

УДК 665.3.002.5:664.34

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.125>

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРЕСУВАННЯ НА ОКИСНУ СТАБІЛЬНІСТЬ ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ

Максим Миколайович Гудзенко

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7959-3627>

Національний університет біоресурсів і природокористування

03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Віктор Володимирович Сарана

кандидат юридичних наук

<https://orcid.org/0000-0002-5102-2264>

Національний університет біоресурсів і природокористування

03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Зінаїда Андріївна Бурова

<https://orcid.org/0000-0002-4712-6298>

Національний університет біоресурсів і природокористування

03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Дмитро Володимирович Горенков

аспірант

<https://orcid.org/0009-0004-5133-311X>

Національний університет біоресурсів і природокористування

03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Анотація. Лляна олія є цінним джерелом поліненасичених жирних кислот, однак її висока чутливість до окиснення робить стабільність продукту критично залежною від технологічних параметрів віджиму. Комерційні виробники змушені балансувати між підвищенням виходу олії та збереженням її біологічної цінності, що зумовлює потребу в систематичному аналізі впливу температури, тиску та типу пресів на якість готового продукту. Узагальнити наукові дані щодо впливу параметрів механічного віджиму на окисну стабільність лляної олії та визначити оптимальні технологічні умови, що дозволяють мінімізувати деградацію поліненасичених жирних кислот. Використано аналітичний, порівняльний та структурно-логічний методи. Проведено системний перегляд результатів досліджень щодо механічного віджиму, холодного пресування та гідравлічних технологій. Особливу увагу приділено залежності пероксидного числа, кислотного числа та швидкості первинної ініціації окиснення від технологічних режимів. Узагальнено, що підвищення температури віджиму понад 40–50 °C істотно прискорює первинні окисні процеси, ініціюючи руйнування альфа-ліноленової кислоти. Встановлено, що шнекові преси забезпечують більший вихід олії, однак супроводжуються інтенсивнішим локальним нагріванням і, відповідно, зниженням стабільності продукту. Натомість гідравлічний віджим дає змогу зберігати низьку температуру протягом усього процесу, що сприяє кращому збереженню поліненасичених жирних кислот, хоча вихід олії є нижчим. Проаналізовано конструктивні особливості пресів і встановлено технологічні параметри, що найбільше впливають на початкове окиснення: тривалість віджиму, питомий тиск та швидкість подачі сировини. Сформовано рекомендації для виробників щодо оптимізації технологічних режимів для отримання лляної олії з високою окисною стабільністю. Результати можуть бути використані у виробництві холодно пресованих олій, при модернізації пресового обладнання та під час розроблення технологій з підвищеною збережуваністю біоактивних компонентів.

Ключові слова: насіння льону, лляна олія, гідравлічні преси, шнекові преси, холодне пресування, якість, окислення

UDC 640.4:001.895:663.93

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.125>

INFLUENCE OF PRESSING PARAMETERS ON THE OXIDATIVE STABILITY OF FLAXSEED OIL

Maksym Hudzenko

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7959-3627>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Viktor Sarana

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5102-2264>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Zinaida Burova

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4712-6298>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Dmytro Gorenkov

PhD student

<https://orcid.org/0009-0004-5133-311X>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Abstract. Linseed oil is a valuable source of polyunsaturated fatty acids, but its high sensitivity to oxidation makes the stability of the product critically dependent on the technological parameters of pressing. Commercial producers are forced to balance between increasing the yield of oil and preserving its biological value, which necessitates the need for systematic analysis of the influence of temperature, pressure, and type of presses on the quality of the finished product. To summarize scientific data on the influence of mechanical pressing parameters on the oxidative stability of linseed oil and to determine the optimal technological conditions that allow minimizing the degradation of polyunsaturated fatty acids. Analytical, comparative, and structural-logical methods were used. A systematic review of research results on mechanical pressing, cold pressing, and hydraulic technologies was conducted. Special attention was paid to the dependence of peroxide value, acid value, and the rate of primary oxidation initiation on technological modes. It is generalized that increasing the pressing temperature above 40–50 °C significantly accelerates the primary oxidative processes, initiating the destruction of alpha-linolenic acid. It was established that screw presses provide a higher oil yield, but are accompanied by more intense local heating and, accordingly, a decrease in product stability. In contrast, hydraulic pressing allows maintaining a low temperature throughout the process, which contributes to better preservation of polyunsaturated fatty acids, although the oil yield is lower. The design features of the presses were analyzed and the technological parameters that most affect the initial oxidation were established: pressing duration, specific pressure and feed rate of raw materials. Recommendations were formed for manufacturers to optimize technological modes to obtain linseed oil with high oxidative stability.

The results can be used in the production of cold-pressed oils, when modernizing pressing equipment and when developing technologies with increased preservation of bioactive components.

Keywords: flax seeds, linseed oil, hydraulic presses, screw presses, cold pressing, quality, oxidation

ВСТУП. Протягом останніх десятиліть насіння та олія льону стали предметом підвищеного інтересу серед дієтологів та в дослідженнях різноманітних захворювань завдяки позитивному впливу на здоров'я людини, зумовленому його біологічно активними речовинами. Тому не дивно, що насіння льону входить до складу багатьох рецептів у сучасній кулінарній літературі про здорове харчування. (Dzuvoor et al., 2018). Холоднопресована лляна олія є цінним джерелом біологічно активних сполук, які сприяють зміцненню здоров'я (Rabiej-Kozioł, et al., 2023). Поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) ω -3 та ω -6 привернули особливу увагу лікарів, оскільки ці кислоти мають здатність брати участь у структурній та функціональній організації клітинних мембран, регулюють жировий обмін, знижують рівень холестерину в крові, тощо. У лляній олії ПНЖК ω -3 та ω -6 містяться в оптимальному співвідношенні 1:10. Наразі насіння льону та препарати з нього широко використовуються в медицині. Воно особливо корисне для людей похилого віку, ослаблених дітей та післяопераційних пацієнтів. (Ivanov et al., 2011). Лляне насіння зазвичай містить 35–45% олії, яка містить 9–10% насичених жирних кислот (пальмітинової та стеаринової), близько 20% мононенасичених жирних кислот (головним чином олеїнової кислоти) та понад 70% α -ліноленової кислоти. Вміст білка в насінні льону коливається від 20 до 30%, тоді як вміст харчових волокон може сягати 28% (Dzuvoor et al., 2018; Sydow et al., 2019). Лляна олія належить до найбільш цінних функціональних харчових продуктів завдяки своєму унікальному жирнокислотному профілю. Вона є рекордсменом серед рослинних олій за вмістом α -ліноленової кислоти - поліненасиченої жирної кислоти ряду ω -3, частка якої може сягати 50–65% (Goyal et al., 2014). Користь лляної олії для здоров'я шляхом оцінки наукових доказів доведена в роботі Nie et al., (2025). Вміст олії та жирних кислот у насінні льону коливається від 38 до 45% залежно від місця вирощування та умов навколишнього середовища (Moknatjou et al., 2015). Також, у цьому дослідженні стверджується, що вміст жирних кислот у насінні льону змінюється залежно від умов обсмажування, оскільки склад жирних кислот насіння льону впливає на застосування в подальшому цієї олії.

Протягом останніх двох десятиліть насіння льону перебуває в центрі підвищеного інтересу в галузі досліджень дієт та захворювань завдяки потенційній користі для здоров'я, пов'язаній з деякими його біологічно активними компонентами. Насіння льону має харчові характеристики та є багатим джерелом ω -3 жирних кислот: α -ліноленової кислоти, коротколанцюгових поліненасичених жирних кислот, розчинної та нерозчинної клітковини, фітоестрогенних лігнанів, білків та низки антиоксидантів (Ivanov et al., 2011; Goyal et al., 2014). Біологічну активність насіння льону та його роль у покращенні здоров'я людини ґрунтовно описано в дослідженні (Nowak and Jeziorek, 2023). В роботі змістовно представлено дослідження користі лляної олії, описано їх шлях застосування від ліків до функціонального джерела їжі та її користь для здоров'я у зменшенні різноманітних захворювань людини. У дослідженні (Rezaei et al. 2020) вивчали вплив лляної олії, як багатого джерела α -ліноленової кислоти, на жирову дистрофію печінки та кардіометаболічні фактори ризику у пацієнтів з неалкогольною жировою хворобою печінки (НАЖХП). Результати показали, що в контексті запропонованої дієти та помірної фізичної активності лляна олія може бути корисною для пацієнтів з НАЖХП для покращення ступеня жирової дистрофії печінки та ваги порівняно з соняшниковою олією.

Однак, існує проблема, яка полягає в тому, що високий вміст ПНЖК робить олію надзвичайно чутливою до окислення під впливом тепла, світла та кисню. Тому, вибір технології видобування олії впливає на її кінцеву якість. Слід враховувати і той факт, що виробники, прагнуть максимізувати вихід олії з насіння, тому вони часто використовують режими, що підвищують температуру пресування. Звідси і виникає конфлікт між економічною ефективністю та біологічною цінністю отриманої продукції.

Пресування є оптимальним методом видобування олії: він енергоефективний, вартість і вибір обладнання доступні широкому колу людей задіяних у виробництві олії, на відміну від хімічного способу екстракцією розчинниками. Однак, в залежності від вибору і параметрів

обраного обладнання, вихід олії порівняно з екстракцією є низьким, до 18% олії залишається в макусі (Hudzenko et al., 2020).

Враховуючи вищенаведену інформацію, вважаємо, що як для українського споживача "натуральної" лляної олії, так і для виробників олії в цілому, дослідження спрямовані на аналіз та узагальнення наукової інформації щодо існуючих на сьогодні технологій видобування олій, типів обладнання для цього, сучасних іноземних досліджень по даній темі, узагальненні користі від вживання лляної олії є актуальним.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – аналіз та узагальнення наукової інформації про сучасні технології та обладнання для видобування лляної олії, особливості технології "холодного" віджиму та наукове обґрунтування температурних режимів для максимального збереження її окисної стабільності та користі для здоров'я людини.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ. Методологія дослідження базувалася на двох ключових етапах: уточненні розуміння термінів, які деталізують досліджувану проблему, та визначення чітких критеріїв для відбору відповідних джерел інформації..

Для досягнення поставленої мети були застосовані аналітичні та загальнонаукові методи, а саме: монографічний, аналіз і синтез, класифікаційний підхід та пошук інформації в електронних джерелах. Для підтвердження висновків використовуються дані ретроспективного аналізу наукових публікацій, що досліджують вплив параметрів механічного пресування на фізико-хімічні показники олій. В якості матеріалів аналізуються результати досліджень, де порівнювалися олії, отримані на шнекових та гідравлічних пресах, за різного температурного режиму.

Об'єктом дослідження є проблеми вибору оптимальних параметрів температури процесу відтискання у різноманітних конструкціях пресів та якісні показники олії.

Предметом дослідження є обладнання для віджимання олії, отримана олія для харчування та вплив її застосування на здоров'я людини.

Інформаційна база дослідження. При проведенні дослідження було використано інформацію, представлену в базах даних Scopus, Web of Science Core Collection, PubMed і Google Scholar. У процесі пошуку було виявлено 134 статті. Після змістовного аналізу їх розподілено по відповідним категоріям щодо мети дослідження, та найвагоміші з них було використано у подальшому дослідженні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Видобуток лляної олії з олійного насіння є ключовим першим кроком у виробництві найбільшої кількості корисних для здоров'я людини продуктів з насіння льону. Для отримання олії з насіння льону було впроваджено багато методів (традиційних і нових). До них належать механічна обробка, екстракція розчинником (полярним та неполярним), екстракція надкритичною флюїдом, екстракція за допомогою ультразвуку та екстракція за допомогою мікрохвиль (Bhargavi et al., 2018; Dzuvor et al., 2018). У дослідженні (Gutte et al., 2015) була оптимізація процесу екстракції лляної олії за допомогою ультразвукової обробки та визначення її впливу на ω -3 жирну кислоту. Екстракцію лляної олії оптимізували за допомогою різних розчинників, таких як метанол, ацетон, петролейний ефір, етанол, гексан та дихлорметан. Ультразвукову обробку оптимізували щодо амплітуди (20–80 кГц), температури (25–40°C), часу ультразвукової обробки (20–80 хв) та співвідношення твердої речовини до розчинника (1:5, 1:10 та 1:15) для екстракції лляної олії. У роботі (Chemat et al., 2012) описані альтернативні методи видобування олії. Наприклад екстракція надкритичним CO₂ застосовується в кількох секторах, таких як харчова, косметична та фармацевтична промисловість. Для екстракції ефірних олій, барвників та антиоксидантів було використано новий метод мікрохвильової екстракції без розчинників, який називається мікрохвильовою гідродифузією та гравітацією. Цей метод, що базується на відносно простому принципі, також передбачає розміщення рослинного матеріалу в мікрохвильовому реакторі без

додавання розчинника чи води. Внутрішнє нагрівання води *in situ* всередині рослинного матеріалу розтягує рослинні клітини та призводить до розриву залоз та олійних вмістилищ.

Заслугує уваги робота (Chemat et al., 2012) у якій приділено увагу розвитку зелених технологій. Використання відновлюваної сировини відіграють центральну роль в екологічно чистих процесах. Застосований термін зеленого видобутку природних продуктів, трактують наступним чином: «Зелений видобуток базується на відкритті та розробці процесів екстракції, які зменшать споживання енергії, дозволять використовувати альтернативні розчинники та відновлювані природні продукти, а також забезпечать безпечний та високоякісний екстракт/продукт». У роботі представлено шість принципів екологічно чистої екстракції. Описано багатогранну стратегію застосування цієї концепції на дослідницькому та промисловому рівні. Основою запропонованого робочого протоколу є нові та інноваційні технології, інтенсифікація процесів, агророзчинники та енергозбереження. Останні тенденції в методах екстракції значною мірою зосереджені на пошуку рішень, які мінімізують використання розчинників. Запропоновано використання альтернативних розчинників, на заміну нафтохімічних розчинників і головним чином води або агророзчинників, що видобуваються із сільськогосподарських ресурсів.

Головною метою процесу видобування олії є отримання високого рівня виходу олії та високоякісної макухи (шроту) для їх подальшого використання в харчових продуктах та на кормові цілі. Екстракція розчинником та механічне пресування є двома важливими методами екстракції олії. Екстракція олії розчинником є найефективнішим методом і здатна витягти понад 98% олії (Hudzenko et al., 2020). Механічне пресування за допомогою в основному гідравлічного та шнекового преса є технічно менш складним і використовується для матеріалів з високим вмістом олії, щоб видобувати більшу частину олії перед екстракцією розчинником решти олії з макухи (Mridula et al., 2015). Механічне пресування олійного насіння дозволяє витягти 86–92% олії за один-два проходи. Головною рушійною силою процесу механічного видобування олії є застосування тиску і зсувних сил до олієвмісного матеріалу за допомогою механічних пресів-експелерів, а сам процес називається пресуванням.

Вибір технології пресування є важливим параметром, який впливає як на вихід, так і на якість олії. Підвищення впливу температури при пресуванні значно підвищує вихід олії; однак це призводить до деградації термочутливих біоактивних сполук в олії. Крім того, висока температура прискорює окислення ПНЖК, що ставить під загрозу харчову цінність та стабільність олії.

Процес холодного пресування не передбачає попереднього нагрівання насіння олійних культур. Під час холодного пресування насіння олійних культур надходить у прес при температурі навколишнього середовища (20 °C), а температура віджатої олії зазвичай не перевищує 50 °C. Технологія холодного віджиму гарантує збереження ароматичного профілю та макро- та мікроелементів, що містяться в олії, а також інших біологічно активних компонентів, тому ідеально підходить для холодних страв. (Hudzenko et al., 2020; Krulj et al., 2021). Олії холодного віджиму викликали значний інтерес за останні два десятиліття, що призвело до переосмислення їхнього виробничого процесу. Такі олії повинні мати чіткий колір, прозорість та свіжий і чистий аромат, характерний для олійних рослин (Tian et al., 2023).

Однак цей метод призводить до нижчого виходу олії (24–26% виходу лляної олії), зберігаючи при цьому майже 15–30% олії в макусі. Перед пресуванням застосовують різні методи попередньої обробки олієвмісного матеріалу, такі як обсмажування, паровий вибух та ферментативна обробка, щоб покращити вихід та якість олії. Однак ці підходи часто ставлять під загрозу окислювальну стабільність та харчову цінність олії. У сучасному дослідженні (Chand et al., 2025) автори описують підхід попередньої обробки насіння заморожуванням-відтаванням, який створює тепловий шок, порушуючи клітинну структуру та підвищуючи антиоксидантну здатність і вихід олії. Оптимальними умовами для пресування було виявлено 6 годин заморожування та 6 годин відтавання протягом 4 циклів, що призвело до значного

збільшення виходу олії з 25,13% до 38,28% та 24% збільшення вмісту біологічно активних сполук, що спричинило покращення окислювальної та харчової стабільності.

Нині в Україні зберігається тренд з переорієнтації з вирощування зернових культур на олійні, оскільки коштують вони дорожче. В Україні динамічно розвивається виробництво олії нішевих культур. Виробляються вони на невеликих за потужністю підприємствах та орієнтовані як на внутрішній, так і зовнішні ринки. У зв'язку з сучасними тенденціями та переорієнтацію українських аграріїв на вирощування олійних культур, очевидно подальше зростання виробництва саме нішевих олій.

В крафтовому виробництві застосовують переважно технологію одноступеневого холодного пресування, коли застосовується лише прес першого рівня. Перевагами такого пресування є менші потреби в енергії, простота конструкції пресу та його обслуговування, а також невеликі розміри, що разом значно скорочує інвестиційні витрати. При роботі в більш холодних середовищах (взимку), коли насіння потенційно може піддаватися впливу температур нижче 15 °C, рекомендується додати технологію для стабілізації температури (до 20 °C). З метою видобування більшої кількості олії застосовують технологію двоступеневого пресування. При цьому виді пресуванні, насіння безперервно транспортується в преси першого рівня, а з них макуха надходить у прес другого рівня.

У дослідженні Kasote (2013) приводяться результати трьохступеневого холодного пресування, які підтвердили, що застосування третього пресу призводить до втрати як загального вмісту фенолів, так і флавоноїдів у лляній олії, що може бути пов'язано із застосуванням високого тиску та значного нагрівання макухи, що утворюється під час обробки потрійним пресуванням. Відомо, що фенольні сполуки запобігають окисленню ліпідів і мають великий вплив на стабільність, чутливість та поживні характеристики олії.

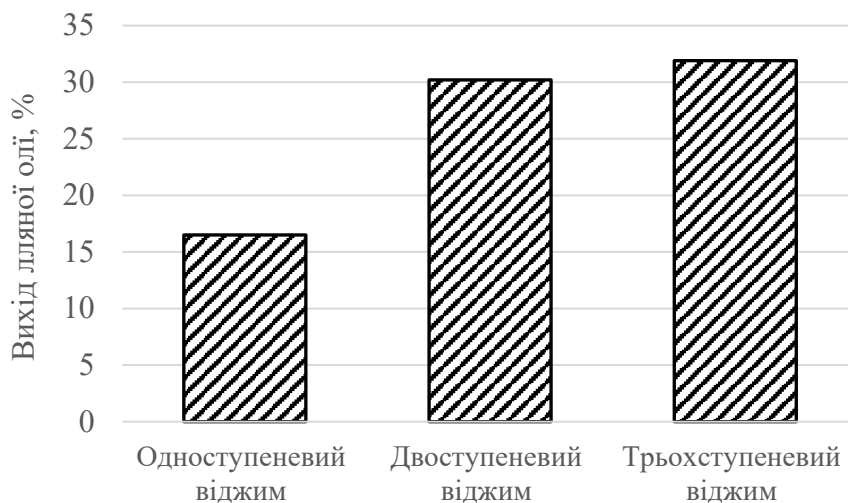


Рисунок 1. Вплив кількості ступенів пресування на вихід лляної олії [Kasote, 2013]

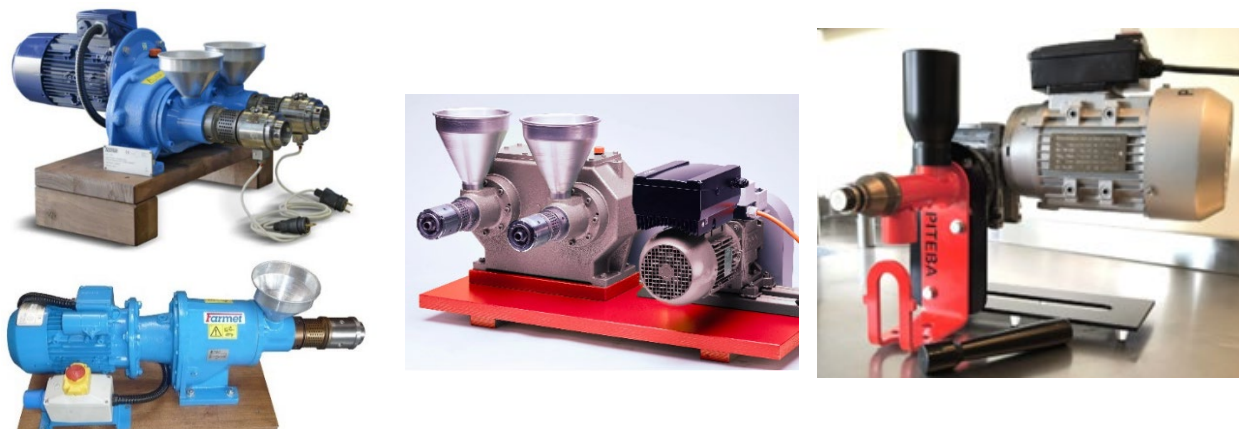
Найчастіше, для отримання олії "холодного віджиму" використовують шнекові преси з приводом робочих органів від електродвигуна (рис. 2, 3).

Для домашнього вжитку виробляють конструкції пресів з ручним приводом шнека (Наприклад: преси *PITEVA* (Нідерланди) та *IBG Monforts Oekotec*, Німеччина). В конструкціях пресів "холодного віджиму" передбачений нагрів робочої зони для полегшеного запуску преса. Більшість пресів мають електродвигун потужністю 3 кВт та продуктивністю до 50 кг/год.

При дослідженнях пресів даного типу, найчастіше змінними параметрами є величина вихідного отвору для макухи, геометричні розміри шнека та швидкість обертання шнека.

У дослідженнях S. Karaj and J. Müller (2019) контролювали температуру, що генерується механічним шнековим пресом вздовж шнекового валу та визначали її вплив на хімічні властивості олії. У результаті автори дійшли висновку, що температура, що генерується під час механічного пресування в зоні стиснення має прямий вплив на якість олії та не залежить від

зовнішніх умов. Не всі змінні хімічні властивості показують кореляцію з температурою в зоні стиснення. Наприклад, кислотне число, вільні жирні кислоти, загальне забруднення, залишки вуглецю та вміст води не показують кореляції з температурою в зоні стиснення. Однак встановили, що температури в місцях збору олії та у місці формування та виходу макухи демонструють дуже значні коливання під час експерименту.

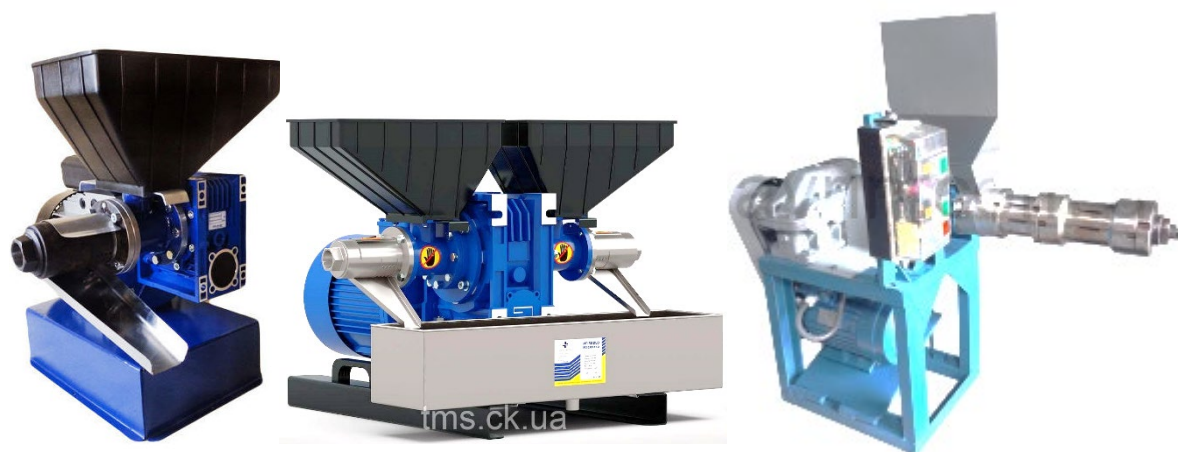


а)

б)

в)

Рисунок 2. Шнекові преси холодного віджиму виготовлені в Європі: а - *Farmet DUO та UNO (Чехія)*; б – *Komet D85-1G (IBG Monforts Oekotec, Німеччина)*; в – *PITEBA (Нідерланди)*.



а)

б)

в)

Рисунок 3. Шнекові преси холодного віджиму вироблені в Україні: а - *МП-50 "Маслятко" (ТОВ "ТехноМашСтрой", м. Черкаси)*; б – *МП-50 DUO (ТОВ "ТехноМашСтрой", м. Черкаси)*; в - *ММШ-50 (ТОВ "Лаврін" м. Дніпро)*

У роботі (Mizera et al., 2018) зазначено, що вміст вологи в насінні впливає на продуктивність шнекового преса. Нижча вологість насіння призводить до кращого виходу олії, але також підвищує температуру пресування. Споживана потужність преса зменшувалася при вищій швидкості обертання шнека. Швидкість обертання шнека в експерименті становила 10, 20, 30, 40, 55 та 65 об/хв. Ефективність вилучення олії та питома механічна енергія знижувалися при збільшенні пропускної здатності насінневого матеріалу. Максимальна ефективність вилучення олії 82,6% була за найнижчої швидкості шнека. Оптимальна робоча точка для шнекового преса Farmer 20 DUO становила по продуктивності ріпаку 20 кг/год.

Питома механічна енергія в оптимальній робочій точці становила 0,61 кВт·год/кг олії, а ефективність вилучення олії – 76,3%.

Т. Fouda et al. (2021) дослідив ефективність холодного пресування та низькотемпературних методів (контрольоване підвищення температури) для виробництва лляної олії та вплив їх на час віджиму. Використовувалися зважені зразки насіння льону у кількості подачі 1, 2, 3, 4 та 5 кг при вмісті вологи 12% сухої маси. Результати холодного пресування показали, що відповідне співвідношення подачі збільшилося з 20, 40, 60, 80 та 100%, час роботи збільшився до 8, 16, 23, 32 та 38 хвилин, крім того, температура початку процесу пресування починалася з 29 °С та збільшувалася на 31, 34, 35, 36 та 37°С. Також, кількість олійного продукту збільшилася на 184, 402, 576, 775 та 981 г. Вага макухи збільшилася на 786, 1576, 2351, 3196 та 3991 г. У той час як при низькотемпературних методах з використанням початкової температури нагрівача головки преса 47°С (при цьому температура знизилася шляхом охолодження олією з 43, 42, 41, 40 та 39 °С, а час екстракції збільшився з 8, 16, 23, 32 та 38 хв.). Вага олійного продукту збільшилася на 187, 388, 581, 783 та 991 г, а вага макухи – на 800, 1591, 2394, 3191 та 3900 г. Відповідно коефіцієнт подачі збільшився з 20, 40, 60, 80 та 100 %. але температура знизилася з 43, 42, 41, 40 та 39 °С після використання холодного пресування та низькотемпературних методів. Автори зазначили, що холодний віджим олії є найкращим методом для отримання якісної олії. Однак, коли потрібно скоротити час віджиму, рекомендують використовувати нагрівач, який може збільшити температуру до 50 °С.

Останнім часом, набирають популярності преси з приводом від гідравлічних насосів. Конструкції цих пресів в основному мають два типи виконання рам пресів з розташуванням гідравлічних циліндрів (рис. 4). Українським виробником CraftOil розроблені преси різної продуктивності. Найчастіше використовуються 30-тонні машини для холодного віджиму олії. Цей прес виготовлений зі сталевого швелера та поєднана з 3-літровою дерев'яною бочкою ручної роботи та оснащений двоступеневим гідравлічним насосом, здатним створювати тиск до 30 тонн, що ідеально підходить для ефективного пресування олії за кімнатної температури. Вихід олії (приблизно з 2 кг сировини) для насіння льону складає 20% (~400 мл або більше).



а)



б)

Рисунок 4. Преси з приводом від гідроциліндрів (основна контактна частина з олією виготовлена з натуральної деревини)

Конструкція такого преса складається з прес-пластини, яка розміщена внизу або вгорі гвинтового притискного механізму. Тиск, що розвивається в конструкціях цих пресів, залежить від діаметра кожуха преса та від потужності домкратів чи гідроциліндрів. Вищого тиску можна досягти, зміншивши діаметр кожуху, а також притискної пластини. Зменшення діаметра кожуху призводить до зменшення продуктивності. Як правило, тіло кожуха преса може вмістити 5-30 кг олійної маси із середньою місткістю 20 кг. Тиск слід повільно збільшувати. У випробуваннях (Bhargavi et al., 2018) проведено дослідження, як вміст вологи впливає на вихід олії. Олія, отримана на такому пресі зберігає всі первісні властивості, закладені природою, і володіє лікувальними властивостями. Корпус таких пресів зазвичай виконаний з натурального дерева і оброблений бджолиним воском. Для збільшення виходу олії з великого насіння і для віджиму олії з дрібних насінин - їх потрібно подрібнити перед тим як пресувати олії, навіть досить щоб була порушена оболонка насіння.

Отримана в результаті олія має легкий аромат і зберігає всі корисні речовини сировини, з якої була виготовлена. Наступний етап виготовлення натуральних олій - природне відстоювання, під час якого осідають усі тверді частинки. На середніх і великих за потужністю виробництвах олія фільтрується під тиском із використанням коагулянтів і різних хімічних засобів для освітлення і збільшення терміну зберігання.

У дослідженні (Singh et al., 2012) вивчали фізичні та хімічні властивості насіння льону як функцію вмісту вологи. Встановлено, що геометричні властивості збільшувалися зі збільшенням вмісту вологи. Насипна щільність, зусилля розриву, деформація та поглинена енергія лінійно зменшувалися, тоді як справжня щільність, пористість, маса тисячі насінин, кут природного укусу та статичний коефіцієнт тертя лінійно зростали зі збільшенням вмісту вологи.

Вибір певного типу пресового обладнання визначає здатність виробника нішевих олій дотримуватися температурного режиму представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Застосування на виробництві пресів в залежності від температурного режиму

Тип преса	Температурний режим	Вихід олії	Тип виробництва
Гідравлічний (Сиродавлення)	Гарантовано 40°C (мінімальне статичне стиснення).	Низький	Крафтове виробництво, найвища якість.
Шнековий (без нагріву; з охолодженням)	Потребує активного охолодження для підтримки 45°C (через динамічне тертя).	Середній - Високий	Крафтове виробництво (преси продуктивністю до 20-40 кг/год)
Шнековий (без охолодження)	45°C – 60°C	Високий	Середні (преси продуктивністю від 40 кг/год) виробництва, компроміс "якість-обсяг".

Джерело: розроблено авторами

При дослідженні процесів видобування рослинних олій науковцями піднімаються питання: як помірно підвищення температури пресування може впливати на якість отриманої олії. Адже підвищення температури нагріву корпусу преса у діапазоні температур "холодного віджиму" має двоякий ефект:

- вплив на вихід олії: збільшення температури навіть у межах 45-60°C знижує в'язкість олії, що полегшує її витікання і збільшує загальний вихід (mridula et al., 2015). це є головним економічним стимулом для виробників.
- вплив на якість (окисна стабільність): вважається, що нагрів каталізує первинне окислення (зростання перекисного числа), знижуючи нутриціологічну цінність. дослідження показують, що олії, отримані при вищих температурах, мали значно гірші показники якості (sydow et al., 2019). оскільки перекисне число є маркером свіжості, це означає, що високотемпературна олія має менший термін зберігання і швидше втрачає свою користь для здоров'я.

У роботі (sydow et al., 2019) було досліджено відтискання лляних олій з насіння двох сортів з коричневим та золотим насінням за різних температур (від 50 до 90°C). При цьому паралельно аналізували вплив таких технологічних параметрів пресування (продуктивність пресування, пропускна здатність, споживання енергії) на якісні показники отриманих олій (кислотне число, перекисне число, колір олії). Якість олій оцінювали як для свіжовідтиснутої олії, так і для олій, що зберігалися при температурі 5°C або 25°C протягом 30 днів. Результати показали, що вищі температури пресування (80–90°C) можуть бути непридатними для прийнятних показників якості лляної олії (зміна кольору олії тощо) та надмірного споживання енергії пресом. Для інших температурних діапазонів негативного впливу на якість олій не спостерігалось, тоді як технічні параметри для цих варіантів підтримувалися на подібному рівні для обох сортів льону. (Sydow et al., 2019).

Для забезпечення максимальної користі для здоров'я, необхідно використовувати технологічні рішення, які долають конфлікт "вихід - якість".

Окислювальна стабільність є одним з найважливіших параметрів, який використовується для оцінки якості олії, визначення її стійкості до процесу окислення. Окислення відбувається в ненасичених жирних кислотах під час зберігання або термічної обробки олії та спричиняє їх погіршення якості. Визначають її за допомогою різних методів, які досить широко досліджені в роботі (Symoniuk et al., 2018).

Ляльна олія, навіть найякісніша, дуже схильна до окислення під час обробки та зберігання через такі фактори, як тепло, світло та кисень. В результаті окислення ПНЖК та вітаміни втрачають свої біологічні властивості та можуть утворювати токсичні продукти, іноді канцерогенного характеру (Nycter et al., 2008). У роботі (Tańska et al., 2016) проведено дослідження щодо визначення якості та окислювальної стабільності відібраних лляних олій холодного віджиму. Для експерименту було відібрано зразки олії свіжо відтиснуті, тобто з виробництва, що вважається початком терміну придатності. А також, зразків олії, які зберігалися в холодильнику протягом трьох місяців (кінець заявленого терміну придатності). Науковці (Nycter et al., 2008; Tańska et al., 2016) пропонують наступні основні рекомендації згідно згаданих факторів щодо зберігання олії для збереження її біологічної активності:

1. Температура: Зберігати виключно в холодильнику (при температурі від 4°C до 8°C). Адже низька температура значно сповільнює хімічні реакції окислення, які руйнують поліненасичені жирні кислоти, вітаміни та антиоксиданти. Зберігання при кімнатній температурі призводить до швидкої втрати якості.

2. Світло. Тип упаковки також відіграє важливу роль у захисті якості лляної олії. Зберігати в темній (бажано коричневій або зеленій) скляній тарі. Адже сонячне світло (особливо ультрафіолет) є сильним каталізатором процесу фотохімічного окислення. Темне скло виступає фізичним бар'єром, захищаючи чутливі омега-3 жирні кислоти від руйнування.

3. Кисень: Після кожного використання негайно і щільно закривати кришку. Кисень є безпосереднім реагентом у процесі окислення. Чим менше повітря контактує з олією, тим повільніше відбувається її псування. Тому для здорового харчування рекомендовано купувати лляну олію в маленьких об'ємах (наприклад, 200–300 мл), щоб спожити її протягом 4-6 тижнів після відкриття. Чим довше відкрита пляшка стоїть, тим більше кисню залишається у вільному просторі та тим інтенсивніше відбувається окислення.

Результати приведених досліджень показують, що прозорі пластикові пляшки не підходять для зберігання довше 3 місяців. Це пов'язано з їхньою проникністю для кисню та впливом світла на олію. Відомо, що більш ненасичені жирні кислоти більш схильні до окислення. Поліненасичені жирні кислоти, ліноленова та лінолева, швидко окислюються навіть за кімнатної температури, тоді як олеїнова кислота може окислюватися лише за підвищених температур. Крім того, швидкість реакції кисню з ліноленовою кислотою приблизно вдвічі вища, ніж у лінолевої кислоти.

Згідно приведених даних у роботах (Choo et al., 2007; Tańska et al., 2016) термін придатності олії коливається від 5 тижнів до 3 місяців при зберіганні в холодильнику. Термін зберігання якісної лляної олії холодного віджиму зазвичай не перевищує 6–12 місяців у закритій тарі (і менше, ніж в олій з меншим вмістом ПНЖК). Після відкриття цей термін різко скорочується. Виділяють наступні ознаки псування: прогірклий, різкий, "рибний" або "фарбовий" запах та смак свідчать про те, що омега-3 окислилися, і олія втратила свою біологічну цінність, а її споживання може бути небезпечним.

Дотримання цих трьох "ворогів" олії – тепла, світла та кисню – є єдиним способом зберегти її користь, отриману завдяки ретельному холодному віджиму.

Щоб мінімізувати окислення олії Tang et al. (2021) рекомендує спробувати багато передових методів, наприклад, технологію виробництва наноемульсій (мікрофлюїдизація, мікрохвильова піч, потужний ультразвук), розпилювальне сушіння тощо, щоб захистити лляну олію, що ще більше розширить її використання. Або, в дослідженні Teimouri Okhchlar et al. (2024) запропоновано використовувати до 5% бланшованого оливкового листа разом з насінням льону для посилення окислювальних властивостей стабільності пресованих олій. При цьому окислювальна стабільність екстрагованих олій була вищою на 7,5% порівняно з контрольним зразком.

На ринку харчових продуктів представлені олії холодного віджиму з різною пропорцією поліненасичених жирних кислот та різним складом антиоксидантів. Однак ці олії схильні до автоокислення, що призводить до накопичення продуктів окислювального руйнування ліпідів, які вважаються шкідливими (Grajzer et al., 2020). Антиоксидантна поведінка різних класів антиоксидантів являє собою складне явище, яке залежить не лише від структури антиоксиданту, але й від його концентрації. Відповідно, Grajzer et al. (2020) проаналізували та запропонували багато стратегій для полегшення процесу окислення ліпідів у харчових оліях. Автори визначили комбінації антиоксидантів, які, додані до олій холодного віджиму, можуть забезпечити міцні стратегії для підвищення окислювальної стабільності олій холодного віджиму.

Отримані результати свідчать про ключовий вплив температури, тиску та конструктивних параметрів пресового обладнання на початкові стадії окислення лляної олії. Узагальнюючи дані власного аналізу, важливо порівняти їх з наявними науковими публікаціями, що стосуються технологій пресування, холодного віджиму та стабільності поліненасичених жирних кислот.

Передусім, результати цього дослідження узгоджуються із висновками Choo, Birch і Dufour (2007), які виявили, що навіть незначне перевищення температури під час механічного віджиму суттєво прискорює первинні окисні реакції. Дослідники підкреслили, що температури понад 45 °C призводять до різкого зростання пероксидного числа, що повністю корелює з висновками авторів статті, де показано критичний вплив температурного режиму 40–50 °C на початок окислення. Спільним для обох робіт є твердження про важливість суворого контролю нагрівання під час пресування, проте Choo et al. додатково наголошують на ролі світлопроникності тари, чого в аналізованій статті не розглянуто.

Порівнюючи дані з роботою Gutte, Sahoo і Ranveer (2015), слід зазначити, що вони досліджували дію ультразвуку як попередньої обробки та встановили підвищення виходу олії без критичного збільшення температури. Їхні результати частково відрізняються від отриманих авторами цієї статті, оскільки в огляді не розглядаються комбіновані технології, а

фокус зміщений лише на механічний віджим. Проте висновки Gutte et al. підтверджують важливість мінімізації теплового навантаження при збереженні технологічної ефективності, що відповідає загальній логіці представлених у статті результатів.

Важливо звернути увагу на роботу Grajzer та співавторів (2020), які показали, що стабільність холодно пресованих олій залежить не лише від температури процесу, а й від початкової якості насіння та наявності природних антиоксидантів. Порівняно з результатами цієї статті, де основний акцент зроблено на технологічних параметрах пресів, Grajzer et al. розширюють розуміння проблеми, додаючи фактори, не пов'язані з механічною частиною процесу. Це свідчить про необхідність доповнення технологічного аналізу комплексною оцінкою сировини, що може бути перспективою подальших досліджень.

Зіставляючи отримані результати з даними Kasote (2013), який детально дослідив вплив механічного пресування на якість лляної олії, спостерігається значна відповідність: автор також зазначає, що шнекові преси забезпечують високу продуктивність, проте за рахунок підвищених температур і збільшеного ступеня окислення. Спільним є висновок про компроміс між виходом і стабільністю. Водночас Kasote акцентує на ролі конструкції шнека, тоді як у статті Гудзенка основну увагу зосереджено на порівнянні шнекових та гідравлічних пресів без детального аналізу геометрії робочих органів.

У ході порівняння з результатами Chemat, Vian і Cravotto (2012) було встановлено, що автори огляду «зелених» методів екстракції пропонують принципово інші підходи — зокрема, застосування надкритичного CO₂ та мікрохвильових технологій, які значною мірою зменшують теплове навантаження. У контексті цього, аналізована стаття зосереджується лише на традиційних технологіях механічного віджиму, тому її результати доцільно розглядати як частину ширшої картини, де альтернативні підходи також можуть забезпечувати високу стабільність продукту. Додавання таких порівнянь могло б суттєво посилити дискусію.

У роботі Çakaloğlu, Özyurt і Ötleş (2018) підкреслено, що холодне пресування є найбільш стабільним методом отримання олії за умови точного контролю всіх етапів процесу. Вони наголошують, що навіть в умовах холодного пресування неконтрольоване зростання тиску може призвести до локального перегрівання, що погіршує якість олії. Ці результати повністю узгоджуються з даними авторів статті, де також встановлено, що тривалість та інтенсивність пресування визначають швидкість первинного окислення. Проте Çakaloğlu et al. більш детально розглядають ризики мікролокальних температурних піків у зоні шнека, тоді як у статті ці аспекти не деталізовано.

Дослідження Hudzenko et al., (2023) підтверджує важливість конструктивних рішень каналів для відведення олії, що безпосередньо впливають на температуру та рівномірність віджиму. Їхні експериментальні дані доповнюють загальні висновки статті, яка вказує на необхідність мінімізації теплового впливу, але не містить конструктивних рекомендацій. Це свідчить про те, що результати Гудзенка та співавторів слід розширити за рахунок глибиннішого аналізу конструктивних параметрів обладнання.

Окремої уваги заслуговує дослідження Goyal et al. (2014), яке показало, що збереження альфа-ліноленової кислоти є ключовим чинником біологічної цінності лляної олії. Вони наголошують, що навіть за умов «холодного» віджиму незначні коливання температури істотно змінюють фракційний склад жирних кислот. У статті Гудзенка ці аспекти підтверджуються, проте без кількісних зіставлень профілю жирних кислот. Тому дані обох робіт доповнюють одне одного: автори статті фокусуються на технологічному процесі, а Goyal et al. — на біохімічних наслідках змін параметрів пресування.

Узагальнюючи результати порівняння з науковими публікаціями, можна стверджувати, що висновки авторів статті загалом узгоджуються з сучасними даними про вплив температури, тиску та тривалості віджиму на окисну стабільність лляної олії. Проте в інших роботах значно ширше розглядаються додаткові чинники: властивості сировини, альтернативні методи екстракції, конструктивні характеристики пресів та комбіновані технології. Це дає підстави рекомендувати подальше розширення дослідження в напрямі кількісного аналізу змін складу

жирних кислот, детального розгляду теплоутворення в зоні пресування та оцінки ефективності альтернативних технологій із низьким тепловим впливом.

ВИСНОВКИ. Проведене дослідження підтверджує, що якість лляної олії, визначальна для здорового харчування, прямо залежить від технологічних параметрів її механічного пресування. Температура під час віджиму є головним фактором окисної стабільності лляної олії. Узагальнення літературних даних показало, що перевищення температури 40–50 °C призводить до зростання пероксидного числа на 25–60 % у порівнянні з холодним пресуванням. Це підтверджує критичний вплив локальних температурних піків у шнекових пресах на ініціацію окисних реакцій.

Шнекові преси забезпечують на 12–18 % вищий вихід олії, однак супроводжуються утворенням зон локального перегрівання, що прискорює деградацію альфа-ліноленової кислоти. Гідравлічні преси демонструють нижчу температуру віджиму (22–32 °C), завдяки чому забезпечують до 20 % кращу збереженість поліненасичених жирних кислот, забезпечуючи її найвищу нутриціологічну цінність, хоча вихід олії є нижчим. Проведений аналіз підтверджує існування економічного конфлікту між максимізацією виходу олії та збереженням її користі для здоров'я.

Встановлено, що збільшення тривалості віджиму на кожні 10 хв спричиняє підвищення пероксидного числа в середньому на 8–11 %, незалежно від типу пресового обладнання. Це підкреслює необхідність оптимізації режимів подачі та інтенсивності пресування. Збільшення ефективності відведення олії на 15–20 % дає змогу зменшити час перебування сировини в зоні нагріву та знизити інтенсивність окислення.

Визначено, що для отримання лляної олії з високою біологічною цінністю оптимальними є такі параметри: температура пресування не вище 35–40 °C; питомий тиск нижче 60 МПа; рівномірне відведення олії через канали максимально допустимої площі.

Практична цінність проведеного аналізу полягає у формуванні конкретних технологічних рекомендацій для виробників, а саме: модернізація шнекових пресів шляхом оптимізації геометрії каналів може підвищити окисну стабільність продукту на 15–25 %; використання гідравлічних пресів є доцільним для виробництва преміальної холодно пресованої олії; контроль температури є ключовим чинником, що визначає конкурентоспроможність продукції.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з моделюванням теплоутворення в робочій камері пресів; дослідженням взаємодії конструктивних параметрів і фракційного складу жирних кислот; порівнянням механічних та альтернативних «зелених» технологій видобування.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає

References

- Çakaloğlu, B., Özyurt, V. H., & Ötleş, S. (2018). Cold press in oil extraction. A review. *Ukrainian Food Journal*, 7(4), 640–654. <https://doi.org/10.24263/2304-974x-2018-7-4-9>
- Chand, M., Chopra, R., Singh, A., Prabhakar, P. K., Kamboj, A., & Singh, P. K. (2025). "Enhancement of flaxseed oil quality and yield using freeze-thaw pretreatment optimization: A novel approach". *Food chemistry: X*, 26, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102328>
- Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: concept and principles. *International journal of molecular sciences*, 13(7), 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Choo, W.-S., Birch, J., & Dufour, J.-P. (2007). Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.002>

- Dzuovor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1633–1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
- Gutte, K. B., Sahoo, A. K., & Ranveer, R. C. (2015). Effect of ultrasonic treatment on extraction and fatty acid profile of flaxseed oil. *OCL*, 22(6), D606. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015038>
- Grajzer, M., Szmalczel, K., Kuźmiński, Ł., Witkowski, M., Kulma, A., & Prescha, A. (2020). Characteristics and Antioxidant Potential of Cold-Pressed Oils—Possible Strategies to Improve Oil Stability. *Foods*, 9(11), 1630. <https://doi.org/10.3390/foods9111630>
- Hudzenko, M., Vasylyv, V., Zheplinska, M., Sarana, V., & Gorenkov, D. (2023). Study of the effectiveness of the design of the oil removal channels of screw presses for squeezing out oil. *Animal Science and Food Technology*, 14(4), 58-73. <https://doi.org/10.31548/animal.4.2023.58>
- Hudzenko, M., Shtefan, E., Yastreba, S., Vasylyv, V., Mushtruk, M., & Slobodyaniuk, N. (2020). Scientific and technical substantiation of oil presses parameters. Kyiv: Comprint.
- Fouda, T., El-Kholy, M., Elmetwalli, A., Darwesh, M., & Zanaty, A. E. (2021). Using cold pressing and low temperature technique to preserve of flax seed oil quality and cake product.
- Ivanov, S., Rashevskaya, T., & Makhonina, M. (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Science*, 1, 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.043>
- Karaj, S., & Müller, J. (2019). Temperature influence on chemical properties of jatropha curcas L. oil extracted with mechanical screw press. *Biofuels*, 12(7), 853–859. <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1554946>
- Kasote, D. (2013). Effect of mechanical press oil extraction processing on quality of linseed oil. *Industrial Crops and Products*. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.05.015>
- Kasote, D. M., & Patil, A. S. (2024). Advances in linseed oil extraction and its quality assessment. In *Linseed* (pp. 73–78). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-15439-3.00020-5>
- Krulj, J.; Pezo, L.; KoJi'c, J.; Solarov, M.B.; Tesli'c, M. Quality evaluation of cold-pressed oils and semi-defatted cake flours obtained on semi-industrial scale. *J. Food Nutr. Res.* 2021, 60, 217–228.
- Mizera, Č., Herák, D., Hrabě, P., & Kabutey, A. (2018). Extraction of oil from rapeseed using duo screw press. <https://doi.org/10.15159/AR.18.059>
- Moknatjou, R., Hajimahmoodi, M., Toliyat, T., Moghaddam, G., Sadeghpour, O., Monsef-Esfahani, H., & Shams-Ardekani, M. (2015). Effect of Roasting on Fatty Acid Profile of Brown and Yellow Varieties of Flaxseed (<i>Linum usitatissimum</i> L). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v14i1.17>
- Mridula, D., Barnwal, P., & Singh, K.K. (2015). Screw pressing performance of whole and dehulled flaxseed and some physico-chemical characteristics of flaxseed oil. *Journal of food science and technology*, 52(3), 1498–1506. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1132-6>
- Mridula, D., Saha, D., Gupta, R., Bhadwal, S., Arora, S., Kumar, P., & Kumar, S. R. (2020). Oil expelling from whole and dehulled sunflower seeds: Optimization of screw pressing parameters and Physico-chemical quality. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 4002–4009. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4ay.10274>
- Nie, Y., Wang, Y., Hui, J., Shao, D., Chen, R., Deng, Q., Chen, Y., Wang, X., & Zhu, D. (2025). The Impact of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Oil Supplementation on Human Health: A Human-Centric Evidence-Graded Approach. *Nutrients*, 17(11), 1791. <https://doi.org/10.3390/nu17111791>
- Nowak, W.; Jeziorek, M. (2023). The Role of Flaxseed in Improving Human Health. *Healthcare*, 11, 395. <https://doi.org/10.3390/healthcare11030395>

- Nykter, M., Kymäläinen, H., Gates, F.K., & Sjöberg, A.M. (2008). Quality characteristics of edible linseed oil. *Agricultural and Food Science*, 15, 402–413. DOI: 10.2137/145960606780061443
- Rabiej-Kozioł, D.; Momot-Ruppert, M.; Stawicka, B.; Szydłowska-Czerniak, A. (2023). Health Benefits, Antioxidant Activity, and Sensory Attributes of Selected Cold-Pressed Oils. *Molecules*, 28, 5484. <https://doi.org/10.3390/molecules28145484>
- Rezaei, S., Sasani, M. R., Akhlaghi, M., & Kohanmoo, A. (2020). Flaxseed oil in the context of a weight loss programme ameliorates fatty liver grade in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a randomised double-blind controlled trial. *The British journal of nutrition*, 123(9), 994–1002. <https://doi.org/10.1017/S0007114520000318>
- Singh, K. K., Mridula, D., Barnwal, P., & Rehal, J. (2012). Physical and chemical properties of flaxseed. *International Agrophysics*, 26(4).
- Sydow, Z., Idaszewska, N., Janeba-Bartoszewicz, E., & Bieńczak, K. (2019). The Influence of Pressing Temperature and Storage Conditions on the Quality of the Linseed Oil Obtained from *Linum Usitatissimum* L. *Journal of Natural Fibers*, 18(3), 442–451. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1628866>
- Symoniuk, E., Ratusz, K., Ostrowska-Ligeża, E. et al. (2018) Impact of Selected Chemical Characteristics of Cold-Pressed Oils on their Oxidative Stability Determined Using the Rancimat and Pressure Differential Scanning Calorimetry Method. *Food Anal. Methods* 11, 1095–1104. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1081-1>
- Tang, Z., Ying, R.-F., Lv, B.-F., Yang, L.-H., Xu, Z., Yan, L.-Q., Bu, J.-Z., & Wei, Y.-S. (2021). Flaxseed oil: Extraction, health benefits and products. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 13(1), 1–19. <https://doi.org/10.15586/qas.v13i1.783>
- Tańska, M., Roszkowska, B., Skrajda, M., & Dąbrowski, G. (2016). Commercial Cold Pressed Flaxseed Oils Quality and Oxidative Stability at the Beginning and the End of Their Shelf Life. *Journal of oleo science*, 65(2), 111–121. <https://doi.org/10.5650/jos.ess15243>
- Teimouri Okhchlar, R., Javadi, A., Azadmard-Damirchi, S., & Torbati, M. (2024). Quality improvement of oil extracted from flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) incorporated with olive leaves by cold press. *Food science & nutrition*, 12(5), 3735–3744. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4044>
- Tian M, Bai Y, Tian H, Zhao X. (2023) The Chemical Composition and Health-Promoting Benefits of Vegetable Oils-A Review. *Molecules*. 28(17):6393. <https://doi.org/10.3390/molecules28176393>
- Complex Oilseed Processing. Retrived from <https://www.farmet.cz/en-us/complex-oilseed-processing>

Отримано 20.09.2025 р., прийнято до друку 11.11.2025 р.