

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ШВЕЦЬ НАТАЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА**

УДК 631.53.01-037.1:577.15:613.292

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ  
КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ЛЬОНУ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ФЕРМЕНТІВ**

Спеціальність 03.00.20 – біотехнологія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій,  
Міністерство освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
Лауреат Державної премії України,  
заслужений діяч науки і техніки України  
**Капельянець Леонід Вікторович,**  
Одеська національна академія харчових технологій,  
кафедра біохімії, мікробіології і фізіології харчування,  
завідувач кафедри, проректор академії з наукової  
роботи та міжнародних зв'язків.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Моргун Валентина Олексіївна,**  
Одеська національна академія харчових технологій,  
кафедра технології переробки зерна,  
завідувач кафедри.

кандидат технічних наук, доцент,  
**Мітіна Наталія Борисівна,**  
Дніпропетровський вищий навчальний заклад  
„Український хіміко-технологічний університет”,  
кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності,  
доцент кафедри.

Захист відбудеться **30 червня 2010 року о 13-30** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.02 Одеської національна академія харчових технологій (65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий **29 травня 2010 року.**

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т.н., професор

Г.М. Станкевич

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з найзначніших завдань кожної країни - це збереження здоров'я й працездатності населення, збільшення тривалості й поліпшення якості життя своїх громадян. Тому розширення асортименту корисних для здоров'я продуктів є пріоритетним напрямком у харчовій промисловості України.

Одним із діючих шляхів поліпшення здоров'я населення України потрібно вважати створення продуктів харчування групи "Здоров'я" або функціональних продуктів і інгредієнтів, які за своїм складом здатні заповнити дефіцит тих або інших компонентів, ефективно впливати на фізіологічні функції людини, і таким чином, захистити її від негативного впливу факторів навколишнього середовища.

Широкий спектр біологічно активних нутрієнтів, які використовуються для виробництва функціональних продуктів харчування, представлено в продуктах рослинного походження. Таким представником можна вважати насіння льону. Насіння льону – дуже багате джерело фізіологічно активних речовин: ліпіди, білок, специфічні полісахариди (гумі), фосфоліпіди, поліненасичені жирні кислоти, і в першу чергу,  $\omega$ -3 і  $\omega$ -6.

У наш час із насіння льону одержують тільки олію, використовуючи один із традиційних механічних способів її виділення, всі інші біологічно активні інгредієнти насіння широкого застосування в харчовій промисловості в цей час не одержали. Істотним недоліком традиційного методу одержання олії з насіння льону є низький її вихід без збереження й використання інших лабільних інгредієнтів насіння.

На сьогоднішній день методів одержання функціональних продуктів і інгредієнтів велика кількість, але одним з найбільш перспективних є ферментативний. Використання ферментних препаратів різного спектра дії забезпечує в достатній мірі глибину трансформації рослинних біополімерів і в такий спосіб повніше використання рослинної сировини й збереження її лабільних фізіологічно активних компонентів. Використання ферментних препаратів дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси, розширити асортимент продукції, отриманої більш економічним методом.

Таким чином, удосконалення існуючих технологій виробництва функціональних інгредієнтів і продуктів з насіння льону з використанням ферментних препаратів є актуальним. Завдяки використанню біотехнологічних підходів при переробці льону можливо проводити направлену модифікацію цієї сировини, а комплексна її переробка з врахуванням вторинних матеріальних ресурсів дозволяє розширити асортименти харчових інгредієнтів і сферу їхнього використання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана за тематикою міжвузівської програми науково-дослідної роботи № 31 «Будова, склад, властивості і перетворення компонентів рослинної сировини, як основи створення поліфункціональних добавок, збагачувачів і модулів для одержання продуктів з новими властивостями, які забезпечують продовольчу безпеку

населення України», затвердженої наказом Міністерства науки і освіти України № 271 від 15.08.96, зокрема, за темою досліджень проблемної лабораторії Одеської національної академії харчових технологій 2/97-97–П «Розробка наукових основ і технологій виробництва харчових речовин та функціональних продуктів харчування на основі біотехнологічних методів переробки рослинної сировини, біомаси мікроорганізмів та екзометаболітів» (№ держреєстрації 0197U016054); а також у рамках постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної науково-технічної програми розробки й впровадження технологій виробництва соєвих продуктів на 2005-2007 р.р.», прийнятої в 2004 р.

**Мета і завдання роботи.** Мета роботи - розробка технології функціональних інгредієнтів з насіння льону з використанням гідролітичних ферментів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- теоретично обґрунтувати вибір насіння льону як вихідної сировини для одержання харчових функціональних інгредієнтів;
- вивчити хімічний склад різних сортів льону, районованих в Україні, та провести дослідження фракційного складу їхніх ліпідів;
- обґрунтувати вибір ферментних препаратів, вивчити їхню активність, розробити, обґрунтувати й оптимізувати ключові технологічні параметри одержання льняної олії із застосуванням ферментних препаратів, вивчити якісний і кількісний її склад;
- провести дослідження щодо стабілізації льняної олії рослинними антиоксидантами, вивчити фізико-хімічні показники її якості для додавання в продукти з метою продовження строку зберігання без зміни харчових, біологічних властивостей і товарних якостей;
- розробити умови виділення водно-етанольних полісахаридів (гідроколоїдів) льону, провести їхнє фракціонування, вивчити біохімічний склад і функціональні властивості, мікробіологічні й органолептичні показники якості;
- розробити умови виділення білкового концентрату з макухи льону, вивчити його біохімічну характеристику, функціональні властивості й органолептичні показники якості як функціонального інгредієнта;
- провести дослідження й розробити рецептуру печива із застосуванням льняного борошна;
- розробити принципову технологічну схему комплексної переробки насіння льону, провести її промислову апробацію, розробити нормативну документацію й розрахувати собівартість отриманих продуктів.

*Об'єкт дослідження* – біотехнологія одержання функціональних продуктів і інгредієнтів з насіння льону.

*Предмет дослідження* – насіння льону, льняний жом, ферментні препарати, біохімічні процеси деградації біополімерів насіння льону, льняна олія, полісахариди й білковий концентрат насіння льону, екстракти рослинних антиоксидантів.

*Методи дослідження* – загальноприйняті і спеціальні біотехнологічні, фізико-хімічні, біохімічні, технологічні, мікробіологічні, аналітичні, математичні з використанням сучасних пристроїв і комп'ютерних технологій.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вивчено біохімічний склад насіння льону як потенційної сировини для одержання функціональних продуктів і інгредієнтів. Досліджено вплив ферментних препаратів на модифікацію біополімерів насіння льону. Обрано оптимальні умови ферментативного гідролізу біополімерів насіння льону. Експериментально установлені співвідношення й концентрація ферментних препаратів при одержанні льняної олії. Вперше показана можливість використання екстрактів рослинних антиоксидантів для стабілізації й продовження строку зберігання льняної олії. Розроблено умови виділення полісахаридів і білкового концентрату з насіння льону й льняного жому. Охарактеризовані за фізико-хімічними, функціонально-технологічними властивостями, органолептичними і мікробіологічними показниками функціональні інгредієнти з насіння льону.

Теоретично обґрунтована й експериментально доведена можливість виробництва функціональних харчових інгредієнтів з насіння льону з використанням ферментних препаратів. Наукова новизна роботи підтверджена деклараційним патентом України на корисну модель № 55991.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі експериментальних і теоретичних досліджень розроблена біотехнологія комплексної переробки насіння льону у функціональні харчові продукти й інгредієнти: льняне борошно, олію, полісахариди (гідроколоїди), концентрат білка й харчові волокна, які можуть бути використані як окремі біологічно активні добавки, а також у складі функціональних продуктів харчування. Розроблено нормативну документацію на виробництво олії льняної (ТУ У 15.4-02071062-002:2008, ТІ), виробництво дієтичного печива «Печиво цукрове «Тріо»» з додаванням борошна з насіння льону (ТУ У 15.8-00377147.001-2003, ТІ). Розроблена біотехнологія комплексної переробки насіння льону у функціональні продукти й інгредієнти апробована на ТОВ науково-виробничої асоціації «Одеська біотехнологія» і ТОВ науково-виробничого об'єднання «Одеський біотехнологічний інститут» у м. Одесі.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є самостійною роботою автора. Експериментальна робота виконана особисто здобувачем. Особистий внесок здобувача полягає в розробці наукових основ одержання функціональних продуктів і інгредієнтів з насіння льону, забезпеченні методичного оформлення роботи, проведенні аналітичних і експериментальних робіт у лабораторних і виробничих умовах, проведенні аналізу й узагальнення отриманих результатів, формулюванні висновків і рекомендацій, підготовці матеріалів досліджень до публікації у вигляді статей, патентів і тез, розробці нормативної документації, проведенні промислової апробації розробленої технології. Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами й науковими публікаціями.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень доповідалися й обговорювалися на наступних наукових конференціях: 70-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 2004 р.); 4-а Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів (Могильов, 2004 р.); Міжвузівська науково-дослідна конференція (Полтава, 2004 р.); 7-а Міжнародна науково-практична конференція «Наука і освіта 2004» (Дніпропетровськ, 2004 р.); Міжнародна наукова конференція «Food science, technique and technologies 2004» (Пловдив, 2004 р.); X з'їзд спілки мікробіологів України (Одеса, 2004 р.); Всеукраїнський конкурс на кращу наукову працю з питань розвитку харчової промисловості (Одеса, 2004 р.); 71-а Наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів (Київ, 2005 р.); V Міжнародна науково-практична конференція «Хлібопродукти-2005» (Одеса, 2005 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Харчові технології - 2005» (Одеса, 2005 р.); 4-а Міжнародна наукова конференція «Живі системи й біологічна безпека населення» (Москва, 2005 р.); IV Міжнародна науково-практична конференція «Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія» (Харків, 2006 р.); 64-а, 65-а, 66-а й 67-а Наукові конференції ОНАХТ (Одеса, 2004, 2005, 2006 і 2007 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковані в 19 друкованих працях, з них 9 статей у спеціалізованих виданнях, 7 тез, доповіді в матеріалах наукових і науково-практичних конференцій, один деклараційний патент України на корисну модель № 55991.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел і додатків. Робота виконана на 137 сторінках, які включають рисунків 18 (12 сторінок), 36 таблиць (19 сторінок). Робота містить 205 найменувань літературних джерел (16 сторінок) і 5 додатків (29 сторінок).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета й завдання досліджень, викладені наукова новизна й практичне значення отриманих результатів, наведені дані апробації, підкреслено особливий внесок здобувача в проведених дослідженнях і публікаціях за темою дисертаційної роботи.

**У першому розділі** «Характеристика хімічного складу й напрямків переробки насіння льону» проведено аналітичний огляд літератури вітчизняних і закордонних авторів згідно теоретичним аспектам виробництва функціональних продуктів і інгредієнтів з рослинної сировини та визначено й потребу в них на ринку України.

Наведено загальну характеристику культури льону, біохімічну характеристику насіння льону та окремих його біполімерів (ліпідів, білка, полісахаридів). Проаналізовано основні напрямки використання сучасних підходів до переробки насіння льону у функціональні продукти й інгредієнти. Виявлено недоліки сучасних методів одержання льняної олії, обґрунтована доцільність

використання біотехнологічних прийомів її виділення. Практично відсутні дані про методи стабілізації льняної олії при зберіганні.

У другому розділі «Матеріали та методи досліджень» обґрунтований вибір об'єктів і напрямків досліджень. Наведено перелік і характеристику об'єктів і методів досліджень, а також основні теоретичні й експериментальні напрямки досліджень (рис. 1).

Об'єктами досліджень обрані насіння льону вітчизняних сортів "Дебют", "Південна ніч", "Каменярь", "Чарівний", ферментні препарати "Целокандин Г10х", "Пектофоетидин П10х", "Мацербацилін Г3х", "Протосубтилін Г20х", "Протофоетидин П20х", "Протеозин" Ладижинського заводу ферментних препаратів "Ензим".

У третьому розділі «Дослідження хімічного складу насіння льону. Виділення, фракціонування й фізико-хімічна характеристика біополімерів насіння льону як функціональних харчових інгредієнтів» наведені результати власних експериментальних досліджень.

Дослідження біохімічного складу насіння льону показало, що всі досліджувані сорти відрізняються високим вмістом ліпідів і вуглеводів, найбільшим вмістом ліпідів відрізняється насіння сорту «Дебют» (43,5 %), а за вмістом вуглеводів - практично однакові. Вміст білка залежно від сорту коливається в межах 13,0...19,8 %. Найбільша масова частка його в насінні сорту «Південна ніч» (19,8 %). Масова частка зольних елементів у досліджуваних сортах змінюється від 3,8 % до 4,9 %. За результатами аналізу хімічного складу для подальших досліджень обрані сорти «Південна ніч» і «Дебют».

Визначено і кількісний склад ліпорозчинних речовин насіння досліджуваних сортів льону. Встановлено, що у цих фракціях превалюють нейтральні тригліцериди, на частку яких припадає основна маса, котра складає більше 98 % від маси ліпідів насіння, а також фосфоліпіди, вміст яких у насінні сорту «Південна ніч» на 32 % більше, ніж у насінні сорту «Дебют».

Дослідження жирнокислотного складу ліпідів насіння льону показали, що серед високомолекулярних жирних кислот домінують ненасичені: олеїнова, лінолева й ліноленова, масова частка яких становить 88 % від маси ненасичених жирних кислот (табл. 1).

Таблиця 1

**Жирнокислотний склад ліпідів**  
(масова частка, % від суми вищих жирних кислот)

Вищі жирні кислоти	Сорт
--------------------	------

	«Дебют»	«Південна ніч»
Насичені	12,1	11,4
Міристинова C <sub>14:0</sub>	сліди	0
Пальмітинова C <sub>16:0</sub>	7,4	8,0
Стеаринова C <sub>18:0</sub>	4,2	3,2
Арахінова C <sub>20:0</sub>	0,5	0,2
Ненасичені	87,9	88,6
Пальмітоолеїнова C <sub>16:1</sub>	0,2	сліди
Олеїнова C <sub>18:1</sub>	21,4	18,1
Лінолева C <sub>18:2</sub>	12,8	15,4
Ліноленова C <sub>18:3</sub>	53,5	55,1

Дослідження з розробки умов виділення льняної олії з насіння льону з використанням ферментативних препаратів Мацеробацилін ГЗх і Протосубтилін Г20х і умов її зберігання без втрати фізико-хімічних, харчових і біологічних властивостей показали, що основними факторами, які впливають на процес ферментативного гідролізу, є: масова частка внесеного ферменту, температура, гідромодуль і тривалість ферментолізу (рис. 2-4).

Враховуючи, що ферментний препарат Мацеробацилін ГЗх проявляє свою активність у діапазоні значень рН середовища 6,5...7,5, після проведення серії дослідів для визначення впливу цього фактора на швидкість ферментативної реакції розщеплення полімерів насіння льону було встановлено оптимальне значення рН дії ферменту 6,8.

Досліджено, що вміст масової частки олії в залишку сировини знаходиться в прямій залежності від активності внесеного ферменту й тривалості гідролізу (рис. 2). Показано, що найменший вміст олії в залишку сировини спостерігається при активності ферментного препарату 20 одиниць пектат-транселіміназної активності/г (ПТЕ/г), температурі його дії (45±1) °С, тривалості процесу 90 хв, гідромодулі 1:2, при цьому масова частка його в залишку сировини 6,3 % (рис. 2-4).

Дослідження ферментативного гідролізу борошна насіння льону показали, що у випадку проведення деградації біополімерів насіння ферментним препаратом Мацеробацилін ГЗх при рН 6,8 оптимальними умовами його дії є: активність 20 одиниць пектат-транселіміназної активності/г; гідромодуль 1:2; температура (45±1) °С; тривалість процесу 90 хв. За таких умов вихід олії склав 93,7

% від вихідного його вмісту в сировині. Підвищення активності ферменту і збільшення тривалості процесу гідролізу не приводили до значного збільшення виходу олії з сировини.

Встановлено, що індивідуальні ферменти проявляють меншу активність, чим їхні композиції. Для вилучення льняної олії сумішшю ферментів складена композиція ферментів, що містить Мацеробацилін Г3х з розрахунку 15, 20 і 25 одиниць пектат-транселіміназної активності/г і Протосубтіліну Г20х з розрахунку 0,5...2,5 одиниць протеїназної активності/г (ПА/г).

Результати експериментальних досліджень залежності виходу льняної олії від співвідношення одиниць активності Мацеробациліну Г3х і Протосубтіліну Г20х були аппроксимировани рівнянням:

$$y = 93,2614 + 0,0567 A_{ПТЭ} + \frac{A_{ПА}}{0,2329 + 0,1981 A_{ПА}}, \quad (1)$$

где  $y$  — вихід масової частки олії, % від вихідного;

$A_{ПТЭ}$ ,  $A_{ПА}$  — активність ферментів, відповідно од. ПТЕ/г і ПА/г

Емпіричні коефіцієнти в рівнянні (1) були отримані методом найменших квадратів, геометрична інтерпретація рівняння відображена на рис. 5.

Дослідження показали, що зі збільшенням активності Протосубтіліну Г20х вихід олії зростає за нелінійним (гіперболічним) законом. Уже при активності 1,0 од. ПА/г вихід олії істотно знижується.

Зі збільшенням активності Мацеробациліну Г3х вихід олії збільшується незначно за лінійним законом. Це дозволило рекомендувати до використання Мацеробацилін з активністю 20,0 од. ПТЕ/г, а Протосубтілін Г20х 1,0 од. ПА/г.

При цих умовах вихід олії склав 98,5 % від вихідного її вмісту. Доведено, що використання ферментативного методу виділення олії дозволяє зберегти фізико-хімічні й поживні властивості, а також її біологічну повноцінність, особливо за есенційними кислотами (лінолева, ліноленова й олеїнова). Така льняна олія являє собою ясно-жовтого кольору маслянисто-прозору масу із приємним запахом і смаком, властивим льняному насінню.

Однією з найважливіших характеристик олій є їх стійкість до окиснювання під дією факторів зовнішнього середовища при зберіганні. Для підвищення стійкості льняної олії до окиснювання й тривалості збереження її біологічних, харчових і лікувальних властивостей проведені дослідження з її стабілізації рослинними антиоксидантами – водно-етанольні екстракти трави звіробою, петрушки й плодів солодкого перцю з розрахунку їхньої масової частки в ній 0,001 %. Дослідження показали, що водно-етанольні екстракти трави звіробою, петрушки й плодів солодкого перцю є інгібіторами реакцій окиснювання льняної олії при її зберіганні при температурі 15...20 °С, відносній вологості приміщення 75 % та тривалості 60 діб. Про це свідчать показники зниження концентрації перекисних сполук до кінця строку зберігання з 3,34 ммоль  $O_2$ /кг для перцю, 7,19 ммоль  $PRO_2$ /кг, 8,15 ммоль  $O_2$ /кг для петрушки й звіробою відповідно в порівнянні з контролем перекисне число якого 10,77 ммоль  $O_2$ /кг. Спостерігається зниження кислотних чисел і дієнових кон'югатів у порівнянні з

контролем від 2,56 мг КОН/г до 1,42 мг КОН/г і від 8,72 % до 0,38 % відповідно залежно від використовуваного антиоксиданта. Установлено, що в контрольному зразку льняної олії перекисне число виросло за 60 діб зберігання в 5,9 рази, тоді як з екстрактом звіробою в 3,6 рази, з екстрактом петрушки в 3,3 рази, з екстрактом перцю в 1,8 рази.

Доведено, що водні рослинні екстракти не впливають на харчові властивості олії, її органолептичні й санітарні показники мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів і бактерії груп кишкових паличок. По результатам мікробіологічного дослідження показники мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів для льняної олії перед зберіганням складала  $1,5 \cdot 10^2$  КОЕ, а після зберігання  $2,1 \cdot 10^2$  при нормі  $5 \cdot 10^3$  КОЕ.

Встановлено, що водно-етанольні екстракти із трави звіробою, петрушки й плодів солодкого перцю є інгібіторами реакцій окислювання льняної олії й можуть бути використані як антиоксиданти при його зберіганні.

За останні роки в харчовій промисловості набули широкого застосування натуральні гідроколоїди як загусники, наповнювачі, стабілізатори емульсій і пін, а також адсорбенти жовчних кислот, важких металів, метаболітів, токсинів та інші. Насіння льону містять 8...10 % водорозчинних полісахаридів, які відносяться до гідроколоїдів. Встановлено, що вихід полісахаридів перебуває в прямої залежності від гідромодуля, температури й тривалості екстракції (рис. 6-8).

Показано, що оптимальними умовами для виділення полісахаридів насіння льону є екстрагент - водний розчин повареної солі з масовою концентрацією 10 %, гідромодуль 1:25, температура 70...80 °С, тривалість 3 години. При цьому вихід полісахаридів становить 8,5...9,0 % від маси сухих речовин насіння льону й не залежить від сорту насіння льону.

Досліджено фракційний склад водорозчинних полісахаридів. Встановлено, що вони представлені кислими й нейтральними фракціями (табл. 2), крім вуглеводної складової містять білкові речовини 4,8 % для насіння сорту «Південна ніч» та 5,8 % в «Дебют». Вміст золи становить 3,6 % в екстракті з насіння льону сорту «Південна ніч» та 4,1 % в екстракті з насіння льону сорту «Дебют».

Вивчено моносахаридний склад полісахаридних фракцій, показано, що в них превалюють (% від суми полісахаридів): ксилоза (Xyl) для насіння сорту «Південна ніч» 33,1 %, «Дебют» 32,6 %, галактуронова кислота (GIA) 14,1 % і 13,3 %, присутні глюкоза (Glc) 3,7 % і 4,2 %, фукоза (Fuc) 3,7 % і 2,1 %, арабіноза (Ara) 8,9 % і 9,7 % відповідно.

Таблиця 2

### Моносахаридний склад нейтральної і кислої фракцій полісахаридів насіння льону

(масова частка, % від сумарних полісахаридів) (P ≤ 0,05, n=5)

Фракції	Сорт насіння	Rhal	Fuc	Ara	Xyl	Gal	Glc	GIA
---------	--------------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Нейтральна	«Південна ніч»	-	-	17,7	61,6	7,8	12,9	-
	«Дебют»	-	-	15,8	64,3	6,5	13,4	-
Кисла	«Південна ніч»	23,4	3,3	22	4,2	24,6	-	42,3
	«Дебют»	20,1	2,2	1,9	3,5	18,2	-	54,1

Дослідження з вивчення в'язкістних характеристик льняних гумі показали, що вони не уступають реологічним властивостям ксантанової і гуарової камеді (рис. 9) за рахунок наявності в них арабіноксиланів, відповідних за процеси гелеутворення у водних розчинах. Високі в'язкісні властивості виділених нейтральних розчинів пояснюються наявністю в них  $\beta$ -Д-(1,4)-ксиланових залишків у арабіноксиланах.

Встановлено, що нейтральна фракція полісахаридів проявляє кращі гелеутворюючі властивості, ніж розчин полісахаридів кислої фракції екстракту насіння льону. Збільшення масової частки нейтральних полісахаридів у водному розчині приводить до підвищення міцняних властивостей (рис. 10).

Екстракти полісахаридів насіння льону можуть бути використані як біологічна добавка в харчових системах, а також як харчові функціонально-технологічні добавки (наповнювачі, стабілізатори емульсій, піноутворювачі, загусники).

Досліджено біохімічний склад макухи, встановлено, що він містить до 52 % білка, 35 % вуглеводів, 7 % ліпідів і може бути використана як сировина для одержання білкового концентрату, тому при комплексної переробки передбачається одержання білкового концентрату з макухи насіння льону після одержання масла.

Розроблена технологія дозволила одержати білковий концентрат з виходом 44,2 % або 85,1 % від білків, що містяться в макусі. Хімічна характеристика білкового концентрату показала, що в ньому містяться 74,3 % протеїну, 20,3 % вуглеводів, 1,9 % жиру, 2,1 % золи. Білкові речовини представлені альбумінами 19,2...22,7 %, глобулінами 31,1...42,0 %, проламінами 5,3...8,4 %, глютелінами 27,4...39,6 % залежно від досліджуваних сортів насіння льону.

Встановлено, що білковий концентрат складається з 18 амінокислот, біологічно повноцінний як за незамінними, так і замінними амінокислотами, а також їхнім співвідношенням, має високий ступінь перетравності 82,88 % і функціональні властивості: водоутримуючу здатність 490 % і жирутримуючу здатність 240 %, жироемульгуючу здатність 49 % і здатність стабілізувати емульсії - 52 %. Висушений білковий концентрат являє собою дрібний порошок світло-жовтого кольору, без смаку, запаху, властивих насінню льону. За бактеріальними показниками як до зберігання, так і після 6 місяців зберігання він залишається доброякісним, бактерій групи кишкової палички, спороутворюючих, а також патогенних мікроорганізмів не виявлено.

**У четвертому розділі** «Розробка комплексної технології одержання харчових продуктів і добавок із насіння льону з використанням ферментів» розглянута технологія переробки насіння льону у функціональні продукти й інгредієнти (рис. 11).

У результаті проведених досліджень і після апробації в умовах виробництва запропонована біотехнологія переробки насіння у льняну олію, водорозчинні полісахариди, білковий концентрат, харчові волокна. На льняну олію розроблена нормативна документація (ТУ У 15.8-00377147.001-2003, ТІ). Очікуваний економічний ефект від впровадження даної технології 7870,4 грн. на 1 т насіння, що переробляється.

## ВИСНОВКИ

1. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень науково обґрунтована й реалізована біотехнологія комплексної переробки насіння льону з використанням ферментів у льняну олію й функціональні інгредієнти - водорозчинні полісахариди насіння льону й білковий концентрат, що дозволяє збільшити вихід олії на 22,8 %, розширити асортимент функціональних продуктів і підвищити їх харчову й біологічну цінність.

2. Встановлено, що основна маса насіння льону представлена ліпідами 36,4...43,5 %, білковими сполуками 13,0...19,8 % і вуглеводами 27,6...30,1 %. Ліпіди - тригліцеридами, фосфоліпідами, стеролами й токоферолами, серед яких переважають нейтральні ліпіди, на масову частку яких припадає 98 %. На основі досліджень жирнокислотного складу ліпідів встановлено, що вони на 87,9...88,6 % складаються з ненасичених жирних кислот — олеїнової 18,1...21,4 %, лінолевої 12,8...15,4 %, ліноленої 53,5...55,1 % залежно від сорту насіння.

3. Обґрунтовано вибір ферментних препаратів «Мацеробацилін Г3х» і «Протосубтилін Г20х», з пектат-транселіміназою і протеїназою активностями і їх композиції. Використання композиції дозволило скоротити час ферментативного гідролізу, витрати ферментних препаратів і збільшити вихід льняної олії на 22,8 %. Установлено й оптимізовано параметри ферментативного перетворення біополімерів насіння льону мультиензимною композицією «Мацеробацилін Г3х» і «Протосубтилін Г20х»: температура  $(45 \pm 1)$  °С, гідромодуль 1:2, рН 6,8, тривалість процесу 90 хв, при цьому вихід олії склав 98,5 %. Встановлено, що використання ферментативного методу виділення льняної олії сприяє збереженню її фізико-хімічних і поживних властивостей.

4. Показано можливість стабілізації льняної олії рослинними антиоксидантами (водно-етанольні екстракти із трави звіробою, петрушки, солодкого перцю) з метою підвищення стійкості її до окиснювання при зберіганні. Встановлено, що водно-етанольні екстракти із трави звіробою, петрушки й плодів солодкого перцю є інгібіторами реакцій окиснювання льняної олії, про що свідчить зниження нагромадження перекисних сполук. Вони можуть бути використані як антиоксиданти при її зберіганні. На основі досліджень антиоксидантної дії водно-етанольних рослинних екстрактів встановлено, що найбільшими такими властивостями володіє екстракт болгарський перець, на що вказує перекисне число 3,34 ммоль  $O_2$ /кг на 60-у добу зберігання олії (у порівнянні з контрольним 10,77 ммоль  $O_2$ /кг). Показано, що використання антиоксидантів продовжує строк зберігання олії без зміни харчових, біологічних властивостей і товарних якостей.

5. На основі досліджень розроблені умови виділення водорозчинних полісахаридів насіння льону (гідроколоїди). Встановлено, що максимальна кількість екстрагованих водорозчинних полісахаридів насіння льону досягається екстракцією водним розчином 10 % NaCl при температурі 70...80 °С, гідромодуль 1:25 протягом 3 год. Фракціонування методом гель-фільтрації показало, що водорозчинні полісахариди насіння льону складаються із двох фракцій - нейтральної та кислої, які відрізняються моносахаридним складом. На основі досліджень функціональних властивостей встановлено, що полісахариди мають властивості гідроколоїдів і можуть бути використані біологічними добавками в харчові системи як загусники, наповнювачі і стабілізатори емульсій і пін.

6. Визначений біохімічний склад льняної макухи як потенційного джерела сировини для виділення білкових речовин. Розроблено схему одержання білкового концентрату з виходом 85,1 % від вихідного вмісту білків у макусі. Встановлено, що білковий концентрат містить масову частку протеїну 74,30 %, жиру 1,9 %, вуглеводів 20,3 %, золи 2,1 %. Доведено, що білок концентрату представлений соле- і лужнорозчинними фракціями, показано, що білковий концентрат має високу біологічну цінність, перетравність 82,88 %, функціонально-технологічні властивості. Розроблено рецептуру цукрового печива «Тріо» з використанням льняного борошна. Встановлено, що за рахунок введення льняного борошна можна зменшити зміст жиру (маргарин) і одержати печиво зі збалансованим складом і пористою структурою. Досліджено вплив рецептурного складу пісочних виробів на параметри процесу випікання. Встановлено, що в пісочних напівфабрикатах на основі жирової композиції процес збільшення температури й досягнення виробами стадії готовності скорочується більше, ніж удвоє в порівнянні з контрольним.

7. Встановлено якісний і кількісний склад мікрофлори готової продукції (льняної олії, водорозчинні полісахариди насіння льону й білковий концентрат). Показано, що мезофільні аеробні факультативно-анаеробні мікроорганізми, патогенні мікроорганізми (сальмонели, стафілокока) на протязі усього строку зберігання не виявлено, кишкова паличка й анаероби відсутні.

8. Розроблено технологію комплексної переробки насіння льону в олію й функціональні інгредієнти. На льняну олію розроблено нормативна документація (ТУ У 15.4-02071062-002:2008, ТП), здійснена апробація нової технології в умовах підприємств ТОВ науково-виробничої асоціації «Одеська біотехнологія» і ТОВ науково-виробничого об'єднання «Одеський біотехнологічний інститут» у м. Одесі. Очікуваний економічний ефект від впровадження даної технології 7870,4 грн. на 1 т насіння, що переробляється.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Швець Н.А. Биохимическая характеристика липидов семян льна как компонентов функциональных продуктов питания / Н.А. Швець, Л.В. Капрельянц // Зернові продукти і комбікорми. – 2002. - № 1. – С. 17 – 19.

2. Швец Н.А. Водорастворимые полисахариды семян льна / Н.А. Швец, Л.В. Капрельянц, Т. Столярова // Наукові праці ОНАХТ. Одеса: ОНАХТ, 2002. – Вип. № 24. – С. 146 – 150.
3. Швець Н.О. Виділення і характеристика білкового концентрату з макухи насіння / Швець Н.О., Л.В. Капрельянц // Наукові праці ОНАХТ. Одеса: ОНАХТ, 2003. – Вип. № 25. – С. 109 – 112.
4. Деклараційний патент на корисну модель. Спосіб одержання олії льону / Л.В. Капрельянц, Н.О. Швець. Україна, МКП А23 D9/02, С11 В1/04. Опубл. 15.04.2003., Бюл. № 4. – 7 с.
5. Швец Н.А. Исследование соевых изофлавоноидов как антиоксидантов окисления жиров в кондитерских изделиях / Иоргачёва Е.Г., Капрельянц Л.В., Макарова О.В. // Хранение и переработка зерна. – 2003. – Вып. № 7. – С. 57 – 59.
6. Швець Н.О. Розроблення технології отримання олії з насіння льону з використанням ферментів / Дишкантюк О.В., Капрельянц Л.В. // Наукові праці ОНАХТ. Одеса: ОНАХТ, 2003. – Вип. № 26. – С. 127 – 130.
7. Швец Н.А. Комплексная технология переработки семян льна / Капрельянц Л.В., Дышкантюк О.В. // Олійно-жировий комплекс. – 2004. - № 1 (4). – С. 39 – 41.
8. Швец Н.А. Состав и физико-химические свойства гидроколлоидов семян льна / Капрельянц Л.В. // Зернові продукти і комбікорми. – 2006. - № 4. – С. 28 – 31.
9. Швець Н.О. Гелеутворюючі полісахариди насіння льону / Капрельянц Л.В. // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць. – Харків, 2007. – Вип. 1(5). – С. 189-192.
10. Швец Н.А. Исследование стабилизации льняного масла растительными антиоксидантами / Капрельянц Л.В. // Хранение и переработка зерна. – 2007. – Вып. № 6. – С. 40 – 41.
11. Швец Н.А. Биотрансформация биополимеров семян льна ферментами микробного происхождения / Капрельянц Л.В., Величко Т.А. // Зернові продукти і комбікорми. – 2009. - № 3. – С. 37 – 40.
12. Швец Н.А. Технология переработки семян льна в функциональные продукты и ингредиенты / Величко Т.А., Капрельянц Л.В. // „Розвіток наукових досліджень '2009”. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції 23-25 листопада 2009 р. - Т. 6. – Полтава: „ІнтерГрафіка 2009”. – С. 101-103.
13. Швец Н.А. Исследование процесса извлечения льняного масла / Капрельянц Л.В. // Материалы III-Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств». – Могилёв: МГТИ, 2002. – С. 83.
14. Швець Н.О. Біотехнологічні способи отримання олії з насіння льону / 69-наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів „Розроблення, дослідження і створення продуктів функціонального харчування, обладнання та нових технологій для харчової і переробної промисловості”. – Київ: НУХТ, 2003. – С. 31.

15. Швець Н.О. Використання ферментів при отриманні олії насіння льону / Капрельянц Л.В. // Міжнародна науково-технічна конференція „Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка”. – Донецьк, 2003. – С. 137 – 140.

16. Швець Н.А. Химический состав семян льна, районированных в Украине / Капрельянц Л.В. // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції „Наука і освіта 2004”. – Дніпропетровськ: „Наука і освіта”, 2004. – Т. 69. – С. 56 – 57.

17. Швець Н.О. Ферментна технологія одержання олії з насіння льону / Капрельянц Л.В. // Проблеми міжвузівської науково-практичної конференції „Проблеми техніки і технології харчових виробництв”. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2004. – С. 146 – 147.

18. Shvets N.A. Composition and physical and chemical properties of hydrocolloids of flax seed / Капрельянц Л.В. // Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених „Розмаїття, живого, екологія, адаптація, еволюція”. – Одеса: „Печатный дом”, 2007. – С. 224.

19. Швець Н.О. Склад і фізико-хімічні властивості гідроколоїдів насіння льону / 73-я наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XX столітті”. – Київ: НУХСТ, 2007. – Ч. II. – С. 90.

#### ***Особистий внесок здобувача:***

1) аналіз літературних джерел, проведення експериментальних досліджень з визначенням біохімічного складу насіння льону, розробці умов ферментативного гідролізу, видалення водорозчинних полісахаридів, білкового концентрату та розробці комплексної технології переробки насіння льону. Обробка та узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку [1-19].

2) проведення експериментальних досліджень в виробничих умовах, узагальнення результатів, розробці нормативної документації [1-3, 6-12].

### **АНОТАЦІЯ**

**Швець Н.О. Удосконалення технології комплексної переробки насіння льону з використанням ферментів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія. – Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2010.

Дисертація спрямована на вдосконалення технології комплексної переробки насіння льону з використанням ферментів, що дозволяє одержати функціональні продукти й інгредієнти (льняну олію, водорозчинні полісахариди насіння льону, білковий концентрат, харчові волокна) і підвищити їхній вихід зі збереженням їх фізико-хімічних і поживних властивостей, а також біологічної повноцінності.

Досліджена біохімічного складу насіння льону «Дебют» і «Південна ніч» як об'єктів для одержання функціональних продуктів і інгредієнтів. Обґрунтована й удосконалена технологія одержання льняної олії з використанням як індивідуальних ферментних препаратів, так і їхніх композицій, що дозволяє скоротити час процесу виділення олії та збільшити її вихід. Встановлено закономірності залежності виходу льняної олії від масової частки внесених ферментів, гідромодуля, температури й тривалості процесу.

Досліджена стабілізація льняної олії рослинними антиоксидантами водно-етанольними екстрактами із трави звіробою, петрушки й плодів солодкого болгарського перцю. Встановлено, що вони є інгібіторами реакцій окиснювання олії. Використання антиоксидантів продовжує термін її зберігання. За 60 діб зберігання у дослідних зразках зміст перекисних сполук в 1,8 - 3,6 разу нижче граничного.

Запропоновано виділення водорозчинних полісахаридів насіння льону. Встановлено, що вони складаються з нейтральної й кислої фракцій, мають властивості гідроколоїдів, є біологічною добавкою як загусники, наповнювачі, стабілізатори емульсії і піни, а також як сорбенти.

З льняної макухи розроблено технологію одержання білкового концентрату. Розроблена й удосконалена біотехнологія комплексної переробки насіння льону з використанням ферментів при оптимальних умовах: гідромодуль 1:2; температура  $(45 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ; тривалість процесу 90 хв. За таких умов вихід олії склав 93,7 % від вихідного його вмісту в сировині. Результати роботи перевірені в промислових умовах. Визначено економічний ефект від впровадження запропонованої технології.

Ключові слова: насіння льону, ферменти, ферментативний гідроліз, льняна олія, водорозчинні полісахариди, білковий концентрат.

## АННОТАЦИЯ

**Швец Н.А. Усовершенствование технологии комплексной переработки семян льна с использованием ферментов.** – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 03.00.20 – биотехнология. – Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2010.

Диссертация направлена на усовершенствование технологии комплексной переработки семян льна с использованием ферментов, которая позволяет получить функциональные продукты и ингредиенты (льняное масло, водорастворимые полисахариды семян льна, белковый концентрат, пищевые волокна) и повысить их выход с сохранением их физико-химических и питательных свойств, а также биологической полноценности.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований биохимического состава районированных в Украине сортов льна как объектов переработки в льняное масло и функциональные ингредиенты.

На основании исследований биохимического состава установлено, что семена льна содержат 36,4...43,5 % липидов, 27,6...30,1 % углеводов, 13,0...19,8 % белков, 3,8...4,9 % золы в зависимости от сорта льна и места его произрастания. Показано, что семена сорта «Південна ніч» и «Дебют» наиболее ценны для переработки в масло и функциональные ингредиенты, так как в них содержится большая массовая доля жира, углеводов, белков, высших жирных кислот, нейтральных триглицеридов, фосфолипидов.

Изучен биохимический и фракционный состав липидов семян льна. Показано, что фракционный состав липидов представлен триглицеридами, фосфолипидами, свободными жирными кислотами, стеролами, эфирами стеролов, моно- и диглицеридами, токоферолами. Установлено, что во фракционном составе преобладают нейтральные триглицериды, на долю которых приходится основная масса, составляющая более 98 % от массы липидов семян.

Фосфолипиды семян льна представлены десятью типами соединений. Индекс ненасыщенности (U/S) липидов 7,3...7,8. На основании исследований установлен жирнокислотный состав липидов семян льна представленный как насыщенными, так и ненасыщенными кислотами: миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, арахиновая, олеиновая, линолевая, линоленовая, пальмитоолеиновая.

Разработаны условия превращения биополимеров семян льна как индивидуальными ферментными препаратами, так и их композициями.

Установлены и оптимизированы параметры ферментативного превращения биополимеров семян льна ферментной композицией «Мацеробациллин Г3х» и «Протосубтилин Г20х»: температура 45 °С, гидромодуль 1:2, рН 6,8, продолжительность процесса 90 мин., при которых выход масла составил 98,5 %. Показано, что использование ферментативного метода выделения масла не приводит к изменению его физико-химических, питательных свойств и биологической полноценности, особенно по эссенциальным жирным кислотам (олеиновой, линолевой, линоленовой).

На основании исследований по стабилизации льняного масла установлена возможность использования водно-этанольных экстрактов из травы зверобоя, петрушки, сладкого перца в качестве антиоксидантов для повышения устойчивости его к окислению при хранении. Показано, что при внесении водных экстрактов в масло из расчёта массовой доли в нём 0,001 % способствует снижению накоплению перекисных соединений, продлевает срок хранения без изменения физико-химических, товарных и пищевых свойств. Установлено, что наибольшей стойкостью к окислению обладали образцы с добавлением водного экстракта перца.

На основании исследований разработана биотехнология получения льняного масла с использованием ферментных препаратов.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по выделению и характеристике водорастворимых полисахаридов семян льна. Установлено, что максимальное их количество 8,5...9,0 % от сухих веществ семян льна экстрагируется водным раствором поваренной соли с массовой долей 10 % при температуре 70...80 °С, гидромодуле 1:25 в течение 3 ч. Химический состав пока-

зал, что кроме углеводной части в них присутствуют белки и зольные вещества. Моносахаридный состав гидролизатов представлен галактурановой кислотой, галактозой, глюкозой, арабинозой, фукозой. Фракционирование методом гель-фильтрации показало, что водорастворимые полисахариды состоят из двух фракций: нейтральной и кислой, отличающихся моносахаридным составом.

На основании исследований функциональных свойств установлено, что выделенные полисахариды обладают свойствами гидроколлоидов и могут быть использованы в качестве пищевой добавки как загуститель, наполнитель, стабилизатор эмульсий, а также в виде сорбента тяжёлых металлов, радионуклидов.

На основании исследований химического состава рекомендовано льняной жмых использовать как сырьё для получения белкового концентрата. На основании исследований разработана технология получения белкового концентрата методом экстракции жмыха 0,2 % водным раствором едкого натрия. Установлено, что белковый концентрат содержит массовую долю протеина 74,30 %, представленную аминокислотами, сбалансирован по аминокислотному скору и соотношению незаменимых аминокислот к заменимым. Установлено, что белки концентрата представлены соле- и щелочерастворимыми фракциями. Показано, что белковый концентрат имеет степень переваримости 82,88 % и обладает достаточно хорошими функционально-технологическими свойствами.

Определён видовой состав микрофлоры льняного масла, водорастворимых полисахаридов семян льна и белкового концентрата, изучена кинетика их развития в течение 6 месяцев хранения. Для надёжного длительного хранения и предотвращения развития гнилостных, маслянокислых и плесневых грибов рекомендовано использовать антиоксиданты и температуру хранения 10-15 °С при влажности воздуха в помещении 70-75 %.

Разработана биотехнология комплексной переработки семян льна в масло и функциональные ингредиенты. На льняное масло разработан проект нормативной документации. Результаты работы проверены в промышленных условиях.

## ANNOTATION

Shvets N.A. The perfection of the technology of the complex treatment of flax seeds with application of enzymes. – Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 03.00.20 – biotechnology. – Odessa National Academy of Food Technologies of the Ministry of Science and Education of Ukraine, Odessa 2010.

The thesis has been designed to improve the technology of the complex complex treatment of flax seeds with application of enzymes, which allows to receive functional products and ingredients (flax oil, water soluble polysaccharides of flax seeds, protein concentrate, food fibres) and to increase their output with preservation of their physical and chemical and nutritious properties, and the biological full value as well.

The results of the experimental investigations of biochemical composition of flax seeds «Debyut» and «Pivdenna nich» as objects for receiving functional products and ingredients, have been given in the thesis. The technology of receiving the flax oil, with application both the individual enzyme preparation and their composition as well, which allows to reduce the time of the process of oil excretion and to increase its output, has been grounded and perfected. The regularities of dependence of flax oil output from mass share of taken-in enzymes, hydromodule, temperature and duration of the process, have been determined.

The results of the experimental investigations on stabilization of flax oil with vegetative antioxidants and water-ethanol extracts from St. John's wort herb, parsley and sweet Bulgarian pepper, have been given in the paper. It has been proved that they are inhibitors of the reactions of oil oxidation. It has been stated that application of the antioxidants prolongs the term of its storage.

The results of extraction of water soluble polysaccharides of flax seeds, have been given in the paper. It has been determined, that they consist of neutral and acid fractions, possess the properties of hydrocolloids, are a biological additive as thickeners, fillers, stabilizers of emulsions and foams as well as sorbents.

It has been proved that flax oilcake is a potential raw material for receiving of protein concentrate. The technology of receiving of protein concentrate has been grounded, its biological full value and high degree of digestion have been proved.

The biotechnology of complex treatment of flax seeds with application of enzymes, has been developed and improved. The results of the work have been checked in industrial conditions. The economic effect from introduction of the suggested technology, has been determined.

Key words: flax seeds, enzymes, fermentative hydrolysis, flax oil, water soluble polysaccharides, protein concentrate.

Формат 60x90/16

Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №

Видавничий центр Одеської національної академії харчових технологій

65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112

