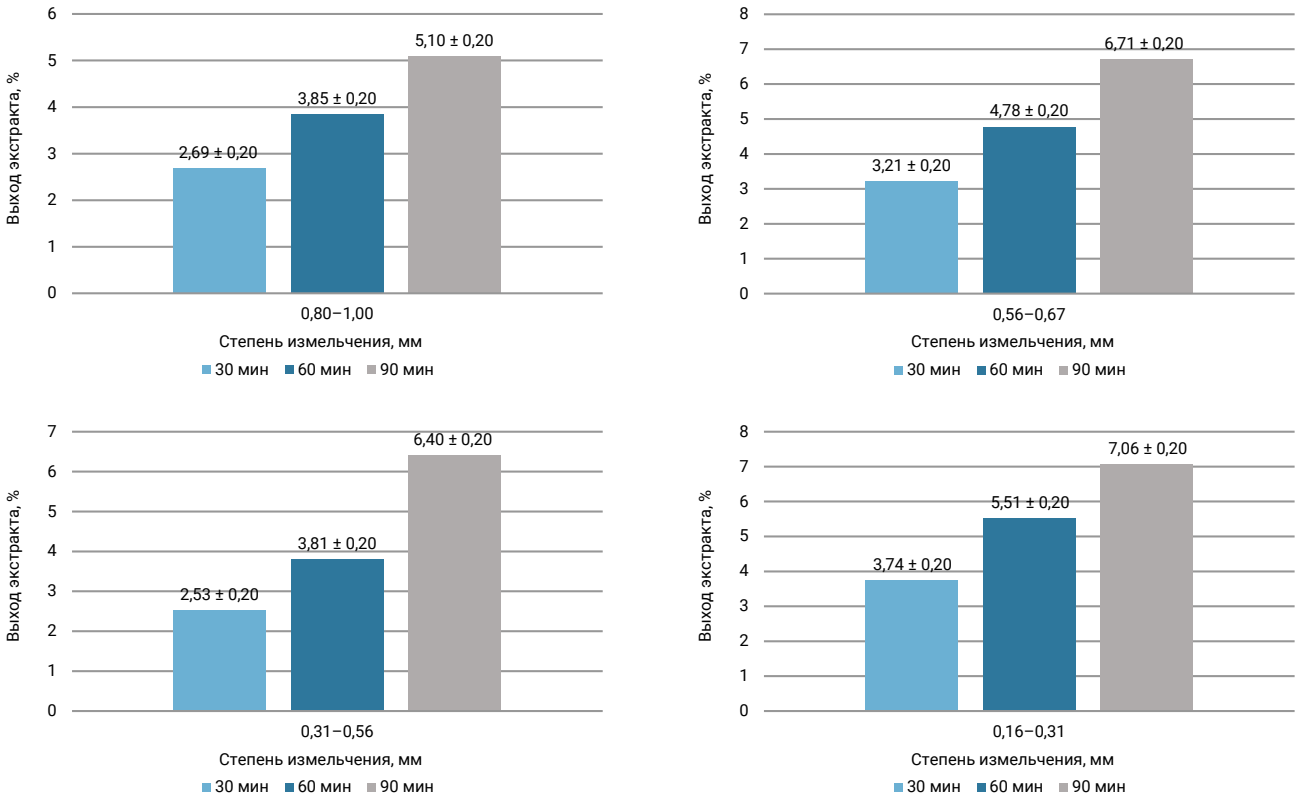

Рисунок 5. Выход экстракта семян амаранта в зависимости от степени измельчения и времени экстракции (давление в колонке 300 атм, температура 35 °С)

При давлении ниже 88,8 атм выход экстракта снижался. Повышение давления до 98,7 атм привело к незначительному увеличению выхода (6,8–7,4 %). Дальнейшее повышение давления (148,04–197,4 атм) практически не повлияло на выход экстрактивных веществ (7,6–7,8 %). Варьируя длительность процесса от 30 до 120 мин при давлении 88,8 атм и температуре 50 °С, было установлено, что наиболее высокий выход экстракта (6,6 %) происходит при экстракции при давлении 88,8 атм в течение 30 мин.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе проведенного исследования был получен более высокий выход экстракта амаранта по сравнению с аналогичными исследованиями. В настоящем исследовании при температуре 35 °С сверхкритическая CO_2-экстракция показала более высокий выход экстракта по сравнению с результатами, полученными другими авторами в аналогичном исследовании [23]. При давлении 100 атм и 35 °С выход экстракта составил от 10,00 ± 0,20 до 18,20 ± 0,20 %, при давлении 98,7 атм и температуре 50 °С – 6,8–7,4 %. При давлении 200 атм и температуре 35 °С выход составил от 10,54 ± 0,20 до 19,45 ± 0,20 %, а при давлении 197,4 атм и температуре 50 °С –7,8 %.

На выход экстракта влияет время экстракции. При температуре 35 °С в нашей работе выход экстракта увеличивается с течением времени в отличие от результатов авторов [23] при температуре 50 °С. Возможно это связано с тем, что некоторые ценные компоненты амаранта (жирные кислоты, витамин Е) чувствительны к высоким температурам, и при высокой температуре эти компоненты могут разрушаться, что приводит к снижению их концентрации и, соответственно, к снижению выхода.

Полученный CO_2-экстракт амаранта представляет собой масло и в перспективе он будет использован в качестве ценной добавки при производстве других растительных масел. Добавление экстракта позволит обогатить масла биологически активными веществами амаранта, повысив их пищевую ценность и потенциальную пользу для здоровья. Также амарантовое масло (экстракт), благодаря своему уникальному составу, представляет значительный

Источник изображения: pixabay.com

интерес для маслоделия и сыроделия. Его высокое содержание ненасыщенных жирных кислот, витаминов и антиоксидантов позволяет улучшить качество и расширить ассортимент выпускаемой продукции. В маслоделии амарантовое масло может использоваться как самостоятельный продукт или как компонент смесей, обогащая их полезными свойствами и придавая специфический вкус и аромат. В сыроделии амарантовое масло может быть включено в рецептуры для улучшения вкусовых характеристик и текстуры сыра, а также для повышения его питательной ценности. Кроме того, экстракт амаранта может применяться в качестве натурального красителя и консерванта. Амарантовый экстракт, благодаря своим функциональным свойствам, может успешно применяться в производстве спредов, придавая им новые органолептические характеристики. Его добавление позволяет улучшить консистенцию, придать продукту более нежную текстуру и легкую водянистость, а также создать желтоватый оттенок, сближающий внешний вид спреда с традиционными молочными продуктами. Однако, следует учитывать, что щелочная среда, создаваемая амарантовым маслом, может несколько сократить срок хранения спредов. Оптимальное количество амарантового масла в рецептуре спредов составляет 1–6 % от общей массы, обеспечивая баланс между улучшением качества продукта и сохранением его срока годности[1]. ■

[1]Даниленко С. Г. Спред из козьего молока, обогащенный амарантовым маслом / С. Г. Даниленко, Т. Н. Рыжкова // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 223–224.

EFFECT OF SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION PARAMETERS OF AMARANTHUS SEEDS ON THE YIELD OF TARGET COMPONENTS

Anna A. Petrova, Olesya V. Salishcheva, Alexander S. Markov
Kemerovo State University, Kemerovo

ORIGINAL ARTICLE

By extracting bioactive compounds from plant materials, scientists study their chemical composition, biological activity, and potential applications. Plant extracts can be used in functional foods and as additives that improve the quality and safety of products. New extraction methods offer sustainable and efficient technologies. This research featured maceration, ultrasonic extraction, microwave extraction, solvent extraction under pressure, and supercritical fluid extraction, as well as their advantages and disadvantages. The method of supercritical CO_2 extraction made it possible to obtain target components from amaranth seeds. The input variables included the degree of fractionation and operating pressure while the temperature was a constant parameter. The degree of fractionation proved to be the key factor for the yield: the lower the fractionation, the higher the extract yield. A higher pressure increased the yield in the case of low particle dispersion. At 300 atm, the extract yield was lower for fractions of 0.31–0.56 and 0.16–0.31 mm than at 200 atm. The total extract yield ranged from 10.00 ± 0.20 to 18.20 ± 0.20% at 100 atm, from 10.54 ± 0.20 to 19.45 ± 0.20% at 200 atm, and from 11.64 ± 0.20 to 16.31 ± 0.20% at 300 atm. The amaranth extract demonstrated good prospects as an additive to vegetable oils, spreads, and cheeses.

Keywords: extraction, supercritical fluid extraction, amaranth, *Amaranthus,* extract yield, extraction parameters, biologically active substances

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кошелева, А. И.** Разработка обогащенных хлебобулочных изделий с использованием биотрансформации белоксодержащих растительных добавок в закваскаx / А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская // FOOD METAENGINEERING. 2023. Т. 1, № 2. С. 21–40. https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.19; https://elibrary.ru/hyqkfh
2. **Стрижко, М. Н.** Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля / М. Н. Стрижко // FOOD METAENGINEERING. 2023. Т 1, № 1. С. 63–88. https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3; https://elibrary.ru/zzhzjs
3. **Nuutinen, T.** Medicinal properties of terpenes found in *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* / T. Nuutinen // European Journal of Medicinal Chemistry. 2018. Vol. 157(5). P. 198–228. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2018.07.076
4. **Agati, G.** Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance / G. Agati [et al.] // Plant Science. 2012. Vol. 196. P. 67–76. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014
5. **Debnath, B.** Role of plant alkaloids on human health: A review of biological activities / B. Debnath [et al.] // Materials Today Chemistry. 2018. Vol. 9. P. 56–72. https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.05.001
6. **Pawliszyn, J.** Theory of extraction / J. Pawliszyn // Handbook of Sample Preparation. 2010. P. 1–24. https://doi.org/10.1002/9780813823621.ch1
7. **Козлова, О. В.** Методы экстракции иммуномодуляторов растительного происхождения / О. В. Козлова, Н. С. Величкович, Е. Р. Фасхутдинова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 4. С. 680–688. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2468; https://elibrary.ru/ewlvjd
8. **Кригер, О. В.** Влияние способа получения экстрактов цветков бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.) на содержание биологически активных веществ и антимикробную активность / О. В. Кригер, Е. И. Шепель // FOOD METAENGINEERING. 2024. Т. 2, № 2. С. 22–34. https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.49; https://elibrary.ru/kbgqwi
9. **Marillán, C.** Extraction of bioactive compounds from Leptocarpha rivularis stems by three-stage sequential supercritical extraction in fixed bed extractor using CO_2 and ethanol-modified CO2 / C. Marillán, E. Uquiche // The Journal of Supercritical Fluids. 2023. Vol. 197. 105903. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2023.105903
10. **Турманидзе, Г. Н.** Совершенствование технологий выделения и очистки биологически активных веществ из растительного сырья / Г. Н. Турманидзе, В. В. Сорокин, К. С. Степанов, М. А. Игнатенко // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. Т. 12, № 4. С. 71–79. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585; https://elibrary.ru/hrbgfu
11. **Мусифулина, В. М.** Сравнительная характеристика методов экстрагирования растительного сырья / В. М. Мусифулина, М. М. Омаров // Вестник Инновационного Евразийского университета. 2021. № 4(84). С. 107–112. https://doi.org/10.37788/2021-4/107-112; https://elibrary.ru/fddrxh
12. **Сидорова Ю. С.** Инновационные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья / Ю. С. Сидорова, Н. А. Петров, С. Н. Зорин, В. К. Мазо // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 6(550). С. 28–37. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-6-28-37; https://elibrary.ru/tflcxr
13. **Минаков, Д. В.** Экстракция биологически активных соединений *Cordyceps militaris* в условиях ультразвукового воздействия / Д. В. Минаков, Е. С. Саврасов, Н. Г. Базарнова [и др.] // Химия растительного сырья. 2024. № 2. С. 355–364. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240214209; https://elibrary.ru/vggkwr
14. **Putra, N. R.** Waste to Wealth of Apple Pomace Valorization by Past and Current Extraction Processes: A Review / N. R. Putra [et al.] // Sustainability. 2023. Vol. 15(1). 830. https://doi.org/10.3390/su15010830
15. **Putra, N. R.** Exploring the potential of Ulva Lactuca: Emerging extraction methods, bioactive compounds, and health applications – A perspective review / N. R. Putra [et al.] // South African Journal of Chemical Engineering. 2024. Vol. 47. P. 233–245. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.11.017
16. **Casazza, A. A.** Polyphenols from apple skins: A study on microwave-assisted extraction optimization and exhausted solid characterization / A. A. Casazza [et al.] // Separation and Purification Technology. 2020. Vol. 240. 116640. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116640
17. **Das, M.** Influence of extraction parameters and stability of betacyanins extracted from red amaranth during storage / M. Das [et al.] // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 643–653. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3519-x
18. **Shariful, I.** Extraction of organic pigments from tomato (*Solanum lycopersicum* L.), turmeric (*Curcuma longa* L.) and red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) for safe use in agro-products / I. Shariful [et al.] // Heliyon. 2024. Vol. 10(3). e25278. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25278
19. **Sarker, U.** Phytonutrients, Colorant Pigments, Phytochemicals, and Antioxidant Potential of Orphan Leafy Amaranthus Species / U. Sarker [et al.] // Molecules. 2022. Vol. 27(9). 2899. https://doi.org/10.3390/molecules27092899
20. **Araujo-León, J. A.** HPLC-Based Metabolomic Analysis and Characterization of *Amaranthus cruentus* Leaf and Inflorescence Extracts for Their Antidiabetic and Antihypertensive Potential / J. A. Araujo-León [et al.] // Molecules. 2024. Vol. 29(9). 2003. https://doi.org/10.3390/molecules29092003
21. **Li, H.** Characterization of phenolics, betacyanins and antioxidant activities of the seed, leaf, sprout, flower and stalk extracts of three *Amaranthus species* / H. Li [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. Vol. 37. P. 75–81. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.003
22. **Nana, F. W.** Phytochemical Composition, Antioxidant and Xanthine Oxidase Inhibitory Activities of *Amaranthus cruentus* L. and *Amaranthus hybridus* L. Extracts / F. W. Nana [et al.] // Pharmaceuticals. 2012. Vol. 5. P. 613–628. https://doi.org/10.3390/ph5060613
23. **Саноев А. И.** Влияние условий сверхкритической углекислотной экстракции жмыха амаранта на выход экстракта и содержание в нем сквалена / А. И. Саноев, Ш. К. Хидоятова, Н. И. Мукаррамов [и др.] // Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 315–322. https://doi.org/10.14258/jcprm.2020026257; https://elibrary.ru/zvmmsf