

Н. В. Анисимова, науч. сотрудник ИГиЦ НАН Беларуси; Л. В. Корень, вед. науч. сотрудник ИГиЦ НАН Беларуси; С. И. Вакула, аспирант ИГиЦ НАН Беларуси; О. С. Игнатовец, мл. науч. сотрудник; И. В. Лайковская, мл. науч. сотрудник; Л. М. Полонецкая, вед. науч. сотрудник ИГиЦ НАН Беларуси; В. В. Титок, зав. лабораторией ИГиЦ НАН Беларуси

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПРОДУКТИВНОСТИ КОЛЛЕКЦИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Flax olive – the valuable agricultural crop, being a source of oil. Linen oil is applied in the food, perfumery-cosmetic, pharmaceutical industries. Quality of a linen oil is defined by an interrelation of unsaturated fat acids and a level their trans-isomer which contents in seeds of flax is influenced with conditions of medium and a genotype of a plant. Twenty-five linseed accessions of a different ecogeographical origin were analysed for productivity, oil content in seeds and its fatty acid composition. High-productive forms with optimum relation of the traits under study were selected. The most valuable in the selection attitude are McGregor and Raluca, possessing steadily high seed production in a combination to the high contents and quality of oil. The given accessions may be recommended for inclusion in the breeding programs for developing linseed cultivars for Belarus conditions.

**Введение.** Лен масличный – ценная сельскохозяйственная культура, являющаяся источником масла. Льняное масло служит сырьем для промышленного производства быстросохнущих олиф и жидких сиккативов, а также основой изготовления косметических и лекарственных препаратов. Способность льняного масла к высыханию обусловлена высоким содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты. Льняное масло используется и в пищевых целях, содержащиеся в нем жирные кислоты служат источником энергии, структурными компонентами фосфолипидных клеточных мембран и предшественниками эйкозаноевых кислот [1–3]. Льняное семя также является источником других биологически активных компонентов.

В селекции сортов льна масличного, обладающих высоким содержанием масла в семенах, устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды, одним из основных направлений является оценка генетической гетерогенности исходного материала. Раскрытие потенциала генетических ресурсов по хозяйственно полезным признакам обеспечивает генетическую базу для реализации селекционных программ различных направлений. Оценивая объем и специфику работ, проделанных в данном направлении, следует указать, что культура льна масличного менее изучена, чем другие сельскохозяйственные растения.

Селекция масличных сортов льна ведется на максимальное ветвление, в результате растения получают низкорослыми. Современные сорта льна масличного – относительно низкорослые растения с большим количеством цветков. Стебель ветвится почти от основания. Основные направления селекции – повышение урожайности и масличности семян, сокращение продолжительности вегетационного периода, повышение устойчивости к болезням. Одним из направлений в селекции льна масличного является

оценка генетического разнообразия исходного материала.

**Основная часть.** Цель исследования состояла в анализе изменчивости сортов коллекции льна масличного по признакам продуктивности для выделения перспективных образцов с высоким уровнем масла и сбалансированным содержанием жирных кислот.

В работе были использованы 25 образцов льна масличного различного генетического и эколого-географического происхождения.

Продуктивность коллекционных образцов льна масличного оценивали по следующим показателям: число коробочек на растение (ЧКР), число семян в коробочке (ЧС/К), число семян на растение (ЧСР), масса семян на растение (МСР), масса 1000 семян (М 1000). Исследования проводили в течение 2005–2006 гг.

Определение содержания масла в семенах льна масличного проводили с использованием аппарата Сокслета, в основе работы которого лежит многократная экстракция липидов из измельченного материала. Экстракцию и определение жирных кислот осуществляли по модифицированному нами методу Welch [4].

В табл. 1 представлены показатели признаков продуктивности образцов льна масличного за два года исследования. Как видно из таблицы, масса 1000 семян у различных образцов колеблется от 4,2 (К-2398) до 8,0 г (Mivast). Размеры семян варьируют в зависимости от образца и года испытания. Цвет семенной оболочки беловато-желтый коричневый, оливковый.

Сорта Antares, Mivast, Sandra, К-5627 отличаются наиболее крупными семенами в оба года исследования. Низкая масса 1000 семян характерна для Deep Pink, Linota, К-2398, Flanders, причем у К-2398 отмечено также небольшое количество семян на растениях и в коробочках. Это определяет низкую продуктивность данного образца независимо от года испытания (масса семян с растения составляет 0,39 г в 2005 г. и 0,34 г – в 2006 г.).

Характеристика образцов льна масличного по признакам продуктивности

№	Образец	Год	ВР, см	ЧКР	ЧСР	МСР, г	ЧС/К	М 1000, г
1	Antares	2005	35,1	9,9	71,9	0,53	7,3	7,5
		2006	47,3	9,8	74,5	0,57	7,8	7,5
2	Atalante	2005	43,5	11,1	87,1	0,50	7,8	5,4
		2006	52,6	12,9	103,8	0,59	8,0	5,8
3	Blue Chip	2005	42,2	10,7	64,8	0,48	6,1	7,6
		2006	51,1	10,0	102,7	0,60	9,7	5,9
4	Glenelg	2005	45,8	10,1	76,0	0,53	7,6	6,3
		2006	58,2	10,6	88,0	0,60	8,3	6,9
5	Gold Flax	2005	39,0	13,1	102,2	0,52	7,8	4,9
		2006	56,5	13,0	97,7	0,59	7,6	6,1
6	Deep Pink	2005	52,1	12,3	95,9	0,42	7,8	4,9
		2006	60,6	6,3	51,1	0,26	8,1	5,1
7	Linota	2005	42,7	8,1	59,8	0,31	7,4	4,9
		2006	61,0	13,0	100,6	0,52	7,6	5,1
8	McGregor	2005	38,8	16,2	124,9	0,67	7,6	5,0
		2006	60,2	14,6	108,9	0,60	7,5	5,6
9	Omega	2005	39,6	10,4	69,3	0,42	6,5	5,8
		2006	54,1	14,1	105,3	0,64	7,3	6,1
10	Raluca	2005	36,8	12,0	88,5	0,72	7,4	7,4
		2006	52,1	13,0	100,4	0,66	7,7	6,6
11	Sandra	2005	30,2	9,7	75,2	0,55	7,8	6,9
		2006	54,7	7,7	61,5	0,43	7,9	7,0
12	Somme	2005	37,4	14,5	114,8	0,72	7,8	5,4
		2006	57,3	12,9	101,3	0,56	7,6	5,5
13	Воронежский	2005	36,3	12,2	88,7	0,53	7,2	5,6
		2006	60,7	11,6	89,7	0,49	7,8	5,5
14	К-5627	2005	24,6	11,8	88,1	0,69	8,4	7,0
		2006	52,2	8,0	57,9	0,42	7,1	7,3
15	К-5827	2005	35,7	13,8	91,5	0,56	6,7	5,8
		2006	48,3	24,0	164,0	0,81	6,6	5,0
16	ЛМ-1	2005	31,4	7,5	61,7	0,46	8,3	6,5
		2006	58,5	11,8	97,2	0,72	8,1	7,3
17	ЛМ-2	2005	31,6	8,4	68,1	0,52	8,2	6,4
		2006	56,9	8,9	71,0	0,47	7,9	6,7
18	Небесный	2005	37,2	13,8	98,7	0,75	7,1	7,3
		2006	64,0	13,4	85,5	0,47	6,4	5,6
19	SU-1-10	2005	33,5	12,9	96,7	0,53	7,6	5,3
		2006	56,7	7,9	61,7	0,34	7,7	5,5
20	Циан	2005	25,5	7,6	59,3	0,41	7,7	7,0
		2006	55,4	8,5	58,8	0,31	6,9	5,4
21	К-2398	2005	29,1	10,4	69,6	0,39	6,6	5,2
		2006	61,3	11,5	74,8	0,34	6,4	4,2
22	Л-6582	2005	39,9	15,6	117,1	0,77	7,8	5,8
		2006	61,8	12,6	94,3	0,49	7,5	5,1
23	К-6570	2005	31,8	9,9	75,1	0,47	7,9	5,8
		2006	51,9	8,8	63,4	0,32	7,0	5,0
24	Flanders	2005	27,8	12,0	93,5	0,52	7,8	5,2
		2006	55,2	8,4	68,1	0,32	8,1	4,7
25	Mivast	2005	22,9	8,5	64,6	0,51	7,7	8,0
		2006	42,0	12,4	74,3	0,53	5,9	7,2
НСР 0,01		2005	3,29	3,11	25,65	0,17	1,11	0,16
НСР 0,01		2006	5,23	3,83	32,86	0,20	0,95	0,60

Полученные данные показали, что сорта McGregor, Somme, Gold Flax обладают устойчиво высоким количеством семян. У большинства исследуемых образцов (К-5827, Л-6582, Omega, Atalante, Blue Chip и др.) этот показатель в значительной степени определяется внешними факторами и его проявление варьирует в разных условиях среды.

Важными элементами структуры продуктивности масличного льна является количество коробочек на растении и число семян в них. Количество коробочек на растениях у разных сортов колебалось от 6 (Deer Pink) до 24 (К-5827). Высокое их число характерно для К-5827, Небесный, Л-6582, Somme, McGregor в оба года исследований. Однако линия К-5827 отличается низким числом семян в коробочке. Благоприятное сочетание высокого числа коробочек на растении с высоким количеством семян в них отмечено у сортов McGregor, Somme, Л-6582, Gold Flax, Deer Pink.

Результатирующим показателем продуктивности сорта является масса семян с растения. Лучшими по этому признаку среди рассматриваемых сортов являются McGregor и Raluca, которые обладают устойчиво высокой массой семян в разные по погодным условиям годы, тогда как на проявление продуктивности большинства изученных образцов заметное влияние оказывают внешние факторы. Так, сорта Somme, К-5627, Небесный, Л-6582 показали высокие значения массы семян с растения в условиях 2005 г., а сорта Omega, К-5827, Atalante, Blue Chip, Glenelg, Gold Flax – в 2006 г. Низкая продуктивность характерна для Deer Pink, Циан и К-2398.

Льняное масло состоит из глицеридов различных жирных кислот. Качество льняного масла определяется соотношением ненасыщенных жирных кислот, а также уровнем их транс-изомеров, на содержание которых в семенах льна влияют условия среды и генотип растения.

В среднем семена льна содержат около 4,9% пальмитиновой кислоты (16:0); 3,1% стеариновой кислоты (18:0); 17,3% олеиновой кислоты (18:1 *n*-9); 15,1% линолевой кислоты (18:2 *n*-6); и 59,8%  $\alpha$ -линоленовой кислоты (18:3 *n*-3) [4]. Пищевое льняное масло получают из сортов с низким содержанием (<2%)  $\alpha$ -линоленовой кислоты и повышенным содержанием линолевой и пальмитиновой кислот (~70,0%) [6]. Дальнейшие изменения в составе жирных кислот, такие как увеличение содержания олеиновой, пальмитиновой и пальмитолеиновой кислот, в настоящее время осуществляются в ряде зарубежных селекционных центров [7, 8].

Содержание масла в семенах исследуемой коллекции сортов колеблется от 38 (Antares) до 49,7% (К-5627) по данным 2005 г.

При повторном испытании в 2006 г. содержание масла в образцах было несколько выше, что связано с особенностями погодных условий – период созревания семян был более холодным и сырым (см. рисунок). Стабильный уровень масла независимо от внешних факторов отмечен лишь у сорта Deer Pink (44,8; 44,6%).

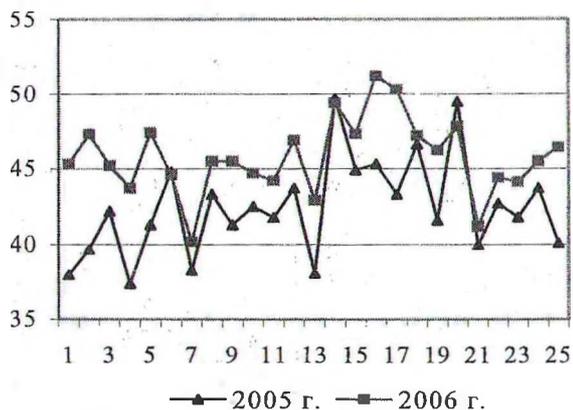


Рисунок. Содержание липидов, %, в семенах селекционных образцов льна масличного

Лучшими по анализируемому показателю являются К-5627, Циан, Небесный, К-5827. Высокий уровень масла в оба года исследований отмечен также в семенах сортов McGregor, Raluca, Somme и Deer Pink.

Характеристика жирнокислотного состава масла семян образцов льна масличного различного эколого-генетического происхождения показала широкий спектр различий исследованных генотипов по данному показателю. В изученной совокупности селекционных образцов выявлены формы с высоким содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты (табл. 2). Лучшие по данному показателю сорта Antares, Raluca, Somme, McGregor, Небесный могут быть рекомендованы для включения в селекционные программы, направленные на получение сортов льна масличного для технического использования (например, в производстве лаков и красок).

Для использования семян льна в медицине необходимо более сбалансированное соотношение жирных кислот:  $\alpha$ -линоленовой – 57%, линолевой – 16% и олеиновой – 18% [9]. Для этого направления использования могут быть рекомендованы сорта Antares, Somme и форма ЛМ 1.

Минимальное содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты отмечено у сорта Gold Flax, что представляет ценность для пищевой промышленности.

Таблица 2  
Содержание жирных кислот, %, в масле семян образцов льна масличного

№ образца	Жирная кислота				
	C16:0	C18:0	C18:1 (n-9)	C18:2 (n-6)	C18:3 (n-3)
1	5,10	4,73	17,19	15,14	55,45
2	5,70	4,33	20,89	14,70	51,80
3	6,50	4,00	19,02	13,30	53,79
4	6,66	3,85	20,80	16,50	49,31
5	6,83	3,78	16,30	69,31	1,36
6	5,97	4,06	24,01	16,12	47,16
7	5,52	3,23	22,58	15,46	49,26
8	6,76	4,50	17,80	17,83	50,58
9	5,79	3,67	23,48	17,76	46,84
10	6,76	3,64	17,34	15,36	54,07
11	6,01	4,54	23,87	14,82	48,41
12	6,02	3,23	18,34	14,88	55,14
13	6,24	3,49	21,46	17,29	48,94
14	5,92	3,72	20,86	14,73	52,40
15	6,12	3,78	22,40	15,33	49,95
16	5,86	3,96	17,32	15,67	54,86
17	5,85	4,56	20,61	15,57	51,32
18	6,38	3,61	18,21	11,29	58,20
19	5,24	4,55	19,92	15,09	52,72
20	6,34	4,77	19,22	15,12	52,18
21	6,51	4,72	17,79	14,50	53,88
22	7,18	3,71	19,38	15,88	51,32
23	6,68	4,41	25,17	15,09	46,24
24	5,37	3,77	19,40	13,53	55,66
25	6,31	5,05	29,86	12,89	43,56

**Заключение.** Таким образом, анализ коллекции образцов масличного льна разного эколого-географического происхождения по признакам продуктивности, содержанию масла в семенах и его жирнокислотному составу выявил значительное разнообразие исследуемого материала, что позволило выделить высокопродуктивные формы с оптимальным соотношением исследуемых признаков. Наиболее ценными в селекционном отношении являются McGregor и Raluca, обладающие ус-

тойчиво высокой семенной продуктивностью в сочетании с высоким содержанием и качеством масла. Данные образцы могут быть рекомендованы в качестве источников хозяйственно полезных признаков в селекционных программах по созданию сортов льна масличного для условий Беларуси.

#### Литература

1. Зубцов, В. А. Льняное семя, его состав и свойства / В. А. Зубцов, Л. Л. Осипова, Т. И. Лебедева // Рос. химич. журн. – 2002. – Т. XLVI, № 2. – С. 14–16.
2. Trautwein, E. A. *n-3* Fatty acids – physiological and technical aspects for their use in food / E. A. Trautwein // Eur. J. Lipid Sci. Technol. – 2001. – Vol. 103, N 1. – P. 45–55.
3. Kamal-Edlin, A. *n-3* Fatty acids for human nutrition: stability considerations / A. Kamal-Edlin, N. V. Yanishlieva // Eur. J. Lipid Sci. Technol. – 2002. – Vol. 104, N 5. – P. 825–836.
4. Welch, R. W. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops / R. W. Welch // J. Sci. Food Agr. – 1977. – Vol. 28, N 4. – P. 635–638.
5. DeClerg, D. R. Quality of western Canadian flaxseed / D. R. DeClerg, J. K. Daun // Report. Canadian Grain Commission. – 2002. Winnipeg, MB, Canada. – P. 1–14.
6. Dribnenki, C. P. Linola™ low linolenic flax / C. P. Dribnenki, S. F. McEachern, Y. Chen // Can. J. Plant Sci. – 2003. – Vol. 83, N 1. – P. 81–83.
7. Rowland, G. G. New trends in linseed breeding / G. G. Rowland, R. Wilen // Nat. Fibres Special Edn. – 1998. – Vol. 2. – P. 32–35.
8. Daun, J. K. Identity of fats and oils: the role of traditional chemical and physical tests – today and in the future / J. K. Daun, R. G. Ackman // INFORM. – 2001. – Vol. 12. – P. 1108–1114.
9. Толкачев, О. Н. Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании (обзор) / О. Н. Толкачев, А. А. Жученко // Хим.-фарм. журн. – 2000. – Т. 34, № 7. – С. 23–30.