

## СУЧАСНІ СПОСОБИ ГІДРАТУВАННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

А.О. Демидова\*, Ф.Ф. Гладкий, Т.О. Березка

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

\*Corresponding author: ademidova2016@gmail.com

Received 5 April 2021; Accepted 2 June 2021

Оглядова стаття присвячена порівнянню найбільш поширених способів гідратування рослинних олій. Її мета – актуалізація інформації щодо цієї стадії рафінування рослинних олій для надання можливості вибору оптимального для виробника способу гідратування. Гідратування – перша зі стадій перероблення олій, мета якої – виведення фосфоліпідів, наявність яких унеможливує якісне проведення всіх інших стадій рафінування. Наведено фракційний склад рослинних фосфоліпідів різних олій, проаналізовано особливості їхньої будови, які впливають на гідрофільність, розглянуто різні теоретичні підходи до гідратування. Порівнюються недоліки, переваги та ефективність водного, кислотного, ферментного гідратування, total degumming, soft degumming. Ферментне гідратування сьогодні вважається основним способом вилучення фосфоліпідів. У промислових умовах для олій із низьким вмістом фосфоліпідів (наприклад, соняшникової) використання фосфоліпаз із метою одержання низькофосфорної олії (менше 10 мг/кг) є доцільним (з огляду на зменшення втрат олії на цій стадії). Але це можливо лише за умови проведення попереднього кислотного гідратування. Поєднання кислотного гідратування з лужною нейтралізацією – мабуть, найбільш ефективний і простий спосіб одержання олії з малими залишковими кількостями фосфоліпідів. Незважаючи на свою традиційність, цей підхід залишається високоефективним, найбільш простим у виконанні та недорогим. До суттєвого підвищення ефективності гідратування приводить інтенсифікація змішування фаз олія–гідратаційний агент. У статті розглянуто використання з цією метою ультразвукових і кавітаційних приладів. Перспективним напрямом розвитку технологій харчової промисловості сьогодні є застосування мембран. Розглянуто особливості цього фізичного методу гідратування. Вибраний тип гідратування, умови його проведення впливають на якість і безпеку кошового продукту цієї стадії – лецитину. Найбільш якісний лецитин одержують у результаті водного та ферментативного гідратування – вода або водні розчини ферментів не впливають негативно на якісні показники лецитину, на його склад. Лецитин, одержаний водним гідратуванням, практично не містить негідрофільних фосфоліпідів; лецитин, одержаний із використанням фосфоліпаз, містить підвищені кількості лізоформ фосфоліпідів, що позитивно впливає на його поверхнево-активні властивості.

**Ключові слова:** вміст фосфоліпідів; кислотне гідратування; ферментне гідратування; ультразвук; мембранні технології.

### Вступ

Гідратування – процес вилучення фосфоліпідів з олій за допомогою води або водних розчинів гідратаційних агентів. Процес осадження фосфоліпідів з олії в результаті додавання до неї води відомий уже майже сторіччя: він був винайдений Г. Боллманом у Німеччині в 1921 р. [1].

Фосфоліпіди є фізіологічно активними речовинами: незамінні для росту, розвитку та функціонування всіх соматичних клітин організму, є антиоксидантами, впливають на роботу нервової системи. Фосфоліпіди забезпечують субстрати для міжклітинної комунікації, що дають можливість регулювати гемостаз, імунітет, тромбоз і мають центральне значення

при серцево-судинних захворюваннях. Також є складовою частиною мембран клітин, печінка на 80 % складається з фосфоліпідів, мозок – на 60 % тощо [2, 3]). Незважаючи на численні позитивні фізіологічні функції фосфоліпідів у процесі рафінування, їх видаляють зі складу олій через негативний вплив, що вони чинять на стадії рафінування. Так, нейтралізацію, адсорбційне очищення, дезодорування – основні етапи одержання рафінованих олій – неможливо провести якісно за наявності в оліях помітних кількостей фосфоліпідів.

За рахунок яких особливостей будови фосфоліпідів можливе виведення їх з олій водними розчинами? Молекули фосфоліпідів мають дифільну природу – гідрофільну частину (“скелет” гліцерину та залишок фосфорної кислоти,

етерифікованої азотною групою) та гідрофобну частину (два залишки жирних кислот). За рахунок наявності довгих “хвостів” жирних кислот фосфоліпіди є жиророзчинними речовинами та вилучаються разом із нейтральним жиром зі складу олійного насіння пресуванням та екстракцією. Однак при додаванні до олії помітних кількостей води (більше 0,1 %) на її поверхні поступово концентруються фосфоліпіди, занурюючи свою гідрофільну частину всередину крапельок води, гідрофобна частина знаходиться в олії. Асоційовані фосфоліпіди утворюють дисперсну фазу і завдяки своїй більшій густині можуть бути відділені декантацією або центрифугуванням у вигляді так званої фосфоліпідної емульсії, або гідрофузу. Однак цей процес не є селективним, суміш води та фосфоліпідів унаслідок наявності також і неполярних груп у молекулах фосфоліпідів вилучає помітну частину олії. Цією емульсією захоплюється олія приблизно у співвідношенні 1:2 до фосфоліпідів – це так звані втрати нейтральної олії. За даними [4], проведення гідратування призводить до втрати 2,5 % загальної кількості олії для сирової соєвої олії.

Побічним продуктом цієї стадії є лецитин. Він складається переважно з 55–62 % фосфоліпідів, 37–44 % олії,  $\leq 1$  % води. Лецитин є коштовним комерційним продуктом (емульгатором, антиоксидантом, стабілізатором тощо), його якість також залежить від особливостей гідратування і впливає на вибір способу проведення цієї стадії перероблення олій. Стандартний лецитин одержують із фосфоліпідної емульсії видаленням під зниженим тиском із неї води.

Мета гідратування – найбільш повне виведення фосфоліпідів, одержання гідратованої олії з малим остаточним вмістом фосфоліпідів, а також одержання якісного лецитину.

Незважаючи на відносну простоту стадії гідратування, її поширеність, накопичений людством досвід її проведення, залишаються питання, пов'язані з постійним підвищенням вимог до гідратованої олії, лецитину, вимог до екологічності виробництва, економії ресурсів тощо.

*Мета дослідження* – розглянути механізм гідратування, основні фактори, що впливають на його ефективність, і порівняти сучасні способи гідратування.

### Матеріали досліджень

Для огляду використовувались джерела з баз даних Scopus, Science Direct, PubMed,

Google Scholar, а також AOCS. Пошук здійснювався за такими ключовими словами: “degumming”, “phospholipid content”, “water degumming”, “lecithin”, “acid degumming”, “total degumming”, “enzymatic degumming”, “ultrasound degumming”.

### Результати огляду

Рослинні фосфоліпіди представлені речовинами, структурні формули яких наведені на рис. 1 [5]. Не всі групи фосфоліпідів є гідрофільними, тобто виводяться в процесі водного гідратування (табл. 1), з чим і пов'язана різноманітність підходів до їхнього виведення зі складу олій.

На сьогодні розроблено величезну кількість способів гідратування, які відрізняються теоретичним підходом, складом гідратаційних агентів, апаратурним оформленням, режимами гідратування тощо. Загальна схема найбільш поширених сьогодні способів гідратування зображена на рис. 2.

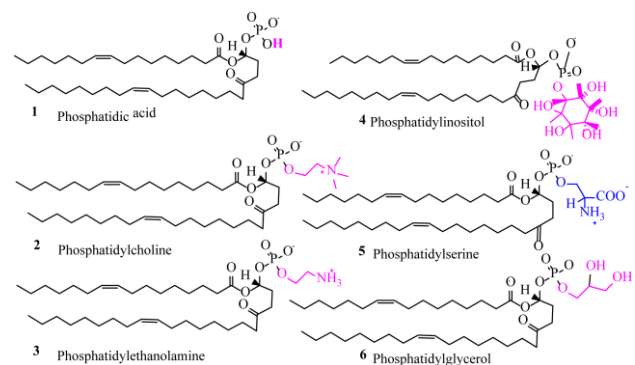


Рисунок 1: Різновиди рослинних фосфоліпідів [5]

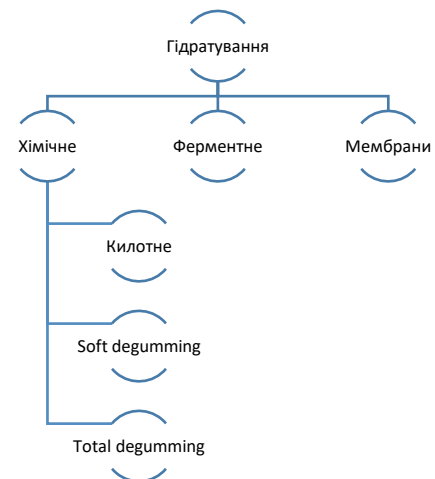


Рисунок 2: Найбільш поширені сучасні способи гідратування

**Таблиця 1:** Вміст фосфоліпідів у олійному насінні та їхній фракційний склад

Олія	Вміст фосфору (мг/кг) [6]	Фракційний склад фосфоліпідів, % [7]				
		Фосфатидилхолін	Фосфатидилетаноламін	Фосфатидилінозитол	Фосфатидна кислота	Інші
Ріпакова	252–1155	37	20	22	8	13
Соєва	640–1140	32	23	21	8	15
Соняшникова	170–544	34	17	30	6	13

**Таблиця 2:** Здатність до гідратування різних груп гліцерофосфоліпідів [адаптовано з [7]]

Групи фосфоліпідів	рН		
	Кисле середовище	Нейтральне середовище	Лужне середовище
Фосфатидилхолін	Гідратується (+)	Гідратується (+)	Гідратується (+)
Фосфатидилінозитол	Гідратується (+)	Гідратується (+)	Гідратується (+)
Фосфатидилетаноламін	Негативний заряд молекули Гідратується (+)	Цвітер-іон Частково гідратується (±)	Позитивний заряд молекули Гідратується (+)
Фосфатидна кислота	Нейтральна молекула Не гідратується (-)	Негативний заряд Гідратується (+)	Подвійний негативний заряд Гідратується (+)
Негідратовані фосфоліпіди (солі кальцію або магнію та фосфатидної кислоти)	Не гідратується (-)	Не гідратується (-)	Гідратується (+)

Рослинні олії характеризуються різним вмістом фосфоліпідів (колонка 2 табл. 1), різним співвідношенням групового складу фосфоліпідів (колонки 5, 6 табл. 1). Важливими для проведення гідратування є не тільки ці характеристики олій, але й кількість металів, вміст яких корелює з кількістю фосфоліпідів, що не гідратуються (НГФ). Пресовані олії містять істотно меншу кількість фосфоліпідів, металів, НГФ.

Більшість груп фосфоліпідів є цвітер-іонами, тобто мають негативний заряд на залишку фосфорної кислоти (див. рис. 1) та позитивний заряд на аміній групі. За певних значень рН вони утворюють внутрішню сіль, при цьому переходять у форму, що не гідратується.

Найвищою гідрофільністю характеризується фосфатидилхолін – найбільш цінна за технологічними та фізіологічними властивостями група фосфоліпідів. Унаслідок досить далекого розміщення позитивного та негативного заряду в її молекулах (див. рис. 1) фосфатидилхолін не утворює внутрішню сіль за будь-яких значень рН і завжди є гідрофільним. Численні дослідження НГФ не знаходили в їхньому складі фосфатидилхолін [7].

Фосфатидилінозитол містить негативно заряджену групу, яка дисоціює за нейтрального рН і втрачає свій негативний заряд за значень  $pK_a$  нижче 3,5 (як і молекула фосфатидилхолі-

ну). Тому в кислому середовищі фосфатидилінозитол не має заряду і характеризується лише незначним дипольним моментом [7]. Однак молекула фосфатидилінозитулу містить п'ять вільних гідроксильних груп на фрагменті інозитулу (рис. 1), що робить її сильно гідрофільною. Фосфатидилінозитол, як і фосфатидилхолін, повністю виводиться в процесі водного гідратування (в умовах достатньої кількості води, змішування фаз тощо).

Фосфатидилетаноламін і фосфатидну кислоту слід вважати фосфоліпідами, що частково гідратуються.

Фосфатидилетаноламін у нейтральному середовищі є цвітер-іоном. Негативно заряджений кисень на залишку фосфорної кислоти знаходиться досить близько до позитивно зарядженого азоту аміногрупи, дипольний момент молекули стає зовсім маленьким, утворюється внутрішня сіль, і фосфатидилетаноламін не гідратується. При підвищенні рН молекула фосфатидилхоліну втрачає позитивний заряд і стає гідрофільною, при зниженні рН молекула втрачає негативний заряд і також стає гідрофільною (табл. 2) [7].

Твердження, що фосфатидна кислота не є гідрофільною і входить до складу лише НГФ, не є правильним. Вона входить до складу лецитинів, одержаних водним гідратуванням. Під

впливом води молекула фосфатидної кислоти залишає олію, імовірно, за таким механізмом: вона містить два довгих жирнокислотних “хвости” (див. рис. 1), є ліпофільною і не виводиться з олії. За нейтрального рН частина фосфатидної кислоти дисоціює та утворює монокалієву або мононатрієву сіль. Калій/натрій слабо пов’язаний із фосфатидною кислотою, тому молекула має суттєвий дипольний момент і, відповідно, є гідрофільною [7].

Фосфатидна кислота стає повністю гідрофільною в лужному середовищі (див. табл. 2): несе вже подвійний негативний заряд атомів кисню та може бути виведена з олії під час лужної нейтралізації (при ефективному проведенні нейтралізації) у вигляді динатрієвої солі фосфатидної кислоти разом із милом.

Солі фосфатидної кислоти з кальцієм або магнієм не виводяться в процесі водного гідратування і становлять найбільш суттєву групу НГФ. Основні іони металів, що входять до НГФ, – це кальцій і магній. Для виведення НГФ з олій необхідне використання водних розчинів гідратуючих агентів, які здатні (наприклад, сильні кислоти) витіснити більш слабку фосфатидну кислоту із солей кальцію та магнію. Найбільшу схильність до утворення солей із полівалентними металами (насамперед кальцій, магній і залізо) має фосфатидна кислота. Далі – фосфатидилінозитол і фосфатидилетаноламін (утворюють солі за високих рівнів вмісту металів) [8].

Не всі солі фосфоліпідів із металами відносяться до НГФ. Майже всі іони лужних металів видаляються із сирової олії водним гідратуванням, іони лужноземельних металів вилучаються лише частково. Існує точка зору, що всі групи фосфоліпідів є гідрофільними, але гідратуються за різний час, тобто процес гідратування є кінетично контрольованим [8]. Згідно з іншою теорією, кожен фосфоліпід характеризується певним коефіцієнтом розподілу між водою та олією. Фосфоліпід, що легко гідратується (наприклад, фосфатидилхолін), має коефіцієнт розподілу, що вказує на перевагу для водної фази. Коефіцієнт розподілу НГФ вказує на їхню спорідненість із жировою фазою, тобто розглядається і термодинамічна теорія гідратування.

### Водне гідратування

Найбільш простим, дешевим і безпечним є спосіб гідратування водою. Найбільш якісний

лецитин одержують у результаті обробки олій водою. Проблема в тому, що не всі групи фосфоліпідів (див. рис. 1) виводяться з олій під впливом води. Повністю гідрофільними є лише фосфатидилхолін і фосфатидилінозитол. Для повного виведення інших груп фосфоліпідів потрібна зміна рН середовища, тобто застосування водних розчинів гідратаційних агентів. Водне гідратування залишає в олії від 80 до 200 мг/кг фосфору залежно від кількості негідратованих фосфоліпідів, які залишаються в олії [9]. Ефективність водного гідратування в лабораторних умовах суттєво вища, ніж у промислових. Наприклад, кукурудзяна олія, з початковим вмістом фосфору 951,0 мг/кг, після водного гідратування містить фосфор у кількості 67 мг/кг [10]. У дослідженні [11] здійснювали водне гідратування ріпакової олії та отримали зменшення вмісту фосфору з 690 до 61 мг/кг. Тобто в процесі лабораторного гідратування (практично ідеальні умови, коли всі фосфоліпідні встигають прореагувати з водою, використовують надлишок води) можливо досягти зниження вмісту фосфору на ~90 %. Досягти такого низького остаточного вмісту фосфоліпідів у результаті водного гідратування в промислових умовах неможливо: недоцільно застосовувати суттєвий надлишок води (в процесі сушки фосфоліпідної емульсії її потрібно відганяти), недоцільно істотно підвищувати тривалість гідратування (зростає собівартість стадії, підвищується кислотне число в результаті гідролізу не лише фосфоліпідів, але й нейтральних ліпідів) тощо. З метою одержання більш низького остаточного вмісту фосфору в олії застосовуються всі інші способи гідратування.

### Кислотне гідратування

Найбільш простим і дешевим способом підвищення ефективності водного гідратування є застосування кислот. Однак і при кислотному гідратуванні виводяться не всі фосфоліпідні. Одним із проблемних моментів є те, що, на відміну від водного гідратування, з кислотою або іншим гідратаційним агентом взаємодіють не всі молекули фосфоліпідів. Тобто при введенні води ступінь дисперсії не надто критичний і за звичайних умов перемішування забезпечується достатній контакт фаз фосфоліпідів–вода. При кислотному гідратуванні використовується дуже мала кількість кислоти і необхідна набагато більш тонка дисперсія для контактування молекул. Процес ускладнюється тим, що при вве-

денні води в олію не виникає стабільної системи, крапельки води з кислотою будуть сполучатися, дифузійні відстані будуть збільшуватися, і все це призведе до уповільнення реакції.

Класичною кислотою для проведення кислотного гідратування є фосфорна, в останні десятиліття широко застосовується харчова лимонна, яка через свої хелатуючі властивості (взаємодіє з металами, витісняє фосфатидну кислоту з її солей і виводить НГФ) є більш ефективним (і безпечним) гідратаційним агентом, ніж фосфорна і більшість інших кислот [11]. Альтернативними варіантами є використання практично будь-яких харчових кислот або їхніх сумішей, що ефективніше.

### Total degumming process

У традиційному циклі рафінування після гідратування проводиться стадія нейтралізації, де під впливом лугів виводяться залишки фосфоліпідів. Як видно з табл. 2, це насамперед фосфатидна кислота, для підвищення гідрофільності якої необхідне лужне середовище, а також інші групи фосфоліпідів. Використання лугів у технології гідратування виділяють в окремий метод, суть якого полягає в повному видаленні фосфоліпідів і вільних жирних кислот. На першій стадії цього процесу проводять кислотне гідратування, таким чином виводячи частину НГФ. Далі вводять розчин лугу. Каустичний розчин нейтралізує вільні жирні кислоти (виробництво натрієвих мил), нейтралізує надлишок кислоти, і з отриманими натрієвими милами емульгуються і виводяться всі інші фосфоліпіди. Розчин гідроксид натрію/олія змішують, потім декантують, проводять фільтрацію або центрифугування.

Альтернативою лужній обробці є використання силікагелю і фільтрація отриманого осаду (продукти взаємодії силікагелю і ліпідів не відокремлюються від нейтральної олії центрифугуванням). Цей, один із найпоширеніших на сьогодні, підходів має назву total degumming process [12, 13]. Силікагель використовується повторно після його регенерації (десорбція, очищення).

### Ферментне гідратування

Ферментне гідратування – порівняно новий напрям. Використовує фосфоліпази для розділення полярних і неполярних фрагментів фосфоліпідів, тим самим покращуючи видален-

ня полярних компонентів і зменшуючи кількість нейтральної олії, яка втрачається з фосфоліпідною емульсією [15]. Основними типами фосфоліпаз є А1 (або PLA1), А2 (або PLA2) та С (або PLC), а їхні цільові ділянки змінюються залежно від їхньої специфічності (рис. 3).

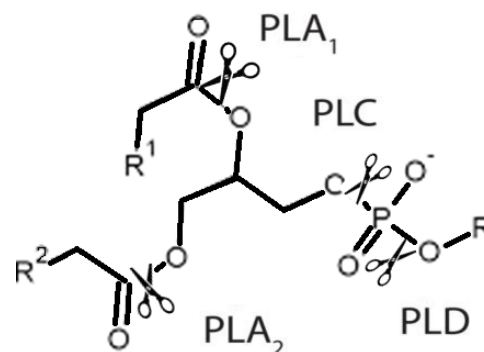


Рисунок 3: Взаємодія фосфоліпаз із молекулою фосфоліпиду

Фермент додають до олії з гідратаційною водою з подальшою інкубацією протягом тривалого періоду (від 1-ї до 8-ми год).

Фосфоліпази впливають на фосфоліпіди таким чином:

- фосфоліпази С (PLC) перетворюють фосфоліпіди на діацилгліцерини та фосфоровмісні фрагменти;
- фосфоліпази А (PLA1 та PLA2) утворюють лізофосфоліпіди та жирні кислоти;
- відомі ще два класи фосфоліпаз, які не використовуються сьогодні в промисловості. Це фосфоліпаза В (PLB) і фосфоліпаза D (PLD). Фосфоліпаза В відриває залишок жирної кислоти з лізофосфоліпиду, утворюючи гліцерофосфат. Фосфоліпаза D відриває від молекули фосфоліпиду групи холіну або етаноламіну, що призводить до утворення фосфатидної кислоти, наявність якої зазвичай є небажаною при переробці олійних [14].

Розроблена в 1983 р. фосфоліпаза С (Purifine1) перетворює фосфоліпіди на діацилгліцерини (див. рис. 3). Якщо ферменти Lecitases1 і ліпідацилтрансфераза LysoMax1 каталізують гідроліз усіх поширених фосфоліпідів, то Purifine1 специфічний для фосфатидилхоліну, фосфатидилетаноламіну. Відсутність активності Purifine1 щодо фосфатидної кислоти і фосфатидилінозитулу призводить до необхідності їхнього виведення на іншій стадії гідратування (наприклад, лужної нейтралізації).

Ефективність фосфоліпази С зменшується в ряду фосфатидилхолін > фосфатидилетаноламін > фосфатидна кислота > фосфатидилінозитол [15].

Структура фосфорної групи фосфатидилінозитолу відрізняється від інших фосфоліпідів і потребує іншої структури ферменту. Нещодавно було виділено кілька ферментів із більш широкою субстратною специфічністю, але комерційно вони поки що не доступні [16, 17]. Основна перевага застосування фосфоліпази С – зменшення виносу нейтральної олії з фосфоліпідною емульсією. Під впливом PLC полегшується відокремлення фосфоліпідної емульсії. Однак досягнути значень залишкового фосфору менше 10 ppm за використання фосфоліпази С важко. Як уже зазначалось, фосфатидна кислота майже не перетворюється під впливом PLC, фосфатидилетаноламін важко гідролізується. Одним із рішень для досягнення кращої конверсії та більш ефективної гідратації є поєднання процесів на основі PLC із використанням PLA, як це відбувається в Purifine 3G.

Існують два типи фосфоліпази А: PLA1 і PLA2, які відривають від фосфоліпідів вільну жирну кислоту з положення sn1 та sn2 відповідно, утворюючи 1-ацил-2-лізофосфоліпід або 2-ацил-1-лізофосфоліпід відповідно. Комерційна PLA2 може гідролізувати всі фосфоліпідні, з перевагою в порядку фосфатидна кислота > фосфатидилхолін > фосфатидилетаноламін > фосфатидилінозитол. Фермент має іон кальцію в своєму активному центрі як кофактор для зв'язування фосфатидної групи фосфоліпідів. Ферменти PLA1 гідролізують жирну кислоту в положенні sn1, приводячи до утворення 1-лізофосфоліпідів. Однак він не є термодинамічно стабільною формою: ацил у 2-положенні може мігрувати в більш стабільне положення sn1, що приводить до утворення 2-лізофосфоліпідів. PLA1

активна в кислому середовищі [18]. Лізофосфоліпідів, утворених фосфоліпазами А, більш гідрофільні порівняно з вихідною молекулою. Тому, наприклад, кальцієва сіль лізофосфатидної кислоти більш гідрофільна порівняно з кальцієвою сіллю фосфатидної кислоти, за рахунок чого і спостерігається низький остаточний вміст фосфоліпідів після гідратування фосфоліпазами А. У табл. 3 наведені найбільш поширені типи комерційних фосфоліпаз, їхні виробники та оптимальні умови обробки.

У промислових умовах для олій із низьким вмістом фосфоліпідів (наприклад, для соняшникової) використання фосфоліпаз із метою одержання низькофосфорної олії (менше 10 мг/кг) є доцільним (з огляду на зменшення втрат олії на цій стадії). Але це можливо лише за умови проведення попереднього кислотного гідратування. Так, наприклад, товарна олія з <200 мг/кг фосфору, попередньо гідратована лимонною кислотою, через 4 год обробки 25 мг/кг PLA1 за 55 °C містить лише близько 5 мг/кг фосфору [6].

Основні переваги застосування фосфоліпаз зрозумілі (можливість одержання олії з дуже низьким вмістом фосфоліпідів, помітно менші втрати нейтральної олії при гідратуванні). Також важливим моментом є більш висока вартість лецитину, який одержується в результаті застосування PLA. Такий лецитин відноситься до так званого гідролізованого (з високим вмістом лізофосфоліпідів) і є одним із ліпших емульгаторів систем олія в воді.

Процес PLC + PI-PLC збільшує ефективність ферментного гідратування (вилучає більше фосфатидилетаноламіну та фосфатидилінозитолу), але одержаний продукт містить менше

Таблиця 3: Характеристика комерційних фосфоліпаз [6]

Тип фосфоліпази	Комерційна назва	Виробник	Ефективність відносно фосфоліпідів	Кінцеві продукти	Оптимум рН	Оптимум температурний, °C	Джерело
PLA1	Lecitase Ultra	Novozymes	Всі групи фосфоліпідів	Жирні кислоти, лізофосфоліпідів	5,5	55	[19]
	Lecitase Novo A-PLA				4,1	75	
PLA2	Rohalase PL-Xtra	AB enzymes	Всі групи фосфоліпідів	Жирні кислоти, лізофосфоліпідів	4,0	50	[19]
	LysoMax	Danisco			5,0	50	[20]
	PLA <sub>2</sub>	German AB			4,0	50	[21]
PLC	Purifine PLC (1 G)	DSM	ФХ, ФЕ	Діацилгліцерини і ефіри фосфатидної кислоти	5,7	60	[22]
	Purifine PLC (3 G)	DSM	Всі групи фосфоліпідів	Діацилгліцерини і жирні кислоти	5,5	60	[19]

коштовної фракції фосфатидилхоліну, менше лізоформ, характеризується меншою харчовою і технологічною цінністю.

У статті [23] доводиться збільшення виходу гідратованої соняшникової олії при застосуванні фосфоліпази С. При цьому олія збагачена фізіологічно цінними компонентами – діацилгліцерином.

До недоліків ферментного гідратування слід віднести таке:

- для переходу на ферментне гідратування технологічну лінію потрібно додатково адаптувати обладнанням та реакційними резервуарами;

- через дуже малу кількість ферменту необхідне тонке диспергування його водного розчину в олію: потребується ретельний контроль цієї дисперсії протягом усього періоду інкубації;

- швидкість реакції з НГФ при кислотному гідратуванні в два рази вища, ніж при ферментному. Тому в промислових технологіях перед введенням ферменту проводять обробку олії розчинами кислот, які переводять НГФ у гідратовані фосфоліпіди (тобто розчинні у воді, а отже, доступні для ферменту). Без проведення кислотної обробки олій неможливо отримати низькі значення залишкового вмісту фосфору;

- застосування фосфоліпаз для олій низької якості (високий вміст фосфоліпідів, вільних жирних кислот, металів) призводить до малої ефективності гідратування (високий остаточний фосфор, незначна кількість діацилгліцеринів). Компромісне рішення – комбінація ферментів PLC і PLA1 (доданих разом або послідовно).

Частини цих недоліків можна позбавитися поєднанням мферментного гідратування з іншими підходами. Так, у [24] вивчали взаємний вплив фосфоліпаз і лимонної кислоти в процесі гідратування соєвої олії. Поєднання лимонної кислоти з PLC + PLA1 та лимонної кислоти з PLA1 привело до зниження фосфору в олії до слідових значень у 1,8 та 4,7 мг/кг відповідно. Експерименти, проведені без додавання лимонної кислоти, показували більш високий вміст фосфору в гідратованій олії, що дає змогу припустити, що лимонна кислота не тільки допомагає підтримувати оптимальний рН ферменту, але і полегшує дію фосфоліпаз.

Окремо варто розглянути гідратування перед фізичним рафінуванням. Для проведення процесу фізичної рафінації ключовою вимогою є виведення фосфоліпідів до мінімального рівня (менше 30 мг/кг), виведення металів, тому в

циклах фізичної рафінації використовуються двостадійний процес виведення фосфоліпідів, часто ферментне гідратування. Популярність ферментних технологій пов'язана головним чином із жорсткими вимогами до гідратування перед фізичною рафінацією, які витримують ензими.

### **Використання хелаторів. Soft degumming (м'яке гідратування)**

Для максимально повного виведення фосфоліпідів (маються на увазі насамперед НГФ), як правило, після проведення водного або кислотного гідратування використовують розчини комплексонів або хелаторів, які витісняють іони змінної валентності з НГФ, роблячи їх гідрофільними. Комплексони утворюють із металами (дво-, тривалентними) набагато більш стійкі комплекси, ніж кислоти, тому більш ефективно взаємодіють із НГФ [25].

Для виведення НГФ часто використовують один із найбільш сильних хелаторів – сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти (ЕДТА, трилон Б, комплексон III). При цьому забираються метали з НГФ і утворюється міцний п'ятичленний хелат кальцію. Найчастіше використовують емульгатор для уповільнення зрощення крапель водної фази, і, таким чином, продовжується час реакції між ЕДТА і НГФ (застосовують дуже малі кількості ЕДТА, вартість якої є високою). З використанням soft degumming можна отримати гідратовану олію із вмістом фосфору не більше 5 мг/кг [26].

Значення рК (характеризує здатність утворювати стійкі комплекси) комплексів фосфатидної кислоти/кальцію та фосфатидної кислоти/магнію становлять 4,6 і 4,0 відповідно. Комплекси ЕДТА/кальцію та ЕДТА/магнію мають значення рК 10,7 і 8,7 відповідно. Тобто ЕДТА легко витісняє іони змінної валентності з НГФ, роблячи останні гідрофільними. Значення рК ЕДТА/залізо ще вищі – 14,3 або 25,1 залежно від ступеня окиснення заліза [26].

Технологію з використанням хелатора виділяють в окремий метод – так зване м'яке гідратування (англ. soft degumming). Його механізм можна розділити на дві стадії: 1) стадію комплексоутворення, що приводить до ефективного вилучення фосфатидної кислоти та фосфатидилетаноламіну, за якою слідує 2) стадія переходу фосфоліпідів (гідратованих і негідратованих) у водну фазу. Нарешті, одержану фосфатидну емульсію можна відокремити декантацією

або, бажано, центрифугуванням. Недоліком такого підходу, який гальмує використання ЕДТА в промисловості, є його висока вартість.

### Інтенсифікація змішування фаз

Підвищення вірогідності зустрічі молекул фосфоліпідів–вода–інший гідратаційний агент приводить до суттєвого підвищення ефективності гідратування.

Зараз широко досліджується ультразвуковий спосіб змішування фаз, який дає вагомий результат щодо зменшення залишкового фосфору в олії, а також можливості істотного скорочення часу гідратування і навіть температури процесу. Використання ультразвукових хвиль прогресує в різних галузях. Кожна ультразвукова хвиля – це механічна турбулентність у газі, рідині або твердому тілі. Використання ультразвукових хвиль базується на двох типах: високочастотних (2–10 МГц) і низькочастотних ультразвукових хвилях – 20–500 кГц. Окрім поліпшення змішування фаз, при їхньому застосуванні скорочується час гідратування, споживається менше енергії [27, 28].

З використанням ультразвуку ефективність процесу гідратування (кислотного) збільшувалась на 70–79 % [29]. Поєднання ультразвуку та ферментного гідратування приводить до 97–98 %-вого вилучення фосфоліпідів [28, 30]. Використання ультразвукового обладнання за частоти 24 кГц зменшило майже втричі остаточний вміст фосфоліпідів у соняшниковій олії [31].

Використання кавітації для процесу гідратування також має на меті підвищення його ефективності та скорочення часу.

Кавітація – це процес утворення, зростання та подальшого колапсу мікробульбашок речовини, що відбувається за дуже малий час із виділенням значної енергії (викликає місцеве підвищення температури до 1000–15000 К і тиску до 500–5000 бар). У [32] гідродинамічну кавітацію проводили за тиску 4 бар, використовуючи щілину Вентурі як кавітаційний пристрій, що дало 93,6%-кове вилучення фосфоліпідів.

До недоліків застосування й ультразвукових коливань, і кавітації відносяться інтенсифікація процесів окиснення в оліях (кисень більш активно взаємодіє з ненасиченими зв'язками жирних кислот) і висока собівартість цих процесів (із точки зору капітальних й експлуатаційних витрат).

### Відокремлення фосфоліпідів за допомогою мембран

Незважаючи на ефективність видалення фосфоліпідів у результаті проведення традиційного процесу гідратування, він потребує помітних кількостей енергії, апаратів (у т.ч. високої вартості, наприклад сепараторів), супроводжується втратами олії, утворенням фосфоліпідної емульсії, яку необхідно висушувати, тощо.

Найбільш перспективною альтернативою традиційному гідратуванню є мембранна технологія відділення фосфоліпідів від нейтральної олії. Мембранні процеси, що регулюються тиском, класифікуються як зворотній осмос (RO), нанофільтрація (NF), ультрафільтрація (UF). Комерційні мембрани випускаються чотирьох основних типів, а саме пластинчасті та каркасні, трубчасті, спірально накручені та порожнисті волокна [33].

В основі мембранного гідратування лежить ідея використати для розділення фосфоліпідів і триацилгліцеринів різницю в розмірах їх молекул. Такі складові жирів, як фосфоліпідів (від 600 до 800 Da), каротиноїди (від 537 до 569 Da), вільні жирні кислоти (від 256 до 282 Da), токоферолі (від 402 до 472 Da), мають менші молекулярні розміри, ніж триацилгліцерини (>800 Da). Однак різниці в розмірах цих молекул занадто малі, щоб використовувати мембрану для поділу на основні компоненти. В неполярних розчинах основні поверхнево-активні речовини олій – фосфоліпідів, утворюють зворотні міцели із середньою молекулярною масою близько 20000 Da, що є істотно більшим за розміри триацилгліцеринів (~900 Da). Тому їх можна розділити ультрафільтрацією із застосуванням відповідних мембран з адекватною селективністю [34]. Для мембранного гідратування використовують полімерні (полівініліденфториди (PVDF), поліетиленсульфони (PES) [33]) та керамічні мембрани [35]. У більшості досліджень як розчинник застосовують н-гексан, при цьому можна відділити 95–99,9 % фосфоліпідів від теоретичного вмісту або етанол [36].

Взаємодія розчинника з мембранами може призвести до розширення (набухання), ламінування або розчинення мембрани. Найбільш стійкими до гексану є мембрани полівініліденфториду (PVDF), до етанолу – поліетиленсульфони (PES) [37].



Переваги застосування мембран – економія енергії (близько 50 %), одержання олій із низьким вмістом фосфору (до <10 мг/кг за початкового вмісту 2-3 % для соєвої олії, наприклад). Концентрація міді, заліза, магнію та кальцію в результаті мембранного гідратування також значно знижується. Ще одним суттєвим аргументом за застосування мембран є менші втрати токоферолів та інших корисних компонентів олій порівняно з традиційним циклом рафінування, тобто олії будуть характеризуватися більшою біологічною цінністю. Низький вміст металів говорить про більшу стабільність таких олій щодо окиснювального псування.

Основні недоліки мембранного гідратування – коштовність мембран (у результаті мембранні технології впроваджуються у виробництво повільно) та необхідність розчинення нерафінованої олії в неполярному розчиннику (тобто підходить лише для екстракційних олій, із яких не вилучали гексан або інший неполярний розчинник). Також важливо, що на сьогодні найбільший потік олії, що проходить через мембрани, дорівнює 0,8 л/(м<sup>2</sup>·г), а це є дуже низьким значенням для промислового застосування [38].

#### **Зв'язок між умовами гідратування й отриманням якісного лецитину**

Найбільш якісний лецитин одержується в результаті простого водного гідратування. Такий лецитин складається переважно з груп фосфатидилхоліну, фосфатидилінозитулу, лише частина фосфатидилетаноламіну та фосфатидних кислот потрапляє до нього, він не містить НГФ. Фосфатидилхолін – найбільш цінна група фосфоліпідів – найбільш ефективний емульгатор, антиоксидант, біологічна цінність лецитинів перераховується на вміст холіну. Мінімальний вміст металів також позитивно позначається на якості лецитину. Тому, ймовірно, для охочих отримати найбільш якісний лецитин слід рекомендувати двостадійне гідратування, в ході якого лецитин отримують після першого водного гідратування, а НГФ виводяться на другій стадії (доцільно разом із жирними кислотами) і не змішують із основним лецитиновим продуктом.

Інший варіант одержання більш коштовного лецитину – використання ферментів PLA1 або PLA2 і одержання лізоформ фосфоліпідів, як уже зазначалось.

Проведення кислотного гідратування, використання хелатору призводить до підвищення рівня вмісту металів у лецитині, а також до деякого підвищення його кольорового числа, тобто до зниження якості.

#### **Висновки**

Поєднання кислотного гідратування з лужною нейтралізацією – мабуть, найбільш ефективний і простий спосіб одержання олії з малими залишковими кількостями фосфоліпідів. Незважаючи на свою традиційність, цей підхід залишається високоефективним, найбільш простим у виконанні та недорогим. Остаточний вміст фосфору може дорівнювати 5 мг/кг.

Основним світовим методом гідратування на сьогодні є ферментне. Незважаючи на коштовність, тривалість, особливості проведення, ферментне гідратування забезпечує стабільно низький остаточний вміст фосфоліпідів. Однак проведення ефективного ферментного гідратування потребує суттєво більш технологічно складного підходу, професіоналізму технологів тощо. Оптимальні умови реакції (попереднє кислотне гідратування, попереднє кондиціонування, час, умови диспергування його в олію) потрібно знаходити на конкретному заводі та коригувати залежно від якості нерафінованої олії. Перед прийняттям рішення про застосування ферментів на підприємстві слід відповісти на запитання: чи правда потрібен такий низький остаточний вміст фосфоліпідів, заради якого необхідно буде змінювати технологічну лінію, проводити двостадійне (спочатку кислотне, потім ферментне) тривале (більше 4 год) гідратування, яке складно контролювати? При застосуванні фізичного рафінування – так, це одна з найважливіших передумов підготовки олії до рафінування. При застосуванні хімічної нейтралізації та дезодоруванні використання більш дешевих способів гідратування видається доцільнішим. НГФ погано виводяться в процесі ферментного гідратування, перед яким слід проводити кислотне гідратування з подальшим додаванням лугу для формування необхідного для роботи ферменту рН. Це дає можливість назвати процеси за участю фосфоліпаз A1, A2 або PLC модифікованим процесом кислотного гідратування. Суттєвою перевагою ферментного гідратування є зниження втрат олії. Окремо стоїть питання одержання коштовного гідролізованого лецитину вже на стадії гідратування і,

таким чином, отримання додаткового прибутку. Однак у цілому твердження, що ферментативне гідратування стало ключовою технологією, є сумнівним.

Найбільш перспективними напрямками розвитку технології гідратування є застосування інших підходів до змішування фаз (кавітація, ультразвук) і мембрани.

Суттєве підвищення ефективності будь-якого способу гідратування можливе при застосуванні ультразвукового перемішування. Забезпечення контакту між фосфоліпідами та гід-

ратуючим агентом (кислоти, ферменти, емульгатори тощо) – один із найбільш перспективних шляхів розвитку технології гідратування.

Переваги застосування мембран – 50 %-кова економія енергії, одержання олій із малими залишковими кількостями фосфоліпідів, відсутність стоків, більша окисна стійкість олій та інші – є настільки вагомими, що повинні переважити недоліки – високу вартість мембран, необхідність застосування розчинника.

## References

- [1] Bollmann H. Process for obtaining the lecithin obtained by leaching oil seeds or their press cake with a mixture of alcohol and benzene or gasoline. German patent DE382912C. 1923.
- [2] Robert C., Coudelo L, Vaysse C, Michalski MC. Vegetable lecithins: a review of their compositional diversity, impact on lipid metabolism and potential in cardiometabolic disease prevention. *Biochimie*. 2019;169:121-132. DOI: 10.1016/j.biochi.2019.11.017
- [3] O'Donnell VB, Rossjohn J, Wakelam MJ. Phospholipid signaling in innate immune cells. *J Clin Invest*. 2018 Jul 2;128(7):2670-79. DOI: 10.1172/JCI97944
- [4] Cesarini S, Haller R, Diaz P, Nielsen P. Combining phospholipases and a liquid lipase for one-step biodiesel production using crude oils. *Biotechnol Biofuels*. 2014 Feb;7(1):29. DOI: 10.1186/1754-6834-7-29
- [5] Alagumuthu M. Phospholipid – the dynamic structure between living and non-living world; a much obligatory supramolecule for present and future. *AIMS Mol Sci*. 2019;6(1):1-19. DOI: 10.3934/molsci.2019.1.1
- [6] Passos RM, Ferreira RSB, Batista EAC. Degumming alternatives for edible oils and biodiesel production. *Food Publ Health*. 2019;9(5):139-47. DOI: 10.5923/j.fph.20190905.01
- [7] Dijkstra A. Edible oil processing: introduction to degumming [Internet]. *Lipidlibrary.aocs.org*. 2021 [cited 2021 Apr 2]. Available from: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/introduction-to-degumming>
- [8] Sen Gupta A. K. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Raffination der Speiseole. *Fette Seifen Anstrichm*. 1986;88:79-86. DOI: 10.1002/lipi.19860880302
- [9] Sengar G, Kaushal P, Sharma HK, Kaur EM. Degumming of rice bran oil. *Rev Chem Eng*. 2014;30(2):183-98. DOI: 10.1515/revce-2013-0030
- [10] Sampaio KA, Zyaykina N, Uitterhaegen E, De Greyt W, Verhé R, de Almeida Meirelles AJ, et al. Enzymatic degumming of corn oil using phospholipase C from a selected strain of *Pichia pastoris*. *LWT Food Sci Technol*. 2019 March;107:145-50. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.003
- [11] Ye Z, Qiao X, Luo Z, Hu C, Liu L, He D. Optimization and comparison of water degumming and phospholipase C degumming for rapeseed oil. *CyTA J Food*. 2016 Jan;14(4):604-12. DOI: 10.1080/19476337.2016.1182218
- [12] Paisan S, Chetpattananondh P, Chongkhong S. Assessment of water degumming and acid degumming of mixed algal oil. *J Environ Chem Eng*. 2017;5(5):5115-23. DOI: 10.1016/j.jece.2017.09.045
- [13] Cleenewerck B, Dijkstra AJ. The total degumming process – theory and industrial application in refining and hydrogenation. *Fat Sci Technol*. 1992;94(8):31722. DOI: 10.1002/lipi.19920940809
- [14] Galhardo F, Dayton C. Enzymatic degumming. [Internet]. *Lipidlibrary.aocs.org*. 2021 [cited 2021 Apr 2]. Available from: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/enzymatic-degumming>
- [15] Zorn K, Oroz-Guinea I, Brundiek H, Bornscheuer UT. Engineering and application of enzymes for lipid modification, an update. *Prog Lipid Res*. 2016;63:153-64. DOI: 10.1016/j.plipres.2016.06.001
- [16] Sein A., de Jong RM, Van Rij ET, Bijleveld W, Wilbrink MH. Phospholipase C. DSM patent WO2016162456. 2016.
- [17] Tang L, Liu Y, Borch K, Brask J. Polypeptides having phospholipase C activity and polynucleotides encoding same. *Novozymes patent WO2012062817*. 2012.
- [18] Okudaira M, Inoue A, Shuto A, Nakanaga K, Kano K, Makide K, et al. Separation and quantification of 2-acyl-1-lysophospholipids and 1-acyl-2-lysophospholipids in biological samples by LC-MS/MS. *J Lipid Res*. 2014;55(10):2178-92. DOI: 10.1194/jlr.D048439
- [19] Gupta MK. *Practical guide to vegetable oil processing*. Elsevier; 2017. 488 p.

- [20] Lamas DL, Crapiste GH, Constenla DT. Changes in quality and composition of sunflower oil during enzymatic degumming process. *LWT Food Sci Technol.* 2014;58(1):71-6. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.02.024
- [21] Qu Y, Sun L, Li X, Zhou S, Zhang Q, Sun L, et al. Enzymatic degumming of soybean oil with magnetic immobilized phospholipase A2. *LWT Food Sci Technol.* 2016;73:290-5. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.06.026
- [22] Sampaio KA, Zyaykina N, Uitterhaegen E, De Greyt W, Verhé R. Enzymatic degumming of corn oil using phospholipase C from a selected strain of *Pichia pastoris*. *LWT Food Sci Technol.* 2019 June;107:145-50. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.003
- [23] Gladky FF, Voloshenko SV. The possibility of carrying out the reaction of hydration of phospholipids of oils using the enzyme preparation of phospholipase C. *Bull Nat Tech Univ KhPI Ser New Solutions Modern Technol.* 2011;5:32-7.
- [24] Jiang X, Chang M, Jin Q, Wang X. Application of phospholipase A1 and phospholipase C in the degumming process of different kinds of crude oils. *Process Biochem.* 2015;50(3):432-7. DOI: 10.1016/j.procbio.2014.12.011
- [25] Szydłowska-Czerniak A., Laszewska A. Optimization of a soft degumming process of crude rapeseed oil—Changes in its antioxidant capacity. *Food Bioprod Proc.* 2017;105:26-35. DOI: 10.1016/j.fbp.2017.05.012
- [26] Choukri A, Kinany MA, Gibon V, Tirtiaux A, Jamil S. Improved oil treatment conditions for soft degumming. *J Am Oil Chem Soc.* 2001;78(11):1157-60. DOI: 10.1007/s11746-001-0405-x
- [27] Adedi E, Sahari MA, Barzegar M, Azizi MH. Optimisation of soya bean oil bleaching by ultrasonic processing and investigate the physico-chemical properties of bleached soya bean oil. *Int J Food Sci Technol.* 2015;50(4):857-63. DOI: 10.1111/ijfs.12689
- [28] Mahmood-Fashandi H, Ghavami M, Gharachorloo M, Abbasi R., Mousavi Khaneghah A. Using of ultrasonic in degumming of soybean and sunflower seed oils: comparison with the conventional degumming. *J Food Proc Preserv.* 2016;41(1):1-7. DOI: 10.1111/jfpp.12799
- [29] More NS, Gogate PR. Ultrasound assisted enzymatic degumming of crude soybean oil. *Ultrason Sonochem.* 2018;42:805-13. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.12.031
- [30] Jiang X, Chang M, Wang X, Jin Q, Wang X. The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrason. Sonochem.* 2014;21(1):142-8. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.07.018
- [31] Osadchuk PI, Kudashev SM. Intensification of the hydration process during the purification of sunflower oil using ultrasound. *ONAFI Scientific Works.* 2010;38(2):321-3.
- [32] More NS, Gogate PR. Intensified degumming of crude soybean oil using cavitation reactors. *J Food Eng.* 2018;218:33-43. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.029
- [33] Manjula S, Subramanian R. Membrane technology in degumming, dewaxing, deacidifying, and decolorizing edible oils. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2006;46(7):569-92. DOI: 10.1080/10408390500357746
- [34] Abdellah MH, Scholes CA, Liu L, Kentish SE. Efficient degumming of crude canola oil using ultrafiltration membranes and bio derived solvents. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2020;59:102274. DOI: 10.1016/j.ifset.2019.102274
- [35] Sehn GAR, Gonzalves LAG, Ming CC. Ultrafiltration – based degumming of crude rice bran oil using a polymer membrane. *Grasas y Aceites.* 2016;67(1):1-8. DOI: 10.3989/gya.0498151
- [36] Wibisono Y, Nugroho WA, Chung TW. Dry degumming of corn – oil for biodiesel using a tubular ceramic membrane. *Proced Chem.* 2014;9:210-9. DOI: 10.1016/j.proche.2014.05.025
- [37] Aissou M, Chemat-Djenni Z, Yara -Varón E, Fabiano-Tixier AS, Chemat F. Limonene as an agro-chemical building block for the synthesis and extraction of bioactive compounds. *Comptes Rendus Chimie.* 2017;20(4):346-58. DOI: 10.1016/j.crci.2016.05.018
- [38] Adhami K, Asadollahzadeh H, Ghazizadeh M. A novel process for simultaneous degumming and deacidification of Soybean, Canola and Sunflower oils by tetrabutylphosphonium phosphate ionic liquid. *J Indust Eng Chem.* 2019;76:245-50. DOI: 10.1016/j.jiec.2019.03.048

.....  
А.А. Демидова, Ф.Ф. Гладкий, Т.А. Березка

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, Украина

#### **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ГИДРАТАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

Обзорная статья посвящена сравнению и обсуждению наиболее распространенных способов гидратации растительных масел. Ее цель – актуализация информации по этой стадии рафинации растительных масел для предоставления возможности выбора оптимального для производителя способа гидратации. Гидратация – первая из стадий переработки масел, предназначенная для вывода фосфолипидов, присутствие которых делает невозможным качественное проведение всех последующих стадий рафинации. Приведены фракционный состав растительных фосфолипидов различных масел, рассмотрены особенности их строения, которые влияют на гидрофильность, рассмотрены различные теоретические подходы к процессу гидратации. Сравняются недостатки, преимущества и эффективность водной, кислотной, ферментной гидратации, total degumming, soft degumming. Ферментная гидратация сегодня считается основным способом извлечения фосфолипидов из масел. В промышленных условиях для масел с низким содержанием фосфолипидов (например, подсолнечного) использование фосфолипаз с целью получения низкофосфорного масла (менее 10 ppm) целесообразно (с оглядкой на уменьшение потерь масла на этой

стадии). Но это возможно лишь при условии проведения предварительной кислотной гидратации. Рассматриваются преимущества и сложности проведения ферментной гидратации. Сочетание кислотной гидратации со щелочной нейтрализацией – пожалуй, наиболее эффективный и простой способ получения масла с малыми остаточным содержанием фосфолипидов. Несмотря на свою традиционность, этот подход остается высокоэффективным, наиболее простым в исполнении и недорогим. К существенному повышению эффективности гидратации приводит интенсификация смешивания фаз масло–гидратирующий агент. В статье рассмотрено использование с этой целью ультразвуковых и кавитационных приборов. Перспективным направлением развития технологий пищевой промышленности сегодня является применение мембран. Рассмотрены особенности этого физического метода гидратации. Выбранный тип гидратации, условия ее проведения влияют на качество и безопасность ценного побочного продукта этой стадии – лецитина. Наиболее качественный лецитин получают в результате водной или ферментной гидратации – вода или водные растворы ферментов не влияют негативно на качественные показатели лецитина, на его состав. Лецитин, полученный водной гидратацией, практически не содержит негидрофильных фосфолипидов; лецитин, полученный с использованием фосфолипаз, содержит повышенные количества лизоформ фосфолипидов, что позитивно влияет на его поверхностно-активные свойства.

**Ключевые слова:** содержание фосфолипидов; кислотная гидратация; ферментная гидратация; ультразвук; мембранные технологии.

A.A. Demydova, F.F. Gladky, T.O. Berezka

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

#### MODERN METHODS OF DEGUMMING OF VEGETABLE OILS: AN ANALYTICAL REVIEW

The review article compares and discusses the most common ways to degumming vegetable oils. Its purpose is to update the information on this stage of vegetable oil refining in order to provide an opportunity to choose the optimal degumming method for the manufacturer. Degumming is the first of the stages of oil processing, designed to remove phospholipids, the presence of which makes it impossible to carry out high-quality performance of all subsequent stages of refining. The fractional composition of plant phospholipids of various oils is presented, the features of their structure, which affect their hydrophilicity, are considered. Various theoretical approaches to the degumming process are considered. The article compares the disadvantages, advantages and effectiveness of aqueous, acidic, enzymatic degumming, total degumming, and soft degumming. Enzymatic degumming is today considered the main method for extracting phospholipids from oils. Under industrial conditions, for oils with a low phospholipid content (for example, sunflower oil), the use of phospholipases in order to obtain a low-phosphoric oil (less than 10 ppm) is reasonable (with an eye to reducing oil losses at this stage). But this is only possible if preliminary acid degumming is carried out. The advantages and difficulties of enzymatic degumming are considered. The combination of acid degumming with alkaline neutralization is perhaps the most effective and easiest way to obtain oil with a low residual phospholipid content. Despite the traditional nature of this approach, it remains highly effective, the easiest to implement, and inexpensive. The intensification of the mixing of the phases "oil–degumming agent" leads to a significant increase in the efficiency of degumming. The article discusses the use of ultrasonic and cavitation devices for this purpose. A promising direction in the development of food industry technologies today is the use of membranes. The features of this physical method of degumming are considered. The selected type of degumming and the conditions for its implementation affect not only the composition and performance of oils, but also the quality and safety of a valuable by-product of this stage – lecithin. The highest quality lecithin is obtained as a result of water or enzymatic degumming – water or aqueous solutions of enzymes do not negatively affect the quality indicators of lecithin, its composition. Lecithin obtained by water degumming contains almost no non-hydrophilic phospholipids. Lecithin obtained using phospholipases contains increased amounts of lysoforms of phospholipids, which positively affects its surfactant properties.

**Keywords:** phospholipid content; acid degumming; enzymatic degumming; ultrasound; membrane technology.