

УДК 664.314

STUDY OF CHANGES OF FATTY ACID FLAX SEEDS DURING STORAGE AND GERMINATION

S. Kraevska, N. Stetsenko

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
flax, tocopherols, germination.	The aim of the research is to compare the fatty acid composition of oil flax seed (different variety), to study of changes oil quality during storage, and also to determine the changes of fatty acid composition of flax seeds during germination. Among the triglycerides flax seeds, the highest percentages of polyunsaturated fatty acids (linoleic, linolenic, arachidonic), the total content is 55 to 57.1%. Among them is dominated by α -linolenic (33.29—of 37.39%). The content of α -tocopherols that are characterized by high antioxidant capacity, is the largest of the variety "Vruchiy". The results indicate the feasibility of using sprouted flax seeds as a source of valuable biologically active components, to create products Wellness and prophylactic purposes.
Article history: Received 03.02.2017 Received in revised form 20.04.2017 Accepted 11.05.2017	
Corresponding author: s.p.kraevska@gmail.com	

ЗМІНИ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ НАСІННЯ ЛЬОНУ ПРИ ЗБЕРІГАННІ І ПРОРОЩУВАННІ

С.П. Краєвська, аспірант

Н.О. Стеценко, к.х.н.

Національний університет харчових технологій

У статті порівняно жирнокислотний склад до та після пророщування різних сортів насіння льону, а також проаналізовано зміни показників якості олії при зберіганні. Отримані результати свідчать про доцільність використання пророщеного насіння льону для створення функціональних продуктів харчування.

Ключові слова: льон, токоферолі, пророщування.

Постановка проблеми. Створення високоякісних продуктів харчування підвищеної харчової цінності — актуальне завдання сьогодення. Ураховуючи сучасні екологічні умови та ритм життя, раціон харчування повинен містити достатню кількість природних біологічно активних речовин. Важливим напрямом розроблення нових продуктів спеціального призначення є створення комбінованих продуктів. При цьому основна увага приділяється білковому збагаченню продуктів за рахунок рослинних компонентів. Таким важливим функціональним харчовим інгредієнтом є насіння льону, що зумовлено його багатим вмістом α -ліноленової кислоти (Омега-3 жирна кислота), лігнанами та клітковиною. Олія, харчові волокна і лігнани насіння льону мають потенційні переваги для здоров'я, такі як зниження серцево-судинних захворювань, атеросклерозу, діабету, раку, артриту, остеопорозу, автоімунних і неврологічних захворювань. Білок насіння льону допомагає у профілактиці та лікуванні сер-

цево-судинних захворювань і зміцненні імунної системи. Як функціональний харчовий інгредієнт льон і лляну олію включають у технології хлібобулочних, молочних і м'ясних продуктів [1].

Цінний біохімічний склад насіння льону, широкий спектр фізіологічних ефектів при його споживанні зумовлюють актуальність вивчення його властивостей і розроблення технологій харчових продуктів оздоровчого та профілактичного призначення з використанням насіння льону й продуктів його перероблення. Дослідження функцій незамінних жирних кислот продовжується, але вже точно встановлено, що при недостатньому отриманні ПНЖК родини ω -3 з харчуванням організм людини починає використовувати для побудови клітинних мембран ліпід, до складу яких входять насичені або мононенасичені жирні кислоти. При цьому мембрани стають менш пружними, що негативно впливає, зокрема, на стан серцево-судинної системи [2]. На думку європейських експертів, мінімальна денна потреба в ω -3 ПНЖК у молоді та дорослих становить приблизно 1000—1500 мг залежно від статі, віку та фізичної активності [3; 4].

Унікальність насіння льону обумовлена високим вмістом поліненасиченої α -ліноленової жирної кислоти, яка є незамінною для харчового раціону людини: входить до складу клітинних мембран, бере участь у регенерації серцево-судинної системи, в рості та розвитку мозку, має судинорозширювальні властивості, проявляє антистресову й антиаритмічну дію [5]. До складу лляної олії входить не менше 70 жирних кислот, зокрема такі життєво важливі, як ліноленова (44—66%), ліолева (8—25%), олеїнова (22%), стеаринова (2—4%) та пальмітинова (4—7%) [6].

Метою дослідження є порівняння жирнокислотного складу насіння льону різних сортів до та після пророщування; вивчення зміни показників якості олії при зберіганні.

Матеріали і методи. Було досліджено кілька сортів насіння льону, які занесені до Реєстру сортів рослин України в період з 2003 р. по 2007 рік: «Єврика», «Блакитно-помаранчевий», «Оригінал», «Вручий».

Визначення масової частки олії у насінні проводили стандартними методами ISO 659-2009-Oilseeds-Determination of oil content (Reference method), ISO 665-2000-Oilseeds-Determination of moisture and volatile matter content.

Жирні кислоти були визначені як метилові ефіри жирних кислот за допомогою методу газової хроматографії. Процес *екстракції* проводили таким чином: до 7 г перемеленого насіння льону додали 3 мл води та 30 мл розчину хлороформ-метанолу (1:2), суміш гомогенізує у гомогенізаторі (ємність 60 мл) протягом 2 хв при температурі 20°C. Гомогенат центрифугували, супернатант декантували і залишок реекстрагували розчином 38 мл хлороформ-метанол-вода (1:2:0,8) в гомогенізаторі протягом 2 хв. Оболонки відділили центрифугуванням, об'єднані супернатанти розбавили хлороформом (20 мл) та водою (20 мл). Водно-метанольну та хлороформну фазу розділили центрифугуванням. Нижній хлороформний шар концентрували на роторному випарювачі при 35°C (щоб видалити залишки води, додали бензол та упарювали його у вакуумі). Залишок розчинили в 10 мл хлороформу. *Омилення жирів* проводили за такою методикою: в круглдонну колбу на 100 мл вносять 10 г жиру, 3,9 г КОН гранульованого та 50 мл 96% етилового спирту. Протягом 2,5 год суміш обережно нагрівали зі зворотним холодильником в атмосфері інертного газу (аргон, гелій), періодично струшуючи колбу. Далі суміш охолоджували, розбавляли дистильо-

ваною водою (1:1), потім нейтралізували 10% H_2SO_4 до pH 7 і підкисляли до pH 2. Суміш тричі екстрагували в ділительній воронці на 150 мл етиловим ефіром у співвідношенні 1:0,5. Об'єднані ефірні витяжки двічі промили дистильованою водою, далі сушили безводним сульфатом натрію. Отримали прозорі розчини, які профільтрували через скляний фільтр Шотта, двічі промиваючи Na_2SO_4 етиловим ефіром. *Отримання метилових ефірів жирних кислот:* аліквоту неомиленого залишку жиру розчинили в бензолі (0,5мл), помістили в скляну ампулу, в яку додали 2 мл 3М HCl у метанолі. Ампулу запаяли на газовій горілці та кип'ятили на водяній бані 50 хв. Далі ампулу відкрили, вміст ампули розчинили водою 1:1 та екстрагували 3 рази перегнаним безводним гексаном. Гексанові витяжки промили дистильованою водою та сушили безводним Na_2SO_4 . Сухі екстракти упарювали на роторному випарювачі, отримали метилові ефіри жирних кислот. Метилові ефіри жирних кислот розчинили і бензолі та нанесли на скляні пластинки. Пластинки помістили в камеру з розчинником (бензолом) та розігнали (45 хв). Зону очищених метилових ефірів зняли зі скла та проектагували гексаном на фільтрі Шотта. Гексан упарили на роторному випарювачі, таким чином отримали хроматографічно чисті метилові ефіри жирних кислот (МЕЖК). МЕЖК розчинили в гексані та хроматографували на хроматографі HRGC 5300 (Італія) на скляній набивній колонці 3,5 м, заповненій Chromosorb WHP з нанесеною 10% рідинною фазою Silar 5CP при програмованій температурі 140—250 °C з наростанням 2 /хв.

У даному випадку в пробі, що аналізується, одночасно наявні коротколанцюгові та довголанцюгові жирні кислоти, тому для розрахунку масової частки жирної кислоти в пробі слід використовувати внутрішній стандарт. Ідентифікацію індивідуальних жирних кислот проводили за допомогою стандартів фірми Sigma, Serva. Розрахунки проводили за формулами згідно з ГОСТ Р 51483-99 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме». Вміст індивідуальних жирних кислот виражали у відсотках від загальної суми (табл. 2).

Вміст і фракційний склад токоферолів олії насіння льону визначали за методикою CSN EN 12822-Foodstuffs-Determination of vitamin E by high performance liquid chromatography-Measurement of alfa-, beta-, gama- and delta-tocopherol.

Результати дослідження. Масова частка олії в насінні льону різних сортів дає змогу позиціонувати їх як середньоолійну сировину відповідно до класифікації, запропонованої авторами [7].

У табл. 1 наведено результати визначення деяких фізико-механічних показників насіння льону досліджених сортів.

Таблиця 1. Олійність і вологість насіння льону різних сортів

Сорт насіння	Вологість, %	Олійність, %	Олійність, % на СР
Льон довгунець «Вручий»	8,6 ± 0,04	33,82 ± 0,15	37,00 ± 0,15
Льон олійний «Оригінал»	8,7 ± 0,02	38,75 ± 0,16	42,44 ± 0,16
Льон олійний «Блакитно-помаранчевий»	7,6 ± 0,01	43,66 ± 0,18	47,25 ± 0,18
Льон олійний «Еврика»	7,7 ± 0,03	40,77 ± 0,02	44,17 ± 0,02

Результати дослідження вмісту жирних кислот у різних сортах насіння льону наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Вміст жирних кислот у насінні льону С, %

№	Жирна кислота	“Блакитно-помаранчевий”	“Єврика”	“Оригінал”	“Вручий”
1	Капринова	0,009	0,008	0,007	0,006
2	Ундецилова	0,015	0,015	0,021	0,027
3	Лауринова	0,008	0,011	0,007	0,009
4	Міристинова	0,061	0,072	0,057	0,055
5	Пентадеканова	0,031	0,021	0,033	0,032
6	Ізопальмітинова	0,011	0,007	0,009	0,003
7	Пальмітинова	8,230	8,984	7,674	8,232
8	Пальмітолеїнова	0,159	0,172	0,152	0,139
9	Маргарінова	0,089	0,089	0,075	0,072
10	Гептадеценева	0,055	0,052	0,052	0,064
11	Стеаринова	5,453	6,89	5,689	6,394
12	Олеїнова	27,455	26,69	27,079	27,459
13	Лінолева	18,623	16,97	21,026	22,109
14	Ліноленова	37,388	37,56	35,749	33,29
15	Арахідова	0,442	0,392	0,387	0,276
16	Гондова	0,357	0,320	0,322	0,209
17	Ейкозандієнова	0,120	0,090	0,101	0,049
18	Генеїкозандієнова	0,099	0,103	0,117	0,084
19	Арахідонова	0,398	0,476	0,376	0,439
20	Бегенова	0,179	0,253	0,198	0,213
21	Ерукова	0,063	0,064	0,081	0,082
22	Докозандієнова	0,069	0,063	0,059	0,062
23	Докозатриєнова	0,201	0,160	0,198	0,161
24	Лігноцерінова	0,116	0,137	0,139	0,149
25	Нервонова	0,335	0,384	0,353	0,352
26	Тридеканова	0,005	0,003	0,007	0,006
27	Ізоміристинова	0,004	0,002	0,001	0,002
28	Пентадеценева	0,029	0,012	0,02	0,01
29	Не ідентиф.	0,0150	0,007	0,02	0,014

Серед триацилгліцеролів олії з насіння льону найбільшою є частка поліненасичених жирних кислот, сумарний вміст яких сягає 50—65%. Серед них переважає α -ліноленова, яка належить до родини ω -3. Далі в порядку зменшення за вмістом у жирнокислотному складі триацилгліцеролів розташовуються мононенасичена олеїнова кислота, яка належить до групи ω -9, та поліненасичена лінолева кислота родини ω -6.

У складі ліпідів особливе місце займають токоферолі (вітамін Е), які є природними антиоксидантами. У насінні олійних культур вони зустрічаються в чотирьох формах — α , β , γ і δ , які розрізняються за біологічною та антиоксидантною активністю [8]. Результати визначення фракційного складу токоферолів насіння льону різних сортів представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Фракційний склад токоферолів лляної олії, мг/100 г

Сорт	α -токоферол	λ -токоферол	δ -токоферол
«Єврика»	4,55 $\pm$ 0,01	37,32 $\pm$ 0,05	0,48 $\pm$ 0,03
«Блакитно-помаранчевий»	5,34 $\pm$ 0,02	28,10 $\pm$ 0,07	0,56 $\pm$ 0,03
«Оригінал»	8,68 $\pm$ 0,07	36,35 $\pm$ 0,05	0,36 $\pm$ 0,02
«Вручий»	11,05 $\pm$ 0,05	45,22 $\pm$ 0,02	0,49 $\pm$ 0,06

Встановлено, що в складі ліпідів усіх досліджених сортів переважають λ -токоферолі, а β -токоферолі практично відсутні. За загальним вмістом вітаміну Е сорти насіння льону можна розташувати в такий ряд: «Вручий», «Оригінал», «Єврика», «Блакитно-помаранчевий». Вміст α -токоферолів, що характеризуються найвищою антиоксидантною здатністю, є найбільшим для сорту «Вручий», що дає підстави очікувати меншого окиснювання олії при зберіганні (порівняно з іншими сортами).

Ступінь окиснення ліпідів характеризується перекисним числом, яке ми визначали для всіх досліджуваних сортів льону протягом трьох місяців зберігання. Зміни перекисного числа лляної олії представлено в табл. 4.

Таблиця 4. Перекисне число олій різних сортів насіння льону залежно від тривалості зберігання

Термін зберігання, днів	Перекисне число олій, ммоль активного O_2 на кг			
	«Єврика»	«Блакитно-помаранчевий»	«Оригінал»	«Вручий»
контроль	2,2	2,2	2,1	2,1
30	2,5	2,5	2,4	2,3
60	2,8	2,8	2,5	2,3
90	3,1	3,2	2,8	2,4
120	3,4	3,4	3,1	2,5
150	3,6	3,7	3,3	2,6
180	3,8	4,0	3,5	2,7

На 180 добу від початку зберігання прирощення перекисного числа олій з насіння сортів «Оригінал» було на 29,6%, «Єврика» — на 40,7%, «Блакитно-помаранчевий» — на 48,1% більше, ніж відповідний показник сорту «Вручий». Отримані результати підтверджують теоретичні припущення про те, що перекисне число олій сортів «Єврика», «Блакитно-помаранчевий» та «Оригінал» зростає більш інтенсивно, ніж сорту «Вручий». Це пояснюється зазначеними вище відмінностями у фракційному складі токоферолів.

Актуальним є розроблення нових технологій перероблення зернових з отриманням продуктів на основі цільного зерна, яке є джерелом цінних нутрієнтів. Продукти такого типу необхідні для створення збалансованих харчових раціонів оздоровчого спрямування. Пророщування льону дає змогу використовувати насіння в цілому, а також підвищити вміст вітаміну Е вдвічі та накопичити вітамін С, якого не було на початку. Ми визначили приріст кількості вітамінів Е та С у попередніх дослідженнях для насіння льону обраних сортів [9]. На даному етапі роботи провели порівняльний аналіз жирнокислотного складу льону сорту «Вручий» у процесі пророщування (табл. 5).

Таблиця 5. Жирнокислотний склад олії насіння льону сорту «Вручий» до та після пророщування С, %

	Цільне насіння	Пророщене насіння
Лінолева	22,1	19,96
Ліноленова	33,29	27,12
Олеїнова	27,46	24,08
Пальмітинова	8,23	13,84
Стеаринова	6,39	10,8
Пальмітолеїнова	0,14	0,27

Протягом 3 днів пророщування концентрація жирних кислот дещо змінилася: вміст лінолевої, ліноленової та олеїнової зменшився на 2,14%, 6,17% та 3,38% відповідно від загального вмісту жирних кислот, а вміст пальмітинової, стеаринової та пальмітолеїнової, навпаки, зріс на 5,61%, 4,41% та 0,13% відповідно від загального вмісту жирних кислот. Така зміна жирнокислотного складу насіння льону сорту «Вручий» може пояснюватись частковим перетворенням однієї жирної кислоти в іншу в процесі пророщування.

За літературними даними, співвідношення ПНЖК ω -6: ω -3 у раціоні здорової людини має бути 10:1, а для лікувально-профілактичного харчування — від 3:1 до 5:1 [10]. За розрахунками А. П. Левицького [11], на сьогодні змішаний раціон середньостатистичного українця має співвідношення 43,6:1, тобто перевищує допустимий рівень ω -6 ПНЖК у 8,7 рази. Співвідношення ПНЖК ω -6: ω -3 у насінні льону сорту «Вручий» складає 1:1,5, а у пророщеному 1:1,35, що свідчить про незначну зміну жирнокислотного складу під час пророщування. Використання насіння льону в продуктах харчування населення України дасть змогу поліпшити збалансованість раціонів за жирнокислотним складом.

Висновок. Порівняння складу олій досліджених сортів льону свідчить, що насіння сорту «Вручий» містить на 1,35% менше ПНЖК, ніж сорт «Єврика», та на 0,6% менше, ніж «Блакитно-помаранчевий». Проте в його складі суттєво більше α -токоферолів, що позитивно впливає на зміну перекисного числа під час зберігання. Окислювальні процеси в олії насіння льону сорту «Вручий» при зберіганні найменш інтенсивні, тому насіння саме цього сорту доцільно використовувати в подальших дослідженнях і при розробленні технологій харчових продуктів оздоровчої дії.

Пророщування льону дає змогу підвищити вміст вітамінів (Е та С), а також використовувати всі анатомічні частини насінини у технологіях продуктів оздоровчого призначення. Використання насіння льону в продуктах харчування населення України забезпечить збалансованість раціонів за жирнокислотним складом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Goyal, A. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food / A. Goyal, V. Sharma, N. Upadhyay // *Journal of Food Science and Technology*. — 2014. — № 51. — P. 1633.
2. Кричківська, Л. Функціональні компоненти в купажованих рослинних оліях із каротином / Л. Кричківська, А. Белінська // *Товари і ринки*. — 2010. — №2. — С. 97—103.
3. Смоляр, В.І. Концепція ідеального жирового харчування / В.І. Смоляр // *Проблеми харчування*. — 2006. — № 4. — С. 14—24.
4. Berrin Bozan. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource Technology*. — September, 2008. — Volume 99, Issue 14. — P. 6354—6359.
5. Кулешева, Н.И. Новый функциональный продукт на основе семени льна: получение, оценка качества / Н.И. Кулешева, Ю.А. Кошелев // *Ползуновский вестник*. — 2011. — № 3/2. — С. 145—149.
6. Зубцов, В.А. Льняное семя, его состав и свойства / В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова, Т.И. Лебедева // *Российский химический журнал*. — 2002. — Т. XLVI. — №2. — С. 14—16.
7. Щербатов, В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья: Учебник. / В.Г. Щербатов, В.Г. Лобанов. — М.: Колос, 2003. — 360 с.
8. Шадыро, О.И. Окислительная устойчивость льняного масла при хранении / О.И. Шадыро, А.А. Сосновская, И.П. Едмичева, Н.И. Островская // *Масложировая промышленность*. — 2010. — № 5. — С. 26—28.
9. Краєвська, С.П. Порівняльний аналіз біохімічного складу деяких сортів насіння льону до та після пророщування / С.П. Краєвська, Н.О. Стеценко // *IV Міжнародна*

науково-практична конференція / Полтавський національно-технічний університет. — П., 2015. — С223—225.

10. Рыженков, В.Е. Особенности влияния насыщенных и ненасыщенных жирных кислот на обмен липидов, липопротеидов и развитие ишемической болезни сердца / В.Е. Рыженков // Вопросы питания. — 2002. — № 3. — С. 40—45.

11. Левицкий А.П. Идеальная формула жирового питания / А.П. Левицкий. — Одесса : НПА «Одесская Биотехнология», 2002. — 62 с.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА СЕМЯН ЛЬНА ВО ВРЕМЯ ХРАНЕНИЯ И ПРОРАЩИВАНИЯ

С.П. Краевская, Н.О. Стеценко

Национальный университет пищевых технологий

В статье проведено сравнение жирнокислотного состава семян льна различных сортов до и после проращивания, а также изменения показателей качества масла при хранении. Результаты свидетельствуют о целесообразности использования пророщенных семян льна для создания продуктов оздоровительного и профилактического назначения.

Ключевые слова: лен, токоферолы, проращивание.