

© С. И. Вакула<sup>1</sup>, Л. В. Корень<sup>1</sup>,  
О. С. Игнатовец<sup>2</sup>, В. В. Титок<sup>1</sup>,  
Л. В. Хотылева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт генетики и цитологии  
НАН Беларуси, Минск

<sup>2</sup> Белорусский государственный  
технологический университет,  
Минск

✿ Показаны существенные различия в реакции сортов льна масличного разного генетического и географического происхождения на комплекс экологических факторов. Установлено, что изменчивость признаков продуктивности в большинстве случаев определяется генотипом и его взаимодействием с условиями выращивания. На накопление масла в семенах и его качественный состав в равной степени оказывают влияние генотип и условия среды. На основании полученных данных из коллекции льна масличного выделены наиболее экологически стабильные генотипы, обладающие устойчиво высокой семенной продуктивностью в сочетании с высоким содержанием и качеством масла.

✿ **Ключевые слова:** лен масличный; продуктивность; содержание масла; жирные кислоты; экологические условия.

## ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА СОРТОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО (*LINUM USITATISSIMUM* L.)

### ВВЕДЕНИЕ

Лен масличный (*Linum usitatissimum* L. *subs usitatissimum* Kulpa et Dannert) — одна из перспективных сельскохозяйственных культур, семена которой широко используются в продовольственных, технических и медицинских целях. Уникальность льняного масла заключается в высоком содержании полиненасыщенной  $\alpha$ -линоленовой кислоты, которая входит в состав практически всех клеточных мембран, является незаменимой жирной кислотой в рационе питания человека, участвует в регенерации сердечно-сосудистой системы, в росте и развитии мозга (Толкачев, Жученко, 2000; Oomach, 2001; Diederichsen, 2001). Высокое содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты способствует быстрому высыханию красок, антикоррозийных покрытий, линолеума, получаемых на основе льняного масла. В то же время для производственного получения пищевого масла необходимо низкое содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты (до 5%), что уменьшает степень ее окисления и прогоркания при хранении.

Посевы масличного льна в мире занимают значительные площади — более 7 млн. га. Основным производителем является Канада, где посевные площади льна масличного составляют от 700 до 900 тыс. га, что обеспечивает сбор 600–1100 тыс. тонн семян в год (Ulrich, 2007). В Республике Беларусь усилия селекционеров направлены на создание новых сортов этой культуры, которые должны обладать высокими урожайностью и выходом масла с оптимальным (как для промышленного, так и пищевого использования) жирнокислотным составом. Для льна масличного выявлена значительная вариабельность признаков семенной продуктивности (количество и масса семян с растения, масса 1000 семян) и биохимического состава семян, однако сведения о реализации генотипического потенциала культуры ограничены. Так, описано влияние погодных условия и географических факторов на содержание и качество масла: в зависимости от условий среды колебания масличности сорта могут составлять 36,4–52,0%, резкие колебания температуры в период созревания вызывают относительно большее накопление ненасыщенных жирных кислот (Щербаков, Лобанов, 2003; Diederichsen, Raney, 2006; Vakula et al, 2009).

В связи с этим, представляется важным проанализировать коллекцию образцов льна масличного в различающихся экологических условиях по признакам продуктивности и качеству семян и выявить особенности формирования этих показателей в погодно-климатических условиях Беларуси с целью выделения экологически стабильных генотипов для включения в селекционные программы по созданию новых сортов.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служила коллекция 26 сортов льна масличного (*L. usitatissimum* L., *convvar. humile* Mill.) различного геогра-

Поступила в редакцию 06.08.2009  
Принята к публикации 09.10.2009

Таблица 1

Погодные условия в годы испытания сортов льна масличного (данные Белорусской Республиканской гидрометеостанции, г. Минск)

Месяц	Декада месяца	2005				осадки, мм	2006				осадки, мм	2007			
		t °C			ночь		t °C			ночь		t °C			ночь
		ночь	день	среднее			день	среднее	день			среднее	среднее		
май	1	5,8	11,8	8,8	128	7,8	18,3	13,0	73	3,4	10,7	7,1	72		
	2	8,0	13,0	10,5		8,9	16,1	12,5		9,2	17,9	13,6			
	3	12,9	22,2	17,6		7,7	14,6	11,2		16,5	26,9	21,7			
июнь	1	10,6	17,0	13,8	82	8,9	15,6	12,3	59	13,5	23,7	18,6	49		
	2	11,6	20,5	16,1		12,3	22,3	17,3		15,6	25,2	20,4			
	3	11,8	20,3	16,1		16,7	24,4	20,6		12,7	19,3	16,0			
июль	1	13,1	23,4	18,3	47	14,9	26,8	20,9	76	13,0	19,2	16,1	118		
	2	15,9	24,8	20,4		15,7	24,1	19,9		14,4	23,2	18,8			
	3	14,8	23,5	19,1		15,1	24,0	19,6		14,0	21,3	17,6			
август	1	15,6	20,4	18,0	170	15,5	20,7	18,1	255	14,3	24,0	19,2	24		
	2	12,4	20,5	16,5		15,2	22,9	19,1		16,7	27,1	21,9			
	3	13,1	22,7	17,9		13,8	18,6	16,2		15,7	23,6	19,7			

фического происхождения: Antares, Mivast, Atalante (Франция); Blue Chip (Венгрия); Glenelg (Австралия); Deep Pink (Нидерланды); Linota, SU-1-10, Omega, (США); К-5827 (Уругвай); Gold Flax, McGregor, Somme, L-6582, K-6570, Flanders (Канада); Raluca (Румыния), Sandra (Чехия); Cian (Польша); К-2398 (Китай); Воронежский, К-5627, К-5621, Небесный, (Россия); ЛМ-1, ЛМ-2 (Беларусь). В качестве стандартов использовали сорта Ручеек (Россия) и Ligina (Германия). Коллекция была получена из Всероссийского НИИ льна. Растения выращивались в 2005–2007 гг. на опытных полях Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Посев проводили на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>, норма высева — 400–450 шт/м<sup>2</sup> (65 семян на погонный метр).

Годы изучения существенно различались по погодным условиям (табл. 1). Наиболее теплым и засушливым в период вегетативного роста растений льна (июнь месяц) оказался 2007 год. В период налива и созревания семян (июль–август) по среднесуточным температурам годы испытания были схожими. В то же время по количеству выпавших осадков наблюдались резкие различия. Так, наиболее засушливым был июль месяц в 2005 году (выпало всего 47 мм осадков при норме 90 мм), количество выпавших осадков в июле в последующие годы было близким к норме. Наименьшее количество осадков в августе (период созревания) выпало в 2007 году (24 мм при норме 81 мм). Предыдущие 2 года испытания характеризовались большим количеством осадков в этот период (170 и 255 мм соответственно в

2005 и 2006 гг.). Следует отметить, что в 2005 году наблюдались более низкие ночные температуры во второй декаде августа (12,4 против 15,2 °C в 2006 г.) и резкие колебания между ночными и дневными температурами (13,1–22,7 °C) в третьей декаде.

При уборке учитывали признаки продуктивности: количество коробочек, семян и их массу, а также массу 1000 семян у 25 растений каждого образца.

Определение содержания масла в семенах проводили экстракционным методом по Рушковскому (Петров, 1978), в аппарате Сокслета смесью гексан:изопранол (1:1) в течение 18–24 часов (АОАС, 1984).

Экстракцию и определение жирных кислот осуществляли по модифицированному методу Welch (Лайковская и др., 2004) на газожидкостном хроматографе (Hewlett-Packard 4890D, колонка HP-Innowax 0,32 мм × 30 м, носитель 0,5 мкм). Индивидуальные жирные кислоты идентифицировали по времени их удержания при разделении стандартных смесей (Supelco Parc, USA) и оценивали в процентах от весового суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту.

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Statistica 7.0. (StatSoft, США), MS Excel 2007 (Microsoft, США). Оценку различий между средними значениями признаков производили согласно методу Дж. У. Тьюки путем определения разности D, которая существенна на 5 %-м уровне. Величину D определяли на основе дисперсионного анализа путем умножения  $S_{-x}$  на множитель Q, который связан с числом вариантов опыта и числом степеней свободы для

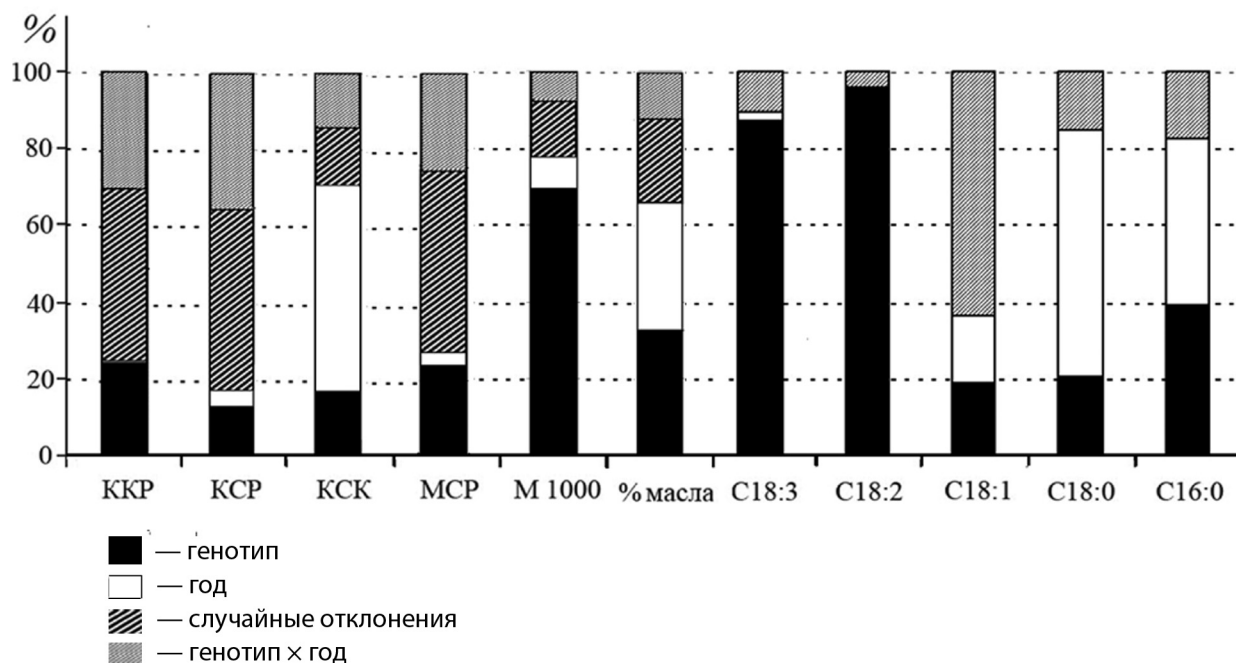


Рис. 1. Доля влияния факторов в общей изменчивости признаков льна масличного (%).

ККР — количество коробочек на растение; КСР — количество семян с растения; КС/К — количество семян в коробочке; МСР — масса семян с растения; М1000 — масса 1000 семян; С 18:3 — содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты; С18:2 — линолевой кислоты; С 18:1 — олеиновой кислоты; С 18:0 — стеариновой кислоты; С16:0 — пальмитиновой кислоты.

внутригруппового варьирования. Далее с ней сравнивали все выборочные разности. Дж. У. Тьюки определил D как доверительный интервал для ряда выборочных средних (Снедекор, 1961). Долю влияния генетических и средовых факторов в общей изменчивости анализируемых признаков вычисляли на основании результатов двухфакторного дисперсионного анализа (Рокицкий, 1973).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Продуктивность сортов

Важным этапом в анализе формирования продуктивности сортов льна масличного в различающихся условиях среды является оценка относительного вклада в их изменчивость генотипа и экологических факторов. Установлено достоверное влияние генотипа (сорта), условий выращивания (года) и их взаимодействия на изменчивость всех анализируемых признаков продуктивности растений ( $P < 0,05$ ). Доля изменчивости, обусловленная генотипом, была наиболее высокой для массы 1000 семян и составила 69,5 % в общей изменчивости по данному признаку (рис. 1).

Вклад генотипа в общую изменчивость других признаков оказался невысоким и составил: для количества

коробочек на растение — 24,5 %; количества семян с растения — 13,57 %; количества семян в коробочке — 17,53 %; массы семян с растения — 32,8 %. В то же время достаточно высокий процент составила доля изменчивости, обусловленная взаимодействием генотип  $\times$  год: для признака количество коробочек на растение — 44,27 %, количество семян с растения 47,5 %, масса семян с растения 47,21 %. Доля влияния условий выращивания оказалась низкой и составила 0,158 % в общей изменчивости, за исключением признака количество семян в коробочке, для которого процент влияния фактора год составил 53,53 %. Таким образом, можно заключить, что изменчивость признаков продуктивности растений льна масличного в большинстве случаев определяется генотипом и его взаимодействием с условиями выращивания.

Как видно из таблицы 2, по признаку количество коробочек на растение 7 сортов из 26 испытываемых превосходили сорт стандарт Ligina, по признакам количество и масса семян с растения таких сортов оказалось 8, по массе 1000 семян — 6. Обнаруженная генотипическая изменчивость данных признаков обусловлена достоверным отклонением их показателей у значительного числа сортов в сторону превышения над стандартом. В то же время средние значения признака количество семян в коробочке оказались у

Таблица 2

## Средние показатели продуктивности сортов льна масличного (2005–2007 гг.)

Сорта	Количество коробочек на растение	Количество семян с растения	Количество семян в коробочке	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г
Antares	10,6	76,8	7,3	0,56*	7,28*
Mivast	9,9	66,3	6,8*	0,49	7,50*
Atalante	10,6	82,8	7,0	0,48	5,77*
BlueChip	9,5	59,0	6,3*	0,43	7,35*
Glenelg	8,9	70,6	7,9	0,49	6,91
DeepPink	8,3	66,6	8,2	0,32	5,10*
Linota	9,5	74,6	7,7	0,39	5,20*
SU-1-10	11,2	85,4	7,6	0,46	5,40*
Omega	11,1	79,7	7,1	0,48	6,09
K-5827	15,4*	106,2*	6,9	0,58*	5,65*
GoldFlax	11,3*	89,7*	8,1	0,52	5,94*
McGregor	12,9*	99,6*	7,7	0,55	5,54*
Somme	13,2*	105,1*	7,3	0,62*	5,88*
L-6582	13,8*	104,5*	7,8	0,61*	5,76*
K-6570	10,8	78,7	7,3	0,42	5,35*
Flanders	14,8*	119,2*	8,0	0,63*	5,18*
Raluca	10,6	80,0	7,6	0,59*	7,40*
Sandra	8,8	68,3	7,8	0,48	6,96
Cian	9,5	66,4	7,0	0,42	6,40
K2398	14,3*	97,8*	6,7*	0,52	5,14*
Воронежский	10,8	83,4	7,7	0,47	5,70*
K-5627	9,4	68,0	7,5	0,51	7,24*
K-5621	11,01	85,37	8,31	0,54	6,7
Небесный	12,3*	84,5	6,9*	0,59*	6,99
ЛМ-1	9,0	70,7	7,7	0,52	7,34*
ЛМ-2	9,2	70,2	7,8	0,50	7,02*
Ручеек	12,5*	93,5*	7,5	0,56*	6,09
Ligina (контроль)	8,6	65,8	7,7	0,42	6,50
D	2,71	22,29	0,78	0,138	0,495

D — доверительный интервал (Снедекор, 1961).  
\* — достоверно отличался от контроля при  $P < 0,05$

большинства генотипов льна масличного достоверно ниже, чем у сорта Ligina.

Между количеством семян с растения и массой 1000 семян наблюдается отрицательная зависимость. Так у ряда сортов с высокими показателями количества семян с растения (97,8–119,2) масса 1000 семян была достоверно ниже (5,14–5,88 г), чем у сортов с меньшим количеством семян (59,0–80,0), масса 1000 семян у них варьировала в пределах 7,02–7,50 г. Ко-

эффициент корреляции между обсуждаемыми признаками был достоверен при  $P < 0,01$  и составил  $-0,58$ . На основании полученных результатов в качестве источников крупносемянности при создании новых сортов льна масличного могут быть рекомендованы сорта Antares, Blue Chip, Raluca, K-5627, ЛМ-1, ЛМ-2, Mivast.

Анализ результатов трехлетних испытаний сортов льна масличного позволил выделить экологически ста-

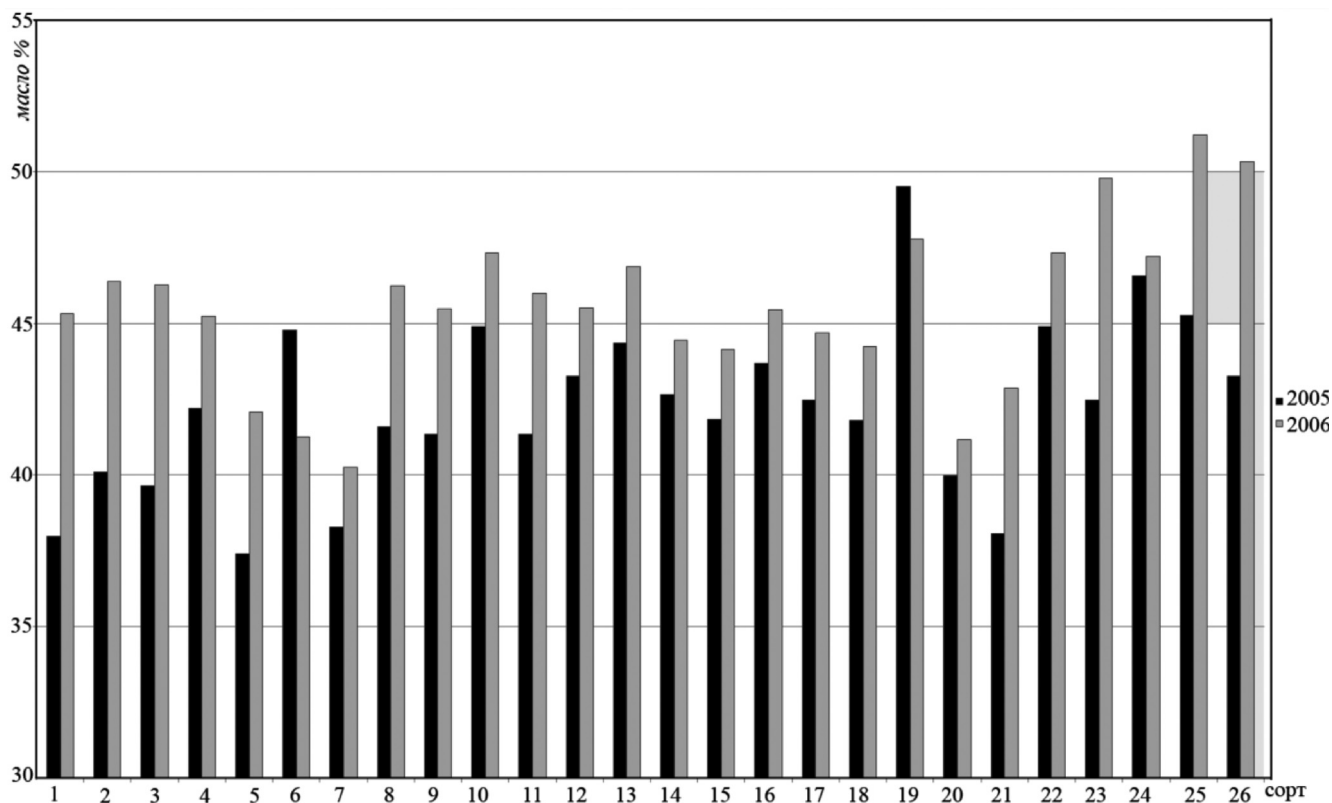


Рис. 2. Содержание масла (%) в семенах сортов льна масличного.

1 — Antares; 2 — Mivast; 3 — Atalante; 4 — Blue Chip; 5 — Glenelg; 6 — Deep Pink; 7 — Linota; 8 — SU-1-10; 9 — Omega; 10 — K-5827; 11 — Gold Flax; 12 — McGregor; 13 — Somme; 14 — L-6582; 15 — K-6570; 16 — Flanders; 17 — Raluca; 18 — Sandra; 19 — Cian; 20 — K-2398; 21 — Воронежский; 22 — K-5627; 23 — K-5621; 24 — Небесный; 25 — ЛМ-1; 26 — ЛМ-2

бильные генотипы, которые по показателям продуктивности — количеству коробочек на растение и семян с растения достоверно превышали сорт стандарт Ligina во все годы испытания. К таким сортам можно отнести Gold Flax, McGregor, Somme, Воронежский, K-5827, Небесный, L-6582, K-2398, Flanders, Ручеек. Стабильно высокими у данных генотипов в годы испытания были показатели массы семян с растения.

#### Содержание масла

Среднее содержание масла в семенах льна масличного составляет 43% (Bhatty, 1991; Oomah et al, 2003). Различие между отдельными сортами по данному показателю незначительное (2–3%). В то же время в зависимости от условий выращивания колебание масличности в пределах одного сорта может достигать 4–5% (Oomah, Mazza, 1998).

Для изучения роли генотипа и среды в изменчивости содержания масла в семенах льна масличного был применен двухфакторный дисперсионный анализ данных, полученных при биохимическом исследовании семян урожая 2005–2006 гг. Выявлено достоверное влияние анализируемых факторов — генетических (сорта), экологических (год выращивания)

и их взаимодействия на формирование данного признака. Установлено, что обусловленный генотипом процент изменчивости содержания масла в семени был наибольшим и составил 32,8% общего варьирования, тогда как влияние года оказалось несколько ниже — 33,1%. Доля изменчивости, обусловленная взаимодействием генотип × год составила 25,86% в общей изменчивости содержания масла у сортов льна масличного (рис. 1).

Погодные условия в годы испытания сортов существенно различались, что сказалось на количественном выражении содержания масла в семенах сортов льна масличного. Погодные условия 2006 г. в период налива семян характеризовались более высоким количеством осадков по сравнению с 2005 г., хотя по средним температурам июля и августа (приведены по декадам) значительных различий не наблюдалось. Как видно из данных, представленных на рисунке 2, образцы урожая 2006 г. по содержанию масла в семенах превосходили таковые 2005 г. Среднее содержание масла в семенах изучаемых сортов льна урожая 2005 года составило 42,44%, в 2006 г. масличность семян была выше и достигала 45,48%. Минимальное

Таблица 3

## Содержание жирных кислот (%) в масле семян сортов льна масличного урожая 2005, 2006 гг.

Сорта	Жирные кислоты									
	C16:0		C18:0		C18:1		C18:2		C18:3	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Antares	5,11	6,11	4,73	6,71	17,19	22,00	15,14	11,13	55,45	51,82
Mivast	6,31	6,75	5,05	6,03	29,86	23,48	12,89	12,52	43,56	49,04
Atalante	5,70	6,21	4,33	5,82	20,89	22,33	14,7	16,12	51,8	47,18
BlueChip	6,50	7,27	4,00	4,91	19,02	25,76	13,3	11,64	53,79	48,16
Glenelg	6,66	7,16	3,85	4,95	20,80	28,33	16,5	13,65	49,31	43,33
DeepPink	5,97	6,62	4,06	5,27	24,01	23,32	16,12	12,78	47,16	48,91
Linota	5,52	5,61	3,23	4,50	22,58	26,93	15,46	16,40	49,26	43,89
SU-1-10	5,24	6,66	4,55	7,01	19,92	20,23	15,09	14,91	52,72	47,57
Omega	5,79	6,32	3,67	5,09	23,48	24,56	17,76	16,37	46,84	45,31
K-5827	6,12	6,69	3,78	4,64	22,40	23,92	15,33	13,81	49,95	48,65
GoldFlax	6,83	7,39	3,78	5,46	16,30	19,76	69,31	56,92	1,36	8,25
McGregor	6,76	7,25	4,50	6,06	17,80	19,35	17,83	16,28	50,58	48,65
Somme	6,02	6,77	3,23	4,91	18,34	21,61	14,88	13,51	55,14	50,87
L-6582	7,18	7,63	3,71	4,95	19,38	23,86	15,88	13,83	51,32	47,05
K-6570	6,68	6,91	4,41	5,19	25,17	24,62	15,09	12,95	46,24	47,75
Flanders	5,37	6,30	3,77	6,02	19,40	20,28	13,53	12,98	55,66	51,57
Raluca	6,76	7,49	3,64	5,78	17,34	29,26	15,36	11,78	54,07	43,40
Sandra	6,01	6,64	4,54	6,11	23,87	22,14	14,82	13,63	48,41	49,06
Cian	6,34	6,74	4,77	5,87	19,22	20,46	15,12	14,54	52,18	50,12
K-2398	6,51	7,15	4,72	5,39	17,79	23,41	14,50	12,16	53,88	49,14
Воронежский	6,24	7,01	3,49	4,54	21,46	28,45	17,29	16,83	48,94	40,78
K-5627	5,92	6,78	3,72	5,30	20,86	23,47	14,73	13,88	52,40	48,52
K-5621	6,95	7,27	4,08	4,90	19,38	20,44	14,48	12,32	53,46	52,93
Небесный	6,38	7,66	3,61	5,46	18,21	23,98	11,29	14,76	58,21	45,58
ЛМ-1	5,86	6,63	3,96	5,94	17,32	21,36	15,67	14,22	54,86	49,19
ЛМ-2	5,85	6,61	4,56	5,72	20,61	20,97	15,57	14,07	51,32	50,44
Ручеек	—	6,24	—	3,89	—	19,60	—	15,04	—	52,48
Liripa	—	6,31	—	4,21	—	21,60	—	15,46	—	49,18

C16:0 — пальмитиновая; C18:0 — стеариновая; C18:1 — олеиновая; C18:2 — линолевая; C18:3 — α-линоленовая.

и максимальное содержание масла в семенах выборки 2006 г. (40,25–51,22 %) превышало соответствующие показатели в 2005 г. (37,39–49,72 %). Размах варьирования исследуемого признака (max–min) оказался в 2006 году ниже (10,97 %), чем в 2005 г. (12,33 %), что свидетельствует о большей выравненности фенотипов в условиях вегетации 2006 г. Очевидно, более высокая обеспеченность влагой растений льна масличного в период налива в 2006 г. способствовала увеличению

содержания масла в семенах по сравнению с предыдущим годом.

По результатам исследования стандартам масличности (Ручеек — 49,32 % и Liripa — 48,62 %) соответствовали образцы: K-5621, K-5627, ЛМ-1, ЛМ-2 (урожай 2006 года). Устойчиво высокое содержание масла в семенах характерно для образцов K-5627, Cian. Низкие значения анализируемого признака отмечены у сортов Glenelg, Linota, Воронежский,

К-2398. Содержание масла в семенах сортов Antares, Atalante, ЛМ-1, ЛМ-2, Mivast в значительной степени подвержено влиянию условий среды. Коэффициент корреляции между показателями содержания масла в семенах урожаев 2005 и 2006 гг. был достоверен при  $P < 0,01$  и составил 0,61. Следовательно, в разных погодных условиях соотношение содержания масла по генотипам льна сохраняется, степень выраженности исследуемого признака определяется в большей степени генотипом.

Таким образом, обнаружено генетическое разнообразие коллекции исследуемых сортов льна масличного по содержанию масла в семенах. Показано, что степень выраженности исследуемого признака определяется в большей степени генотипом. Кроме того, была установлена достоверная положительная корреляция между содержанием масла в семенах и массой 1000 семян ( $r = +0,42$ ). Образцы К-5627, ЛМ-1, ЛМ-2 с высокой массой 1000 семян характеризовались также и максимальной масличностью. Выявленная зависимость дает возможность проведения селекционного отбора на масличность по массе 1000 семян (табл. 2).

#### Жирнокислотный состав масла

Оптимальный жирнокислотный состав растительных масел определяется не только питательной ценностью той или иной кислоты, но и его пригодностью для хранения и переработки. В состав льняного масла входит пять основных жирных кислот: пальмитиновая — 5 %, стеариновая — 3 %, олеиновая — 15–25 %, линолевая — 15 %,  $\alpha$ -линоленовая — 50–60 % (Johnston, Johnston, 1990; DeClerg, Daun, 2002). Полезные нутрицевтические свойства льняного масла обусловлены высоким содержанием в нем моно- и полиненасыщенных жирных кислот, в особенности уровнем  $\alpha$ -линоленовой кислоты. По данным A. Diederichsen (2001), при анализе 1218 образцов мировой коллекции содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты масличного льна достигает 50,31 %.

Изучаемая коллекция сортов льна масличного включала как сорта с высоким содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты — более 50 % (Antares, Somme, ЛМ-2 и Flanders), так и сорт группы Linola® (солиный сорт) Gold Flax, содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты у которого, по нашим данным, составило всего 1,36 и 8,25 % соответственно в 2005 и 2006 гг. испытания.

Двухфакторный дисперсионный анализ содержания отдельных жирных кислот в семенах сортов льна масличного урожая 2005, 2006 гг. выявил достоверное влияние генотипа и факторов внешней среды (год выращивания) на содержание жирных кислот. Установлено, что изменчивость, обусловленная генотипом, была высокой по содержанию  $\alpha$ -линоленовой, линолевой и пальмитиновой кислоты и составила в общей измен-

чивости содержания данных кислот соответственно 87,26; 95,52 и 60,07 %, тогда как содержание стеариновой кислоты в большей степени было обусловлено влиянием условий среды — 60,19 % (рис. 1). Доля изменчивости содержания олеиновой кислоты в масле сортов льна масличного, обусловленная генотипом и годом выращивания была невысокой и составила соответственно 18,87 и 17,45 % в общей изменчивости по данному признаку.

Сравнение данных по содержанию жирных кислот в масле семян двух лет исследования (табл. 3) показало снижение содержания полиненасыщенных кислот линолевой и  $\alpha$ -линоленовой в семенах урожая 2006 г. и увеличение мононенасыщенной олеиновой кислоты и насыщенных — стеариновой и пальмитиновой. В сравнении с 2005 г. в среднем содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты всех сортов в 2006 г. снизилось на 3,10 %, линолевой на 1,68 %, тогда как на 2,76 % увеличилось содержание олеиновой, на 1,42 % стеариновой, на 0,66 % пальмитиновой.

Такое изменение в соотношении насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в масле исследуемых сортов в годы испытания, вероятно, обусловлено различиями в погодных условиях во время созревания семян. Как отмечалось, данный период в 2006 году характеризовался высоким количеством осадков, и более высокими среднесуточными температурами, что, вероятно, положительно сказалось на накоплении масла в семенах и отрицательно на содержании в нем ненасыщенных жирных кислот. По данным Johnston и Williams (1989) десатурирующие ферменты более активны при низких температурах окружающей среды, кроме того из климатических факторов наибольшее влияние на маслообразовательный процесс и накопление жирных кислот оказывает влажность почвы в период созревания семян (Щербаков, Лобанов, 2003). В нашем случае наблюдаемые в 2005 году более низкие ночные температуры во второй декаде августа (12,4 против 15,2 °C в 2006 г.) и резкие колебания между ночными и дневными температурами (13,1–22,7 °C) в третьей декаде способствовали повышению активности десатурирующих ферментов, окисляющих насыщенные жирные кислоты в ненасыщенные (линолевую и  $\alpha$ -линоленовую) и, следовательно, некоторому увеличению их содержания в масле по сравнению с 2006 годом.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показаны существенные различия в реакции сортов льна масличного разного генетического и географического происхождения на комплекс экологических факторов. Установлено, что изменчивость признаков продуктивности растений в значительной мере определяется генотипом и его взаимодействием с условиями

выращивания. Обнаружено разнообразие исследуемых сортов льна масличного по содержанию масла в семенах. Показано, что степень выраженности признака «содержание масла в семенах» определяется в равной степени как генотипом, так и влиянием условий среды. Установлена достоверная положительная корреляция между содержанием масла в семенах и массой 1000 семян, что дает возможность проведения селекционного отбора на масличность по данному признаку. Жирнокислотный состав льняного масла определяется как генотипом, так и влиянием погодных условий (температура, влажность почвы) в период созревания семян. Таким образом, выявленную реакцию (отзывчивость) сортов льна масличного на комплекс экологических факторов по признакам продуктивности растений и качеству семян следует учитывать при подборе исходного материала для включения в селекционные программы. В условиях Беларуси, вероятно, наиболее перспективно вести отбор на высокое количество коробочек с растения, среднее значение массы 1000 семян, и повышенный уровень  $\alpha$ -линоленовой кислоты в масле, так как крупносемянные сорта, характеризуются более продолжительным вегетационным периодом, низким качеством семян (высокая степень невыполненности и растрескивания), а высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в масле способствует большей холодостойкости растений. Полученные данные позволили из коллекции сортов выделить наиболее экологически стабильные, адаптированные к почвенно-климатическим условиям Беларуси генотипы льна масличного. Наиболее ценными в селекционном отношении являются McGregor, Somme, Flanders, K-5827, Небесный, обладающие устойчиво высокой семенной продуктивностью в сочетании с высоким содержанием и качеством масла.

## Литература

1. Лайковская И. В., Титок В. В., Леонтьев В. Н., Акулович И. Л., 2004. Генетический полиморфизм жирнокислотного состава липидов семян масличных культур // Труды БГТУ. Сер. химии и технологии орган. веществ. Вып. XII. С. 179–183.
2. Петров К. П., 1978. Методы биохимии растительных продуктов. Киев: Вища школа, 224 с.
3. Рокитский П. Ф., 1973. Биологическая статистика. Мн.: Вышэйшая школа, 320 с.
4. Снедекор Дж. У., 1961. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии / пер. англ. В. Н. Перегудова. М.: Сельхозиздат, 504 с.
5. Толкачев О. Н., Жученко А. А., 2000. Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании (обзор) // Химико-фармацевтический журнал. № 7. С. 23–28.
6. Щербатов В. Г., Лобанов В. Г. 2003. Биохимия и то-вароведение масличного сырья. М.: Колос, 360 с.
7. AOAC Official Methods of Analysis, 14th edn. Arlington. VA. 1984. p 507.
8. Bhatti R. S. 1991. Measurement of oil in whole flaxseed by near-infrared reflectance spectroscopy // JAOCS. Vol. 68. N. 1. P. 34–38.
9. DeClerg D. R. Daun J. K., 2002. Quality of western Canadian flaxseed // Report. Canadian Grain Commission. Winnipeg, MB, Canada. P. 1–14.
10. Diederichsen A., 2001. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and world collection // Plant Breed. Vol. 120. N 4. P. 360–362.
11. Diederichsen A., Raney J. P., 2006. Seed colour, seed weight and seed oil content in *Linum usitatissimum* accessions held by Plant Gene Resources of Canada // Plant Breed. Vol. 125. N 4. P. 372–377.
12. Johnston G., Williams P., 1989. Effect of growth temperature on the biosynthesis of chloroplastic galactosyldiacylglycerol molecular species in *Brassica napus* leaves // Plant Physiol. Vol. 91. N 3. P. 924–929.
13. Johnston I. M., Johnston J. R., 1990. Flaxseed oil and the power of omega-3 / New Canaan: Keats Pub. P. 49–65.
14. Oomach B. Dave, 2001. Flaxseed as a functional food source // J. of the Science of Food and Agriculture. Vol. 81. Is. 9. P. 889–894.
15. Oomah B. D., Mazza G., 1998. Compositional changes during commercial processing of flaxseed // Industrial Crop Products. Vol. 9. N 1. P. 29–37.
16. Oomach B. D., Thompson L. U., Cunnane S. D., 2003. Processing of flaxseed fibre, oil, protein and lignan // Flaxseed in Human Nutrition. P. 363–386.
17. Ulrich A., 2007. Flax in Canada: a 2007 Urdate // Proceedings of the 4th Global Workshop (GENERAL CONSULTATION) of the FAO/ESCORENA European Cooperative Research Network on flax and other bast plants: Innovative Technologies for Comfort, 7–10 oktober 2007, Arad, Romania. Bucuresti: Certex. P. 60–65.
18. Vakula S., Leontiev V., Koren L., Titok V., 2009. Ecological variability of oil and protein content in flaxseed // VAGOS. LŽŪ MOKSLO DARBAI. N. 82 (35). P. 77–81.

### *Ecological and genetic aspects of productivity and quality in linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars*

S. I. Vakula, L. V. Koren, O. S. Ignatovets,  
V. V. Titok, L. V. Khotyleva

✳ **SUMMARY:** The article describes differences in a response of linseed cultivars of a different genetic and geographical origin to a set



of ecological factors. Variability in productivity traits was revealed to be determined in most cases by a genotype and its interaction with growing conditions. The genotype and environmental conditions exert an equal effect on oil accumulation in seeds and its qualitative composition. Based on the data obtained from the linseed collection, the most ecologically stable genotypes, displaying steadily high seed productivity in combination with high content and quality of oil, were selected.

✿ **KEY WORDS:** linseed; productivity; oil content; fatty acids; ecological conditions.

✿ **Информация об авторах**

*Вакула Светлана Ивановна* — младший научный сотрудник.  
ГНУ Институт генетики и цитологии.  
220072, Белоруссия, Минск, Академическая 27.  
E-mail: S.Vakula@igc.bas-net.by

*Корень Лидия Васильевна* — ведущий научный сотрудник.  
Институт генетики и цитологии НАНБ.  
220072, Белоруссия, Минск, Академическая 27.  
E-mail: L.Koren@igc.bas-net.by

*Игнатовец Ольга Сергеевна* — ассистент.  
УО Белорусский государственный технологический университет, кафедра биоэкологии и биотехнологии. 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.  
E-mail: Ignatovets@mail.ru

*Титок Владимир Владимирович* — заведующий лабораторией функциональной генетики растений, старший научный сотрудник.  
Институт генетики и цитологии НАНБ.  
220072, Белоруссия, Минск, Академическая 27.  
E-mail: V.Titok@igc.bas-net.by

*Хотылева Любовь Владимировна* — главный научный сотрудник лаборатории функционального генетики растений, академик.  
Институт генетики и цитологии НАНБ.  
220072, Белоруссия, Минск, Академическая 27.  
E-mail: L.Khotyleva@igc.bas-net.by

*Vakula Svetlana Ivanovna* — junior researcher.  
National Academy of Sciences of Belarus Institute of Genetics and Cytology,  
27, Akademicheskaya St., Minsk 220072, Republic of Belarus.  
E-mail: S.Vakula@igc.bas-net.by

*Koren Lidiya Vasilevna* — senior researcher.  
National Academy of Sciences of Belarus Institute of Genetics and Cytology,  
27, Akademicheskaya St., Minsk, 220072, Republic of Belarus.  
E-mail: L.Koren@igc.bas-net.by

*Ignatovets Olga Sergeevna* — assistant researcher.  
Belarusian state technological university, department of bio-ecology and bio-technology. 13a, Sverdlov st., Minsk, Republic of Belarus, 220050  
E-mail: Ignatovets@mail.ru

*Titok Vladimir Vladimirovich* — Head of the laboratory of Functional Genetics of Plants.  
National Academy of Sciences of Belarus Institute of Genetics and Cytology,  
27, Akademicheskaya St., Minsk 220072, Republic of Belarus.  
E-mail: V.Titok@igc.bas-net.by

*Khotyleva Lyubov Vladimirovna* — chief researcher, head of laboratory and continues to participate actively in all affairs of the Institute, academican of NASB.  
National Academy of Sciences of Belarus Institute of Genetics and Cytology,  
27, Akademicheskaya St., Minsk 220072, Republic of Belarus.  
E-mail: L.Khotyleva@igc.bas-net.by