

ОЦІНКА СЕЛЕКЦІЙНИХ ЛІНІЙ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЗА БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ОЛІЇ ТА МАСОЮ 1000 НАСІНИН

А.О. Максимчук, Ю.О. Махно, В.І. Левченко

Інститут олійних культур НААН

Встановлено, що у загальній сукупності досліджуваних селекційних ліній найменшу варіативність має вміст олеїнової кислоти ($V=9,02\%$), а найбільшу – вміст лінолевої ($V=41,96\%$) та ліноленової кислот ($V=64,96\%$). Якщо дану сукупність розділити за вмістом $C_{18:3}$ на 3 групи: низько- (харчові), середньо- (медичні) і високоліноленові (технічні) зразки, то варіювання досліджуваних ознак значно змінюється.

В результаті досліджень, виявлено специфічність кореляційних зв'язків жирних кислот, маси 1000 насінин та олійності у даних групах. Найтісніший кореляційний зв'язок (високий рівень за шкалою Чеддока) спостерігається у залежності вмісту лінолевої та ліноленової кислот у технічних зразків, $r = -0,93$ (при $p=0,0001$). Тісний зв'язок характерний між вмістом лінолевої і ліноленової кислот у середньоліноленовій групі ($r = -0,88$ при $p = 0,0001$). Також, специфічним моментом є прямопропорційна залежність маси 1000 насінин від вмісту ліноленової кислоти у технічних зразків, $r = 0,64$ (при $p = 0,0001$).

Ключові слова: льон олійний, селекційна лінія, кореляційний зв'язок, жирна кислота, маса 1000 насінин, олійність.

Вступ. Льон – одна з найважливіших технічних культур світу. За даними ФАО (англ. Food and Agriculture Organization - продовольча та сільськогосподарська організація ООН) він займає близько 4 млн. га посівних площ [1]. При його вирощуванні одержують три цінних види продукції — високоякісне волокно, олію і технічну сировину (кострицю). Найбільші посівні площі льону олійного знаходяться в Канаді, Аргентині, Китаї, Індії, США, Росії. В Україні основні посівні площі льону олійного зосереджені в Дніпропетровській, Запорізькій, Миколаївській, Херсонській областях. У середньому кожен рік площі його посіву займають біля 60 тис. га.

Основним чинником, що сприяє зростанню посівних площ під льоном, в даний час є економічний. Льон вважається найбільш врожайною раною олійною культурою (потенціал врожайності становить до 2 т/га). Ще одна важлива особливість - агротехнічна. Завдяки раннім строкам сівби (березень-квітень), короткому періоду вегетації (до 90 днів) льон є альтернативним попередником для більшості сільськогосподарських культур, в тому числі озимої пшениці. Цей факт робить його ідеальною страховою культурою у разі загибелі озимих [2].

У насінні льону олійного міститься жирна висихаюча олія (30 – 48 %), до складу якої входять тригліцериди поліненасичених ліноленової (35 – 45 %), лінолевої (25 – 35 %) кислот, мононенасиченої олеїнової (15 – 20%) і насичених пальмітинової та стеаринової кислот (9 - 11 %); слиз (5 – 12 %), білок (18 – 33%), вуглеводи (12 – 26 %), ферменти, макро- і мікроелементи, стероли, вітаміни: А,

Е, D, групи В і вітамін F [3]. Для різноманітних галузей промисловості необхідні сорти льону олійного з різним вмістом ненасичених жирних кислот.

Однак, використання лляної олії звичайних технічних олійних сортів в їжу обмежене через його високу окисну нестабільність. Для харчових цілей необхідний низький вміст у насінні ліноленової кислоти - до 5 %, що сприяє зменшенню інтенсивності окислення олії і підвищенню строку її зберігання. Також встановлено, що харчові сорти льону (низьколіноленові) характеризуються меншою масою 1000 насінин, ніж технічні.

Для ефективного ведення селекційної роботи важливо встановити, як проходить зміна одних параметрів характеристики генотипу на інші. Тобто, в даному випадку необхідно з'ясувати, як будуть впливати на вміст олії в насінні льону зміни співвідношення між жирними кислотами в його складі, а також, за рахунок яких кислот можливе підвищення вмісту олеїнової або зниження ліноленової кислот.

Відомо, що біосинтез жирних кислот льону відбувається в наступному порядку: за допомогою ферментів елонгації пальмітинова кислота ($C_{16:0}$) перетворюється в стеаринову ($C_{18:0}$); за допомогою стеарол-АСР десатураз, що кодується генами SAD1 і SAD2, стеаринова кислота переходить у олеїнову ($C_{18:1}$); далі за допомогою десатураз-2, що кодується генами FAD2A і FAD2B (продукт останнього гена має набагато більший вплив на ознаку) з попередньої утворюється ліолева кислота ($C_{18:2}$); два незалежних гени LuFad3A і LuFad3B кодуєть ізоформи ферменту мікосомальної ω -3 десатурази, яка окислює ліолеву кислоту до α -ліноленової ($C_{18:3}$). Таким чином, бачимо, що процес йде у напрямку до появи та збільшення кількості подвійних зв'язків, останньою ланкою якого є ω -3 жирна кислота. Для правильного харчування важливим моментом є досягнення оптимального співвідношення ω -6/ ω -3 жирних кислот. Для звичайного раціону воно має становити 5-10/1, а для лікувального – 3...5/1. Більшість сортів мають співвідношення \sim 0,25/1 [4].

Метою роботи є проведення аналізу селекційного матеріалу льону за жирнокислотним складом та масою насіння, для виявлення мінливості та кореляційних зв'язків.

Матеріал та методи досліджень. В якості матеріалу для дослідження слугувало насіння 132 ліній гібридного походження льону олійного (F₄, сорт Сонячний \times M45) з лабораторії селекції льону Інституту олійних культур НААН. Вміст жирних кислот в олії льону визначали методом газорідинної хроматографії на приладі «Селміхром - 1», олійність насіння – на приладі ЯМР-2006. Математична обробка даних проводилася в програмі Exel 2016 (перевірка на нормальність розподілу у вибірках і розрахунок варіації) та Statistica 6.0 (розрахунок коефіцієнта кореляції Спірмена, рівня його значущості).

При розрахунку коефіцієнта варіації (стандартне відхилення, виражене у відсотках до середньої арифметичної даної сукупності), варіювання прийнято вважати незначним, якщо воно не перевищує 10%, середнім – 10-20% і значним, якщо воно більше 20% [5].

Для отримання даних, через нерівномірність розподілу значень у вибірках, використовували критерій рангової кореляції Спірмена. Цей показник дозволяє визначити наявність або відсутність лінійного зв'язку між двома випадковими величинами, а також оцінити його тісноту і статистичну значимість [6]. За допомогою коефіцієнтів кореляції оцінюють зв'язки між різноманітними

ознаками, вивчаються взаємозв'язки з факторами середовища, закономірності передачі цих ознак від батьківських форм.

Силу зв'язку оцінювали за шкалою Чеддока, де існує 7 основних рівнів тісноти кореляційного зв'язку: 0 – 0,1 – дуже слабкий; 0,1 - 0,3 – слабкий; 0,3 – 0,5 – помірний; 0,5-0,7 – помітний; 0,7 – 0,9 – тісний; 0,9 – 0,99 - високий; 0,99 – 1,0 – досить високий [7].

Результати досліджень та їхнє обговорення. Для того, щоб мати уявлення про загальний вигляд досліджуваної сукупності зі 132 зразків селекційних ліній, значення досліджуваних параметрів, але не приділяти увагу кожному з них, визначили загальну мінливість та коефіцієнти варіації ознак, що вивчались (табл.1).

Таблиця 1

Мінливість за жирнокислотним складом, олійністю та масою 1000 насінин у зразків селекційних ліній льону олійного (2017 р.)

Параметри / показники	Min	Розмах мінливості, %	Max	V, %
Вміст олеїнової кислоти (C _{18:1}), %	11,62	6,45	18,07	9,02
Вміст лінолевої кислоти (C _{18:2}), %	19,51	58,19	77,70	41,96
Вміст ліноленової кислоти (C _{18:3}), %	1,26	54,57	55,83	64,96
Олійність, %	31,42	17,94	49,36	23,17
Маса 1000 насінин, г	3,65	2,67	6,32	10,33

Найменш варіативною у досліджуваних зразків є ознака рівня C_{18:1} в олії (V = 9,02 %) та значення маси тисячі насінин (V = 10,33 %), бачимо значне варіювання за вмістом C_{18:2} (V = 41,96 %) і C_{18:3} (V = 64,96 %). Найбільший розмах мінливості також характерний для останніх (X_{C_{18:2}} = 58,19 %, X_{C_{18:3}} = 54,57 %) (табл.1).

Тому, орієнтуючись на те, що в майбутньому нам необхідно буде відбирати матеріал для створення сортів різних напрямів селекції за складом ненасичених жирних кислот, а C_{18:3} найбільш варіативна і є останньою ланкою у ланцюзі біохімічних перетворень досліджуваних жирних кислот, обрані зразки було розділено на 3 групи: низьколіноленові (до 10 % ω-3, харчові), середньоліноленові (10-30 % ω-3, медичні) і високоліноленові (від 30% і вище ω-3, технічні зразки). Таким чином ми отримаємо більш достовірні для розрахунку кореляційних залежностей дані згідно різних напрямків використання льону.

Результати досліджень, щодо коефіцієнтів варіації та розмах мінливості у сформованих групах наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Мінливість за жирнокислотним складом, олійністю та масою 1000 насінин у низько-, середньо- і високоліноленових зразків селекційних ліній льону олійного (2017 р.)

Назва групи зразків	Кількість зразків, шт	Параметри / показники	Min	Розмах мінливості, %	Max	V, %
Високоліноленова	72	Вміст C _{18:1} , %	12,75	5,32	18,07	7,63
		Вміст C _{18:2} , %	23,35	22,87	46,22	20,31
		Вміст C _{18:3} , %	30,59	25,24	55,83	14,74
		Олійність, %	31,42	15,84	47,26	7,40
		Маса 1000 насінин, г	4,05	1,49	5,54	10,33
Середньоліноленова	20	Вміст C _{18:1} , %	14,99	1,64	16,63	3,54
		Вміст C _{18:2} , %	44,37	14,46	58,83	7,13
		Вміст C _{18:3} , %	18,11	12,51	30,42	11,35
		Олійність, %	40,40	7,16	47,56	4,86
		Маса 1000 насінин, г	3,68	1,21	4,89	9,13
Низьколіноленова	40	Вміст C _{18:1} , %	11,62	6,12	17,74	11,77
		Вміст C _{18:2} , %	65,15	12,55	77,7	3,56
		Вміст C _{18:3} , %	1,26	9,08	10,34	58,03
		Олійність, %	39,73	9,63	49,36	5,20
		Маса 1000 насінин, г	3,65	1,6	5,25	9,03

Розподіливши вибірку на групи, варіювання ознак значно зменшилось і є значними лише для C_{18:3} у низьколіноленових зразків (V = 58,03 %), (табл. 2). Пояснюється це тим, що у вибірці лише один зразок мав 10,34±0,01% цієї кислоти в олії, а більшість інших – 1,5-3,5%.

Результати аналізу кореляційних зв'язків жирнокислотного складу, олійності і маси 1000 насінин в кожній з груп представлені в табл. 3.

Якщо групи порівнювати між собою за кореляційними зв'язками між жирними кислотами, то для харчових зразків вони від'ємні, у медичних існує позитивний кореляційний зв'язок C_{18:1} з C_{18:3} (r = 0,44 при p = 0,050), а у технічних – у C_{18:1} з C_{18:2} (r = 0,28 при p = 0,018), що надає групам специфічність. Негативний кореляційний зв'язок C_{18:2} з C_{18:3} характерний для всіх груп, але збільшує свою силу в них за напрямком збільшення вмісту C_{18:3}, сягаючи найвищого рівня тісноти у технічних зразків (r = -0,93 при p = 0,0001).

Олійність же, за нашими розрахунками, не відзначається значимими кореляційними зв'язками з жирними кислотами, окрім помірного негативного з C_{18:1} у низьколіноленової групи (r = -0,37 при p = 0,019). З масою 1000 насінин, олійність пов'язана прямопропорційно у групах харчових (r = 0,59 при p = 0,0001) та медичних (r = 0,45 при p = 0,047) зразків. Тобто, в них при збільшенні маси насіння збільшується і олійність.

Таблиця 3

Кореляційна залежність між вмістом жирних кислот в олії, олійністю і масою 1000 насінин у низько-, середньо- і високоліноленових зразків льону олійного (2017 р.)

Ознаки / група	Низьколіноленова	Середньоліноленова	Високоліноленова
Маса 1000 насінин і олійність	0,59***	0,45*	-0,03
Маса 1000 насінин і C _{18:1}	-0,49*	0,30	-0,42***
Маса 1000 насінин і C _{18:2}	0,43**	0,07	-0,56***
Маса 1000 насінин і C _{18:3}	0,002	0,06	0,64***
Олійність і C _{18:1}	-0,37*	-0,10	-0,03
Олійність і C _{18:2}	0,26	0,02	0,20
Олійність і C _{18:3}	0,09	0,06	-0,19
C _{18:1} і C _{18:2}	-0,64***	-0,69***	0,28*
C _{18:1} і C _{18:3}	-0,41**	0,44*	-0,49***
C _{18:2} і C _{18:3}	-0,34*	-0,88***	-0,93***

*, **, *** - кореляційний зв'язок має статистичну значимість при P= 0,95, 0,99 або 0,999

В групі середньоліноленових зразків відсутня кореляція між масою 1000 насінин та вмістом жирних кислот. Тоді як у низько- і високоліноленових, вона негативно корелює з C_{18:1} ($r_1 = -0,49$ при $p_1 = 0,0014$, $r_2 = -0,42$ при $p_2 = 0,0002$). Маса 1000 насінин позитивно корелює з вмістом C_{18:2} у харчових зразків ($r = 0,43$ при $p = 0,005$), та негативно – у технічних зразків, зі значенням коефіцієнта варіації $r = -0,56$ (при $p = 0,0001$). Виявлена позитивна кореляція між масою 1000 насінин та вмістом ліноленової кислоти ($r = 0,64$ при $p = 0,0001$). Тобто, на відміну від інших груп, у високоліноленових зразків специфічним є факт прямопропорційної залежності маси 1000 насінин від кількості ліноленової кислоти.

Саме такий підхід до вивчення матеріалу льону дозволить нам створювати високопродуктивні сорти з різним якісним складом олії багатопільового призначення.

Таким чином встановлення кореляцій між ознаками дозволить визначити максимальну ефективність відбору при створенні нових сортів, так як селекція на покращення одного ознака супроводжується зміною інших.

Висновки. Отримані нами дані свідчать про велике генетичне різноманіття досліджуваних селекційних ліній льону за жирнокислотним складом олії. Встановлено, що у загальній сукупності досліджуваних зразків найменшу варіативність має вміст олеїнової кислоти, а найбільшу – вміст лінолевої та ліноленової кислот.

У результаті досліджень виявлено специфічність кореляційних зв'язків між жирними кислотами, масою 1000 насінин та олійністю у сформованих за вмістом ліноленової кислоти групах. Найтісніший кореляційний зв'язок (високий рівень за шкалою Чеддока) спостерігається у від'ємній залежності між вмістом лінолевої та ліноленової кислот технічних зразків. Тісний негативний зв'язок

характерний для даних кислот і у середньоліноленовій групі. Технічні зразки мають прямопропорційну залежність маси 1000 насінин від ліноленової кислоти.

Зразки, що були виділені можна використовувати як джерела низького, середнього та високого вмісту ліноленової кислоти в селекції сортів із заданими характеристиками олії.

Література

1. Брач Н. Б. Перспективы создания сортов масличного льна специализированного назначения / Н. Б. Брач, М., Е. А. Пороховинова, Т. В. Шеленга // Аграрный вестник Юго-Востока. Вып.1-2(14-15) – Саратов, 2016. – С. 50 – 52.
2. Овчаченко Е. Украинский рынок льна: тенденции и перспективы, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/111957#.U1zwU6hS4ds>.
3. Ипатова О. М. Биологическая активность льняного масла как источника омега-3 альфа-линоленовой кислоты / О.М. Ипатова, Н.Н. Прозоровская, В.С. Баранова, Д.А. Гусева // Биомедицинская химия, Т. 50 №12004, с.25-27.
4. Пороховинова Е.А., Шеленга Т.В., Косых Л.А., и др. Биохимическое разнообразие льна по жирнокислотному составу семян в генетической коллекции ВИР и влияние условий среды на его проявление/ Е. А. Пороховинова, Т. В. Шеленга, Л. А. Косых // Генетические основы эволюции экосистем. — 2016. —Т. 14. №1 — С. 13–26.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. - С.141-144.
6. Товстановская Т.Г. Корреляционные взаимосвязи между биохимическими показателями масла и продолжительностью основных фаз вегетации коллекционных образцов льна масличного // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. Вып. 1 (157–158), 2014.
7. Кисельов В. О. та ін. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт). Навчальний посібник / О. В. Кисельов, І. Б. Комарова, Д. О. Мілько, Р. О. Бакаржигев, за заг. Редакцією Д. О. Мілька; Інститут механізації тваринництва НААН. – Запоріжжя: СТАТУС, 2017. – С.494-495.

ОЦЕНКА СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО ПО БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ МАСЛА И МАССЕ 1000 СЕМЯН

А.А. Максимчук, Ю.А. Махно, В.И. Левченко

Институт масличных культур НААН Украины

Установлено, что в общей совокупности исследуемых селекционных линий наименьшую вариативность имеет содержание олеиновой кислоты (V= 9,02%), а наибольшую - содержание линолевой (V= 41, 96%) и линоленовой кислот (V= 64,96%). Если данную совокупность разделить по содержанию С18:3 на 3 группы: низко- (пищевые), средне- (медицинские) и высоколиноленовые (технические)

образцы, то варьирование изучаемых признаков значительно меняется.

В результате исследований, выявлена специфичность корреляционных связей жирных кислот, массы 1000 семян и масличности в данных группах. Тесная корреляционная связь (высокий уровень по шкале Чеддока) наблюдается в зависимости содержания линолевой и линоленовой кислот у технических образцов, $r = -0,93$ (при $p = 0,0001$). Тесная связь характерна между содержанием линолевой и линоленовой кислот в среднелиноленовой группе ($r = -0,88$ при $p = 0,0001$). Также, специфическим моментом является прямопропорциональная зависимость массы 1000 семян от содержания линоленовой кислоты у технических образцов, $r = 0,64$ (при $p = 0,0001$).

Ключевые слова: лен масличный, селекционная линия, корреляционная связь, жирная кислота, масса 1000 семян.

EVALUATION OF THE SELECTION LINES OF FLAXSEED ON THE BIOCHEMICAL OIL PARAMETERS AND THE WEIGHT OF 1000 SEEDS

A. A. Maksimchuk, Yu. A. Makhno, V. I. Levchenko

Institute of Oilseed Crops NAAS

Today, in selection are priority areas to conduct breeding work on formation of flax varieties for food direction with a relatively large mass of seeds, and breeding the interesting varieties of technical and medical areas.

The aim of our work is analysis of the chosen material on fatty acid composition and weight of 1000 seeds (WTS), identifying correlations between these parameters for an information database, and inclusion of individual samples to the breeding process.

As material for researches were seeds of 132 lines of *linum usitatissimum* (the F₄ hybrid material (hybrid combination – Solnechniy × M45) from the collection of the laboratory of flax selection by Institute of oilseed crops NAAS). It was shown that hybrids have established a considerable variation in the content of linolenic acid.

Therefore, all samples were divided into 3 groups: low- (10% ω-3, food), medium - (11-30 % ω-3, medical) and high-linolenic (31% ω-3, technical designs).

If to characterize low-linolenic group with using the scale of Cheddok we can find 5 varying negative correlations:

- a moderate, C_{18:3} with C_{18:2} ($r = -0,34$ $p = 0,031$), C_{18:1} with oil content ($r = -0,37$ $p = 0,019$), C_{18:1} with C_{18:3} ($r = -0,41$ $p = 0,0009$), WTS with C_{18:1} ($r = -0,49$ $p = 0,0014$);

- a noticeable, C_{18:1} with C_{18:2} ($r = -0,64$ $p = 0,0001$).

And 2, positive correlation:

- a moderate, WTS C_{18:2} ($r = 0,43$ at $p = 0.005$);

- a noticeable WTS with oil content ($r = 0,59$ at $p = 0.0001$).

If we looking at medium-linolenic group, we can find 2 negative correlations:

- a noticeable, C_{18:1} with C_{18:2} ($r = -0,69$ $p = 0,0001$);

- a close, C_{18:3} with C_{18:2} ($r = -0,88$ $p = 0,0001$).

And 2 positive correlation of moderate strength:

- C_{18:1} with C_{18:3} ($r = 0,44$ at $p = 0,0050$);

- WTS with oil content ($r = 0.45$ with $p = 0,047$).

High-linolenic group is characterized by the 4 negative correlations:

- a moderate: C_{18:1} with WTS (r = -0,42 p = 0,0002), C_{18:1} with C_{18:3} (r = -0,49 p = 0,0001);
- a noticeable MWS with C_{18:2} (r = -0,56 p = 0,0001);
- a high, C_{18:3} with C_{18:2} (r = -0,93 at p = 0.0001).

And two positive:

- a weak (r = 0.28 at p = 0,018);
- a significant (r = 0.64 at p = 0.0001).

The result of our research can be used as an information base for future breeding work on formation of flax varieties for food, medicine and technical areas.

Key words: flax, selection line, correlation, fatty acid, 1000 seed weight.

References

1. Brach N. B. Perspektivy sozdaniya sortov maslichnogo lna spetsializirovannogo naznacheniya / N. B. Brach. M. E. A. Porokhovinova. T. V. Shelenga // Agrarnyy vestnik Yugo-Vostoka. Vyp.1-2(14-15) – Saratov. 2016. – S. 50 – 52.
2. Ovchachenko E. Ukrainskiy rynek lna: tendentsii i perspektivy. [Elektronniy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/111957#.U1zwU6hS4ds>.
3. Ipatova O. M. Biologicheskaya aktivnost lnyanogo masla kak istochnika omega-3 alfa-linolenovoy kisloty / O.M. Ipatova. N.N. Prozorovskaya. V.S Baranova. D.A. Guseva // Biomeditsinskaya khimiya. T. 50 №12004. s.25-27
4. Porokhovinova E.A. Shelenga T.V.. Kosykh L.A. i dr. Biokhimicheskoye raznoobrazie lna po zhirnokislomnomu sostavu semyan v geneticheskoy kolleksii VIR i vliyaniye usloviy sredi na ego proyavleniye/ E. A. Porokhovinova. T. V. Shelenga. L. A. Kosykh // Geneticheskiye osnovy evolyutsii ekosistem. — 2016. —T. 14. №1 — S. 13–26.
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat. 1985. - S.141-144.
6. Tovstanovskaya T.G. Korrelyatsionnyye vzaimosvyazi mezhdru biokhimicheskimi pokazatelyami masla i prodolzhitelnostyu osnovnykh faz vegetatsii kolleksionnykh obraztsov lna maslichnogo // Nauchno-tekhnicheskyy byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur. Vyp. 1 (157–158). 2014
7. Kiselov V. O. ta in. Statistichna obrobka i oformlennya rezultativ eksperimentalnykh doslidzhen (iz dosvidu napisannya disertatsiynikh robit). Navchalniy posibnik / O. V. Kiselov. I. B. Komarova. D. O. Milko. R. O. Bakarzhiev. za zag. Redaktsiye D. O. Milka; Institut mekhanizatsii tvarinnitstva NAAN. – Zaporizhzhya: STATUS. 2017. – S.494-495