



Научная статья
 УДК 633.854.54:631.526.32:001.53
 doi: 10.55186/25876740_2023_66_4_377

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЯН И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА ЛЬНА МАСЛИЧНОГО ПЕРСПЕКТИВНОГО СОРТА ЕРМАК

В.Н. Бражников

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

Аннотация. Лен — одно из ценнейших сельскохозяйственных растений. По биологической ценности льняное масло занимает одно из первых мест среди других пищевых растительных масел. Различное соотношение жирных кислот позволяет использовать его на пищевые и технические цели. Цель исследований — изучить влияние гидротермических условий на урожайность, содержание и жирнокислотный состав масла семян льна масличного сорта Ермак, а также проанализировать связь биохимического состава масла с гидротермическими показателями основных фаз органогенеза. Эксперименты выполняли в ФГБНУ ФНЦ ЛК — ОП «Пензенский НИИСХ» в 2013–2021 гг. Материалом для исследования служил сорт Ермак, имеющий измененный жирнокислотный состав (ЖКС) масла. Работу выполняли согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур». Идентификацию и определение содержания высокомолекулярных жирных кислот выполняли методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.1». Коэффициенты корреляции между урожайностью, масличностью семян, содержанием сырого протеина и гидротермическими условиями в отдельные межфазные периоды роста и развития льна варьировали в пределах $r=-0,91-0,92$. Определены жирные кислоты, содержание которых слабо изменялось в зависимости от метеоусловий: маргаринолеиновая — 0,041% ($C_v=4,7\%$), пальмитиновая — 5,368% ($C_v=6,8\%$), маргариновая — 0,063% ($C_v=7,7\%$), линолевая — 38,639% ($C_v=8,4\%$) и α -линоленовая — 34,939% ($C_v=9,9\%$). Установлена зависимость содержания жирных кислот как между собой ($r=-0,77-0,96$), так и их сопряжение с гидротермическими условиями ($r=-0,87-0,90$). Наибольшее влияние на ЖКС масла (качество) оказали гидротермические условия периодов бутонизация-цветение и цветение-созревание (среднесуточная температура, сумма активных температур и ГТК). Требуемый ЖКС масла получен во все годы исследований, что обусловлено геномом сорта Ермак. Создана математическая модель сорта. Установленные зависимости следует учитывать в селекционной работе, направленной на создание новых сортов льна масличного, а также в производстве для прогнозирования не только урожайности, но и масличности семян, а также ЖКС масла.

Ключевые слова: лен масличный (*Linum usitatissimum* L.), сорт Ермак, урожайность, масличность, корреляция, жирнокислотный состав масла, ГТК, уравнение регрессии

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ FGSS-2022-0008). Выражаем благодарность Бражниковой О.Ф., кандидату сельскохозяйственных наук, лаборанту-исследователю лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур».

Original article

INFLUENCE OF HYDROTHERMAL CULTIVATION CONDITIONS ON SEED PRODUCTIVITY AND FATTY ACID COMPOSITION OF FLAX OIL PROMISING VARIETY ERMAK

V.N. Brazhnikov

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

Abstract. Flax is one of the most valuable agricultural plants. In terms of biological value, linseed oil occupies one of the first places among other edible vegetable oils. A different ratio of fatty acids allows it to be used for food and technical purposes. The purpose of the research is to study the effect of hydrothermal conditions on the yield, content and fatty acid composition of linseed oil of the Ermak oil variety, as well as to analyze the relationship between the biochemical composition of the oil and the hydrothermal parameters of the main phases of organogenesis. The experiments were carried out at the Federal Research Center for Bast Fiber Crops — Separate division “Penza Research Institute of Agriculture” in 2013–2021. The material for the study was the Ermak variety, which has a modified FAC (fatty acid composition) of the oil. The work was carried out according to the “Methodology of the state variety testing of agricultural crops”. Identification and determination of the content of high molecular weight fatty acids was performed by gas-liquid chromatography on a “Kristall 5000.1” chromatograph. The correlation coefficients between yield, seed oil content, crude protein content and hydrothermal conditions in individual interphase periods of growth and development of flax varied within $r=-0,91-0,92$. Fatty acids were determined, the content of which slightly changed depending on weather conditions: margarinoleic — 0.041% (CV=4.7%), palmitic — 5.368% (CV=6.8%), margarine — 0.063% (CV=7.7%), linoleic — 38.639% (CV=8.4%) and α -linolenic — 34.939% (CV=9.9%). The dependence of the content of fatty acids both among themselves ($r=-0,77-0,96$) and their conjugation with hydrothermal conditions ($r=-0,87-0,90$) was established. The hydrothermal conditions of the periods of budding–blooming and flowering–ripening (average daily temperature, sum of active temperatures and HTC) had the greatest influence on the FAC of the oil (quality). The required FAC of oil was obtained in all years of research, which is due to the genome of the Ermak variety. A mathematical model of the variety has been created. The established dependencies should be taken into account in breeding work aimed at creating new varieties of oilseed flax, as well as in production to predict not only yield, but oil content of seeds and oil FAC.

Keywords: oil flax (*Linum usitatissimum* L.), variety Ermak, yield, oil content, correlation, fatty acid composition of oil, SCC, regression equation

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the State Assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (No. FGSS-2022-0008). We express our gratitude to Brazhnikova O.F., candidate of agricultural sciences, laboratory assistant-researcher of the laboratory of breeding technologies of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.

Введение. Лен масличный (*Linum usitatissimum* L.) — одна из наиболее востребованных масличных культур в мире. Современная селекция направлена на создание высокопродуктивных сортов с оптимальными биохимическими

характеристиками семян, необходимыми для пищевого и промышленного производства. Важнейшим показателем в селекции масличных культур является содержание масла в семенах — основного продукта, ради которого их

возделывают [1]. По биологической ценности льняное масло занимает первое место среди других пищевых растительных масел [2, 3]. В последние годы научными организациями России, Австралии и Канады начаты работы по созданию

сорт с измененным жирнокислотным составом масла [4]. В ФГБНУ ФНЦ ЛК выведен сорт Ермак, значительно превосходящий по продуктивности районированные сорта. В 2019 г. он передан на Государственное сортоиспытание. С 2022 г. сорт включен в Государственный реестр допущенных к использованию селекционных достижений. Особенностью сорта является измененный жирнокислотный состав масла: содержание линолевой кислоты составляет 39,97%, линоленовой — 33,90%. Такое соотношение жирных кислот позволяет использовать масло для технических и пищевых целей. Сорт награжден золотой медалью выставки «Агрорусь 2022 г.».

Содержание и жирнокислотный состав (ЖКС) масла — генетически закрепленные признаки. Тем не менее метеосостояние региона выращивания могут оказывать влияние на накопление масла и его состав. Связь масличности с продолжительностью вегетационного периода более или менее постоянна [4]. Связь урожайности семян с их масличностью, а также продолжительностью вегетационного периода модификационная (временная) [1]. Установлена положительная корреляция между продолжительностью всего периода вегетации, межфазного периода всходы-цветение и содержанием насыщенных кислот (пальмитиновой, стеариновой). Больше накопление линолевой кислоты отмечено у образцов с более продолжительным вегетационным периодом ($r=0,583$) [5]. Увеличению содержания линолевой и линоленовой кислот способствуют обильные осадки при температуре ниже 20°C. Сухая и жаркая погода способствует увеличению доли олеиновой кислоты [6]. Ее содержание отрицательно коррелирует с общей продолжительностью вегетационного периода ($r=-0,622$), продолжительностью периода всходы-цветение ($r=-0,517$) и цветение-созревание ($r=-0,403$) [5]. На проявление масличности семян у сортов и гибридов льна большое влияние оказывают внешние условия, складывающиеся в период маслообразовательного процесса [7].

В ранее проведенных исследованиях использовали в качестве объектов сорта с традиционным ЖКС масла, кроме того, все они велись в совершенно иных почвенно-климатических условиях. Новый перспективный сорт льна масличного Ермак имеет измененный ЖКС масла, что характеризует исследования по влиянию агроклиматических условий на продуктивность и ЖКС масла весьма актуальными.

Цель исследований — изучить влияние гидротермических условий на урожайность, содержание и жирнокислотный состав масла семян льна масличного сорта Ермак, а также проанализировать связь биохимического состава масла с гидротермическими показателями основных фаз органогенеза.

Материалы и методы исследований. Работу выполняли в ФГБНУ ФНЦ ЛК — ОП «Пензенский НИИСХ» в 2013-2021 гг. Почва опытного участка — чернозем выщелоченный мощный тяжелосуглинистый со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса — 4,63%, легкогидролизуемых форм азота — среднее, подвижного фосфора — высокое, обменного калия — повышенное, кислотность согласно $pH_{вод}$ — слабокислая, по $pH_{сon}$ — среднекислая.

Материалом для исследования служил лен масличного сорта Ермак. При выполнении исследований использовали «Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур» [8], «Методику Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур» [9], «Методические указания по селекции льна-долгунца» [10], «Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов» [11].

Идентификацию и определение содержания высокомолекулярных жирных кислот (ВЖК) триацилглицеролов масла выполняли мето-

дом газожидкостной хроматографии по ГОСТ Р 51483-99 [12]. Разделение метиловых эфиров проводили на хроматографе «Кристалл 5000.1». Содержание масла в семенах льна определяли по методу Лебедянцева-Раушковского [13].

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [14].

Результаты исследований. Метеорологические условия в годы исследований были разнообразны и достаточно полно отражали особенности лесостепной зоны Среднего Поволжья (табл. 1).

Таблица 1. Гидротермические условия роста и развития льна по межфазным периодам (2013-2021 гг.)
Table 1. Hydrothermal conditions for the growth and development of flax by interphase periods (2013-2021)

Показатель	Год	Межфазный период					Вегетационный период
		посев-всходы	всходы-елочка	елочка-бутонизация	бутонизация-цветение	цветение-созревание	
Продолжительность, сутки	2013	8	6	33	8	53	100
	2014	11	9	23	9	54	95
	2015	5	8	22	8	54	92
	2016	10	5	34	8	44	91
	2017	9	7	30	5	60	102
	2018	9	13	25	6	49	93
	2019	14	6	24	5	56	91
	2020	9	6	36	7	53	102
	2021	9	6	28	10	45	89
Среднесуточная температура воздуха, °C	2013	18,5	16,3	18,7	22,5	18,6	18,8
	2014	13,7	20,3	19,6	14,7	20,4	19,6
	2015	13,1	18,0	21,4	23,4	20,6	20,8
	2016	16,5	13,7	19,0	20,9	22,9	20,8
	2017	13,2	12,3	17,4	16,6	20,3	18,7
	2018	17,1	13,8	17,0	24,0	20,5	18,9
	2019	14,9	15,3	18,5	21,4	18,0	18,3
	2020	13,8	10,7	17,3	19,9	19,0	17,9
	2021	18,8	22,3	17,8	24,8	22,7	21,7
Сумма активных температур, °C	2013	148,1	98,0	617,6	179,7	986,4	1881,7
	2014	151,1	183,1	449,9	132,2	1099,0	1864,3
	2015	65,7	143,6	470,4	187,4	1110,0	1911,0
	2016	164,8	68,5	645,7	167,0	1009,5	1890,7
	2017	118,8	86,2	522,7	82,8	1219,0	1911,0
	2018	154,0	179,0	426,0	144,0	1006,0	1755,0
	2019	208,0	107,0	518,0	107,0	1012,0	1744,0
	2020	124,0	64,0	622,0	139,0	1005,0	1830,0
	2021	169,0	134,0	526,0	248,4	1023,0	1931,4
Количество осадков, мм	2013	1,0	35,3	69,6	2,6	128,8	236,3
	2014	8,3	1,7	13,2	15,1	61,9	91,9
	2015	0,0	3,0	17,5	48,4	204,1	273,0
	2016	15,3	4,2	93,2	22,1	105,2	224,7
	2017	35,7	27,5	10,2	5,5	77,7	120,9
	2018	3,4	27,1	10,0	3,4	32,5	73,0
	2019	10,5	13,3	11,9	0,0	103,8	129,0
	2020	21,4	19,8	60,8	0,0	99,7	180,3
	2021	1,4	2,8	28,0	60,0	76,8	167,6
ГТК (по Селяинову)	2013	0,07	3,60	1,13	0,14	1,31	1,26
	2014	0,55	0,09	0,29	1,14	0,56	0,95
	2015	0,00	0,21	0,37	2,58	1,84	1,43
	2016	0,93	0,61	1,44	1,32	1,04	1,19
	2017	3,01	3,19	0,20	0,66	0,64	0,63
	2018	0,22	1,51	0,23	0,24	0,32	0,42
	2019	0,50	1,24	0,23	0,0	1,03	0,74
	2020	1,73	3,09	0,98	0,0	0,99	0,99
	2021	0,08	0,21	0,53	2,42	0,75	0,87



Посев льна осуществляли: в 2013 г. — 14 мая, в 2014 г. — 4 мая, в 2015 г. — 13 мая, в 2016 г. — 6 мая, в 2017 г. — 18 мая, в 2018 г. — 12 мая, в 2019 г. — 30 апреля, в 2020 г. — 4 мая и в 2021 г. — 9 мая. В целом, по условиям увлажнения в период вегетации растений, годы исследований следует разделить: 2013, 2016 гг. — обеспеченного увлажнения (ГТК — 1,26, 1,19), 2014, 2019, 2020, 2021 гг. — засушливые (ГТК — 0,95, 0,74, 0,99, 0,87). В 2015 г. отмечали избыточное увлажнение (ГТК — 1,43). Как сухой характеризуется 2017 г. (ГТК — 0,63), 2018 г. — острозасушливый (ГТК — 0,42). Наименьшая сумма активных температур отмечена в 2019 г. (1744,0°C), наибольшая — в 2021 г. (1931,4°C). Самым сухим выдался 2018 г. — всего за вегетацию выпало 73,0 мм осадков, наиболее их количество было в 2015 г. — 273,0 мм. Все это оказало значительное влияние на рост, развитие и продуктивность льна.

В результате исследований установлено, что урожайность семян зависела от гидротермических условий. Среднее значение составило 1,64 т/га при величине коэффициента вариации $C_v=18,6\%$, что говорит о средней стабильности признака. Большая урожайность семян (2,20 т/га) получена в условиях избыточного увлажнения 2015 г., меньшее значение данного показателя (1,25 т/га) определено в более засушливом 2020 г. (табл. 2).

Урожайность семян в большей степени зависела от продолжительности среднесуточной температуры воздуха и суммы активных температур в период елочка-бутонизация

($r=-0,91, 0,90$ и $-0,79$), продолжительности и суммы активных температур в период всходы-елочка ($r=0,72$ и $0,81$) (табл. 3). Наиболее тесное сопряжение данного показателя с гидротермическими условиями критических периодов бутонизация-цветение и цветение-созревание определено с количеством осадков и ГТК ($r=0,48, 0,60$ и $0,51, 0,43$).

Уравнения регрессии будут выглядеть следующим образом:

$$Y=6,0201-0,259 \times X+0,0036 \times X^2$$

$$Y=1,50537-0,180 \times X_1+0,00994 \times X_1^2$$

$$Y=12,0516-0,0350 \times X_2+0,0000288 \times X_2^2$$

$$Y=1,526-0,125 \times X_3+0,0207 \times X_3^2$$

$$Y=0,536+0,0140 \times X_4-0,0000330 \times X_4^2$$

$$Y=1,428+0,0251 \times X_5-0,000328 \times X_5^2$$

$$Y=1,480+0,0724 \times X_6+0,0406 \times X_6^2$$

$$Y=2,945-0,0254 \times X_7+0,000107 \times X_7^2$$

$$Y=2,850-2,638 \times X_8+1,243 \times X_8^2$$

где: Y — урожайность семян, т/га; X — продолжительность межфазного периода елочка-бутонизация, дн.; X_1 — средняя температура межфазного периода елочка-бутонизация, °C; X_2 — сумма активных температур межфазного периода елочка-бутонизация, °C; X_3 — продолжительность межфазного периода всходы-елочка, дн.; X_4 — сумма активных температур межфазного периода всходы-елочка, °C; X_5 — количество осадков межфазного периода

бутонизация-цветение, мм; X_6 — ГТК межфазного периода бутонизация-цветение; X_7 — количество осадков межфазного периода цветение-созревание, мм; X_8 — ГТК межфазного периода цветение-созревание.

Таким образом, оптимальными для получения максимальной урожайности семян являются следующие условия: продолжительность межфазного периода елочка-бутонизация — 22-23 дня при средней температуре — 20,5-21,5°C и сумме активных температур — 453,0-474,0°C, продолжительность межфазного периода всходы-елочка — 8-9 суток, сумма активных температур за межфазный период — 167,0-180,0°C, количество осадков за межфазный период бутонизация-цветение — 32,0-47,0 мм, ГТК — 2,00-2,55, количество осадков за межфазный период цветение-созревание — 185,0-200,0 мм, ГТК — 1,70-1,90.

С урожайностью семян также сильно положительно сопряжены показатели сбор масла и сбор сырого протеина ($r=0,99, 0,93$) (табл. 4). Показатель масличность семян сорта Ермак в среднем составил 44,83% при значении коэффициента вариации $C_v=3,0\%$, что свидетельствует о стабильности признака. Большая масличность (47,43%) определена в засушливых условиях увлажнения 2020 г. (ГТК — 0,99), наименьшая (42,87%) — в более засушливом 2021 г. (ГТК — 0,87) (табл. 2).

Гидротермические условия вегетационного периода оказали значительное влияние на содержание жира в семенах. Наиболее тесная средняя корреляционная зависимость данного показателя определена с показателем средней температуры межфазного периода всходы-елочка ($r=-0,68$), средней температуры межфазного периода всходы-созревание ($r=-0,60$) и средней температуры и суммой активных температур наиболее критического межфазного периода цветение-созревание ($r=-0,48, -0,45$).

Уравнения регрессии принимают следующий вид:

$$Y_1=48,503-0,227 \times X_9-0,0000451 \times X_9^2$$

$$Y_1=116,846-6,743 \times X_{10}+0,156 \times X_{10}^2$$

$$Y_1=79,0585-2,996 \times X_{11}+0,0641 \times X_{11}^2$$

$$Y_1=77,818-0,0533 \times X_{12}+0,0000208 \times X_{12}^2$$

где: Y_1 — масличность семян, %; X_9 — средняя температура межфазного периода всходы-елочка, °C; X_{10} — средняя температура межфазного периода всходы-созревание, °C; X_{11} — средняя температура межфазного периода цветение-созревание, °C; X_{12} — сумма активных температур межфазного периода цветение-созревание, °C.

Исходя из указанных уравнений, оптимальным для маслонакопления является средняя температура периода всходы-елочка — 11,0-12,0°C, средняя температура периода всходы-созревание — 18,0-18,4°C, средняя температура периода цветение-созревание — 18,0-18,6°C, сумма активных температур межфазного периода цветение-созревание — 987,0-1015,0°C.

Погодные условия вегетации и ее отдельных периодов оказывали влияние на содержание протеина, составившее 25,66%, коэффициент вариации $C_v=9,5\%$. Больше значение признака — 30,06% определено в засушливом 2021 г., меньшее в условиях обеспеченного увлажне-

Таблица 2. Содержание основных жирных кислот в семенах льна масличного сорта Ермак (2013-2021 гг.)
Table 2. The content of essential fatty acids in flax seeds of the oilseed variety Ermak (2013-2021)

Показатель	Содержание, %			C_v , %
	минимальное	максимальное	среднее	
Миристиновая кислота (C 14:0)	0,033	0,045	0,039	11,4
Пентодекановая кислота (C 15:0)	0,014	0,019	0,017	12,8
Пальмитиновая кислота (C 16:0)	4,871	5,930	5,368	6,8
Пальмитолеиновая кислота (C 16:1)	0,055	0,102	0,076	22,0
Мargarиновая кислота (C 17:0)	0,055	0,068	0,063	7,7
Мargarинолеиновая кислота (C 17:1)	0,038	0,043	0,041	4,7
Стеариновая кислота (C 18:0)	3,359	4,553	3,875	11,4
Олеиновая кислота (C 18:1)	14,624	20,341	16,345	13,5
Линолевая кислота (C 18:2)	32,087	41,812	38,639	8,4
γ -линоленовая кислота (C 18:3)	0,015	0,021	0,017	11,3
α -линоленовая кислота (C 18:3)	28,315	39,197	34,939	9,9
Арахидиновая кислота (C 20:0)	0,098	0,141	0,113	12,8
Эйкозеновая (Гондоиновая) кислота (C 20:1)	0,103	0,158	0,133	16,9
Эйкозодиеновая кислота (C 20:2)	0,037	0,049	0,044	10,1
Эйкозопентаеновая кислота (C 20:5)	0,000	0,000	0,000	-
Арахидоновая кислота (C 20:4)	0,023	0,081	0,036	53,2
Бегеновая кислота (C 22:0)	0,096	0,157	0,124	15,9
Эруковая кислота (C 22:1)	0,000	0,152	0,024	218,8
Докозагексаеновая кислота (C 22:6)	0,000	0,014	0,002	282,8
Лигноцерининовая кислота (C 24:0)	0,061	0,121	0,102	24,4
Нервоновая (Селахалева) кислота (C 24:1)	0,000	0,026	0,006	186,0
Урожайность семян, т/га	1,25	2,20	1,64	18,6
Урожайность льносолемы, т/га	1,96	8,38	4,72	47,7
Масличность семян, %	42,87	47,43	44,83	3,0
Сбор масла, кг/га	515,8	855,7	637,1	18,0
Содержание протеина, %	22,88	30,06	25,66	9,5
Сбор протеина, кг/га	258,7	526,4	366,9	23,3



ния 2013 г. — 22,88%. Наиболее сильное сопряжение величины этого показателя определено с количеством осадков и значением ГТК межфазного периода бутонизация-цветение и значениями данных показателей в межфазный период елочка-бутонизация ($r=0,74, 0,67$ и $-0,60, -0,59$), а также средней температурой наиболее критичного периода цветение-созревание ($r=0,41$), что описывают следующие уравнения:

$$Y_2=24,943-0,0892 \times X_5 + 0,00291 \times X_5^2$$

$$Y_2=24,602-0,821 \times X_6 + 0,952 \times X_6^2$$

$$Y_2=26,863-0,00667 \times X_{13} - 0,000405 \times X_{13}^2$$

$$Y_2=26,387+1,806 \times X_{14} - 3,0897 \times X_{14}^2$$

$$Y_2=-13,719+3,307 \times X_{11} - 0,0669 \times X_{11}^2$$

где: Y_2 — содержание протеина, %; X_5 — количество осадков межфазного периода бутонизация-цветение, мм; X_6 — ГТК межфазного периода бутонизация-цветение; X_{13} — количество осадков межфазного периода елочка-бутонизация, мм; X_{14} — ГТК межфазного периода елочка-бутонизация; X_{11} — средняя температура межфазного периода цветение-созревание, °С.

Данные уравнения показывают, что оптимальным для получения максимального содержания сырого протеина в семенах являются

следующие условия: количество осадков — 47,0-57,0 мм и значение ГТК — 2,20-2,50 межфазного периода бутонизация-цветение, а также значения данных показателей межфазного периода елочка-бутонизация — 13,3-27,3 мм, 0,20-0,56, соответственно, и средняя температура межфазного периода цветение-созревание — 22,0-23,0°С.

Установлено сильное отрицательное сопряжение показателей масляности и содержания протеина ($r=-0,71$):

$$Y_1=28,388+1,633 \times X_{15} - 0,0384 \times X_{15}^2$$

где: Y_1 — масляность семян, %; X_{15} — Y_2 — содержание протеина, %.

Таблица 3. Матрица корреляции основных показателей сорта льна масличного Ермак с гидротермическими условиями вегетационного периода (2013-2021 гг.)
Table 3. Correlation matrix of the main indicators of the oil flax variety Ermak with hydrothermal conditions of the growing season (2013-2021)

Показатель	Жирная кислота, %					Урожайность семян, т/га	Масличность, %	Сбор масла, кг/га	Содержание протеина в семенах, %	Сбор протеина, кг/га
	пальмитиновая	стеариновая	олеиновая	линолевая	α-линолевая					
Межфазный период посев-созревание										
Продолжительность, сутки	-0,27	0,04	-0,18	0,31	-0,16	-0,61	0,42	-0,57	-0,55	-0,72
Температура воздуха, °С	0,57	0,16	0,33	-0,39	0,07	0,30	-0,56	0,23	0,40	0,40
Сумма активных температур, °С	0,53	0,15	0,32	-0,46	0,14	-0,24	-0,51	-0,31	0,00	-0,20
Количество осадков, мм	0,01	-0,31	-0,28	0,22	0,02	0,04	0,27	0,08	-0,12	0,02
ГТК (по Селянину)	-0,05	-0,32	-0,32	0,28	0,00	0,07	0,33	0,12	-0,12	0,06
Межфазный период всходы-созревание										
Продолжительность, сутки	-0,24	0,01	-0,16	0,39	-0,24	-0,51	0,39	-0,47	-0,48	-0,60
Температура воздуха, °С	0,62	0,25	0,42	-0,30	-0,08	0,42	-0,60*	0,35	0,55	0,56
Сумма активных температур, °С	0,65	0,32	0,51*	-0,03	-0,41	0,09	-0,55	0,01	0,36	0,22
Количество осадков, мм	-0,04	-0,33	-0,31	0,09	0,17	0,14	0,22	0,18	-0,09	0,12
ГТК (по Селянину)	-0,13	-0,36	-0,56*	0,15	0,28	0,39	0,26	0,44	-0,29	0,23
Межфазный период посев-всходы										
Продолжительность, сутки	-0,07	0,06	-0,04	-0,15	0,16	-0,24	0,08	-0,23	-0,17	-0,29
Температура воздуха, °С	0,40	0,21	0,22	-0,74*	0,49	-0,32	-0,29	-0,38	0,06	-0,24
Сумма активных температур, °С	0,13	0,15	0,08	-0,47	0,37	-0,34	-0,08	-0,35	-0,10	-0,34
Количество осадков, мм	0,21	0,24	0,25	0,59*	-0,78*	-0,56	0,17	-0,55	-0,12	-0,51
ГТК (по Селянину)	0,20	0,26	0,30	0,56*	-0,78*	-0,55	0,13	-0,55	-0,08	-0,48
Межфазный период всходы-елочка										
Продолжительность, сутки	-0,31	-0,17	-0,08	0,19	-0,09	0,72*	-0,25	0,71	0,12	0,62
Температура воздуха, °С	0,15	0,10	0,29	-0,67*	0,41	0,61	-0,68*	0,53	0,50	0,67
Сумма активных температур, °С	-0,15	-0,09	0,05	-0,30	0,26	0,81*	-0,51	0,76	0,33	0,76
Количество осадков, мм	-0,28	-0,26	-0,09	0,08	0,03	-0,58	0,22	-0,56	-0,39	-0,62
ГТК (по Селянину)	-0,24	-0,10	-0,11	0,17	-0,06	-0,69	0,37	-0,66	-0,43	-0,72
Межфазный период елочка-бутонизация										
Продолжительность, сутки	0,31	0,40	-0,05	0,09	-0,13	-0,91*	0,47	-0,88	-0,46	-0,90
Температура воздуха, °С	-0,28	-0,58	-0,43	0,24	0,14	0,90*	-0,08	0,92	0,00	0,74
Сумма активных температур, °С	0,26	0,18	-0,23	0,08	0,03	-0,79*	0,53	-0,74	-0,53	-0,83
Количество осадков, мм	0,33	0,15	-0,37	0,12	0,08	-0,54	0,49	-0,49	-0,60	-0,66
ГТК (по Селянину)	0,33	0,16	-0,37	0,08	0,11	-0,52	0,47	-0,47	-0,59	-0,63
Межфазный период бутонизация-цветение										
Продолжительность, сутки	0,41	0,43	0,08	-0,49	0,32	0,25	-0,27	0,22	0,14	0,26
Температура воздуха, °С	0,01	-0,09	0,11	-0,54	0,48	0,05	-0,09	0,04	0,38	0,22
Сумма активных температур, °С	0,35	0,30	0,21	-0,65*	0,42	0,16	-0,30	0,12	0,37	0,29
Количество осадков, мм	0,43	0,27	0,48	-0,40	0,00	0,48*	-0,58	0,41	0,74*	0,69
ГТК (по Селянину)	0,43	0,18	0,42	-0,18	-0,16	0,60*	-0,58	0,53	0,67*	0,75
Межфазный период цветение-созревание										
Продолжительность, сутки	-0,64*	-0,48	-0,12	0,39	-0,18	0,13	0,08	0,15	-0,08	0,07
Температура воздуха, °С	0,90*	0,54	0,52*	-0,06	-0,43	0,07	-0,48*	0,00	0,41*	0,21
Сумма активных температур, °С	0,11	-0,08	0,43	0,48*	-0,76*	0,28	-0,45*	0,23	0,35	0,35
Количество осадков, мм	-0,43	-0,65	-0,40	0,23	0,18	0,51*	0,20	0,56	0,03	0,46
ГТК (по Селянину)	-0,45	-0,64	-0,47*	0,16	0,29	0,43*	0,27	0,49	-0,05	0,37

*Коэффициенты корреляции достоверны на уровне значимости $p < 0,05$.



Таблица 4. Матрица корреляции основных показателей сорта льна масличного Ермак (2013-2021 гг.)
Table 4. Correlation matrix of the main indicators of the oil flax variety Ermak (2013-2021)

Показатель	Жирная кислота, %					Урожайность семян, т/га	Масличность, %	Сбор масла, кг/га	Содержание протеина в семенах, %	Сбор протеина, кг/га
	пальмитиновая	стеариновая	олеиновая	линолевая	α-линоленовая					
Пальмитиновая кислота	1,00									
Стеариновая кислота	0,40	1,00								
Олеиновая кислота	0,41	0,51	1,00							
Линолевая кислота	0,16	-0,31	-0,37	1,00						
α-Линоленовая кислота	-0,59*	-0,21	-0,42*	-0,67*	1,00					
Урожайность семян, т/га	-0,18	-0,48	-0,17	0,05	0,15	1,00				
Масличность, %	-0,46	-0,09	-0,77*	0,41	0,19	-0,33	1,00			
Сбор масла, кг/га	-0,25	-0,52	-0,29	0,11	0,18	0,99*	-0,20	1,00		
Содержание протеина в семенах, %	-0,01	0,24	0,80*	-0,44	-0,15	0,30	-0,71	0,21	1,00	
Сбор протеина, кг/га	-0,17	-0,31	0,16	-0,12	0,07	0,93*	-0,51	0,89	0,63	1,00

*Коэффициенты корреляции достоверны на уровне значимости $p < 0,05$.

В состав льняного масла входят насыщенные кислоты (пальмитиновая, стеариновая) и ненасыщенные (линолевая, линоленовая и олеиновая). Полезные свойства масла обусловлены его жирнокислотным составом. Более стабильно ($C_v=4,7-9,9\%$) содержание маргаринолеиновой, пальмитиновой, маргариновой, линолевой и α-линоленовой кислот, составившее 0,041, 5,368, 0,063, 38,639 и 34,939% соответственно (табл. 2). Содержание докозагексаеновой, эруковой и нервоновой кислот сильно варьировало по годам ($C_v=186,0-282,8\%$). Массовая доля основных жирных кислот — олеиновой ($C=16,345\%$), стеариновой ($C=3,875\%$) и γ-линоленовой ($C=0,017\%$) было средне стабильно ($C_v=11,2-13,5\%$).

Лен масличный сорта Ермак имеет измененный ЖКС масла, основную часть которого составляют линолевая — 32,087-41,812% и α-линоленовая — 28,315-39,197% кислоты, что и определяет его основные свойства. Массовая доля линолевой кислоты сильно сопряжена со средней температурой периода посев-всходы ($r=-0,74$), средне — с количеством осадков и ГТК данного периода ($r=0,59, 0,56$), а также со средней температурой межфазного периода всходы-елочка ($r=-0,67$) и суммой активных температур межфазного периода бутонизация-цветение ($r=-0,65$). В период цветения-созревания наиболее тесное сопряжение прослеживается с показателем суммы активных температур ($r=0,48$). Данные зависимости описывают уравнения регрессии:

$$Y_3 = -16,199 + 7,996 \times X_{16} - 0,283 \times X_{16}^2$$

$$Y_3 = 36,529 + 0,237 \times X_{17} - 0,00246 \times X_{17}^2$$

$$Y_3 = 36,590 + 3,734 \times X_{18} - 0,687 \times X_{18}^2$$

$$Y_3 = 29,168 + 1,781 \times X_9 - 0,0703 \times X_9^2$$

$$Y_3 = 33,584 + 0,111 \times X_{19} - 0,000459 \times X_{19}^2$$

$$Y_3 = 63,747 - 0,0643 \times X_{12} + 0,0000382 \times X_{12}^2$$

где: Y_3 — содержание линолевой кислоты, %; X_{16} — средняя температура межфазного периода посев-всходы, °C; X_{17} — количество осадков межфазного периода посев-всходы, мм; X_{18} — ГТК межфазного периода посев-всходы; X_9 — средняя температура межфазного периода всходы-елочка, °C; X_{19} — сумма активных температур межфазного периода бутонизация-цветение, °C;

X_{12} — сумма активных температур межфазного периода цветения-созревания, °C.

Таким образом, оптимальными для получения максимального содержания в семенах линолевой кислоты являются следующие условия: средняя температура межфазного периода посев-всходы — 13,0-15,0°C, количество осадков — 28,0-34 мм, ГТК — 2,0-3,0, средняя температура межфазного периода всходы-елочка — 10,8-14,0°C, сумма активных температур межфазного периода бутонизация-цветение — 100,0-135,0°C и цветения-созревания — 1150,0-1220,0°C

Второй по процентному содержанию в масле данного сорта — 28,315-39,197%, а может быть и первой по значимости для свойств масла, является α-линоленовая кислота. Назначение использования льняного масла в большей степени определяется количеством α-линоленовой кислоты. Ее содержание в семенах сорта Ермак, по данным ФАО, характеризуется как низкое и среднее [15]. Такое масло пригодно как на пищевые, так и технические, медицинские и парфюмерные цели. Установлена средняя отрицательная корреляционная зависимость между содержанием α-линоленовой, линолевой, пальмитиновой и олеиновой кислотами ($r=-0,67, -0,59, -0,42$). Данные зависимости кислот описываются следующими уравнениями:

$$Y_4 = -218,322 + 14,545 \times X_{20} - 0,206 \times X_{20}^2$$

$$Y_4 = -104,181 + 57,537 \times X_{21} - 5,867 \times X_{21}^2$$

$$Y_4 = 376,103 - 39,127 \times X_{22} + 1,0994 \times X_{22}^2$$

где: Y_4 — содержание α-линоленовой кислоты, %; X_{20} — содержание линолевой кислоты, %; X_{21} — содержание пальмитиновой кислоты, %; X_{22} — содержание олеиновой кислоты, %.

Сильное отрицательное сопряжение содержания α-линоленовой кислоты определено с количеством осадков и ГТК периода посев-всходы ($r=-0,78, -0,78$) и суммой активных температур периода цветения-созревание ($r=-0,76$), что описывают следующие уравнения:

$$Y_5 = 36,737 - 0,0149 \times X_{17} - 0,00604 \times X_{17}^2$$

$$Y_5 = 36,722 - 0,969 \times X_{18} - 0,564 \times X_{18}^2$$

$$Y_5 = -108,246 + 0,293 \times X_{12} - 0,000148 \times X_{12}^2$$

где: Y_5 — содержание α-линоленовой кислоты, %; X_{17} — количество осадков межфазного периода посев-всходы, мм; X_{18} — ГТК межфазного

периода посев-всходы; X_{12} — сумма активных температур межфазного периода цветения-созревания, °C.

Исходя из указанных уравнений, максимальное содержание α-линоленовой кислоты в семенах формируется при количестве осадков межфазного периода посев-всходы — 0,0-7,4 мм, ГТК — 0,00-0,62 и сумме активных температур периода цветения-созревания — 977,0-1034°C.

Олеиновая кислота является третьей по процентному содержанию в масле данного сорта — 14,624-20,341%. Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между содержанием олеиновой кислоты и масличностью семян ($r=-0,77$) и сильная положительная — с содержанием протеина ($r=0,80$) (табл. 4):

$$Y_6 = 1120,245 - 47,667 \times X_{23} + 0,514 \times X_{23}^2$$

$$Y_6 = 52,0214 - 3,432 \times X_{15} + 0,0789 \times X_{15}^2$$

где: Y_6 — X_{22} — содержание олеиновой кислоты, %; X_{23} — Y_1 — масличность, %; X_{15} — Y_2 — содержание протеина, %.

Наиболее сильное сопряжение величины этого показателя определено с суммой активных температур и ГТК периода всходы-созревание ($r=0,51, -0,56$), а также средней температурой и ГТК межфазного периода цветения-созревание ($r=0,52, -0,47$). Уравнения, описывающие данные зависимости, приведены ниже:

$$Y_6 = 1367,235 - 1,493 \times X_{24} + 0,000412 \times X_{24}^2$$

$$Y_6 = 28,602 - 20,430 \times X_{25} + 7,716 \times X_{25}^2$$

$$Y_6 = -10,568 + 2,00324 \times X_{11} - 0,0332 \times X_{11}^2$$

$$Y_6 = 22,841 - 10,0662 \times X_8 + 3,172 \times X_8^2$$

где: Y_6 — содержание олеиновой кислоты, %; X_{24} — сумма активных температур межфазного периода всходы-созревание, °C; X_{25} — ГТК межфазного периода всходы-созревание; X_{11} — средняя температура межфазного периода цветения-созревание, °C; X_8 — ГТК межфазного периода цветения-созревание.

Данные уравнения показывают, что оптимальным для получения максимального содержания олеиновой кислоты являются следующие условия: сумма активных температур межфазного периода всходы-созревание — 1900,0-1935,0°C, ГТК — 0,62-0,87, средняя температура





межфазного периода цветение-созревание — 22,0-23,0°C, ГТК — 0,55-0,75.

Большее содержание олеиновой кислоты (20,341%) определено в засушливом 2021 г. при сумме активных температур межфазного периода всходы-созревание — 1931,4°C, ГТК — 0,87, средней температуре межфазного периода цветение-созревание — 22,7°C, ГТК — 0,75, что на 5,717% превышало ее содержание в условиях обеспеченного и избыточного увлажнения (в выявленные критические периоды) 2013 г., при сумме активных температур — 1881,7°C, средней температуре — 18,6°C и ГТК — 1,26, 1,31 соответственно.

Пальмитиновая кислота является предшественником других длинноцепочечных жирных кислот, таких как стеариновая, олеиновая, эйкозатриеновая и архидоновая. Ее содержание, кроме ранее обсуждаемого среднего отрицательного сопряжения с α -линоленовой кислотой, сильно положительно коррелирует с миристиновой, пентодекановой, пальмитолеиновой и лигноцеридиновой кислотами ($r=0,90, 0,71, 0,80, 0,70$) и описывается следующими уравнениями:

$$Y_7 = -5,470 + 484,589 \times X_{26} - 5215,910 \times X_{26}^2$$

$$Y_7 = -3,547 + 942,091 \times X_{27} - 24064,864 \times X_{27}^2$$

$$Y_7 = 1,709 + 79,824 \times X_{28} - 398,478 \times X_{28}^2$$

$$Y_7 = 2,112 + 63,334 \times X_{29} - 292,727 \times X_{29}^2$$

где: Y_7 — X_{21} — содержание пальмитиновой кислоты, %; X_{26} — содержание миристиновой кислоты, %; X_{27} — содержание пентодекановой кислоты, %; X_{28} — содержание пальмитолеиновой кислоты, %; X_{29} — содержание лигноцеридиновой кислоты, %.

Ее массовая доля сильно положительно сопряжена с температурой воздуха и средне отрицательно с продолжительностью периода цветение-созревание ($r=0,90, -0,64$) а также средне положительно с температурой воздуха и суммой активных температур периода всходы-созревание ($r=0,62, 0,65$):

$$Y_7 = -2,717 + 0,637 \times X_{11} - 0,0117 \times X_{11}^2$$

$$Y_7 = 28,970 - 0,901 \times X_{30} + 0,00852 \times X_{30}^2$$

$$Y_7 = -35,109 + 3,983 \times X_{10} - 0,0974 \times X_{10}^2$$

$$Y_7 = -46,148 + 0,0522 \times X_{24} - 0,0000132 \times X_{24}^2$$

где: Y_7 — содержание пальмитиновой кислоты, %; X_{11} — средняя температура межфазного периода цветение-созревание, °C; X_{30} — продолжительность межфазного периода цветение-созревание, дн.; X_{10} — средняя температура межфазного периода всходы-созревание, °C; X_{24} — сумма активных температур межфазного периода всходы-созревание, °C.

Максимальное содержание пальмитиновой кислоты определено в 2016 г. при средней температуре межфазного периода цветение-созревание — 22,9°C, его продолжительности — 44 дня и средней температуре периода всходы-созревание — 20,8°C, сумме активных температур данного периода 1890,7°C — 5,930%, что в 1,22 раза превышает показатели 2019 г.

Содержание стеариновой кислоты (3,359-4,553%) было достаточно хорошо стабильно по годам ($C_v=11,4\%$). Ее массовая доля сильно

сопряжена с количеством бегеновой, арахидиновой и пальмитолеиновой кислотами ($r=0,95, 0,90, 0,77$):

$$Y_8 = 1,783 + 12,306 \times X_{31} + 35,492 \times X_{31}^2$$

$$Y_8 = 4,625 - 29,0617 \times X_{32} + 181,0566 \times X_{32}^2$$

$$Y_8 = 1,282 + 48,563 \times X_{33} - 180,642 \times X_{33}^2$$

где: Y_8 — содержание стеариновой кислоты, %; X_{31} — содержание бегеновой кислоты, %; X_{32} — содержание арахидиновой кислоты, %; X_{33} — содержание пальмитолеиновой кислоты, %.

Определена наиболее тесная средняя корреляционная зависимость ее содержания с количеством осадков, ГТК и среднесуточной температурой воздуха периода цветение-созревание ($r=-0,65, -0,64, 0,54$) и среднесуточной температурой воздуха периода елочка-бутонизация ($r=0,54$):

$$Y_8 = 5,0765 - 0,0152 \times X_7 + 0,0000324 \times X_7^2$$

$$Y_8 = 4,453 - 0,449 \times X_8 - 0,101 \times X_8^2$$

$$Y_8 = 1,986 + 0,0545 \times X_{11} + 0,00188 \times X_{11}^2$$

$$Y_8 = 17,0355 - 1,190 \times X_1 + 0,0259 \times X_1^2$$

где: Y_8 — содержание стеариновой кислоты, %; X_7 — количество осадков межфазного периода цветение-созревание, мм; X_8 — ГТК межфазного периода цветение-созревание; X_{11} — средняя температура межфазного периода цветение-созревание, °C; X_1 — средняя температура межфазного периода елочка-бутонизация, °C.

Анализ приведенных уравнений показывает, что большее количество стеариновой кислоты формируется при 62,0-80,0 мм осадков, ГТК — 0,55-0,72, средней температуре — 22,2-22,8°C межфазного периода цветение-созревание и значениях средней температуры — 17,3-17,8°C межфазного периода елочка-бутонизация.

В засушливых условиях периода цветение-созревание 2021 г. (ГТК -0,75) содержание стеариновой кислоты в 1,34 раза превышало данный показатель в обеспеченно увлажненный 2019 г. (ГТК — 1,03).

Наиболее оптимальное содержание основных жирных кислот получено в сухих условиях 2017 г. (средняя температура — 13,2°C, количество осадков — 35,7 мм, ГТК — 3,01 в период посев-всходы, сумме активных температур межфазных периодов бутонизация-цветение и цветение-созревание — 82,8, 1219,0°C, средней температуре — 20,3°C и ГТК — 0,64 межфазного периода цветение-созревание. Более всего от наиболее оптимального ЖКС масла отклонялся в условиях достаточного увлажнения 2021 г. Во все годы исследований получен необходимый ЖКС масла, что обусловлено геномом сорта Ермак.

Заключение. В результате проведенных исследований впервые в условиях Средневолжского региона математически описано влияние агроклиматических условий межфазных периодов на продуктивность семян и жирнокислотный состав масла льна масличного сорта Ермак. Установлены зависимости урожайности, масличности семян и содержания сырого протеина для сорта Ермак, имеющего измененный ЖКС масла.

Определена зависимость урожайности, масличности семян, содержания сырого протеина,

сбора масла и сырого протеина для сортов с измененным ЖКС масла на модельном сорте Ермак, имеющем измененный ЖКС масла, от гидротермических условий всех межфазных периодов роста и развития льна ($r=-0,91-0,92$). Большая урожайность семян формировалась в условиях избыточного увлажнения 2015 г. — 2,20 т/га, при продолжительности межфазного периода елочка-бутонизация — 22 дня, средней температуре — 21,4°C и сумме активных температур — 470,4°C, продолжительности межфазного периода всходы-елочка — 8 суток, сумме активных температур за межфазный период -143,6°C, количестве осадков за межфазный период бутонизация-цветение — 48,4 мм, ГТК — 2,58, количестве осадков за межфазный период цветение-созревание — 204,1 мм, ГТК — 1,84.

Определен жирнокислотный состав масла в отдельные годы исследований, что позволило выявить более стабильные жирные кислоты: маргаринолеиновая — 0,041% ($C_v=4,7\%$), пальмитиновая — 5,368% ($C_v=6,8\%$), маргарининовая — 0,063% ($C_v=7,7\%$), линолевая — 38,639% ($C_v=8,4\%$) и α -линоленовая — 34,939% ($C_v=9,9\%$). Выявлена зависимость содержания жирных кислот как между собой ($r=-0,77-0,96$), так и их сопряжение с гидротермическими условиями ($r=-0,87-0,90$).

Наибольшее влияние на ЖКС масла (качество) оказали гидротермические условия периодов бутонизация-цветение и цветение-созревание (среднесуточная температура, сумма активных температур, ГТК). Требуемый ЖКС масла получен во все годы исследований, что обусловлено геномом сорта Ермак. Оптимальными для льна масличного сорта Ермак являются следующие гидротермические условия: продолжительность межфазного периода елочка-бутонизация — 22-23 дня при средней температуре — 20,5-21,5°C и сумме активных температур — 453,0-474,0°C, продолжительность межфазного периода всходы-елочка — 8-9 суток, сумма активных температур за межфазный период — 167,0-180,0°C, количество осадков за межфазный период бутонизация-цветение — 32,0-47,0 мм, ГТК — 2,00-2,55, количество осадков за межфазный период цветение-созревание — 185,0-200,0 мм, ГТК — 1,70-1,90 (максимальная урожайность семян), средняя температура периода всходы-елочка — 11,0-12,0°C, средняя температура периода всходы-созревание — 18,0-18,4°C, средняя температура периода цветение-созревание — 18,0-18,6°C, сумма активных температур межфазного периода цветение-созревание — 987,0-1015,0°C (масличность), средняя температура межфазного периода посев-всходы — 13,0-15,0°C, количество осадков — 28,0-34 мм, ГТК — 2,0-3,0, средняя температура межфазного периода всходы-елочка — 10,8-14,0°C, сумма активных температур межфазного периода бутонизация-цветение — 100,0-135,0°C и цветение-созревание — 1150,0-1220,0°C (ЖКС).

Приведенные уравнения регрессии позволяют ответить на основные вопросы, а решение данных уравнений, объединенных в систему, относительно точно описывает реакцию льна масличного сорта Ермак (по анализируемым показателям урожайности, масличности, содержанию основных жирных кислот) на факторы внешней среды.



Решение приведенных уравнений путем подстановки указанных значений по мере прохождения фаз развития позволяет достаточно точно прогнозировать урожайность, масличность и ЖКС семян сорта Ермак не только в условиях конкретного года, но и, опираясь на долгосрочный метеопрогноз, предсказывать значения данных показателей в перспективе.

Анализ составленных уравнений регрессии позволяет теоретически обосновать направленность географического вектора районирования льна масличного сорта Ермак.

Установленные зависимости следует учитывать в селекционной работе, направленной на создание новых сортов льна масличного, а также в производстве для прогнозирования не только урожайности, но и масличности семян и ЖКС масла.

Список источников

1. Рукководство по семеноводству масличных культур / под общ. ред. акад. В.С. Пустовойта. М.: Колос, 1967. 351 с.
2. Бражников В.Н., Бражникова О.Ф., Прахова Т.Я., Прахов В.А. Результаты селекции и жирно-кислотный состав масла льна масличного // Международный сельскохозяйственный журнал. 2015. № 6. С. 23-27.
3. Бражников В.Н., Бражникова О.Ф. Результаты селекции льна масличного // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур: материалы научно-практической конференции. Рязань: ФГБОУ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, 2013. С. 50-53.
4. Скларов С.В. Жирно-кислотный профиль и оксидостабильность масла низколиноленовых сортообразцов льна масличного // Масличные культуры. 2012. № 2 (151-152). С. 91-95.
5. Маслинская М.Е., Андроник Е.В., Иванова Е.В. Оценка селекционных сортообразцов льна масличного по продолжительности основных фаз вегетации и жирнокислотному составу масла // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4. С. 66-72.
6. Носевич М.А., Айссотодэ Й.З., Рошин В.И., Ведерников Д.Н. Оценка качества масла и волокна льна масличного в зависимости от генетических особенностей и условий его произрастания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (46). С. 15-20.
7. Галкин Ф.М., Хатнянский В.И., Тишков Н.М., Пивень Т.В., Шафоростов В.Д. Лен масличный: селекция, семеноводство, технология возделывания и уборки / РАСХН, ГНУ ВНИИМК. Краснодар, 2008. 191 с.
8. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур / под ред. Г.Г. Давидян. Л.: ВИР, 1976. 21 с.

9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. М.А. Федина. М.: Сельхозиздат, 1983. 183 с.

10. Павлова Л.П., Александрова Т.А., Марченков А.Н., Рожмина Т.А., Лошакова Н.И., Кудрявцева Л.П., Кралова Т.В., Герасимова Е.Г. Методические указания по селекции льна-долгунца. М.: Россельхозакадемия, 2004. 43 с.

11. Рукководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. М.: Бранден: Медицина, 1998. С. 84-93.

12. ГОСТ Р 51483-99. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 7 с.

13. Раушковский С.С. Методы исследований при селекции масличных растений по содержанию масла. М.: Пищепромиздат, 1959. 46 с.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

15. Минжасова А., Лошкомоиников И. Селекция льна масличного на качественный состав масла // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 3. С. 33-35.

References

1. Pustovoyt, V.S. (ed.) (1967). *Rukovodstvo po semenovodstvu maslichnykh kul'tur* [Guidelines for seed production of oilseeds]. Moscow, Kolos Publ., 351 p.
2. Brazhnikov, V.N., Brazhnikova, O.F., Prakhova, T.Ya., Prakhov, V.A. (2015). Rezul'taty seleksii i zhirno-kislotnyi sostav masla l'na maslichnogo [Results of selection and fatty acid composition of flax oil]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 6, pp. 23-27.
3. Brazhnikov, V.N., Brazhnikova, O.F. (2013). Rezul'taty seleksii l'na maslichnogo [Results of selection of oil flax]. *Nauchno-prakticheskie aspekty tekhnologii vozdelvaniya i pererabotki maslichnykh kul'tur: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific and practical aspects of technologies for the cultivation and processing of oilseeds: materials of the scientific-practical conference]. Ryazan, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pp. 50-53.
4. Scljarov, S.V. (2012). Zhirno-kislotnyi profil' i oksistabil'nost' masla nizkolino lenovykh sortoobraztsov l'na maslichnogo [Fatty-acid profile and oxystability of oil of low-linolenic oil flax samples]. *Maslichnye kul'tury* [Oil crops], no. 2 (151-152), pp. 91-95.
5. Maslinskaya, M.E., Andronik, E.V., Ivanova, E.V. (2016). Otsenka selektsionnykh sortoobraztsov l'na maslichnogo po prodolzhitel'nosti osnovnykh faz vegetatsii i zhirnokislotnomu sostavu masla [Evaluation of breeding varieties of oil flax according to the duration of the main phases of vegetation and the fatty acid composition of the oil]. *Vestnik*

Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy], no. 4, pp. 66-72.

6. Nosevich, M.A., Aiissotode, I.Z., Roshchin, V.I., Vedernikov, D.N. (2017). Otsenka kachestva masla i volokna l'na maslichnogo v zavisimosti ot geneticheskikh osobennostei i uslovii ego proizrastaniya [Evaluation of the quality of oil and oil flax fiber depending on the genetic characteristics and conditions of its growth]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University], no. 1 (46), pp. 15-20.

7. Gal'kin, F.M., Khatnyanskii, V.I., Tishkov, N.M., Piven', T.V., Shaforostov, V.D. (2008). *Len maslichnyi: selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya vozdelvaniya i uborki* [Oil flax: selection, seed production, cultivation and harvesting technology]. Krasnodar, 191 p.

8. Davidyan, G.G. (ed.) (1976). *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoi kolleksii maslichnykh kul'tur* [Guidelines for the study of the world collection of oilseeds]. Leningrad, VIR, 21 p.

9. Fedin, M.A. (ed.) (1983). *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Methods of state variety testing of agricultural crops]. Moscow, Sel'khozizdat Publ., 183 p.

10. Pavlova, L.P., Aleksandrova, T.A., Marchenkov, A.N., Rozhmina, T.A., Loshakova, N.I., Kudryavtseva, L.P., Kralova, T.V., Gerasimova, E.G. (2004). *Metodicheskie ukazaniya po seleksii l'na-dolguntsa* [Methodological guidelines for the selection of fiber flax]. Moscow, Rossel'khozakademija, 43 p.

11. Skurikhin, I.M., Tutel'yan, V.A. (ed.) (1998). *Rukovodstvo po metodam analiz kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov* [Guidance on methods of analyzing the quality and safety of foodstuffs]. Moscow, Bradens: Meditsina, pp. 84-93.

12. ГОСТ Р 51483-99. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме (2000). [Vegetable oils and animal fats. Determination by gas chromatography of the mass fraction of methyl esters of individual fatty acids to their sum]. Moscow, ИПК Издательство стандартов, 7 p.

13. Raushkovskii, S.S. (1959). *Metody issledovaniy pri seleksii maslichnykh rastenii po sodержaniyu masla* [Methods of research in the selection of oil plants by oil content]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 46 p.

14. Dospekhov, B.A. (2012). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Kniga po trebovaniyu Publ., 352 p.

15. Minzhasova, A., Loshkomoinikov, I. (2016). Selekcziya l'na maslichnogo na kachestvennyi sostav masla [Selection of oilseed flax for the qualitative composition of the oil]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 3, pp. 33-35.

Информация об авторе:

Бражников Владимир Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3186-5993>, v.brazhnikov.pnz@fncl.ru

Information about the author:

Vladimir N. Brazhnikov, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of breeding technologies, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3186-5993>, v.brazhnikov.pnz@fncl.ru

