Экспресс-оценка содержания масла и влаги в семенах масличного льна с помощью ИК-спектрометрии

С.Г. Ефименко,
зав. лабораторией, канд. биол. наук
С.К. Ефименко,
вед. науч. сотр., канд. биол. наук

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
E-mail: efimenko-km@yandex.ru

Для цитирования: Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Экспресс-оценка содержания масла и влаги в семенах масличного льна с помощью ИК-спектрометрии // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 63–70.

Ключевые слова: масличный лён, семена, масличность, влажность, ИК-спектрометрия, градуировочная модель.

Спектроскопия ближнего инфракрасного отражения (NIRS) была использована для оценки биохимических показателей в целых семенах масличного льна, независимо от различий по окраске семенной оболочки образцов. На первом этапе работ была поставлена задача разработать градуировочные модели для ИК-анализатора MATRIX-I по определению масличности и влажности в семенах льна. Исследования проводили в лаборатории биохимии на коричневых и желтосемянных образцах масличного льна, выращенных в 2015–2020 гг. в различных агроэкологических условиях Российской Федерации. Масличность определяли на ЯМР-анализаторе АМВ 1006М согласно методике выполнения измерения по ГОСТ 8.597-2010, влажность оценивали стандартной методикой по ГОСТ 10856-96. Для подтверждения достоверности разработанных моделей использовали результаты определения масличности и влажности семян проверочной партии по показателю правильности градуировки по ГОСТ 32749-2014. Наилучшие показатели качества градуировочных моделей (среднеквадратичная ошибка прогноза, коэффициент детерминации и значение остаточного отклонения предсказания для ранга, отобра-

жаемого на графике) были получены по определению масличности (RMSEP = 0,27 %, $R^2 = 99,2$ и RPD = 11,2) и влажности (RMSEP = 0,06 %, $R^2 = 99,9$ и RPD = 39). В программе OPUS LAB получена методика «Лён 51» для массового анализа на основе разработанных градуировочных моделей по определению масличности и влажности в целых семенах масличного льна (9–20 г) в кювете диаметром 51 мм. Это дает возможность оперативно проводить предварительную оценку селекционного материала с высокой скоростью – более 120 образцов за 7 ч работы без разрушения семян.

UDC 581.192.2:633.854.54

Rapid assessment of oil and moisture content in seeds of oil flax using IR spectrometry.

S.G. Efimenko, PhD in biology, head of the laboratory
S.K. Efimenko, PhD in biology, leading researcher

V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops
17 Filatova street, Krasnodar, 350038, Russia
E-mail: efimenko-km@yandex.ru

Key words: oil flax, seeds, oil content, moisture, IR spectrometry, calibration model.

We used near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess biochemical parameters in whole oil flax seeds, regardless of differences in seed coat color of the samples. At the first stage of work, the set the task to develop calibration models for the MATRIX-I IR analyzer to determine the oil and moisture content in flax seeds. The carried out the research in the laboratory of biochemistry on brown and yellow seed samples of oil flax, grown in 2015-2020 in various agro-ecological conditions of the Russian Federation. We determined the oil content on an AMV 1006M NMR analyzer in accordance with the GOST 8.597-2010 measurement procedure; we assessed the moisture content by the standard method of GOST 10856-96. We used the results of determination of the oil and moisture content of the seeds of test lot in accordance with the accuracy indicator of the calibration of GOST 32749-2014 to verify the reliability of the developed models. We received the best indicators of the quality of calibration models (root-mean-square prediction error, coefficient of determination and the value of the residual deviation of prediction for the rank displayed on the graph) by determining the oil content (RMSEP = 0.27 %, $R^2 = 99.2$ and RPD = 11.2) and moisture content (RMSEP = 0.06 %, $R^2 = 99.9$ and RPD = 39). In the OPUS LAB program we developed the “Flax 51” method for mass analysis based on the developed calibration models for the determination of oil and moisture content in whole oil

flax seeds (9-20 g) in a sample cell with a diameter of 51 mm. It enables the quick carrying out a preliminary assessment of the breeding material at a high speed – more than 120 samples in 7 hours without seed destruction.

Введение. Масличный лён как культура входит в четверку основных масличных культур Российской Федерации. Посевные площади его в 2019 г., по данным Росстата, в хозяйствах всех категорий находились на уровне 815 тыс. га.

Лен масличный – перспективная, высококорентабельная сельскохозяйственная культура, не требующая больших затрат на ее возделывание. Семена льна широко используются в пищевых, технических и медицинских целях. Из семян льна получают масло, а шрот как ценная добавка идет на корм скоту [1; 2].

Масло льна представляет собой не только продукт питания, но и растительное сырье для многих отраслей промышленности: косметической, фармацевтической, лакокрасочной и олеохимии. С каждым годом растет сфера непищевого применения масла [3; 4; 5].

Если рассматривать масло как пищевой продукт, то оно должно иметь высокую биологическую ценность, обусловленную, как минимум, содержанием эссенциальных (незаменимых) жирных кислот, и хорошую стойкость при хранении [6; 7].

Масло льна обладает высокой биологической ценностью, определенной составом эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК): линолевой ($\omega 6$) и α -линоленовой ($\omega 3$). В составе масла их (ПНЖК) содержание может составлять более 80 %. В организме человека они не синтезируются, поэтому должны поступать в него с пищей. Линолевая и линоленовая кислоты обладают F-витаминной активностью, причем линолевая в 10 раз сильнее линоленовой кислоты по величине воздействия на организм. По рекомендациям института питания РАМН для молодого здорового организма достаточно для полноценного

усваивания, чтобы баланс ПНЖК был 10 : 1, для лечебного питания соотношение между $\omega 6$ и $\omega 3$ кислотами должен быть от 3 : 1 до 5 : 1 [8; 9].

Стойкость масла льна при хранении, в жирно-кислотном составе которого содержатся в большом количестве ПНЖК, особенно линоленовая ($\omega 3$), резко падает из-за её окисления кислородом воздуха. При этом образуются канцерогенные продукты окисления. Поэтому необходимо идти по пути поиска щадящих технологий получения масла, а также селекционным путем добиваться уменьшения содержания линоленовой кислоты.

Селекционерами ВНИИМК созданы сорта льна с большим разнообразием по содержанию полиненасыщенных жирных кислот. Так, например, содержание линоленовой кислоты изменяется от 3,5 до 66,2 %, а баланс ПНЖК весьма разнообразен и соотношение между $\omega 6$ и $\omega 3$ кислотами может быть от 1 : 6,5 и до 20 : 1. Поэтому необходимо вести работу по созданию сортов масличного льна с оптимальным жирно-кислотным составом и высоким содержанием масла в семенах для различных областей применения.

Во ВНИИМК оценка по масличности селекционного материала льна проводилась в отделе физических методов исследований с помощью ЯМР-анализатора AMB 1006M.

С другой стороны, для удешевления исследований и увеличения производительности труда при оценке одновременно различных биохимических показателей в семенах без их разрушения возможно с помощью ИК-спектromетрии. Градуировочные модели были разработаны по нескольким показателям на семенах сои, рапса и горчицы [10; 11; 12].

На первом этапе исследований была поставлена задача разработать градуировочные модели на ИК-анализаторе Matrix-I фирмы Bruker Optics (Германия) по определению масличности и влажности в целых семенах масличного льна.

Материалы и методы. Исследования проводили в лаборатории биохимии на

коричневых и желтосемянных образцах масличного льна, выращенных в 2015–2020 гг. на центральной экспериментальной базе и в филиалах ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК.

Сформированные калибровочную и проверочную партии образцов семян по 18–20 г в алюминиевых бюксах выдерживали в комнатных условиях несколько дней для стабилизации семян по влажности и температуре.

Масличность определяли на ЯМР-анализаторе АМВ 1006М стандартизированным методом [13]. Влажность семян оценивали весовым методом высушивания при 130 °С в течение 40 мин [14].

Снятие и регистрацию спектров проводили в соответствии с руководством на программное обеспечение (ПО) OPUS ИК-спектрометра MATRIX-I с пересыпанием в кювете диаметром 51 мм каждого образца в трех повторностях.

Оценку правильности полученных градуировочных моделей выполняли на проверочной партии образцов по величине средней погрешности согласно нормативным документам по ИК-спектрометрии [15]. Для повышения производительности труда и сохранения ценного селекционного материала исследования проводили только на целых семенах льна масличного.

Результаты и обсуждение. Массовая доля влаги в семенах значительно влияет на качество разрабатываемых градуировочных моделей и на получение предсказанных значений биохимических показателей. Для этого необходимо было построить градуировочную модель зависимости влажности семян от спектров их отражения в ближней инфракрасной области. С целью решения этой задачи была сформирована партия семян льна, состоящая из 12 образцов и четырех сортов (Ручеек; ВНИИМК 620; Бирюза; ФЛИЗ) селекции ВНИИМК. Путем определенных манипуляций, включающих в себя сушку семян при температуре не выше 40 °С и увлажнение их в эксикаторе определенное время, была получена калибро-

вочная партия семян в количестве 82 образцов. Диапазон изменчивости по влажности составил от 4,41 до 12,2 %.

Градуировочные спектры регистрировались на приборе Matrix-I с пересыпанием в трех повторностях в стаканчике диаметром 51 мм (навеска 10 г) в режиме отражения. После чего в этих образцах незамедлительно определялась влажность стандартным методом.

Широкий диапазон влажности семян льна, а также качественно проведенный анализ на содержание влаги подготовленной партии семян позволил создать устойчивую градуировочную модель для определения влажности в целых семенах (рис. 1).

Рисунок 1 – График предсказанных значений содержания влаги (Ось Y) по сравнению с истинными значениями содержания влаги (Ось X) градуировочной модели Flax_51_Wet

Как видно из графика, предсказанные значения трех повторностей имеют малую дисперсию, располагаясь практически на прямой. Очень высокий коэффициент детерминации (99,93) имела полученная модель при 10 рангах в многофакторном анализе.

Сравнительный анализ семян льна проверочной партии на определение влажности (табл. 1) выявил, что разница между спектральными показаниями и стандартным методом единичных значений была от -0,12 до 0,17 % и в среднем составила 0,09 %. Предельно допустимое значение погрешности в параллельных

измерениях стандартным методом не должно превышать 0,25 %.

Таблица 1

**Сравнительный анализ семян льна
по определению влажности стандартным
и спектральным методами**

г. Краснодар, ЦЭБ ВНИИМК, 2017 г.

№ образца	Влажность, %		
	метод		
	стандартный	спектральный	Δ
1	6,17	6,25	-0,08
2	6,20	6,23	-0,03
3	6,44	6,49	-0,05
4	7,07	7,08	-0,01
5	7,61	7,53	0,08
6	8,03	8,15	-0,12
7	8,56	8,46	0,10
8	8,77	8,60	0,17
9	9,57	9,50	0,07
10	9,93	9,86	0,07
11	10,12	10,06	0,06
12	10,32	10,18	0,16
13	10,63	10,75	-0,12
Диапазон	6,17–10,63	6,23–10,75	-0,12–0,17
Среднее	8,42	8,39	0,09

Таким образом, получена градуировочная модель Flax_51_Wet по определению влаги в семенах льна. По качеству оценки исследования влаги метод ИК-спектрометрии может использоваться в качестве индикаторного показателя поступающих образцов на анализ. Если влажность семян превышает интервал 5–7 %, то поступающие семена подвергаются стабилизации по этому показателю. В противном случае, погрешность определения биохимических показателей значительно увеличивается.

Исследовательская работа по созданию градуировочной модели по определению масличности семян масличного льна была проведена на семенах урожая 2015, 2016 и 2017 гг. Подобрали партию семян в количестве 105 образцов с максимально возможным диапазоном изменчивости по этому признаку. Различия по масличности между образцами составили около 10 % (от 40,8 до 50,7 %). В качестве эталонного метода оценки масличности семян был выбран гостированный метод определения масличности с помощью импульсного ядерного магнитного резонанса (ЯМР) на образцовой установке прибора АМВ-1006М [13]. Масса навески составляла около 18 г.

Было получено 315 калибровочных спектров, на основе которых с помощью первой производной в сочетании с мультипликативной коррекцией рассеивания построена градуировочная модель по определению масличности семян льна (рис. 2).

Рис. 2. Градуировочная модель по определению масличности семян льна. На графике показана зависимость предсказанных значений содержания масла в семенах льна (Ось Y) от истинных значений содержания масла в семенах льна (Ось X). Модель характеризуется высоким коэффициентом детерминации (R² = 99,33) и низкой погрешностью (RMSEP = 0,224 %).

Рисунок 2 – График предсказанных значений содержания масла в семенах льна (Ось Y) по сравнению с истинными значениями содержания масла в семенах льна (Ось X) градуировочной модели Flax_51_Oil

Данная модель (рис. 2) характеризовалась относительно высоким коэффициентом детерминации (99,33) при 11 рангах. Среднеквадратичная погрешность предсказания (RMSEP) разработанной модели составила 0,22 %, что соответствует как 1 сигма в дисперсионном анализе с вероятностью 65 %. При вероятности 95 %, что соответствует 2 сигмам – 0,45 % ошибка единичного измерения. Показатель RPD (Residual Prediction Deviation – значение остаточного отклонения предсказания для ранга, отображаемого на рисунке 1) разработанной градуировочной модели оценивает устойчивость полученной зависимости. По оценке разработчиков программного обеспечения OPUS принято, что величина этого значения в пределах от 6,0 до 7,9 квалифицируется как «очень хорошая зависимость», а при значении более 10,0 рассматривается как

«превосходная». Искомая модель характеризуется величиной RPD 12,3 единиц.

Для подтверждения правильной работы градуировочной модели по определению содержания масла была проанализирована проверочная партия семян в том же диапазоне изменчивости, что и при разработке модели (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ масличности семян льна разными физическими методами

г. Краснодар, ЦЭБ ВНИИМК, 2017 г.

№ образца	Масличность, %		Разница, %	
	метод			
	ЯМР	спектральный	абсолютная	относительная
1	41,2	41,3	- 0,1	0,24
2	42,2	42,1	0,1	0,24
3	42,4	42,5	- 0,1	0,23
4	43,3	43,4	0,1	0,23
5	44,6	44,2	0,6	1,34
6	45,1	44,5	0,3	0,66
7	45,6	45,2	0,3	0,65
8	46,3	46,2	0,4	0,86
9	47,3	47,0	- 0,1	0,21
10	48,2	48,4	- 0,4	0,83
11	49,5	49,1	0,4	0,81
Диапазон	41,2–49,5	41,3–49,1	-0,4–0,6	0,21–1,34
Среднее	45,1	44,9	0,26	0,57

Незначительно отличаются средние значения масличности семян проверочной партии, полученные разными методами. В среднем ошибка определения содержания массовой доли масла в семенах составила на выборке из 11 образцов 0,26 % в абсолютных единицах, относительная ошибка при средних значениях показателя не превысила 1,5 % и в среднем была равна 0,57 %.

Таким образом, разработанная градуировочная модель Flax_51_Oil по определению масличности в целых семенах масличного льна соответствует нашим требованиям по точности анализа семян.

Для апробации нашей разработки в 2018 г. была проведена массовая оценка селекционного материала масличного льна по определению массовой доли масла и влаги. Влажность семян соответствовала заявленным требованиям при оценке образцов на ИК-спектрометре. По мас-

личности семян были выделены образцы со значением признака ниже, чем в градуировочной модели.

Анализ сформированной проверочной партии выявил повышение погрешности определения как единичных измерений, так и среднего значения партии до 0,43 %. То есть погрешность оценки возросла в 2 раза (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительный анализ масличности семян льна разными физическими методами

г. Краснодар, ЦЭБ ФНЦ ВНИИМК, 2018 г.

№ об- разца	Масличность, %		Разница, %	
	метод			
	ЯМР	спектраль- ный	абсолют- ная	относи- тельная
1	39,76	39,10	0,66	1,66
2	39,94	39,35	0,59	1,48
3	40,33	40,56	- 0,23	0,57
4	40,48	40,93	- 0,45	1,11
5	40,92	40,49	0,43	1,05
6	41,84	42,18	- 0,34	0,81
7	42,10	41,75	0,35	0,83
8	42,32	42,03	0,29	0,69
9	42,81	42,05	0,76	1,78
10	43,28	43,07	0,21	0,49
11	45,14	44,98	0,16	0,35
12	47,46	46,72	0,74	1,56
Диа- пазон	39,76–47,46	39,1–46,72	-0,45–0,76	0,35–1,78
Сред- нее	45,1	44,9	0,43	1,03

По результатам проверочной партии было принято решение накопить образцы для заполнения пробелов в градуировочной модели и поиску уникальных образцов для расширения диапазона изменчивости, а также обратить внимание на цвет семян льна, который бывает не только коричневым и желтым. Встречаются темно-коричневые, светло-коричневые, темно-желтые, а также и примеси желтых в коричневосемянных. ИК-спектрометрия основана на отражении в ближней инфракрасной области, и цвет семян оказывает значительное влияние на результирующие спектры. Что и было выявлено по анализу проверочной партии образцов урожая 2019 г.

По результатам массовой оценки селекционного материала масличного льна

была подобрана очередная проверочная партия образцов (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительный анализ масличности семян льна разными физическими методами

г. Краснодар, ЦЭБ ФНЦ ВНИИМК, 2019 г.

№ образца	Масличность, %		Разница, %	
	метод			
	ЯМР	спектраль- ный	абсолют- ная	относи- тельная
1	38,70	38,42	0,28	0,72
2	39,52	39,12	0,40	1,01
3	41,39	40,67	0,72	1,74
4	42,95	42,55	0,40	0,93
5	43,08	42,60	0,48	1,11
6	44,88	44,80	0,08	0,18
7	44,89	44,48	0,41	0,91
8	46,40	45,77	0,63	1,36
9	46,47	46,09	0,38	0,82
10	48,03	47,45	0,48	1,00
11	48,21	47,90	0,31	0,64
12	48,44	48,16	0,28	0,58
Диапа- зон	38,70–48,44	38,42–48,16	0,08–0,72	0,18–1,74
Среднее	44,4	44,0	0,40	0,92

Среднее значение погрешности проверочной партии составило 0,4 %, что допустимо согласно ГОСТ 32749-2014 на определение влаги и жира методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Однако наблюдается смещение в сторону занижения результатов измерения масличности семян.

Были учтены все выявленные замечания, подобрана градуировочная партия и проведена разработка новой градуировочной модели (рис. 3).

Рисунок 3 – График предсказанных значений содержания масла в семенах льна (Ось Y) по сравнению с истинными значениями содержания масла в семенах льна (Ось X) градуировочной модели Flax_51_Oil_20

Диапазон изменчивости удалось увеличить до 12 %, от 37,97 до 50,70 % масличности семян льна. Количество образцов калибровочной партии составило 146 шт., из них 61 образец желтосемянного льна, что соответствует 41,8 %. Полученная градуировочная модель при 10 рангах имеет высокий коэффициент детерминации 99,2 и хорошую устойчивость при RPD 11,2. RMSEP разработанной модели, то есть среднеквадратичная погрешность предсказания, составила 0,27 %, что несколько выше, чем предыдущая. Только прямые испытания на проверочной партии показывают приемлемость использования разработанной модели (табл. 5).

Таблица 5

Сравнительный анализ масличности семян льна разными физическими методами

г. Краснодар, ЦЭБ ФНЦ ВНИИМК, 2020 г.

№ образца	Масличность, %		Разница, %	
	метод			
	ЯМР	спектральный	абсолютная	относительная
1	39,25	38,96	0,29	0,74
2	39,58	39,57	0,01	0,03
3	40,31	40,32	- 0,01	0,02
4	41,15	41,22	- 0,07	0,17
5 ж	42,82	42,75	0,07	0,16
6 ж	42,97	42,49	0,48	1,12
7	43,30	43,03	0,27	0,62
8 ж	43,45	42,88	0,57	1,31
9 ж	43,61	43,07	0,54	1,24
10	44,40	44,71	- 0,31	0,70
11	45,49	45,52	- 0,03	0,07
12	46,28	46,17	0,11	0,24
13	46,48	46,40	0,08	0,17
14	47,05	47,29	0,24	0,51
15 ж	47,15	47,35	- 0,20	0,42
16 ж	47,66	47,50	0,16	0,34
17	47,71	47,13	0,58	1,22
18	47,98	47,69	0,29	0,60
19 ж	48,25	48,18	0,07	0,15
20 ж	48,72	48,77	- 0,05	0,10
Диапазон	39,25–48,72	38,96–48,77	- 0,31–0,58	0,02–1,31
Среднее	44,68	44,55	0,22	0,50

Примечание: ж – желтосемянные образцы масличного льна

Полученные нами данные (табл. 5) не позволили выявить влияния цвета семян на величину погрешности определения масличности. Абсолютная разница желтосемянных из восьми образцов получи-

лась от -0,20 до 0,57 %, а коричневых – от -0,31 до 0,58 %. Средние значения выборки проверочной партии отличаются незначительно (0,13 %), а средняя абсолютная разница из 20 образцов составила 0,22 %.

Важно отметить, что калибровочная партия состояла из образцов семян льна урожая 2015–2019 гг. Проверочная партия была сформирована по результатам массовой оценки селекционного материала урожая 2020 г. Эти данные позволяют сделать два вывода: разработанная градуировочная модель Flax_51_Oil_20 для экспресс-оценки масличности семян льна полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям по величине погрешности определения не более 0,7 %, селекционный материал масличного льна был оценен быстро и качественно.

После получения удовлетворительных значений погрешности определения масличности и влажности был разработан метод «Лен 51» в программе OPUS LAB для рутинного анализа по одновременно определению содержания масличности и влажности. Характеристика входящих в метод моделей представлена в таблице 6.

Таблица 6

Характеристика градуировочных моделей по определению олеиновой, линолевой, линоленовой кислот в масле и масличности семян льна для ИК-спектрометрии

г. Краснодар, ЦЭБ ФНЦ ВНИИМК, 2020 г.

Компонент	Ранг	R ²	RMSEP	RPD	Предобработка	Количество калибровочных спектров, шт.
Масло	10	99,2	0,27	11,2	Первая производная + векторная нормализация	438
Влага	10	99,9	0,06	39,0	Первая производная + векторная нормализация	243

*Примечание: качество хемометрических моделей зависит от выбора правильного числа необходимых факторов, что также называется рангом модели; R² – коэффициент детерминации; RMSEP – среднеквадратичная погрешность предсказания; RPD – значение остаточного отклонения предсказания для ранга, отображаемого на графике

Выводы: Таким образом, разработана градуировочная модель «Лен 51» для определения содержания массовой доли масла и влаги в семенах масличного льна в средней пробе (9–20 г) в кювете диаметром 51 мм. Это дает возможность оперативно проводить предварительную оценку селекционного материала с высокой скоростью – более 120 образцов за 7 ч работы без разрушения семян.

Список литературы

1. Концепция Федеральной целевой программы «Развитие льняного комплекса России на период до 2020 года» // Информационный бюллетень МСХ РФ. – 2012. – № 6. – С. 57–62.
2. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н. Льняная промышленность и роль отечественной науки в ее развитии. – М.: Ленпромиздат, 1986. – 55 с.
3. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н. Масличный лен: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/mas/lic/hny/lyon/1.htm> (Дата обращения: 10.10.2017).
4. Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия / Под ред. Г.П. Яковлева. – СПб., 2004. – 665 с.
5. Ганущенко О.Ф. Льносемя, продукты его переработки и их практическая ценность // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – № 10. – С. 18–24.
6. Маклахов А.В., Живетин В.В. Состояние и перспективы развития льняного комплекса Российской Федерации: [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberieninka.ru> (Дата обращения: 10.10.2017).
7. Уцаповский И.В., Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В., Галкин А.В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения: [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberieninka.ru> (Дата обращения: 7.10.2017).
8. Соколов Б.К., Гончаренко Е.В., Лисняк В.Е. Масло нашего здоровья // Масложировая промышленность. – 2003. – № 3. – С. 56–59.
9. Пищевая химия / Под ред. А.П. Нечаева. – СПб.: изд-во ГИОРД, 2007. – С. 216–220.
10. Ефименко С.Г., Кучеренко Л.А., Ефименко С.К., Нагалева Я.А. Оценка основных показателей качества семян сои с помощью ИК-спектрометрии // Масличные

культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2016. – Вып. 3 (167). – С. 33–38.

11. Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., Нагалеvская Я.А. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектpометрии // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2015. – Вып. 4 (164). – С. 35–40.

12. Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Определение содержания масла и влаги в семенах горчицы с помощью ИК-спектpометрии // Масличные культуры. – 2019. – Вып. 4 (180). – С. 36–44.

13. ГОСТ 8.597-2010. Семена масличных культур и продукты их переработки. Методика выполнения измерений масличности и влажности методом импульсного ядерного магнитного резонанса. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.

14. ГОСТ 10856-96. Зерновые, зернобобовые и масличные культуры. Семена масличные. Методы определения влажности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – С. 155–164.

15. ГОСТ 32749-2014 Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.

References

1. Kontseptsiya Federal'noy tselevoy programmy «Razvitie l'nyanogo kompleksa Rossii na period do 2020 goda» // Informatsionnyy byulleten' MSKh RF. – 2012. – № 6. – С. 57–62.

2. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N. L'nyanaya promyshlennost' i rol' otechestvennoy nauki v ee razviti. – М.: Lenpromizdat, 1986. – 55 s.

3. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N. Maslichnyy len: [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.booksite.ru/fulltext/mas/lic/hny/lyon/1.htm> (Data obrashcheniya: 10.10.2017).

4. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e. Farmakognosiya / Pod red. G.P. Yakovleva. – SPb., 2004. – 665 s.

5. Ganushchenko O.F. L'nosemya, produkty ego pererabotki i ikh prakticheskaya tsennost' // Belorusskoe sel'skoe khozyaystvo. – 2009. – № 10. – С. 18–24.

6. Maklakhov A.V., Zhivetin V.V. Sostoyanie i perspektivy razvitiya l'nyanogo kompleksa

Rossiyskoy Federatsii: [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://cyberieninka.ru> (Data obrashcheniya: 10.10.2017).

7. Ushchapovskiy I.V., Novikov E.V., Basova N.V., Bezbabchenko A.V., Galkin A.V. Sistemnye problemy l'nokompleksa Rossii i zarubezh'ya, vozmozhnosti ikh resheniya: [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://cyberieninka.ru> (Data obrashcheniya: 7.10.2017).

8. Sokolov B.K., Goncharenko E.V., Lisnyak V.E. Maslo nashego zdorov'ya // Maslozhirovaya promyshlennost'. – 2003. – № 3. – С. 56–59.

9. Pishchevaya khimiya / Pod red. A.P. Nechaeva. – SPb.: izd-vo GIORД, 2007. – С. 216–220.

10. Efimenko S.G., Kucherenko L.A., Efimenko S.K., Nagalevskaya Ya.A. Otsenka osnovnykh pokazateley kachestva semyan soi s pomoshch'yu IK-spektrometrii // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2016. – Vyp. 3 (167). – С. 33–38.

11. Efimenko S.G., Efimenko S.K., Kucherenko L.A., Nagalevskaya Ya.A. Ekspress-otsenka soderzhaniya osnovnykh zhirnykh kislot v masle semyan rapsa s pomoshch'yu IK-spektrometrii // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2015. – Vyp. 4 (164). – С. 35–40.

12. Efimenko S.G., Efimenko S.K. Opredelenie soderzhaniya masla i vlagi v semenakh gorchitsy s pomoshch'yu IK-spektrometrii // Maslichnye kul'tury. – 2019. – Vyp. 4 (180). – С. 36–44.

13. GOST 8.597-2010. Semena maslichnykh kul'tur i produkty ikh pererabotki. Metodika vypolneniya izmereniy maslichnosti i vlazhnosti metodom impul'snogo yadernogo magnitnogo rezonansa. – М.: Standartinform, 2011. – 10 s.

14. GOST 10856-96. Zernovye, zernobobovye i maslichnye kul'tury. Semena maslichnye. Metody opredeleniya vlazhnosti. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – С. 155–164.

15. GOST 32749-2014 Semena maslichnye, zhmykhi i shroty. Opredelenie vlagi, zhira, proteina i kletchatki metodom spektroskopii v blizhney infrakrasnoy oblasti – М.: Standartinform, 2015. – 8 s.

Получено: 02.09.2020 Принято: 05.10.2020

Received: 02.09.2020 Accepted: 05.10.2020