

DOI 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27

УДК 631.53.01: 633.1:621.386.8

Архипов М. В.^{1,2}

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

²ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН»

Реферат. Традиционные методы оценки посевных и технологических характеристик зерна не позволяют выявить поврежденность внутренних структур зерновки, которую можно зарегистрировать только с помощью метода мягколучевой микрофокусной рентгенографии. Цель исследований – оценка возможности рентгенографического контроля скрытой целостности структуры зерновки, в том числе и в период послеуборочного дозревания, для повышения эффективности экспертизы хозяйственной пригодности партий зерна. Исследовали зерно ячменя сорта Суздалец, сформированное в 2015 г. в Гатчинском и Всеволожском районах, зерно пивоваренного ячменя (Морской порт г. Санкт-Петербурга (2015–2016 гг.)), зерно кукурузы (птицефабрика «Северная», 2010–2011 гг., птицефабрика «Роскар», 2017 г.). Установлено, что партии зерна, полученные во Всеволожском районе, имели невысокий суммарный уровень скрытых дефектов (39,0 %), а в партиях, полученных в Гатчинском районе, этот показатель составил >140,0 %. Показатель всхожести для этих вариантов, определенный через полгода после уборки, оказался 89,0 и 74,0 % соответственно, то есть был более высоким для партий зерна с незначительной величиной суммарного показателя скрытых дефектов. Образцы, имеющие более низкий суммарный уровень скрытых дефектов (29,0 %), обладают более высоким показателем прорастаемости (97,0 %) по сравнению с таковым (85,0–90,0 %) у образцов зерна с суммарным уровнем скрытой дефектности 70,0 % и более. При исследовании образцов зерна кукурузы, полученных на птицефабрике «Роскар», оказалось, что наличие скрытого прорастания по сравнению с таковым в партиях зерна с птицефабрики «Северная» было низким и варьировало от 17,0 до 29,0 %. Показатель скрытой трещиноватости в данных образцах не достоверен, однако было выявлено энзимо-микозное истощение, показатели которого варьировали от 64,0 до 98,0 %. Полученные результаты необходимы для разработки инженерно-технических решений, обеспечивающего высокую конкурентоспособность зерна на мировом рынке.

Ключевые слова: микрофокусная рентгенография, скрытые дефекты зерна, оперативный контроль качества зерна, послеуборочное дозревание, хозяйственная ценность зерна.

Для цитирования: Архипов М. В. Повышение эффективности оперативного контроля при экспертной оценке качества зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.

For citation: Arkhipov M. V. Improving efficiency of operational control in the expert evaluation of grain quality // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2(26). P. 19–27. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-19-27.

Введение

Повышение эффективности оперативного контроля качества зерна требует новых методических и инструментальных решений для разработки и

усовершенствования физико-технического и информационного базиса в зернопроизводстве. Традиционные методы оценки посевных и технологических характеристик зерна не позволяют выявить поврежденность внутренних структур зерновки, которую можно зарегистрировать только с помощью метода мягколучевой микрофокусной рентгенографии. Применение этого метода дает возможность получить новые знания о состоянии формообразующих органов индивидуальной зерновки и разрабатывать прецизионные методы диагностики ее качества. Переход от фундаментальных исследований к массовому анализу скрытой поврежденности зерна производственных партий, дополняющим традиционные методы контроля, является важным шагом в повышении эффективности анализа качества семян [1–5]. Данный подход, разрабатываемый российскими учеными с 80-х годов прошлого столетия, позволяющий изучать степень влияния скрытых повреждений зерновки на ее биологическую полноценность и хозяйственную пригодность, продолжает оставаться приоритетным направлением в мировом зернопроизводстве [1, 6, 7]. Важно и то, что зерно со скрытыми дефектами для производственных партий зерновых культур не может быть отсепарировано на существующих сортировальных машинах из-за производства больших объемов в достаточно короткий промежуток времени.

В работах по зерновому контролю показано, что внутренние повреждения структуры зерновки выявляют только с помощью метода мягколучевой микрофокусной рентгенографии, а их высокое содержание в производственных партиях зерна существенно влияет на хозяйственную пригодность [1, 6]. Дальнейшее расширение подобных исследований является, на наш взгляд, необходимым условием для разработки современных «щадящих» технологий, обеспечивающих минимальное влияние биотических, абиотических и антропогенных факторов на целостность внешних и внутренних структур зерновки в процессе производства зерна.

Проведение рентгенографической диагностики вместе с неразрушающим контролем качества семян дает возможность более глубоко изучать механизмы возникновения скрытых дефектов. Последнее обуславливает совершенствование специализированной мягколучевой микрофокусной рентгеновской аппаратуры. Дальнейшее развитие исследований в этом направлении позволит перейти к более эффективному решению практических задач, направленных на коррекцию технологических режимов в целях минимизации структурных нарушений зерновки, имеющих важное хозяйственное значение. Такой подход дает возможность получать оперативную информацию (в течение нескольких минут), дополняя традиционные методы длительной оценки качества зерна [1]. Необходимость экспертного досмотра скрытой поврежденности обусловлена еще и следующими обстоятельствами: во-первых, при этом учитывают наличие скрытой поврежденности грибами и насекомыми, влияющими на биобезопасность агросырья, во-вторых, после уборки зерна из-за наличия периода послеуборочного дозревания, который может варьировать от полутора месяцев до полугода, традиционные методы не всегда позволяют оценить степень хозяйственной пригодности свежесобранного зерна. Поэтому рентгеновская диагностика является уникальным инструментом, позволяющим осуществлять ранний прогноз возможного использования зерна разного целевого назначения, выбрав наиболее эффективный способ его применения в коммерческих целях [6].

Цель исследований – оценить возможности рентгенографического контроля скрытой целостности структуры зерновки для повышения эффективности экспертной оценки степени хозяйственной пригодности партий зерна.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в секторе биофизики растений лаборатории экологической физиологии и биофизики растений Агрофизического института (г. Санкт-Петербург) в 2019–2020 гг.

Объектом исследований служили семена ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Суздалец, сформированные в 2015 г. в Гатчинском и Всеволожском районах Ленинградской области, зерна пивоваренного ячменя, полученные из Морского порта г. Санкт-Петербурга (2015–2016 гг.), а также зерно кукурузы (*Zea mais* L.) урожая 2010 и 2011 гг., предназначенное для кормовых целей, предоставленное птицефабрикой «Северная», образцы 2017 г. – птицефабрикой «Роскар». Выбор объектов обусловлен необходимостью выработки системного подхода при анализе зерна различного целевого назначения. При этом исследуется взаимосвязь рентгенографических показателей с посевными или с технологическими характеристиками зерна. Для предварительной оценки качества зерна, определяемой по рентгенографическим признакам скрытой поврежденности свежееубранных партий, был поставлен следующий эксперимент: на свежееубранных зернах ячменя сорта Суздалец оценивали скрытую поврежденность через две недели после уборки, а через полгода после хранения этих образцов определяли показатели лабораторной всхожести с помощью традиционного метода проращивания (ГОСТ 12038-84).

Рентген-съемку зерна проводили на рентгеновской установке «ПРДУ-2» [1]. Структурную целостность зерновки и степень ее внутренней поврежденности оценивали с использованием визуального анализа цифровых рентгеновских изображений зерен. Для этой цели использовали методику оценки доли зерна с показателями трещиноватости, энзимо-микозного истощения (ЭМИС), скрытого прорастания и дефектами зародыша [1, 7]. Всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84. Для образцов зерна кукурузы выборочно (птицефабрика «Северная») оценивали энергию прорастания и ростовые показатели (длина ростка и корня) на день определения всхожести (ГОСТ 12038-84) [1, 2].

Из семян каждого образца отбирали четыре пробы в каждой по 100 семян для ячменя и по 50 семян для кукурузы.

Вычисление статистических характеристик выборки при исследовании качественных признаков проводили по Б.А. Доспехову [8]. Данные представлены в виде среднего (\bar{x}) и стандартного отклонения (Δx) ($n = 400$ семян для ячменя и 200 семян для кукурузы).

Результаты и их обсуждение

Партии зерна ячменя, полученные во Всеволожском районе Ленинградской области, имели невысокий суммарный уровень скрытых дефектов (39,0 %), тогда как в партиях, полученных в Гатчинском районе, величина этого показателя была значительно выше (>140,0 %). Показатель всхожести для этих вариантов, определенный через полгода после уборки, оказался 89,0 и 74,0 % соответственно, то есть был более высоким для партий зерна с незначительной величиной суммарного показателя скрытых дефектов (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты анализа зерна ячменя сорта Суздалец (2015 г.) по рентгенографическим и традиционным показателям

Образец (район)	Содержание зерен с выявленными типами внутренних дефектов, %			Всхожесть, %
	трещиноватость	ЭМИС *	скрытое прорастание	
Гатчинский	78,0 ± 3,0	14,0 ± 2,0	48,0 ± 4,0	74,0 ± 3,0
Всеволожский	24,0 ± 3,0	9,0 ± 1,0	6,0 ± 2,0	89,0 ± 4,0

Примечание. здесь и далее * энзимо-микозное истощение семян.

Различия по показателям внутренней поврежденности зерен, очевидно, явились одной из причин, которая обусловила через полгода после ответственного хранения более высокую всхожесть у менее дефектных зерен. Эти результаты являются пионерными в отечественном и мировом семеноведении и дают основание полагать, что применение метода рентгенографии в период послеуборочного дозревания может рассматриваться как эффективный прием ранней экспресс-оценки потенциальной лабораторной всхожести зерен.

Второй эксперимент с привлечением рентгеновского анализа был проведен на зернах пивоваренного ячменя из различных партий для оценки суммарного показателя скрытой поврежденности и дальнейшей прорастаемости. Образцы, имеющие более низкий (29,0 %) суммарный уровень скрытых дефектов, обладают более высоким показателем прорастаемости (97,0 %) по сравнению с таковым (85,0–90,0 %) у образцов семян с суммарным уровнем скрытой дефектности (от 64,0 % и более) (таблица 2). Полученные результаты позволяют оценить связь этих характеристик с хозяйственной пригодностью семян и на этом основании принимать управленческие решения о возможности использования партий семян с низким уровнем скрытых дефектов в пивоваренной промышленности. Эти результаты получены впервые, они позволяют оценить связь рентгенографических характеристик с хозяйственной пригодностью семян и на этом основании принимать управленческие решения о возможности использования партий семян с низким уровнем скрытых дефектов в пивоваренной промышленности.

Таблица 2 – Результаты рентгеновского анализа и прорастаемости зерна партий пивоваренного ячменя (среднее, 2015–2016 гг.)

Вариант образца (Название теплохода)	Содержание зерен с выявленными типами внутренних дефектов, %				Прорастаемость, %
	трещиноватость	ЭМИС	скрытое прорастание	суммарный уровень скрытых дефектов	
Волга-Балт	41,0 ± 4,0	21,0 ± 3,0	8,0 ± 2,0	70,0 ± 3,0	90,0 ± 4,0
Виват	19,0 ± 3,0	8,0 ± 2,0	2,0 ± 0,5	29,0 ± 1,5	97,0 ± 4,0
Балтик-Форест	66,0 ± 3,0	43,0 ± 4,0	2,0 ± 0,5	111,0 ± 2,5	87,0 ± 3,0
Амур 2511	50,0 ± 4,0	11,0 ± 2,0	3,0 ± 1,0	64,0 ± 2,5	89,0 ± 4,0
Вита	68,0 ± 3,0	46,0 ± 4,0	6,0 ± 2,0	120,0 ± 3,0	85,0 ± 5,0
Михаил Черемных	68,0 ± 3,0	12,0 ± 2,0	3,0 ± 1,0	83,0 ± 2,0	89,0 ± 4,0

Особый интерес представляет серия экспериментов, позволяющих расширить возможности метода рентгенографии не только для посевных качеств, но и для оценки технологических характеристик фуражного зерна. В таблицах 3 и 4 рассмотрены результаты, полученные при рентгенографическом досмотре партий фуражного зерна кукурузы, предоставленных службами контроля качества зерна птицефабрик «Северная» и «Роскар» Ленинградской области. Решаемая задача определялась необходимостью оценить степень скрытой поврежденности и возможные причины снижения качества кормов в этих хозяйствах.

Таблица 3 – Результаты рентгеновского анализа фуражного зерна кукурузы (птицефабрика «Северная») и процессов его проращивания

№ образца и год формирования	Содержание зерна с выявленными типами внутренних дефектов, %		Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
	трещиноватость	дефекты зародыша		
№ 1 (2011 г.)	80,0 ± 4,0	47,0 ± 2,0	30,0 ± 3,0	42,0 ± 3,0
№ 2 (2011 г.)	33,0 ± 3,0	47,0 ± 1,0	32,0 ± 5,0	46,0 ± 4,0
№ 3 (2010 г.)	2,0 ± 0,5	36,0 ± 1,0	47,0 ± 3,0	52,0 ± 4,0

Анализ рентгенографических показателей скрытой травмированности фуражного зерна кукурузы из партий, полученных на птицефабрике «Северная», свидетельствует о наличии вариабельности числа скрытых дефектов, зарегистрированных в партиях зерна, выращенных в различные годы (см. таблицу 3). Сопоставление рентгенографических данных и показателей прорастания в различные годы формирования зерна позволило установить, что для образца 3, сформированного в оптимальных погодных условиях 2010 г. (в августе влажность воздуха составляла 69,0 %), показатель скрытой трещиноватости составил всего 2,0 %, а доля зерна с дефектами зародыша – 36,0 %. Необходимо отметить, что для образцов 1 и 2, полученных в более влажном 2011 г. (влажность воздуха – 80 % в августе 2011 г.), показатель скрытой трещиноватости варьировал от 33,0 до 80,0 %. Доля зерна с дефектным зародышем была выше и составила 47,0 % против 36,0 % в образце 3. У образцов 1 и 2 энергия прорастания была примерно в 1,5 раза, а всхожесть в 1,2 раза ниже, чем у образца 3.

Проведение рентгеновского анализа образцов зерна кукурузы, полученных на птицефабрике «Роскар» (см. таблицу 4), позволило установить, что показатель скрытого прорастания зародыша был ниже, чем в образцах зерна с птицефабрики «Северная» (см. таблицу 3) и достигал максимального значения в 29,0 %. Показатель скрытой трещиноватости в образцах из птицефабрики «Роскар» зарегистрирован не был. В этих образцах, в отличие от образцов, полученных с птицефабрики «Северная», был также выявлен такой рентгенографический признак, как ЭМИС, варьирующий в значительных пределах от 64,0 до 98,0 %, что свидетельствовало о существенном поражении зерна кукурузы грибной инфекцией. Это делает невозможным использование проанализированных образцов для кормовых целей.

Таблица 4 – Результаты рентгеновского анализа фуражного зерна кукурузы, полученного на птицефабрике «Роскар»

№ образца без идентификации представителем	Содержание зерна с выявленными типами внутренних дефектов, %	
	ЭМИС	скрытое прорастание
№ 1	64,0 ± 3,0	17,0 ± 2,0
№ 2	98,0 ± 4,0	29,0 ± 3,0

Таким образом, рентгенографический метод выявления поврежденности грибами является более быстрым, чем длительное определение микотоксинов, в связи с чем его использование является эффективным диагностическим приемом для экспресс-оценки хозяйственной пригодности зерна.

В заключение следует отметить, что проведение дешифрирования рентгеновских снимков с различными типами скрытых дефектов, которые существенно влияют на посевные и технологические характеристики партий зерна, с привлечением автоматизированной оценки рентгенограмм будет дальнейшим шагом вперед при проведении экспресс-досмотра массовых партий зерна [6, 7]. Невысокая стоимость рентген-экспертизы позволяет проводить ее широкому кругу потребителей и оградить их от некачественных партий зерна и кормов. Ее проведение является экономически оправданным и позволяет принимать оперативные управленческие решения в зернопроизводстве.

Дальнейшее развитие работ, дополняющих традиционные методы контроля качества зерна, с использованием физико-технической и информационной базы мягколучевой рентгенографии и разрабатываемой нормативной базы позволит более глубоко изучать причины, приводящие к структурным нарушениям зерновки под влиянием лимитирующих факторов среды обитания. Имеющиеся за рубежом

работы по рентгенографии сельскохозяйственных объектов ограничиваются только выявлением небольшого числа внутренних повреждений в зернах, зачастую полученных искусственным путем в лабораторных условиях и без оценки их биологической полноценности [9–13]. Поэтому использование рентгенографического метода для детального изучения широкого спектра различных типов скрытых дефектов структуры зерновки, возникающих под влиянием биотических и антропогенных факторов, и экспресс-оценки их хозяйственной пригодности до настоящего времени остается приоритетным направлением отечественной школы селекции и семеноводства [6].

Выводы

Использование неповреждающего рентгенографического метода при анализе качества зерна позволяет повысить его оперативность и эффективность благодаря ранней оценке в период послеуборочного дозревания и выявления скрытых дефектов внутренней структуры зерновки. Правомочность такого подхода подтверждена последующим проращиванием зерна по ГОСТ 12038–84.

Подтверждено, что наличие в партиях ячменя высокой доли зерна со скрытой поврежденностью (трещиноватость, ЭМИС и скрытое прорастание), суммарный показатель которых от 60,0 % и выше, отражает низкий уровень их хозяйственной пригодности, что выражается в снижении всхожести и прорастаемости зерна ниже норм, установленных ГОСТ для кондиционных зерен. Партии зерна ячменя с минимальным суммарным уровнем скрытой дефектности (в диапазоне 20,0–40,0 %) обладают высокими посевными и технологическими характеристиками в соответствии с ГОСТ. Таким образом, оперативный рентгеновский контроль партий зерна позволяет проводить их ранний отбор для их хозяйственного использования.

Зерна кукурузы с суммарным содержанием внутренних дефектов (трещиноватости и дефектов зародыша) от 80,0 % и выше обладают показателями энергии прорастания и всхожести в 1,2–1,5 раза меньше, чем зерна с суммарным показателем внутренних дефектов не более 40,0 %. В образцах кукурузы (птицефабрика «Роскар») выявлен такой рентгенографический признак, как ЭМИС (энзимо-микозное истощение), варьирование которого от 64,0 до 98,0 % свидетельствовало о существенном поражении зерна кукурузы грибной инфекцией, что недопустимо для использования такого зерна в качестве кормов.

Применение рентгеновского метода с привлечением дополнительной информации о погодных условиях формирования семян позволит не только быстро и эффективно выявлять внутренние дефекты зерен, но и устанавливать возможные причины их возникновения.

Литература

1. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. Санкт-Петербург: Технолит, 2008. 192 с.
2. Алексейчук Г. Н., Ламан Н. А. Физиологическое качество семян и методы его оценки. Минск, ИООО «Право и экономика», 2005. 48 с.
3. Макрушин Н. М., Плугарь Ю. В., Малько А. М., Макрушина Е. М., Шабанов Р. Ю. Инновационные аспекты учения об онтогенезе, формировании, отборе и оценке качества семян. Симферополь: Полипринт, 2018. 248 с.
4. Лачуга Ю. Ф., Плугатарь Ю. В., Макрушин Н. М., Малько А. М., Косолапов В. М., Долженко В. И., Драгавцев В. И., Куликов И. М., Лукомец В. М., Пивоваров В. Ф., Надыкта В. Д., Сидельников Н. И., Воронов С. И., Леунов В. И., Солдатенко А. В., Алтухов А. И., Беспалова Л. А., Синеговская В. Т., Царев А. П., Гончаров С. В., Полякова Т. А., Макрушина Е. М., Долженко Т. В., Науменко Т. В., Андросова О. В., Шабанов Р. Ю., Клиценко О. А., Михилев А. В., Паспекков Д. И. Важнейшие положения концепции стратегического развития семеноводства и размножения растений

в РФ // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Т. 132. С. 9–16. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.01.

5. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Георгиевский А. М., Мерчалова М. Э., Чернышов А. В., Чернышов С. В., Миронов А. С., Сорокин Н. Н., Горбачев И. В., Шрейдер Ю. М. Совершенствование механизации производства семян зерновых культур: рекомендации. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 60 с.

6. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Щукина П. А., Гусакова Л. П., Потрахов Н. Н., Малько А. М., Данилова Т. А., Плугатарь Ю. В., Макрушин Н. М. Рентгенография в промышленном семеноводстве // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (84). С. 48–60. DOI: 10.21515/1999-1703-84-48-60.

7. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Щукина П. А. Связь показателей структурной целостности зерновки с реализацией ее ростового потенциала // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(20). С. 8–16. DOI: 10.33952/2542-0720-2-22-8-16.

8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

9. Cicero S. M., Vander Heijden G. W. A. M., VanderBurg W. J., Bino R. J. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging // Seed Sci. Technol. 1998. Vol. 26. No. 1. P. 603–612.

10. Karunakaran C., Jayas D. S., White N. D. G. Detection of internal wheat seed infestation by *Rhizopertha dominica* using X-ray imaging // Journal of Stored Products Research. 2004. Vol. 40. Iss. 5. P. 507–516. DOI: 10.1016/j.jspr.2003.06.003.

11. Grodek J., Grundas S. Attempt of automatic X-ray image analysis for detection of cereal grain damage // Book of abstracts. 6-th International Workshop for Young Scientists BioPhys. Lublin, Poland, 2007. P. 27–30.

12. Gomes-Junior F. G., Cicero S. M. X-ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds // Revista Brasileira de Sementes. 2012. No. 34 (1). P. 78–85. DOI: 10.1590/S0101-31222012000100010.

13. De Menezes N. L., Cicero S. M., Villela F. A., Bortolotto R. P. Using X-Rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially // Revista Brasileira de Sementes. 2012. Vol. 34. No. 1. P. 70–77.

14. Gomes Junior F. G., Cicero S. M., Vaz C. M. P., Lasso P. R. O. X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination // Acta Scientiarum Agronomy. 2019. Vol. 41. No. 1. Art. No. e42608. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.4260.

15. De Carvalho M. L. M., Leite E. R., Carvalho G. A., França-Silva F., de Andrade D. B., Marques E. R. The compared efficiency of the traditional method, radiography without contrast and radiography with contrast in the determination of infestation by weevil (*Sitophilus zeamais*) in maize seeds // Insects. 2019. Vol. 10. Iss. 156. P. 1–9. DOI: 10.3390/insects10060156.

References

1. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Microfocus radiography of plants. Saint-Petersburg: Technolit, 2008. 192 p.

2. Alekseychuk G. N., Laman N. A. Physiological quality of seeds and methods of its evaluation. Minsk, Limited Liability Publishing Company “Pravo i ekonomika”, 2005. 48 p.

3. Makrushin N. M., Plugatar Yu. V., Malko A. M., Makrushina E. M., Shabanov R. Yu. Innovative aspects of the theory of ontogenesis, formation, selection and evaluation of seed quality. Simferopol: Poliprint, 2018. 248 p.

4. Lachuga Yu. F., Plugatar Yu. V., Makrushin N. M., Malko A. M., Kosolapov V. M., Dolzhenko V. I., Dragavtsev V. I., Kulikov I. M., Lukomets V. M., Pivovarov V. F., Nadykta V. D., Sidelnikov N. I., Voronov S. I., Leunov V. I., Soldatenko A. V., Altukhov A. I., Bespalova L. A., Sinegovskaya V. T., Tsaryov A. P., Goncharov S. V., Polyakova T. A., Makrushina E. M., Dolzhenko T. V., Naumenko T. V., Androsova O. V., Shabanov R. Yu., Klitsenko O. A., Mikhilev A. V., Paspekov D. I. Fundamental premise of the strategic seed and plant propagation development conception // Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens. 2019. Iss. 132. P. 9–16. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.01.

5. Tarasenko A. P., Orobinsky V. I., Georgievsky A. M., Merchalova M. E., Chernyshov A. V., Chernyshov S. V., Mironov A. S., Sorokin N. N., Gorbachev I. V., Shreyder Yu. M. Improvement of mechanization of seed production of grain crops: guidelines. Moscow: FSBSI “Rosinformagrotekh”, 2014. 60 p.

6. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Shchukina P. A., Gusakova L. P., Potrakhov N. N., Malko A. M., Danilova T. A., Plugatar Yu. V., Makrushin N. M. X-ray in industrial seed production // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 3 (84). P. 48–60. DOI: 10.21515/1999-1703-84-48-60.

7. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A. Relationship between the indicators of structural wholeness of a caryopsis and realization its growth potential //Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(22). P. 8–16. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-8-16.
8. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
9. Cicero S. M., Van der Heijden G. W. A. M., Van der Burg W. J., Bino R. J. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging // Seed Sci. Technol. 1998. Vol. 26. No. 1. P. 603–612.
10. Karunakaran C., Jayas D. S., White N. D. G. Detection of internal wheat seed infestation by *Rhyzopertha dominica* using X-ray imaging // Journal of Stored Products Research. 2004. Vol. 40. Iss. 5. P. 507–516. DOI: 10.1016/j.jspr.2003.06.003.
11. Grodek J., Grundas S. Attempt of automatic X-ray image analysis for detection of cereal grain damage // Book of abstracts. 6-th International Workshop for Young Scientists BioPhys. Lublin, Poland, 2007. P. 27–30.
12. Gomes-Junior F. G., Cicero S. M. X-ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds // Revista Brasileira de Sementes. 2012. Vol. 34 (1). P. 78–85. DOI: 10.1590/S0101-31222012000100010.
13. De Menezes N. L., Cicero S. M., Villela F. A., Bortolotto R. P. Using X-Rays to evaluate fissures in rice seeds dried artificially // Revista Brasileira de Sementes. 2012. Vol. 34 (1). P. 70–77. DOI: 10.1590/S0101-31222012000100009.
14. Gomes Junior F. G., Cicero S. M., Vaz C. M. P., Lasso P. R. O. X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination // Acta Scientiarum. Agronomy. 2019. Vol. 41. No. 1. Art. No. e42608. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42608.
15. De Carvalho M. L. M., Leite E. R., Carvalho G. A., França-Silva F., de Andrade D. B., Marques E. R. The compared efficiency of the traditional method, radiography without contrast and radiography with contrast in the determination of infestation by weevil (*Sitophilus zeamais*) in maize seeds // Insects. 2019. Vol. 10. Iss. 156. P. 1–9. DOI: 10.3390/insects10060156.

UDC 631.53.011: 633.111.1: 631.895

Arkhipov M. V.

IMPROVING EFFICIENCY OF OPERATIONAL CONTROL IN THE EXPERT EVALUATION OF GRAIN QUALITY

Summary. *Traditional methods for evaluating sowing and technological characteristics of grain do not sufficiently reveal the caryopsis internal structure damages. They can only be recorded using the microfocuss soft X-ray radiography method. The aim of this work was, with the help of X-ray, to evaluate the hidden integrity of the caryopsis structure (including the period of the post-harvest maturation) to increase the efficiency of expert assessment of the degree of economic suitability of grain batches. Seeds of *Hordeum vulgare* L. variety ‘Suzdalets’ harvested in 2015 in the Gatchina and Vsevolozhsk districts of the Leningrad region, malting barley from the Morskoy Port St. Petersburg (2015–2016), as well as corn grain (*Zea mays* L.) harvested in 2010 and 2011 were the objects of the research. Grain, which is for feed use only, was provided by the poultry farm “Severnaya”. The poultry farm “Roskar” provided samples harvested in 2017. We used the microfocuss radiography method combined with a visual analysis of digital X-ray images to detect hidden grain defects. Experimental data on the evaluation of quality and biosafety of barley and maize grain for various purposes determined by radiographic signs of hidden damage are presented. The survey highlighted several key points: the seed lots obtained in the Vsevolozhsk district had a low total level of hidden defects (39 %); in the seed lots obtained in the Gatchina district, this figure was significantly higher (> 140 %). The germination rate for these options, determined six months after harvesting, turned out to be 89 and 74 %, respectively; it was higher for batches of seeds with a small value of the total indicator of hidden defects. Samples, the total level of hidden defects of which was lower (29 %), had a higher germination index (97 %) compared to the same in seed samples with a total level of hidden defects 70 % or more (85–90 %). X-ray analysis of corn grain samples obtained at the poultry farm*

“Roskar” revealed that the amount of grain with defects in the embryo (hidden germination) compared with the same in grain lots from the poultry farm “Severnaya” was low and varied from 17 to 29 %. The index of the hidden fissuring rate in these samples was not reliably recorded. However, we detected such internal grain damage as enzyme mycosis depletion (64 to 98 %). Research results are the basis for the development of new engineering and technical solutions for the “gentle” agricultural technologies to obtain batches of high-quality non-injured grain that ensure high competitiveness in the global grain market.

Keywords: *x-ray radiography, hidden defects of seed, operational control of seed and grain quality, post-harvest maturation, economic value of grains.*

Архипов Михаил Вадимович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН»; 196608, г. Санкт-Петербург – Пушкин, шоссе Подбельского, 7; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Arkhipov Mikhail Vadimovich, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher, FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; FSBSI “North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – separate division of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: szcentr@bk.ru; e-mail: agrorentgen@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 28.01.2021.

Дата принятия к печати – 05.03.2021.