

EFFECT OF WATER THERMAL TREATMENT  
PARAMETERS OF FLAX SEEDS ON THE TRANSFER  
OF DRY MATTERS INTO THE WATER

**T. Korzh, O. Suprun-Krestova, V. Kyrylyuk**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Flax seeds*

*Mucus*

*Flax polysaccharides*

*Water extraction*

---

**Article history:**

Received 06.12.2019

Received in revised form

23.12.2019

Accepted 21.01.2020

---

**Corresponding author:**

O. Suprun-Krestova

**E-mail:**

elen.suprun@gmail.com

**ABSTRACT**

---

Usage of different natural components in products in order to increase their nutritional value is important trend in healthy diet today. World population has a great shortage of food as well. Rational usage of raw materials is the way to solve problem of nutritional deficiency. Thus, deep investigation of raw materials' properties in order to wider usage their potential is actual task.

The flax supplies valuable products of two types — fiber and seeds. Due to the rich chemical composition — fibers, fatty acids of  $\omega 3$ ,  $\omega 6$  and  $\omega 9$ , mineral substances, tocopherol, essential amino-acids, antioxidants, lignin and polysaccharides (mucus) — flax seeds have a lot of benefits. In particular, vitamin of B group (especially B1) is very important for carbohydrates metabolism as human body unable to consume sugars without sufficient amount of vitamin B1. The lignans (“plant hormones”) are important component in flax seeds as they provide antibacterial and antivirus effect.

Deep investigation of technological properties of flax seeds as valuable food ingredient is presented in the paper as flax seeds potential is not used enough today. Parameters of water thermal treatment of flax seeds — temperature of water, water consumption and exposure of extracting process — in order to release polysaccharides that have positive impact on human body but not enough studied have been determined.

Results showed that increasing temperature of water and duration of extracting lead to higher transfer of dry matters (mucus) of flax into the water. Influence of temperature on the transfer of dry matters is nearly twice higher than effect of extraction duration. Combination of impact of both factors provides the maximum (synergic) effect on the transfer of dry matters of flax to the water. Hydromodulus in ratio of 1:10—1:25 has no perceptible effect on transfer of dry matters into water. The optimal parameters have been determined: temperature of water – 85—95°C, exposure of infusion during repetitive stirring is 125—145 min (2—2.5 hours), recommended hydromodulus is 1:15—20.

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВОДОТЕПЛООВОГО ОБРОБЛЕННЯ НАСІННЯ ЛЬОНУ НА ПЕРЕХІД СУХИХ РЕЧОВИН У ВОДУ

Т. В. Корж, О. Ю. Супрун-Крестова, В. В. Кирилюк

Національний університет харчових технологій

Важливою тенденцією сьогодення в організації здорового харчування є використання різних природних компонентів у складі харчових продуктів з метою підвищення їх харчової цінності. Крім того, у світі спостерігається дефіцит продуктів харчування. Один із шляхів вирішення проблеми дефіциту харчування — раціональне використання сировини, тому сьогодні актуальним є більш глибоке вивчення властивостей сировини з метою ширшого використання її потенціалу.

Така олійна культура, як льон дає два дуже цінних продукти — волокно та насіння. Корисні властивості насіння цієї рослини різноманітні завдяки багатому хімічному складу: клітковина, жирні кислоти омега-3, омега-6, омега-9, мінеральні речовини, вітамін E, незамінні амінокислоти, антиоксиданти, лігніни, полісахариди (слизі). Багатий льон і вітамінами групи B (особливо B<sub>1</sub>), що дуже важливо для вуглеводного обміну в організмі людини, оскільки без достатньої кількості вітаміну B<sub>1</sub> наш організм нездатний повноцінно засвоювати цукри. Важливим компонентом в насінні льону є лігнани («рослинні гормони»), які мають антибактеріальну й антивірусну дію.

У статті проаналізовано технологічні властивості насіння льону як цінного харчового компонента, оскільки потенціал насіння льону на сьогодні недостатньо повно використовується. Визначено вплив параметрів водотеплового оброблення насіння льону-довгунця (температури води, витрати води та експозиції процесу екстрагування) з метою виділення його полісахаридів, які мають позитивний вплив на організм людини, хоча їхні технологічні властивості ще мало вивчені.

За результатами дослідження встановлено, що підвищення температури води й тривалості екстрагування сприяє зростанню переходу сухих речовин (слизів) льону у воду. Сила впливу температури на перехід сухих речовин приблизно в 2 рази вища, ніж сила впливу тривалості екстрагування. Сумарний вплив обох факторів забезпечує максимальний (синергічний) ефект переходу сухих речовин льону у воду. Гідромодуль у діапазоні 1:10—1:25 практично не впливає на результат переходу сухих речовин у воду. Вибрані оптимальні параметри процесу: температура води — 85—95°C, експозиція настоювання при періодичному збовтуванні — 125—145 хв (2—2,5 год), рекомендований гідромодуль — 1:15—20.

**Ключові слова:** насіння льону, слизі, полісахариди льону, водна екстракція.

**Постановка проблеми.** Важливою тенденцією сьогодення в організації здорового харчування є використання різних природних компонентів у складі харчових продуктів з метою підвищення їхньої харчової цінності. Насіння льону і продукти із нього можуть бути саме таким цінним компонентом харчових продуктів.

Льон дає два дуже цінних продукти — волокно та насіння. Ще в далекому кам'яному віці насіння льону вживали в їжу, а як лікувальний засіб його першим відкрив Гіппократ. Він застосовував відвар з насіння при шлунково-кишкових хворобах. В часи Київської Русі була встановлена бактерицидна дія насіння і його застосовувати як засіб пом'якшення й очищення шкіри. Корисні властивості цієї рослини різноманітні завдяки багатому хімічному складу: клітковина, жирні кислоти омега-3, омега-6, омега-9, мінеральні речовини, вітамін Е, незамінні амінокислоти, антиоксиданти, лігніни, полісахариди (слизі). Багатий льон і вітамінами групи В (особливо В<sub>1</sub>), що є дуже важливо для вуглеводного обміну в організмі людини, оскільки без достатньої кількості вітаміну В<sub>1</sub> наш організм нездатний повноцінно засвоювати цукри. Важливим компонентом в насінні льону є лігнани («рослинні гормони»), які мають антибактеріальну й антивірусну дію [1].

З огляду на це у ряді країн (Німеччина, Канада, Україна тощо) насіння льону застосовують як важливий компонент, що входить до рецептури хлібобулочних та кондитерських виробів і підвищує їхню харчову цінність [1; 2].

На жаль, у світі спостерігається великий дефіцит продуктів харчування. Один із шляхів вирішення проблеми дефіциту харчування є раціональне використання сировини, тому сьогодні актуальним є більш глибоке вивчення властивостей сировини з метою ширшого використання її потенціалу.

Поглиблене вивчення технологічних властивостей насіння льону як цінного харчового компонента є питанням актуальним. Потенціал насіння льону на сьогодні недостатньо повно використовується і тому важливо дослідити окремі його складові, які можуть мати своє важливе застосування. Одним із таких компонентів є його полісахариди, які мають позитивний вплив на організм і ще мало вивчені.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками все більше уваги приділяється науковим дослідженням і розробленню способів поглибленого перероблення рослинної сировини з підвищеним вмістом біологічно активних речовин. Згідно з аналізом літературних джерел [5—10] насіння льону характеризується високим вмістом полісахаридів, які здатні переходити у його водний екстракт.

Полісахариди широко представлені в групі вуглеводів, велика кількість яких міститься і в насінні льону — 9—12% від маси його сухих речовин. Традиційно біологічно активні полісахариди класифікують за їх фізичними властивостями на камеді, слизи і пектинові речовини без урахування хімічної структури. Наявність слизів на оболонці насінини є характерною ознакою льону і дає змогу краще закріпитись їй на ґрунті при проростанні. Слизі — це суміші гомо- і гетерополісахаридів та поліуронідів. Вони легко набухають у

воді, утворюючи в'язкі маси. Володіють обволікаючими і пом'якшуючими властивостями, місцево зменшують подразнюючу дію різних речовин, особливо це важливо при запальних і виразкових процесах слизових оболонок у шлунково-кишковому тракті [3—7].

Полісахариди широко застосовуються в різних галузях промисловості: хімічній, харчовій, в медицині тощо. У медицині слизі широко використовують для виготовлення оболонки таблеток, які мають ряд переваг — зменшують побічні ефекти, сприяють зниженню дози препарату, доставці його в неушкодженій формі до потрібної ділянки ураження [7; 9].

Рослинні полісахариди відносять до харчових волокон. Вживання рослинних волокон викликає такі фармакологічні ефекти: пригнічення апетиту та підвищення відчуття ситості; зниження потреби в енергії; нормалізація моторної функції кишечника; уповільнення росту гнильних мікробів; нормалізація кишкової мікрофлори; зниження ступеня всмоктування жиру в тонкому кишечнику; зниження рівня холестерину в крові; позитивний вплив на обмін вітамінів і ліпідів у системі кишково-печінкової циркуляції. Завдяки цьому знижується ризик хронічних запорів, геморою, апендициту, раку товстої кишки, розвитку жовчнокам'яної хвороби, ожиріння, ішемічної хвороби серця, гіпертонічної хвороби, цукрового діабету [6—10].

У харчовій промисловості полісахариди використовують як гелеутворювачі, згущувачі, стабілізатори водно-жирових емульсій тощо. Їм надано «Е» кодифікацію, а саме: пектини — E440, крохмалі — E1400, целюлоза і її похідні — E460 та E469.

Слиз насіння льону належить до пребіотиків. Пребіотики (харчові волокна) мають численні фізіологічні ефекти і відіграють важливе значення у функціонуванні організму [6—10].

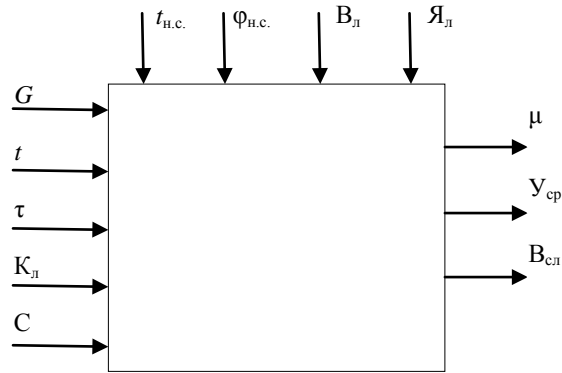
В Україні здавна вирощують льон для отримання цінного волокна. Внаслідок цього виробництва в країні є достатня кількість такої цінної сировини, як насіння льону-довгунця.

**Метою статті** є вивчення властивостей насіння льону-довгунця, зокрема умов екстрагування його полісахаридів.

**Матеріали і методи.** В процесі дослідження впливу ряду параметрів на процес екстрагування полісахаридів насіння льону використовували як екстрагент — водопровідну воду, оскільки з літературних джерел відомо, що полісахариди (слизі) льону є водорозчинними, а вода — це найдешевший природний екстрагент для отримання продукту харчового призначення.

Для вибору факторів, які впливають на процес екстрагування, було проведено аналіз системи — процес екстрагування водою полісахаридів із насіння льону за параметричною схемою.

Як фактори, які впливають на процес, вибрано: витрату води (кількість води) —  $G_{\text{води}}$ , см<sup>3</sup>; температуру води —  $t_{\text{води}}$ , °C; тривалість екстрагування —  $\tau$ , хв. Оцінювали ефективність екстрагування за кількістю сухих речовин, які перейшли в екстракт із 100 г льону в перерахунку на сухі речовини ( $U_{\text{ср}}$ , %) (рис. 1).



**Рис. 1. Параметрична схема процесу водного екстрагування полісахаридів насіння**

**льону**,  $G$  — кількість води для екстрагування, см<sup>3</sup>;  $t$  — температура води, °С;  
 $\tau$  — тривалість настоювання, хв;  $K_{л}$  — кількість льону, г;  $C$  — співвідношення води і льону;  $t_{н.с.}$  — температура навколишнього середовища °С;  $\phi_{н.с.}$  — відносна вологість, %;  
 $V_{л}$  — вид льону;  $Y_{л}$  — якість льону;  $\mu$  — в'язкість, мм<sup>2</sup>/с;  $U_{ср}$  — сухі речовини льону, %;  
 $V_{сл}$  — вихід слизів, %

Для постановки експерименту необхідно, крім факторів, вибрати інтервали їх варіювання. На основі пробних дослідів вибрали такі значення для всіх факторів впливу (табл. 1).

**Таблиця 1. Значення досліджуваних факторів впливу на процес екстрагування насіння льону**

Назва	Фактори, які визначають вплив на процес		
	$X_1 (G_{води}), \text{см}^3$	$X_2 (t_{води}), \text{°C}$	$X_3 (\tau), \text{хв}$
Верхній рівень	500	100	180
Нижній рівень	175	50	30

Для постановки оптимізаційного експерименту та статистичної обробки результатів досліджень процесу водного екстрагування використали відомий метод повного факторного експерименту для трьох факторів (план 2<sup>3</sup>), а для вибору оптимальних параметрів процесу — градієнтний метод Бокса-Уїлсона [11].

Для виділення слизів, які необхідні для подальших досліджень, в конічну колбу брали наважки насіння льону в кількості 20 г і заливали водою вибраного об'єму (175 см<sup>3</sup> та 500 см<sup>3</sup>) та при заданій температурі (50°С та 100°С). Перемішували та ставили зразок у термостат, збовтуючи кожні 10—20 хв. Тривалість експозиції залежала від вибраного експериментом часу (30 хв або 180 хв).

Із зразків, після виділення слизу, відбирали по 20 см<sup>3</sup> витяжки для визначення сухих речовин. Витяжку поміщали у попередньо висушені та зважені з точністю до 0,0001 г чашки. Витяжку випарювали на водяній бані. Після випарювання вологі чашки із зразками поміщали у сушильну шафу СЕШ,

висушували їх до постійної маси при температурі 105°C. Масову частку сухих речовин слизів (%) розраховували за формулою:

$$X = \frac{a \cdot V \cdot 100 \cdot 100}{20 \cdot m \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

де  $a$  — маса витяжки після сушіння, г;  $V$  — об'єм води для виділення слизів, см<sup>3</sup>; 100 — перерахунок на 100 г льону;  $m$  — маса наважки насіння льону, взята для визначення сухих речовин, г; 100/(100– $W$ ) — перерахунок на 100 г абсолютно сухих речовин;  $W$  — вологість насіння льону, %

**Результати і обговорення.** За результатами поставленого експерименту отримано значення сухих речовин слизів, виділених із насіння льону-довгунця, які наведено в табл. 2.

*Таблиця 2. Результати дослідження впливу кількості води, температури і тривалості екстрагування на перехід сухих речовин у воду*

№ дослідю	Вплив факторів			Вихід полісахаридів, % до маси СР льону	Відносний вихід полісахаридів, %
	$G_{\text{води}}$ , см <sup>3</sup> (насіння льону: кількість води)	$t_{\text{води}}$ , °C	$\tau$ , хв		
1	2	3	4	5	6
Вплив температури на вихід полісахаридів					
1.1	500 (1:25)	50	30	3,93	101,0
		100		7,90	
		50	180	5,57	111,3
		100		11,77	
Вплив тривалості настоювання на вихід полісахаридів					
1.2	500 (1:25)	50	30	3,93	41,7
			180	5,57	
		100	30	7,90	50,0
			180	11,77	
Вплив температури та тривалості настоювання на вихід полісахаридів					
1.3	500 (1:25)	50	30	3,93	199,5
		100	180	11,77	
Вплив температури на вихід полісахаридів					
2.1	175 (1:8,75)	50	30	3,73	76,1
		100		6,57	
		50	180	4,87	138,8
		100		11,63	
Вплив тривалості настоювання на вихід полісахаридів					
2.2	175 (1:8,75)	50	30	3,73	30,6
			180	4,87	
		100	30	6,57	77,0
			180	11,63	
Вплив температури та тривалості настоювання на вихід полісахаридів					
2.3	175 (1:8,75)	50	30	3,73	211,8
		100	180	11,63	

1	2	3	4	5	6
Вплив кількості води, температури і тривалості настоювання на вихід полісахаридів					
3	175 (1:8,75)	50	30	3,73	215,5
	500 (1:25)	100	180	11,77	

Кількість води, використаної для екстрагування, становила 175 см<sup>3</sup> та 500 см<sup>3</sup>. Якщо проаналізувати вплив температури на вихід полісахаридів, то при кількості води 175 см<sup>3</sup> і тривалості екстрагування 30 хв вона становить 76,1%, тоді як при тривалості екстрагування 180 хв вихід полісахаридів вищий і становить, відповідно, 138,8%. При використанні об'єму води в кількості 500 см<sup>3</sup> залежність ефективності процесу від вказаних факторів зберігається, але порівняно з попереднім варіантом для температури 50°C і тривалості екстрагування 30 хв вища і становить, відповідно, 101%, тоді як для температури 100°C і тривалості настоювання 180 хв вона становить 111,3%, тобто приріст переходу сухих речовин у другому випадку становить 10,3% проти 62,7% для попереднього варіанту. Це означає, що при підвищенні температури та збільшенні тривалості екстрагування ефективність процесу має тенденцію до вирівнювання, або згладжування. Той самий ефект можна спостерігати при аналізі впливу тривалості настоювання на вихід полісахаридів — ефективність процесу при кількості води 175 см<sup>3</sup> становить 30,6% та 77,0% проти 41,7% та 50% при кількості води в 500 см<sup>3</sup>. Тут можна відмітити ще те, що сила впливу температури, порівняно із впливом тривалості настоювання на процес, вища. Якщо ж порівняти ефективність процесу від комбінації мінімальних значень параметрів процесу і комбінації їх максимальних значень для кількості води 175 см<sup>3</sup> та 500 см<sup>3</sup>, то значення приросту полісахаридів становить, відповідно, 211,8% та 199,5%. Якщо ж порівняти цей результат з оцінкою ефективності дії всіх трьох мінімальних проти трьох максимальних значень факторів, то цей результат близький і становить 215,5%. Це означає, що сумарний вплив обох параметрів при високих режимах процесу мало залежить від кількості води.

Кількість води (гідромодуль), використаної при екстрагуванні слизів із насіння льону, як видно з отриманих результатів, практично не впливає на кінцевий результат.

Для вибору оптимальних значень процесу екстрагування слизів із насіння льону необхідно було отримати математичну модель процесу. За результатами досліджень, поставлених за планом 2<sup>3</sup> і наведених в табл. 3, проведено оцінку однорідності дисперсії за критерієм Кохрена. Дисперсія однорідна, оскільки розрахункове значення критерію менше за табличне (0,3019 < 0,8159).

Після розрахунку коефіцієнтів отримали рівняння регресії такого вигляду:

$$y = 7,0 + 0,3x_1 + 2,47x_2 + 1,46x_3 + 0,07x_1x_2 - 0,08x_1x_3 + 0,78x_2x_3 - 0,21x_1x_2x_3. \quad (2)$$

У результаті статистичної обробки результатів експерименту встановлено, що суттєвими є коефіцієнти b<sub>0</sub>, b<sub>2</sub> та b<sub>3</sub>. Коефіцієнт при факторі x<sub>1</sub> виявився незначимим. Це означає, що за цим фактором нульовий рівень збігається із

зоною оптимуму. Проведено перевірку адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера. А адекватне рівняння має вигляд:

$$y = 7,0 + 2,4x_2 + 1,46x_3 \quad (3)$$

*Таблиця 3. Матриця експерименту за планом 2<sup>3</sup> і результати його реалізації*

№ досліду	Рівні факторів			Значення критерію оптимальності (Y <sub>сп</sub> ), %			Середнє значення
	X <sub>1</sub> (G <sub>води</sub> ), см <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> (t <sub>води</sub> ), °C	X <sub>3</sub> (τ), хв	У досліді			
				1	2	3	
1	+	—	—	6,9	2,4	2,5	3,93
2	—	—	—	4,5	4,0	2,7	3,73
3	+	+	—	13,0	5,7	5,0	7,90
4	—	+	—	11,1	4,4	4,2	6,57
5	+	—	+	9,2	4,6	2,9	5,57
6	—	—	+	6,9	3,9	3,8	4,87
7	+	+	+	14,7	11,0	9,6	11,77
8	—	+	+	13,0	11,8	10,3	11,63

На основі цього рівняння побудовано програму «крутого сходження» і поставлено екстремальний експеримент, результати якого наведені в табл. 4.

*Таблиця 4. План екстремального експерименту*

№ досліду	Значення факторів			Середнє значення критерію оптимальності (Y <sub>сп</sub> ), %
	X <sub>1</sub> (G <sub>H2O</sub> , см <sup>3</sup> )	X <sub>2</sub> (t <sub>H2O</sub> , °C)	X <sub>3</sub> (τ, хв)	
9	350	55	65	3,6
10	350	65	85	3,9
11	350	75	105	8,4
12	350	85	125	15,2
13	350	95	145	14,8
14	350	100	165	12,4

За результатами цього експерименту можна зробити висновок, що параметри 12 досліду визначають оптимальні значення процесу екстрагування полісахариду із льону. Необхідно відмітити, що значення виходу процесу для досліду 13 теж досить непогані та близькі до оптимуму, тобто можна говорити про певну оптимальну зону, яка окреслюється параметрами досліду 12 та 13, а саме: кількість води — 350 см<sup>3</sup> (або гідромодуль становить 1:15—20), температура води 85—95°C та експозиція настоювання при періодичному збовтуванні становить 125—145 хв (2—2,5 год).

### **Висновки**

Підвищення температури води й тривалості екстрагування сприяє зростанню переходу сухих речовин (слизів) льону у воду. Сила впливу температури на перехід сухих речовин приблизно вдвічі вища, ніж сила впливу тривалості екстрагування. Сумарний вплив обох факторів забезпечує максимальний (синергічний) ефект переходу сухих речовин льону у воду. Гідромодуль в



діапазоні 1:10—1:25 практично не впливає на результат переходу сухих речовин у воду. Оптимальними параметрами процесу є такі їх значення: температура води — 85—95°C, експозиція настоювання при періодичному збовтуванні — 125—145 хв (2—2,5 год), рекомендований гідромодуль — 1:15—20.

Подальші дослідження будуть стосуватись визначення технологічних властивостей самих полісахаридів для окремого їх використання в харчовій промисловості та медицині, оскільки слиз насіння льону належить до пребіотиків.

### **Література**

1. Живетин В. В., Гинзбург Л. Н., Ольшанская О. М. Лен и его комплексное использование. М.: Информ-Знание, 2002. 394 с.
2. Пашенко Л. П., Прохорова А. С., Кобцева Я. Ю., Никитин И. А. Характеристика семян льна и их применение в производстве продуктов питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2004. № 7. С. 56—57.
3. Іваненко Ф. В., Сінченко В. М. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. К.: КНЕУ, 2005. 221 с.
4. Сай В. А. Технологія вирощування, збирання та первинної переробки льону олійного. Луцьк: ЛНТУ, 2012. 168 с.
5. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. М.: ДеЛи Принт, 2002. 236 с.
6. Дробот В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности. К.: Урожай, 1988. 152 с.
7. Фармацевтична енциклопедія. Полісахариди. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/890/polisaxaridi>.
8. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. Т.1. М., 1986. 356 с.
9. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини. К.: Академперіодика, 2011. 487 с.
10. Некрохмальні полісахариди. URL: <https://helpiks.org/8-30205.html>.
11. Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Математичне моделювання на ЕОМ: Підручник. Одеса: Друк, 2006. 313 с.