

DOI 10.33952/2542-0720-2019-1-17-13-20

УДК 631.53.01:633.1:621.386.8

Архипов М. В.^{1,2}, Прияткин Н. С.¹, Гусакова Л. П.¹, Лайшев К. А.², Тюкалов Ю. А.²,
Данилова Т. А.²

НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЗДОРОВОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

²ФГБНУ «Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения»

Реферат. Цель исследований – оценить качество зерна с использованием неразрушающего метода микрофокусной рентгенографии. Эксперименты по изучению количественных и качественных характеристик скрытой дефектности партий продовольственного и фуражного зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы проводили в 2014–2016 гг. Для выявления различных типов скрытых дефектов зерен пшеницы (*Triticum L.*), ржи (*Secale L.*), ячменя (*Hordeum L.*) и кукурузы (*Zea L.*) (различная степень трещиноватости эндосперма, механические травмы и отсутствие зародыша, энзимомикозное истощение, поврежденность зерна вредителями, скрытое прорастание) использован метод микрофокусной рентгенографии (на установке ПРДУ-02) в сочетании с визуальной оценкой скрытых дефектов рентгенографических изображений зерен. Для сравнения данных скрытой дефектности образцов зерен использован критерий вычисления статистических характеристик выборки при исследовании качественных признаков. Определены типы скрытой дефектности в партиях образцов зерен пивоваренного ячменя: поврежденный зародыш в диапазоне от 3 до 39 %, трещиноватость эндосперма – от 31 до 79 %; энзимомикозное истощение – от 14 до 98 %. При помощи рентгенографического анализа партий зерна ржи, предназначенных для мукомольной промышленности, установлено, что наибольшее представительство имеет энзимомикозное истощение – его уровень находился в диапазоне от 13 до 40 %. В зерне продовольственной пшеницы выявлено наличие скрытой травмированности насекомыми и установлено, что данный показатель при хранении партии от одного до двух месяцев повысился от 17 до 46 %. Экспериментальные данные рентгенографической оценки партий фуражного зерна кукурузы и ячменя свидетельствуют, что доля дефектных зерен (трещиноватость эндосперма (кукуруза – 21 %, ячмень – 58 %) и энзимомикозное истощение (17 и 98 % соответственно)) достаточно велика.

Ключевые слова: пшеница (*Triticum L.*), рожь (*Secale L.*), ячмень (*Hordeum L.*), кукуруза (*Zea L.*), продовольственное зерно, фуражное зерно, сельскохозяйственное сырье, микрофокусная рентгенография, неразрушающий контроль, продовольственная безопасность.

Введение

В настоящее время агротехнологии получения хозяйственно полноценного, здорового зерна разного целевого назначения можно классифицировать по четырем категориям: экстенсивные, нормальные, интенсивные, высокоинтенсивные (одной из модификаций которых является технология точного земледелия). Следует отметить, что в зависимости от почвенно-климатического и агресурсного потенциала вклад в получение высококачественного здорового зерна экогенных и техногенных факторов будет различный [1].

Проблема качества зерна, усовершенствование методов контроля и соответствующих агротехнологий продолжает оставаться актуальной и востребованной. До сих пор данные о причинах, вызывающих в производстве получение некачественного

зерна, остаются разрозненными. Это не дает возможность получить целостную картину научного обеспечения необходимых мероприятий для корректировки агротехнологий по производству сельскохозяйственного сырья требуемых кондиций [1, 2]. При этом следует понимать, что зарубежные технологии не адаптированы к российским почвенно-климатическим условиям и стрессовым факторам, влияющим на получение качественного зерна, особенно для зоны рискованного земледелия. Поэтому необходимо усовершенствовать именно отечественные агротехнологии для тех или иных регионов страны, а не модифицировать зарубежные.

Важно отметить, что в настоящее время значительная часть отечественного зернового рынка (до 50 %), являющегося основой производства здоровых продуктов питания и биологически полноценных кормов, находится под контролем иностранных компаний. Эти компании имеют доступ к неограниченным кредитным ресурсам международных финансовых институтов. В таких условиях отечественному зернопроизводителю противостоять иностранной экспансии на зерновом рынке без государственной поддержки чрезвычайно трудно. Наблюдаемое в последние годы фактическое устранение государства от контроля за качеством зерна (отмена госконтроля, регламентирующего качество зерна) привело к появлению на нашем зерновом рынке иностранных сюрвеерских организаций, не несущих ответственность перед населением России за продовольственную и пищевую безопасность. В результате значительная доля произведенного высококачественного зерна продается на внешнем рынке, а на его потребление на внутреннем рынке остается зерно гораздо более низкого качества, которое идет на производство муки, крупы, а также кормов для крупного рогатого скота и птицы.

Ситуация усугубляется и неудовлетворительным состоянием дел в секторе кратковременного хранения зерна. Для решения этих проблем необходимо, в частности, создать систему объективной и высокопроизводительной оценки качества зерна [1].

Так как показатель качества зерна зависит не только от традиционно выявляемых нарушений внешней структуры зерновки, но и от дефектов ее внутренней структуры, то одним из наиболее перспективных неразрушающих методов регистрации скрытых дефектов и аномалий является метод микрофокусной мягколучевой рентгенографии [3–6].

Научная поддержка производства здорового сельскохозяйственного сырья требует современных методов досмотра зерна и продуктов его переработки. Для этих целей необходимо обеспечить мониторинг качества продовольственного и фуражного зерна, производимого в различных регионах Северо-Запада РФ и пригодного для производства персонализированных продуктов питания и кормов, а также создание системы объективной и высокопроизводительной оценки качества зерна различного целевого назначения.

Решение обозначенных выше задач с использованием инновационных методов экспресс-досмотра массовых партий зерна [3–7] позволит обеспечить нашу зерноперерабатывающую промышленность здоровым сельскохозяйственным сырьем, высококачественными продуктами питания и кормами.

Цель исследований – оценить качество зерна с использованием неразрушающего метода микрофокусной рентгенографии.

В работе поставлены следующие задачи:

1. Выявить различные типы скрытых дефектов зерен пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы.
2. Обосновать необходимость использования усовершенствованной рентгеновской аппаратуры для оперативного контроля качества зерна различного целевого назначения и, как следствие, дальнейшего обеспечения перерабатывающего комплекса высококачественным сельскохозяйственным сырьем.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2014–2016 гг. Объекты – образцы партий зерен пивоваренного ячменя, зерна ржи, пшеницы, ячменя и кукурузы. Анализ скрытых дефектов осуществляли по утвержденной методике рентгеновского анализа семян в испытательной лаборатории по рентгенографии Агрофизического института [3–6]. Рентгенограммы зерен получали методом микрофокусной рентгенографии [3] на передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», г. Санкт-Петербург, Россия. Вычисление статистических характеристик выборки при исследовании качественных признаков проводили по Б. А. Доспехову [9].

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе представлены данные о суммарном количестве разных типов скрытых дефектов (рисунок 1) в партиях зерна различного целевого назначения (продовольственного и фуражного), имеющих, как было показано ранее [5–6], существенное биологическое и хозяйственное значение.

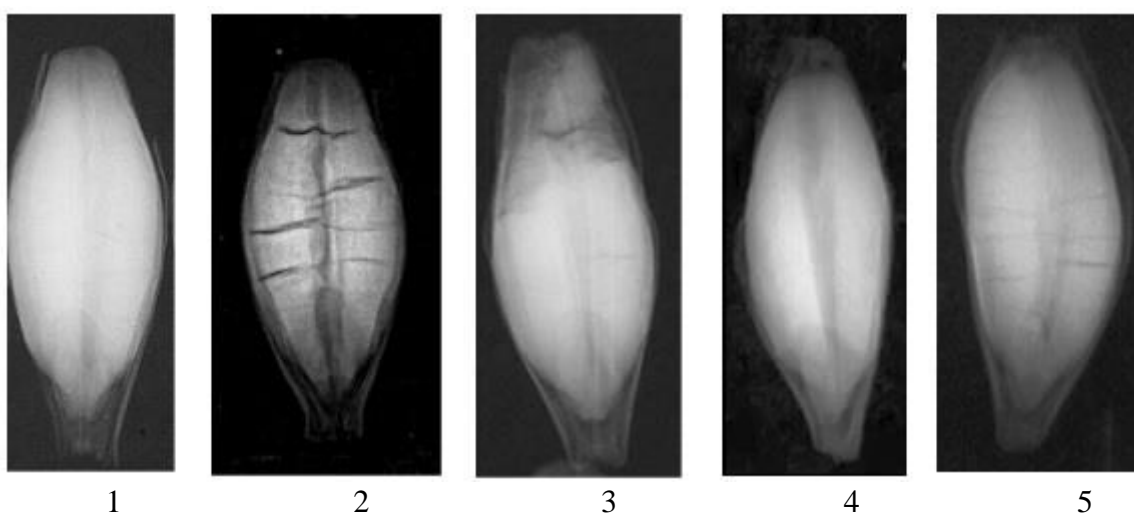


Рисунок 1 – Примеры цифровых рентгеновских изображений зерен ячменя

Примечание. 1. Зерновка без дефектов; 2. Зерновка с дефектом «скрытая трещиноватость»; 3. Зерновка с дефектом «энзимо-микозное истощение»; 4. Зерновка с поврежденным зародышем; 5. Зерновка с дефектом «скрытое прорастание».

Результаты оценки степени скрытой поврежденности различных партий пивоваренного ячменя с помощью метода мягколучевой рентгенографии представлены в таблице 1. Выявляемые рентгеновские признаки варьируют в исследуемых партиях в разных пределах.

Таблица 1 – Рентгенографический анализ зерна разных партий пивоваренного ячменя (Ростовская область, 2014 г.)

Номер партии	Количество зерен с различными дефектами, %			
	сильная трещиноватость	ЭМИС (энзимо-микозное истощение)	поврежденный зародыш	повреждение клопом <i>Eurygaster integriceps</i> (вредная черепашка)
1	31 ± 9	98 ± 3	9 ± 6	–
2	42 ± 10	50 ± 10	3 ± 3	–
3	79 ± 8	14 ± 7	27 ± 9	21 ± 8
4	58 ± 10	22 ± 8	13 ± 7	6 ± 5
5	33 ± 9	54 ± 10	39 ± 10	2 ± 3
6	51 ± 10	44 ± 10	25 ± 8	16 ± 7

Как видно из таблицы, наиболее высокие значения скрытой поврежденности для исследованных партий зерна выявлены по признакам «трещиноватость» и «ЭМИС» и составляют соответственно 79 и 98 %.

Поскольку при оценке качества пивоваренного ячменя важным показателем является его прорастаемость на пятые сутки, можно предположить, что выявленные для исследуемых образцов зерна рентгеновские признаки скрытой поврежденности приведут к снижению ростовых характеристик при прорастании зерна, следовательно, и к снижению их технологических характеристики при производстве солода.

Анализ различных типов рентгенографических признаков в партиях ржи, предназначенных для мукомольной промышленности (таблица 2), показал, что уровень ЭМИС достаточно высок и находится в пределах от 13 до 40 %. Согласно СанПин 2.3.2.1078-01 в пшеничной муке высшего сорта КМАФАНМ должно быть не более 5×10^3 КОЕ/г, плесеней – не более 200 КОЕ/г, дрожжей – не более 100 КОЕ/г [10]. Повышенное количество микроорганизмов приводит к снижению качества муки [11].

Таблица 2 – Рентгенографический анализ образцов различных партий зерна ржи (2016 г.)

Образец, происхождение партии	Количество зерен с различными дефектами, %				
	ЭМИС	зародыш выбит полностью или частично	поражение зародыша грибной инфекцией	трещиноватость эндосперма	повреждение сосущими насекомыми
Ст. Балаково, Саратовская обл., «Невская мельница»	40 ± 10	23 ± 8	4 ± 4	–	–
Т/х. «Амур 25-14»	22 ± 8	4 ± 4	2 ± 3	5 ± 4	4 ± 4
Ст. Безенчук, Самарская обл.	29 ± 9	13 ± 7	4 ± 4	1 ± 2	–
Ст. Заинск, Респ. Татарстан	29 ± 9	2 ± 3	2 ± 3	10 ± 6	–
Ст. Змиевка, Орловская обл.	20 ± 8	7 ± 5	2 ± 3	–	8 ± 5
Т/х. «Сормовский 3056»	13 ± 7	1 ± 2	3 ± 3	–	4 ± 4

Данные о качестве партии зерна продовольственной пшеницы, заложенной на длительное хранение (таблица 3), показали, что исходно она имела высокий уровень скрытой поврежденности зерна насекомыми (17 %) (рисунок 2). Установлено, что спустя два месяца этот уровень существенно повысился (46 %). Полученные результаты дали основание соответствующим службам принять решение о необходимости оперативной замены этой партии и использовании ее для переработки.

Таблица 3 – Рентгеновский анализ образцов зерна пшеницы (Лужский комбикормовый завод, 2015 г.)

Вариант опыта	Поврежденность насекомыми, %	Скрытая трещиноватость, %
Пшеница продовольственная (отбор образца в мае)	17 ± 3	18 ± 3
Пшеница продовольственная (отбор образца в июле)	46 ± 5	20 ± 3

Данные рентгенографической оценки партий зерна кукурузы и ячменя, предназначенных для кормовых целей, представлены в таблице 4. В исследованных партиях продовольственного зерна доля фракций, имеющих признаки скрытой трещиноватости и ЭМИС, достаточно велика (рисунок 3). Наряду с этим оказалось, что партии зерна кукурузы характеризуются высоким содержанием зерен, имеющих скрытое прорастание. Эти результаты дали основание потребителям комбикормов заменить некондиционные комбикорма на более качественные.

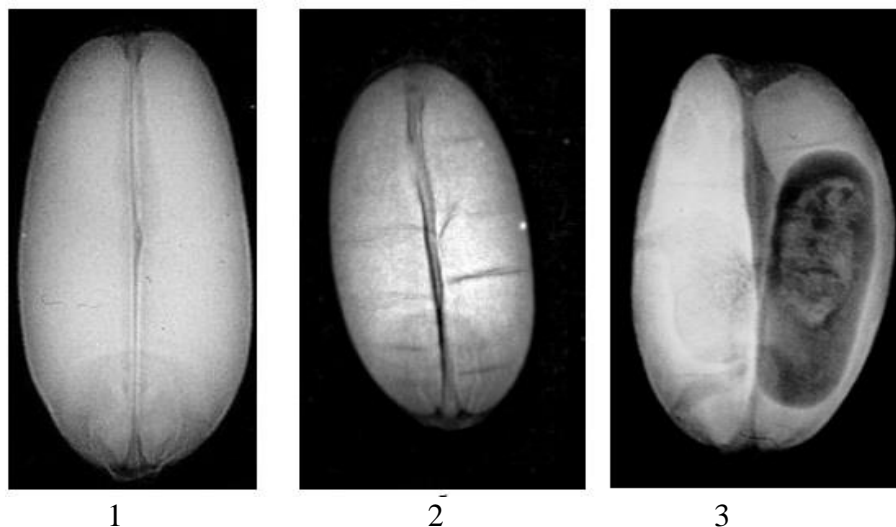


Рисунок 2 – Цифровые рентгеновские изображения зерен пшеницы

Примечание. 1. Зерновка без дефектов; 2. Зерновка с дефектом «скрытая трещиноватость»; 3. Зерновка со скрытой зараженностью насекомым.

Таблица 4 – Рентгенографический анализ скрытой травмированности партий зерна для кормовых целей (Краснодарский край, 2016 г.)

Вариант опыта	Количество зерен с различными дефектами, %		
	ЭМИС	сильная трещиноватость	скрытое прорастание
Кукуруза	17 ± 7	21 ± 8	29 ± 9
Ячмень	98 ± 3	58 ± 9	2 ± 3

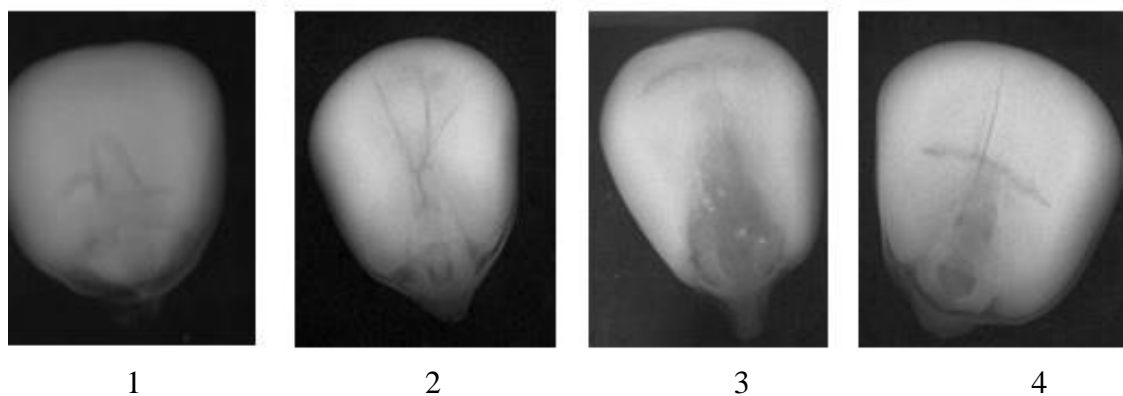


Рисунок 3 – Цифровые рентгеновские изображения зерен кукурузы

Примечание. 1. Зерновка без дефектов; 2. Зерновка с дефектом «скрытая трещиноватость»; 3. Зерновка с дефектом «энзимо-микозное истощение»; 4. Зерновка с дефектом «скрытое прорастание».

В заключение можно отметить, что полученные в работе результаты свидетельствуют о высокой эффективности рентгеновской технологии и возможности использования усовершенствованного метода рентгенографии для массового анализа пригодности партий зерна в соответствующих службах МСХ по контролю качества зерна (Россельхознадзор). Это позволит из проанализированных партий зерна, полученных в разных условиях, выделить наилучшие для обеспечения аграрного сектора страны высококачественным здоровым сельскохозяйственным сырьем.

Выводы

Показано, что высокий уровень скрытой травмированности партий пивоваренного ячменя по различным рентгенографическим признакам (поврежденный зародыш, трещиноватость и ЭМИС) приводит к снижению качества пивоваренного ячменя. В соответствии с действующим ГОСТ 5060-86 способность зерна к прорастанию должна составлять не менее 95 и 90 % для пивоваренного ячменя первого и второго классов соответственно. Доля сорной примеси, к которой относят и испорченные (загнившие, заплесневевшие) зерна, должна составлять не более 1 и 2 % для пивоваренного ячменя первого и второго классов соответственно [12]. Проведение коррекции существующих технологий на основе рентгеновской оценки зерна позволит снизить уровень их скрытой дефектности и на этом основании получать для производства пивоваренный ячмень требуемых кондиций.

Анализ различных типов рентгенографических признаков в партиях ржи, предназначенных для мукомольной промышленности, показал достаточно высокий уровень ЭМИС. Использование таких некачественных партий продовольственного зерна при его переработке может привести к получению продукта, не отвечающего санитарно-гигиеническим требованиям.

С помощью рентгеновского анализа зерна продовольственной пшеницы выявлено наличие скрытой поврежденности насекомыми и показано, что его уровень при хранении партии от одного до двух месяцев повысился от 17 до 46 %. Это дало основание для ее оперативной внештатной замены. Согласно ГОСТ 9353 для заготовок и поставок пшеницы не допускаются партии зерна, имеющие зараженность вредителями, кроме зараженности клещом не выше второй степени [13].

В исследованных партиях зерна кукурузы и ячменя, предназначенных для кормовых целей, выявлена высокая доля фракций с признаками скрытой трещиноватости и ЭМИС, что послужило основанием для их внеплановой замены.

Использование усовершенствованной [5] (специальная пробоподготовка образцов зерен, подбор оптимальных режимов рентген-съемки, в том числе – получения цифровых рентгеновских изображений зерен) рентгеновской аппаратуры, а также возможность применения методов автоматического анализа рентгенограмм позволяет осуществлять оперативный контроль качества зерна различного целевого назначения, корректировать агротехнологии для минимизации показателя скрытой травмированности зерна и, в конечном итоге, получать качественное сельскохозяйственное сырье, в частности зерно.

Литература

1. Якушев В. П., Михайленко И. М., Драгавцев В. А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожая зерновых культур в России // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 550–560.
2. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский 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. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2014. 60 с.
3. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. 192 с.
4. Гусакова Л. П. Рентгенографический и цитофотометрический анализ жизнеспособности семян сельскохозяйственных культур Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт, 1997. 20 с.
5. Архипов М. В., Гусакова Л. П., Великанов Л. П., Виличко А. К., Желудков А. Г., Алферов В. Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. СПб.: АФИ, 2013. 52 с.
6. Архипов М. В., Великанов Л. П., Желудков А. Г., Гусакова Л. П., Алферова Д. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С. Возможности биофизических методов агрофизике и растениеводстве // Биотехносфера. 2013. № 6 (30). С. 40–43.

7. Макрушин Н. М., Бабицкий Л. Ф., Клиценко О. А., Макрушина Е. М., Еськова О. Е., Клиценко Г. Г., Шабанов Р. Ю., Мищук С. А. Инновационные принципы оценки и отбора биологически ценного посевного материала // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (54). С. 371–376.
8. Методика анализа семян. М., 1995. С. 76.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.
10. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Дата введения: с 01.09.2002 г.
11. Малеева О. Л., Амбарцумян Л. И. Комплексная оценка качества пшеничной муки // Сфера услуг: инновации и качество. 2011. № 2. С. 19.
12. ГОСТ 5060-86. Ячмень пивоваренный. Технические условия (с Изменением № 1). М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.
13. ГОСТ-2016. Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.

References

1. Yakushev V. P., Mikhailenko I. M., Dragavtsev V. A. Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation // Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology], 2015. Vol. 50. No. 5. P. 550–560.
2. Tarasenko A. P., Orobinsky V. I., Gievskiy A. M., Merkulova M. A., 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. Moscow: Russian research Institute of information and technical and economic research on engineering and technical support of agro-industrial complex. 2014. 60 p.
3. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Microfocus x-ray of plants. Saint-Petersburg: Technolit, 2008. 192 p.
4. Gusakova L. P. X-ray and cytophotometric analysis of the viability of seeds of agricultural crops. Authors' abstract diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Saint-Petersburg: Agrophysical Research Institute, 1997. 20 p.
5. Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko K. A., Zheludkov A. G., Alferov V. B. Technique of a complex estimation of biological and economic suitability of seed material. Saint-Petersburg: Agrophysical Research Institute. 2013. 52 p.
6. Arkhipov M. V., Velikanov L. P., Zheludkov A. G., Gusakova L. P., Alferova D. V., Potrakhov N. N., Priyatkin N. N. Possibilities of biophysical methods for agrophysics and plant growing // Biotekhnosfera. 2013. No. 6 (30). P. 40–43.
7. Makrushin N. M., Babitsky L. F., Klitsenko O. A., Makrushina E. M., Eskov O. E., Klitsenko G. G., Shabanov R. Yu., Mishchuk S. A. The innovative principles of evaluation and selection of biologically valuable seed // Proceedings of Kuban State Agrarian University. 2015. No. 3 (54). P. 371–376.
8. Methods of seed analysis. Moscow, 1995. P. 76.
9. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
10. Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements of safety and nutrition value of foodstuff. Date of Introduction: 01.09.2002.
11. Maleeva O. L., Ambartsumyan L. I. Complex estimation of quality of wheat flour // Services sector: innovations and quality. 2011. No. 2. P. 19.
12. GOST 5060-86. Barley for brewing. Specifications (No. 1 changed). Moscow: Standartinform, 2010. 6 p.
13. GOST-2016. Wheat. Specifications. Moscow: Standartinform, 2016. 15 p.

UDC 631.53.01:633.1:621.386.8

Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Layshev K. A., Tyukalov Yu. A., Danilova T. A.

SCIENTIFIC SUPPORT OF PRIMARY PRODUCTION OBJECTIVES OF HEALTHY AGRICULTURAL RAW MATERIALS

Summary. *The aim of the research was to assess grain quality using non-destructing microfocus X-ray technique. Experiments on studying the quantitative and qualitative characteristics of the hidden defects of food and forage grain batches of wheat, rye, barley, and corn were carried out from 2014 to 2016. Microfocus X-ray technique (based on the mobile X-ray diagnostic unit PRDU-02) combined with a visual assessment of hidden defects in X-ray images of seeds had been used to identify various types of hidden defects (various levels of endosperm fissuring, mechanical injuries and embryo absence, enzyme mycosis depletion, damage by pests (insects), internal germination) for wheat (*Triticum L.*), rye (*Secale L.*), barley (*Hordeum L.*), and corn (*Zea L.*). To compare the data of grain samples hidden deficiency, the criterion for calculating the statistical characteristics of the sample was used in the study of qualitative features. The revealed types of the hidden deficiency in sample lots of barley for brewing varied by types of damage: damaged embryo – from 3 to 39 %; endosperm fissuring*

– from 31 to 79 %; enzyme mycosis depletion – from 14 to 98 %. According to the X-ray analysis of the rye-grain lots intended for the flour-grinding industry, the most common damage was enzyme mycosis depletion; its level varied in the range of 13–40 %. The presence of the hidden damage by pests in wheat grain was also revealed; its level during batch storage from one to two months had increased from 17 to 46 %. The experimental data on the radiographic evaluation of forage corn and barley was also presented. It had been pointed that the proportion of defective grains by types of damage was quite high: endosperm fissuring (corn – 21 %, barley – 58 %) and enzyme mycosis depletion (17 and 98 %, respectively).

Keywords: wheat (*Triticum L.*), rye (*Secale L.*), barley (*Hordeum L.*), corn (*Zea L.*), food grain, forage grain, agricultural raw materials, x-ray radiography, non-destructive testing, food security.

Архипов Михаил Вадимович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: prini@mail.ru; заместитель директора, ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения», 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: szcentr@bk.ru.

Прияткин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: prini@mail.ru.

Гусакова Людмила Петровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»; 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Лайшев Касим Анверович, доктор ветеринарных наук, член-корреспондент РАН, врио директора ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: szcentr@bk.ru.

Тюкалов Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: yuat@mail.ru.

Данилова Татьяна Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения»; 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail: yuat@mail.ru.

Arkhipov Mikhail Vadimovich, Dr. Sc. (Biol.), professor, chief researcher of the FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: prini@mail.ru; deputy director of the FSBSI “Northwestern Center for interdisciplinary research of the problems of food supply”; 7, Podbelskogo road, Pushkin, Saint-Petersburg, 196608, Russia; e-mail: szcentr@bk.ru.

Priyatkin Nikolay Sergeevich, Cand. Sc. (Tech.), senior researcher, head of the sector in the FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: prini@mail.ru.

Gusakova Lyudmila Petrovna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher of the FSBSI “Agrophysical Research Institute”; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: l-gusakova@mail.ru.

Layshev Kasim Anverovich, Dr. Sc. (Vet.), corresponding member of RAS, acting director of the FSBSI “Northwestern Center for interdisciplinary research of the problems of food supply”; 7, Podbelskogo road, Saint-Petersburg, Pushkin, 196608, Russia; e-mail: szcentr@bk.ru.

Tyukalov Yuriy Alekseevich, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the FSBSI “Northwestern Center for interdisciplinary research of the problems of food supply”; 7, Podbelskogo road, Saint-Petersburg, Pushkin, 196608, Russia; e-mail: yuat@mail.ru.

Danilova Tatyana Alekseevna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the FSBSI “Northwestern Center for interdisciplinary research of the problems of food supply”; 7, Podbelskogo road, Saint-Petersburg, Pushkin, 196608, Russia; e-mail: yuat@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 15.06.2018.
Дата принятия к печати – 10.09.2018.