



Зберігання та переробка продукції

УДК 665.3:66.061.3

© 2025

ДОСЯГНЕННЯ В ГАЛУЗІ ЕКСТРАГУВАННЯ ЖИРНИХ ОЛІЙ НЕТРАДИЦІЙНИМИ РОЗЧИННИКАМИ

Д.В. Матюхов¹, Т.В. Матвєєва², С.Л. Євтушенко³, В.В. Лебедєв⁴

^{1, 2}кандидати технічних наук

⁴доктор технічних наук

^{1, 4}Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна

^{2, 3}Український науково-дослідний інститут олій та жирів

Національної академії аграрних наук України

просп. Дзюби, 2-А, м. Харків, 61019, Україна

e-mail: ¹Dmytro.Matiukhov@khpi.edu.ua, ²matveeva7390@gmail.com,

³evtyshenko_svetlana@ukr.net, ⁴volodymyr.lebediev@khpi.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-4700-9064, ²0000-0002-3867-8146,

³0000-0003-1473-6150, ⁴0000-0001-6934-2349

Надійшла 18.03.2025

Мета. Проаналізувати сучасний стан питань, пов'язаних із застосуванням розчинників, альтернативних нафтовим, для екстрагування рослинних олій, виокремити і проаналізувати дані стосовно етанольної екстракції в контексті переробки олійної сировини, а також визначити перспективи подальших досліджень і впровадження технології екстрагування соняшникової олії етиловим спиртом. **Методи.** Використовували ретроспективний бібліографічний аналіз, кількісний аналіз результатів пошуку на основі статистичних даних бази Scopus, трендовий аналіз кількості публікацій за досліджуваний період, контент-аналіз наукових публікацій, метод логіко-структурного аналізу, синтез і тематичне узагальнення даних. **Результати.** Визначено новий тренд, що полягає в екстрагуванні олій рідинами під значним надлишковим тиском (PL-екстракція). Цей метод може забезпечити 85–94%-й вихід олії, порівняний з ефектом від застосування ультразвуку. До того ж цей метод сприяє отриманню більшої концентрації фенольних сполук. Однак за його використання стійкість олії до окислення є нижчою порівняно з гексановою екстракцією. Економічна ефективність PLE оцінюється як доволі висока (рентабельність інвестицій ROI = 133,5%). Етанол демонструє високу

екстрактивну здатність щодо токоферолів і фосфоліпідів, але значно зменшує вміст восків. Крім того, він ефективно вилучає цукри, екстрагуючи понад 75% їх початкової кількості. Ефективні коефіцієнти дифузії (D_d) олії становили $9,94 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ за температури $50 \text{ }^\circ\text{C}$ та $3,11 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ за температури $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Дифузія цукрів ($6,50 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ за $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $1,51 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ за $60 \text{ }^\circ\text{C}$) свідчить про значну термозалежність процесу. Висновки. Одним із найекологічніших та безпечніших екстрагентів є етиловий спирт. Значний інтерес у дослідників викликає екстракція в умовах підвищеного тиску як альтернатива методу з використанням речовин у суперкритичному стані. Варто зауважити різноманітність олійної сировини, що використовується у дослідженнях із застосуванням альтернативних екстрагентів.

Ключові слова: екстрагування олії, PL-екстракція, альтернативні розчинники, етанол, гексан, 2-метилтетрагідрофуран, диметиловий ефір, олійне насіння, соняшник, соя, фосфоліпіди, токофероли, цукри.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202505-07>

Технологічний процес екстрагування дає змогу досягти майже повного вилучення олії з повножирних або частково знежирених олійних матеріалів. Залишкова олійність у такому разі може становити менше 1%. Вже близько століття у промисловості як екстрагент застосовують нафтові розчинники, які хоча й мають різні назви (екстракційний бензин, технічний гексан, петролейний ефір), але за своїм складом та фізичними властивостями майже не відрізняються один від одного і належать до групи нафтових розчинників. Нафтові розчинники, попри свою доступність і відносну легкість регенерації, мають ряд недоліків та обмежень, пов'язаних насамперед із безпекою та екологічністю. Вони не є відновлювальним ресурсом, а олію після контакту з нафтовим розчинником не можна застосовувати для харчових потреб без додаткового оброблення.

Дослідницький процес, що триває впродовж усіх років існування олієдобувної промисловості у звичному для нас вигляді, полягає, зокрема, в удосконаленні технології екстрагування, пошуку нових прийомів та умов його проведення,

а також альтернативних розчинників. Кожний із них має свої переваги й недоліки і подекуди істотно впливає на гіпотетичну технологічну схему виробництва. Попри окремі епізодичні випадки впровадження технологій, заснованих на використанні розчинників, альтернативних нафтовим, їх сукупність не можна охарактеризувати як таку, що сприяє поступовому та безперервному розвитку галузі. Якісний стрибок у впровадженні нових технологій потребує дуже важливих змін в економічній інфраструктурі, правовому полі та стратегічному плануванні. Однак у світі функціонує певна кількість пілотних установок, що дають змогу накопичувати промисловий досвід і проводити різноманітні експериментальні дослідження.

Слід зазначити, що альтернативні розчинники мають різну природу, від чого залежить склад продуктів та перебіг процесів, у яких вони беруть участь. Можливість комбінування розчинників із прийомами інтенсифікації екстрагування, а також із комплексом умов, яких потребує ефективне застосування того чи іншого розчинника, зумовлює значну кількість напрямів досліджень і розробок.

Загалом можна виокремити дві основні технології, що сформувалися завдяки сталим взаємозв'язкам між усіма означеними складовими процесу екстрагування:

- екстрагування органічними полярними розчинниками, переважно спиртами, які можуть містити незначну кількість води;
- екстрагування речовинами, що перебувають у суперкритичному стані (SF-екстракція).

За другої технології важливою умовою є те, що ці самі речовини в нормальних умовах є газоподібними. Найчастіше це діоксид вуглецю, але також можна використовувати пропан, бутан, фреони.

Водний та водно-ферментативний процеси вилучення олій в контексті цієї статті не розглядаються, оскільки вода в них не відіграє ролі розчинника для олії. У перспективі більш привабливою для впровадження у промислових масштабах на виробництвах основних світових олій вважається ідея заміни нафтових розчинників етиловим спиртом, оскільки екстрагування речовинами, що перебувають у суперкритичному стані, здійснюється під великим тиском, тому цей варіант екстракції більш ефективний для вилучення дороговартісних олій чи інших компонентів олійної сировини, а також має перспективи як аналітичний метод.

У Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» [1, 2] й Українському науково-дослідному інституті олій та жирів НААН [3] дослідження щодо застосування етилового спирту для екстрагування соняшникової олії проводили з 2004 по 2014 р. На сучасному етапі розвитку технологій знання про етанольну екстракцію знову потребують актуалізації.

Мета досліджень — проаналізувати періодичну літературу із зазначеної тематики за останні 12 років, визначити нові тенденції та основні досягнення в галузі екстрагування жирних олій

альтернативними розчинниками і порівняти їх можливості з можливостями традиційних нафтових розчинників. Особливу увагу слід приділити вивченню впливу різних чинників на ефективність екстрагування, аналізу змін у наукових підходах, а також перспективам впровадження нових ідей. Окремим завданням має стати відслідкування перелічених аспектів для досліджень, пов'язаних із застосуванням етилового спирту.

Матеріали та методи досліджень.

Для досягнення поставлених цілей використовували ретроспективний аналіз наукової літератури, кількісний аналіз результатів пошуку на основі метрик бази даних Scopus, трендовий аналіз динаміки наукової активності впродовж досліджуваного періоду, контент-аналіз змістовної частини наукових публікацій, метод логіко-структурного аналізу дослідження, синтез та тематичне узагальнення даних. Для визначення перспективних напрямів у дослідницьких підходах та технологічних рішеннях застосовували прогностичний метод.

Результати досліджень. Серед значущих робіт, у яких пропонуються альтернативні розчинники для екстрагування олії, слід згадати дослідження [4], автори якого стверджують, що 2-метилтетрагідрофуран (MeTHF), добутий із побічних продуктів переробки сільськогосподарських культур, дає змогу досягти навіть кращого виходу ріпакової олії та мікронутрієнтів, ніж гексан. Економічне та енергетичне оцінювання процесу його отримання свідчить про конкурентоздатність MeTHF у виробничих умовах. У дослідженні [5] для екстрагування ріпакової олії застосовували 5 розчинників (етанол, ізопропанол, d-лімонен, α -пінен і p-цимен), які були протестовані щодо ефективності порівняно з гексаном. Найкращі результати показав p-цимен, який забезпечив високу ефективність вилучення ліпідів, хоча вміст мікронутрієнтів у кінцевому продукті виявився нижчим.

Використання розчинників на кшталт етилацетату, етанолу, а також суміші останнього з водою досліджували в контексті екстрагування багатї на омега-3 жирні кислоти олії з насіння синяка подорожничкового (*Echium plantagineum* L.) [6]. Було протестовано кілька методів, зокрема екстракцію під тиском (PLE), мікрохвильову (MAE) та ультразвукову екстракцію (UAE). Найкращі результати дало проведення PL-екстракції з використанням етанолу за температури 150 °C протягом 10 хв, що забезпечило 31,2%-й вихід олії, подібно до класичного методу Сокслета (31,3%). Метод UAE за температури 55 °C також показав високий вихід олії — 29,1%.

Дослідження процесу екстрагування олії з насіння моринги (*Moringa oleifera*) показало, що використання суміші розчинників може бути ефективною стратегією для підвищення виходу продукту [7]. Найкращі результати забезпечує використання 100 мл петролейного ефіру з 50 мл гексану та 50 мл метанолу — вихід становить 50,7%, а також 100 мл гексану зі 100 мл метанолу — вихід сягає 51,33%. Водночас за використання лише петролейного ефіру цей показник не перевищував 40,7%.

Для екстрагування залишкової олії з пальмового волокна, де її вміст становить 5–7%, гексан не є найкращим варіантом через температурну деградацію каротиноїдів у разі його видалення. Використання комп'ютерного моделювання (CAMD) у поєднанні з аналітичним ієрархічним процесом (АНР) дає змогу оптимізувати процес підбору альтернативних розчинників [8]. Отримані в такий спосіб варіанти мали кращі екологічні характеристики за такої самої або навіть вищої ефективності екстракції порівняно з гексаном.

Про можливість застосування зрідженого диметилового ефіру (LDME), а також спиртів, ацетону, етилацетату, води в субкритичному та діоксиду карбону

в суперкритичному стані для екстрагування олії з рисових висівок повідомляється у праці [9]. LDME продемонстрував кращу розчинну здатність до олії в цілому та до основного цінного компонента — γ -оризанолу. Оптимальні умови екстракції (30 °C; співвідношення розчинника і зразка — 10 мл і 1 г; час — 10 хв) забезпечили ефективно вилучення олії без використання допоміжних розчинників. Склад жирних кислот у кінцевому продукті залишався майже таким самим, як в отриманому з використанням гексану, а структури білків і вуглеводів у висівках не зазнавали негативних змін.

Отже, до переліку згаданих у вступній частині цієї роботи альтернативних розчинників слід додати розчинники, що перебувають у субкритичному стані, зокрема диметилловий ефір, який має температуру кипіння –24 °C. Перевага іншого розчинника — 2-метилтетрагідрофурана — полягає в тому, що його можна отримати з органічних відходів, але його токсичність більша, ніж у гексану. З огляду на те, що увага до етилового спирту в контексті екстрагування олій зберігається на досить високому рівні, а також враховуючи результати власних експериментальних досліджень, автори провели пошук та аналіз сучасної літератури, присвяченої застосуванню саме цього розчинника як екстрагента для олійних матеріалів. У результаті було виявлено низку тенденцій та спільних рис:

- Найпоширенішим способом інтенсифікації екстрагування олій за участі етанолу виявилася рідинна екстракція під тиском (PLE). Додатковий аналіз джерел показав, що подібні роботи почали з'являтися лише у 2016 р. і наразі їх не більше 9. Йдеться, зокрема, про праці [10–17].

- Етанольна екстракція часто досліджується в комбінації з іншим відомим методом інтенсифікації дифузії — ультразвуковим впливом. Ультразвукова

екстракція (UAE) досліджується у працях [18–22].

- Можливості мікрохвильової екстракції (MAE) — допоміжного способу інтенсифікації з використанням мікрохвильового випромінювання — тема досліджень [23–25].

- Попри те що водно-ферментативний спосіб отримання олій зазвичай є самостійним напрямом, знайдено роботи, в яких для його реалізації використовують етиловий спирт [21, 26].

- Вплив етанолу на екстракцію олій вивчається не тільки окремо, а й порівняно з іншими розчинниками, насамперед з гексаном, а також з багатокомпонентними розчинниками (зазвичай бінарними). Роль другого компонента найчастіше відіграє вода. Етанол протиставляють гексану в працях [16, 23, 27, 28]. У дослідженнях [24, 29] етанол використовують у суміші з гексаном. Автори праці [30] для екстрагування застосовують суміш етанолу з акриловими ефірами, а у праці [31] розглядають масоперенос у системі етанол — ізопропанол. Про використання із зазначеною метою водного етанолу йдеться у роботах [32–35].

На характеристики процесу та перспективи впровадження етанольної екстракції істотно впливає тип сировини. Найчастіше науковці досліджують основні світові олійні культури: сою [12, 16, 27, 28, 30, 31, 33, 36–41], ріпак [25, 42–43], соняшник [13, 44, 45], льон [46], коноплі [21], а також рисові висівки [17, 47–49], висівки проса [32], зародки кукурудзи [50], горіхи — арахіс [35, 51, 52], ліщину [18, 19], волоський (грецький) горіх [53], макуху плодів олійної пальми [34].

Варто згадати і про дослідження менш традиційних джерел олій: насіння кавуна [14], редису [15], півонії [24, 26], насіння таких екзотичних фруктів і рослин, як манго [23, 54], маракуя [11], кеш'ю (*Anacardium occidentale*) [10], плодів пальм *Attalea speciosa* [55] та *Euterpe*

edulis [56], чагарників *Jatropha curcas* [57] і *Cnidocolus quercifolius* (Favela) [22]. Для промисловості важливе значення мають вторинна сировина та альтернативні джерела олій, зокрема: макуха з насіння рицини [58] та руколи [59], кавові відходи [60], деревна біомаса [61], побічні продукти виробництва біопалива [36].

Головним предметом досліджень з екстрагування олій етанолом є кінетика й термодинаміка процесу [14, 30, 37, 57, 58, 60]; висвітлюються і питання рівноваги [55]. Оптимізації процесу екстрагування присвячені роботи [18, 19, 43, 50]. Простежується певний інтерес до антиоксидантної активності олій, отриманих з використанням етанолу [62], та антиоксидантної стабільності [43]. З темою етанольної екстракції тісно пов'язана тема біодизелю [30, 39, 63].

Пізнавально буде проаналізувати результати досліджень, присвячених застосуванню альтернативних розчинників для екстракції олій, насамперед етанолу в умовах високого тиску.

Головною відмінністю цього процесу від традиційного є підвищений тиск, який у згаданих дослідженнях варіював від 5 [15] до 15 МПа [11] за температури від 30 [10] до 150 °С [15]. Попри те що температура 130–150 °С, скоріше, є винятком, оскільки у більшості досліджень науковці застосовують температурні режими 30–85 °С, сама можливість здійснювати екстракцію за високих температур створює нові перспективи. Так, у праці [15] оптимальною була температура 150 °С за тиску 5 МПа і забезпечувався кращий вихід, ніж у разі температури 135 °С, а зі зростанням тиску вище 5 МПа результат не покращувався. Крім того, високі температури не завжди є доречними, оскільки надмірне нагрівання може знижувати якість олій. Перевага PL-екстракції полягає не тільки в збільшенні виходу цільових речовин, а й у пришвидшенні процесу. Період екстракції в згаданих дослідженнях становив 10–13 хв. Гідромодуль (перевага розчинника

над матеріалом) у них був типовим для етанольної екстракції без підвищеного тиску — 3 : 1.

У дослідженні [11] найвищий вихід забезпечив ультразвуковий метод, проте у разі застосування PLE (15 МПа, 35 °С, 1 мл/хв) отримали майже такий самий вихід, до того ж цей режим забезпечував найвищий вихід фенольних сполук та високу антиоксидантну активність продукту. Порівняно з олією, вилученою за використання гексану, олія, отримана PLE-способом, характеризувалася нижчою стійкістю до окиснення [12], але економічний аналіз підтвердив доцільність застосування етанолу — завдяки зростанню рентабельності інвестицій ROI до 133,5% та короткому терміну окупності. Під час екстракції соняшникової олії метод PLE за температури 84 °С забезпечив 93,93% виходу олії, що перевищує показники методу SFE (87,58% у разі тиску 32 МПа) [13]. Проте SF-екстракція дала змогу отримати дещо вищий вміст токоферолів — 91,17 мг/100 г порівняно з 83,16 мг/100 г у разі PL-екстракції.

Що стосується соєвої олії, то в циклічному процесі з використанням етанолу [16] досягнуто 86,16% виходу (температура — 80 °С, час — 12 хв), тоді як застосування гексану забезпечило вихід 94,40% (85 °С та 13 хв), при цьому зміна розчинника не впливала на профіль основних жирних кислот і рівень β -ситостеролу. Наведені дані свідчать про те, що PL-екстракція залежно від об'єкта й умов порівняння може приводити як до кращих, так і до гірших результатів щодо вилучення з олій супутніх речовин та окиснювальної стабільності продукту. Що стосується виходу олії, то PL-екстракція дещо програє екстракції гексаном, але забезпечує кращий результат порівняно із SF-екстракцією.

Велике значення для промисловості України має виробництво соняшникової олії, тому варто проаналізувати знайдені дослідження, присвячені цій темі. Окрім

висновків, зроблених у праці [13], які ми вже навели, вельми корисними будуть дані досліджень [44, 45]. Автори здійснювали етанольну екстракцію олії та інших спирторозчинних речовин із соняшникової макухи, яка мала такі характеристики: довжина гранул — $49,17 \pm 7,57$ мм, радіус — $9,56 \pm 0,34$ мм, початковий вміст води — $6,00 \pm 0,59\%$ с.р., вміст олії — $22,84 \pm 0,55\%$ с.р., етанолорозчинні речовини — $32,2 \pm 1,3\%$ с.р., загальний вміст цукрів — $44,56 \pm 4,60$ мг/г (на с.р.). Цукри були представлені сахарозою ($51,1 \pm 1,8\%$), рафінозою ($35,7 \pm 0,9\%$), а також, у меншій кількості, глюкозою ($4,1 \pm 0,7\%$), рамнозою ($3,2 \pm 0,5\%$), галактозою ($2,1 \pm 0,7\%$), фруктозою ($2,1 \pm 0,5\%$) та арабінозою ($1,7 \pm 0,4\%$).

Екстрактивну здатність етанолу визначали методом Сокслета. Вміст компонентів, розчинних у гексані (фаза олії), був подібним до отриманого за використання n-гексану. У процесі застосування етанолу було екстраговано на 70% менше восків, які можуть бути викристалізовані, і щонайменше на 38% більше токоферолів та фосфоліпідів. Крім того, етанол проявив високу здатність до вилучення цукрів, головним чином рафінози та сахарози, екстрагуючи понад 75% початкового вмісту цукрів. Автори дослідили кінетику етанольної екстракції за температури 50 та 60 °С у реакторі періодичної дії. Встановлено, що швидкість екстракції в умовах рівноваги обмежується швидкістю розчинення екстрактивних речовин. Ефективні коефіцієнти дифузії (D_e) олії варіювали від $9,94 \times 10^{-10}$ до $3,11 \times 10^{-9}$ м²/с за температури 50 та 60 °С.

Унаслідок етанольної екстракції інших сполук зі складу екструдату соняшникової макухи (фосфоліпідів, токоферолів, цукрів) кількість цукрів в екстрагованому матеріалі зменшилася на 60% за температури 50 °С та до 80% за температури 60 °С. Ефективний коефіцієнт дифузії токоферолів був вищим, ніж фосфоліпідів (відповідно, $3,950 \times 10^{-9}$ та $2,596 \times$

$\times 10^{-9}$ м²/с), при цьому обидва значення виявилися не залежними від температури у зазначеному діапазоні. Для цукрів D_e становив $6,50 \times 10^{-10}$ м²/с за 50 °С та $1,51 \times 10^{-9}$ м²/с за 60 °С.

Зазначимо, що інших досліджень, присвячених етанольній екстракції соняшникової олії, окрім як у варіанті PLE, з 2012 р. в журналах, індексованих Scopus, не знайдено.

Висновки

Перелік альтернативних розчинників для отримання олії постійно розширюється. До числа перспективних розчинників можна додати 2-метилтетрагідрофуран (MeTHF), p-цимен, d-лімонен, α-пінен, зріджений диметилловий ефір (LDME). Новою тенденцією є екстракція олій рідинами під значним тиском (PL-екстракція). Традиційні джерела олій, як і раніше, широко використовуються для експериментів з етанолом. Найбільша кількість досліджень, як і раніше, присвячена вилученню соєвої олії. Водночас чималий інтерес

для науковців становлять екзотичні, нетрадиційні джерела олій, а також вторинна та альтернативна сировина (кавові відходи, деревна біомаса, побічні продукти виробництва біопалива).

Порівняльний аналіз показав, що PL-екстракція етанолом може забезпечувати вихід олії до 94%, що перевищує показники SF-екстракції, але поступається традиційній гексановій екстракції. Економічний аналіз PL-екстракції етанолом підтверджує конкурентоспроможність цієї технології, що свідчить про її актуальність.

Matiukhov D.¹, Matveieva T.², Yevtushenko S.³, Lebedev V.⁴

^{1,4}National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2 Купручова Стр., Kharkiv, 61002, Ukraine; ^{2,3}Ukrainian Research Institute of Oils and Fats of NAAS, 2-A Dziuba avenue, Kharkiv, 61019, Ukraine; e-mail: ¹Dmytro.Matiukhov@khp.edu.ua, ²matveeva7390@gmail.com, ³evtyshenko_svetlana@ukr.net, ⁴volodymyr.lebediev@khp.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-4700-9064, ²0000-0002-3867-8146, ³0000-0003-1473-6150, ⁴0000-0001-6934-2349

Advances in extracting fatty oils using unconventional solvents

Goal. To analyze the current state of issues related to the use of solvents, alternative to petroleum, for the extraction of vegetable oils, to isolate and analyze the data on ethanol extraction in the context of processing of oil raw materials, as well as to determine the prospects for further research and implementation of the technology of extracting sunflower oil with ethyl alcohol. **Methods.** Retrospective bibliographic analysis, quantitative analysis of search results based on Scopus database statistics, trend analysis of the number of publications during the study period, content

analysis of scientific publications, method of logical structural analysis, synthesis, and thematic generalization of data were used.

Results. A new trend was identified in the extraction of oils by liquids under significant overpressure (PL-extraction, PLE). This method could provide an 85–94% yield of oil, which was comparable to the effect of ultrasound. In addition, this method contributed to a higher concentration of phenolic compounds. However, the oxidation resistance of the oil was lower than that of hexane extraction. The economic efficiency of PLE was estimated as quite high (ROI return on investment — 133.5%). Ethanol showed a high extractive ability against tocopherols and phospholipids, but significantly reduced the content of waxes. In addition, it effectively removed sugars, extracting more than 75% of their original amount. Effective diffusion coefficients (D_e) of the oil were 9.94×10^{-10} м²/с at 50 °С and 3.11×10^{-9} м²/с at 60 °С. Diffusion of sugars (6.50×10^{-10} м²/с for 50 °С, 1.51×10^{-9} м²/с for 60 °С) indicated a significant thermal dependence of the process. **Conclusions.** One of the most environmentally friendly and safe extractants is ethyl alcohol. Of considerable

interest to researchers is extraction under high-pressure conditions as an alternative to the method using substances in a supercritical state. It is worth noting the variety of oil raw materials used in studies using alternative extractants.

Key words: oil extraction, PL-extraction, alternative solvents, ethanol, hexane, 2-methyl-tetrahydrofuran, dimethyl ether, oil seeds, sunflower, soybean, phospholipids, tocopherols, sugars.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202505-07>

Бібліографія

1. Матюхов Д.В. Вплив умов етанольної екстракції речовин макухи соняшнику на динаміку процесу. *Збірник научних трудов SWorld*. 2014. 11(1). P. 51–55. doi: 10.3390/ijms16048430
2. Matukhov D.V. Ethanol extraction processing of sunflower product obtained from seed kernels by flaking. *Scientific enquiry in the contemporary world: Theoretical basics and innovative approach*. 2014. 5(2). P. 130–142. doi: 10.3390/ijms16048430
3. Петік П.Ф., Гірман В.В., Мазур О.В. Дослідження кінетики екстрагування соняшникової макухи етиловим спиртом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. 72(6). P. 13–18. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30426
4. Sicaire A.-G., Vian M., Fine F. et al. Alternative bio-based solvents for extraction of fat and oils: Solubility prediction, global yield, extraction kinetics, chemical composition and cost of manufacturing. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015. 16(4). P. 8430–8453. doi: 3390/ijms16048430
5. Li Y., Fine F., Fabiano-Tixier A.-S. et al. Evaluation of alternative solvents for improvement of oil extraction from rapeseeds. *Comptes Rendus Chimie*. 2014. 17(3). P. 242–251. doi: 10.1016/j.crci.2013.09.002
6. Castejón N., Luna P., Señoráns F. J. Alternative oil extraction methods from *Echium plantagineum* L. seeds using advanced techniques and green solvents. *Food Chemistry*. 2018. 244. P. 75–82. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.014
7. Ojewumi M.E., Olikeze F., Babatunde D.E. et al. Alternative solvent combination ratios for *Moringa oleifera* seed oil extraction. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. 9(12). P. 295–307.
8. Ooi J., Promentilla M.A.B., Tan R.R. et al. Alternative Solvent Design for Oil Extraction from Palm Pressed Fibre via Computer-Aided Molecular Design. Green Technologies for the Oil Palm Industry/ed. D.C.Y. Foo., M.K. Tun Abdul Aziz. Singapore: Springer Singapore, 2019. P. 33–55. doi: 10.1007/978-981-13-2236-5_2
9. Daisuk P., Takami S., Honda M. et al. Liquefied dimethyl ether as alternative extraction solvent for high γ -oryzanol rice bran oil: Systematic HSP theory and experimental evaluation. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2024. 9(4). P. 577–591. doi: 10.1016/j.jobab.2024.06.002
10. Zanqui A.B., Silva C. . da, Ressutte J.B. et al. Extraction and assessment of oil and bioactive compounds from cashew nut (*Anacardium occidentale*) using pressurized n-propane and ethanol as cosolvent. *Journal of Supercritical Fluids*. 2020. 157. P. 104686. doi: 10.1016/j.supflu.2019.104686
11. Ribeiro D.N., Alves F.M.S., Santos Ramos V.H. dos et al. Extraction of passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.) pulp oil using pressurized ethanol and ultrasound: Antioxidant activity and kinetics. *Journal of Supercritical Fluids*. 2020. 165. doi: 10.1016/j.supflu.2020.104944
12. Ramos P.R., Rodrigues L.D.C., Zabot G.L. et al. Extraction of Soybean Oil with Pressurized Ethanol: Prospects for a New Processing Approach with an Analysis of the Physical Properties of Crude Oil and Implementation Costs through Scale-Up in an Intermittent Process. *Processes*. 2024. 12(10). P. 2224. doi: 10.3390/pr12102224
13. Vicentini-Polette C.M., Yamada B.S., Ramos P.R. et al. High Pressure Extraction as a Green Alternative to the Conventional Sunflower Oil (*Helianthus annuus*) Production Process — Extraction with Pressurized Ethanol in an Intermittent Process and with Supercritical Fluid. *Global Challenges*. 2024. 8(11). P. 2300335. doi: 10.1002/gch2.202300335
14. Colivet J., Oliveira A.L., Carvalho R.A. Influence of the bed height on the kinetics of watermelon seed oil extraction with pressurized ethanol. *Separation and Purification Technology*. 2016. 169. P. 187–195. doi: 10.1016/j.seppur.2016.06.020

15. Ferreira de Mello B.T., Stevanato N., Filho L.C. et al. Pressurized liquid extraction of radish seed oil using ethanol as solvent: Effect of pretreatment on seeds and process variables. *Journal of Supercritical Fluids*. 2021. 176. P. 105307. doi: 10.1016/j.supflu.2021.105307
16. Ramos P.R., Vicentini-Polette C.M., Mazalli M.R. et al. Pressurized liquid extraction of soybean oil using intermittent process with ethanol and hexane as solvent: Extraction yield and physicochemical parameters comparison. *Journal of Food Process Engineering*. 2024. 47(2). P. 1–19. doi: 10.1111/jfpe.14562
17. Echenique J.V.F., Alvarez-Rivera G., Luna V.M.A. et al. Pressurized liquid extraction with ethanol in an intermittent process for rice bran oil: Evaluation of process variables on the content of β -sitosterol and phenolic compounds, antioxidant capacity, acetylcholinesterase inhibitory activity, and oil quality. *LWT*. 2024. 207. P. 116650. doi: 10.1016/j.lwt.2024.116650
18. Cai K.-X., Ni J.-J., Qin W.-W. et al. Optimization of Ultrasonic Assisted Ethanol Extraction Process for Hybrid Hazelnut Oil. *Science and Technology of Food Industry*. 2020. 41(6). P. 180–184. 203. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.030
19. Wong S.T., Tan M.C., Geow C.H. Optimization of ultrasound-assisted ethanol extraction of hazelnut oil. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. 43(10). doi: 10.1111/jfpp.14138
20. Turki S.S., Mohammed N.K., Muhiadin B.J. et al. Sustainable extraction of Amber rice bran oil (*Oryza sativa* L.): a comparative study between conventional and ultrasound-assisted extraction using ethanol as solvent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. 1413(1). doi: 10.1088/1755-1315/1413/1/012070.49
21. Zhang W., Yu J., Wang D. et al. Ultrasonic-ethanol pretreatment assisted aqueous enzymatic extraction of hemp seed oil with low Δ 9-THC. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024. 103. P. 106766. doi: 10.1016/j.ultsonch.2024.106766
22. Santos K.A., Silva E.A. da, Silva C. da. Ultrasound-assisted extraction of favela (*Cnidocolus quercifolius*) seed oil using ethanol as a solvent. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. 45(6). doi: 10.1111/jfpp.15497
23. Balacuit J.N.G., Guillermo J.D.A., Buenafe R.J.Q. et al. Comparison of Microwave-Assisted Extraction to Soxhlet Extraction of Mango Seed Kernel Oil using Ethanol and n-Hexane as Solvents. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*. 2021 21(2). P. 158–169. doi: 10.22146/ajche.63533
24. Sun X., Li W., Li J. et al. Process optimization of microwave-assisted extraction of peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) seed oil using hexane–ethanol mixture and its characterisation. *International Journal of Food Science and Technology*. 2016. 51(12). P. 2663–2673. doi: 10.1111/ijfs.13255
25. Sánchez R.J., Fernández M.B., Nolasco S.M. Ethanol extraction of canola oil: Kinetics and effects of type of solvent and microwave-pretreatment. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2019. 26. doi: 10.1051/ocl/2019025
26. Song Y., Zhang W., Wu J. et al. Ethanol-Assisted Aqueous Enzymatic Extraction of Peony Seed Oil. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2019. 96(5). P. 595–606. doi: 10.1002/aocs.12204
27. Potrich E., Miyoshi S.C., Machado P.F.S. et al. Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 244. P. 118660. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118660
28. Oshin T.A., Abhulimen K.E., Abadi J.C. et al. Comparative simulation studies on the countercurrent multi-stage solid–liquid extraction of soybean oil by ethanol and hexane. *Chemical Papers*. 2024. 78(9). P. 5657–5669. doi: 10.1007/s11696-024-03509-z
29. Phan V.M., Tran H.C., Sombatpraiwan S. Rice bran oil extraction with mixtures of ethanol and hexane. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2021. 43(3). P. 630–637.
30. Dagostin J.L.A., Carpiné D., Corazza M.L. Extraction of soybean oil using ethanol and mixtures with alkyl esters (biodiesel) as co-solvent: Kinetics and thermodynamics. *Industrial Crops and Products*. 2015. 74. P. 69–75. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.04.054
31. Comerlato A., Voll F.A., Daga A.L. et al. Mass transfer in soybean oil extraction using ethanol/isopropyl alcohol mixtures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2021. 165. P. 120630. doi: 10.1016/j.jheatmasstransfer.2020.120630

32. Guifeng L., Jianhu W., Huijuan B. et al. Process Optimization for Extraction of Millet Small Bran Oil by Aqueous Ethanol. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 392(5). doi: 10.1088/1757-899X/392/5/052023.42
33. Sá L.A. de, Capellini M.C., Rodrigues C.E.C. et al. Soybean oil deacidification by liquid–liquid extraction using hydrous ethanol. *Journal of Food Process Engineering*. 2022. 45(7). doi: 10.1111/jfpe.13523
34. Somnuk K., Thawomprasert J., Chanjula P. et al. Response surface methodology optimization of oil extraction from oil palm meal (OPM) with hydrous ethanol and its pilot-scale application with recirculation of extraction solvent. *Australian Journal of Crop Science*. 2019. 13(6). P. 954–965. doi: 10.21475/ajcs.19.13.06.p1705
35. Wang S., Guo Y., Xie D. et al. The underlying reasons for the efficient extraction of peanut oil by aqueous ethanol combined with roasting conditioning pretreatment. *Food Chemistry*. 2024. 447. P. 138934. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.138934
36. Papchenko V., Matveeva T., Khareba V., Khareba O. Fractionation of oil of a new line of sunflower seeds. *Journal of Food Science and Technology-Ukraine*. 2021. 15(3). P. 71–79. doi: 10.15673/fst.v15i3.2117
37. Sytnik N., Mazaieva V., Fediakina Z. et al. Porivnialnyi analiz skladu ta termichnykh vlastyvoستي roslыnyykh zhyriv. *Visnyk ahraranoi nauky*. 2021. 7. P. 76–82. doi: 10.31073/agrovisnyk202107-09
38. Matveeva T., Mazaieva V., Papchenko V. et al. Development of oleogels with a reduced content of saturated fatty acids. *Journal of Food Science and Technology-Ukraine*. 2022. 16(4). P. 31–39. doi: 10.15673/fst.v16i4.2549
39. Sangaletti-Gerhard N., Romanelli T. L., Vieira T.M.F. D.S. et al. Energy flow in the soybean biodiesel production chain using ethanol as solvent extraction of oil from soybeans. *Biomass and Bioenergy*. 2014. 66. P. 39–48. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.04.004
40. Toda T.A., Sawada M.M., Rodrigues C.E.C. Kinetics of soybean oil extraction using ethanol as solvent: Experimental data and modeling. *Food and Bioprocess Processing*. 2016. 98. P. 1–10. doi: 10.1016/j.fbp.2015.12.003
41. Ferreira M.C., Gonçalves D., Besa L.C.B.A. et al. Soybean oil extraction with ethanol from multiple-batch assays to reproduce a continuous, countercurrent, and multistage equipment. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2022. 170. P. 108659. doi: 10.1016/j.cep.2021.108659
42. Cîteau M., Albe Slabi S., Joffre F. et al. Improved rapeseed oil extraction yield and quality via cold separation of ethanol miscella. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2018. 25(2). P. 2257–6614. doi: 10.1051/ocl/2018012
43. Ebadi M., Latifi Z., Molaie S. Optimization of Ethanol Extraction of Rapeseed (*Brasica napus* L.) by Response Surface Methodology and Comparison of Antioxidant Effect of Extract on Oxidative Stability of Soybean Oil. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 2022. 18(121). P. 39–55. doi: 10.52547/fsct.18.121.4
44. Bäuml E.R., Carrin M.E., Carelli A.A. Diffusion of tocopherols, phospholipids and sugars during oil extraction from sunflower collets using ethanol as solvent. *Journal of Food Engineering*. 2017. 194. P. 1–8. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.09.003
45. Bäuml E.R., Carrin M.E., Carelli A.A. Extraction of sunflower oil using ethanol as solvent. *Journal of Food Engineering*. 2016. 178. P. 190–197. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.020
46. Tekin K., Akalin M. K., Karagöz S. Experimental design for extraction of bio-oils from flax seeds under supercritical ethanol conditions. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2016. 18(2). P. 461–471. doi: 10.1007/s10098-015-1021-y
47. Oliveira R., Oliveira V., Aracava K.K. et al. Effects of the extraction conditions on the yield and composition of rice bran oil extracted with ethanol — A response surface approach. *Food and Bioprocess Processing*. 2012. 90(1). P. 22–31. doi: 10.1016/j.fbp.2011.01.004
48. Kamimura J.A.A.M., Aracava K.K., Rodrigues C.E.C. Experimental data and modeling of rice bran oil extraction kinetics using ethanol as solvent. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 2017. 52(12). P. 1921–1928. doi: 10.1080/01496395.2017.1307224
49. Mas'ud F., Bangngalino H., Yusuf M. et al. Rice bran oil extraction by ethanol: optimization of γ -oryzanol and polyphenol. *Food Research*. 2023. 7(2). P. 289–296. doi: 10.26656/fr.2017.7(2).011
50. Ni S., Yang R., Zhang W. et al. Process optimization for extraction of corn germ oil by

aqueous ethanol. *Nongye Gongcheng Xuebao/ Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016. 32(7). P. 283–289. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.07.040

51. Wang S., Guo Y., Zhu X. et al. Effects of the Roasting-Assisted Aqueous Ethanol Extraction of Peanut Oil on the Structure and Functional Properties of Dreg Proteins. *Foods*. 2024. 13(5). P. 758. doi: 10.3390/foods13050758

52. Magalhães P.J.C., Gonçalves D., Aracava K.K. et al. Experimental Comparison between Ethanol and Hexane as Solvents for Oil Extraction from Peanut Press Cake. *Foods*. 2023. 12(15). P. 2886. doi: 10.3390/foods12152886

53. Bou Orm R., Citeau M., Comitis A. et al. Walnut oil deacidification by liquid-liquid extraction with ethanol in a single and multistage cross-flow process. *OCL. Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2020. 27(5). doi: 10.1051/ocl/2020029

54. Mas'ud F., Indriati S., Todingbua' A. et al. Mango seed kernel oil extraction with ethanol: Optimization of oil yield and polyphenol. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*. 2021. 27(3). P. 207–214. doi: 10.2298/CICEQ200128039M

55. Sampaio Neto O.Z., Gonçalves D., Bergara S.D.F. et al. Oil extraction from semi-defatted babassu bagasse with ethanol: Liquid-liquid equilibrium and solid-liquid extraction in a single stage. *Journal of Food Engineering*. 2020. 276. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109845

56. Silva O.L. de, Castelo-Branco N.V., de Carvalho A.A. G. et al. Ethanol extraction renders a phenolic compounds-enriched and highly stable jussara fruit (*Euterpe edulis* M.) oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2017. 119(11). doi: 10.1002/ejlt.201700200.

57. Santos S.B.D., Martins M.A., Caneschi A.L. et al. Kinetics and Thermodynamics of Oil Extraction from *Jatropha curcas* L. Using

Ethanol as a Solvent. *International Journal of Chemical Engineering*. 2015. 2015. P. 871236. doi: 10.1155/2015/871236

58. Amarante R.C.A., Oliveira P.M., Schwantes F.K. et al. Oil extraction from castor cake using ethanol: Kinetics and thermodynamics. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2014. 53(16). P. 6824–6829. doi: 10.1021/ie500508n

59. Bateni H., Bateni F., Karimi K. Effects of Oil Extraction on Ethanol and Biogas Production from *Eruca sativa* Seed Cake. *Waste and Biomass Valorization*. 2017. 8(6). P. 1897–1905. doi: 10.1007/s12649-016-9731-x

60. Krinski I.M., Leite V.R., Och S.H. et al. Kinetics and Thermodynamics of Oil Extraction from Spent Coffee Grounds Using Ethanol as Solvent. *2024 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*. 2024. 27. P. 474–479. doi: 10.1109/SPEEDAM61530.2024.10609180

61. Zhao B., Wang H., Xu S. et al. Influence of extraction solvents on the recovery yields and properties of bio-oils from woody biomass liquefaction in sub-critical water, ethanol or water–ethanol mixed solvent. *Fuel*. 2022. 307. P. 121930. doi: 10.1016/j.fuel.2021.121930

62. Plangklang T., Khuwijitjaru P., Klinchongkon K. et al. Chemical composition and antioxidant activity of oil obtained from coconut meal by subcritical ethanol extraction. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. 15(5). P. 4128–4137. doi: 10.1007/s11694-021-00989-5

63. Guimarães M.G., Evaristo R.B.W., De MacEdo J.L. et al. Extraction and Characterization of Pequi Seed Oil for Biodiesel Production: A Green Management of Waste to Biofuel Using Ethanol and Heterogeneous Catalysis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2022. 33(4). P. 327–339. doi: 10.21577/0103-5053.20210151