

17,6 %, линоленовая – 56,6, линолевая – 14,5, пальмитиновая – 5,7 и стеариновая – 3 %. Его уникальность заключается в высоком суммарном содержании α -линоленовой и линолевой кислот, незаменимых в рационе человека. Лечебные свойства льняного масла позволяют использовать его для лечения и профилактики сердечнососудистых, желудочно-кишечных заболеваний, болезней печени и эндокринной системы, кожи, сахарного диабета, ожирения, воспалительных заболеваний и др. Эффективные медико-биологические свойства льняных масла и семян активизируют расширения возделывания льна масличного и его использования в хлебопекарной, кондитерской, маргариновой и других отраслях пищевой промышленности [5].

Лен масличный является растительным сырьем для производства технического масла. Льносемена содержат быстровысыхающее масло (йодное число которого составляет 165–192), образующее тонкую гладкую блестящую пленку. Доброкачественную олифу из льняного масла широко используют в лакокрасочной, мыловаренной промышленности, в производстве линолеума и клеенки [5]. Масло льносемян с успехом также используется в полиграфической, кожевенно-обувной, медицинской, текстильной, парфюмерной и других отраслях промышленности. Оно является сырьем для производства различных покрытий, искусственных волокон, изоляционных пен, пластификаторов, смазок высокого давления и других полимеров.

В сухой массе льносемян содержится до 21–26 % белка, содержащего восемь незаменимых аминокислот. Льняной белок линулин обладает полным составом незаменимых для человеческого организма аминокислот. Белковый состав льносемян может дополнять белки пшеничной муки, повышая ценность хлебобулочных изделий. Также в льносеменах содержится углеводов до 22 %, клетчатки – 8 %, золы – 4 %. Углеводы льна состоят на 2/3 из нерастворимых пищевых волокон типа лигнина, обладающих мощным антиоксидантным действием, антиаллергенными, антиканцерогенными, антибактериальными и антимикробными свойствами. Углеводы льносемян отличаются наличием в них фракции водорастворимых полисахаридов (пентозаны), которые способны образовывать слизь (2–7 % от общей массы). Слизь семенной оболочки льносемян выполняют водоудерживающую функцию, чтобы защитить семя от обезвоживания [4, 5, 16]. Жировой, белковый и углеводный состав семян льна масличного, их качественные характеристики имеют практическую значимость и могут применяться в производстве пищевых продуктов как структурообразователи, водоудерживающие агенты, стабилизаторы и связующие вещества [18]. Семя льна масличного является также источником фенольных кислот, флавоноидов, большого количества витаминов – С, В₁, В₂, В₆, пантотеновой (В₅) и фолиевой (В₉) кислот, биотина (Н), токоферолов (Е) [4, 5, 16, 18].

На современном этапе главной задачей селекции льна масличного является создание сортов, адаптированных к условиям Республики Беларусь, высокоурожайных (с потенциальной урожайностью семян до 3 т/га), с высокой устойчивостью к болезням, вредителям, полеганию растений и высокими показателями качества льносемян.

Основная часть

В полевых условиях научные исследования проводились на опытном селекционном поле УНЦ «Опытные поля БГСХА» Горецкого района Могилевской области (2017–2018 гг.). Почва данного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом мореной с глубины 140 см. Агрохимические показатели почвы определяли по общепринятым методикам: рН_{KCl} составило 5,45, гумус 1,75 %, Р₂O₅ – 332 мг/кг, К₂O – 363 мг/кг почвы.

По тепло- и влагообеспеченности Горецкий район относится к прохладной зоне с достаточным увлажнением. Метеоусловия весеннего периода значительно различались по годам исследований: условия весны 2017 года не способствовали оптимальным срокам посева питомника. Поэтому посев был проведен при наступлении благоприятных для посева условий (17.05.2017; 24.04.2018).

Закладка питомника осуществлялась вручную, в 2-кратной повторности. Площадь посева учетной делянки составила 1 м² с шириной междурядий 10 см. Норма высева составила 1000 всхожих семян/м². Контрольным сортом является Салют. Полные всходы были отмечены спустя 10–12 дней от даты посева. В процессе роста и развития растений проводились фенологические наблюдения, учёты и оценки состояния посевов в соответствии с рекомендациями по льну масличному [11–13]. При массовом лете льняной блошки проводилась 1–2-кратная обработка инсектицидом Карате, КЭ (0,1–0,15 л/га). В фазу «елочки» посевы обрабатывались против сорной растительности баковой смесью гербицидов Хармони, СТС (0,01–0,025 г/га) и Гербитокс, ВРК (0,8–1,0 л/га) [2]. При достижении желтой спелости осуществлялась уборка вручную, после естественного подсыхания снопов – их обмолот и очистка. Учет элементов семенной продуктивности определяли путем анализа пробного снопа [19].

Определение показателей качества семян льна масличного проводилось в испытательной лаборатории качества семян УО БГСХА. Определения содержания витаминов группы «В» проводилось методом капиллярного электрофореза согласно ГОСТУ 31483-2012 [15]. Йодное число определялось по методике, рекомендованной согласно ГОСТу ISO 3961-2010 [6], содержание масла – ГОСТу ISO 659-2017 [17], содержание золы – ГОСТу Р ИСО 6884-2010 [7]. Содержание растворимых полисахаридов

определялось в соответствии с методикой, разработанной для семян льна масличного [14]. Статистическая обработка данных осуществлялась в Microsoft Excel.

На современном этапе при создании нового сортового разнообразия льна масличного актуальными направлениями селекции являются создание высокоурожайных сортов ранней и среднеспелой групп спелости, обладающих высокими показателями качества льносемян, устойчивых к полеганию и болезням. Для достижения результативности в селекционной работе со льном масличным необходима всесторонняя оценка льносемян, как основной продукции данной сельскохозяйственной культуры, используемой для получения растительного пищевого и/или технического масла, применяемого в пищевой, технической, медицинской промышленности, на лекарственные цели.

В качестве исходного материала для целей селекции льна масличного были отобраны сорта и образцы отечественной и зарубежной селекции: Салют, Сонечны, Илим, Визирь, Опус (Республика Беларусь); LM-97 (Россия); Півдіна ніч, Айсберг (Украина); Victory, Redwing, Bison, Winona Sell (США); Balladi Toll, Prairie Blue, Mc. Duff (Канада); Bilton, Barbara (Нидерланды); Amon (Чехия); Astral, Kaolin (Франция); L-26 (Германия); Hazeldeum (Австралия). По типу растения исходный материал был разделен на две группы: крупносемянный лен (Салют, Kaolin, Mc. Duff, Prairie Blue, Опус, Bilton, Визирь) и лен-межеумок (все остальные образцы). Яркими признаками различия являются окраска венчика цветка и семян. Типичным для льна масличного является наличие голубого венчика цветков и коричневых семян (Салют, Опус, Півдіна ніч, Astral, Илим, Redwing и др.). Такие сорта, как Bison, Mc. Duff, Bilton, Hazeldeum, Визирь характеризовались наличием фиолетового венчика и крупных коричневых семян. Во всем единообразии выделяются сорта с белой (Айсберг, Victory) и розовой (LM-97) окраской венчика, с желтой окраской семян (Amon, Сонечны). Оценка исходного материала по морфологическим признакам цветков и семян подтверждает его контрастность.

При оценке длины вегетационного периода, как показателя, определяющего скороспелость, исходный материал льна масличного был разделены на три группы: раннеспелые (80–85 дня: Redwing, Winona Sel, LM-97), среднеспелые (88–96 дней: Hazeldeum, Сонечны, Айсберг, Півдіна ніч, Prairie Blue, L-26, Айсберг, Barbara, Victory, Bison) и позднеспелые (100–108 дней: Balladi Toll, Опус, Визирь, Салют, Amon, Илим, Визирь, Mc. Duff, Bilton, Astral, Kaolin). Более половины сортообразцов относятся к раннеспелым и среднеспелым группам, что расширяет спектр выбора исходного материала при селекции на раннеспелость.

Важным технологическим признаком является устойчивость растений к полеганию. Для льна масличного, как культуре возделываемой на семена, этот показатель важен. Высокой устойчивостью к полеганию обладали высокостебельные сорта Amon, Сонечны, Опус, Bilton (7 баллов по общей длине стебля или 109–116 % от контрольного сорта Салют) [1].

В селекционной работе со льном, как с масличной культурой, важна оценка качества льносемян. При оценке льносемян по содержанию витаминов группы «В» были определены сортовые различия (рис. 1).

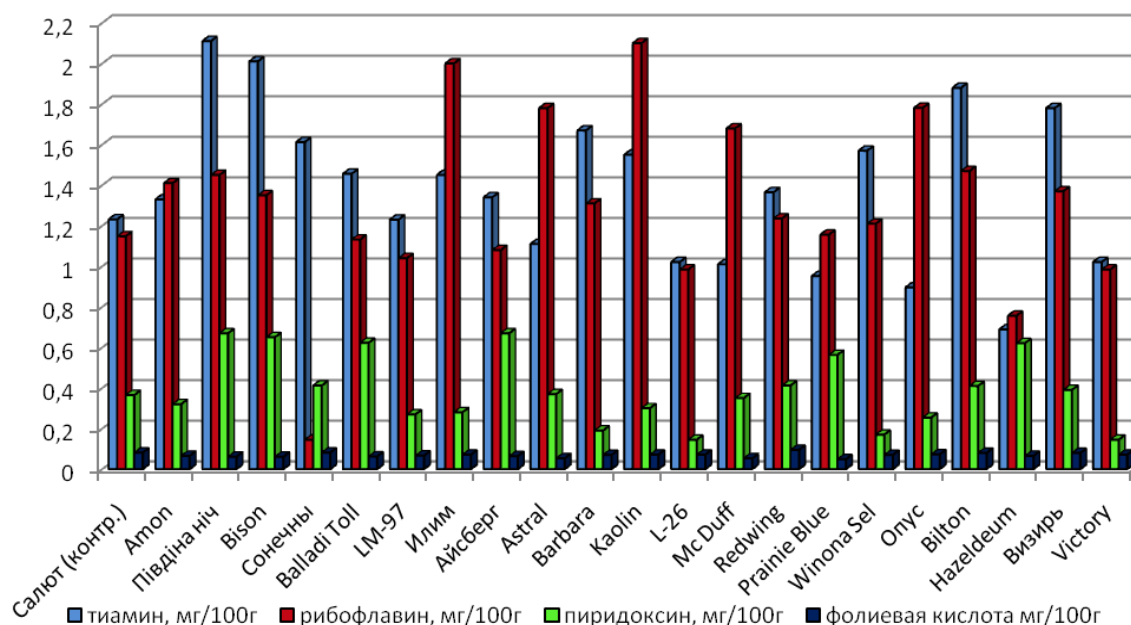


Рис. 1. Содержание витаминов группы «В» в семенах льна масличного

Тиамин, более известный, как витамин В₁, помогает поддерживать надлежащую работу сердца, нервной и пищеварительной систем. В организме человека тиамин не синтезируется, попадая в него с пищевыми продуктами, но необходим всем клеткам организма. Механизм его действия связан со

стимуляцией углеводного обмена и усвоения глюкозы клетками. Содержание тиамин в среднем в льносеменах составило $1,335 \pm 0,411$ мг/100 г, что значительно выше, чем в продуктах обычного рациона человека (овсяная, гречневая крупа 0,4–0,5 мг/100 г; ржаной хлеб 0,25; картофель 0,1; фасоль, томаты, свекла – менее 0,1 мг/100 г). В семенах льна масличного содержание витамина В₁ значительно различалось по сортам и образцам (от 0,689 до 2,110 мг/100 г). В льносеменах сортов Bison и Півдіна ніч содержание В₁ составило более 2,0 мг/100 г, что больше чем свинине (1,45 мг/100 г). Менее 1,0 мг/100 г тиамин содержали льносемена сортов Илим, Prairie Blue, Hazeldeum, Опус (рис. 1).

Пиридоксин (В₆) необходим для нормального функционирования нервной системы, является коферментом многих ферментов неокислительного обмена аминокислот, участвует в обмене гистамина, синтезе эритроцитов и гемоглобина, способствует нормализации липидного обмена. Суточная потребность организма в пиридоксине зависит от возраста и пола человека, а также необходимо увеличивать его употребление при увеличении в рационе белковой пищи (дополнительно 0,02 мг/г белка). Пиридоксин содержится во многих пищевых продуктах, но легко разрушается при замораживании (до 90 %) и термической обработке (20–60 %). Содержание В₆ в льносеменах составило $0,405 \pm 0,160$ мг/100 г. Высоким уровнем витамина В₆ характеризовались селекционные образцы Айсберг, Півдіна ніч, Bison, Balladi Toll и Hazeldeum (более 0,6 мг/100 г). Низким содержанием пиридоксина (менее 0,2 мг/100 г) характеризовались Victory и Winona Sel.

Однако ценность В₆ вчетверо меньше, если его природные свойства используются без В₂. Рибофлавин (В₂) является витамином роста, «красоты». Флавины активизируют также работу фолиевой кислоты (витамин В₉): совместно участвуют в синтезе эритроцитов. Рибофлавин необходим для кислородного «транспорта», работы капилляров, обладает свойствами антиоксиданта. В₂ совместно с В₁ поддерживает нормальный уровень железа, не позволяя развиваться его дефициту. Содержание витамина В₂ в льняном масле ($1,326 \pm 0,423$ мг/100г) выше, чем во многих продуктах ежедневного питания: яйца, творог (0,5 мг/100г), мясо, молоко, крупы (до 0,2 мг/100г) при суточной норме для взрослого человека 1,8 мг В₂. Высоким содержанием В₂ характеризовались сорта Kaolin (2,1 мг/100 г), Barbara (2,0 мг/100 г), Опус (1,781 мг/100г) и Mc. Duff (1,68 мг/100 г).

Сорта льна масличного различались не только преобладание одного из витаминов, но их сочетанием. Льносемена Amon, Redwing, Салют, Victory имеют достаточно высокое, равнозначное содержание тиамин и рибофлавин (1:1). У сорта Hazeldeum льносемена характеризуют практически равнозначным содержанием тиамин, рибофлавин и пиридоксин ($0,689:0,756:0,621$ мг/100 г).

Фолиевая кислота (В₉) необходима для активного функционирования кровеносной, иммунной и репродуктивной систем человека. Недостаток витамина В₉ отражается на образовании эритроцитов, половых клеток, работе костного мозга. Источниками высокого содержания фолиевой кислоты для организма человека является растительная пища, в том числе льняное масло. Фолиевая кислота не накапливается в организме человека, но тратится с высокой скоростью, поэтому ее недостаток необходимо постоянно восполнять. Суточная потребность в этом витамине взрослого человека составляет 200 мкг, увеличиваясь в 2–4 раза для спортсменов, беременных женщин и пожилых лиц. Высоким содержанием витамина В₉ характеризовались образцы Redwing (95 мкг/100г), а также все образцы белорусской селекции (Салют, Сонечны, Визирь, Опус).

Льносемена богаты белком и жиром, но в них нет запасного крахмала. По углеводному составу льносемена содержат пищевые волокна в семенных оболочках, относящихся к неусвояемым углеводам. Другой отличительной особенностью льносемян является наличие водорастворимых полисахаридов (пентозанов), способных образовывать слизи при контакте с водной средой. Слизь льносемян состоит преимущественно из галактуроновой кислоты и нередуцирующих сахаров. Содержание растворимых полисахаридов по сортам льна масличного составило 6,91–15,07 % ($10,67 \pm 1,90$ %). У большинства образцов содержание растворимых полисахаридов составило свыше 10 %. Наименьшим уровнем данного показателя характеризовались Илим (7,55 %) и Redwing (6,91 %) (табл. 1).

Свойства растительного масла, и, соответственно, направление его использования, зависят от содержания в нем ненасыщенных и насыщенных жирных кислот. Показателем содержания ненасыщенных жирных кислот является йодное число (ЙЧ). Чем выше йодное число, тем быстрее растительные жиры высыхают. По степени высыхания растительные жиры делятся на три группы: высыхающие (ЙЧ составляет 170–203), полувсыхающие (ЙЧ – 130–160), слабовсыхающие (ЙЧ – 85 и ниже). Считается, что масло льна масличного относится к группе высыхающих жиров [9].

В результате оценки йодного числа, практически все сортообразцы в семенах имели высыхающие жиры. Сортообразцы Салют, Сонечны, LM-97, Илим, Mc. Duff, L-26, Winona Sel имели йодное число,

близкое к 170 (ЙЧ=161,07–166,84). Слабо высыхающие растительные жиры имели семена образца Prairie Blue (ЙЧ=148,84). Все остальные сортообразцы имели йодное число, равное 170 и выше.

Содержание масла в семенах составило 36,78–46,98 %. Сортообразцы Илим, Hazeldeum, Balladi Toll и Опус выделялись высоким содержанием масла в семенах (44,98–46,98 %). При среднем по питомнику показателе 42,13±2,70 % относительно низким содержанием масла характеризовались L-26 (36,78 %), Айсберг (37,68 %), Winona Sel (38,08 %).

Таблица 1. Показатели качества льносемян

Название сортообразца	Содержание, %		Йодное число	Наличие маркеров качества семян	Урожайность, г/м ²	Выход масла, г/м ²
	растворимых полисахаридов	масла				
Салют	11,58	40,57	166,84	-	139,7	56,7
Amon	13,03	44,06	171,39	+	171,5	75,6
Півдіна ніч	10,57	41,68	171,11	-	79,2	33,0
Bison	10,98	41,70	171,04	-	94,7	39,5
Сонечны	9,91	42,08	162,84	+	78,9	33,2
Balladi Toll	11,55	46,40	173,84	+	97,5	45,2
LM-97	9,03	39,38	163,39	+	76,6	30,2
Илим	7,55	44,98	165,84	-	146,7	66,0
Айсберг	10,50	37,67	171,12	-	53,2	20,0
Astral	10,64	42,79	171,10	-	103,9	44,5
Barbara	15,07	40,77	176,69	-	59,1	24,1
Kaolin	9,70	43,97	181,09	-	104,2	45,8
L-26	11,13	36,78	167,79	+	88,3	32,5
Mc Duff	11,28	43,06	169,69	+	97,2	41,9
Redwing	6,91	41,71	170,24	-	64,4	26,7
Prairie Blue	8,35	42,48	148,84	+	93,2	39,6
Winona Sel	12,84	38,06	161,07	+	35,8	13,6
Опус	9,65	46,97	170,24	+	152,0	71,4
Bilton	10,36	42,90	171,14	+	111,8	48,0
Hazeldeum	13,59	45,06	179,14	+	94,8	42,8
Визирь	10,77	39,89	171,08	+	177,2	70,6
Victory	9,80	43,87	172,14	+	106,5	46,7

Итоговым показателем, определяющим значимость исходного материала, является уровень его продуктивности. Для льна масличного, как возделываемой, главным образом, на маслосемена культуры, важным показателем является уровень урожайности и выход масла. Урожайность семян льна масличного в питомнике исходного материала за годы исследований составила 101,2±36,9 г/м². Менее 70 г/м² льносемян было получено по сортам Winona Sel (35,8 г/м²), Айсберг (53,2 г/м²), Barbara (59,1 г/м²), Redwing (64,4 г/м²). По урожайности льносемян были выделены Илим (146,7 г/м²), Опус (152,0 г/м²), Amon (171,5 г/м²) и Визирь (177,2 г/м²), превысившие уровень контрольного сорта Салют (139,7 г/м²). В среднем по изученному исходному материалу выход масла составил 43,08±16,77 г/м² (от 13,6 до 75,6 г/м²), что подтверждает значительные различия исходного материала льна масличного по уровню продуктивности. По совокупности признаков урожайность семян и содержание масла в них значительный выход масла обеспечили Салют (56,7 г/м²), Илим (66,0 г/м²), Визирь (70,6 г/м²), Опус (71,4 г/м²), и Amon (75,6 г/м²).

Заключение

Выбранный исходный материал из 24 сортов и образцов различался происхождением (селекционный и географический аспект), морфологическими признаками вегетирующих растений и семян, группой спелости, устойчивостью к полеганию и уровнем продуктивности, что определяет необходимость оценки качества семян, как основной продукции льна масличного.

Исходный материал значительно различался по содержанию витаминов группы «В». Высоким содержанием тиамин (В₁) обладали льносемена сортов Півдіна ніч, Bison, Bilton, Визирь (1,78–2,11 мг/100 г); рибофлавин (В₂) – Barbara, Kaolin, Опус, Mc Duff (1,68–2,10 мг/100 г); пиридоксин (В₆) – Айсберг, Півдіна ніч, Bison, Balladi Toll и Hazeldeum (0,621–0,67 мг/100 г); фолиевой кислоты (В₉) – Салют, Сонечны, Bilton, Redwing (свыше 80 мкг/100 г). Также был выделен исходный материал со значительным равнозначным содержанием тиамин и рибофлавин (Салют, Redwing, Amon); с равнозначным содержанием тиамин, рибофлавин и пиридоксин (Hazeldeum). Это свидетельствует о возможности использования данного исходного материала в селекции на качество льносемян с высоким содержанием витаминов группы «В».

Йодное число определяет возможность технического направления использования льняного масла. Сорты Kaolin, Hazeldeum, Barbara (йодное число 177–181) были выделены в качестве ценных источников в селекции льна масличного на получение быстровысыхающего технического масла.

По содержанию растворимых полисахаридов, определяющих как водоудерживающую способность семян, так и возможность их использования в качестве пищевых добавок в других продуктах питания, были выделены Amon (13,03 %), Hazeldeum (13,59 %) и Barbara (15,07 %).

По содержанию масла различие по исходному материалу составило свыше 10 % (от 36,78 % до 46,98 %). В качестве ценных селекционных источников высокого содержания масла (44,98–46,97 %) были выделены Илим, Hazeldeum, Balladi Toll, Опус. По сбору масла были выделены Салют, Илим, Визирь, Amon, Опус, обладающие значительным содержанием масла и урожайностью семян, что в совокупности обеспечивает свыше 50 г/м² масла.

1. Классификатор вида *Linum usitatissimum* L. (лен) / В. З. Богдан [и др.]. – Орша, 2012. – 18 с.
2. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь: справочное издание / А. В. Пискун [и др.]. – Минск, 2017. – 688 с.
3. Дуктова, Н. А. Использование физиологических параметров растения льна масличного в селекции: рекомендации / Н. А. Дуктова [и др.]. – Горки: БГСХА, 2014. – 44 с.
4. Егоров, С. В. Особенности белкового комплекса семян льна масличного для целей оценки генотипов на основе электрофоретического фракционирования белков семян / С. В. Егоров, Н. А. Дуктова, Е. В. Егорова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 42–43.
5. Живетин, В. В. Масличный лен и его комплексное использование: учебное пособие / В. В. Живетин, Л. Н. Гинзбург, О. М. Ольшанская. – Москва, 2002 – 400 с.
6. Жиры и масла животные и растительные. Определение йодного числа: Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 3961-2010. – Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 705-ст, 30.10.2010. – 10 с.
7. Жиры и масла животные и растительные. Определение содержания золы: Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 6884-2010. – Москва, Стандартинформ, 2012. – 3 с.
8. Казарина, А. В. Изучение мировой коллекции льна масличного как исходного материала для селекции / А. В. Казарина [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 18–22.
9. Корнев, В. Г. Растениеводство с основами селекции и семеноводства / Г. В. Корнев, П. И. Подгорный, С. Н. Щербак. – Москва, Колос, 1983. – 510 с.
10. Лен масличный / Первый сельскохозяйственный портал // [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://1-cx.com/articles/lyon_maslichnyi/ – Дата доступа: 20.03.2020.
11. Лях, В. О. Селекция льна масличного: методические указания / В. О. Лях, И. О. Полякова. – Запорожье, 2008. – 37 с.
12. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / В. З. Богдан [и др.]. – Устье, 2011. – 13 с.
13. Методические указания по селекции и семеноводству льна масличного / ВАСХН им. В. И. Ленина; Отд-ние растениеводства и селекции. ВНИИ маслич. культур им. В. С. Пустовойта. – Москва, 1978. – 18 с.
14. Олеников, Д. Н. Методика количественного определения суммарного содержания полисахаридов в семенах льна (*Linum usitatissimum* L.) / Д. Н. Олеников, Л. М. Танхаева // Химия растительного сырья. – 2007. - № 4. – С. 85–90.
15. Определение содержания витаминов: В₁ (тиаминхлорида), В₂ (рибофлавина), В₃ (пантотеновой кислоты), В₅ (никотиновой кислоты и никотинамида), В₆ (пиродоксина), В₉ (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза: Межгосударственный стандарт ГОСТ 31483-2012. – Москва, Стандартинформ, 2012. – 17 с.
16. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. – Москва: Колос, 1980. – 495 с
17. Семена масличных культур. Определение содержания масла (контрольный метод): Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 659-2017. – Москва, Стандартинформ, 2017. – 12 с.
18. Султаева, Н. Л. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий / Н. Л. Султаева, В. С. Перминова // Науковедение – Т.7. – № 1. – 2015. – С. 4–8.
19. Труш, М. М. Справочник льновода / М. М. Труш, Ф. М. Карпунин. – Ленинград: Агропромиздат, 1985. – 240 с.
20. Чирик, Д. П. Лен масличный в Беларуси – перспективы очевидны / Д. П. Чирик // Наше сельское хозяйство. – 2016.–№ 19. – С. 21–23.