

УДК 631.524.01: 633.584.54

**М. Е. Маслинская, Е. В. Иванова, Е. Л. Андроник**

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна», д. Устье Оршанского р-на Витебской обл.

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И ПУТЕВОЙ АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Установлены корреляционные связи между основными хозяйственно полезными признаками у 32 сортообразцов льна масличного (*Linum usitatissimum* L.), изученных в полевых и лабораторных условиях в 2011—2013 годах. Устойчивые по годам положительные корреляции отмечены между урожайностью и числом коробочек ( $r$  равно 0,505) и семян ( $r$  — 0,543) на растение, массой семян с растения ( $r$  — 0,346) и массой 1 000 семян ( $r$  равно –0,483). Полученные результаты свидетельствуют о том, что данные признаки оказывают значительное влияние на урожайность семян. Отбору по числу коробочек, числу семян, массе семян с растения и массе 1 000 семян следует уделить особое внимание при селекции на высокую продуктивность.

**Ключевые слова:** лён масличный, селекция, продуктивность, корреляционный анализ, путевой анализ.

**Введение.** Основной целью селекции льна масличного остаётся создание сортов с высокой урожайностью и качеством семян. Формирование продуктивности сортов культуры представляет большой интерес для теоретических исследований и селекционной практики. Урожайность — многозначный признак, который наследуется полигенно и, таким образом, сильно зависит от условий окружающей среды. Путём прямого отбора по урожайности незначительный успех может быть достигнут в течение длительного периода времени. Для применения в дальнейшей селекционной работе выделенных наиболее ценных источников по отдельным признакам и комплексу хозяйственно-полезных элементов необходимо использовать и их количественную изменчивость и корреляцию.

Имеющиеся в литературе сведения о корреляции признаков льна масличного отрывочны и не дают полной картины их взаимосвязи. Впервые корреляционные зависимости между морфологическими признаками льна-долгунца и процентом содержания волокна в стеблях установил Н. А. Дьяконов в 1929 году. На основании полученных результатов он предложил методы селекции этой культуры, направленные на повышение урожая волокна. На масличном льне корреляции между

основными признаками изучали В. П. Бойцова, О. И. Рыжеева, И. М. Шиндин и др. [1]. Они установили, что прямое влияние на урожай семян льна оказывают количество побегов, коробочек на растении, масса 1 000 семян и продолжительность вегетационного периода.

Многочисленные исследования зарубежных учёных доказывают взаимосвязи между урожайностью семян льна масличного, количеством коробочек и количеством побегов [2], между урожайностью семян и массой 1 000 семян [3], урожайностью семян и высотой растений [4]. При этом высота растения — сильный фактор, влияющий на урожай семян, затем (в порядке убывания) — число семян в коробочке, количество коробочек на растении, масса 1 000 семян и количество ветвей первого порядка [5]. Отрицательные корреляции были отмечены между количеством семян в коробочке и массой 1 000 семян.

Оригинальный метод анализа связей между причинами и следствиями, получивший название метода коэффициента путей, разработал С. Райт [6]. В отличие от корреляционного анализа, метод коэффициентов путей учитывает не только корреляции между отдельными признаками, но и взаимоотношения между ними. Он позволяет определить степень, с которой изменчивость данного признака

в пределах группы детерминируется с изменчивостью ряда факторов или причин, объединённых в некую определённую систему [7].

В Беларуси информация по данным аспектам у льна масличного крайне ограничена. Таким образом, существует необходимость получения сведений о взаимосвязи урожайности и её компонентов у генотипов данной культуры.

#### **Материалы и методы исследования.**

Объектами исследования были сортообразцы коллекционного питомника льна масличного (Брестский, Fr-646, ICA-32, Norlin, Fr-681, Barbara, Bison, L-26, Arny, Лерур, CL-2820, Fr-704, Lobauer blau, Raluca, Айсберг, Південна ніч, Орфей, Wndorn, Rust resistant, Winona sel., Koto, Vimy, Sandra, Z-bienne, Buko, Atalante, McGregor, Mivast, Ligehtning, AC Carnduff, Stormont Gassamer, Воронежский).

Закладку опытов проводили в течение трёх лет (в 2011—2013 годах) на полях РДНУП «Институт льна». Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая, развивающаяся на лёссовидном суглинке, подстилаемая с глубины 1 м морской, среднеобеспеченная по содержанию основных питательных веществ и гумуса.

При проведении исследований руководствовались методиками проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами [8] и изучения коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) [9]. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [10]. Содержание жира в семенах льна определяли согласно требованиям стандарта (ГОСТ 10857-64) экстракцией этиловым эфиром путём прямого подсчёта количества экстрагированного масла. Однако при проведении большого количества анализов удобнее пользоваться методом Рушковского, где количество жира определяют по сухому остатку. Принцип метода заключается в экстрагировании жира эфиром из обезвоженной растительной навески и последующим её взвешиванием.

Метеорологические условия в годы проведения исследований различались между собой по температурному режиму, количеству, характеру и периодичности выпадения осадков, что способствовало более объективной оценке коллекционного материала по основным хозяйственно-ценным признакам.

Опыты закладывали в трёхкратной повторности. Площадь делянки — 1 м<sup>2</sup>, глубина заделки семян 2—3 см, норма высева — 1 000 шт. / м<sup>2</sup>, ширина междурядий — 10 см. Учёт урожая проводили по мере созревания основной массы (около 80% коробочек) на делянках.

Проводился анализ парных корреляций и путевых коэффициентов по основным элементам продуктивности у сортообразцов льна масличного различного эколого-географического происхождения, выявлялись влияние изучаемых признаков на урожайность и признаки-индикаторы урожайности, которые можно использовать в селекционной работе для повышения потенциала продуктивности этой культуры.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для выявления взаимосвязи элементов продуктивности льна масличного проведены корреляционный и путевой анализы, определены средние значения коэффициентов корреляции (таблица 1, см. с. 68). Отмечено, что для корреляционных комплексов признаков продуктивности характерно преобладание положительного типа связей, степень которых варьирует в зависимости от условий среды и признака.

Установлены устойчивые по годам положительные корреляции между урожайностью и числом коробочек ( $r$  равно 0,505) и семян ( $r$  — 0,543) на растение, массой семян с растения ( $r$  — 0,346) и массой 1 000 семян ( $r$  равно -0,483). Согласно литературным данным, эти связи определяются условиями окружающей среды и генотипической природой сортообразцов.

Т а б л и ц а 1 — Матрица коэффициентов парных корреляций признаков про дуктивности сортов образцов льна масличного (среднее за 2011—2013 годы)

Номер	Признак	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Урожайность, г/м <sup>2</sup>	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Высота растений, см	0,284	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Техническая длина, см	0,220	0,778***	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Число коробочек / растение, шт.	0,505*	0,534*	0,103	1,000	—	—	—	—	—	—	—
5	Число семян / растение, шт.	0,543*	0,601**	0,297	0,849***	1,000	—	—	—	—	—	—
6	Масса семян с растением, г	0,396	0,711***	0,401	0,831***	0,930***	1,000	—	—	—	—	—
7	Масса 1 000 семян, г	-0,483*	0,016	0,095	-0,174	-0,369	-0,022	1,000	—	—	—	—
8	Продолжительность вегетационного периода, дней	-0,028	0,610**	0,746***	0,078	0,378	0,546*	0,277	1,000	—	—	—
9	Продолжительность периода «входы—цветение», дней	0,299	0,492*	0,761***	0,063	0,235	0,333	0,161	0,671**	1,000	—	—
10	Продолжительность периода «цветение—созревание», дней	-0,229	0,484*	0,490*	0,062	0,344	0,502*	0,260	0,880***	0,239	1,000	—
11	Содержание масла, %	-0,631**	-0,120	0,010	-0,343	-0,321	-0,111	0,585**	0,327	-0,044	0,457*	1,000

Примечание. Знаком «\*» отмечен показатель умеренной корреляционной связи (0,30—0,49); «\*\*» — средней корреляционной связи (0,50—0,69); «\*\*\*» — сильной корреляционной связи (более 0,70).

Т а б л и ц а 2 — Прямое и косвенное воздействие компонентов урожайности на урожайность семян и их соотношения

Признак	Высота растения, см	Техническая длина, см	Число коробочек / растение, шт.	Число семян / растение, шт.	Масса семян / растение, г	Масса 1 000 семян, г	Вегетационный период, дней	Период «всходы—цветение», дней	Период «цветение—созревание», дней	Содержание масла, %
Высота растения, см	<b>-0,613</b>	0,395	0,183	-0,875	1,240	-0,012	0,865	-0,278	-0,658	0,037
Техническая длина, см	-0,477	<b>0,506</b>	0,036	-0,432	0,698	-0,07	1,059	-0,43	-0,667	-0,003
Число коробочек / растение, шт.	-0,327	0,052	<b>0,345</b>	-1,237	1,448	0,127	0,111	-0,036	-0,084	0,106
Число семян / растение, шт.	-0,368	0,151	0,293	<b>-1,455</b>	1,622	0,271	0,536	-0,133	-0,468	0,100
Масса семян / растение, г	-0,436	0,203	0,286	-1,353	<b>1,745</b>	0,016	0,775	-0,188	-0,682	0,035
Масса 1 000 семян, г	-0,010	0,048	-0,06	0,539	-0,037	<b>-0,734</b>	0,394	-0,091	-0,351	-0,181
Вегетационный период, дней	-0,374	0,378	0,027	-0,55	0,953	-0,204	<b>1,420</b>	-0,379	-1,197	-0,102
Период «всходы—цветение», дней	-0,301	0,384	0,022	-0,343	0,581	-0,119	0,952	<b>-0,565</b>	-0,326	0,014
Период «цветение—созревание», дней	-0,296	0,249	0,021	-0,501	0,877	-0,191	1,249	-0,135	<b>-1,360</b>	-0,142
Содержание масла, %	0,074	0,005	-0,117	0,469	-0,192	-0,430	0,465	0,025	-0,619	<b>-0,311</b>

*Примечание.* Жирным цветом выделены показатели прямого воздействия компонентов.

Стабильные корреляции средней силы отмечены между массой 1 000 семян и содержанием масла ( $r = 0,585$ ). Масса 1 000 семян достоверно отрицательно коррелирует с числом семян на растение ( $r$  равно  $-0,369$ ).

Массу семян с растения определяют вегетационный период и его составные части ( $r$  равно  $0,546$ ;  $0,333$  и  $0,502$  соответственно).

Высота и техническая длина имеют стабильно высокую корреляционную связь ( $r$  равно  $0,778$ ). Также сильная корреляционная связь отмечена между продолжительностью вегетационного периода и его составных частей ( $r$  равно  $0,671$  и  $0,880$  соответственно).

Стабильная по годам корреляция средней силы, отмеченная между высотой и числом коробочек на растение ( $r$  равно  $0,534$ ), говорит о том, что при увеличении высоты растения количество коробочек на нём тоже увеличивается.

Часто знание только коэффициентов корреляции вводит в заблуждение, так как наблюдаемые корреляции не всегда бывают верны. Два признака могут коррелировать только потому, что они коррелируют с общим третьим. В таких случаях возникает необходимость использовать метод, который учитывает причинно-следственную связь между переменными, в дополнение к степени этих отношений [11].

Путевой анализ основан на изучении всей структуры причинных связей между переменными, т. е. на построении графа связей и изоморфной ему рекурсивной системы уравнений. Его основным положением является то, что оценки стандартизованных коэффициентов рекурсивной системы уравнений, которые интерпретируются как коэффициенты влияния (путевые коэффициенты), рассчитываются на основе коэффициентов парной корреляции. Это позволяет проанализировать структуру корреляционной связи с точки зрения причинности. Каждый коэффициент парной корреляции рассматривается как мера полной связи двух переменных. Путевой анализ позволяет разложить величину этого коэффициента на компоненты, т. е. произвести декомпозицию

корреляции  $r_{ij}$  [12]. Основные понятия причинного анализа — путевая (структурная, причинная) диаграмма, причинный (путевой) коэффициент, прямые, косвенные и мнимые компоненты связи между признаками.

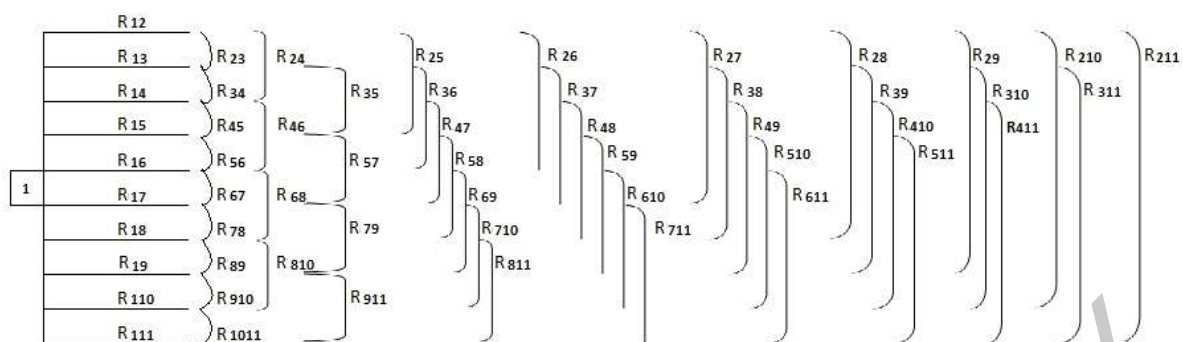
Путевая диаграмма графически отражает гипотетически предполагаемые причинные, направленные связи между признаками модели. Построение диаграммы связей исследуемых признаков с урожайностью льна масличного является необходимой предпосылкой математического формулирования системы статистических уравнений, отражающей влияния, представленные на диаграмме (рисунок 1).

Данные по воздействию компонентов, слагающих урожайность семян масличного льна-долгунца, представлены ниже (таблица 2, см. с. 69).

Следует заметить, что путевые коэффициенты, как и другие коэффициенты регрессии, могут быть больше 1. При разложении коэффициента парной корреляции между урожайностью и высотой растения ( $r$  равно  $0,284$ ) на компоненты прямого и косвенного влияния оказалось, что прямое влияние высоты растения на урожайность отрицательно и достаточно значимо ( $r$  равно  $-0,613$ ), при этом наибольшее косвенное влияние на урожайность оказали следующие признаки: «масса семян с растения» ( $1,240$ ) и «продолжительность вегетационного периода» ( $0,865$ ). Значительным отрицательным было косвенное влияние признаков «число семян на растение» ( $-0,875$ ) и «продолжительность периода «цветение—созревание»» ( $-0,658$ ).

Высоким и положительным оказалось прямое влияние технической длины растения на урожайность ( $0,506$ ), значительное косвенное влияние на значение коэффициента корреляции между данными компонентами обнаруживали масса семян с растения ( $0,698$ ) и вегетационный период ( $1,059$ ). Также значительным, но отрицательным было косвенное влияние периода «цветение—созревание» ( $-0,667$ ).

Прямое влияние числа коробочек на растении на урожайность имело величину  $0,345$ ,



**Рисунок 1** — Путевая диаграмма для десяти компонент переменных: высота растения (2), техническая длина растения (3), число коробочек на растение (4), число семян на растение (5), масса семян на растение (6), масса 1 000 семян (7), вегетационный период (8), период «всходы—цветение» (9), период «цветение—созревание» (10), содержание масла (11) и урожайность как основной признак (1)

а высокая общая корреляция данного признака на урожайность сформировалась благодаря высокому косвенному влиянию числа и массы семян с растения ( $-1,247$  и  $1,448$  соответственно).

При определении прямого влияния числа семян на растение на урожайность отмечалось, что оно оказалось значительным и отрицательным ( $-1,455$ ), стабильная парная корреляция средней силы между данными признаками сформировалась благодаря высокому косвенному влиянию массы семян с растения ( $1,622$ ) и продолжительности вегетационного периода ( $0,536$ ).

При разложении коэффициента парной корреляции между массой семян с растения и урожайностью ( $r$  равно  $0,346$ ) прямое влияние данного признака на урожайность оказалось значительным ( $1,745$ ), также высоким было косвенное отрицательное влияние числа семян на растение ( $-1,353$ ) и положительное — вегетационного периода ( $0,775$ ).

Прямое влияние массы 1 000 семян на урожайность оказалось значительным и отрицательным ( $-0,734$ ), при общей корреляции средней силы между данными компонентами ( $r$  равно  $-0,483$ ), положительное косвенное влияние на урожайность выявил признак «количество семян с растения» ( $0,539$ ).

Так как коэффициенты парной корреляции между урожайностью и вегетационным периодом и его составными частями имели низкие значения, то останавливаться на разложении их на прямое и косвенное влияние не стоит.

Значительный интерес представляет отрицательная корреляция средней силы между урожайностью и содержанием масла ( $r$  равно  $-0,631$ ). Прямое влияние данного признака на урожайность оказалось средним, при этом высоким было косвенное влияние продолжительности периода «цветение—созревание» ( $-0,619$ ).

**Заключение.** В результате изучения 32 сортообразцов льна масличного (*Linum usitatissimum* L.) в полевых и лабораторных условиях в 2011—2013 годах устойчивые корреляционные связи отмечены между урожайностью и основными хозяйственно полезными признаками: числом коробочек ( $r$  равно  $0,505$ ) и семян ( $r$  —  $0,543$ ) на растение, массой семян с растения ( $r$  —  $0,346$ ) и массой 1000 семян ( $r$  равно  $-0,483$ ). Определено прямое влияние данных компонентов на урожайность: по числу коробочек его значение составило  $0,345$ , высокая же общая корреляция данного признака с урожайностью обусловлена высоким косвенным влиянием

числа и массы семян с растения (–1,247 и 1,448 соответственно). Прямое влияние признака «масса семян с растения» на урожайность было значительным и отрицательным, а среднее значение парной корреляции его с урожайностью сформировалась благодаря высокому косвенному влиянию массы семян с растения (1,622) и продолжительности вегетационного периода (0,536). И лишь прямое влияние массы 1 000 семян на урожайность оказалось значительным (–0,734).

### Список цитированных источников

1. Лён масличный: селекция, семеноводство, технология возделывания и уборки / под общ. ред. Н. И. Бочкарёва. — Краснодар : [б. и.], 2008. — 193 с.
2. Can, R. R. A. Research on some agronomic characteristics of linseed varieties and lines / R. R. A. Can, S. Yuce, I. Demir // Proceedings of Plant Breeding : the 4th Field Crops Congress of Turkey / University of Trakya, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Sept. 17—21, Tekirdağ- Turkey (Turkish). — 2001. — Vol 1.
3. Kaynak, M. A. Determination of correlation among characters with effects of different amount of seed on yield and yield components of oilseed flax / M. A. Kaynak ; Harran University, J. Fac. Agric. — 1998. — № 2. — P. 55—64.
4. Relationship among some agronomic characteristics in flax / R. R. A. Can [et al.] // Proceedings of Plant Breeding : the 5th Field Crops Congress of Turkey / University of Dicle, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 13—17 Oct. 2003, Diyarbakir-Turkey (Turkish). — 2003. — Vol. I.
5. Nie, Z. X. C. Path analysis of characters correlated with seed yield in flax (*Linum usitatissimum* L.) / Z. X. C. Nie, F. T. Shi, X. X. Chen Zhu, CAB Abstract, A.N: 951609642. — 1995.
6. Wright, S. The theory path coefficients / S. Wright // Genetics. — 1923. — № 8. — 180 p.
7. Paroda, R. S. Correlation path coefficients and the implication of discriminant function for selection in wheat (*T. aestivum* L.) / R. S. Paroda, A. B. Josshi // Heredity. — 1970. — Vol. 25, № 3. — P. 382—392.
8. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / В. М. Лукомец [и др.] ; под общ. ред. В. М. Лукомца. — Краснодар : [б. и.], 2010. — 327 с.
9. Изучение коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) : метод. указания / авт.-сост. С. Н. Кутузова, А. Г. Питько. — Л. : [б. и.], 1988. — 23 с.
10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М. : Колос, 1979. — 416 с.
11. Khan, H. Correlation and path coefficient analysis of some quantitative traits in wheat / M. H. Khan, A. N. Dar // African Crop Science Journal. — Vol. 18, № 1. — P. 9—14.
12. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Ферстер, Б. Ренц. — М. : Финансы и статистика, 1983.
13. Singh, R. C. Biometrical methods in quantitative genetic analysis / R. C. Singh, B. D. Chaudhary // Revised edn. Kalyani Publishers. — Ludhiana : [s. n.], 1985. — P. 39—80.

Материал поступил в редакцию 30.05.2014 г.

Correlation ties among principal economic traits with 32 variety of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) studied in field and laboratory conditions in 2011—2013 are discovered. Steady yearly positive correlations among yield and the number of boxes ( $r$  is 0,505) and seeds ( $r$  — 0,543) per plant; weight of seeds taken from one plant ( $r$  — 0,346) and weight of 1 000 seeds ( $r$  is –0,483) are registered. The obtained results show that these features greatly influence crop yield. To achieve high yield much attention should be paid to selection with due regard to the number of boxes, the number of seeds, weight of seeds collected from one plant and weight of 1 000 seeds while selecting.

**Key words:** oil flax, selection, productivity, correlation analysis, road analysis.