

УДК 633.854.78:575

## НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКА СРЕДНЕОЛЕИНОВОСТИ ЛИНИИ ЛГ27

**Чебанова Ю.В., Борисенко О.М.**

350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17  
ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК  
aqvablue@mail.ru

Изучили закономерности наследования признака среднеолеиновости масла в семенах  $F_2$  и  $F_3$  от скрещивания линии ЛГ27 с линиями трех фенотипических классов: низкоолеиновыми ЛГ28 и РНА416, повышенноолеиновой ВК678 и высокоолеиновой ЛГ26. Установили отсутствие материнского наследования признака среднеолеиновости линии ЛГ27 в  $F_2$  и  $F_3$ . Оценка наследуемости на основе корреляции в ряду родитель-потомок показала низкую эффективность массового отбора по фенотипу, и более высокую эффективность индивидуального отбора и последующего получения сублиний

*Ключевые слова:* подсолнечник, олеиновая кислота, среднеолеиновость, наследуемость

**Введение.** В последнее время на мировом и российском рынке наблюдается рост спроса на натуральные функциональные продукты питания. В промышленном производстве существуют разделение подсолнечного масла на три типа по содержанию олеиновой кислоты: традиционное, среднеолеиновое и высокоолеиновое[1]. Среднеолеиновое масло по соотношению олеиновой ( $C_{18:1}$ ) и линолевой ( $C_{18:2}$ ) жирных кислот является аналогом эталона пищевых масел – оливкового, но в подсолнечном масле содержание витамина Е в 3-4 раза больше. Главное преимущество среднеолеинового масла в том, что оно обладает оптимальным сочетанием высокой окислительной стабильности и достаточным содержанием эссенциальной *омега-6* линолевой кислоты около 20%. Таким образом, масло данного типа является функциональным продуктом двойного назначения.

В данный момент на мировом рынке возрастает спрос на среднеолеиновое масло. Подсолнечник данного типа известный как NuSun занимает более 80% посевных площадей этой культуры в США. На территории РФ данное направление только начинает развиваться. В связи с чем, современные селекционные программы по подсолнечнику сосредоточены на получении гибридов с измененным качеством масла, детерминируемым характером его использования. Перспективным направлением в генетике и селекции подсолнечника является изучение признака среднеолеиновости и создание гибридов с данным типом масла.

С 1976 г., когда во ВНИИМК впервые в мире был создан высокоолеиновый сорт подсолнечника Первенец[2], начинается новый этап в селекции подсолнечника на качество масла. Изучению признака высокоолеиновости посвящено много работ в разных странах. В ряде исследований был описан сложный генетический контроль этого признака в различных комбинациях скрещиваний[3-6]. Во ВНИИМК в результате проведенного гибридологического анализа установлено, что признак высокоолеиновости контролируется одним доминантным геном *O* с неполной пенетрантностью в гетерозиготе[7-9].

Изучению признака среднеолеиновости уделялось гораздо меньше внимания. В во ВНИИМК была высказана гипотеза о том, что содержание олеиновой кислоты в линии ЛГ27 контролируется рецессивным аллелем,

обозначенным  $o^f$ , отличающимся как от мутации  $O$ , так и от аллеля дикого типа  $o$  [10, 11]. Позже в результате проведенных нами исследований было установлено, что наследование в  $F_1$  признака среднеолеиновости масла семян линии ЛГ27 при скрещивании с низкоолеиновой RHA416 и повышеноолеиновой BK678 характеризуется промежуточным типом. Обнаружены достоверные различия в реципрокных  $F_1$ , указывающие на материнский эффект линии ЛГ27. В скрещивании линии ЛГ27 и высокоолеиновой ЛГ26 в  $F_1$  наблюдали явление сверхдоминирования [12]

Целью данной работы было изучение характера наследования среднеолеиновости в поколениях  $F_2$  и  $F_3$  линии ЛГ27 и определения наследуемости данного признака.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на центральной экспериментальной базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, в лаборатории генетики отдела подсолнечника в 2013-2015 гг. Агроклиматические условия, сложившиеся в период проведения исследований, можно считать удовлетворительными для подсолнечника. Использовали пять константных линий генетической коллекции подсолнечника ВНИИМК с различным жирно-кислотным профилем масла в семенах: низкоолеиновые RHA416 (33%) и ЛГ 28 (29%), повышеноолеиновую BK678(48%), среднеолеиновую ЛГ27 (66%) и высокоолеиновую ЛГ26(88 %, мутация  $O$ ). Закладку опытов, самоопыление и гибридизацию выполняли согласно общепринятой методике. Семена  $F_2$  получали самоопылением растений  $F_1$ . Для получения семян  $F_3$ , семена  $F_2$ , после определения содержания олеиновой кислоты в 1/3 дистальной части семядолей, были индивидуально высеяны в поле. Каждое растение  $F_2$  изолировали и маркировали этикеткой с указанием номера растения согласно номеру семени, проводили самоопыление, фиксировали дату цветения и морфологические данные.

Анализ жирно-кислотного состава масла семян подсолнечника проводили в лаборатории с использованием метода газожидкостной хроматографии метиловых эфиров. Для анализа использовали отдельные семена самоопыленных корзинок  $F_2$  (по 40 семянок на каждую из двух корзинок одной комбинации скрещиваний), 1/3 части семядолей семян  $F_2$  и средние пробы семян  $F_3$  (по 10 семянок).

Значение наследуемости определяли как квадрат коэффициента корреляции в ряду родитель-потомок [13].

**Результаты и обсуждение.** Семена  $F_2$  от реципрокных скрещиваний среднеолеиновой ЛГ27 с RHA416 и BK678 имели сходный континуальный характер наследования по содержанию олеиновой кислоты, т.е. без разделения на дискретные фенотипические классы (рис. 1 и 2). Это явление указывает на отсутствие материнского наследования признака среднеолеиновости. Для комбинаций  $F_2$  ЛГ27 × RHA416,  $F_2$  RHA416 × ЛГ27 и  $F_2$  ЛГ27 × BK678 отмечено появление семян с уровнем  $C_{18:1}$  существенно ниже, чем у родительских линий, что говорит о наличии отрицательной трансгрессии.

Однопиковое распределение показателей  $F_2$ , а также средние значения по количеству  $C_{18:1}$  в семенах  $F_2$  реципрокных комбинаций, совпадающие со средним содержанием  $C_{18:1}$  между родительскими линиями, указывают на аддитивный характер наследования признака (табл. 1). Кроме того, появление в  $F_2$  семян со среднеолеиновым фенотипом при объеме выборки 80 шт. говорит о его олигогенном контроле (рис. 2).

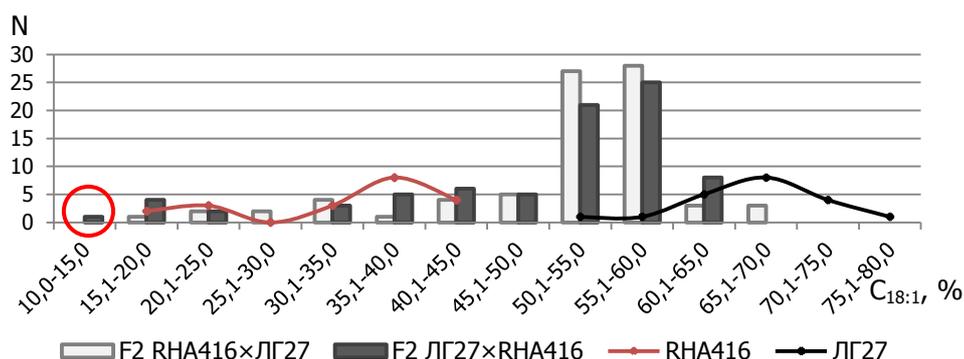


Рисунок 1 – Наследование в реципрокных F<sub>2</sub> содержания олеиновой кислоты в отдельных семенах подсолнечников скрещивании ЛГ27 и RNA416 (N = 80, по 40 семян из 2 корзинок)

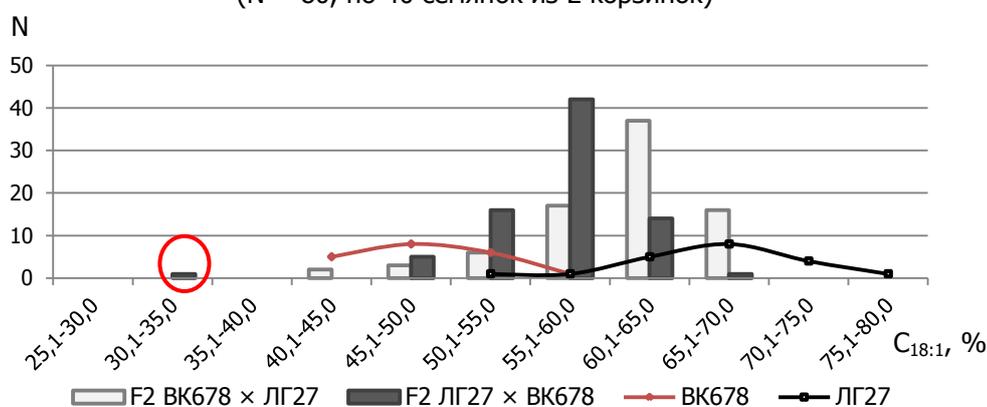


Рисунок 2 – Наследование в реципрокных F<sub>2</sub> содержания олеиновой кислоты в отдельных семенах подсолнечников скрещивании ЛГ27 и BK678 (N = 80, по 40 семян из 2 корзинок)

Таблица 1 – Содержание олеиновой кислоты (%) в семенах подсолнечника F<sub>2</sub> и родительских линий  
ВНИИМК, Краснодар, 2014 г.

Генотип	$\bar{x}$	S $\bar{x}$	$\sigma$	S <sup>2</sup>	R	min	max
F <sub>2</sub> RNA416 × ЛГ27	51,6	1,1	10,1	102,6	51,5	17,2	68,7
F <sub>2</sub> ЛГ27 × RNA416	49,0	1,4	12,1	146,3	50,7	12,7	63,4
F <sub>2</sub> BK678 × ЛГ27	60,8	0,6	5,7	32,5	28,7	40,7	69,4
F <sub>2</sub> ЛГ27 × BK678	56,5	0,5	4,8	22,8	32,8	34,6	67,4
F <sub>2</sub> ЛГ26 × ЛГ27	81,9	1,6	14,0	195,6	51,9	40,8	92,7
F <sub>2</sub> ЛГ27 × ЛГ26	78,2	1,6	14,0	196,1	38,5	53,7	92,2
ЛГ27	66,1	0,5	4,2	17,8	22,5	53,7	76,2
RNA416	33,4	1,9	8,3	69,3	25,3	19,0	44,3
BK678	48,3	1,0	4,4	19,4	14,9	41,7	56,6
ЛГ26	87,9	0,2	0,8	0,7	2,7	86,5	89,2

В поколении F<sub>2</sub> от реципрокных скрещиваний ЛГ27 и ЛГ26 наблюдали однотипные расщепления на два дискретных фенотипических класса – среднеолеиновый и высокоолеиновый (рис. 3). В комбинации F<sub>2</sub> ЛГ26 × ЛГ27 расщепление

достоверно соответствует соотношению 3:1 ( $\chi^2 = 0,07$ ), т.е. наследованию доминантной мутации *O*. В обоих  $F_2$  присутствует положительная трансгрессия с появлением семян в так называемом супер-высокоолеиновом фенотипическом классе от 90 до 95%, т.е. сверхдоминирование признака с коэффициентом  $h/d=1,2$ . Вероятно, это является результатом рекомбинационного объединения в  $F_2$  генов высокоолеиновости и среднеолеиновости.

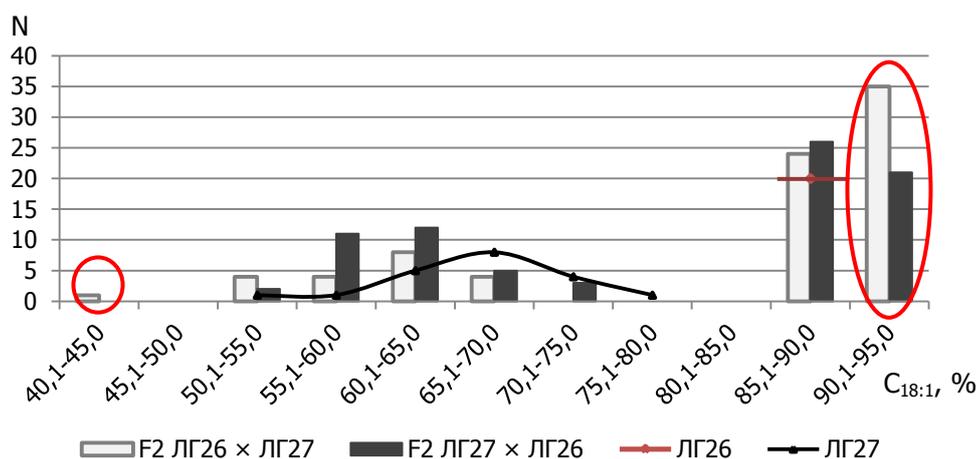


Рисунок 3 – Наследование в реципрокных  $F_2$  содержания олеиновой кислоты в отдельных семенах подсолнечника в скрещивании ЛГ27 и ЛГ26 (N = 80, по 40 семян из 2 корзинок)

Хроматографический анализ жирно-кислотного профиля семян  $F_3$  от реципрокных скрещиваний ЛГ27 с RHA416 и BK678 по всем комбинациям показал континуальное распределение значений уровня олеиновой кислоты с широким размахом варьирования от 19 до 30%. В реципрокных  $F_3$  от гибридизации ЛГ27 с высокоолеиновой ЛГ26 также отмечается распределение значений без четкого разделения на фенотипические классы (рис. 4). Для комбинаций BK678 × ЛГ27 и ЛГ27 × ЛГ26 появляются семена с содержанием олеиновой кислоты существенно ниже, чем у родительских линий. С другой стороны, как и в семенах  $F_2$  отмечено появление супер-высокоолеиновых семей с содержанием олеиновой кислоты более 90% (положительная трансгрессия).

Сопоставление значений признака в отдельных семенах  $F_2$  и самоопыленном потомстве  $F_3$  позволило провести оценку наследуемости на основе корреляции в ряду родитель-потомок. В скрещиваниях ЛГ27 с ЛГ28 и BK678 коэффициент корреляции содержания олеиновой кислоты  $r_{F_2-F_3}$  варьировал от недостоверных значений до средней положительной величины 0,54 (табл. 2). При гибридизации с высокоолеиновой линией ЛГ26 коэффициент корреляции  $r_{F_2-F_3}$  принимал только высокие положительные значения до 0,88, что обусловлено, вероятно, значительным влиянием мутации высокоолеиновости *O*.

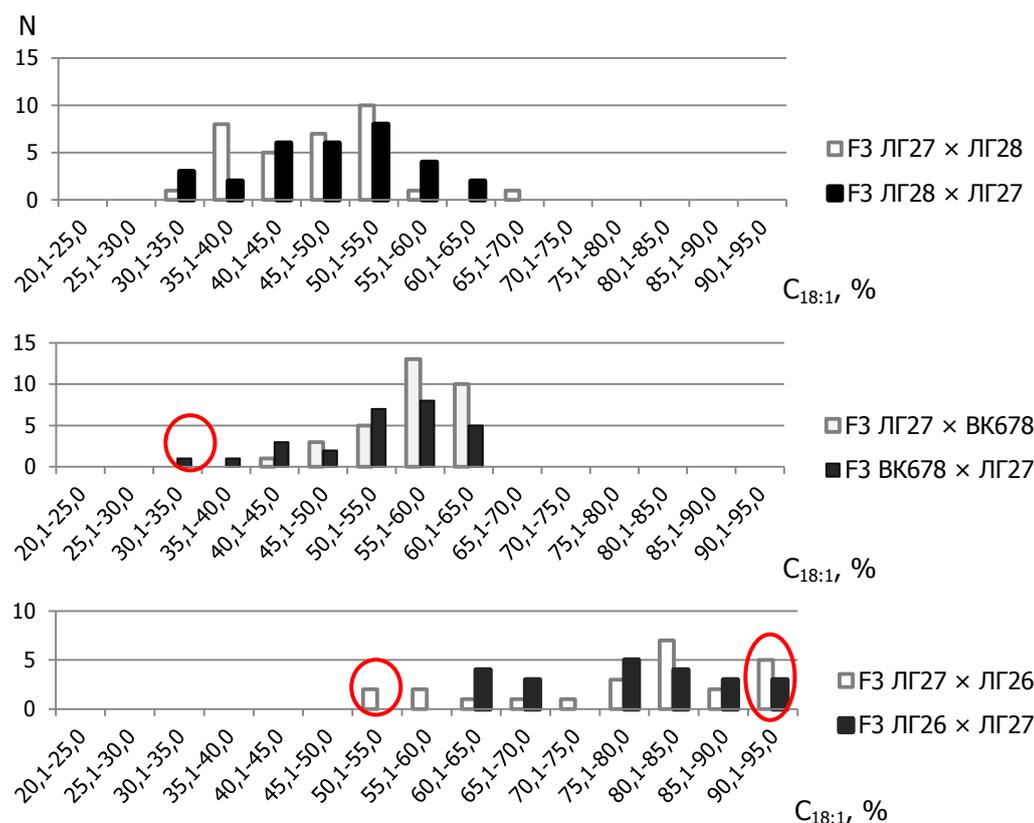


Рисунок 4 – Содержание олеиновой кислоты в средних пробах семян подсолнечника F<sub>3</sub>

Таблица 2 – Наследуемость содержания олеиновой кислоты в ряду родитель-потомок (F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>) у подсолнечника

ВНИИМК, Краснодар, 2013-2014 гг.

Скрещивание	Коэффициент корреляции $r_{F_2-F_3}$	Коэффициент детерминации (наследуемости) $d (h^2)$
ЛГ27 × ЛГ28	- 0,02	-
ЛГ28 × ЛГ27	0,54*	0,29
ЛГ27 × ВК678	0,26*	0,07
ВК678 × ЛГ27	- 0,10	-
ЛГ27 × ЛГ26	0,88*	0,77
ЛГ26 × ЛГ27	0,78*	0,61

\* - достоверно на 5%-ом уровне значимости

Коэффициент наследуемости (в узком смысле слова)  $h^2$ , оценивающий долю аддитивной генотипической изменчивости в общей фенотипической, составил от 0,07 до 0,77.

**Заключение.** Наследование признака среднеолеиновости линии ЛГ27 характеризуется отсутствием материнского наследования в поколениях F<sub>2</sub> и F<sub>3</sub>, аддитивным олигогенным контролем, наличием положительной и отрицательной трансгрессий.

Коэффициент наследуемости содержания олеиновой кислоты<sup>h2</sup> в комбинациях скрещиваний ЛГ27 с ЛГ28и ВК678 0,29 и 0,07 соответственно, говорит о низкой эффективности массового отбора по фенотипу, более высокой эффективности индивидуального отбора и последующего получения сублиний. При оценке коэффициента наследуемости в ряду родитель-потомок при гибридизации ЛГ27 и ЛГ26 получили высокие показатели – 0,61 и 0,77, что свидетельствует о гетерогенности по изучаемому признаку в поколениях F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>, и высокой эффективности селекционной работы в данном направлении.

*Благодарности.* Исследования проведены под руководством профессора, доктора биологических наук Демурина Я.Н.

#### Литература

1. CODEX STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS. Adopted 1999. Revisions 2001, 2003, 2009. Amendment 2005, 2011. – 16 p.
2. Солдатов К.И., Воскобойник Л.К., Харченко Л.Н. Высокоолеиновый сорт подсолнечника Первенец // Бюл. НТИ по масличным культурам. – 1976. – Вып. 3. – С. 3-7.
3. Urie A. L. Inheritance of very high oleic acid content in sunflower // In: Proc. 6th Sunflower Research Forum. – 1984. – P. 9-10.
4. Fick G. N. Inheritance of high oleic acid in sunflower // In: Proc. 6th Sunflower Research. – 1984. – P. 9.
5. Miller J.F., Zimmerman D.C., Vick B.A. Genetic control of high oleic acid content in sunflower oil // Crop Science. – 1987. – Vol. 27. – P. 923-926.
6. Fernandez-Martinez J. M., Jimenez A., Dominguez J. Genetic analysis of the high oleic acid content in cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.) // Euphytica. – 1989. – Vol. 41. – P. 39-51.
7. Demurin Y., Škorić D. Unstable expression of Ol gene for high oleic acid content in sunflower seeds // In: Proc. 14th International Sunflower Conference. – 12–20 June, Beijing, Shenyang, China. – 1996. – P. 145-150.
8. Demurin, Y., Efimenko S., Borisenko O. A screening for suppressor genotypes on a high oleic mutation in sunflower // In: Proc. 16th International Sunflower Conference. – August 29-September 2, Fargo, ND, USA. 2004. – Vol. 2. – P. 779-782.
9. Демурин, Я. Н. Генетический анализ и селекционное использование признаков состава жирных кислот и токоферолов в семенах подсолнечника: автореф. дис. ... доктора биол. наук. – Санкт-Петербург. – 1999. – 36 с.
10. Demurin Ya., Skoric D., Veresbaranji I., Jovic S. Inheritance of increased oleic acid content in sunflower seed oil // Helia. – 2000. – V. 23. – No 32. – P. 87-92.
11. Демурин Я. Н., Борисенко О. М. Наследование повышенного содержания олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника // Масличные культуры. Науч.-техн. бюлл. ВНИИМК. – 2011. – Вып. 2 (148–149). – С. 72-74.
12. Демурин Я.Н., Борисенко О.М., Чебанова Ю.В. Материнский эффект в наследовании признака среднеолеиновости масла в семенах подсолнечника у гибридов первого поколения // Масличные культуры. Науч.-техн. бюлл. ВНИИМК. – Краснодар, 2016. – Вып.1 (165) – С. 16-21.
13. Рокицкий, П.Ф. Введение в статистическую генетику. – Мн.: Вышэйш. Школа. – 1978. – 448 с.

## **THE INHERITANCE OF THE MID-OLEIC TRAIT OF LINE LG27**

**Chebanova Yu.V., Borisenko O.M.**

The authors studied the patterns of inheritance the mid-oleic trait in oil of seeds  $F_2$  and  $F_3$  obtained from crossing the line LG27 with the lines of three phenotypic classes: low-oleic LG 28 and RHA416, increased oleic VK678 and high-oleic LG26. The authors established the absence of maternal inheritance of the mid-oleic trait of line LG27 in  $F_2$  and  $F_3$ . The evaluation of heritability on the basis of correlation in the sequence parent-offspring showed a low efficiency of mass selection in accordance with phenotype, and a higher efficiency of individual selection and the subsequent production of sublimes.

*Keywords:* sunflower, oleic acid, mid-oleic, inheritance