

DOI 10.33952/2542-0720-2019-4-20-6-15

УДК 633.854.54:631.526.32:001.53

Бражников В. Н.¹, Бражникова О. Ф.¹, Бражников Д. В.²

ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»;

²ФГОУ ВО «Пензенский аграрный университет»

Реферат. Лён – одна из наиболее востребованных масличных культур в мире. По биологической ценности льняное масло занимает первое место среди других пищевых растительных масел. Цель исследований – изучить влияние гидротермических условий на урожайность, содержание и жирнокислотный состав масла семян льна масличного сорта Исток, а также проанализировать корреляционную зависимость биохимического состава масла с продолжительностью вегетационного периода и основных фаз органогенеза. Различное соотношение жирных кислот позволяет использовать его на пищевые и технические цели. Эксперименты выполняли в ФГБНУ «Пензенский НИИСХ» в 2013–2017 гг. Материалом для исследования служил сорт Исток с измененным ЖКС (жирнокислотный состав) 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, а также структурой вегетационного периода варьировали в пределах $r = -0,92-0,87$. Выявлена сильная обратная зависимость между масличностью и содержанием протеина ($r = -0,95$). Определены жирные кислоты, содержание которых слабо варьировало в зависимости от метеоусловий: линолевая кислота – 68,696 % ($C_V = 1,8$ %), миристиновая – 0,043 % ($C_V = 2,68$ %), пальмитиновая – 5,862 % ($C_V = 4,9$ %), маргариновая – 0,066 % ($C_V = 7,8$ %) и маргаринолеиновая – 0,042 % ($C_V = 9,1$ %). Установлена зависимость содержания жирных кислот как между собой ($r = -0,78-0,94$), так и их сопряжение с гидротермическими условиями ($r = -0,95-0,87$). Наибольшее влияние на ЖКС масла оказали гидротермические условия периодов всходы–созревание и цветение–созревание (количество осадков и ГТК). Требуемый ЖКС масла получен во все годы исследований. Наибольшее влияние на содержание основных жирных кислот оказывали условия как вегетационного периода в целом, так и отдельных его межфазных периодов: бутонизация–цветение (средняя температура, сумма активных температур) и цветение – созревание (количество осадков, ГТК). Установленные зависимости следует учитывать в селекционной работе, направленной на создание новых сортов льна масличного, а также в производстве для прогнозирования не только урожайности, но масличности семян и ЖКС масла.

Ключевые слова: лён масличный (*Linum usitatissimum* L.), сорт Исток, урожайность, масличность, корреляция, жирнокислотный состав масла, ГТК.

Введение

Лён – 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. Важнейший показатель в селекции масличных культур

– содержание масла в семенах – основного продукта, ради которого их возделывают [1]. По биологической ценности льняное занимает первое место среди других пищевых растительных масел [2, 3]. В последние годы научные организации России, Австралии и Канады начали работы по созданию сортов с изменённым жирнокислотным составом масла [4]. В Пензенском НИИСХ создан сорт Исток, значительно превосходящий по продуктивности районированные сорта. В 2008 г. он внесен в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Площадь посевов, занимаемая этим сортом в Пензенской области, варьирует от 100 до 500 га, в Кустанае – до 1000 га, Алтайском крае – до 200 га. Есть посевы Истока в Ставропольском крае, Саратовской, Волгоградской, Рязанской, Воронежской и других областях, Республике Татарстан, Дагестане, Прибалтийских странах. Особенностью сорта является изменённый жирнокислотный состав масла: содержание линолевой кислоты составляет 70,41 %, линоленовой – 5,71 %. Такое соотношение жирных кислот позволяет использовать масло для технических и пищевых продуктов с длительным сроком хранения: маргаринов, майонезов, а также пищевых биодобавок.

Содержание и состав масла – генетически закреплённые признаки. Однако метеоусловия 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 и межфазного периода всходы – цветение и содержанием насыщенных кислот (пальмитиновой, стеариновой). Большее 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 °С. 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 в совершенно иных почвенно-климатических условиях. Лен масличный сорта Исток имеет измененный ЖКС масла, что делает исследования по установлению влияния агроклиматических условий на продуктивность и ЖКС масла подобных сортов актуальными.

Цель исследований – изучить влияние гидротермических условий на урожайность, содержание и жирнокислотный состав масла семян льна масличного сорта Исток.

Материалы и методы исследований

Работу выполняли в ФГБНУ «Пензенский НИИСХ» в 2013–2017 гг. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный мощный тяжелосуглинистый со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса – 4,63 %, легкогидролизуемых форм азота – среднее, подвижного фосфора – высокое, обменного калия – повышенное, $pH_{вод}$ – слабокислая, $pH_{сол}$ – среднекислая.

Метеорологические условия в годы исследований были разнообразны и достаточно полно отражали особенности лесостепной зоны Среднего Поволжья (таблица 1). Посев льна осуществляли в 2013 г. – 14 мая, 2014 г. – 4 мая, 2015 г. – 13 мая. В целом, вегетация растений в 2013 г. проходила в условиях обеспеченного увлажнения (ГТК – 1,26); в 2014 г. условия характеризовались как засушливые (ГТК –

0,95); в 2015 г. отмечали избыточное увлажнение (ГТК – 1,43); в 2016 г. – обеспеченное увлажнение (ГТК – 1,19); в 2017 г. наблюдали недостаток осадков (ГТК – 0,63). Продолжительность вегетационного периода варьировала от 91 в 2016 г. до 102 дней в 2017 г. Наименьшая сумма активных температур отмечена в 2014 г. (1864,3 °С), наибольшая – в 2015 и 2017 гг. (1911,0 °С). Самым сухим выдался 2014 г. – всего за вегетацию выпало 91,9 мм осадков, наибольшее их количество было в 2015 г. – 273,0 мм. Все это оказало значительное влияние на рост, развитие и продуктивность льна.

Материалом для исследования служил лён масличный сорта Исток. При выполнении работы руководствовались методиками [8–11].

Таблица 1 – Гидротермические условия в межфазные периоды роста и развития льна

Показатель	Год	Межфазный период					Вегетационный период
		посев – всходы	всходы – ёлочка	ёлочка – бутонизация	бутонизация – цветение	цветение – созревание	
Продолжительность, сут	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
Среднесуточная температура воздуха, °С	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
Сумма активных температур, °С	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
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
ГТК (по Селянинову)	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

Идентификацию и определение содержания высокомолекулярных жирных кислот (ВЖК) триацилглицеролов масла выполняли методом газожидкостной хроматографии по ГОСТ Р 51483–99 [12]. Разделение метиловых эфиров выполняли на хроматографе «Кристалл 5000.1». Содержание масла в семенах льна определяли по методу Лебеяднцава – Раушковского [13].

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

Результаты и их обсуждение

В результате исследований установлено, что сбор семян зависел от гидротермических условий. Средним он был 1,78 т/га, при величине коэффициента

вариации ($C_v = 19,1 \%$), что говорит о средней стабильности признака. Максимальная в опыте урожайность семян (2,22 т/га) определена в условиях избыточного увлажнения 2015 г., наименьшая величина этого показателя (1,40 т/га) отмечена в более засушливом 2016 г. (таблица 2).

**Таблица 2 – Содержание основных жирных кислот в семенах льна
масличного сорта Исток**

Кислота/Показатель	Содержание, %						C _v , %
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее	
Миристиновая (C 14:0)	0,041	0,044	0,042	0,043	0,043	0,043	2,7
Пентодекановая (C 15:0)	0,015	0,015	0,012	0,016	0,017	0,015	12,5
Пальмитиновая (C 16:0)	5,841	5,953	5,463	6,265	5,790	5,862	4,9
Пальмитолеиновая (C 16:1)	0,070	0,079	0,057	0,103	0,089	0,080	22,1
Маргариновая (C 17:0)	0,066	0,068	0,058	0,068	0,072	0,066	7,8
Маргаринолеиновая (C 17:1)	0,035	0,044	0,042	0,043	0,044	0,042	9,1
Стеариновая к (C 18:0)	3,630	4,715	3,789	4,326	4,274	4,147	10,6
Олеиновая (C 18:1)	13,889	17,955	14,733	15,475	16,704	15,751	10,2
Линолевая (C 18:2)	69,803	67,869	68,835	69,867	67,104	68,696	1,8
γ-линоленовая (C 18:3)	0,017	0,009	0,025	0,027	0,017	0,019	38,0
α-линоленовая (C 18:3)	5,962	2,504	6,251	3,009	4,945	4,534	37,6
Арахидиновая (C 20:0)	0,088	0,132	0,108	0,117	0,118	0,113	14,4
Эйкозеновая (Гондоиновая) (C 20:1)	0,122	0,153	0,147	0,138	0,150	0,142	8,8
Эйкозодиеновая (C 20:2)	0,141	0,044	0,076	0,063	0,066	0,078	47,5
Эйкозопентаеновая (C 20:5)	-	-	-	-	-	-	-
Арахидоновая (C 20:4)	-	-	-	-	-	-	-
Бегеновая (C 22:0)	-	0,171	0,132	0,160	0,155	0,124	57,1
Эруковая (C 22:1)	-	-	-	-	-	-	-
Докозагексаеновая (C 22:6)	-	-	-	-	-	-	-
Лигноцериновая (C 24:0)	0,163	0,198	0,167	0,211	0,300	0,208	26,7
Нервоновая (Селахолевая) (C 24:1)	0,052	0,047	0,054	0,072	0,112	0,067	39,6
*Масличность семян, %	44,60	44,46	43,88	44,44	43,40	44,15	1,1
*Содержание протеина, %	24,17	22,61	27,38	24,34	29,15	25,53	10,4
*Урожайность семян, т/га	1,58	2,05	2,22	1,40	1,67	1,78	19,1

Примечание. * – НСР₀₅ для: масличности семян – 0,94; содержания протеина – 1,08; урожайности семян – 0,14.

Урожайность семян зависела от суммы активных температур в период от посева до созревания ($r = -0,72$), среднесуточной температуры воздуха в периоды всходы–елочка, елочка–бутонизация ($r = 0,74; 0,73$), сумма активных температур в период всходы–елочка ($r = 0,87; -0,92$), количества осадков в период елочка–бутонизация ($r = -0,77$); ГТК в период елочка–бутонизация ($r = -0,74$) (таблица 3). С урожайностью семян также сильно отрицательно сопряжено содержание пальмитиновой кислоты ($r = -0,74$) (таблица 4).

Масличность семян сорта Исток в среднем за годы исследования составила 44,15 %, при коэффициенте вариации $C_v = 1,1 \%$, что свидетельствует о стабильности признака. Наибольшая масличность (44,60 %) формировалась в 2013 г., наименьшая (43,88 %) – в более влажном 2015 г. (см. таблицу 2).

Погодные условия оказали значительное влияние на масличность. Определена сильная отрицательная корреляция величины этого показателя с суммой активных температур периодов всходы–созревание и цветение–созревание ($r = -0,82; -0,91$) и ГТК периода посев–всходы ($r = -0,73$) (см. таблицу 3). Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между масличностью и содержанием протеина ($r = -0,95$).

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции основных показателей сорта льна масличного Исток с гидротермическими условиями вегетационного периода

Показатель	Жирная кислота, %					Масличность, %	Содержание протеина в семенах, %	Сбор семян, т/га
	пальмитиновая	стеариновая	олеиновая	линолевая	α-линоленовая			
Вегетационный период (всходы–созревание)								
Продолжительность, сут	0,18	0,20	0,32	-0,48	-0,08	-0,16	0,08	-0,39
Температура воздуха, °С	0,07	0,05	-0,14	0,43	-0,18	0,15	-0,13	0,23
Сумма активных температур, °С	-0,51	-0,43	-0,33	-0,18	0,62	-0,82*	0,94*	0,05
Количество осадков, мм	-0,26	-0,81*	-0,92*	0,78*	0,61	0,19	0,10	-0,04
ГТК (по Селянинову)	-0,22	-0,61	-0,72*	0,80*	0,36	0,50	-0,30	0,21
Вегетационный период (посев–созревание)								
Продолжительность, сут	0,18	0,20	0,32	-0,48	-0,08	-0,16	0,08	-0,39
Температура воздуха, °С	0,04	-0,47	-0,67	0,87*	0,18	0,48	-0,28	-0,01
Сумма активных температур, °С	0,40	-0,39	-0,48	0,53	0,13	0,54	-0,36	-0,72*
Количество осадков, мм	-0,24	-0,81*	-0,91*	0,73*	0,63	0,07	0,23	-0,13
ГТК (по Селянинову)	-0,28	-0,78*	-0,87*	0,68	0,62	0,02	0,26	-0,06
Межфазный период (посев–всходы)								
Среднесуточная температура воздуха, °С	0,47	-0,44	-0,62	0,80*	0,08	0,72	-0,50	-0,69
Сумма активных температур, °С	0,92*	0,44	0,23	0,27	-0,69	0,64	-0,68	-0,71
Количество осадков, мм	0,25	0,45	0,49	-0,63	-0,24	-0,67	0,55	-0,40
ГТК (по Селянинову)	0,14	0,38	0,47	-0,69	-0,14	-0,73*	0,62	-0,34
Межфазный период (всходы–елочка)								
Среднесуточная температура воздуха, °С	-0,29	0,12	0,19	0,02	-0,13	0,47	-0,58	0,74*
Сумма активных температур, °С	-0,40	0,31	0,46	-0,35	-0,17	0,15	-0,35	0,87*
Количество осадков, мм	-0,11	-0,51	-0,39	-0,01	0,53	-0,13	0,28	-0,47
ГТК (по Селянинову)	-0,07	-0,46	-0,35	-0,05	0,49	-0,19	0,33	-0,52
Межфазный период (елочка–бутонизация)								
Среднесуточная температура воздуха, °С	-0,46	-0,22	-0,22	0,29	0,18	0,20	-0,17	0,73*
Сумма активных температур, °С	0,61	-0,33	-0,57	0,72	0,01	0,39	-0,17	-0,92*
Количество осадков, мм	0,67	-0,25	-0,55	0,88*	-0,14	0,63	-0,43	-0,77*
ГТК (по Селянинову)	0,65	-0,27	-0,57	0,90*	-0,12	0,66	-0,45	-0,74*
Межфазный период (бутонизация–цветение)								
Среднесуточная температура воздуха, °С	-0,29	-0,87*	-0,95*	0,77*	0,67	0,18	0,12	-0,08
Сумма активных температур, °С	-0,11	-0,59	-0,73*	0,86*	0,30	0,61	-0,40	0,11
Количество осадков, мм	-0,45	-0,17	-0,18	0,16	0,20	-0,15	0,18	0,62
ГТК (по Селянинову)	-0,42	-0,02	-0,02	0,02	0,09	-0,24	0,21	0,66
Межфазный период цветение–созревание								
Среднесуточная температура воздуха, °С	0,55	0,48	0,24	0,15	-0,58	-0,03	-0,03	-0,24
Сумма активных температур, °С	-0,44	0,33	0,57	-0,94*	0,07	-0,91*	0,73*	0,39
Количество осадков, мм	-0,65	-0,78*	-0,74*	0,44	0,74*	-0,08	0,30	0,39
ГТК (по Селянинову)	-0,56	-0,82*	-0,82*	0,57	0,72*	0,05	0,19	0,30

Примечание. * – коэффициенты корреляции достоверны на уровне значимости $p < 0,05$.

**Таблица 4 – Корреляционная матрица основных показателей сорта льна
масличного Исток**

Кислота/ Показатель	Жирная кислота, %					Масличность, %	Содержание протеина в семенах, %	Сбор семян, т/га
	пальмитиновая	стеариновая	олеиновая	линолевая	α – линоленовая			
Пальмитиновая	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Стеариновая	0,53	1,00	-	-	-	-	-	-
Олеиновая	0,25	0,94*	1,00	-	-	-	-	-
Линолевая	0,31	-0,51	-0,76*	1,00	-	-	-	-
α – линоленовая	-0,78*	-0,91*	-0,74*	-0,60	1,00	-	-	-
Масличность, %	0,51	0,00	-0,21	0,71	-0,35	1,00	-	-
Содержание протеина в семенах, %	-0,56	-0,29	-0,12	-0,47	0,58	-0,95*	1,00	-
Сбор семян, т/га	-0,74*	0,03	0,24	-0,40	0,20	-0,22	0,10	1,00

Примечание. * – коэффициенты корреляции достоверны на уровне значимости $p < 0,05$.

Гидротермические условия периода вегетации и отдельных фаз органогенеза также оказывали влияние на содержание протеина в семенах льна, которое составило 25,53 % при коэффициенте вариации $C_v = 10,4$ %. Большая величина этого признака определена в сухом 2017 г. – 29,15 %, меньшая – в засушливом 2014 г. – 22,61 %. Зафиксировано сильное сопряжение между содержанием протеина и суммой активных температур за вегетационный период и период цветения–созревание ($r = 0,94; 0,73$).

В состав льняного масла входят насыщенные кислоты (пальмитиновая, стеариновая) и ненасыщенные (линолевая, линоленовая и олеиновая). Полезные свойства масла обусловлены его жирнокислотным составом. Более стабильным ($C_v = 1,8–9,1$ %) оказалось содержание линолевой, миристиновой, пальмитиновой, маргариновой и маргаринолеиновой кислот и составило 68,696; 0,043; 5,862; 0,066 и 0,042 % соответственно (см. таблицу 2).

В зависимости от условий года ($C_v = 37,6–57,1$ %) значительно варьировало содержание α - и γ -линоленовой, нервоновой эйкозодиеновой и бегеновой жирных кислот, показатели которых составили 4,534; 0,019; 0,067; 0,078 и 0,124 % соответственно.

Лён масличный сорта Исток имеет измененный ЖКС масла, основную часть которого составляет линолевая кислота – 67,104–69,867 %, что и определяет его основные свойства. Массовая доля линолевой кислоты сильно положительно сопряжена с количеством осадков в межфазные периоды посев–созревание, всходы–созревание и елочка–бутонизация ($r = 0,73; 0,78; 0,88$); с ГТК периода всходы–созревание и елочка–бутонизация ($r = 0,80; 0,90$), а также со среднесуточной температурой, суммой активных температур в период елочка–бутонизация ($r = 0,77; 0,86$). Определена сильная отрицательная корреляция величины этого показателя с суммой активных температур периода цветения–созревание ($r = -0,94$). Таким образом, более оптимальные гидротермические условия для синтеза линолевой кислоты сложились в обеспеченном по увлажнению 2016 г.

Олеиновая кислота является второй по процентному содержанию в масле изучаемого сорта – 13,889–17,955 %. Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между содержанием олеиновой, линолевой и α -линоленовой кислотами ($r = -0,76; -0,74$) и положительная зависимость с пальмитиновой кислотой ($r = 0,94$) (см. таблицу 4). Сильное отрицательное сопряжение величины этого показателя

определено с количеством осадков и ГТК как вегетационного периода ($r = -0,92$; $-0,72$) так и периодов посев–созревание ($r = -0,91$; $-0,87$), цветение–созревание ($r = -0,74$; $-0,82$), а также со среднесуточной температурой воздуха и суммой активных температур периода бутонизация–цветение ($r = -0,95$; $-0,73$). Больше содержание олеиновой кислоты (17,955 %) определено в засушливом 2014 г., что в 1,3 раза превышало ее содержание в условиях обеспеченного увлажнения 2013 г.

Пальмитиновая кислота – предшественник других длинноцепочечных жирных кислот, таких как стеариновая, олеиновая, эйкозатриеновая и архидоновая. Это единственная основная жирная кислота, содержание которой сильно отрицательно коррелирует с величиной сбора семян с гектара ($r = -0,74$). Ее массовая доля сильно положительно сопряжена с суммой активных температур периода посев–всходы ($r = 0,92$). Максимальное содержание пальмитиновой кислоты (6,265 %) определено в 2016 г. при сумме активных температур в период посев–всходы 164,8 °С, что в 1,15 раза превышает показатели 2015 г. (65,7 °С).

Содержание стеариновой кислоты (3,630–4,715 %) средне стабильно по годам ($C_v = 10,6$ %). Определена сильная отрицательная корреляционная зависимость ее содержания с количеством осадков периодов посев–созревание, всходы–созревание, цветение–созревание ($r = -0,81$; $-0,81$; $-0,78$) и ГТК периодов посев–созревание, цветение–созревание ($r = -0,78$; $-0,82$), а также со среднесуточной температурой воздуха периода бутонизация–цветение ($r = -0,87$). В засушливых условиях вегетационного периода 2014 г. содержание стеариновой кислоты в 1,3 раза превышало величину этого показателя в благоприятном по режиму увлажнения 2013 г.

Также важна для свойств масла (несмотря на низкое ее содержание – 2,504–6,251 %) ненасыщенная α -линоленовая кислота. Ее содержание – одна из основных особенностей сорта Исток. Установлена сильная положительная корреляционная зависимость величины этого показателя с количеством осадков и ГТК периода цветение–созревание ($r = 0,74$; $0,72$). Более оптимальное ее содержание для свойств масла сорта Исток определено в сухих условиях 2014 г.

Выводы

В результате проведенных исследований впервые в условиях Средневолжского региона определена зависимость урожайности, масличности семян и содержания сырого протеина для модельного сорта Исток с измененным ЖКС масла от гидротермических условий всех межфазных периодов роста и развития льна ($r = -0,92$ – $0,87$). Большой сбор семян с гектара (2,22 т/га) зафиксирован в условиях избыточного увлажнения 2015 г. (ГТК – 1,43), а масличность (44,60 %) – в условиях 2013 г. (ГТК периода всходы–созревание – 1,43, цветение–созревание – 1,84).

Между масличностью и содержанием протеина выявлено сильное обратное сопряжение ($r = -0,95$). Определен жирнокислотный состав масла в отдельные годы исследований, что позволило выявить более стабильные жирные кислоты: линолевая кислота – 68,696 % ($C_v = 1,8$ %), миристиновая – 0,043 % ($C_v = 2,68$ %), пальмитиновая – 5,862 % ($C_v = 4,9$ %), маргариновая – 0,066 % ($C_v = 7,8$ %) и маргаринолеиновая – 0,042 % ($C_v = 9,1$ %). Выявлена зависимость содержания жирных кислот как между собой ($r = -0,78$ – $0,94$), так и их сопряжение с гидротермическими условиями ($r = -0,95$ – $0,87$).

Требуемый ЖКС масла получен во все годы исследований, что обусловлено геномом сорта Исток. Тем не менее, наиболее оптимальное содержание основных жирных кислот получено в засушливых условиях 2014 г. (ГТК периодов всходы–созревание, цветение–созревание – 0,95; 0,56 соответственно). Значительнее всего от оптимального ЖКС масла отклонялся в условиях достаточного и избыточного увлажнения 2013 и 2015 гг. (ГТК периодов всходы–созревание, цветение–созревание

– 1,26; 1,31 и 1,43; 1,84 соответственно), то есть наибольшее влияние на ЖКС масла оказали гидротермические условия периодов всходы–созревание и цветение–созревание (количество осадков и ГТК).

Таким образом, оптимальными для льна масличного сорта Исток являются следующие гидротермические условия: низкое значение показателя суммы активных температур за периоды посев–созревание, всходы–созревание (урожайность семян, масличность), высокая среднесуточная температура периодов всходы–елочка, елочка–бутонизация, высокое значение показателя суммы активных температур за период всходы–елочка и его низкое значение в период елочка–бутонизация, при малом количестве осадков и низком значении ГТК (урожайность семян), высокая среднесуточная температура и сумма активных температур периода бутонизация–цветение (линолевая кислота) и низкое значение суммы активных температур (масличность), малое количество осадков и значения ГТК периода цветение–созревание (α -линоленовая кислота).

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

Литература

1. Руководство по семеноводству масличных культур // под общ. ред. Пустовойта В. С. 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 // Материалы научно-практической конференции «Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур». Рязань: ФГБОУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», 2013. С. 50–53.
4. Скляр С. В. Жирно-кислотный профиль и оксидостойкость масла низколиноленовых сортотбразцов льна масличного // Масличные культуры. 2012. № 2 (151–152). С. 91–95.
5. Маслинская М. Е., Андроник Е. В., Иванова Е. В. Оценка селекционных сортотбразцов 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., Айссотоде Й. З., Рощин 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. Лён масличный: селекция, семеноводство, технология возделывания и уборки. Краснодар: РАСХН, ГНУ ВНИИМК, 2008. 191 с.
8. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур // под ред. Давидян Г. Г. Л.: ВИР, 1976. 21 с.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // под общ. ред. Федина М. А. М.: Сельхозиздат, 1983. 183 с.
10. Павлова Л. Н., Александрова Т. А., Марченков А. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И., Кудрявцева Л. П., Крылова Т. В., Герасимова Е. Г. Методические указания по селекции льна-долгунца. М.: Россельхозакадемия, 2004. 43 с.
11. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов // под ред. Скурихина И. М., Тутельяна В. А. М.: «Брадент-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.

References

1. Guide to seed production of oilseeds // ed. by Pustovoit V. S. Moscow: Kolos, 1967. 351 p.
2. Brazhnikov V. N., Brazhnikova O. F., Prakhova T. Ya., Prakhov V. A. Results of selection and fatty acid composition of flax oil // International agricultural journal. 2015. No. 6. P. 23–27.
3. Brazhnikov V. N., Brazhnikova O. F. Results of cultivation of flax // Materials of Scientific-Practical Conference “Scientific and practical aspects of technologies of cultivation and processing of oilseeds”. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University, 2013. P. 50–53.
4. Sklyarov S. V. Fatty acid profile and oil oxidizing stability of low-linolenic oil flax // Oil Crops. Scientific and technical bulletin of All-Russia Research Institute of Oil Crops. 2012. No. 2 (151–152). P. 91–95.
5. Maslinskaia M. E., Andronik E. L., Ivanova E. V. Estimation of selection variety samples of oilseed flax according to the duration of the main phases of vegetation and fatty acid content of oil // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2016. No. 4. P. 66–72.
6. Nosevich M. A., Ayissotode Y. Z., Roshchin V. I., Vedernikov D. N. Quality assessment of oil and fiber flax depending on genetic characteristics and the conditions for its growth // Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2017. No. 1(46). P. 15–20.
7. Galkin F. M., Khatnyanskiy V. I., Tishkov N. M., Piven T. V., Shaforostov V. D. Oilseed flax: breeding, seed production, cultivation and harvesting technology. Krasnodar: Russian Academy of Agricultural Sciences, State Scientific Institution All-Russia Research Institute of Oil Crops named after V. S. Pustovoit (VNIIMK), 2008. 191 p.
8. Guidelines for the study of the world collection of oilseeds // ed. by Davidyan G. G. Leningrad: VIR, 1976. 21 p.
9. Methods of State variety testing of agricultural crops // ed. by Fedin M. A. Moscow: Selkhozizdat, 1983. 183 p.
10. Pavlova L. N., Aleksandrova T. A., Marchenkov A. N., Rozhmina T. A., Loshakova N. I., Kudryavtseva L. P., Krylova T. V., Gerasimova E. G. Methodical instructions on flax selection. Moscow: Rosselkhozakademia, 2004. 43 p.
11. Guidance on food quality and safety analysis methods // ed. by Skurikhin I. M., Tutelyan V. A. Moscow: “Bradens-Medicine”, 1998. P. 84–93.
12. GOST R 51483-99. Vegetable oils and animal fats. Determination by gas chromatography of constituent contents of methyl esters of total fatty acid content. Moscow: Publishing and printing center Izdatelstvo standartov, 2000. 7 p.
13. Raushkovskiy S. S. Research methods in breeding oilseeds on the oil content. Moscow: Pishchepromizdat, 1959. 46 p.
14. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results) Moscow: “Kniga po trebovaniyu”, 2012. 352 p.

UDC 633.854.54:631.526.32:001.53

Brazhnikov V. N., Brazhnikova O. F., Brazhnikov, D. V.

INFLUENCE OF AGROCLIMATIC CONDITIONS ON YIELD AND FATTY ACID COMPOSITION OF OIL FLAX

Summary. *The biological value of linseed oil ranks first among other edible vegetable oils. The purpose of the research was to study the influence of hydrothermal conditions on the yield, content and fatty acid composition of the linseed oil extracted from the seeds of oilseed flax ‘Istok’, as well as to analyze the correlation between the biochemical composition of oil and the duration of the growing season and the main phases of organogenesis. This crop is one of the most valuable agricultural plants. Different ratio of fatty acids allows using this oil both for technical and food purposes. The research work was carried out in the Penza Research Institute of Agriculture from 2013 to 2017. The object of study – variety ‘Istok’ with changed FAC (fatty acid composition). The “Methodology of state variety testing of agricultural crops” was used in the research. Identification and determination of the content of high-molecular fatty acids were performed by standard methods of gas-liquid chromatography (GLC) on the “Crystal 5000.1” chromatograph. The correlation coefficients between yield, oil content of seeds, crude protein content and hydrothermal conditions in separate interphase periods of flax growth and development, as*

well as the structure of the growing season, varied within $r = -0.92-0.87$. A strong inverse correlation was found between oil and protein content ($r = -0.95$). Fatty acids, the content of which slightly changed depending on weather conditions, were determined. They are linoleic – 68.696 % ($C_V = 1.8$ %), myristic – 0.043 % ($C_V = 2.68$ %), palmitic – 5.862 % ($C_V = 4.9$ %), heptadecanoic or margaric – 0.066 % ($C_V = 7.8$ %) and margaric-oleic acid – 0.042 % ($C_V = 9.1$ %). The dependence of the content of fatty acids both among themselves ($r = -0.78-0.94$) and their conjugation with hydrothermal conditions ($r = -0.95-0.87$) was established. The hydrothermal conditions of germination-ripening and flowering-ripening periods (amount of precipitation and HTC) had the greatest influence on the content of the fatty acid composition. The required FAC of oil was obtained in all years of research. The greatest influence on the content of basic fatty acids had both the hydrothermal conditions of the vegetation period (amount of precipitation, HTC) in general and some interphase periods such as budding-flowering (average temperature, sum of active temperatures) and flowering-ripening (amount of precipitation, HTC) in particular. The established dependencies should be taken into account in breeding work aimed at creating new varieties of oil flax, as well as in production for predicting not only yield but oil content of seeds and FAC.

Keywords: oil flax (*Linum usitatissimum* L.), variety 'Istok', yield, oil content, correlation, fatty acid composition of oil, Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC).

Бражников Владимир Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела масличных культур, ФГБНУ «Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 442731, Россия, Пензенская область, п. Лунино, ул. Мичурина, 1б; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Бражникова Ольга Федоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела масличных культур, ФГБНУ «Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 442731, Россия, Пензенская область, п. Лунино, ул. Мичурина, 1б; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Бражников Дмитрий Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «Пензенский аграрный университет»; 440014, Россия, Пензенская область, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Brazhnikov Vladimir Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Department of oilseeds, FSBSI "Penza Research Institute of Agriculture"; 1B, Michurina str., vill. Lunino, Penza region, 442731, Russia; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Brazhnikova Olga Fedorovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Department of oilseeds, FSBSI "Penza Research Institute of Agriculture"; 1B, Michurina str., vill. Lunino, Penza region, 442731, Russia; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Brazhnikov Dmitry Vladimirovich, postgraduate student, FSBEI of Higher Education "Penza Agrarian University"; 30, Botanicheskaya str., Penza, Penza region, 440014, Russia; e-mail: brazhnikov_brazhnikov-5@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 06.08.2019.

Дата принятия к печати – 12.11.2019.