

STUDY OF THE POSSIBILITY OF DEODORATION OF SUNFLOWER LECITHIN

A. Demydova, F. Gladky

National Technical University “Kharkiv Polytechnical Institute”

Y. Shemanska

National University of Food Technologies

Key words:

Sunflower lecithin

Deodorization

Sensory characteristics

Ethyl alcohol

Article history:

Received 21.07.2021

Received in revised form
30.07.2021

Accepted 12.08.2021

Corresponding author:

Y. Shemanska

E-mail:

shemanska@ukr.net

ABSTRACT

In the process of sharing sunflower lecithin to the world markets it is necessary to solve the following main tasks — reducing the content of mechanical impurities, reducing the viscosity and deodorization of lecithin. The task of reducing the intensity of smell and taste is the most difficult among them. Sunflower lecithin is characterized by a more intense aroma and taste than soy with the following sensory components: nut, caramel, sweet, fatty, fruity. The composition of volatile lecithins includes low molecular weight hydrocarbons, aldehydes, ketones, lactones, nitriles, alcohols. The possibility of deodorization of sunflower phosphatide concentrate by its treatment with ethyl alcohol with the subsequent extraction of volatile substances under conditions of reduced pressure is proved in the article. During the time of treatment of unrefined lecithin with a solvent with a ratio of ethanol / water (96:4 or 99.9:0.1) at a solvent content of 40% (relative to lecithin) there is an effect of deodorization of lecithin.

As a result of the processing an alcohol-soluble fraction was received (enriched in phosphatidylcholine) in the amount of 23% and an alcohol-insoluble fraction (with a predominant phosphatidylinositol content) in the amount of 77%. The amount of alcohol-soluble fraction can be reduced up to 13% by using absolute ethyl alcohol. Organoleptic evaluation was performed, physicochemical parameters and group composition of phospholipids of lecithin fractions obtained as a result of treatment with ethyl alcohol were studied. The quality indicators of the alcohol-insoluble fraction meet the requirements of SOU 15.4-37-212:2004 “Phosphatide concentrates. Specifications”. Alcohol-soluble fraction meets the requirements of the regulatory document after degreasing with acetone in one stage at a ratio of fraction: acetone as 1:1.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДЕЗОДОРУВАННЯ СОНЯШНИКОВОГО ЛЕЦИТИНУ

А. О. Демидова, Ф. Ф. Гладкий

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Є. І. Шеманська

Національний університет харчових технологій

Для повноцінного виходу соняшникового лецитину на світові ринки необхідно вирішити такі основні завдання: зменшення вмісту механічних домішок, зниження в'язкості та дезодорування лецитину. Завдання зменшення інтенсивності запаху та смаку є найбільш складним із них. Соняшниковий лецитин характеризується більш інтенсивним ароматом і смаком порівняно із соєвим з такими сенсорними компонентами: горіховий, карамельний, солодкий, жирний, фруктовий. До складу летких речовин лецитинів входять низькомолекулярні вуглеводні, альдегіди, кетони, лактони, нітрили, спирти.

У статті доведена можливість дезодорування соняшникового фосфатидного концентрату шляхом його обробки етиловим спиртом з подальшим вилученням летких речовин в умовах зниженого тиску. Під час обробки нерафінованого лецитину розчинником зі співвідношенням етанол/вода (96:4 або 99,9:0,1) при кількості розчиннику 40% (щодо лецитину) відбувається ефект дезодорування лецитину.

У результаті обробки отримано спирторозчинну фракцію (збагачену фосфатидилхоліном) в кількості 23% та спиртонерозчинну фракцію (з переважним вмістом фосфатидилінозиту) в кількості 77%. Кількість спирторозчинної фракції може бути зменшена шляхом використання абсолютованого етилового спирту до 13%. Проведено органолептичну оцінку, досліджено фізико-хімічні показники та груповий склад фосфоліпідів фракцій лецитину, одержаних у результаті обробки етиловим спиртом. Показники якості спиртонерозчинної фракції відповідають вимогам СОУ 15.4-37-212:2004 «Концентрати фосфатидні. Технічні умови». Спирторозчинна фракція також відповідає вимогам нормативного документа після знежирення ацетоном в одну стадію при співвідношенні фракція: ацетон як 1:1.

Ключові слова: соняшниковий лецитин, дезодорування, сенсорні характеристики, етиловий спирт.

Постановка проблеми. Фосфоліпіди — це ліпіди, що містять залишок фосфатної кислоти. Вони є найбільш розповсюдженими поверхнево-активними речовинами в клітинах. В організмах людини та тварин фосфоліпіди концентруються у життєво важливих органах, таких як мозок, печінка та нирки. В рослинах їх вміст є найбільшим у насінні (олійному насінні, горіхах і зерні) (Robert, Couëdelo & Michalski, 2020). Фосфоліпіди є складовими клітинних мембран і активними учасниками метаболічних процесів, життєве необхідних для життя (Donnell, Rossjohn & Wakelam, 2018).

Комерційними продуктами фосфоліпідів є лецитини. Хоча лецитин можна отримувати з насіння більшості олійних, з тваринних джерел (ячний жовток, мозок, печінка тварин, з тканин морських організмів), соя забезпечує основну частину наявного на ринку лецитину (Листопад, 2020). Однак через те, що більша частина об'ємів сої відноситься до генетично модифікованих організмів (те ж саме, хоча і в меншій мірі, стосується і лецитинів з кукурудзи та ріпаку) (Official Journal L., 159, 03/06/1998), на ринку «зелених» товарів все більше користується попитом соняшниковий лецитин. Також заміна соєвого лецитину іншими фосфоліпідними продуктами набуває все більшого інтересу через алергенний вплив соєвих бобів, який повинен бути зазначений на упаковці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна сфера застосування лецитинів — харчова. Емульгування, диспергування, зниження в'язкості шоколаду та кондитерських виробів, контроль кристалізації, солюбілізація, комплексоутворення, антиоксидантні властивості та інші технологічні функції роблять лецитин найважливішим побічним продуктом перероблення рослинних олій (Szuhaaj, Yeo & Shahidi, 2020).

Соняшниковий лецитин за своїми емульсійними характеристиками, впливом на кристалізацію інших жирів (передусім у шоколаді) та іншими основними технологічними характеристиками подібний до соєвого лецитину (Rigolle, 2015; Krüger, 2015). У статті (Böhme, Symmank & Rohm, 2016) доводиться, що використання лецитину соняшнику у виробництві шоколаду може бути успішним підходом для вирішення проблем споживачів щодо інгредієнтів з генетично модифікованих рослин. Розглядається ще один важливий аспект — сенсорний вплив соняшникового лецитину на шоколад порівняно із соєвим лецитином. Споживачі не змогли розрізнити шоколад, приготований при використанні лецитину з різних джерел. Незважаючи на результати цього та інших досліджень, однією з вимог до соняшникового лецитину є відсутність вираженого смаку та аромату.

Фармацевтичні напрями, особливо ті, що стосуються ліпосом, вимагають збільшення кількості рафінованих лецитинів (Szuhaaj, Yeo & Shahidi, 2020). Також очікується підвищений попит на лецитин як дієтичну добавку. До того ж, будучи багатофункціональним харчовим інгредієнтом, лецитин має перевагу широкого визнання у сегменті здорового харчування.

Більшість комерційних лецитинів одержано гідратуванням соєвої екстракційної олії (внаслідок високого вмісту фосфоліпідів в цій сировині — близько 1,8%). При цьому використовують близько 1% води при температурі 70°C. Одержану фосфоліпідну емульсію (вміст води 25—60%) відділяють за допомогою сепараторів (розділення відстоюванням і декантацією, звісно, значно менш дорогий процес через високу вартість сепараторів, але займає більше часу та не призводить до чіткого розділення фаз). До фосфоліпідної емульсії перед сушкою додають відбілювачі та/або розріджувачі. Одержаний після сушки продукт (вміст води менше 1%) називається «нерафінованим» або «натуральним» лецитином із вмістом фосфоліпідів 62—70% та олії 30—35% (Cerminati та ін., 2019).

Для повноцінного виходу соянишникового лецитину на світові ринки необхідно вирішити такі основні завдання — зменшення вмісту механічних домішок, зниження в'язкості та дезодорування лецитину.

Дезодорування лецитину є складним завданням. Промисловий підхід до дезодорування ліпідів заснований на різній гнучкості парів триацилгліцеридів та інших супутніх їм у жирах речовин, загальний вміст яких може досягати 5% — жирних кислот, пігментів, власне летких сполук тощо. Цей процес відбувається при високих температурах — зазвичай від 220 до 260°C, низькому тиску — 3—5 мПа та в присутності розчинника сполук, що відділяються — 3—5% гострої пари (Greyt, 2020). Застосування такого методу неприпустиме для лецитинів, які є термолабільними речовинами, схильні до реакцій меланоїдиноутворення, окиснення тощо. Високотемпературний вплив на лецитини призводить до окиснення жирних кислот, утворення продуктів реакції Маяру, утворення альдегідів тощо. Все це негативно впливає на якісні показники лецитину, призводить до потемніння лецитину, утворення нагару та погіршення запаху — з'являються палений і прогірклий запахи.

Більшість летких сполук лецитинів можна характеризувати як продукти автокатолітичного розкладання ненасичених жирних кислот фосfolіпідів. Ізофорон головним чином відповідає за небажаний аромат знежиреного соєвого лецитину (утворюється, ймовірно, в результаті контакту лецитину з ацетоном). Кілька азотовмісних сполук, наприклад, нітрили, ацетоксим та 4,5-діметілізоксазол, були визначені як унікальні леткі сполуки з фосfolіпідів.

Таблиця 1. Склад летких речовин соєвого знежиреного лецитину (Kim, Ho & Chang, 1984)

Аліфатичні вуглеводні	2,2,4-триметілгептан, 1,1, 2-метіл-2-бутен, 1-пентен, 2,5-діметіл-2,4-гексаксен, 2-октен 1,3-октадієн, 4-октен, лімонен
Ароматичні вуглеводні	Бензол, толуол, 1,4-діметілбензол, 1,3,5-триметілбензол, ізопропілбензол, 1,2,4,5-тетраметілбензол, 1,3-діметіл-5-етілбензол, 1,2-діметіл-4-етілбензол, 1,2-діетілбензол, 1-метіл-4-ізопропілбензол, 8-1,3-діізопропілбензол, 1,4-діметіл-3-ізобутілбензол, інден, 2,3-дигідроінден (індан), 1-метілінден, стирол, метілстирол, нафталін, 1,2-дихлоробензол
Кетони	3-метіл-2-бутанон, 3-метіл-3-бутен-2-он, 2,3-пентандіон, 4-метіл-2-пентанон, 3-пентен-2-он, 4-метіл-3-пентен-2-он, 3-метіл-4-пентен-2-он, 4-метіл-4-пентен-2-он, 2-гексанон, 3-гексанон-5-гексен-2-он, 1-ацетілциклогексен, 3-метіл-2-циклогексен, 3,5,5-триметіл-1-2-циклогексен-1-он (ізофорон), 2-гептанон 3-гептен-2-он, 6-метіл-3,5-гептадієн-2-он, 2,6-діметіл-2,5-гептадієн-4-он, 2-октанон, 3-октанон, 3-октен-2-он, 3,5-октадієн-2-он, 2-нонанон, ацетофенон, тридеканон
Альдегіди	Гексаналь, 2-метіл-2-пентеналь
Спирти	1-пентанол, 1-октен-3-ол
Ефіри	н-Пентілацетат, 3-ацетоксі-1-бутен, 1-ацетоксі-1,3-бутадієн, метілметакрілат
Лактони	Лактон-4-гідроксібутанова кислота, лактон-3-метіл-4-гідроксіпентанова кислота, лактон
Нітрили	н-бутіл нітрил, ізобутіл нітрил, метілбутіл нітрил, 3-гідроксі-4-ціано-1-бутен, н-пентіл нітрил, н-гексил нітрил

Отже, лецитини містять суттєві кількості вуглеводнів і кетонів. Слід зазначити, що серед летких ліпідів альдегіди характеризуються найнижчими порогоми сприйняття (Scortichini та ін., 2020), тому, незважаючи на малу кількість альдегідів, визначених за дослідженням, вони, скоріше за все, помітно впливають на сенсорні характеристики лецитинів.

З огляду на різноманітність летких речовин лецитину необхідно розробити метод, що буде відділяти всі або більшу частину одоруючих речовин від лецитину, при цьому не погіршуючи його якісні показники, тому завдання дослідження полягають у тому, щоб:

- запропонувати розчинник, здатний вилучати одоруючі речовини з лецитину;
- встановити раціональні умови дезодорування соняшникового лецитину;
- дослідити якісні показники дезодорованого лецитину.

Мета дослідження: встановлення умов дезодорування соняшникового лецитину.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження був соняшниковий фосфатидний концентрат (лецитин) такого складу: фосфоліпідів — 57,8%, нейтральних ліпідів — 41,6%, води — 0,55%. Пероксидне число олії, виділеної з фосфатидного концентрату — 4,9, ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg, кислотне число — 6,4 мг КОН/г. Фракційний склад фосфоліпідів: фосфатидилхоліну — 15,8%, фосфатидилетаноламіну — 7,5%, фосфатиділінозиту — 13,9%, фосфатидної кислоти — 3,1%.

Процес дезодорування проводили з наважками 30 г фосфатидного концентрату соняшнику з додаванням розчиннику з різним співвідношенням етанол:вода (96:4 та 99,9:0,1). Зразки витримували при постійному перемішуванні (60 об/хв) на водяній бані при 60°C протягом 30 хв, а потім центрифугували при 1000 об/хв, протягом 10 хв. Отримували спиртонерозчинну та спирторозчинну фракції, з яких етанол елімували випаровуванням у вакуумі до вмісту летких <0,5%. Одержані фракції зберігали при 0°C в закритій скляній посудині та проводили їх сенсорний аналіз.

Для проведення органолептичної оцінки соняшникового лецитину була сформована дегустаційна комісія у кількості 10 осіб (5 чоловіків, 5 жінок, віком 23—60 років), добровільно включених до групи. Учасники комісії проходили щонайменше 10 год тренінгу для визначення варіацій сенсорних характеристик лецитинів (соняшникових різних виробників на різних стадіях зберігання та для порівняння соєвих). На основі даних тренінгу була розроблена сенсорна панель, що включала такі аромати/смаки, характерні для лецитинів: горіховий, карамельний, солодкий, жирний, фруктовий. Для визначення інтенсивності аромату користувались 5-бальною шкалою, з варіюванням від 1 — мінімальне значення до 5 — інтенсивність запаху, характерна для свіжого соняшникового стандартного лецитину. Зразки лецитинів поміщали в прозоре скло (чашка Петрі), закриті перед подачею та помічені кодованими цифрами. Зразки розігрівали при температурі 50°C (температура плавлення лецитину) та аналізувались дегустаційною комісією при денному світлі. Зразки були рандомізовані та досліджувались у різні дні.

Методом тонкошарової хроматографії (Арутюнян & Корнена, 1986) досліджено фракційний склад фосфоліпідів у системі хлороформ–оцтова кислота–вода у співвідношенні 70:36:4 на пластинах «Silufol - 254» (Чехія). Визначення фракційного складу проводилось попередньо знежиреного за офіційним методом AOCS Ja 4-46 для лецитину. Для проявлення хроматограм використано металевий йод.

Усі експериментальні дані одержувались двічі. В статті наводяться середні значення. Середнє відхилення не перевищувало 0,1 для довірчого інтервалу 0,95.

Викладення основних результатів дослідження. Особливістю етилового спирту є його висока селективність стосовно речовин, що надають ліпідам смаку і запаху (альдегідів, кетонів, вуглеводнів тощо). При обробці фосфатидного концентрату етиловим спиртом відбувається фракціонування на спиртонерозчинну фракцію (переважно містить фосфатидилхолін) і спирторозчинну фракцію (переважно містить фосфатидилінозитол). Фосфатидилетаноламін міститься в обох фракціях. Оскільки різні фосфоліпіди мають різні властивості, лецитин, зазвичай, фракціонують розчинниками для отримання фракцій з бажаними функціональними можливостями (Xie & Dunford, 2019).

У ході власних досліджень з фракціонування соняшникового лецитину був помічений ефект дезодорування спирторозчинної фракції. Такий результат потребує додаткових досліджень. Соняшниковий фосфатидний концентрат (лецитин) оброблявся 5, 10, 20, 30, 40, 50% етилового спирту (96-відсоткового). Результати зміни сенсорних характеристик спиртонерозчинної фракції наведені у табл. 2. Інтенсивність запаху оцінювалась за шкалою від 1 до 5, де 1 — мінімальне значення, 5 — інтенсивність запаху, характерна для стандартного свіжого соняшникового фосфатидного концентрату.

Таблиця 2. Зміна органолептичних характеристик соняшникового лецитину (спиртонерозчинна фракція)

Кількість етилового спирту щодо фосфатидного концентрату, %	Сенсорна характеристика	Інтенсивність запаху
5	Запах, характерний для соняшникового лецитину	5
10	Інтенсивність запаху зменшилась	4
20	Інтенсивність запаху зменшилась	4
30	Інтенсивність запаху суттєво зменшилась	2
40	Запах соняшникового лецитину неможливо ідентифікувати	1
50	Запах соняшникового лецитину неможливо ідентифікувати	1

Таким чином, при концентрації етилового спирту 40% щодо соняшникового лецитину вдається досягнути ефекту дезодорування останнього. Смак і запах лецитину нейтральні, основні сенсорні характеристики — карамельний, фруктовий (рис. 1). Вилучення одоруючих з лецитину, ймовірно, відбувається шляхом елімінування їх у суміші з етанолом під час одержання сухого лецитину.

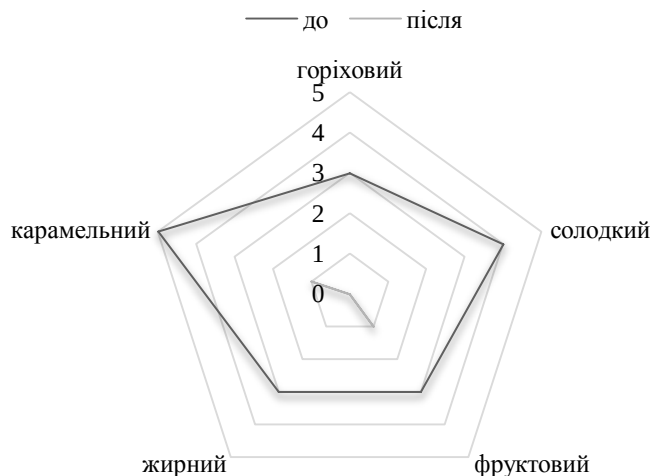


Рис. 1. Профілограма сенсорних характеристик соняшникового лецитину до та після обробки етиловим спиртом

Відповідно, поліпшується смак фосфатидного концентрату, колір — світліший за стандартний лецитин. Якісні характеристики одержаного лецитину наведені у табл. 3. Обробка соняшникового лецитину 96-відсотковим етиловим спиртом в кількості 40% щодо лецитину призведе до утворення спирторозчинної фракції (фосфатидилхолінової) в кількості 23% та спиртонерозчинної (фосфатидилінозитолової) в кількості 77%.

Таблиця 3. Якісні показники фракцій лецитину, одержаних у результаті обробки етиловим спиртом (96-відсотковим)

Назва показника	СОУ 15.4-37-212:2004 «Концентрати фосфатидні. Технічні умови»	Спиртонерозчинна фракція	Спирторозчинна фракція
Масова частка речовин, нерозчинних в ацетоні, %	60	64,2	25,5
Масова частка вологи та летучих речовин, %	1,0	0,38	0,11
Масова частка речовин, нерозчинних в етиловому ефірі, %	1.5	0.30	0.30
Кислотне число олій, виділеної з фосфатидного концентрату, мг КОН/г	10	3,8	5,2
Пероксидне число олій, виділеної з фосфатидного концентрату, ммоль½ О/кг	10	2,5	1,8
Колірне число, мг йоду, (1%-й розчин в гексані)	8	4	6

Спиртонерозчинна фракція відповідає вимогам нормативної документації (НД). Спирторозчинну фракцію необхідно знежирити для підвищення вмісту ацетонерозчинних речовин. Обробку проводили ацетоном при співвідношенні спирторозчинна фракція: ацетон як 1:1. В результаті вміст фосфоліпідів у ній збільшився до 62,8%.

Спирторозчинна фракція після випаровування етилового спирту також суттєво зменшила інтенсивність аромату, однак в меншій мірі порівняно зі спиртонерозчинною. Проте інтенсивність запаху (2 за розробленою шкалою) спирторозчинної фракції не більша, ніж у соєвого лецитину. Якісні показники одержаного продукту відповідають вимогам щодо фракціонованих фосфоліпідних продуктів (Mortensen та ін., 2017).

Присутність води в етиловому спирті впливає на розчинення в ньому фосфоліпідів і супутніх сполук. З метою зменшення виходу спирторозчинної фракції соняшникового лецитину оброблявся етиловим спиртом абсолютним (99,9-відсотковим) в кількостях 5, 10, 20, 30, 40, 50% щодо лецитину. Вплив на сенсорні характеристики лецитину такий же, як і у 96-відсоткового етилового спирту. Ефект дезодорування також спостерігався при 40% абсолютного етанолу. Вихід спирторозчинної фракції порівняно з використанням етилового спирту 96-відсоткового в тих же умовах значно зменшується — з 23% до 13% відповідно. Отже, з метою зменшення фракціонування лецитину доцільно застосовувати етиловий спирт концентрацією 99,9%. Фракційний склад одержаних фосфоліпідних продуктів (попередньо знежирених) наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Фракційний склад фосфоліпідних продуктів, одержаних після дезодорування соняшникового лецитину етиловим спиртом

Найменування фракції	Склад, %			
	Етиловий спирт-ректифікат		Етиловий спирт абсолютований	
	Спиртоне-розчинна фракція	Спирторозчинна фракція	Спиртоне-розчинна фракція	Спирторозчинна фракція
Фосфатидилхолін	10,5	40,3	12,8	43,6
Фосфатидилінозитол	14,6	9,8	14,0	7,7
Фосфатидилетаноламін	21,8	11,9	22,6	8,3
Фосфатидна кислота	8,9	8,8	8,5	7,1

Спирторозчинна фракція відповідає вимогам щодо фракціонованих лецитинів за вмістом холіну (за вимогами НД — від 39%) та інозитулу (до 3%).

Фракція, збагачена фосфатидилхоліном, характеризується покращеними емульгуючими властивостями щодо емульсій «олія у воді», які необхідні харчовій, фармацевтичній і косметичній промисловості. Такі продукти користуються широким попитом. Фракція, збагачена фосфатидилінозитолом, вважається високоякісним емульгатором для емульсій «вода в олії» (Van Nieuwenhuyzen, 2008).

Висновки

У ході досліджень була доведена можливість дезодорування соняшникового лецитину шляхом розчинення його в етиловому спирті (96% та 99,9%) з подальшим вилученням летких речовин в умовах зниженого тиску.

При обробці соняшникового фосфатидного концентрату етиловим спиртом при кількості останнього $\geq 40\%$ відбувається ефект дезодорування як спирто-нерозчинної, так і спирторозчинної фракцій.

Фракціонування лецитину можна суттєво зменшити — знизити вихід спирторозчинної фракції з 23% до 13% при застосуванні замість етилового спирту 96-відсоткового абсолютного етанолу.

Показники якості спиртонерозчинної фракції відповідають вимогам НД. Спирторозчинна фракція відповідатиме вимогам НД після підвищення вмісту речовин, нерозчинних в ацетоні. Рекомендуємо провести обробку ацетоном в одну стадію при співвідношенні лецитин: ацетон як 1:1.

Література

Robert, C., Couëdelo, L., Vaysse, C., Michalski, M. C. (2020). Vegetable lecithins: a review of their compositional diversity, impact on lipid metabolism and potential in cardiometabolic disease prevention. *Biochimie*, 169, 121—132. doi:10.1016/j.biochi.2019.11.017.

Valerie, B., O'Donnell, Jamie Rossjohn, Michael, J. O., Wakelam (2018). Phospholipid signaling in innate immune cells. *J Clin Invest*, 128(7), 2670—679. doi: 10.1172/JCI97944.

Листопад, В. (2020). Рынок лецитина и фосфатидного концентрата Украины и мира. *Масложировой комплекс*, 2(69), 21—29.

Council Regulation (EC) No 1139/98 of 26 May 1998 concerning the compulsory indication of the labelling of certain foodstuffs produced from genetically modified organisms of particulars other than those provided for in Directive 79/112/EEC. Official Journal L 159, 03/06/1998 P. 0004 — 0007. Взято з <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31998R1139>.

Szuhaaj, B. F., Yeo, J., Shahidi, F. (2020). Lecithins. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 1—86. doi:10.1002/047167849x.bio011.pub2.

Rigolle, A., Gheysen, L., Depypere, F., Landuyt, A., Van Den Abeele, K., Foubert, I. (2015). Article Lecithin influences cocoa butter crystallization depending on concentration and matrix. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 117, 1722—1732. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400555>.

Krüger, S., Bürmann, L., Morlock, G. E. (2015). Comparison and characterization of soybean and sunflower lecithins used for chocolate production by high-performance thin-layer chromatography with fluorescence detection and electrospray mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, 63, 2893—2901.

Böhme, B., Symmank, C., Rohm, H. (2016). Physical and sensory properties of chocolate made with lecithin of different origin. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(12), 1839—1845. doi:10.1002/ejlt.201600201.

Cerminati, S., Paoletti, L., Aguirre, A., Peirú, S., Menzella, H. G., Castelli, M. E. (2019). Industrial uses of phospholipases: current state and future applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(6), 2571—2582. doi:10.1007/s00253-019-09658-6.

Greyt, W. (2020). Deodorization. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 1—44. doi:10.1002/047167849x.bio027.pub2.

Kim, H., Ho, C.-T., Chang, S. S. (1984). Isolation and identification of volatile flavor compounds in commercial oil-free soybean lecithin. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(7), 1235—1238. doi:10.1007/bf02636260.

Scortichini, S., Boarelli, M. C., Castello, M., Chiavarini, F., Gabrielli, S., Marcantoni, E., Fiorini, D. (2020). Development and application of a solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry method for analysing volatile organic compounds produced during cooking. *Journal of Mass Spectrometry*, e4534. doi:10.1002/jms.4534.

Арупоян, Н. С., Корнена, Е. П. (1986). *Фосфолипиды растительных масел: состав, структура, свойства, применение и получение*. М.: Агропромиздат.

Xie, M., Dunford, N. T. (2019). Fractionating of canola lecithin from acid degumming and its effect. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125217.

Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Domenico, A. D. Frutos, M. J., Galtier, P., Gott, D., Gundert-Remy, U., Lambré, C., Leblanc, J.-C., Lindtner, O., Moldeus, P., Mosesso, P., Oskarsson, A., Parent-Massin, D., Stankovic, I., Waalkens-Berendsen, I., Woutersen, R. A., Wright, M., Younes, M., Brimer, L., Altieri, A., Christodoulidou, A., Lodi, F., Dusemund, B. (2017). Re-evaluation of lecithins (E 322) as a food additive. *EFSA Journal*, 15(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4742>.

Van Nieuwenhuyzen, W., Tomás, M. C. (2008). Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(5), 472—486.