

ISOLATION OF RICE HUSK OIL AND PREPARATION OF FATTY ACID MONOGLYCERIDES

*B.G.Alimkhan, S.A.Kanzhar, A.S.Tapalova, A.B.Toibazarova, A.T.Shuragazyieva, N.A.Akhatayev, B.B.Abzhalelov, N.O.Appazov**

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

**Corresponding author e-mail: nurasar.82@korkyt.kz*

Abstract. Rice husk, a widespread by-product of agro-industrial production, contains residual vegetable oils rich in unsaturated fatty acids. In this study, an eco-friendly and efficient strategy is presented for converting rice husk biomass into monoglycerides — compounds of significant industrial relevance. The process began with extraction of the raw material in a semi-automatic Soxhlet apparatus (ASV-6M) using ethyl acetate, which demonstrated the highest efficiency among six tested solvents, providing an oil yield of up to 2.82%. The obtained oil was subjected to catalytic glycerolysis under moderate pressure and temperature conditions (220 °C, 4 h) in the presence of potassium hydroxide, resulting in approximately 68.87% monoglyceride formation. Product purification was carried out by a two-step method: crystallization in an acetone–water system followed by column chromatography on silica gel, which enabled isolation of monoglycerides with a purity of up to 93%. Structural and compositional analyses were performed using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and infrared (IR) spectroscopy, which confirmed the presence of key esters — monoglycerides of palmitic and oleic acids. Mass spectrometry data confirmed molecular weights consistent with the structures of the monoglycerides, while the IR spectra revealed characteristic absorption bands corresponding to ester and hydroxyl functional groups.

Keywords: rice husk; extraction; vegetable oil; monoglycerides of palmitic and oleic acid.

<i>Alimkhan Bekzhan Galymzhanuly</i>	<i>Bachelor of Technical Sciences; E-mail: mortalbeka@gmail.com</i>
<i>Kanzhar Saken Alimuly</i>	<i>Bachelor of Technical Sciences; E-mail: sakenkanzhar@gmail.com</i>
<i>Tapalova Anipa Seidalykyzy</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: Tapalova_A@korkyt.kz</i>
<i>Toibazarova Altynkul Bakytkyzy</i>	<i>Master of Sciences; E-mail: toibazarovaaltynkul@gmail.com</i>
<i>Shuragazyieva Assel Torebekkyzy</i>	<i>Master of Technical Sciences; E-mail: assel.290982@mail.ru</i>
<i>Akhatayev Nurlibek Akarystanuly</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: nurlibek.83@mail.ru</i>
<i>Abzhalelov Bakhytbek Baidosuly</i>	<i>Candidate of Biological Sciences; E-mail: bakhytbek@korkyt.kz</i>
<i>Appazov Nurbol Orynbasaruly</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, professor; E-mail: nurasar.82@korkyt.kz</i>

Citation: Alimkhan B.G., Kanzhar S.A., Tapalova A.S., Toibazarova A.B., Shuragazyieva A.T., Akhatayev N.A., Abzhalelov B.B., Appazov N.O. Isolation of rice husk oil and preparation of fatty acid monoglycerides. *Chem. J. Kaz.*, **2025**, 4(92), 41-51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-4.2710-1185.49>

ВЫДЕЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И ПОЛУЧЕНИЕ МОНОГЛИЦЕРИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА ЕГО ОСНОВЕ

Б.Г. Алимхан, С.А. Канжар, А.С. Тапалова, А.Б. Тойбазарова, А.Т. Шурагазиева, Н.А. Ахатаев, Б.Б. Абжалелов, Н.О. Аппазов*

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. Рисовая шелуха, являющаяся массовым отходом агропромышленного производства, содержит остаточные растительные масла, богатые ненасыщенными жирными кислотами. В данной работе представлена экологически безопасная и эффективная стратегия преобразования биомассы рисовой шелухи в моноглицериды – соединения, имеющие важное промышленное значение. Процесс начинался с экстракции сырья в полуавтоматическом аппарате Сокслета (АСВ-6М) с использованием этилацетата, который показал наибольшую эффективность среди шести протестированных растворителей, обеспечив выход масла до 2.82%. Полученное масло подвергали каталитической реакции глицеролиза при умеренных условиях давления и температуры (220 °C, 4 часа) в присутствии гидроксида калия, что привело к образованию около 68.87% моноглицеридов. Для очистки продукта применяли двухэтапный метод: кристаллизацию в системе ацетон-вода и последующую колоночную хроматографию на силикагеле, что позволило выделить моноглицериды с чистотой до 93%. Структурный и компонентный анализ выполняли методами газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) и инфракрасной спектроскопии (ИК), которые подтвердили присутствие ключевых эфиров – моноглицеридов пальмитиновой и олеиновой кислот. Данные масс-спектрометрии подтвердили молекулярные массы, соответствующие структурам моноглицеридов, а ИК-спектры выявили характерные полосы поглощения, относящиеся к сложнэфирным и гидроксильным функциональным группам.

Ключевые слова: рисовая шелуха; экстракция; растительное масло; моноглицериды пальмитиновой и олеиновой кислот.

<i>Алимхан Бекжан Галымжанулы</i>	<i>бакалавр технических наук</i>
<i>Канжар Сакен Алимұлы</i>	<i>бакалавр технических наук</i>
<i>Тапалова Анина Сейдалықызы</i>	<i>кандидат химических наук</i>
<i>Тойбазарова Алтынкуль Бакытқызы</i>	<i>магистр наук</i>
<i>Шурагазиева Асель Торебекқызы</i>	<i>магистр технических наук</i>
<i>Ахатаев Нурлыбек Акарыстанұлы</i>	<i>кандидат химических наук</i>
<i>Абжалелов Бакытбек Байдосұлы</i>	<i>кандидат биологических наук</i>
<i>Аппазов Нурбол Орынбасарұлы</i>	<i>кандидат химических наук, профессор</i>

1. Введение

Устойчивое использование агропромышленных отходов – ключевое направление зелёной химии. Рисовая шелуха составляет около 20 % мирового производства риса (более 150 млн т/год) [1]. Ранее считавшаяся отходом, она привлекает внимание благодаря содержанию кремнезёма, целлюлозы и липидов [2]. Липиды являются ценным сырьём для синтеза глицеридов, применяемых как эмульгаторы и стабилизаторы в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности [3,4].

Содержание масла в шелухе достигает 21.44 %, основными компонентами являются олеиновая, линолевая и пальмитиновая кислоты [5]. Производство моноглицеридов традиционно основано на растительных

маслах [6]. Разработаны экологичные методы их получения: щелочной гидролиз этиловых эфиров (выход до 76 %) [7], гидролиз в сверхкритическом CO_2 (выход до 49 %) [5], а также каталитические процессы с использованием CaO и MgO при 220 °C [8] или ионных жидкостей (выход свыше 69 %) [9,10].

Предложенный подход основан на извлечении масла из шелухи и его гидролизе с получением биоэмульгаторов при мягких условиях и высокой селективности [11]. Рисовая шелуха содержит 30–35 % целлюлозы, 15–25 % лигнина и до 95 % SiO_2 в золе, что делает её ценным сырьём [2]. Она используется в удобрениях, строительных материалах, адсорбентах, топливе и для производства биоэтанола [3,12]. Наиболее эффективны методы экстракции растворителями, сверхкритическими жидкостями и ультразвуком [13,14], позволяющие получить масла с антиоксидантной активностью [15,16].

2. Экспериментальная часть

Экстракция органических соединений. Экстракцию органических соединений проводили методом Сокслета с использованием 30 г рисовой шелухи и 250 мл растворителя (ацетон, гексан, хлороформ, этилацетат, ксилол, бензол) при температуре кипения в течение 5 ч. После удаления растворителя экстракт взвешивали и рассчитывали выход. Наиболее эффективным оказался этилацетат.

Реакция гидролиза. 50 г масла из шелухи смешивали с 25 г глицерина и 0,75 г катализатора (CaO , NaOH или KOH), реакцию проводили в автоклаве при 220 °C 4 ч под азотом. После охлаждения до 160 °C смесь нейтрализовали фосфорной кислотой, фильтровали и декантировали.

Очистка моноглицеридов. Смесь глицеридов растворяли в системе ацетон-вода (3:1), охлаждали до 5–10 °C, удаляли ди- и триглицериды фильтрацией, моноглицериды очищали колоночной хроматографией на силикагеле, получая до 93 % чистого продукта.

Аналитические методы. Состав определяли методом ГХ-МС (Agilent 7890A/5975C). Условия хроматографии: подвижная фаза (газ-носитель) – гелий; температура инжектора – 325 °C, коэффициент деления потока 1000:1; программирование температуры колонки: начальная 50 °C (1 мин), подъем 5 °C/мин до 280 °C, выдержка 5 мин; общее время анализа – 53 мин. Детектор масс-спектрометра работал в режиме электронной ионизации. Использовалась капиллярная колонка HP-5MS, длина 30 м, внутренний диаметр 0.25 мм, неподвижная фаза – 95% полидиметилсилоксан и 5% фенилметилполисилоксан.

ИК-спектры регистрировали на спектрометре IR-Prestige 21 (Shimadzu, Япония, 2008) в диапазоне длин волн 400–4000 cm^{-1} без специальной подготовки образцов, с использованием приставки для ИК-спектроскопии в режиме ослабленного полного внутреннего отражения (ATR) DuraSampl IR

II с одиночным отражением (алмазный кристалл на подложке из ZnSe) производства Smiths (США).

3. Результаты и обсуждение.

Эффективность экстракции. Наибольший выход масла обеспечил этилацетат (2.82 %), затем ацетон (2.21 %) и хлороформ (2.12 %). Неполарные растворители показали низкие результаты.

Таблица 1 - Выход вещества в различных растворителях

№	Растворитель	Вес рисовой шелухи, г	Объем растворителя, мл	Масса полученного вещества, г	Выход вещества, %
1	Этилацетат	30	250	0.8454	2.821
2	Ацетон			0.6617	2.206
3	Хлороформ			0.6348	2.116
4	Гексан			0.5421	1.807
5	Ксилол			0.5403	1.801
6	Бензол			0.4886	1.628

Полученное растительное масло было проанализировано с использованием ИК-спектрометра (рисунок 1). В ИК-спектре масла наблюдаются характерные полосы поглощения: полоса поглощения карбонильной группы при 1743 см^{-1} и интенсивная полоса при 1161 см^{-1} , соответствующая колебаниям сложноэфирной связи C–O.

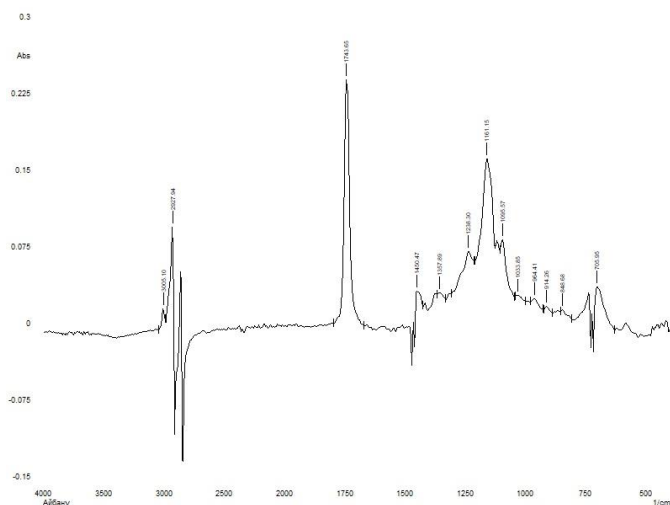


Рисунок 1 - ИК-спектр растительного масла, полученного экстракцией из рисовой шелухи.

Глицеролиз. Глицеролиз — обратимая реакция триглицеридов с глицерином с образованием моно- и диглицеридов. На выход влияют температура, время, соотношение реагентов и катализатор. В работе исследованы CaO, NaOH и KOH, различающиеся основностью и растворимостью, что определяет кинетику реакции [17].

Процесс проводили при 220 °С, 4 ч, соотношении масло:глицерин = 2:1 и 1.5 % катализатора в автоклаве под азотом. Наибольший выход (68 %) обеспечил KOH благодаря высокой растворимости и сильной основности. Для CaO выход составил ~66 %, для NaOH – 57 %; их меньшая активность и низкая растворимость снижали эффективность, а CaO вызывал образование осадка, усложняя очистку.

Таблица 2 - Выход моноглицерида после глицеролиза

Катализатор	Рисовое масло, г	Глицерин, г	Масса катализатора, г	Выход, %	Выход, г	Объем растворителя Ацетон + вода, мл
CaO	50	25	0,75	67.44	33.72	487.5
NaOH	50	25	0,75	57.68	28.84	487.5
KOH	50	25	0,75	68.87	34.43	487.5

После глицеролиза смесь содержала моно-, ди-, триглицериды, глицерин и примеси, поэтому требовалась высокая чистота моноацилглицеридов для пищевых и фармацевтических целей [18]. Первым этапом проводили селективную кристаллизацию в системе ацетон–вода (3:1) с охлаждением до 5–10 °С, что обеспечивало осаждение ди- и триглицеридов и сохранение моноглицеридов в растворе [19–21]. После фильтрации раствор обогащали методом колоночной хроматографии на силикагеле с элюированием хлороформом, что давало фракцию до 93 % моноглицеридов [22].

Состав подтверждали ГХ–МС и ИК–Фурье спектроскопией. Хроматограмма показывала два пика (45 и 52 мин), соответствующих моноглицеридам пальмитиновой и олеиновой кислот; отсутствие ранних пиков указывало на высокую чистоту продукта.

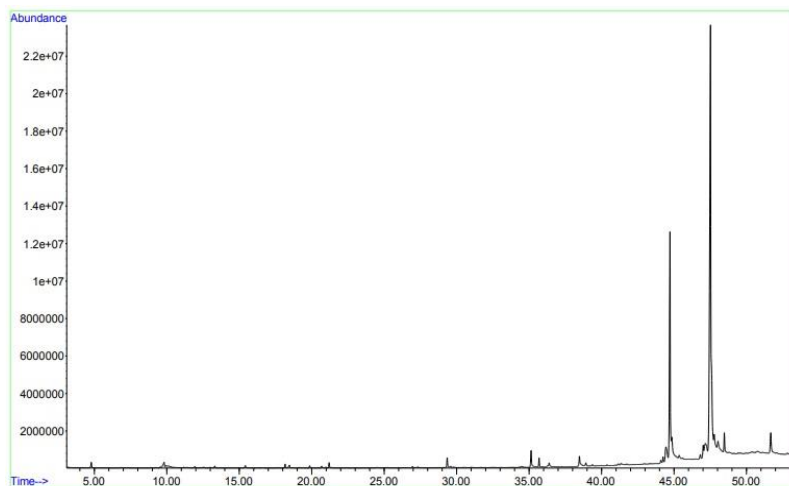


Рисунок 2 - Хроматограмма смеси моноглицеридов.

Масс-спектр (Рисунок 3) показывает пики, подтверждающие наличие моноглицерида пальмитиновой кислоты. Основной ион при $m/z = 299.3$ соответствует её молекулярной массе (330 г/моль). Содержание в образце – 27.18%.

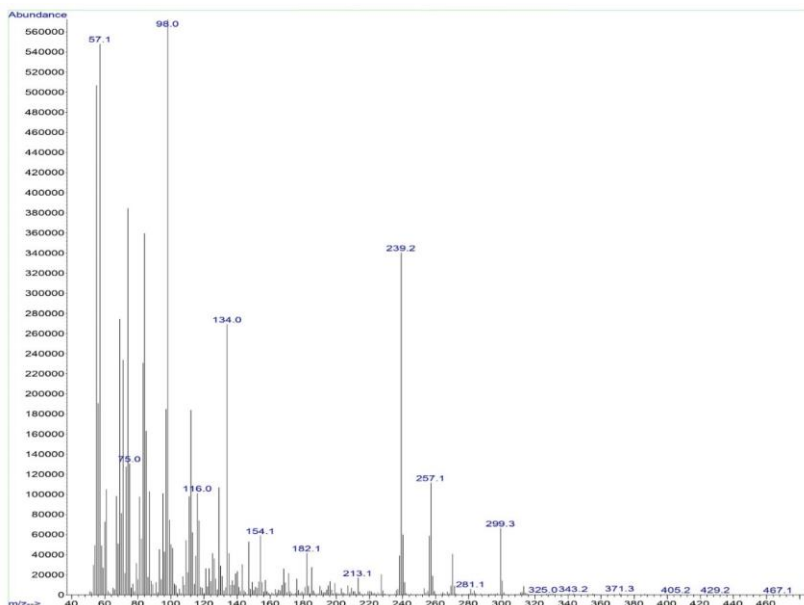


Рисунок 3 - Масс-спектр моноглицерида олеиновой кислоты.

В масс-спектре моноглицерида пальмитиновой кислоты наблюдаются интенсивные пики m/z 57, 75 и 98 (глицериновый фрагмент) и m/z 239, 257, 281 (пальмитиновая цепь), что подтверждает образование целевого моноглицерида и согласуется с литературными данными.

Спектр моноглицерида олеиновой кислоты (Рисунок 4) демонстрирует молекулярный ион $[M]^+$ при m/z 356.3, соответствующий формуле $C_{21}H_{40}O_4$. Характерные пики m/z 55, 77, 98 (алифатическая цепь), 137, 165 (глицериновый остов) и 221 (частичное отщепление цепи) подтверждают структуру соединения. Слабые пики 280–325 и основной сигнал m/z 264 соответствуют продуктам фрагментации и подтверждают правильность идентификации; содержание моноглицерида составило 72.82 %.

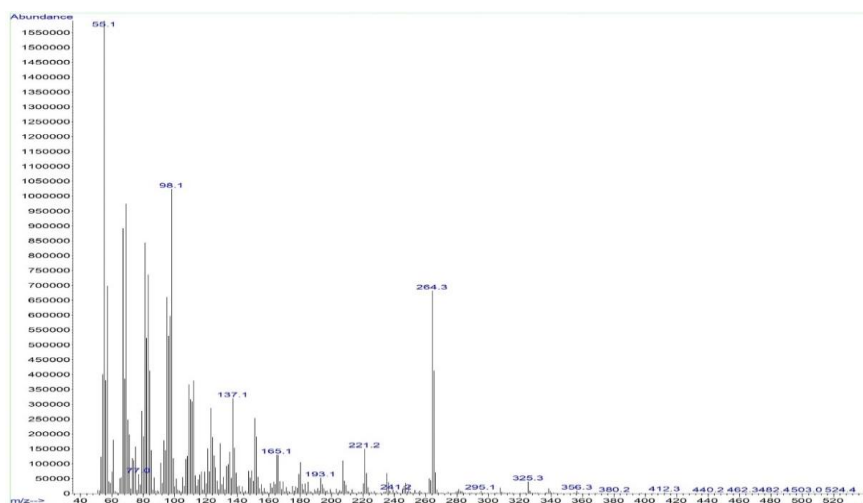


Рисунок 4 - Масс-спектр моноглицерида олеиновой кислоты.

Молекулярные массы соединений, определённые масс-спектрометрией, совпали с расчетными. Спектры (рис. 5) показали характерные пики, подтверждающие структуру моноглицеридов [23-24]. В ИК-спектрах отмечено поглощение карбонильных групп ($\approx 1735\text{ см}^{-1}$) и широкая полоса $3000\text{--}3500\text{ см}^{-1}$, соответствующая гидроксильным группам.

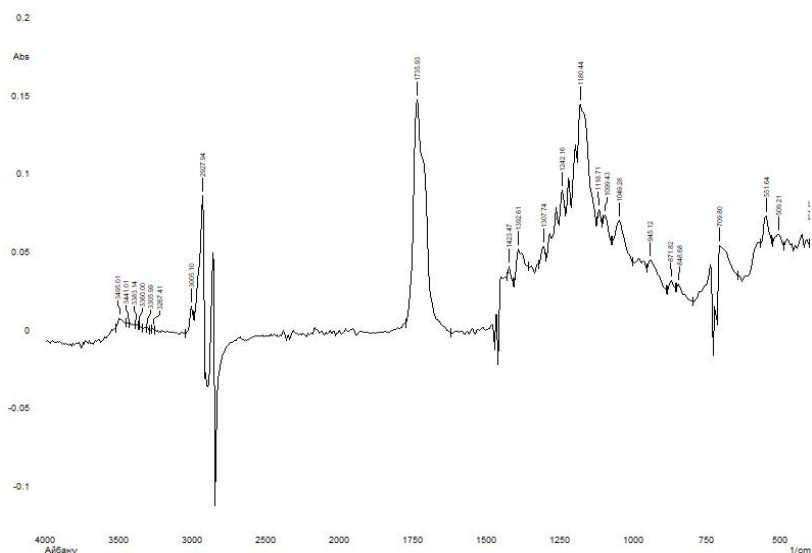


Рисунок 5 - ИК-спектр смеси моноглицеридов пальмитиновой и олеиновой кислот.

Предложенный метод, основанный на селективном осаждении и хроматографической очистке, обеспечивает получение высокоочищенных моноглицеридов, пригодных для применения в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

4. Заключение.

Исследование демонстрирует экологически ориентированный подход к получению функциональных липидов из рисовой шелухи. Экстракция в аппарате Сокслета показала, что наибольший выход масла (2.82%) достигается при использовании этилацетата, что делает его ценным сырьём для дальнейших превращений.

Глицеролиз масла исследован с участием катализаторов CaO, NaOH и KOH; наилучший результат дал KOH с выходом моноглицеридов до 47% при 220 °C за 4 ч. Для очистки применены селективная кристаллизация и колоночная хроматография, обеспечившие чистоту моноглицеридов до 93%, что соответствует требованиям пищевой и фармацевтической промышленности.

Структура и чистота подтверждены ГХ–МС и ИК-спектроскопией, установлено присутствие моноглицеридов пальмитиновой и олеиновой кислот.

Благодарность. Авторы благодарят Лабораторию инженерного профиля НАО «Қызылординский университет им. КORKYT АТА» за техническую поддержку проведенных исследований.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23490056), а также в рамках проекта PhytoAPP EU (2021–2025) при поддержке Европейского Союза по программе HORIZON 2020 в соответствии с грантовым соглашением Марии Складовской-Кюри № 101007642.

Конфликт интересов: Конфликт интересов между авторами отсутствует.

КҮРІШ ҚАУЫЗЫНАН МАЙ БӨЛІП АЛУ ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ МОНОГЛИЦЕРИДТЕРІН АЛУ

Б.Г.Алимхан, С.А.Қанжар, А.С.Тапалова, А.Б.Тойбазарова, А.Т.Шурагазиева, Н.А.Ахатаев, Б.Б.Абжалелов, Н.О.Аппазов*

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Түйіндеме. Күріш қауызы, агроөнеркәсіптік өндірістің жаппай қалдығы болып табылатын, қанықпаған май қышқылдарына бай өсімдік майларының қалдықтарын қамтиды. Бұл жұмыста күріш қауызы биомассасын өнеркәсіптік маңызы зор қосылыстар – моноглицеридтерге экологиялық қауіпсіз және тиімді түрлендіру стратегиясы ұсынылған. Сокслет жартылай автоматты аппараты (АСВ-6М) көмегімен шикізатты этилацетатында экстракциялаудан басталды, ол сынақтан өткен алты еріткіштің ішінде ең жоғары тиімділікті көрсетіп, майдың шығымын 2.82%-ға дейін қамтамасыз етті. Алынған май орташа қысым мен температура жағдайларында (220 °C, 4 сағат) калий гидроксиді қатысында глицеролиздің каталитикалық реакциясына ұшыратылды, нәтижесінде шамамен 68.87% моноглицеридтер түзілді. Өнімді тазарту үшін екі сатылы әдіс қолданылды: ацетон-су жүйесінде кристалдандыру және одан кейін силикагельде бағаналы хроматография көмегімен бөлу, бұл моноглицеридтерді 93%-ға дейінгі тазалықпен бөліп алуға мүмкіндік берді. Құрылымдық және компоненттік талдау газды хромато-масс-спектрометрия және инфракызыл спектроскопия әдістерімен жүргізілді, олар негізгі эфирлердің – пальмитин қышқылы мен олеин қышқылы моноглицеридтерінің бар екенін растады. Масс-спектрометрия деректері моноглицеридтердің құрылымына сәйкес келетін молекулалық массаларды растады, ал ИК-спектрлері күрделі эфирлік және гидроксилдік функционалды топтарға тән жұтылу жолақтарын анықтады.

Түйін сөздер: күріш қауызы; экстракция; өсімдік майы; пальмитин және олеин қышқылдарының моноглицеридтері.

<i>Алимхан Бекжан Ғалымжанұлы</i>	<i>техникалық ғылымдар бакалавры</i>
<i>Қанжар Сәкен Әлімұлы</i>	<i>техникалық ғылымдар бакалавры</i>
<i>Тапалова Анипа Сейдалықызы</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, доцент</i>
<i>Тойбазарова Алтынқұл Бақытқызы</i>	<i>ғылым магистрі</i>
<i>Шурагазиева Әсел Торебекқызы</i>	<i>техникалық ғылымдар магистрі</i>
<i>Ахатаев Нұрлыбек Ақарыстанұлы</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Абжалелов Бақытбек Байдосұлы</i>	<i>биология ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Аппазов Нұрбол Орынбасарұлы</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, профессор</i>

References

1. Chen H., Wang H., Xu C., Zhang S., Li Z., Huang Y., Huang G. Rice husk at a glance: From agro-industrial to modern applications. *Rice Science*, **2024**, 31(1), 14–32. DOI: 10.1016/j.rsci.2023.08.005.
2. Murugesan A., Balamurugan K., Gowthaman., Mohammed Shabeer R., Abishek R. Investigation on production of edible oil from rice husk. *Journal of Manufacturing Engineering*, **2022**, 17(4), 153–159.
3. Zhang H., Xu C., Lu Y., Hansen I., Yin H. Lipophilic compounds from maize fiber and rice husk residues – An overview. *Journal of Biotechnology*, **2020**, 305, 115–125. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2020.01.019.
4. Liu H., Yang J., Xu Y., Wen J., Zhou J., Xu Z., Li J., Sun X., Si W. Effects of glycerol monooleate on improving quality characteristics and baking performance of frozen dough breads. *Foods*, **2025**, 14(2), 326. DOI: 10.3390/foods14020326.
5. Temelli F., Halley P., Stout J.E., Cremaschi P., Neveu C. Conversion of oils to monoglycerides by glycerolysis in supercritical carbon dioxide. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **1996**, 73(3), 385–390. DOI: 10.1007/BF02517943.
6. Nitbani F.O., Tjitda P.J.P., Nurohmah B.A., Wogo H.E. Preparation of fatty acid and monoglyceride from vegetable oil. *J. Oleo Sci.*, **2020**, 69(4), 277–295. DOI: 10.5650/jos.ess19168.
7. Hobuss C.B., da Silva F.A., dos Santos M.A.Z., de Pereira C.M.P., Schulz G.A.S., Bianchini D. Synthesis and characterization of monoacylglycerols through glycerolysis of ethyl esters derived from linseed oil by green processes. *RSC Adv.*, **2020**, 10(4), 2327–2336. DOI: 10.1039/C9RA07834G.
8. Temelli F., Brennecke J.F., Magda J.J. Kinetic modeling of glycerolysis for soybean oil in supercritical CO₂. *J. Supercrit. Fluids*, **2005**, 34(2), 181–188. DOI: 10.1007/s11746-005-1118-x.
9. Wei T., Zhang S., Zhong J., Duan P., Wang Y. Monoacylglycerol synthesis by glycerolysis of soybean oil using alkaline ionic liquid. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2015**, 54(18), 4944–4951. DOI: 10.1021/ie5049548.
10. Mu J., Harris C., Tay E.-H. Enhanced glycerolysis of fatty acid methyl ester by static mixer: kinetic analysis and optimal conditions for monoglyceride and diglyceride production. *ACS Omega*, **2024**, (Early Access). DOI: 10.1021/acsomega.4c04858.
11. Neji S.B., Chaari A., Ladero Galán M., Frikha F., Bouaziz M. Application of Box–Behnken design in production of monoglyceride with esterification of glycerol and oleic acid. *ACS Omega*, **2023**, 8(31), 28813–28820. DOI: 10.1021/acsomega.3c03772.
12. Fathurahman R., Surjosatyo A. Utilization of rice husks as a fuel for gasification – A review. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **2022**, 1034, 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/1034/1/012065.
13. Yuan Y., Yue Q., Gao B. A comprehensive review on the utilization of rice husk and its bioactive compounds for industrial applications. *J. Clean. Prod.*, **2020**, 277, 123978. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123978.
14. Mehta R., Bahadur D., Tiwari A. Soxhlet extraction of bioactive compounds from agro-waste: Efficiency and kinetics. *Ind. Crops Prod.*, **2019**, 139, 111519. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111519.
15. Kaur S., Ubeyitogullari A. Extraction of phenolic compounds from rice husk via ethanol-water-modified supercritical carbon dioxide. *Heliyon*, **2023**, 9(3), e14196. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14196.
16. Satyawali Y., Cauwenberghs L., Maesen M., Dejonghe W. Lipase catalyzed solvent free synthesis of monoacylglycerols in the presence of pervaporation for water removal. *Chem. Eng. Process.*, **2021**, 166, 108475. DOI: 10.1016/j.cep.2021.108475.
17. Silveira D.G., Sampaio R.M., Sant’Ana H.B. Production of mono- and diglycerides via glycerolysis using alkaline earth metal oxides as catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2015**, 54(18), 4944–4951. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b00317.
18. Gomes J.F., Souza A.G., Fernandes V.J. Efficient production of monoglycerides from vegetable oils by glycerolysis using heterogeneous base catalysts. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **2019**, 96, 131–143. DOI: 10.1002/aocs.12184.
19. Luo H., Zhai Z., Fan W., Cui W., Nan G., Li Z. Monoacylglycerol synthesis by glycerolysis of soybean oil using alkaline ionic liquid. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2015**, 54(18), 4923–4928. DOI: 10.1021/ie5049548.

-
20. Ghanbari R., Ghaedi M., Asfaram A., Hajati S. Separation of monoglycerides using adsorption chromatography: A comparative study. *Sep. Purif. Technol.*, **2018**, 199, 97–105. DOI: 10.1016/j.seppur.2018.01.050.
21. Beltrán M.T., Sanz M.T., Beltrán S. Purification of monoacylglycerols by column chromatography: A green process approach. *J. Chromatogr. A*, **2016**, 1453, 105–113. DOI: 10.1016/j.chroma.2016.05.070.
22. Hobuss C.B., da Silva F.A., dos Santos M.A.Z., de Pereira C.M.P., Schulz G.A.S., Bianchini D. Synthesis and characterization of monoacylglycerols through the glycerolysis of ethyl ester mixture (biodiesel) from linseed oil. *RSC Adv.*, **2020**, 10(4), 2327–2336. DOI: 10.1039/C9RA07834G.
23. Kralova I., Sjöblom J. Analytical methods in lipid research: IR and MS techniques in the characterization of mono- and diglycerides. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **2009**, 146(1–2), 1–14. DOI: 10.1016/j.cis.2008.08.001.
24. Zeng J., Liu Yu-xuan., Li Fang., Liu Jian-ming., Wang Liang., Xu Hui. Identification of monoglycerides and diglycerides by GC-MS and FT-IR techniques. *Food Chem.*, **2013**, 141(3), 3606–3611. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.029.