

DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.01.

УДК 631.53.01:633.1:621.386.8

Архипов М. В.^{1,2}, Прияткин Н. С.¹, Гусакова Л. П.¹

ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТОЙ ДЕФЕКТНОСТИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;

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

Реферат. Цель исследований – получение новых знаний о структурной целостности зерновки, усовершенствование физико-технического базиса при контроле и производстве семян, для увеличения доли кондиционных, хозяйственно ценных семян. Исследования проведены в 2014–2016 гг. на партиях пшеницы и ячменя из различных регионов России. Для выявления различных типов скрытых дефектов (трещиноватость эндосперма, механические травмы и отсутствие зародыша, нарушение целостности оболочки зародыша, энзимомикозное истощение, щуплость, поврежденность клопом вредная черепашка) использован метод микрофокусной рентгенографии в сочетании с визуальной оценкой скрытых дефектов рентгенографических изображений семян, стандартными методами оценки посевных качеств семян (энергия прорастания, всхожесть) и дополнительными показателями – измерениями длины корня и ростка. Установлено, что сильная травмированность эндосперма семян озимой пшеницы более чем в шесть раз снижает энергию прорастания (с 78 до 12 %) и на 10 % (с 88 до 78 %) – всхожесть, а также приводит к существенному снижению длины корня (с 91,3 до 77,9 мм) и ростка (с 68,9 до 46,3 мм). Показано, что наиболее сильное влияние на ростовые показатели семян ячменя оказывает грубая трещиноватость и локальные повреждения эндосперма: на десятые сутки трещиноватость приводит к уменьшению длины ростка на 40 мм, а корня – на 24 мм, а повреждения эндосперма способны снизить эти показатели на 30 и 16 мм соответственно. Сравнительные экспериментальные данные по уровню скрытой травмированности партий зерна яровой пшеницы, полученных в разных почвенно-климатических зонах России и предназначенных для закладки на длительное хранение, показали, что наибольшими показателями трещиноватости зерновки отличались партии из Омской и Ростовской областей (25 и 18 % соответственно).

Ключевые слова: семена пшеницы (*Triticum*), семена ячменя (*Hordeum*), скрытые дефекты семян, микрофокусная рентгенография, посевные качества семян, продовольственная безопасность.

Введение

При получении высококачественного зерна различного целевого назначения (семенного, продовольственного и фуражного) важную роль играет кондиционность исходного семенного материала. Вопрос о биологической неоднородности семян и причинах, ее вызывающих, широко обсуждается в ботанической и агрономической литературе [1]. Необходимо подчеркнуть, что существующие различия между ботаническими и агрономическими семенами связаны с тем, что первые при выращивании подвергаются экогенным воздействиям, а вторые – как экогенным, так и техногенным, обусловленными термомеханическими воздействиями на семенной материал в условиях промышленного семеноводства.

Исследования, проведенные в семеноведении и семеноводстве, показали, что гетерогенность семенного материала зависит от условий выращивания, режимов уборки, сушки и послеуборочной обработки [1–3].

Существующие семенные технологии обеспечивают получение партий семян с минимальным уровнем внешних повреждений. В то же время доля семян со скрытыми дефектами достигает 80 % [1]. Для выявления скрытых микроповреждений семян требуется разработка эффективных экспресс-методов, позволяющих проводить массовый контроль семенного материала. Исследования по визуализации различных типов скрытых дефектов семян и оценке их хозяйственной значимости проводятся в Агрофизическом научно-исследовательском институте. Накопленная в настоящее время база данных позволяет говорить о перспективности такого подхода [4].

Оценка производственных партий семян (в том числе и зерна) показала, что существующие семенные технологии различных сельхозпредприятий регионов в разные годы позволяют получать семенной материал как с высоким, так и с низким уровнем структурных нарушений (травмированности) зерновок [5].

Коррекция технологических режимов, обеспечивающих получение высококачественных семян с минимальным уровнем скрытой травмированности, может достаточно эффективно осуществляться на основе методики мягколучевой микрофокусной рентгенографии [5, 6].

По данным ФГБУ «Центр оценки качества зерна» в России зерно третьего класса (основного для хлебопечения) в 2012 г. составляло 48,2 % от урожая, а в 2017 – 24,3 %, то есть произошло падение в два раза [7]. Таким образом, в России происходит не только снижение качества зерна, но и ежегодный недобор десятков миллионов тонн зерна в результате использования для посева семян низких посевных кондиций. По аналогии с флюорографической диспансеризацией населения необходимо проводить рентгеновскую диспансеризацию производственных партий семян, которая позволит отбирать для посева семена с минимальным уровнем скрытой травмированности, перевести тем самым экспресс-контроль качества семян на индустриальные рельсы и обеспечить получение высококачественного зерна в необходимых объемах [7, 8].

При решении задачи по минимизации уровня скрытой травмированности семян разработка нетравмирующих («щадящих») технологий представляется более перспективным направлением, чем использование приема сепарации для выделения фракции некондиционных семян, который является достаточно затратным и зачастую экономически неоправданным [9].

Цель исследований – получение новых знаний о структурной целостности зерновки, усовершенствование физико-технического базиса при контроле и производстве семян, для увеличения доли кондиционных, хозяйственно ценных семян.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов использовали семена озимой пшеницы сорта Зеленоградская, ячменя сорта Криничный, а также партий зерна яровой пшеницы из различных регионов страны, заложенных на ответственное хранение. Для всех образцов проводилась рентгеносъёмка с прямым рентгеновским увеличением.

Исследования проводили по утвержденной методике рентгеновского анализа семян [10] в испытательной лаборатории по рентгенографии Агрофизического института (Свидетельство Рег. номер Росс RU ДС 1.6.1.123.). Рентгенограммы зерновок получали на передвижной рентгенодиагностической установке ПРДУ-02 производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед».

Методика [6] включала следующие этапы:

1. Подготовка проб: расклейка семян на липкую ленту в виде окошка размером 60×80 мм, на бумажной карточке по 100 штук семян на каждой (один образец из партии).

2. Рентген-съемка образца (карточки) с трехкратным увеличением.
3. Визуальный анализ полученных рентгенограмм на мониторе компьютера с регистрацией (записью) и подсчетом количества выявленных скрытых дефектов.
4. Проращивание проанализированных рентгенографическим методом семян осуществляли согласно ГОСТ 12038-84 [12].

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов проведенных экспериментов представлен в таблицах 1–4.

При оценке кондиционности семенного материала наряду с анализом традиционных показателей (энергия прорастания, всхожесть и др.) исследовали рентгенографические характеристики степени скрытой поврежденности семян, которые сопоставляли с морфометрическими показателями на стартовых этапах прорастания. Показано, что именно мягколучевая микрофокусная рентгенография является наиболее эффективным методом для неразрушающего экспресс-контроля скрытой травмированности семян и зерна [4]. Такой подход дает возможность получать комплексную характеристику качества семенного материала, отражающую наиболее полную картину структурных нарушений зерновки. Рассмотрим результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Посевные качества семян, имеющих скрытую поврежденность зерновки, и их морфометрические показатели для озимой пшеницы сортообразца Зеленоградская (Ростовская область, 2014–2016 гг.)

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина ростка, мм	Длина корня, мм	Масса ростка, г	Масса корня, г
Контроль	78 ± 3	88 ± 2	68,9 ± 2,5	91,3 ± 2,3	0,051 ± 0,002	0,044 ± 0,001
Высокая степень скрытой травмированности эндосперма	12 ± 5	78 ± 3	46,3 ± 6,1	77,9 ± 6,9	0,042 ± 0,004	0,042 ± 0,005

Показано, что сильная травмированность эндосперма более, чем в шесть раз снижает энергию прорастания и почти на 10 % – показатель всхожести, а также приводит к существенному снижению морфометрических показателей корня и ростка. Учет показателя скрытой травмированности необходим, так как он отражает влияние антропогенных факторов в процессе получения семенного материала и является одной из возможных причин снижения степени их кондиционности.

Анализ связи между рентгенографическими и морфометрическими показателями для ячменя сорта Криничный представлен в таблице 2.

Представляют интерес данные о скрытой травмированности партий зерна пшеницы, полученных в разных регионах страны и предназначенных для закладки на длительное хранение. Проведенный ранее рентгенографический анализ показал, что признак трещиноватости в зерне пшеницы варьирует от 19 до 58 %, щуплости – от 32 до 48 % [4]. В данном эксперименте выявлены партии зерна, имеющие, по сравнению с проанализированными ранее, существенно меньший уровень скрытой травмированности (таблица 3).

Из полученных результатов видно, что наилучшие партии зерна характеризуются показателем щуплости, варьирующим в интервале от 2 до 5 % и трещиноватости – от 1 до 4 %. Закладка таких партий на длительное хранение наиболее оптимальна.

Таблица 2 – Ростовые показатели (мм) суперэлитных семян ячменя сорта Криничный, выделенных в группы рентгенографическим методом

Группа семян	Срок						
	третьи сутки	пятые сутки		седьмые сутки		десятые сутки	
	корень	росток	корень	росток	корень	росток	корень
Биологически полноценные	22,0	42,9	54,3	83,8	67,2	130,1	77,2
С мелкой трещиноватостью	19,9	42,9	52,5	85,6	67,4	130,5	77,7
С грубой трещиноватостью	15,0	27,4	28,4	59,4	35,6	90,0	52,8
С локальными повреждениями эндосперма	15,3	38,9	36,9	67,0	59,8	99,5	61,0
С нарушенной оболочкой зародыша	26,7	56,7	45,3	74,3	54,3	125,3	69,3
Щуплые +ЭМИС*	11,0	23,5	28,7	53,6	47,7	101,4	72,6

Примечание. * – энзимо-микозное истощение семян.

Таблица 3 – Рентгенографическая оценка содержания фракций зерна с различными типами скрытых дефектов в образцах пшеницы из различных почвенно-климатических зон страны

Происхождение партий зерна (область)	Номер образца	Тип дефекта			
		щуплость зерновки, %	трещиноватость зерновки, %	повреждение клопом вредная черепашка, %	зародыш полностью или частично отсутствует, %
Саратовская	1	2	3	0	0
	2	22	3	2	1
	3	24	4	0	1
Омская	1	2	25	0	1
	2	12	1	1	1
Ростовская	1	5	18	1	1

Резюмируя полученные результаты, следует отметить, что возможности применения метода мягколучевой рентгенографии позволят:

- более детально оценивать степень структурной поврежденности зерновки и ее влияние на биологическую и хозяйственную ценность семян;
- выявлять условия, при которых отечественные сорта обеспечивают получение биологически (хозяйственно) полноценных семян с минимальным уровнем скрытой поврежденности;
- осуществлять оптимальный выбор наилучших партий зерна в период послеуборочного дозревания и оценивать их возможное целевое назначение;
- обеспечить экспресс-контроль при досмотре партий семян (зерна) с учетом возможных видов фитосанитарных рисков с целью профилактики и своевременного предотвращения нештатных ситуаций в зерновом секторе АПК;
- усовершенствовать соответствующие стандарты рентгеновского досмотра семян и перевести их в цифровой формат.

Такой подход позволит более эффективно решать задачи, обозначенных в Указе президента РФ № 350 от 27 июля 2016 года по созданию в ближайшие годы отечественных семенных фондов [13].

Семена в любом цивилизованном государстве служат возобновляемым стратегическим ресурсом (своего рода валютой), а государство должно выступать гарантом наличия в стране запасов высококачественного семенного материала, тем самым обеспечить продовольственную безопасность и независимость страны.

Выводы

Установлено, что сильная травмированность эндосперма семян озимой пшеницы более чем в шесть раз снижает энергию прорастания (с 78 до 12 %) и почти на 10 % (с 88 до 78 %) – всхожесть, а также приводит к существенному снижению длины корня (с 91,3 до 77,9 мм) и ростка (с 68,9 до 46,3 мм).

Показано, что наиболее сильное влияние на ростовые показатели семян ячменя оказывает грубая трещиноватость и локальные повреждения эндосперма: на десятые сутки трещиноватость приводит к уменьшению длины ростка на 40 мм, а корня – на 24 мм, а повреждения эндосперма способны снизить эти показатели на 30 и 16 мм соответственно.

Сравнительные экспериментальные данные по уровню скрытой травмированности партий зерна яровой пшеницы, полученных в разных почвенно-климатических зонах России и предназначенных для закладки на длительное хранение, показали, что наибольшими показателями трещиноватости зерновки отличались партии из Омской и Ростовской областей (25 и 18 % соответственно).

Получение высококачественных нетравмированных семян и создание на их основе отечественных страховых семенных фондов является важным условием, обеспечивающим независимость зернового сектора страны. Решение этой задачи практически невозможно без использования усовершенствованного метода рентгеновского экспресс-контроля качества семян.

Литература

1. 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.
2. Гусакова Л. П. Рентгенографический и цитофотометрический анализ жизнеспособности семян сельскохозяйственных культур. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб: Агрофизический НИИ, 1997. 20 с.
3. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Тюкалов Ю. А., Перекопский А. Н. Интроскопический экспресс-контроль целостности внутренних структур зерновок при формировании производственных партий зерна, наиболее пригодных для длительного хранения // Селекция, семеноводство и генетика. 2015. № 2. С. 53–54.
4. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. 192 с.
5. Архипов М. В., Великанов Л. П., Желудков А. Г., Гусакова Л. П., Алферова Д. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С. Возможности биофизических методов в агрофизике и растениеводстве // Биотехносфера. 2013. № 6 (30). С. 40–43.
6. 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.
7. О качестве зерна нового урожая по состоянию на 22 августа 2018 года. Информационный листок №26/2018 от 03.09.2018 года о качестве семян озимых культур в Российской Федерации по результатам мониторинга филиалами ФГБУ «Россельхозцентр» на 1 сентября 2018 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosselhocenter.com/index.php/prensa/analitika> (дата обращения 06.09.2017).
8. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Физико-технический базис микрофокусной рентгенографии семян и его реализация в селекции, семеноводстве и защите растений // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. Вып. 3 (54). С. 367–370.
9. Priyatkin N., Arkhipov M., Gusakova L., Potrakhov N., Korotkov K. Introspective techniques to identify internal structural defects of grain and forestry seeds, caused by various environmental effects // Abstracts of 31th Seed Symposium 31th ISTA Congress. Tallinn, 2016. P. 70–71.
10. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Потрахов Н. Н., Кропотов Г. И. Неразрушающий контроль семян: возможности и перспективы // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 66. С. 20–27.
11. Методика анализа семян. М., 1995. С. 76.

12. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: изд-во стандартов, 1985. 58 с.
13. О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2016 г. № 350, ред. от 21.07.2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/41139> (дата обращения 06.09.2017).

References

1. Tarasenko A. P., Orobinskii V. I., Georgievskii A. M., Merchalova M. E., Chernyshov A. V., Chernyshov S. V., Mironov A. S., Sorokin N. N., Gorbachev I. V., Shreider Yu. M. The improvement of mechanization of seed production of grain crops: best practices. Moscow: FSBSI "Rosinformagrotekh", 2014. 60 p.
2. 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.
3. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Tyukalov Yu. A., Perekopskii A. N. Introsopic express-control of the integrity of the internal structures of grains in the formation of production batches of grain, which are the most suitable for long-term storage // *Selektsiya, semenovodstvo i genetika*. 2015. No. 2. P. 53–54.
4. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Microfocus radiography of plants. Saint-Petersburg: Tekhnolit, 2008. 192 p.
5. Arkhipov M. V., Velikanov L. P., Zheludkov A. G., Gusakova L. P., Alferova D. V., Potrakhov N. N., Priyatkin N. S. Possibilities of biophysical methods for agrophysics and plant growing // *Biotekhnosfera*. 2013. No. 6 (30). P. 40–43.
6. Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko A. K., Zheludkov A. G., Alferov V. B. Method of complex assessment of biological and economic suitability of seed material. Saint-Petersburg: AFI, 2013. 102 p.
7. About quality of grain of a new harvest as of August 22, 2018. The information leaflet No. 26/2018 from 9/3/2018 of year about quality of seeds of winter crops in the Russian Federation by results of monitoring by branches of Federal State Budgetary Institution "Rosselkhozcenter" for September 1, 2018. [Electronic resource]. Access point: <https://rosselkhozcenter.com/index.php/prensa/analitika> (reference's date 06.09.2017).
8. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Physical-technical basis of microfocus x-ray of seeds and its implementation in breeding, seed production and plant protection // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015. Iss. 3 (54). P. 367–370.
9. Priyatkin N., Arkhipov M., Gusakova L., Potrakhov N., Kropotov G. Introsopic techniques to identify internal structural defects of grain and forestry seeds, caused by various environmental effects // *ISTA Seed Symposium. Abstracts of 31th ISTA Congress*. Tallinn, 2016. P. 70–71.
10. Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Potrakhov N. N., Kropotov G. I. Non-destructive quality control of seeds: opportunities and prospects // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2017. No. 66. P. 20–27.
11. Methods of seed analysis. Moscow, 1995. P. 76.
12. GOST 12038–84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Publishing and printing center Izdatelstvo standartov. 1985. 58 p.
13. About measures for realization of the state scientific and technical policy for the benefit of development of agriculture. Decree of the President of the Russian Federation at 21.07.2016 No 350, ed. 21.07.2016. [Electronic resource]. Access point: <http://kremlin.ru/acts/bank/41139> (reference's date 06.09.2017).

UDC 631.53.01:633.1:621.386.8

Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P.

DETECTION OF HIDDEN DEFECTS IN THE SEEDS OF GRAIN CROPS BY THE METHOD OF MICROFOCUS X-RAY

Summary. The purpose of this study was to improve scientific knowledge about the structural integrity of the caryopsis, upgrade physical and technical basis for seeds production and quality control, increase the proportion of certified and commercially valuable seeds. Studies were carried out on the grain lots of wheat and barley from different regions of Russia from 2014 to 2016. Microfocus X-ray technique when combined with a visual assessment of latent defects in X-ray images of seeds, standard methods of assessment

*of sowing qualities of seeds (emergence rate, germination) and additional indicators – measurements of root and shoot length had been used to identify various types of hidden defects (various level of endosperm fissuring, mechanical injuries and embryo absence, embryo cover breach, enzyme mycosis depletion, thin (empty) seeds, damage by corn bug (*Eurygaster integriceps*). The results of several experiments on studying the interrelation between hidden defects of seeds and their sowing qualities are presented. It is established that severe endosperm fissuring of winter wheat seeds reduces emergence rate by more than six times (from 78 to 12 %) and germination - by almost 10 % (from 88 to 78 %), and also leads to a significant decrease in root (from 91.3 to 77.9 mm) and shoot (from 68.9 to 46.3 mm) length. It is shown that the strongest influence on growth indicators of barley seeds has rough fissuring and local damages of endosperm: on the tenth day, the fissuring lessens the length of the sprout by 40 mm, and the root – by 24 mm, and the endosperm damage can reduce these figures by 30 and 16 mm, respectively. Comparative experimental data on the level of the hidden injury of grain lots of spring wheat harvested in different soil and climatic zones of Russia that are intended for long-term storage showed that highest level of caryopsis fissuring had grain lots from Omsk and Rostov regions (25 and 18 %, respectively).*

Keywords: *seeds of wheat (*Triticum*), seeds of barley (*Hordeum*), hidden defects of seeds, microfocuss X-ray technique, sowing qualities of seeds, 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.

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.

Дата поступления в редакцию – 15.05.2018.

Дата принятия к печати – 01.08.2018.