

the sources of cob biometric traits that are valuable for breeding. It is proposed to use further self – pollinated lines of sweet corn in breeding programs to create highly productive hybrids of sugar and silage corn.

УДК 633.854.54:631.524.01:57.033:655.345.4

РОЛЬ ГЕНОТИПА И УСЛОВИЙ СРЕДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВА МАСЛА У ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ И СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Е.В. Иванова, Е.Л. Андроник, кандидаты с.-х. наук

РУП «Институт льна», а.г. Устье

(Дата поступления статьи в редакцию 16.04.2024)

Рецензент: Власов А.Г., кандидат с.-х. наук

Аннотация. В полевых опытах 2021–2023 гг. изучены 10 отечественных сортов льна масличного и 7 линий селекционного сортоиспытания, дана их характеристика по содержанию сырого протеина, масличности и жирнокислотному составу. У изученных сортов и линий установлена зависимость содержания масла, стеариновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот от генотипа, а содержания сырого протеина – от условий среды. Выделены источники высокого и стабильного содержания масла Славянин (+1,7 абс. % к контролю), Визирь (+1,7 абс. %), Илим (+1,7 абс. %), Альянс (+ 1,8 абс. %), Фокус (+2,2 абс. %), Бонус (+3,1 абс. %) и сырого протеина – СИ 2 (24,95%±1,64%), СИ 4 (24,45%±1,98%), СИ 5 (25,68%±2,08%) и СИ 7 (24,86%±1,88%), которые являются ценным материалом для создания конкурентоспособных отечественных сортов.

Введение

У современных сортов льна масличность достигает 50 % и более [1], и за последние десятилетия она увеличилась примерно на 10 %. Несмотря на такие успехи, потенциальная возможность (60 %) увеличения этого показателя в результате селекции еще не достигнута. Поэтому одним из основных направлений селекции льна масличного в Беларуси является создание сортов с высоким содержанием и качеством масла.

Решающее значение в направлении использования льняного масла имеет его химический состав. Основные его свойства определяет содержание сырого протеина и количественное соотношение жирных кислот (для большинства перспективных направлений использования масла льна желательное низкое содержание насыщенных) [2].

Известно, что изменение любого свойства организма неизбежно влечет за собой его общую перестройку и, прежде всего, изменение тех признаков, которые находились в определенной и наиболее тесной взаимосвязи с изменившимся свойством. Практическое значение в селекции сопряженности признаков за-

ключается в возможности усиливать действие отбора по главному качеству одновременным улучшением и некоторых других признаков, если они находятся с главным в положительной взаимозависимости [3, с. 40–66]. Поэтому изучение характера связей содержания масла и сырого протеина в семенах сортов и селекционных линий льна масличного, варьирования и установление влияния генотипа и условий выращивания на эти показатели позволит более целенаправленно проводить селекцию и создавать перспективные отечественные сорта с улучшенными биохимическими характеристиками семян, что и определило актуальность исследований.

Методика проведения исследований

Исследования проводили в севообороте лаборатории селекции льна масличного РУП «Институт льна» в 2021–2023 гг. в рамках задания ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 гг., подпрограмма «Земледелие и селекция». Изучали 7 селекционных линий селекционного сортоиспытания (СИ) и 10 сортов льна масличного демонстрационного питомника (ДП), показатели содержания масла и сырого протеина, состав жирных кислот, варьирование и корреляцию признаков.

При проведении исследований руководствовались методическими указаниями по селекции льна [4] и методикой полевого опыта Б.А. Доспехова [5]. Долю влияния изучаемого фактора на результирующий признак определяли по Н. А. Плохинскому [6, с 78].

Обработку почвы и внесение удобрений проводили согласно отраслевому регламенту по возделыванию льна масличного [7, с. 400]. Почва опытных участков под закладку питомников дерново-подзолистая, развивающаяся на среднем лесовидном суглинке, подстилаемом с глубины ниже 1 м мореным суглинком, предшественник – яровые зерновые. Агрохимические показатели почвенных участков по годам исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Агрохимические показатели почвенных участков под посев питомников масличного льна

Показатель	2021 г.	2022 г.	2023 г.
pH (KCl)	5,5	5,3	5,2
Подвижные фосфаты (P_2O_5), мг/кг	210	190	195
Обменный калий (K_2O), мг/кг	186	206	259
Содержание гумуса, %	1,6	1,6	1,6

Посев сортов ДП проводили вручную из расчета 80 семян на погонный метр, учетная площадь делянки – 1 м^2 , повторность – 3-х кратная. Норма высева линий селекционного сортоиспытания (СИ) расчетная, посев – сеялкой точного высева Wintersteiger TRM с междурядьями 10 см, повторность – 4-х кратная, учетная площадь – $20,0\text{ м}^2$. Уход за посевами заключался в обработке против льняной блохи при достижении порога вредоносности, прополке однолетних двудольных и злаковых сорняков, при необходимости – опрыскивании

против болезней и регуляторами роста растений. Уборку образцов питомников осуществляли вручную при наступлении полной спелости. После уборки и обмолаота снопов проводили очистку семян.

Определяли продуктивность образцов и линий, содержание масла в семенах, продолжительность вегетационного периода, анализировали высоту растений, техническую длину, количество коробочек на растении, количество семян на растении, количество семян в коробочке, вес семян с растения и массу 1000 семян.

Жирнокислотный состав масла и содержание сырого протеина определяли в Центральной республиканской лаборатории по определению качества новых сортов растений (ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений»). Для статистической обработки использовали пакеты программ Statistica 10 и Microsoft Excel 2016.

Результаты исследований и их обсуждение

Оптимальные условия для накопления масла в семенах у линий селекционного сортоиспытания и отечественных сортов льна масличного складывались в 2022 г. и 2023 г. (рисунок 1), а для накопления сырого протеина – в 2021 г. и 2023 г. Это в некоторой мере обусловлено достоверной отрицательной корреляционной зависимостью содержания масла и сырого протеина в 2021 г. и 2022 г. у генотипов ДП ($r=-0,24\dots r=-0,60$) и линий СИ ($r=-0,34\dots r=-0,78$) соответственно. Лишь в 2023 г. (повышенная температура воздуха и дефицит увлажнения в период всходы – цветение) корреляции этих двух признаков разнились по питомникам. У линий в СИ она оставалась отрицательной ($r=-0,39$), а у генотипов ДП отсутствовала ($r=-0,00\dots$).

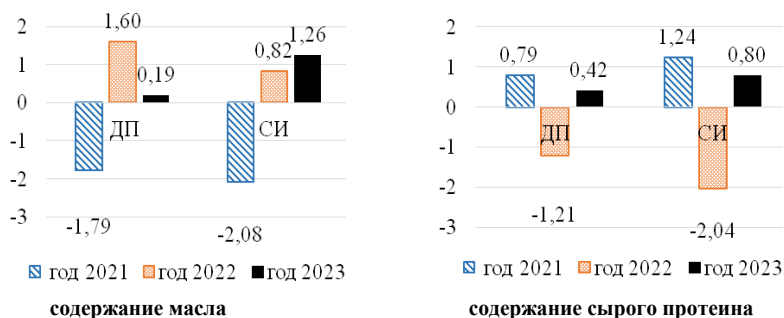


Рисунок 1. Характеристика условий испытания генотипов льна масличного в демонстрационном питомнике и питомнике сортоиспытания по индексу среды

Содержание масла и сырого протеина у линий СИ за период исследований варьировали в пределах $38,85\% \pm 1,56\%$ – $40,95\% \pm 1,48\%$ и $24,17\% \pm 2,23\%$ – $25,68\% \pm 2,08\%$ соответственно, у контроля – $40,20\% \pm 2,35\%$ и $23,65\% \pm 1,47\%$ (таблица 2). По содержанию масла за период изучения все линии питомника СИ

за исключением СИ 5 оказались на уровне контрольного сорта. По содержанию сырого протеина достоверно превосходили сорт *Салют* линии СИ 2, СИ 3, СИ 5 и СИ 7.

Таблица 2. Средние значения содержания масла, сырого протеина и коэффициенты вариации генотипов льна масличного (среднее за 2021-2023 гг.)

Генотип	Содержание масла		Содержание сырого протеина	
	$x_{cp} \pm \sigma$, %	V, %	$x_{cp} \pm \sigma$, %	V, %
Селекционное сортоиспытание				
СИ 1 (контроль)	40,20±2,35	5,85	23,65±1,47	6,24
СИ 2	40,80±2,52	6,19	24,95±1,64	6,59
СИ 3	39,30±0,91	2,31	24,38±2,26	9,29
СИ 4	39,95±1,26	3,16	24,45±1,98	8,12
СИ 5	38,85±1,56	4,02	25,68±2,08	8,10
СИ 6	40,95±1,48	3,61	24,17±2,23	9,24
СИ 7	39,58±3,69	9,33	24,86±1,88	7,54
НСР ₀₅	1,21		0,73	
Демонстрационный питомник				
Салют (контроль)	40,40±2,51	6,22	23,65±1,48	6,24
Опус	39,47±1,46	3,69	23,31±1,23	5,26
Илим	42,10±1,05	2,50	22,70±1,47	6,49
Фокус	42,57±2,72	6,39	22,64±1,12	4,93
Брестский	38,27±0,51	1,34	23,65±1,71	7,24
Дар	40,03±1,60	4,01	24,54±1,43	5,84
Визирь	41,73±1,46	3,49	24,52±0,81	3,30
Альянс	42,17±1,92	4,56	22,70±1,38	6,07
Славянин	41,70±1,93	4,62	23,42±1,25	5,35
Бонус	43,53±3,17	7,30	23,03±1,50	6,53
НСР ₀₅	0,98		1,26	

Содержание масла у изучаемого набора сортов льна масличного отечественной селекции варьировало от 38,27 %±0,51 % до 43,53 %±3,17 % (у контроля в пределах 40,40 %±2,51 %). По этому показателю достоверно превзошли контроль сорта *Славянин*, *Визирь* (+1,3 абс. %), *Илим* (+1,7 абс. %), *Альянс* (+ 1,8 абс. %), *Фокус* (+2,2 абс. %) и *Бонус* (+3,1 абс. %). Содержание сырого протеина у изучаемого набора сортов по годам исследований варьировало от 22,64 %±1,12 % до 24,54 %±1,43 %, у контроля – в пределах 23,65 %±1,48 %. Содержание белка у всех изучаемых сортов льна масличного находились в пределах ошибки опыта.

Коэффициенты вариации у изучаемых образцов льна масличного в питомниках по содержанию масла и сырого протеина не превышали 10 %, что свидетельствует о незначительной изменчивости этих признаков у исследуемого набора образцов.

Достоверные отличия по содержанию линолевой кислоты и α-линоленовой (АЛК), имеющих отрицательную корреляционную зависимость ($r = -0,71$), получены у сортов ДП, что обусловлено включением в состав изучаемых геноти-

пов сорта *Дар* с измененным жирнокислотным составом (рисунок 2). По содержанию жирных кислот линии СИ не отличались, что свидетельствует о необходимости использования при гибридизации более контрастного по жирнокислотному составу исходного материала.

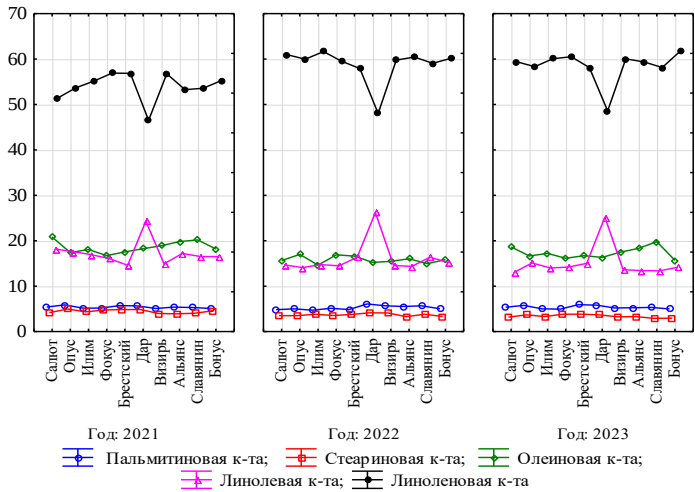


Рисунок 2. Содержание жирных кислот у генотипов ДП (2021-2023 гг.)

Среди сортов демонстрационного питомника и линий сортоиспытания выделено значительное количество генотипов, перспективных для селекции в направлении снижения содержания насыщенных жирных кислот. Суммарной долей пальмитиновой и олеиновой кислот менее 10 % за годы исследований обладали сорта *Салют* (8,82 %), *Илим* (8,68 %), *Альянс* (8,89 %), *Бонус* (8,66 %) и линии СИ-1 (8,47 %), СИ-2 (8,98 %), СИ-7 (8,98 %), СИ-4 (8,36 %), СИ-5 (8,87 %).

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ данного набора сортов и линий льна масличного позволил установить, что содержание жирных кислот и масла зависели в основном от генотипа (таблица 3).

Таблица 3. Доля влияния генотипа и среды на химический состав семян образцов питомников по итогам дисперсионного анализа , 2021-2023 гг.

Компонент	Доля влияния, %		
	генотип	условия среды	случайное варьирование
1	2	3	4
Демонстрационный питомник			
Масличность	46,88*	28,84	24,28
Сырой протеин	26,25	44,56*	29,19
Пальмитиновая кислота	52,00*	45,37	2,63
Стеариновая кислота	64,13*	19,74*	16,13

Продолжение таблицы 3			
1	2	3	4
Олеиновая кислота	51,26*	29,07	19,67
Линолевая кислота	47,76*	45,04*	7,20
Линоленовая кислота	52,65	24,68	22,67
Селекционное сортоиспытание			
Масличность	60,60*	25,35	14,05
Сырой протеин	11,04	72,59*	16,37
Пальмитиновая кислота	36,46	51,32*	13,22
Стеариновая кислота	56,70	14,66	28,64
Олеиновая кислота	53,91	30,42	15,67
Линолевая кислота	46,58	35,01	18,41
Линоленовая кислота	73,54*	16,72	9,74

Примечание: * – значимо на 95% уровне

Установлено, что в селекционном сортоиспытании влияние условий года на содержание пальмитиновой кислоты составило 51,32 %. Во многих вариантах отмечена высокая доля случайного варьирования, из-за которой в отдельных случаях роль генотипа оказалась недостоверной. Содержание сырого протеина в семенах как сортов ДП, так и линий СИ, было подвержено влиянию условий среды на 44,56–72,59 %.

Большинство выявленных достоверных корреляционных взаимосвязей жирных кислот, отмеченных у образцов демонстрационного питомника, отмечена и у линий СИ. Так, например, содержание масла отрицательно коррелировало с содержанием стеариновой ($r=-0,61$ и $r=-0,56$ у образцов ДП и СИ соответственно) и линолевой ($r=-0,54$ и $r=-0,50$ соответственно) кислот. Положительная корреляция средней силы отмечена между масличностью и линоленовой кислотой как у образцов ДП ($r=0,62$), так и СИ ($r=0,58$).

В результате исследований у генотипов ДП установлены достоверные корреляционные взаимосвязи масличности с технической длиной ($r=-0,37$) и массой 1000 семян ($r=0,51$). Сопряженность этих же признаков у линий СИ была также достоверна, но выражена сильнее (коэффициенты корреляции масличности с технической длиной и массой 1000 семян в этом случае составили $r=-0,48$ и $r=0,57$ соответственно).

Достоверной оказалась корреляционная связь содержания сырого протеина с показателями продуктивности. Так, с увеличением количества коробочек на растении и массы семян с растения увеличивалось содержание белка как у генотипов СИ ($r=0,58$ и $r=0,59$ соответственно), так и ДП ($r=0,45$ и $r=0,59$). Положительная прямая корреляция установлена между содержанием сырого протеина и количеством семян с растения ($r=0,56$ и $r=0,55$ у генотипов ДП и СИ соответственно).

Более высокими были взаимосвязи жирных кислот с селекционными признаками. Доля олеиновой кислоты снижалась с повышением продуктивности как линий СИ ($r=-0,77$), так и сортов ДП ($r=-0,54$). Увеличение периода вегетации и массы 1000 семян снижали количество стеариновой кислоты у генотипов ДП ($r=-0,64$ и $r=-0,69$ соответственно) и СИ ($r=-0,70$ и $r=-0,55$). Доля ли-

ноленовой кислоты у изучаемых линий СИ повышалась с увеличением урожайности ($r=0,67$) и массы 1000 семян ($r=0,68$). У сортов ДП корреляция линоленовой кислоты с продуктивностью и массой 1000 семян была слабее ($r=0,63$ и $r=0,52$ соответственно). Отрицательную корреляцию с массой 1000 семян у изучаемых генотипов имело содержание линоленовой кислоты ($r= -0,57$ и $r= -0,54$ в ДП и СИ соответственно).

Кроме вышеперечисленных корреляционных взаимосвязей, у сортов ДП были отмечены достоверные сопряжения между содержанием белка и продуктивностью ($r= -0,61$). Содержание линоленовой кислоты отрицательно коррелировало с продолжительностью периода вегетации ($r= -0,45$) и количеством семян в коробочке ($r= -0,47$). У сортов льна масличного выявлена положительная корреляция средней степени олеиновой кислоты с количеством семян с растения ($r=0,48$), количеством коробочек на растении ($r=0,56$) и массой семян с растения ($r=0,45$).

Отличительной чертой линий СИ были достоверные корреляционные взаимосвязи между содержанием стеариновой кислоты и высотой растений ($r=0,52$), масличностью и продолжительностью периода вегетации ($r=0,80$), между содержанием линоленовой кислоты и урожайностью семян ($r=0,80$). Доля олеиновой кислоты зависела у линий питомника от технической длины ($r=0,46$), продолжительности периода вегетации ($r= -0,48$) и массы 1000 семян ($r= -0,54$), а содержание линоленовой кислоты положительно коррелировало с продолжительностью вегетации ($r=0,54$) и технической длиной ($r= -0,50$).

Выводы

Определены биохимические показатели качества масла в семенах отечественных сортов льна масличного и селекционных линий на заключительном этапе селекции в течение трех последовательных периодов вегетации и проведена оценка параметров их варьирования. Установлена необходимость использования при создании отечественных сортов более контрастного по жирнокислотному составу исходного материала.

У линий сортоиспытания и отечественных сортов доля влияния генотипа на содержание насыщенных жирных кислот составляла 36,46–56,70 % и 52,00–64,13 % соответственно. Доля влияния генотипа на содержание олеиновой кислоты у линий и сортов составляло соответственно 53,91 % и 51,26 %, на содержание линоленовой – 46,58 % и 47,76 % и линоленовой – 73,54 % и 52,65 %. Масличность зависела от генотипа у линий СИ на 46,88 %, а у отечественных сортов – на 60,60 %. Содержание сырого протеина в маслосеменах было больше подвержено влиянию условий среды (доля влияния фактора у линий льна масличного в сортоиспытании – 72,59 %, у отечественных сортов – 44,56 %).

Выделены источники высокого и стабильного содержания масла – *Славянин* (+1,7 абс. % к контролю), *Визирь* (+1,7 абс. %), *Илим* (+1,7 абс. %), *Альянс* (+1,8 абс. %), *Фокус* (+2,2 абс. %), *Бонус* (+3,1 абс. %) и сырого протеина – СИ 2 (24,95 % $\pm$ 1,64 %), СИ 4 (24,45 % $\pm$ 1,98 %), СИ 5 (25,68 % $\pm$ 2,08 %) и СИ 7

(24,86 % $\pm$ 1,88 %), которые являются ценным исходным и селекционным материалом для создания конкурентоспособных отечественных сортов.

Установлена возможность увеличения содержания масла у генотипов отечественной селекции путем отбора низкорослых растений (уменьшение технической длины) с высокой массой 1000 семян; а также увеличения содержания сырого протеина путем отбора высокопродуктивных растений (с высоким количеством коробочек и семян на растении, а также числом семян с растения).

Литература

1. Брач, Н.Б. Инновационные возможности селекции масличного льна, ориентированной на различный состав масла / Н.Б. Брач, Е.А. Пороховинова, Т.В. Шеленга // Достижения науки и техники АПК, 2016. – Т.30. – №6. – С. 5-8.
2. Duran, D. The Pharmacological Evaluation of Flax Seed Oil // Journal of Current Medical Research and Opinion, 2020. – Vol. 3(05) – p. 459–464.
3. Поздняков, А.А. Теория корреляционной системы как основа эпигенетической теории эволюции / А.А. Поздняков // Русский орнитологический журнал. 2019. – Т. 28. Экспресс-выпуск 1816. – С. 4051–4077.
4. Методические указания по селекции льна / под ред. В. Ф. Козловской. – Москва, 2004. – 43 с.
5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Биометрия: учебно-методическое пособие по дисциплине «Биометрия» для магистрантов по специальности 1-74 80 04 «Ветеринария» / Т.В. Павлова, В.Ф. Соболева, Т.В. Видасова. – Витебск: ВГАВМ, 2022. – 80 с.
7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, технических и кормовых растений: сборник отраслевых регламентов, изд. 2-е, доп. и перераб. / Руковод. разработки: Ф.И. Привалов [и др.]; РУП «НПЦ НАН Б по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – 505 с.

THE ROLE OF GENOTYPES AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE FORMATION OF INDICES OF OIL CONTENT AND QUALITY IN DOMESTIC VARIETIES AND BREEDING LINES OF OILSEED FLAX

E.V. Ivanova, E.L. Andronik

In the field experiments of 2021-2023, 10 domestic varieties of oilseed flax and 7 lines of breeding variety trials were studied. Their characteristics in terms of crude protein content, oil content and fatty acid composition were given. In the studied varieties and lines, the dependence of the content of oil, stearic, oleic, linoleic and linolenic acids on the genotypes was established. The content of crude protein depended on environmental conditions. The sources of high and stable oil content (Slavyanin (+1.7 abs. % to the control), Vizir (+1.7 abs. %), Ilim (+1.7 abs. %), Aliance (+1.8 abs. %), Fokus (+2.2 abs. %), Bonus (+3.1 abs. %)) and crude protein (SI 2 (24.95% $\pm$ 1.64%), SI 4 (24.45% $\pm$ 1.98%), SI 5 (25.68% $\pm$ 2.08%) and SI 7 (24.86% $\pm$ 1.88%)) were isolated. They are valuable material for the development of competitive domestic varieties.