

М. Е. Маслинская¹, Н. С. Савельев¹, А. А. Сосновская²

*¹Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна»,
аг. Устье, Оршанский район, Витебская область, Республика Беларусь*

*²Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ЛЕН МАСЛИЧНЫЙ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК

Аннотация. Проведены исследования основных хозяйственно-ценных признаков белорусских сортов льна масличного — Брестский, Илим, Опус, Салют, Фокус. Установлено, что суммарное заражение семян льна комплексом возбудителей болезней не превышает 27,2 %, полевая всхожесть по сортам в среднем за годы испытаний составила 81,8%–87,1 %, выживаемость растений 79,6–83,3 %. Изучена максимальная продуктивность семян представленных сортов и содержание масла в них, проведен анализ структуры урожая. Изучен жирнокислотный состав льняного масла, содержание омега-3 α -линоленовой кислоты, токоферолов, каротиноидов, коэнзима Q₁₀, фитостеролов. Установлено, что окислительная стабильность изученных образцов льняного масла снижается с увеличением содержания α -линоленовой кислоты. Для обеспечения эффективной антиокислительной защиты специализированных продуктов питания на основе льняного масла использованы стабилизаторы на основе жирорастворимых производных аскорбиновой кислоты, позволяющие существенно ингибировать процессы окисления и окислительной деградации полиненасыщенных жирных кислот. На основании полученных результатов разработаны рецептуры и технологии получения двух специализированных продуктов питания на основе льняного масла.

Ключевые слова: лен масличный, продуктивность семян, содержание масла, жирнокислотный состав масла, специализированные продукты питания.

M. E. Maslinskaya¹, N. S. Savelyeu¹, A. A. Sosnovskaya²

*¹Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise "Flax Institute",
ag. Ustye, Orsha district, Vitebsk region, Republic of Belarus*

*²Establishment of the Belarusian State University "Research Institute of Physical and Chemical Problems",
Minsk, Republic of Belarus*

LINSEED AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES

Abstract. Researches of the main economically valuable traits of Belarusian varieties of oil flax - Brest, Ilim, Opus, Salyut, Focus were carried out. It has been established that the total infection of flax seeds with a complex of pathogens does not exceed 27.2%, field germination by varieties on average over the years of testing was 81.8%–87.1%, plant survival 79.6–83.3%. The maximum productivity of seeds of the presented varieties and the oil content in them were studied, the analysis of the crop structure was carried out. The fatty acid composition of linseed oil, the content of omega-3 α -linolenic acid, tocopherols, carotenoids, coenzyme Q₁₀, and phytosterols have been studied. It has been established that the oxidative stability of the studied samples of linseed oil decreases with an increase in the content of α -linolenic acid. To ensure effective antioxidant protection of specialized food products based on linseed oil, stabilizers based on fat-soluble derivatives of ascorbic acid were used, which make it possible to significantly inhibit the processes of oxidation and oxidative degradation of polyunsaturated fatty acids. Based on the results

obtained, formulations and technologies for obtaining two specialized food products based on linseed oil have been developed.

Key words: linseed, seed productivity, oil content, fatty acid composition of oil, specialized food products.

Введение. Обеспечение высокого качества жизни человека путем рационализации питания и сокращения дефицита микронутриентов в рационе является приоритетным направлением государственной политики многих стран мира [1–5]. Осознание обществом необходимости соблюдения здорового образа жизни и здорового питания как его компонента стимулирует спрос на продукты функционального назначения [6]. Актуальным становится использование специализированных пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище (БАД) в виде поливитаминных форм, витаминно-минеральных смесей и растительных комплексов — источников природных биологически активных веществ [7]. В настоящее время широко распространены во всем мире БАДы, потребляемые во время еды либо в виде различных фармацевтических форм (настои, экстракты, бальзамы, сиропы, концентраты, изоляты, порошки, таблетки, капсулы и т.д.), либо в виде обогащенных биологически активными веществами специализированных пищевых продуктов [8–11].

Одна из современных тенденций пищевой промышленности — внедрение новых безотходных технологий. Это предполагает повышение степени переработки сельскохозяйственного сырья с более полным извлечением из него полезных компонентов. Так, применение новых технологий переработки семян льна позволяет выделить из них такие биологически активные соединения, как стеролы, сквален, витамин Е и ряд других соединений, и создать на их основе новые группы отечественных биологически активных препаратов, включая препараты медицинского и медико-гигиенического назначения [12–14].

Интерес к использованию льна как пищевого продукта объясняется его компонентным составом [15–16]. По расчетам специалистов ценность извлекаемых из льна биологически активных веществ может достигать 80 000 USD на 1 тонну перерабатываемого льняного сырья [17–18]. Семена льна — это источник нутриентов и биологически активных веществ, благотворно влияющих на организм человека [19–20]. Льняное масло является основным источником для производства биологически активных добавок к пище на основе растительных масел. БАДы на основе льняного масла представляют собой обладающие уникальными лечебно-профилактическими свойствами биологически активные комплексы, включающие ценные компоненты льняного масла (полиненасыщенные жирные кислоты омега-3 и омега-6, γ -токоферол, каротиноиды, фосфолипиды, фитостерины) и добавки микроэлементов, жирорастворимых витаминов, коэнзимов и других биологически активных соединений [21–22].

Однако наличие трех двойных связей в молекуле альфа-линоленовой кислоты (АЛК) обуславливает высокую склонность льняного масла к окислению, которое приводит к значительному ухудшению его органолептических свойств и пищевой ценности за короткое время хранения, что ограничивает широкое внедрение льняного масла на рынок пищевых и фармацевтических продуктов. Для защиты растительных масел, особенно полиненасыщенных, от окислительного старения и увеличения сроков хранения масел традиционно используют антиоксиданты (АО), в качестве которых, как правило, применяются соединения фенольной природы, способные эффективно взаимодействовать со свободными радикалами, образующимися при окислении [23]. Проведенные исследования показали, что для обеспечения эффективной антиокислительной защиты льняного масла и БАД на его основе в качестве ингибиторов окисления могут быть использованы жирорастворимые производные аскорбиновой кислоты, а также их композиции с природными антиоксидантами, позволяющие существенно увеличить устойчивость к окислению и сроки хранения таких нутриентных продуктов [24–27].

Цель настоящего исследования — изучить сорта льна масличного белорусской селекции по основным хозяйственно-ценным признакам и химическому составу масла как компоненту для производства специализированных продуктов питания на основе льняного масла.

Объекты исследований: семена сортов льна масличного Брестский, Опус, Илим, Салют, Фокус, льняное масло и БАДы на его основе, биологически активные вещества (БАВ) для обогащения льняного масла и антиоксиданты.

Результаты исследований и их обсуждение. Полевые опыты заложены в 2014–2015 годах на опытном поле РУП «Институт льна» Оршанского района Витебской области по общепринятым методикам проведения полевых опытов [28]. Повторность полевого опыта — четырехкратная, площадь делянок в опыте 12,5 м².

Агротехника общепринятая для возделывания льна масличного в Республике Беларусь. Норма высева — 9,0 млн. всхожих семян на гектар. Способ посева — узкорядный. Предшественник — зерновые культуры. Минеральные удобрения внесены в форме АФК. Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая, ее агрохимическая характеристика представлена в табл. 1.

Проведен уход за посевами, прополка от сорняков, фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Уборка опытов проводилась в фазе желтой спелости. Все сорта изучали по морфологическим признакам, продуктивности и качеству урожая, устойчивости к болезням. Метеорологические условия в период проведения исследований отличались как в годы проводимых исследований, так и от средних многолетних. В 2014 году в период вегетации температура воздуха, превышающая норму, а также недостаток влаги замедлили появление всходов и способствовали формированию невысокого урожая семян льна масличного. В 2015 году агрометеорологические условия в начальный период были благоприятны для роста и развития растений льна масличного. Верхний слой почвы находился в умеренно влажном состоянии. В дальнейшем в период вегетации наблюдалась умеренно теплая, в отдельные дни жаркая погода. Количество выпавших осадков было незначительным, что оказало влияние на ростовые процессы. Однако достаточные запасы продуктивной влаги в почве (в полуметровом горизонте от 40 до 90 мм) способствовали формированию высоких урожаев семян льна масличного.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы
Table 1. Agrochemical characteristics of soil

Показатели почвы	Год проведения исследований	
	2014	2015
рН солевой вытяжки	5,5-5,8	5,4
Гумус (по Тюрину), %	2,18	1,69
P ₂ O ₅ (по Кирсанову), мг/кг почвы	210	200
K ₂ O ₅ (по Масловой), мг/кг почвы	180	220

Проведена фитоэкспертиза семян льна масличного методом инкубации во влажной камере. Результаты лабораторных исследований показали соответствие посевного материала требованиям стандарта СТБ 1123-98 [29]. Суммарное заражение семян льна комплексом возбудителей болезней не превышает 27,2 % (табл. 2). Преобладают такие болезни, как крапчатость 20,0–22,0 % и бактериоз 5,0–6,0 %.

Таблица 2. Фитоэкспертиза семян отечественных сортов льна масличного, %
Table 2. Phytoexamination of seeds of domestic varieties of linseed, %

Сорта льна	Всхожесть	Энергия прорастания	Суммарное заражение семян, %	в том числе		
				Крапчатость	Бактериоз	Антракноз
Брестский	96,5	95,0	25,2	20,0	5,2	0,0
Опус	91,0	90,5	27,2	22,0	5,0	0,2
Илим	95,0	93,5	18,0	12,0	6,0	0,0
Салют	100	100	12,1	6,5	12,0	0,5
Фокус	98,0	98,0	18,0	5,0	12,5	0,5

Полевая всхожесть по сортам в среднем за годы испытаний варьировала от 81,8 % у сорта Опус до 87,1 % у сорта Салют, значения показателя «выживаемость растений» изменялись в пределах 79,6 до 83,3 % у сортов Опус и Салют соответственно (табл. 3).

Таблица 3. Полевая всхожесть семян сортов льна масличного (среднее за 2014-2015 гг.)
Table 3. Field germination of seeds of linseed varieties (average for 2014-2015)

Сорт	Полевая всхожесть, %	Выживаемость растений, %
Брестский	84,4	81,6
Илим	84,0	81,0
Опус	81,8	79,6
Салют	87,1	82,9
Фокус	86,9	83,3

Оценка фитосанитарного состояния посевов в фазу «елочка» показала, что распространение грибных болезней было незначительным. Распространение «кальциевого хлороза» варьировало в зависимости от варианта опыта от 1 % до 4 %, а антракноза от 1,0 % до 5,0 %.

В фазе «ранней желтой спелости» поражаемость растений болезнями увеличилась и значения показателя «распространение болезней» варьировали в пределах 8–13 % по «кальциевому хлорозу», 9–13% по «антракнозу, поражение растений «пасмо» отмечено только у сорта Брестский (табл. 4).

Таблица 4. Распространение болезней в посевах льна масличного, 2014-2015 гг.
Table 4. Distribution of diseases in linseed crops, 2014-2015

№	Вариант	Распространение болезней, %				
		Фаза «елочка»		Ранняя желтая спелость		
		«Кальциевый хлороз»	«Антракноз»	«Кальциевый хлороз»	«Антракноз»	«Пасмо»
1	Сорт Брестский	2	3	11	8	1
2	Сорт Илим	2	3	9	10	-
3	Сорт Опус	1	2	13	10	-
4	Сорт Салют	1	2	12	13	-
5	Сорт Фокус	3	3	11	8	-

Полученные данные по продуктивности семян основных сортов льна масличного показали, что максимальную продуктивность как в 2014, так и в 2015 году сформировал сорт Салют (15,3 и 16,8 ц/га соответственно), среднее значение данного показателя по сорту составило 16,1 ц/га (табл. 5).

Таблица 5. Продуктивность и масличность семян сортов льна
Table 5. Productivity and oil content of flax seeds

№	Сорт	2014 г.			2015 г.			Среднее		
		Семена, ц/га	Масло, %	Выход масла, ц/га	Семена, ц/га	Масло, %	Выход масла, ц/га	Семена, ц/га	Масло, %	Выход масла, ц/га
1	Сорт Брестский	14,8	43,00	6,36	14,9	46,2	6,9	14,9	44,6	6,6
2	Сорт Илим	13,6	47,12	6,40	15,3	50,4	7,7	14,5	48,8	7,1
3	Сорт Опус	13,5	46,41	6,26	15,7	48,3	7,6	14,6	47,4	6,9
4	Сорт Салют	15,3	45,76	7,00	16,8	50,8	8,5	16,1	48,3	7,8
5	Сорт Фокус	14,0	47,66	6,67	15,8	51,3	8,1	14,9	49,5	7,4
НСР	0,62	1,43	0,24	0,56	1,67	0,47	0,50	1,50	0,36	0,62

Продуктивность других изучаемых сортов в период исследований варьировала от 13,9 ц/га (сорт Опус, 2015 год) до 15,8 ц/га (сорт Фокус, 2015 год), средние же значения данного показателя были примерно на одном уровне: наименьшее значение средней продуктивности 14,5 ц/га отмечена у сорта Илим, максимальная 14,9 ц/га — у сортов Брестский и Фокус.

Процентное содержание масла у сортов значительно отличалось по годам исследований. Так, в неблагоприятных условиях периода вегетации и дефицита влаги в 2014 году содержание масла в семенах льна масличного составило 43,0–47,66 % у сортов Брестский и Фокус соответственно. В 2015 году, характеризовавшемся более благоприятными агрометеорологическими условиями, содержание масла в семенах варьировало в пределах 46,2–51,3 %. Максимальные средние значения данного показателя отмечены у сортов Илим (48,8 %) и Фокус (49,5 %).

Следует отметить, что накопление масла в семенах зависит и от сортовых особенностей, что подтверждено проведенными исследованиями.

В связи с недостаточным количеством семян сорта Фокус для дальнейших исследований по изучению химического состава льняного масла как компонента для биологически активных добавок был взят сорт Илим.

Значения показателя «сбор масла» с единицы площади, вследствие его зависимости от продуктивности семян и содержания в них масла, также имело в 2014 году более низкие значения (6,36 и 7,00 ц/га у сортов Брестский и Салют соответственно) при среднем значении 6,6 и 7,8 ц/га у сортов Брестский и Салют соответственно.

Проведен анализ структуры урожайности сортов по годам исследования (табл. 6). Среднее количество растений на единице площади варьировало в пределах 76–79 шт., среднее количество коробочек составило 5,7–5,8 шт., число семян в коробочке — 6,2–6,4 шт., масса 1000 семян у изучаемых

сортов — 6,1–6,2 г, биологическая урожайность составила 16,5–17,2 ц/га. При этом максимальную биологическую урожайность сформировали сорта Салют (17,2 ц/га) и Фокус (17,1 ц/га).

Определено остаточное содержание пестицидов, гербицидов и других вредных веществ в семенах изученных сортов льна масличного. В результате испытаний установлено, что все образцы по результатам испытаний соответствуют Единым санитарно-эпидемиологическим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору, утвержденным Решением комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 №299.

Таблица 6. Структура урожая льна масличного (среднее за 2014-2015 гг.)
Table 6. Structure of linseed crop (average for 2014-2015)

Вариант	Количество растений на 0,1 м ²	Количество коробочек на растении, шт.	Число семян в коробочке, шт.	Масса 1000 семян, г	Биологическая урожайность, ц/га
Сорт Брестский	78	5,7	6,2	6,2	16,6
Сорт Илим	77	5,7	6,2	6,2	16,7
Сорт Опус	76	5,8	6,3	6,1	16,5
Сорт Салют	79	5,7	6,4	6,2	17,2
Сорт Фокус	79	5,8	6,3	6,1	17,1
НСР ₀₅	1,03	0,04	0,07	0,04	0,24

В лаборатории химии свободнорадикальных процессов Научно-исследовательского института физико-химических проблем БГУ изучен химический состав льняного масла, полученного из семян различных сортов льна (табл. 7 и 8). Для определения жирнокислотного состава глицеридов льняного масла проводили их переэтерификацию по стандартному методу с последующим хроматографическим анализом полученных метиловых эфиров согласно [30]. На рис. 1 приведена хроматограмма метиловых эфиров жирных кислот образца льняного масла сорта Илим.

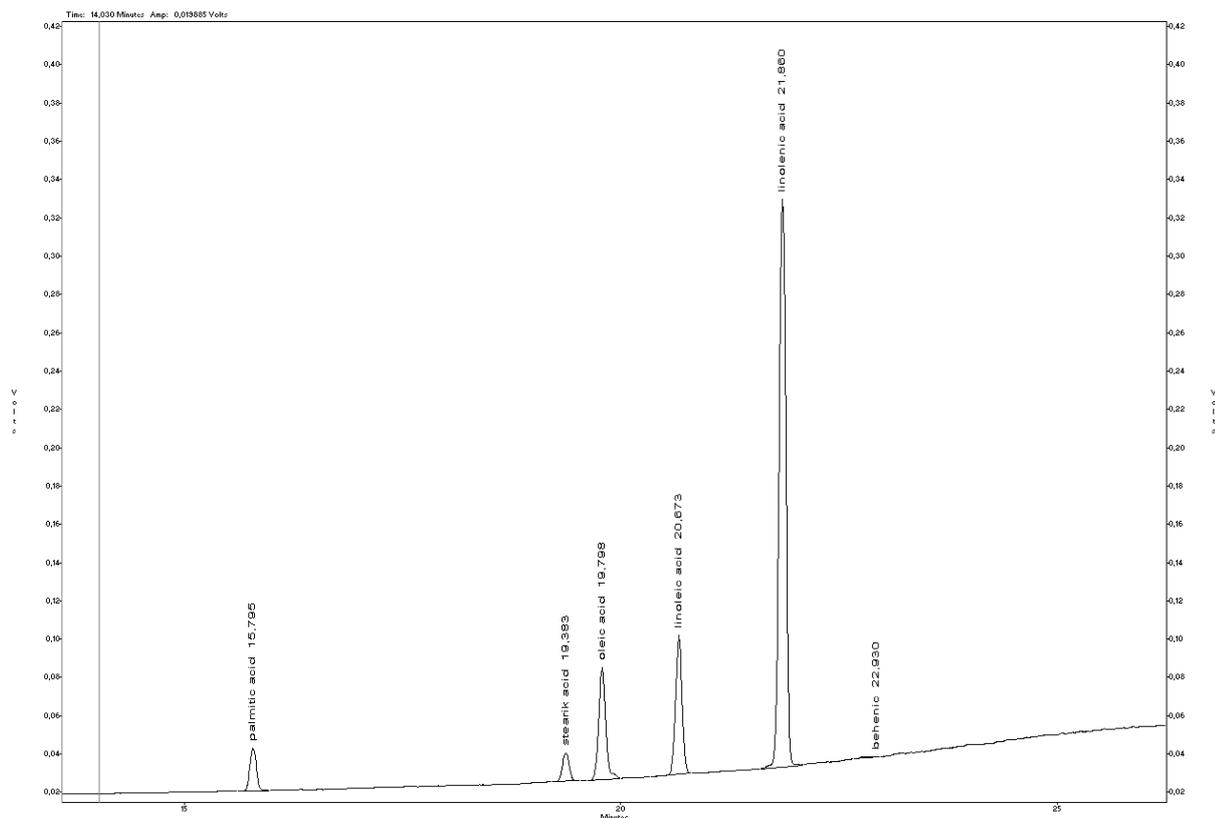


Рис. 1. Хроматограмма метиловых эфиров жирных кислот льняного масла из семян льна масличного сорта «Илим»

Fig. 1. Chromatogram of methyl esters of fatty acids of flaxseed oil from linseed of the oilseed variety «Ilim»

В табл. 7 приведены данные по составу композиций жирных кислот и основные показатели качества льняного масла из семян льна масличного белорусских сортов Илим, Опус, российского сорт Ручеек, а также из семян льна-долгунца сорта Блакит.

Результаты представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение (SD).

Согласно экспериментальным данным, изученные образцы масла имели низкие значения пероксидных, кислотных и анизидиновых чисел, характеризующих степень окислительной порчи растительных масел, это свидетельствует о высоком качестве масла. Содержание АЛК в маслах изменялось в интервале 48,99–63,76 %, суммы ПНЖК –65,54–79,03 %.

Таблица 7. Характеристика изученных образцов льняного масла
Table 7. Characteristics of the studied samples of flaxseed oil

Жирная кислота	Содержание, % от суммы ЖК			
	лен масличный Илим, РБ (образец 1)	лен-долгунец Блакит, РБ (образец 2)	лен масличный Опус, РБ (образец 3)	лен масличный Ручеек, РФ (образец 4)
Жирные кислоты, % от суммы:				
Миристиновая С 14:0	0,05 \pm 0,01	нд	0,05 \pm 0,01	нд
Пальмитиновая С 16:0	4,52 \pm 0,20	5,40 \pm 0,24	5,58 \pm 0,27	4,68 \pm 0,22
Пальмитолеиновая С16:1	нд	0,10 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01	0,014 \pm 0,01
Стеариновая С 18:0	3,09 \pm 0,014	3,85 \pm 0,015	4,65 \pm 0,021	5,54 \pm 0,029
Олеиновая С 18:1 n-9	13,16 \pm 0,58	21,23 \pm 0,89	16,25 \pm 0,72	23,73 \pm 0,74
Линолевая С 18:2 n-6	15,27 \pm 0,65	14,49 \pm 0,67	12,32 \pm 0,60	16,55 \pm 0,69
α -Линоленовая С 18:3 n-3	63,76 \pm 2,83	54,64 \pm 2,60	60,45 \pm 2,95	48,99 \pm 2,64
Арахидоновая С20:0	Следы	0,19 \pm 0,01	0,19 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01
Гадолеиновая С20:1	0,20 \pm 0,01	0,09 \pm 0,01	0,44 \pm 0,02	0,23 \pm 0,01
Сумма ПНЖК	79,03 \pm 3,48	69,13 \pm 3,27	72,77 \pm 3,55	65,54 \pm 3,33
ПЧ, мг-экв О ₂ /кг	0,75 \pm 0,04	1,43 \pm 0,07	1,12 \pm 0,06	1,28 \pm 0,06
КЧ, мг КОН/г	0,60 \pm 0,03	0,81 \pm 0,04	0,68 \pm 0,04	0,78 \pm 0,04
АЧ, у.е.	0,47 \pm 0,02	0,75 \pm 0,03	1,02 \pm 0,04	1,14 \pm 0,04
Йодное число, г I ₂ /100 г	198,5 \pm 9,8	186,8 \pm 9,2	190,7 \pm 8,9	183,4 \pm 9,0

В состав льняного и других растительных масел входят естественные мини-компоненты, обладающие антиокислительными свойствами — токоферолы, каротиноиды, фосфолипиды, фитостеролы, коэнзимы Q, содержание которых зависит от вида и сорта масличной культуры, ареала и условий ее возделывания, а также технологии извлечения масла. Содержание индивидуальных токоферолов и фитостеролов в пробах определяли методом газожидкостной хроматографии, каротиноидов и коэнзимов Q — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно [30–31]. Полученные данные представлены в табл. 8.

Результаты представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение (SD).

Согласно экспериментальным данным, в изученных образцах льняного масла суммарное содержание токоферолов изменяется в интервале от 50,13 до 67,40 мг/100 г.

γ -Токоферол является преобладающей формой витамина E в льняном масле, доля его составляет от 92,1 до 96,9 % от суммарного содержания токоферолов. При этом антиокислительная активность γ -токоферола значительно превышает активность α -токоферола [10]. Основным каротиноидом льняного масла является лютеин, β -каротин присутствует в льняном масле в значительно меньшей концентрации. Основными идентифицированными фитостеролами в льняном масле являются кампестерол, β -ситостерол, циклоартенол, стигмастерол, Δ^5 -авенастерол. Масло содержит также коэнзимы Q, из которых основным является коэнзим Q₁₀.

В табл. 9 приведены значения индукционных периодов (ИП), полученных с использованием стандартного метода ускоренного окисления на приборе Rancimat при температуре 100 °С, для четырех образцов льняного масла, различающихся по ЖК-составу.

Из данных табл. 9 видно, что окислительная стабильность изученных образцов льняного масла снижается с увеличением содержания АЛК и суммарного содержания ПНЖК. Период индукции окисления для образца с содержанием АЛК 48,99 % в 2,6 раза превышает период индукции для образца с содержанием АЛК 63,76 % (масло из семян сорта «Илим»).

С целью разработки новых устойчивых к окислению БАДов на основе льняного масла изучено влияние добавок α -токоферола, α -токоферола ацетата, холекальциферола (витамин D₃), лютеина и зеаксантина на склонность льняного масла к окислительным изменениям в зависимости от концентрации и состава композиций добавок. Найдено, что добавки к льняному маслу жирораствори-

мых витаминов и других соединений в концентрациях, обеспечивающих физиологическую суточную потребность в биологически активных веществах при потреблении обогащенного БАВ льняного масла, как правило, не изменяют (α -токоферол, α -токоферола ацетат, холекальциферол) или снижают (каротиноиды) его устойчивость к окислительному «старению». Поэтому для обеспечения эффективной антиокислительной защиты специализированных продуктов питания на основе льняного масла, обогащенного биологически активными веществами, необходимо использовать ингибиторы окисления.

Таблица 8. Содержание биологически активных мини-компонентов в льняном масле
Table 8. Content of biologically active mini-components in linseed oil

Содержание, мг/100 г масла	Лен масличный «Илим», РБ (образец 1)	Лен-долгуец Блакит, РБ (образец 2)	Лен масличный Опус, РБ (образец 3)	Лен масличный Ручеек, РФ (образец 4)
Токоферолы:				
γ	46,17 \pm 2,23	58,25 \pm 3,09	58,79 \pm 2,82	65,32 \pm 3,09
α	2,30 \pm 0,11	1,97 \pm 0,13	2,44 \pm 0,12	1,13 \pm 0,45
Δ	1,66 \pm 0,08	1,28 \pm 0,09	1,07 \pm 0,05	0,95 \pm 0,06
сумма	50,13 \pm 2,40	60,44 \pm 2,86	62,30 \pm 2,99	67,40 \pm 3,16
Каротиноиды:				
β -каротин	0,21 \pm 0,02	0,21 \pm 0,03	0,28 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02
лютеин	1,87 \pm 0,10	1,12 \pm 0,14	2,17 \pm 0,10	2,47 \pm 0,12
другие	0,47 \pm 0,03	0,34 \pm 0,04	0,57 \pm 0,03	0,54 \pm 0,03
сумма	2,55 \pm 0,12	1,67 \pm 0,21	3,02 \pm 0,15	3,41 \pm 0,17
Коэнзимы Q:				
Q ₁₀	2,93 \pm 0,28	3,18 \pm 0,25	4,41 \pm 0,42	2,14 \pm 0,24
Q ₉	1,32 \pm 0,14	1,57 \pm 0,11	2,10 \pm 0,11	1,09 \pm 0,09
Фитостеролы:				
β -ситостерол	159,62 \pm 14,37	204,39 \pm 18,39	185,43 \pm 16,60	192,20 \pm 17,34
кампестерол	102,45 \pm 9,22	130,90 \pm 11,70	117,73 \pm 10,59	125,33 \pm 12,40
циклоартенол	197,55 \pm 17,71	216,52 \pm 19,50	182,20 \pm 16,40	194,23 \pm 17,10
другие	67,78 \pm 6,09	86,87 \pm 7,82	81,28 \pm 7,31	75,20 \pm 6,33
сумма	527,40 \pm 47,46	638,71 \pm 57,48	566,64 \pm 50,99	586,96 \pm 49,21

Таблица 9. Значения периодов индукции окисления различных образцов льняного масла
Table 9. Values of the periods of induction of oxidation of various samples of flaxseed oil

Образец масла	Содержание АЛК/ПНЖК, % от суммы ЖК	ИП, ч
1	63,76 / 79,03	3,51
2	54,64 / 69,13	4,01
3	60,45 / 72,77	4,25
4	48,99 / 65,54	8,99

Нами показано, что жирорастворимые производные аскорбиновой кислоты и их композиции с природными антиоксидантами (токоферолами, лецитином, растительными стабилизаторами на основе семян бобовых) являются эффективными и безопасными стабилизаторами обогащенного БАВ льняного масла, позволяющими существенно ингибировать процессы окисления и окислительной деструкции, сократить потери витаминов и других БАВ при хранении, а, значит, увеличить сроки хранения, повысить эффективность БАДов на основе льняного масла. Найдены оптимальные условия стабилизационной обработки льняного масла, обогащенного различными композициями БАВ. На основании проведенных исследований разработаны рецептуры и технологии получения специализированных продуктов питания на основе льняного масла: добавок к пище биологически активных «Витамины D₃ и E — масло льняное плюс» и «Лютеин — масло льняное плюс». Выбор БАВ для создания новых продуктов обусловлен высокой биологической активностью данных БАВ и наличием их дефицита в питании современного человека. Растворенные в масле токоферолы (витамин E), витамин D, каротиноиды и другие жирорастворимые БАВ гораздо эффективнее усваиваются организмом. За счет совместного действия компонентов льняного масла и добавок БАВ, усиливающих действие друг друга, БАДы на основе обогащенного льняного масла обладают общеукрепляющими, иммунозащитными, радиопротекторными, анти-

оксидантными, антирадикальными и целым рядом других лечебно-профилактических свойств. Срок годности новых БАД составляет 12 месяцев. Их производство организовано на предприятии ООО «Клуб «Фарм-Эко».

БАД «Витамины D₃ и E — масло льняное плюс» и «Лютеин — масло льняное плюс» относятся к биологически активным добавкам к пище, применяемым для поддержания в физиологических границах функциональной активности организма. БАДы рекомендованы для применения взрослым и детям старше 12 лет в целях обогащения организма незаменимыми жирными кислотами, в т.ч. ПНЖК омега-3, и БАВ (лютеин, витамин E, витамин D₃), а также в качестве средств, способствующих поддержанию нормального обмена веществ, функций иммунной, сердечно-сосудистой и костно-мышечной систем, желудочно-кишечного тракта, повышению энергетического и жизненного тонуса организма человека, замедлению процессов старения, профилактике отдаленных последствий радиации, улучшению остроты зрения, состояния кожи и волос.

Употребление БАДов в рекомендуемой дозировке (10 мл или 2 чайные ложки в сутки) обеспечивает в зависимости от жирнокислотного состава льняного масла 46–59 % от суточной потребности в ПНЖК и 77–100 % от суточной потребности в ПНЖК омега-3. Суточная потребность в БАВ, использованных для обогащения льняного масла, обеспечивается на 32–74 %.

Заключение. В результате проведенных в полевых условиях исследований изучено пять отечественных сортов льна масличного по основным хозяйственно-полезным признакам. Фитоэкспертиза семян сортов льна, взятых для исследований, показала, что суммарное заражение семян комплексом возбудителей болезней не превышает 27,2 %. Распространение грибных болезней в фазу «елочка» было незначительным и возрастало к фазе ранней желтой спелости. Средняя максимальная продуктивность семян составила 16,1 ц/га и отмечена у сорта Салют, по содержанию масла следует выделить сорта Фокус (49,5 %) и Илим (48,8 %). Анализ структуры урожайности показал, что среднее количество растений на единице площади варьировало в пределах 76–79 шт., среднее количество коробочек составило 5,7–5,8 шт., число семян в коробочке — 6,2–6,4 шт., масса 100 семян у изучаемых сортов была 6,1–6,2 г.

Изучение химического состава льняного масла показало, что содержание полиненасыщенных жирных кислот в изученных образцах масла изменяется в интервале от 65,54 до 79,03 %, в т.ч. АЛК — от 48,99 до 63,76 %, суммарное содержание природных токоферолов изменяется в интервале от 50,13 до 67,40 мг/100 г. Для обеспечения эффективной антиокислительной защиты специализированных продуктов питания на основе льняного масла, обогащенного биологически активными веществами, использованы жирорастворимые производные аскорбиновой кислоты, позволяющие существенно тормозить свободнорадикальные процессы окисления и окислительной деструкции ПНЖК и других ненасыщенных компонентов таких продуктов, увеличить их устойчивость к окислению и сроки хранения. Разработаны рецептуры и технологии получения двух устойчивых к окислению специализированных продуктов питания на основе льняного масла: добавок к пище биологически активных «Витамины D₃ и E — масло льняное плюс» и «Лютеин — масло льняное плюс», предназначенных для применения в качестве дополнительного источника лютеина, витаминов D₃ (холекальциферола) и E, незаменимых ПНЖК, в том числе ПНЖК омега-3. Выбор БАВ для создания новых продуктов обусловлен высокой биологической активностью данных БАВ и наличием их дефицита в питании современного человека.

Список использованных источников

1. *Коденцова, В. М.* Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, Д.В. Рисник, Д.Б. Никитюк, В.А. Тутельян // Вопросы питания. — 2017. — Т. 86, № 4. — С. 113–124.
2. *Московенко, Н. В.* Исследование химического состава различных сортов льна масличного и продуктов его переработки / Н.В. Московенко, С.Л. Тихонов, Н.В. Тихонова // АПК России. — 2020. — Том 27, №2. — С. 372–377.
3. *Маюрникова, Л. А.* Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности / Л.А. Маюрникова, А.А. Кокшаров, Т.В. Крапива, С.В. Новочелов // Техника и технология пищевых производств. — 2020. — Т.5, №1. — С.124–139.
4. *Богомолва, И. П.* Направления и механизмы государственного регулирования производства функциональных хлебопродуктов / И.П. Богомолва, Е.А. Белимова // Вестник ВГУИТ. — 2014. — №2. — С. 177–183.
5. *Robin, D. Graham.* Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps / Robin D. Graham, Ross M Welch, Howarth E. Bouis // *Advances in Agronomy.* — 2001. — 70:77–142.

6. *Вдовина, Л. Н.* Здоровое питание — залог качества жизни и долголетия / Л.Н. Вдовина // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. — 2016 — № 1 — С. 40–42.
7. *Аткинс, Р. С.* Биодобавки: природная альтернатива лекарствам / пер. с англ. / Р. С. Аткинс. — Мн.: ООО «Попурри», 2004. — 800 с.
8. *Тутельян, В. А.* Биологически активные добавки к пище: современные подходы к обеспечению качества и безопасности / В.А. Тутельян, Б.П. Суханов // Вопросы питания. — 2008. — Т. 77, № 4. — С. 4–15.
9. Enrichment of flaxseed (*Linum usitatissimum*) oil with carotenoids of sea buckthorn pomace via ultrasound-assisted extraction technique: Enrichment of flaxseed oil with sea buckthorn Vidhi H. Bhimjiyani, Venu Babu Borugadda, Satyanarayan Naik, Ajay K. Dalai Curr Res Food Sci. 2021; 4: 478–488.
10. Omega-3 Fatty Acid Fortification of Flax Through Nutri-Priming Edward Marques, Heather Darby, Jana Kraft Front Nutr. 2021; 8: 715287.
11. Do Bioactive Food Compound with *Avena sativa* L., *Linum usitatissimum* L. and *Glycine max* L. Supplementation with *Moringa oleifera* Lam. Have a Role against Nutritional Disorders? An Overview. Avellaneda Guimarães Nutrients. 2021 Jul; 13(7): 2294.
12. *Чернакова, О. В.* Лен как функциональный ингредиент пищевой и, в частности, молочной промышленности / О.В. Чернакова, Л.А. Забодалова // интернет ресурс <https://izron.ru/articles/novye-tehnologii-i-problemy-tehnicheskikh-nauk-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-n/seksiya-13-tehnologiya-prodovolstvennykh-produktov-spetsialnost-05-18-00/lyen-kak-funksionalnyy-ingredient-pishchevoy-i-v-chastnosti-molochnoy-promyshlennosti/>. — Дата доступа 02.09.2021 г.
13. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food Ankit Goyal, Vivek Sharma, Neelam Upadhyay, Sandeep Gill, Manvesh Sihag J Food Sci Technol. 2014 Sep; 51(9): 1633–1653.
14. Flaxseed Oil Supplementation Augments Antioxidant Capacity and Alleviates Oxidative Stress: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials Vali Musazadeh, Jaber Jafarzadeh, Majid Keramati, Meysam Zarezadeh, Mahshid Ahmadi, Zohreh Farrokhian, Alireza Ostadrahimi Evid Based Complement Alternat Med. 2021; 2021: 4438613.
15. *Султаева, Н. Л.* Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебо-булочных изделий / Н.Л. Султаева, В.С. Перминова // Науковедение: Интернет-журнал. — 2015. — Т. 7, №1.
16. Влияние льняного семени и продуктов его переработки на липидно-белковый состав молочной продукции / Д.В. Муругова [и др.] // Пищевая промышленность. — 2018. — №7. — С. 29–31.
17. *Одинцов, А. А.* Развитие комплексной переработки льна / А.А. Одинцов, В.А. Шумаев // Дизайн и технологии. — 2017. — №60 (102). — С. 92–100.
18. *Миневич, И. Э.* Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях / И.Э. Миневич // Heatch, Food & Biotechnology. —1 (2). — Р. 97–119.
19. *Мартинчик, А. Н.* Пищевая ценность и функциональные свойства семян льна / А. Н. Мартинчик, А. К. Батулин, В. В. Зубцов, В. Ю. Малофеев // Вопросы питания. — 2012. — №3. — С.4–10.
20. *Bernacchia, R., Preti, R., & Vinci, G.* (2014). Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. Austin Journal of Nutrition and Food sciences, 2(8), 1045.
21. Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2013). Flaxseed — a nutritional punch. Mini Review. International Food Research Journal, 20(2), 519–525.
22. *Шадыро, О. И.* Разработка устойчивых к окислению биологически активных добавок к пище на основе льняного масла / О.И. Шадыро, А.А. Сосновская, И.П. Едимечева // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. — 2017. — №3. — С. 109–120.
23. *Лисовская, Е.В.* Пищевая и физиологическая ценность льняных масел высоколиноленового типа / Е.В. Лисовская, Е.П. Викторова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. — 2015. — №2. — С.65–71.
24. *Shadyro, O.* Effect of biologically active substances on oxidative stability of flaxseed oil / O. Shadyro, A. Sosnovskaya, I. Edimecheva // Journal of Food Science and Technology. — 2018. — V.57(4).
25. *Frankel, E. N.* Lipid oxidation / E. N. Frankel // Scotland, Dundee: the Oily Press Ltd, 1998. — V. 10. — 303 p.
26. *Едимечева, И. П.* Применение природных и синтетических антиоксидантов для повышения окислительной устойчивости льняного масла / И. П. Едимечева, А. А. Сосновская, О. И. Шадыро // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2020. — № 4. — С. 41–51.
27. Способ стабилизации льняного масла: пат. ВУ 10449 / О. И. Шадыро, А. А. Сосновская, И. П. Едимечева, Н. Н. Дудин, К. А. Юрашевич, И. Я. Казакевич. — Оpubл. 30.04.2008.
28. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: Агропромиздат., 1985. — 351 с.
29. СТБ 1123–98 Семена зернобобовых, масличных и технических культур. Сортовые и посевные качества. Технические условия. Минск, 1999. — 16 С.

30. *Elisia, I.* Association between tocopherol isoform composition and lipid oxidation in selected multiple edible oils / I. Elisia, J. W. Young, Y. V. Yuan, D. D. Kitts // *Food Res. Intern.* — 2013. — V. 5, № 2. — P. 508–514.
31. *Kamal-Eldin, A.* The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols / A. Kamal-Eldin, L. Appelqvist // *Lipids.* — 1996. — V. 31. — P. 671–701.

Информация об авторах

Маслинская Маргарита Евгеньевна — кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт льна» (ул. Центральная, 27, Устье, 211003 Республика Беларусь). E-mail: mme-83@tut.by

Савельев Николай Степанович — кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по инновационной работе Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт льна» (ул. Центральная, 27, Устье, 211003 Республика Беларусь). E-mail: savelev59nikolai@mail.ru

Сосновская Анна Алексеевна — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии свободнорадикальных процессов Учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (ул. Ленинградская, 14, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: anna-sosn@mail.ru

Information about authors

Maslinskaya Marharyta Evgenievna — PhD (Agricultural), Scientific Secretary of the Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise «Institute of flax» (27 Central Str., Ystye, 211003, Republic of Belarus). E-mail: mme-83@tut.by

Savel'ev Nikolaj Stepanovich — PhD (Agricultural), Deputy Director for Innovation of the Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise «Institute of flax» (27 Central Str., Ystye, 211003, Republic of Belarus). E-mail: savelev59nikolai@mail.ru

Sosnovskaya Anna Alekseevna — Ph.D. (Chemistry), leading researcher of laboratory of chemistry, of free radical processes, Research Institute for Physical Chemical Problems, Belarusian State University (14 Leningradskaya Str., Minsk, 220108, Republic of Belarus). E-mail: anna-sosn@mail.ru