БИОТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ЛЕКАРСТВЕННЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ/BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS, MEDICINAL AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179

ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В КАЧЕСТВЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Научная статья

Касьянов Г.И.[1, *], Фомичев В.Д.[2], Тагирова П.Р.[3], Хасиханов М.С.[4], Масаева Л.М.[5]

[1] ORCID : 0000-0001-9848-7715;
[2] ORCID : 0000-0002-0887-6205;
[3] ORCID : 0000-0001-9095-6441;
[4] ORCID : 0000-0001-9657-0638;
[5] ORCID : 0000-0001-8299-5109;

[2] Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Российская Федерация
[3, 4, 5] Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (g_kasjanov[at]mail.ru)

Аннотация

Статья посвящена проблеме использования сжиженных газов бутана, диметилового эфира, пропана и диоксида углерода для экстрагирования жирных масел. Выбор растворителя играет важную роль в большинстве технологий получения растительных масел из масличного сырья. Влияние потерь и выбросов растворителей требует усилий по их минимизации или полному их предотвращению. Концепция «зеленого» растворителя породила обширную научно-техническую литературу и привела к разработке неотерных (новых) растворителей, таких как сверхкритический CO_2, жидкие углеводородные газы с сорастворителями и ионные жидкости с вспучиванием CO_2, которые обладают гибкими физическими свойствами и позволяют исследователям выбирать оптимальную систему растворителей для конкретного технологического процесса. Целью работы является обоснование использования бинарного растворителя с пониженными пожаро-взрывоопасными свойствами. К методам исследования относится обоснование разработки бинарного пожаро-взрывобезопасного растворителя с низкой диэлектрической проницаемостью, позволяющего эффективно извлекать растительные масла из масличного растительного сырья. Выполнен мониторинг преимуществ и недостатков суб- и сверхкритической газожидкостной экстракции. К основным результатам работы относится выполнение аналитического обзора современной научно-технической литературы по использованию сжиженных газов как растворителей, обоснование выбора бинарного растворителя для растительных масел и жиров с использованием диаграмм фазового состояния и термодинамических показателей сжиженных газов. Представление схем установок для газожидкостной экстракции маслосодержащих веществ из животного и растительного сырья. Приведение данных о массовом составе экстрактов, полученных с помощью бинарного газожидкостного растворителя. В статье сделан вывод о целесообразности использования углеводородных сжиженных газов и их смесей для извлечения масел из сельскохозяйственного сырья.

Ключевые слова: газожидкостная экстракция, бутан, диметиловый эфир, диоксид углерода, пропан, бинарный растворитель, экстракты.

WAYS TO USE HYDROCARBON GASES AS SOLVENTS

Research article

Kasyanov G.I.[1, *], Fomichev V.D.[2], Tagirova P.R.[3], Khasikhanov M.S.[4], Masaeva L.M.[5]

[1] ORCID : 0000-0001-9848-7715;
[2] ORCID : 0000-0002-0887-6205;
[3] ORCID : 0000-0001-9095-6441;
[4] ORCID : 0000-0001-9657-0638;
[5] ORCID : 0000-0001-8299-5109;

[2] Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation
[3, 4, 5] Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

* Corresponding author (g_kasjanov[at]mail.ru)

Abstract

The article is dedicated to the problem of using liquefied gases butane, dimethyl ether, propane and carbon dioxide for extraction of fatty oils. The choice of solvent plays an important role in most technologies for the extraction of vegetable oils from oilseed raw materials. The impact of solvent losses and emissions requires efforts to minimize or avoid them altogether. The concept of green solvent has generated an extensive scientific and technical literature and led to the development of neoteric (new) solvents such as supercritical CO_2, liquid hydrocarbon gases with co-solvents and ionic liquids with CO_2 bulking, which have flexible physical properties and allow researchers to select the optimal solvent system for a particular process. The aim of the work is to substantiate the use of a binary solvent with reduced fire-explosive properties. The research methods include justification of the development of a binary fire-explosion safe solvent with low dielectric constant, allowing

efficient extraction of vegetable oils from oilseed plant raw materials. The advantages and disadvantages of sub- and supercritical gas-liquid extraction were observed. The main results of the work include an analytical review of modern scientific and technical literature on the use of liquefied gases as solvents, substantiation of the choice of binary solvent for vegetable oils and fats using phase state diagrams and thermodynamic parameters of liquefied gases. Presentation of schemes of installations for gas-liquid extraction of oil-containing substances from animal and vegetable raw materials. Presentation of data on the mass composition of extracts obtained using binary gas-liquid solvent. The article draws a conclusion about the expediency of using hydrocarbon liquefied gases and their mixtures for the extraction of oils from agricultural raw materials.

Keywords: gas-liquid extraction, butane, dimethyl ether, carbon dioxide, propane, binary solvent, extracts.

Введение

Совершенствование технологических процессов извлечения масла из маслосодержащего растительного сырья является актуальной задачей. Сотрудники Казанского технологического университета обосновали преимущества использования сжиженных и сжатых газов для извлечения ценных компонентов из растительного сырья [1]. Однако авторы ограничились только описанием свойств диоксида углерода как экстрагента. Описаны перспективы глубокого освоения процесса сверхкритической газовой экстракции, позволяющего получать профилактические БАВ [2].

Совместные исследования специалистов КубГТУ и ООО «Аэрозолекс», определили роль диметилового эфира для замены органических растворителей при получении растительных масел [3]. Авторы разработали линию извлечения жирных масел из растительного сырья ДМЭ.

Для установления режимов экстракции БАВ разработана экспериментальная сверхкритическая установка [4]. С помощью масс-спектрометра определяли массовый выход идентифицированных веществ.

Методом рефрактометрии исследовались свойства жирных масел и их купажей, используемых в качестве растворителей [5]. Установлена селективность и избирательность жирных масел, как адсорбентов компонентов из гетерофазных растительных систем.

Запатентованы промышленные образцы, показывающие экстракционную способность жидкого пропана и других углеводородных газов для извлечения жирных масел из животного и растительного сырья [6], [7]. Промышленные образцы дают представление об основных отличиях новых способов экстракции от традиционных.

Для оценки экстракционных свойств сверхкритического диоксида углерода смоделирована пористая многосферная жидкая среда, позволяющая определить зависимость параметров системы от давления и температуры [8]. Выполнено сравнение теоретических зависимостей вязкости масло-флюидной смеси от результатов практического эксперимента.

Сделана попытка использовать экстракционную бинарную смесь ДМЭ/CO_2 в качестве хладагента [9]. Вероятно, возникает идея: вначале масличное сырье заморозить, затем снизить его влажность методом псевдосублимационного обезвоживания, а затем извлекать жирное масло.

В ряде зарубежных публикаций активно обсуждается возможность использования углеводородных сжиженных и сжатых газов в роли экстрагентов растительных масел. Описан способ экстракции пальмового масла с использованием пропана, этанола и их смесей в качестве сжатого растворителя [10]. Предусмотрена возможность получения из красных рисовых отрубей неочищенного масла с высоким содержанием фитостерола по сравнению с белыми отрубями [11]. Масло из красных рисовых отрубей, экстрагированное субкритическим сжиженным диметиловым эфиром, дало самое высокое общее содержание фитостерола (1784,17 мг /100 г).

Приведены сравнительные данные по получению растительных масел разными экстрагентами: гексаном, субкритическим бутаном и пропаном [12]. Установлено, что в состав стероидных композиций в масле из рисовых отрубей входят этилизоаллохолат, кампестерол, стигмастерол, ситостерол. ЯМР-анализ показал, что масло, экстрагированное жидким бутаном, имеет самое высокое содержание триацилглицеринов, а масло, экстрагированное субкритическим пропаном, имеет самое высокое содержание воска среди масел, экстрагированных этими тремя экстракционными растворителями. Масла, экстрагированные докритическим бутаном и пропаном, показали более высокую окислительную стабильность.

Оптимизирован процесс получения ароматного масла из семян красного перца (*Capsicum annuum* L.), экстрагированного субкритическим бутаном [13]. Оптимальными условиями экстракции были: температура экстракции 74,61 °C, время 38,65 мин и соотношение жидкость-твердое тело 30,24 : 1. Масло имело показатель преломления (при 25 °C) 1,4710, относительную плотность 0,9000, кислотное значение 1,421 мг/г масла, содержание йода 127,035 г/100 г. Основными жирными кислотами в масле были линолевая кислота (72,95%), затем пальмитиновая кислота (11,43%) и олеиновая кислота (10,00%). Масло продемонстрировало желаемую термическую и окислительную стабильность.

Выполнен обзор способов использования диметилового эфира в качестве органического экстракционного растворителя для биомассы [14]. Представлены способы производства ДМЭ, теоретические знания о системе экстракции ДМЭ и наиболее важные данные для практического использования нового способа в производстве.

В работе [15] показано, как с помощью экстракционной смеси пропан + диоксид углерода обеспечить особые свойства в отношении растворяющей способности, селективности и безопасности экстракционного производства. Изучена технология фазового равновесия для извлечения фиксированных масел из измельченных семян, выбраны рабочие условия с учетом данных тройной диаграммы, которая ограничивает область полной смешиваемости и невоспламеняемости смесей. На основе выбранных условий проведены эксперименты по экстракции соевого, подсолнечного масла и масла шиповника из измельченных семян. Исследования экстракции охватывали ряд смесей растворителей пропан + CO_2 в условиях полной или частичной смешиваемости с маслом.

Описан эффективный способ извлечения липидов из увлажненных микроводорослей с использованием субкритического диметилового эфира [16]. Отмечено, что ранее выполненные исследования по извлечению

экстрактивных веществ из сырья были на высушенных, энергозатратных образцах. И только жидкий диметиловый эфир, обладающий высоким сродством и к воде и к органическим соединениям, позволяет перерабатывать влажное сырье.

Критический обзор опубликованных материалов показывает, что лишь немногие новые реагенты из числа сжиженных газов нашли широкое применение в качестве растворителей. Поиск менее поражающих растворителей неэффективен, если проводить его без должного учета, даже на стадии исследований, конкретных обстоятельств, при которых растворители будут использоваться в промышленных масштабах. Более широкие вопросы устойчивого развития, в частности, использование неископаемых источников органического углерода в производстве растворителей, более важны, чем внутренняя «зеленость». Хотя растворимость универсальна, универсальный растворитель – алкагест – является недостижимым идеалом.

Методы и принципы исследования

Для оценки антиоксидантной активности исследуемых образцов экстрактов используется анализ 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH), с областью поглощения 517 нм. Этот метод обеспечивает скрининг общей активности антиоксидантов, и основан на стабильном синтетическом радикале DPPH. DPPH вступает в реакцию с антиоксидантным соединением, его свойства свободных радикалов теряются, а его цвет меняется с фиолетового на желтый.

Диэлектрическую постоянную жидких газов определяли на приборе BI-870. Содержание основных компонентов ДМЭ/CO_2-экстрактов определяли методом газожидкостной хроматографии.

Методами системного анализа выявлена необходимость разработки бинарного пожаро-взрывобезопасного растворителя, позволяющего эффективно извлекать растительные масла и жиры из масличного и животного сырья.

Сформулирована гипотеза решения проблемы путем подбора смеси полярных растворителей, имеющих наиболее полное диэлектрическое сродство с жирными маслами. Мониторинг свойств наиболее освоенной и продвинутой технологии субкритической CO_2-экстракции выявил ее недостатки и позволил наметить пути их устранения.

Теоретико-экспериментальный метод решения возникающих проблем подтвердил высказанную гипотезу о связи растворяющей способности экстрагента с диэлектрическими характеристиками объекта исследований.

Плодотворность метода газожидкостной экстракции масел, дополняется побочным эффектом взрывной гомогенизации сырья при сбросе давления в аппарате до атмосферного.

При экстрагировании растительных масел к растворителям предъявляют высокие требования как с точки зрения экономичности, то есть меньших затрат на процесс экстракции, так и с точки зрения скорости и полноты извлечения масла из экстрагируемого материала. Растворители не должны вступать в химические реакции с экстрагируемым материалом и разрушающе действовать на используемую аппаратуру. Растворители обязательно должны быть безвредны для человека и не ухудшать качество получаемых продуктов (масла шрота). Растворители должны легко растворять масло и смешиваться с ним в любых соотношениях. Растворители должны иметь высокую чистоту, легко отгоняться из масла и шрота и легко конденсироваться.

В отечественной промышленности для экстракции растительных масел в качестве растворителей используют экстракционные бензины и гексан, которые нейтральны по отношению к аппаратуре и обладают хорошей растворяющей способностью растительных масел. Пределы взрываемости паров гексана составляют: низший – концентрация 1,2% и высший 7,5%, паров бутана 1,8-8,5%, паров пропана 2,0-9,5%, паров ДМЭ 3,4-17,0. Из перечисленных растворителей ниже всех пределы взрываемости у ДМЭ, которые можно в дальнейшем еще снизить за счет безопасного в противопожарном плане CO_2.

На рисунке 1 показаны фазовые превращения углеводородных газов и неуглеводородного диоксида углерода.

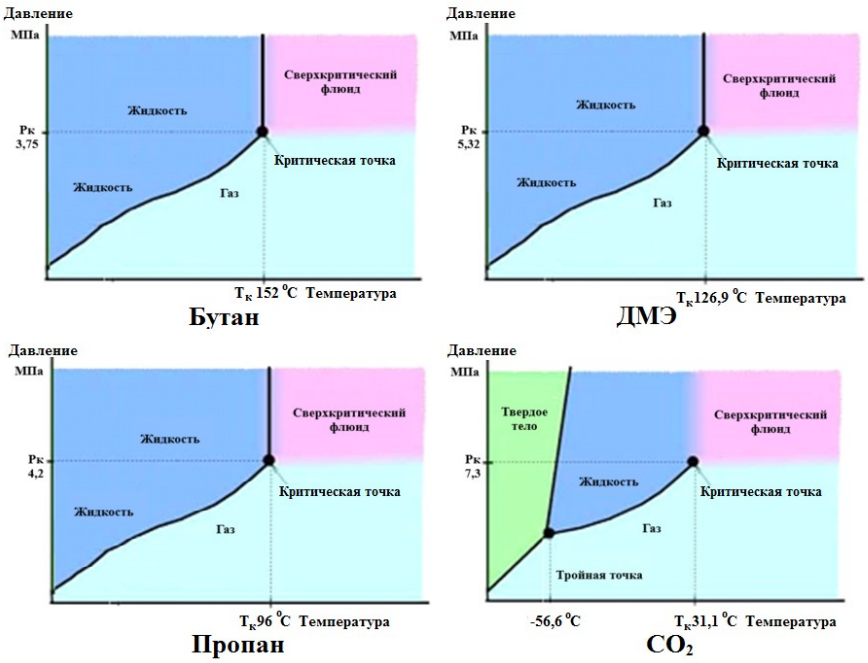

Рисунок 1 - Диаграммы фазового состояния углеводородов и диоксида углерода

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.1

На фазовых диаграммах можно определить критические параметры и начало конденсации газов. Углеводородные газы сжижаются при более низкой температуре по сравнению с CO_2.

К объектам исследования относятся бутан и пропан по ГОСТ 33012-2014, диметиловый эфир по ТУ 20.14.63-001-02128744-2017 и диоксид углерода, газообразный и жидкий, по ГОСТ 8050-85.

Результаты исследования и их обсуждение

Высокая растворяющая способность диметилового эфира (ДМЭ) является основой хорошей совместимостью как с CO_2, так и с углеводородами. Из-за хорошей растворимости ДМЭ в CO_2, добавление к ДМЭ CO_2 снижает минимальное давление смешиваемости и повышает эффективность извлечения масла из растительного сырья. Предыдущие исследователи использовали постоянный параметр бинарного взаимодействия между CO_2 и ДМЭ в уравнении состояния Пенга-Робинсона для моделирования фазового равновесия смесей CO_2- ДМЭ. Обнаружено, что диаграмма фазового равновесия CO_2 и ДМЭ демонстрирует зависимость от температуры. На основе сопоставления данных о двухфазном равновесии для смесей CO_2 и ДМЭ сначала получается линейная зависящая от температуры корреляция BIP для системы CO_2- ДМЭ.

В таблице 1 приведены сведения по сравнительной оценке показателей углеводородных газов и диоксида углерода.

Таблица 1 - Термодинамические характеристики углеводородных газов и CO_2

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.2

Показатели		Бутан	ДМЭ	Пропан	CO_2
Молярная масса $C_nH_{1,8n}$		58	46	44	44
Массовое содержание химических элементов, %	углерод	82,7	52,2	81,8	27,3
	водород	17,3	13	18,2	-
	кислород	-	34,8	-	72,7
Коэффициент сжимаемости истинный при 20 °С и 0,1 МПа, 1/Па		0,9682	$157*10^{-11}$	0,9834	-
Диэлектрическая проницаемость ε^o		1,4	3,5	1,6	1,6
Плотность жидкой фазы при 20 °С, кг/м^3		0,58	668	0,49	0,77
Кинематическая вязкость (жидкость, 20 °С), м^2/с		$3,8*10^{-4}$	3	$3,5*10^{-4}$	1,61
Коэффициент поверхностного		$15,5*10^{-3}$	0,0012	$13,8*10^{-3}$	-

Показатели	Бутан	ДМЭ	Пропан	CO_2
натяжения, Н/м				
Растворимость в воде при 20 °С, кг/м^3	0,061	70	0,053	0,88
Давление насыщенных паров при 20 °С, МПа	0,23	0,53	0,99	5,4
Температура кипения (ожижения) при 0,1 МПа, 20 °С	-0,5	-24,8	-42	-56,6
Критическое давление/температура, МПа/К	3,79/425	5,37/400	4,25/369,7	7,2/304,1
Теплота парообразования при 20 °С, кДж/кг	510	410	425	235,1
Низшая теплотворная способность, МДж/кг	45,76	28,84	46,35	-
Теплоемкость при 20 °С. ккал/кг*град	0,52	0,43	0,47	0,68
Температура самовоспламенения на воздухе, °С	405	305	470	-

Зеотропные смеси подходящих сжиженных газов становятся важными кандидатами в качестве альтернативы существующим экстракционному бензину и гексану. В данной работе рассматриваются зеотропные смеси диоксида углерода (CO_2) и диметилового эфира (ДМЭ).

Прямое сравнение альтернативных растворителей было выполнено для двух полярных растворителей – диметилового эфира и диоксида углерода. Учитывалась их начальная растворяющая скорость и конечная конверсия. Было обнаружено, что бинарный экстрагент в соотношении ДМЭ:CO_2 70:30 является эффективным растворителем, с высокими начальными скоростями реакции, количественными превращениями, высоким выходом и извлечением растворителя. Таким образом, это демонстрирует, что ДМЭ/CO_2 является многообещающим альтернативным полярным апротонным растворителем для поставленной цели. Смесь DME/CO_2 была получена с помощью уравнения состояния, со скорректированным параметром бинарного взаимодействия. В таблице 2 суммированы некоторые ключевые теплофизические свойства CO_2 и ДМЭ.

Таблица 2 - Сравнение свойств ДМЭ и CO_2

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.3

Показатели	Экстрагент	
	ДМЭ	CO_2
Плотность жидкости при 0 °С (кг м$^{-3}$)	699,99	927,43
Скрытая теплота парообразования при 0 °С (кДж кг$^{-1}$)	430,89	230,89
ACV жидкости при 0 °С (кДж кг-1 К$^{-1}$)	1,5115	0,94493
Теплопроводность жидкости при 0 °С (Вт·м $^{-1}$ К$^{-1}$)	0,16131	0,11043
Вязкость жидкости при 25 °С (×10^{-6} кг м$^{-1}$с$^{-1}$)	126,73	57,048
Вязкость пара при 25 °С (×10^{-6} кг м$^{-1}$ с$^{-1}$)	9,1566	20,157
Поверхностное натяжение при 0 °С (Н·м$^{-1}$)	0,01438	0,00454
Нижний уровень воспламеняемости, %	3,4	нет
Потенциал разрушения озона	0	0
Потенциал глобального	1	1

Показатели	Экстрагент	
	ДМЭ	CO_2
потепления		
Бинарное соотношение, %	70	30

На рисунке 2 показана аппаратурно-технологическая схема экстракции ценных компонентов из растительного сырья с использованием бинарного растворителя.

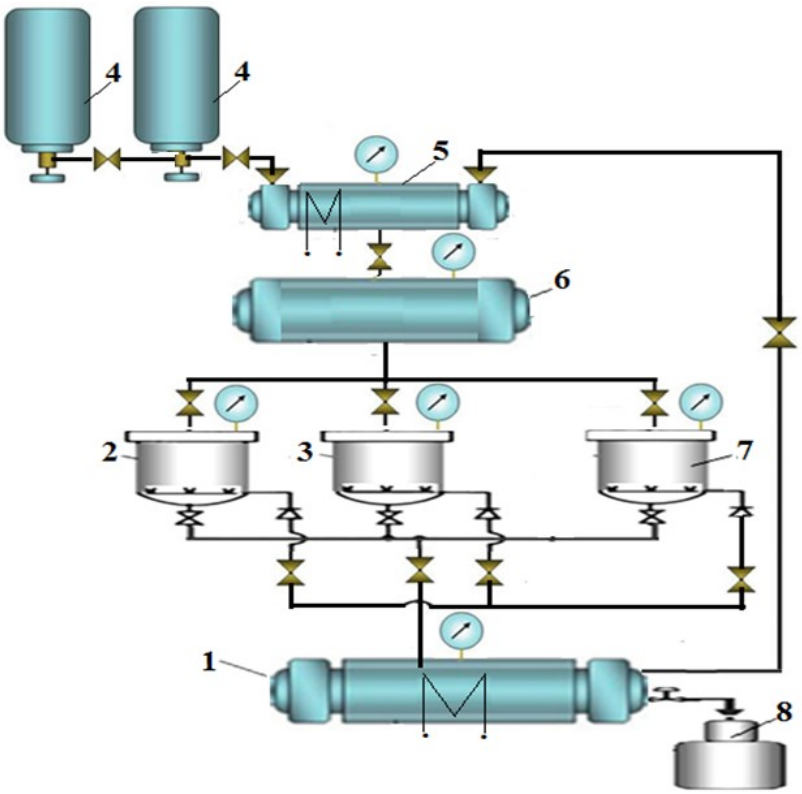

Рисунок 2 - Аппаратурно-технологическая схема экстракции ценных компонентов из растительного сырья
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.4

Примечание: 1 – испаритель; 2,3,7 – экстракторы; 4 – баллоны сжиженных газов; 5 – конденсатор; 6 – сборник растворителя; 8 – сборник экстракта

Режимы экстракции веществ бинарным растворителем: Температура процесса экстракции 20-22 ^{o}C, давление насыщенных паров 3,4 МПа, продолжительность процесса 210 мин.

На рисунке 3 показана структурная схема шнекового экстрактора ДМЭ/CO_2 (Патент на промышленный образец № 137167) и устройство лабораторного газожидкостного экстрактора (Патент на промышленный образец № 137752).

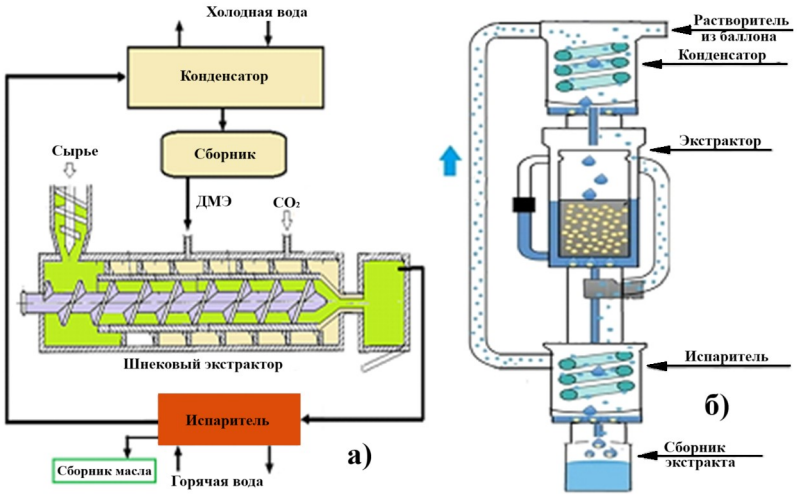

Рисунок 3 - Структурная схема шнекового экстрактора ДМЭ/CO_2 (а) и устройство лабораторного газожидкостного экстрактора (б)

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.5

На рисунке 4 показана схема линии для извлечения масла из сырья бинарным растворителем.

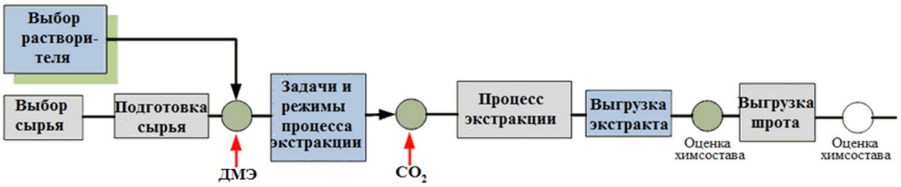

Рисунок 4 - Схема линии для извлечения масла из сырья бинарным растворителем

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.6

В таблице 3 приведены данные по выходу и состава масла из маслосодержащего растительного сырья.

Таблица 3 - Данные по выходу и составу масла из маслосодержащего растительного сырья

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.7

Растительная матрица	Нутрицевтическая композиция	Экстрагент	Выход, %	Антиоксидантная активность DPPH, мкмоль ТЕ/кг
Грецкий орех	Липидный состав	Бутан	54,1	112
	Токоферолы	ДМЭ	58,1	161
	Фитостерин	Пропан	54,8	173
	Полифенолы	CO_2	42,4	201
Льняное семя	Жирные кислоты	Бутан	28,7	62
	Фитостерин	ДМЭ	27,5	71
	Каротиноиды	Пропан	19,5	62
	Линоцинамарин	CO_2	23,4	51
Миндаль	Фенольные	Бутан	44,0	42
	Фитостеролы	ДМЭ	49,7	52
	Токоферолы	Пропан	41,2	36
	Токотриенолы	CO_2	42,4	49
Орех кешью	Токоферолы	Бутан	34,9	24

Растительная матрица	Нутрицевтическая композиция	Экстрагент	Выход, %	Антиоксидантная активность DPPH, мкмоль ТЕ/кг
	Бета-ситостерин	ДМЭ	35,1	31
	Липидный состав	Пропан	34,5	32
	Витамин К	CO_2	31,2	31

Представляет интерес получения ДМЭ/CO_2-экстрактов из пряно-ароматического и лекарственного растительного сырья (таблица 4).

Таблица 4 - Показатели качества ДМЭ/CO_2-экстрактов пряно-ароматического и лекарственного растительного сырья

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.179.8

ДМЭ-экстракты из сырья	Выход, %	Плотность при 20 °С, г/см^3	Показатель преломления при 20 °С	К.ч. мг КОН, не более	Э.ч., мг КОН, не более	Основной компонент	Антиоксид. активность DPPH, мкмоль ТЕ/кг
Базилика эвгенольного	3,0	0,8920	1,4655	20	25	Эвгенол	262
Кумина (зиры)	2,5	1,0620	1,4780	15	190	Куминол	190
Коры осины	6,0	0,9310	1,4835	20	40	Салицин	270
Тмина черный	6,0	0,8950	1,4670	8	63	Тимохинон	210

Из данных таблицы 4 видно, что антиоксидантная активность экстрактов из пряно-ароматического и лекарственного растительного сырья высокая, что позволяет использовать их для ароматизации и защиты от окисления масел и жиров.

Главным результатом выполненного исследования является оценка пути использования бинарного растворителя ДМЭ/CO_2, с пониженными пожаро-взрывоопасными свойствами, для извлечения экстрактивных веществ из масла и жиросодержащего агропищевого сырья.

Заключение

Получение растительных масел и животных жиров с помощью традиционных растворителей (бензина, гексана, этанола и др.) имеет ряд недостатков, связанных с пожаро-взрывоопасностью растворителей и остаточным содержанием реагентов и примесей в готовом продукте. Из большого числа известных растворителей в большей мере предъявляемым требованиям соответствуют сжиженные и сжатые газы, которые полностью удаляются из продукта при снижении давления в экстракторе до атмосферного. Проблема использования сжиженных газов – бутана, диметилового эфира, диоксида углерода, пропана и их смесей, в качестве растворителей жирных масел, является актуальной. Они относятся к неполярным растворителям с низкой диэлектрической проницаемостью (1,5-2,5), сходной с ε^o масел и жиров (1,9-4,7).

Целесообразность использования бинарного ДМЭ/CO_2 экстрагента для извлечения масел из сельскохозяйственного сырья, подтверждена сведениями диаграмм фазового состояния, диэлектрической проницаемостью и термодинамическими показателями сжиженных газов.

К наиболее важным аспектам исследования относится выполнение аналитического обзора научно-технической литературы за последние 10 лет, по использованию сжиженных газов как растворителей, обоснование выбора бинарного растворителя для растительных масел и жиров с использованием диаграмм фазового состояния и термодинамических показателей сжиженных газов, представление схем установок для газожидкостной экстракции маслосодержащих веществ из животного и растительного сырья, приведение данных о массовом составе экстрактов, полученных с помощью бинарного газожидкостного растворителя.

Положительной стороной работы является разработка комплексной схемы получения масел бинарным растворителем ДМЭ+CO_2.

Благодарности

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Аэрозолекс» Кисурину Ивану Владимировичу и зав. лабораторией Евсеевой Ирине Львовне за предоставление реактивов для проведения исследований. Руководителю Испытательной лаборатории «Центр качества пищевой продукции» научно-исследовательского института биотехнологии и сертификации пищевой продукции ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» Донченко Людмиле Владимировне за помощь в выполнении лабораторных анализов.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to Ivan Vladimirovich Kisurin, General Director of LLC "Aerozolex", and Irina Lvovna Evseeva, Head of the laboratory, for providing reagents for the research. To Lyudmila Donchenko, Head of the Testing Laboratory "Food Quality Centre" of the Research Institute of Biotechnology and Food Certification of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Kuban State Agrarian University", for her assistance in performing laboratory analyses.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Гумеров Ф.М. Суб- и сверхкритические флюидные среды в пищевой, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности / Ф.М. Гумеров, Л.Ю. Яруллин, T.N. Hung [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 8. — С. 30-35.

2. Казеев И.В. Сверхкритическая экстракция для выделения биологически активных веществ / И.В. Казеев, И.И. Худеев, А.И. Артемьев [и др.] // Биотехнология: Состояние и перспективы развития. — Москва, 2021. — С. 185-187. — DOI: 10.37747/2312-640X-2021-19-185-187.

3. Касьянов Г.И. Перспективы использования жидкого диметилового эфира как экстрагента / Г.И. Касьянов, И.В. Кисурин, И.Л. Евсеева // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). — 2023. — № 1. — С. 79-89.

4. Меньшутина Н.В. Исследование извлечения биологически активных веществ из растительного сырья с помощью сверхкритических технологий / Н.В. Меньшутина, И.В. Казеев, А.И. Артемьев [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2022. — Т. 28. — № 1. — С. 66-75. — DOI: 10.17277/vestnik.2022.01.pp.066-075.

5. Нечипоренко А.П. Метод рефрактометрии в исследовании жирных масел и их купажей как экстрагентов растительного сырья / А.П. Нечипоренко, М.И. Мельникова, У.Ю. Нечипоренко [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2018. — Т. 18. — № 4. — С. 588-594. — DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-588-594.

6. Пат. 137167 Российская Федерация. Схема «Установка для извлечения окисленных липидов из сырья жидким пропаном» / Касьянов Г.И., Запорожская С.П.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет. — № 2022505825; заявл. 28.12.2022; опубл. 14.06.2023, Бюл. № 6. — 1 с.

7. Пат. 137752 Российская Федерация. Схема «Лабораторная установка для газожидкостной экстракции веществ из животного и растительного сырья» / Касьянов Г.И., Косенко О.В.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет. — № 2023501422; заявл. 24.03.2023; опубл. 26.07.2023, Бюл. № 8. — 1 с.

8. Старков А.С. Исследование кинетики извлечения растительного масла сверхкритическим диоксидом углерода / А.С. Старков, Г.Е. Мельник, К.А. Старков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. — 2020. — № 1-2. — С. 41-46. — DOI: 10.25812/VNIIG.2020.80.80.023.

9. Сязин И.Е. Прогнозирование свойств бинарной смеси ДМЭ/CO2 для использования в холодильных машинах / И.Е. Сязин, Г.И. Касьянов, А.В. Гукасян [и др.] // Вестник международной академии холода. — 2023. — № 3. — С. 20-28. — DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-20-28.

10. Anderson A. Extraction of Palm Oil Using Propane, Ethanol and its Mixtures as Compressed Solvent / A. Anderson, A. Jesus, C. Lays [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. — 2013. — № 1. — P. 245-253. — DOI: 10.1016/j.supflu.2013.06.011.

11. Wongwaiwech D. Bioactives from Crude Rice Bran Oils Extracted Using Green Technology / D. Wongwaiwech, S. Kamchonemenukool, C.-T. Ho [et al.] // Molecules. — 2023. — Vol. 28. — № 6. — DOI: 10.3390/molecules28062457.

12. Liu H.-M. Subcritical Butane and Propane Extraction of Oil from Rice Bran / H.-M. Liu, F.-Y. Wang, H.-Y. Li [et al.] // BioResources. — 2015. — Vol. 10. — № 3. — DOI: 10.15376/biores.10.3.4652-4662.

13. Gu L.-B. Process Optimization and Characterization of Fragrant Oil from Red Pepper (Capsicum annuum L.) Seed Extracted by Subcritical Butane Extraction: Subcritical Butane Extraction Oil from Red Pepper Seed / L.-B. Gu, H.-L. Pang, K.-K. Lu [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2016. — Vol. 97. — № 6. — DOI 10.1002/jsfa.7992.

14. Bauer M.C. The Use of Dimethyl Ether as an Organic Extraction Solvent for Biomass Applications in Future Biorefineries: A user-oriented review / M.C. Bauer, A. Kruse // Fuel. — 2019. — Vol. 254. — № 9. — DOI: 10.1016/j.fuel.2019.115703.

15. Hegel P. Phase Equilibrium Engineering of the Extraction of Oils from Seeds Using Carbon Dioxide + Propane Solvent Mixtures / P. Hegel, M.S. Zabaloy, G. Mabe [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. — 2007. — Vol. 42. — № 3. — P. 318-324. — DOI: 10.1016/j.supflu.2006.12.023.

16. Wang Q. Effective Lipid Extraction from Undewatered Microalgae Liquid Using Subcritical Dimethyl Ether / Q. Wang, K. Oshita, M. Takaoka // Biotechnology for Biofuels. — 202. — Vol. 14. — № 1. — DOI: 10.1186/s13068-020-01871-0.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gumerov F.M. Sub- i sverhkriticheskie flyuidnye sredy v pishchevoj, parfyumernoj i farmacevticheskoj otraslyah promyshlennosti [Sub- and Supercritical Fluid Media in the Food, Perfume and Pharmaceutical Industries] / F.M. Gumerov, L.Y. Yarulin, T.N. Hung [et al.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Kazan University of Technology Bulletin]. —2017. — Vol. 20. — № 8. — P. 30-35. [in Russian]

2. Kazeev I.V. Sverhkriticheskaya ekstrakciya dlya vydeleniya biologicheski aktivnyh veshchestv [Supercritical Extraction for the Release of Biologically Active Substances] / I.V. Kazeev, I. Khudeev, A.I. Artemyev [et al.] // Biotekhnologiya: Sostoyanie i perspektivy razvitiya [Biotechnology: State and Prospects of Development]. — Moscow, 2021. — P. 185-187. — DOI: 10.37747/2312-640X-2021-19-185-187. [in Russian]

3. Kasyanov G.I. Perspektivy ispol'zovaniya zhidkogo dimetilovogo efira kak ekstragenta [Prospects of Using Liquid Dimethyl Ether as an Extractant] / G.I. Kasyanov, I.V. Kisurin, I.L. Evseeva // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskij vestnik) [Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin)]. — 2023. — № 1. — P. 79-89. [in Russian]

4. Menshutina N.V. Issledovanie izvlecheniya biologicheski aktivnyh veshchestv iz rastitel'nogo syr'ya s pomoshch'yu sverhkriticheskih tekhnologij [Research of Extraction of Biologically Active Substances from Plant Raw Materials with the Help of Supercritical Technologies] / N.V. Menshutina, I.V. Kazeev, A.I. Artemyev [et al.] // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tambov State Technical University]. — 2022. — Vol. 28. — № 1. — P. 66-75. — DOI: 10.17277/vestnik.2022.01.pp.066-075. [in Russian]

5. Nechiporenko A.P. Metod refraktometrii v issledovanii zhirnyh masel i ih kupazhej kak ekstragentov rastitel'nogo syr'ya [Refractometry Method in the Study of Fatty Oils and Their Baths as Extracts of Vegetable Raw Materials] / A.P. Nechiporenko, M.I. Melnikova, U.Y. Nechiporenko [et al.] // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics]. — 2018. — Vol. 18. — № 4. — P. 588-594. — DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-588-594. [in Russian]

6. Pat. 137167 Russian Federation. Shema «Ustanovka dlja izvlechenija okislennyh lipidov iz syr'ja zhidkim propanom» [Scheme “Installation for the extraction of oxidized lipids from raw materials with liquid propane”] / Kasyanov G.I., Zaporozhzhya S.P.; applicant and patentee Kuban State Technological University. — № 2022505825; appl. 28.12.2022; publ. 14.06.2023, Bul. № 6. — 1 p. [in Russian]

7. Pat. 137752 Russian Federation. Shema «Laboratornaja ustanovka dlja gazozhidkostnoj jekstrakcii veshhestv iz zhivotnogo i rastitel'nogo syr'ja» [Scheme “Laboratory installation for gas-liquid extraction of substances from animal and plant raw materials”] / Kasyanov G.I., Kosenko O.V.; applicant and patentee Kuban State Technological University. — № 2023501422; appl. 24.03.2023; publ. 26.07.2023, Bul. № 8. — 1 p. [in Russian]

8. Starkov A.S. Issledovanie kinetiki izvlecheniya rastitel'nogo masla sverhkriticheskim dioksidom ugleroda [Study of Vegetable Oil Extraction Kinetics by Supercritical Carbon Dioxide] / A.S. Starkov, G.E. Melnik, K.A. Starkov // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats]. — 2020. — № 1-2. — P. 41-46. — DOI: 10.25812/VNIIG.2020.80.80.023. [in Russian]

9. Siazin I.Y. Prognozirovanie svojstv binarnoj smesi DMJe/SO2 dlja ispol'zovanija v holodil'nyh mashinah [Prediction of properties of binary mixture DME/CO2 for use in refrigeration machines] / I.Y. Siazin, G.I. Kasyanov, A.V. Gukasyan [et al.] // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda [Bulletin of the International Academy of Refrigeration]. — 2023. — № 3. — P. 20-28. — DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-20-28. [in Russian]

10. Anderson A. Extraction of Palm Oil Using Propane, Ethanol and its Mixtures as Compressed Solvent / A. Anderson, A. Jesus, C. Lays [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. — 2013. — № 1. — P. 245-253. — DOI: 10.1016/j.supflu.2013.06.011.

11. Wongwaiwech D. Bioactives from Crude Rice Bran Oils Extracted Using Green Technology / D. Wongwaiwech, S. Kamchonemenukool, C.-T. Ho [et al.] // Molecules. — 2023. — Vol. 28. — № 6. — DOI: 10.3390/molecules28062457.

12. Liu H.-M. Subcritical Butane and Propane Extraction of Oil from Rice Bran / H.-M. Liu, F.-Y. Wang, H.-Y. Li [et al.] // BioResources. — 2015. — Vol. 10. — № 3. — DOI: 10.15376/biores.10.3.4652-4662.

13. Gu L.-B. Process Optimization and Characterization of Fragrant Oil from Red Pepper (Capsicum annuum L.) Seed Extracted by Subcritical Butane Extraction: Subcritical Butane Extraction Oil from Red Pepper Seed / L.-B. Gu, H.-L. Pang, K.-K. Lu [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2016. — Vol. 97. — № 6. — DOI 10.1002/jsfa.7992.

14. Bauer M.C. The Use of Dimethyl Ether as an Organic Extraction Solvent for Biomass Applications in Future Biorefineries: A user-oriented review / M.C. Bauer, A. Kruse // Fuel. — 2019. — Vol. 254. — № 9. — DOI: 10.1016/j.fuel.2019.115703.

15. Hegel P. Phase Equilibrium Engineering of the Extraction of Oils from Seeds Using Carbon Dioxide + Propane Solvent Mixtures / P. Hegel, M.S. Zabaloy, G. Mabe [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. — 2007. — Vol. 42. — № 3. — P. 318-324. — DOI: 10.1016/j.supflu.2006.12.023.

16. Wang Q. Effective Lipid Extraction from Undewatered Microalgae Liquid Using Subcritical Dimethyl Ether / Q. Wang, K. Oshita, M. Takaoka // Biotechnology for Biofuels. — 202. — Vol. 14. — № 1. — DOI: 10.1186/s13068-020-01871-0.