логически активных металлов (марганец, железо, медь, цинк), а в возрасте 3+ и 4+ – токсичных (никель, свинец, кадмий). Поэтому упитанность с возрастом рыб снижается с 2,23 до 1,94 по Т. Фультону.

Использованные источники:

1. Бастанов Р.И., Дерхо М.А., Корляков К.А., Нохрин Д.Ю. Специфика развития и химический состав тела рыб в условиях геохимических особенностей биотопов Аргазинского водохранилища // Астраханский вестник экологического образования. 2018. – № 3 (45). – С. 163-168.
2. Бастанов Р.И., Дерхо М.А. Морфологическая характеристика и особенности биологии плотвы различных биотопов Аргазинского водохранилища (Челябинская область) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2018. – Т. 4 (70). – № 1. – С. 5-14.
3. ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200021152> (дата обращения 16.09.2021).
4. Егошин В.Л., Саввина Н.В., Грижбовский А.М. Анализ главных компонент и факторный анализ в программной среде R // West Kazakhstan Medical Journal. 2020. – № 62(1). – С. 6-14.
5. Живетина А.В., Нохрин Д.Ю., Дерхо М.А., Мухамедьярова Л.Г. Сезонные особенности химического состава и качества воды в водохранилище руслового типа // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. – Т. 7 (73). – № 1. – С. 259-276.
6. Козлов В.И., Абрамович Л.С. Краткий словарь рыбовода. – Москва: Россельхозиздат, 1982. – 160 с.
7. МУ 01-19/47-11 Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье [Электронный ресурс]. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293784/4293784579.htm> (дата обращения: 01.09.2021).
8. Нохрин Д.Ю., Дерхо М.А., Мухамедьярова Л.Г., Живетина А.В. Структура изменчивости гидрохимического состава воды в водохранилище озерного типа // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 117-133.
9. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – Москва: Пищ. пром., 1966. – 376 с.
10. Рыбальский Н.Г., Савицкий А.И., Малярова М.А., Горбатовский В.В. Экология и безопасность: справочник. – Т. 1. Безопасность человека. – Москва: ВНИИПИ, 1992. – 320 с.
11. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 16.08.2021).
12. Joliffe I. T. Principal component analysis. N.Y, Springer-Verlag, 2002. – 488 p. doi:10.1007/b98835.
13. Jackson D. A. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches // Ecology. 1993. – Vol. 74. – No. 8. – P. 2204–2214.
14. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. – Vol. 4. – No. 1. – P. 9.

УДК 631.3: 633.85

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-158-165

Буклагин Д.С.,

Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК,

Московская обл., р.п. Правдинский

ПРИБОРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

В статье рассматриваются приборы, основанные на методе инфракрасной спектроскопии, позволяющие проводить измерения большого количества показателей качества семян с точностью, сопоставимой с классическими методами химического анализа. При этом анализ занимает 1-3 минуты и не требует применения химических реактивов и расходных материалов.

Ключевые слова: масличные культуры, семена, качество, показатели, измерение, влажность, белок, масличность, точность.

Одной из причин зависимости отечественного производства масличных культур от импортных семян объясняется устаревшей материально-технической и приборно-

аналитической базой, не обеспечивающей необходимое качество семян при их подготовке, а также при сортовом и семенном контроле.

Поэтому производство конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, освоение эффективных технологий размножения семян и гибридов, сохранение хозяйственно ценных признаков семян масличных культур предусматривает разработку технологий производства и хранения семян масличных культур с применением новых средств контроля масличности, влажности и массовой доли специфических жирных кислот в масле.

При создании новых сортов и в процессе семенного контроля в масличных культур в соответствии с ГОСТ Р 52325-2005 определяют совокупность свойств семенного материала, в т. ч. влажность, содержание масла, жирных кислот и др.

Влажность имеет огромное значение при хранении семян, нормируется стандартом и определяется на всех этапах производства. Для контроля влажности семян масличных культур в процессе производства и хранения разработано и применяется значительное количество однокомпонентных средств измерений, основанных на термогравиметрическом методе измерений и выпускаемых многими отечественными и зарубежными фирмами [1]. Кроме измерителей влажности, разработаны приборы, позволяющие измерять и анализировать одновременно несколько показателей, определяющих качество масличных культур. Как правило, такие приборы основаны на методе ИК-спектроскопии.

В основе метода ИК-спектроскопии лежит связь спектра инфракрасного излучения с составом образца. Энергия излучения при прохождении через образец возбуждает вращательные и колебательные движения в молекулах. Часть энергии поглощается образцом, причем поглощение происходит на тех частотах, которые совпадают с колебаниями в молекулах вещества. В результате интенсивность на этих частотах резко падает, и на спектрах наблюдаются полосы поглощения, число которых, их положение, ширина и форма определяются структурой и химическим составом образца, а интенсивность полос зависит от концентрации соответствующего компонента. Для определения количественного содержания компонента в образце необходимо построить градуировочную (калибровочную) модель, то есть определить зависимость между интенсивностью поглощения и концентрацией компонента. Эта модель строится на основе измерения спектров образцов с известной концентрацией и их математической обработкой.

Метод инфракрасной спектроскопии сегодня является единственным методом, позволяющим проводить измерения с точностью, сопоставимой с классическими методами химического анализа. При этом анализ занимает 1-3 минуты и не требует применения химических реактивов и расходных материалов. Поскольку экспресс-анализ качества масличных культур методом ИК-спектроскопии не является прямым методом, то ошибка метода может находиться в интервале от 1 до 1,5 от величины ошибки при определении компонентов химическим методом [2].

К числу последних разработок российской компании «ЭКАН» относятся анализаторы ИНФРАСКАН 3150, предназначенные для экспресс-определения показателей качества зерновых, зернобобовых, масличных культур и кормов методом измерения оптических характеристик анализируемых образцов в ближней инфракрасной области спектра (рисунок 1, таблица 1). Приборы широко применяются на элеваторах и зерноприемных пунктах, в селекционных центрах, НИИ, контрольно-аналитических лабораториях, ЦСМ и других организациях и предприятиях, связанных с исследованиями, оценкой качества и сертификацией зерновых, масличных культур, комбикормов и т. п., принятием оперативных управленческих решений в технологиях их производства [3].

Для анализаторов ИНФРАСКАН разработано значительное количество калибровок для расчета определяемых показателей по градуировочным уравнениям для различных культур и компонентов. Программное обеспечение позволяет через сеть Интернет обновлять калибровки, установленные на приборе и разрабатывать новые калибровочные уравнения.

Рисунок 1. Анализатор ИНФРАСКАН 3150

Таблица 1

Техническая характеристика анализатора ИНФРАСКАН 3150

Спектральный диапазон, нм	1400...2400
Анализируемые продукты	Зерновые, зернобобовые, масличные культуры, корма и сырье для их производства
Определяемые показатели качества	Влага, белок (протеин), жир (масличность), количество клейковины, качество клейковины, белизна, зольность, клетчатка, кальций и др.
Диапазон измерений показателей качества, %	Влаги–(5-25), белка–(5-60), сырого жира–(1-80), сырой клейковины–(16-40), сырой клетчатки–(2-25)
Погрешность результатов измерения показателей качества, %	Влаги–(0,5), белка–(0,6-1,5), сырого жира–(0,4-2,0), сырой клейковины–(2,0), сырой клетчатки–(0,8-2,5)
Объем анализируемой пробы, мл	70
Габаритные размеры, мм	540 x 270 x 345
Масса, кг	25

Группой компаний «ЛЮМЭКС» (Россия) создано современное методическое обеспечение для экспресс-анализа зерна различных культур без предварительной пробоподготовки [4].

Линейка инфракрасных анализаторов компании «Люмэкс» представлена на рисунке 2, технические характеристики – в таблице 2. За одно измерение, в течение полутора минут, можно определить комплекс таких показателей, как содержание белка, жира, крахмала, клетчатки, клейковины, влажность и др.

а)

б)

в)

Рисунок 2. Анализаторы компании «Люмэкс»: «ИнфралЮМ ФТ- 40» (а), «ИнфралЮМ® ФТ-12» (б) и «ИнфралЮМ® ФТ-12» с просыпным модулем (в)

Анализатор «ИнфраЛЮМ® ФТ-40» предназначен для проведения количественного экспресс-анализа цельного зерна различных культур без предварительной пробоподготовки. Может работать как в лабораторных, так и в производственных условиях. Специальная программа позволяет пользователю изменять существующие и разрабатывать собственные градуировки.

Анализатор «ИнфраЛЮМ® ФТ-12» - стационарный лабораторный прибор предназначен для экспресс-анализа состава и качества широкого спектра сельскохозяйственной и пищевой продукции, кормов и сырья.

Большинство типов проб анализируются без подготовки. Некоторые твердые несипучие пробы (подсолнечный жмых, соевый шрот) или пробы в сильнопоглощающих оболочках (семена подсолнечника) необходимо предварительно измельчить.

Анализатор «ИнфраЛЮМ® ФТ-12» с просыпным модулем – стационарный лабораторный прибор, работает без предварительной пробоподготовки, имеет большой объем измеряемого образца (0,5л), что обеспечивает получение максимально достоверных и воспроизводимых результатов.

Таблица 2

Техническая характеристика «ИнфраЛЮМ® ФТ-40» и «ИнфраЛЮМ ФТ®-12

	ИнфраЛЮМ® ФТ-12	ИнфраЛЮМ ФТ-40
Время измерения, мин	1,5	
Объем пробы в кювете, мл	50	500
Спектральный диапазон, см ⁻¹ , (нм)	13200-8700 (760-1150)	
Разрешение, см ⁻¹	8, 16, 32, 64	
Габариты, мм	530 x 450 x 380	640 x 310 x 490
Масса, кг	32	31

Для анализа зерна на содержание влаги, белка и масла в полевых условиях компаниями Pertin Instruments (Швеция) разработаны переносной ИК-анализатор зерна Инфраматик 8800 и лабораторный анализатор Инфраматик 9500 (рисунок 3) [5, 6]. Анализатор зерна Инфраматик 8800 оснащен GPS-модулем, который создает так называемые протеиновые карты полей, позволяющие оптимизировать сортировку урожая по протеину, т. к. разница значений протеина даже в пределах одного рядка может отличаться до 6 %. Модель Инфраматик 9500 имеет встроенные калибровки, позволяет получить высокую точность измерений за время менее 1 минуты (таблица 3).

а)

б)

Рисунок 3. Анализаторы Инфраматик 8800 (а) и Инфраматик 9500 (б)

Таблица 3

Техническая характеристика анализаторов Инфраматик 8800 и Инфраматик 9500

	Инфраматик 8800	Инфраматик 9500
Анализируемые образцы	Зерновые и масличные	Пшеница, ячмень, кукуруза, соя
Измеряемые параметры	Влажность, содержание белка, жира, крахмала и др.	Влажность, содержание белка, масла, жира, клетчатки, натур, крахмала и др.
Время анализа, с	90	50
Размер пробы, мл	400	
Количество точек в одной пробе	До 10	До 16
Диапазон длин волн, нм	850-1050	570-1100
Габариты, мм	349 x 265 x 274	485 x 390 x 370
Масса, кг	7	34

Этой же компанией выпускается универсальный инфракрасный анализатор DA 7250 (рисунок 4, таблица 4) [7]. Прибор позволяет измерять многие показатели качества зерновых и масличных культур, имеет высокую точность и скорость измерений (время измерений – 6 с). Доступные калибровки охватывают широкий спектр продуктов и параметров и построены на основе глобальной базы данных, которая включает сотни тысяч образцов. Анализатор может работать с применением современных средств создания отчетов в веб-интерфейсе для просмотра данных из любой точки мирового пространства с использованием веб-браузера.

Рисунок 4. Экспресс-анализатор DA 7250 компании Perten Instruments

DA 7250 позволяет определять влагу, содержание масла, жирные кислоты, белки и другие параметры масличных культур, а также жирных кислот, аминокислот, фосфора и других параметров в масле. Не требуется предварительное измельчение для анализа масличных, в том числе семян подсолнечника.

С помощью анализатора можно определять 14 показателей по рапсу (в т. ч. олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая кислота, эруковая кислота и др.), 28 показателей по сое (в т. ч. олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая, пальмитиновая кислота и др.), 4 показателя по подсолнечнику (влажность, масличность, олеиновая кислота, линолевая кислота) и около 30 показателей продуктов переработки масличных культур.

Таблица 4

Техническая характеристика анализаторов DA 7250

Диапазоны измерений, % влажности белка массовой доли сырой клейковины	8,3 – 25,5 8,3 – 25,5 11,9 – 36,5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений, % - влажности и белка массовой доли сырой клейковины	$\pm 0,5$ ± 2
Время анализа, с	6-10
Размер образца, мл	до 380
Диапазон длин волн, нм	950-1650
Габариты, мм	556x375x370
Масса, кг	21

Отличительной особенностью инфракрасных анализаторов зерна и масличных культур серии Infratec и NIRS для зерновых культур, семеноводческих хозяйств и пищевой промышленности, выпускаемых компанией Foss (Дания) (рисунок 5, таблица 5), являются система самодиагностики, которая исключает получение ошибочных данных в случае возникновения технических проблем, а также уникальные калибровочные модели, включающие базу данных – свыше 50000 образцов из разных климатических зон. Более 7000 приборов Infratec объединены в глобальную сеть. Это обеспечивает необходимую точность измерения параметров зерна, независимо от его температуры и региона происхождения без необходимости постоянной настройки прибора и корректировки калибровок [8, 9].

Рисунок 5. Анализаторы Infratec 1241 (а) и Infratec™ NOVA компании Foss (б)

Анализатор Infratec 1241 это стационарный лабораторный прибор для определения всех основных физико-химических параметров зерна и масличных культур, таких как влажность, белок, клейковина, крахмал, зольность и др. Измерение параметров занимает одну минуту, точность сопоставима с результатами анализов арбитражными методами и составляет для основных параметров менее 3 %.

Прибор имеет множество интерфейсов для вывода результатов анализа, модульную конструкцию, что позволяет расширить его возможности, например специальными кюветами для анализа подсолнечника.

Анализатор зерна Infratec™ NOVA является одним из лучших анализаторов, использующих технологию ИК-спектроскопии для одновременного определения множества параметров в широком диапазоне зерновых и масличных культур. Более высокий уровень энергии света в нижнем диапазоне обеспечивает более глубокое проникновение в зерно, поэтому

используется не только поверхность, но и внутренняя часть зерна, что повышает точность и скорость анализа образцов.

Анализатор Infratec™ NOVA использует калибровочную базу Infratec, сетевую технологию обновления калибровок и контроля характеристик, что обеспечивает необходимую точность измерения содержания компонентов в анализируемых образцах.

Таблица 5

Технические характеристики анализаторов компании Foss

	Infratec 1241	Infratec™ NOVA
Анализируемые культуры	Зерновые и масличные культуры, горох, сорго, мука и др.	Зерновые, зернобобовые и масличные культуры, мука, семена и др.
Измеряемые параметры	Белок, влага, клейковина, масличность, крахмал, зольность, натура зерна и др.	Белок, влага, клейковина, масличность, зольность, натура зерна и многие др.
Время анализа, с	60	< 60
Диапазон длин волн, нм	570-1050	400-1100
Габариты, мм	500 x 570 x 400	410 x 460 x 415
Масса, кг	30	28,5

Новинкой в линейке NIR- анализаторов компании Bruker Optics (Германия) является спектрометр Tango (рисунок 6, таблица 6), в котором реализованы все функциональные преимущества спектрометров предыдущих моделей MPA и Matrix-1. Анализатор может быть выполнен с модулем диффузного отражения Tango-R (для исследования твердых образцов) или с модулем кюветного отделения Tango-T (для анализа жидкостей).

Рисунок 6. Спектрометр Tango компании Bruker Optics

Анализ образцов осуществляется в режиме реального времени с помощью оптоволоконных датчиков, которые погружаются непосредственно в реактор, трубу или устанавливаются над конвейером, что является важным преимуществом данного прибора. Один спектрометр поддерживает до шести различных датчиков. Спектрометр может быть удален от места установки датчика на расстояние до 200 м (зависит от образца и вида датчика). Таким образом, этот метод позволяет перейти от выборочного к тотальному контролю входного сырья и продукции [10].

Анализатор применяется при анализе образцов по ГОСТ Р 32749-2014 Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области.

Таблица 6

Техническая характеристика NIR-спектрометра Tango

Параметр	Значение
Спектральный диапазон, см ⁻¹	11500— 4000
Скорость измерения	До 5 сканов/с при спектральном разрешении 8 см ⁻¹
ИК источник	Галогенная лампа (5В, 7 Вт), воздушное охлаждение, средний срок службы 9000 часов
Класс лазера	Лазерный диод, средний срок службы более 10 лет
Размеры, мм	292×438×175 (без монитора)
Вес, кг	TANGO-R: 18,6

Выводы

Освоение эффективных технологий размножения семян и гибридов, сохранение хозяйственно ценных признаков семян предусматривают применение современной техники и оборудования в селекции и семеноводстве масличных культур, приборов контроля качества семян, от которых во многом зависит конкурентоспособность сельскохозяйственной продукции.

Анализ методов и средств измерения показателей качества масличных культур показал, что их развитие идет в направлении сокращения времени анализа, повышения точности измерения и увеличения числа одновременно измеряемых показателей (компонентов), для чего используются встроенные и обновляемые через Интернет калибровки.

Одним из эффективных методов инструментального анализа является спектроскопия в ближнеинфракрасной области, позволяющая получать информацию о многих компонентах, содержащихся в масличных культурах в течение минуты без сложной пробоподготовки, что особенно важно при контроле качества в условиях производства. Например с помощью анализатора DA 7250 можно определять 14 показателей по рапсу (в т. ч. олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая кислота, эруковая кислота и др.), 28 показателей по сое (в т. ч. олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая, пальмитиновая кислота и др.), 4 показателя по подсолнечнику (влажность, масличность, олеиновая кислота, линолевая кислота) и около 30 показателей, характеризующих качество продуктов переработки масличных культур.

Использованные источники:

1. Буклагин Д.С., Гольяпин В.Я., Мишуров Н.П., Ревенко В.Ю. Машины, оборудование и приборы для селекции и семеноводства масличных культур: каталог. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 96 с.
2. Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С. Методы и инструменты контроля качества сельскохозяйственной продукции: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 292 с.
3. Приборы экспресс-анализа и лабораторное оборудование: проспект ООО «ЭКАН», б/г. – 16 с.
4. Приборы и лабораторное оборудование для агропромышленного комплекса: проспект ГК «ЛЮМЭКС», – Москва, б/г. – 4 с.
5. Инфраматик 8800: проспект ООО «СокТрейд Ко», б/г. – 4 с.
6. Инфраматик 9500: проспект ООО «СокТрейд Ко», б/г. – 4 с.
7. Универсальный многофункциональный ИК анализатор DA 7250. [Электронный ресурс]. URL: <https://soctrade-agro.ru/catalog/ekspress-analizatory-dlya-kontrolya-kachestva-zerna-muki-kombikormov-i-pishchevykh-produktov/da-7250/> (дата обращения: 26.05.2021).
8. Infrac 1241. Анализатор зерна и муки: проспект ООО «Фосс Электрик», б/г. – 9 с.
9. InfracTM NOVA. Анализатор зерна и муки: проспект ООО «Фосс Электрик», б/г. – 9 с.
10. TANGO – лабораторный Фурье спектрометр ближней инфракрасной области (FT-NIR). [Электронный ресурс]. URL: http://www.millab.ru/equipments/3343_ft-nir-spektrometry-bruker-tango/ (дата обращения: 25.05.2021).