DOI 10.33952/2542-0720-2020-2-22-8-16
УДК 631.53.01: 633.1: 621.386.8

Архипов М. В.[1,2], Прияткин Н. С.[1], Гусакова Л. П.[1], Щукина П. А.[1,2]

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ЗЕРНОВКИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ЕЕ РОСТОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»;
[2]ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения»

Реферат. *Цель работы – исследование связи структурной целостности зерновки злаковых культур, оцениваемой методом рентгенографии по наличию скрытых дефектов, с интенсивностью начального роста проростков для более точной оценки степени биологической полноценности и хозяйственной пригодности семян. Представлены экспериментальные данные, полученные на примере семян семи сортов ячменя и многолетних трав (овсяницы и райграса), сформированных в различных хозяйствах Ленинградской области в 2016–2017 гг. У образцов семян с помощью рентгенографии выявляли такие внутренние дефекты зерновки, как щуплость, энзимо-микозное истощение семян (ЭМИС), трещиноватость и скрытое прорастание. Далее семена в лабораторных условиях проращивали согласно ГОСТ 12038-84 и определяли их всхожесть и линейные параметры ростка и корня. Сопоставляли данные проращивания с показателями рентгенографического анализа. Установлено, что самые высокие значения скрытой поврежденности семян ячменя наблюдали для показателя трещиноватости. Так, у семян сорта Криничный она варьировала от 17 до 91 %, Ленинградский – от 24 до 87 %, Гонар – от 43 до 70 %. Другие внутренние дефекты были меньше и составляли: для ЭМИС – 39 %, щуплости – 28 % и скрытого прорастания – 17 %. Показано, что у образцов с наибольшим суммарным количеством выявленных внутренних дефектов всхожесть (52 %) и длина проростков (78 мм) были наименьшими. Аналогичную тенденцию наблюдали и для семян злаковых трав. Дальнейшее представление комплекса этих показателей в виде разработки паспортов для семян (морфометрического и рентгенографического) и для проростков (морфофизиологического) позволит использовать их в комплексе неинвазивных (в частности, рентгенографические) и традиционных показателей качества семян для более достоверного контроля их в промышленном семеноводстве.*

Ключевые слова: *семена злаковых культур, рентгенографический анализ, структурная целостность зерновки, интенсивность прорастания.*

Введение

Качество семян зависит от целого ряда экзогенных и эндогенных факторов среды обитания растений, суммарное влияние которых проявляется в нарушении структурной целостности зерновки (внешней и внутренней). Тестовыми характеристиками жизнеспособности семян являются показатели интенсивности их прорастания, в частности, энергии прорастания и всхожести, во многом зависящие от показателей структурной целостности зерновки. Сельскохозяйственных производителей семян и зерна не всегда устраивает усредненная характеристика партии, которая не дает возможность выявлять разное соотношение в ней фракций сильных, слабых семян и семян, относящихся к группе «риска», что не всегда позволяет достаточно надежно осуществлять прогноз потенциальной полевой всхожести партий семян в целом. Реализация индивидуальных особенностей семян проявляется в различной интенсивности роста проростков для каждой фракции в отдельности, а суммарный результат представляет собой интегральную характеристику, позволяющую осуществлять более точный прогноз полевой

всхожести партии семян [1]. Важную дополнительную информацию о внутреннем статусе зерновки, ее целостности, наличии аномалий развития и приобретенных дефектов, влияющих на хозяйственную ценность партии семян, дает рентгеновский снимок [2].

Так, на семенах ячменя Криничный [3] рентгенографическим методом были выделены фракции как без дефектов – биологически полноценные семена, так и с нарушениями внутренней структуры. Показано, что отставание в росте корней наблюдается практически у всех фракций с внутренними повреждениями, начиная с третьих суток, а в росте ростков – с пятых–седьмых суток. На семенах злаковых кормовых трав отставание темпов начального роста как корня, так и ростка у выявленных дефектных семян наблюдали в более поздний период проращивания [4]. Исследование наличия скрытых аномалий и дефектов и их связи с начальными процессами прорастания проводили также и на семенах овощных культур [5]. Следует отметить, что работы зарубежных исследований по обозначенной тематике касаются в основном выявления внутренних дефектов с помощью рентгенографии у семян злаковых зерновых культур [6–7], древесных пород [8], овощных культур [9–10] и имеются единичные работы по исследованию связи анализа рентгенографических изображений и всхожести семян – на овощных [11] и диких видах растений [12].

В настоящее время системные исследования по оценке влияния скрытой поврежденности структуры семян зерновых культур, полученных в условиях индустриального семеноводства, на реализацию их ростового потенциала проводят, в основном, отечественные ученые [13, 14]. Данные работы требуют дальнейшего расширения и углубления как в фундаментальном, так и в прикладном направлениях. Использование для этих целей метода рентгенографии и методик оценки показателей интенсивности роста проростков представляется важным инструментом для более эффективного решения поставленных перед отечественным семеноводством задач, обозначенных в современной Доктрине продовольственной безопасности РФ и в частности для обеспечения АПК отечественным семенным материалом на уровне не менее 75 %.

Отечественные машинные технологии, обеспечивающие уборку, сушку и послеуборочную подработку семенного материала, приводят к возникновению в семенах различного рода нарушений внешних и внутренних структур зерновки, причём доля скрытых дефектов может в пять–семь раз превосходить таковую для внешних повреждений. Системной информации о степени скрытой поврежденности производственных партий семян крайне недостаточно.

Цель исследований – выявление связи структурной целостности зерновки, оцениваемой по наличию скрытых дефектов, с интенсивностью начального роста проростков для более точной оценки степени биологической полноценности и хозяйственной пригодности семян.

Данные исследования позволят в определённой степени восполнить имеющийся пробел, так как они отражают степень скрытой травмированности партий семян различных сортов, лет, мест репродукции, используемых технологий выращивания, уборки и послеуборочной подработки семенного материала.

Материалы и методы исследований

Объекты исследования – семена ячменя различных сортов (Белогорский, Гонар, Криничный, Ленинградский, Северянин, Скарлетт и Суздалец), районированных в Северо-Западном регионе, и злаковых трав овсяницы и райграса, сформированных в 2016–2017 гг. в условиях Ленинградской области. Для выявления скрытых повреждений в структуре семени использовали рентгендиагностическую установку «ПРДУ-02» [2, 15]. Оценивали следующие рентгеновские признаки: для семян сортов Криничный, Ленинградский и Суздалец – трещиноватость, энзимо-микозное

истощение семян (ЭМИС) и скрытое прорастание; для сорта Белогорский – трещиноватость и щуплость; для пивоваренных сортов ячменя Гонар и Скарлетт наряду с трещиноватостью и ЭМИС дополнительно учитывали дефектность зародыша. Семена злаковых трав по рентгеновским признакам ранжировали на 3 группы – пустые, недоразвитые и биологически полноценные. Для исследований брали пробы по 100 семян в трехкратной повторности – всего по 300 шт. Проращивание проводили в лабораторных условиях рулонным способом согласно ГОСТ 120038-84 [16]. Вычисление статистических характеристик выборки при исследовании качественных признаков проводили по Б. А. Доспехову [17].

Результаты и их обсуждение

Показано, что высокий уровень скрытой трещиноватости – у образцов № 1 и 8 – 91 % и 87 % соответственно, партий семян отражается в снижении показателя всхожести до 52 % и 67 % соответственно (таблица 1). Из восьми проанализированных образцов лишь два (№ 3 и № 7) с невысокой величиной трещиноватости (17 % и 24 % соответственно) обеспечили всхожесть, удовлетворяющую требованиям стандарта, предъявляемого к посевным качествам семян – 87 % и более.

Таблица 1 – Показатели рентгенографического анализа и всхожести образцов семян из партий ячменя сорта Криничный и Ленинградский (среднее за 2016–2017 гг.)*

Номер образца	Образец, принадлежность к категории	Трещиноватость, %	ЭМИС**, %	Скрытое прорастание, %	Всхожесть, %
Сорт Криничный					
1	Супер элита	91 ± 4	12 ± 2	2 ± 0,5	52 ± 3
2	Первая репродукция, вариант 1	26 ± 3	14 ± 2	0	84 ± 3
3	Первая репродукция, вариант 2	17 ± 2	28 ± 3	0	87 ± 3
4	Вторая репродукция	32 ± 3	25 ± 3	0	69 ± 3
Сорт Ленинградский					
5	Элита, вариант 1	31 ± 3	26 ± 3	10 ± 1	83 ± 3
6	Элита, вариант 2	36 ± 3	39 ± 3	6 ± 1	85 ± 3
7	Элита, вариант 3	24 ± 3	9 ± 1	0	92 ± 2
8	Первая репродукция	87 ± 4	35 ± 3	48 ± 4	67 ± 3

Примечание. ** Данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней – $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$; ** ЭМИС – энзимо-микозное истощение семян.*

Высокая трещиноватость (68 %) отмечена также для семян сорта Белогорский у образца № 3 (таблица 2).

Таблица 2 – Рентгенографическая оценка семян ячменя сорта Белогорский урожая 2017 г.*

Номер образца	Номер партии	Район выращивания	Без трещин, %	Сильно трещиноватые, %	Щуплые, %	Разрушенные, %
1	37, первая репродукция	Гатчинский	100 ± 5	0	28 ± 3	0
2	Б/н, суперэлита	Гатчинский	96 ± 5	4 ± 1	13 ± 2	0
3	71, первая репродукция	Лужский	12 ± 2	68 ± 3	4 ± 1	1 ± 0,5
4	72, первая репродукция	Лужский	15 ± 2	52 ± 4	22 ± 3	0
5	117, вторая репродукция	Кингисеппский	12 ± 2	44 ± 4	17 ± 3	2 ± 0,5

Примечание. ** Данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней – $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$*

Важно отметить, что образец № 1 этого сорта характеризовался полным отсутствием в партии семян со скрытыми трещинами. Это может свидетельствовать

об оптимальном режиме послеуборочной доработки, в данном случае, сушки, однако для этого же образца зарегистрирован высокий уровень внутренней щуплости, который, наоборот, может отражать неоптимальность условий выращивания и сроков уборки для обеспечения полноценного созревания семян. В других образцах этого сорта трещиноватость варьировала от 4 % до 68 %, а щуплость – от 4 % до 28 %, то есть идентифицированный показатель щуплости был примерно в 2–3 раза ниже трещиноватости.

Особый интерес представляют исследования семян злаковых трав, так как работ в этом плане проведено меньше, чем для зерновых культур. Наши эксперименты по оценке нарушений структурной целостности семян в этих образцах позволили выделить три фракции семян – биологически полноценно развитые, недоразвитые и пустые. Установлено, что образцы № 2 и № 4 с самой высокой долей недоразвитых семян – 36 % и 34 %, характеризовались и самой низкой всхожестью – 20 % и 45 % соответственно (таблица 3).

Таблица 3 – Рентгенографический анализ партий семян овсяницы и райграса (среднее за 2016–2017 гг.)*

Номер образца	Культура, номер партии	Доля дефектных семян, %			Всхожесть, %
		пустых	недоразвитых	биологически полноценных	
1	Овсяница, 33	14 ± 2	18 ± 3	68 ± 3	60 ± 3
2	Овсяница, 59	2 ± 0,5	36 ± 3	62 ± 3	20 ± 2
3	Овсяница, 68	1 ± 0,5	25 ± 3	74 ± 4	80 ± 4
4	Райграс, 64	6 ± 2	34 ± 3	60 ± 3	45 ± 4
5	Райграс, 65	2 ± 0	14 ± 2	86 ± 4	80 ± 3
6	Райграс, 66	0	2 ± 0,5	98 ± 5	80 ± 3

Примечание. ** Данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней –* $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$

Для получения биологически полноценных семян крайне важным является соблюдение рекомендаций по технологиям выращивания злаковых культур и соблюдения сроков их своевременной уборки. Данные на примере семян пивоваренного ячменя еще раз подтверждают тот факт, что высокий показатель скрытой трещиноватости наиболее сильно влияет на ростовой потенциал. Так, образец № 3 с показателем трещиноватости 70 % характеризуется самыми низкими показателями всхожести и длины ростка – 58 % и 72 мм соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Рентгенографический анализ различных сортов пивоваренного ячменя (среднее за 2016–2017 гг.)*

Номер образца	Вариант	Сильно трещиноватые, %	ЭМИС, % **	Дефекты зародыша, %	Всхожесть, %	Длина ростка, мм
1	Сорт Гонар вариант 1	43 ± 4	38 ± 4	7 ± 2	88 ± 4	86 ± 2
2	Сорт Гонар вариант 2	59 ± 4	31 ± 3	9 ± 2	84 ± 3	80 ± 2
3	Сорт Гонар вариант 3	70 ± 4	30 ± 3	11 ± 2	58 ± 3	72 ± 3
4	Сорт Скарлетт вариант 1	23 ± 3	12 ± 2	7 ± 2	92 ± 5	101 ± 4

Примечание. ** данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней –* $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$*;*
*** ЭМИС – энзимо-микозное истощение семян.*

Совместно с НИИСХ «Белогорка» проведен эксперимент по оценке влияния режима сушки на ромбической сушилке для различных сортов ячменя, районированных в Ленинградской области, на их скрытую поврежденность (таблица 5). Наименьшая трещиноватость при сушке семян отмечена у сорта Ленинградский (29 %), он же характеризовался и самым высоким показателем длины зародышевого корня – 142 мм.

Семена ячменя сорта Суздалец, элита, выращивание которых требует особых требований, предъявляемым к технологиям производства семян высоких репродукций, формировали самое крупное зерно – масса 1000 зерен 45 г, и характеризовались большей длиной корня по сравнению с семенами более низких репродукций. У образца № 3 семян рядовых репродукций, у которого суммарное содержание выявленных дефектов было выше, обнаружили и самые низкие значения длины корня (таблица 6).

Таблица 5 – Рентгенографический и морфофизиологический анализ различных сортов ячменя урожая 2017 г.

Номер образца	Сорт	Сильно трещиноватые, %	Длина зародышевых корней, мм	Длина ростка, мм
1	Белогорский	46 ± 4	113 ± 4	148 ± 6
2	Криничный	49 ± 4	113 ± 4	155 ± 6
3	Ленинградский	29 ± 3	142 ± 6	150 ± 6
4	Северянин	41 ± 4	115 ± 4	143 ± 5

Примечание. ** Данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней – $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$;*

Таблица 6 – Рентгенографические показатели семян ячменя сорта Суздалец урожая 2017 г. и морфофизиологические характеристики проростков

Номер образца	Вариант	Сильно трещиноватые, %	ЭМИС, %**	Скрытое прорастание, %	Масса 1000 зерен, г	Длина корня, мм
1	Бокситогорский, третья репродукция	26 ± 3	20 ± 3	11 ± 2	35 ± 2	120 ± 5
2	Киришский, элита	29 ± 3	29 ± 3	17 ± 2	45 ± 4	127 ± 5
3	Ломоносовский, вторая репродукция	49 ± 4	53 ± 4	8 ± 2	41 ± 4	109 ± 4

Примечание. ** Данные представлены в виде доверительного интервала генеральной средней – $\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$;*
*** ЭМИС – энзимо-микозное истощение семян.*

Анализ результатов позволяет сделать общий вывод о том, что для различных сортов и репродукций производственных партий ячменя, полученных в различных районах Ленинградской области, одним из существенных показателей, влияющих на их ростовой потенциал и определяющий степень хозяйственной пригодности, является рентгенографический показатель скрытой трещиноватости. Используемые в контрольно-семенном деле традиционные методы оценки посевных кондиций семян не ориентированы на детальную оценку показателя интенсивности начального роста проростков, а учитывают лишь число взошедших семян в лабораторных условиях, что не позволяет осуществить точный прогноз потенциальной полевой всхожести. Изучаемая в наших исследованиях связь рентгенографических показателей скрытой поврежденности структуры зерновки с показателями интенсивности прорастания даёт возможность проводить раннюю и более точную оценку степени хозяйственной пригодности партий семян с учётом их внутренней травмированности, чем с помощью традиционных методов проращивания. Анализ состояния исследований в области семенного контроля показывает, что семеноводы и селекционеры должны более тесно проводить совместные работы для осуществления комплексной оценки качества семян. Ученые нуждаются в новых разработках, дающих детальную информацию о подлинности сорта, биологической полноценности и хозяйственной пригодности семян различных сортов.

В настоящее время развитие исследований требует разработки современных показателей для описания подлинности сорта и качества семенного материала. Так, в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт

генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» расширяют работы по проведению паспортизации коллекционных образцов семян, характеризующих подлинность сорта на основе молекулярно-генетических характеристик. Для оценки качества семян как целостного растительного организма, на наш взгляд, требуется соответствующая паспортизация на основе морфометрических, рентгенографических и морфофизиологических показателей.

Молекулярно-генетические характеристики, используемые для оценки сортовых особенностей, не могут быть реализованы при создании методик оценки качества семян, так как потенциальная продуктивность относится к категории, реализуемой на уровне целостного растительного организма. Поэтому в области семенного контроля целесообразно, наряду с традиционными стандартами, проводить разработку методик и использовать соответствующий инструментарий, для получения дополнительной информации и более детального описания структуры семян, коррелирующей с их биологическими и хозяйственными характеристиками. Для этих целей предлагается использовать новый методический подход, дающий возможность получать более полную информацию о качестве семян на основе морфометрических, рентгенографических и морфофизиологических показателей, представленных в виде соответствующих паспортов.

Так, разработка морфометрического паспорта зерновки требует учета следующих показателей: сорт, место и год репродукции, срок уборки и длительность послеуборочного дозревания, режимы и сроки хранения, режимы и типы предпосевных физико-химических обработок, масса, размер, выполненность и так далее.

Разработка рентгенографического паспорта зерновки позволяет характеризовать нарушение целостности внутренних структур по следующим показателям: сильная трещиноватость, невыполненность зерновки, энзимо-микозное истощение, скрытое прорастание, поврежденность клопом вредная черепашка или вредителями запаса, дефекты и аномалии в развитии зародыша.

Разработка морфофизиологического паспорта позволит получать более детальную информацию о величине ростового потенциала (длине корня и ростка, согласованности роста корня и ростка, темпов прорастания и др.).

В заключение следует отметить, что сбор и систематизация подробной информации, характеризующей качественные показатели семян на основе традиционных методик и новых подходов, учитывающих дополнительные показатели, такие как структурные нарушения зерновки, сопряженные с более детальным учётом динамики ростовых показателей проростков, являются крайне необходимыми. Такой подход позволит сформировать комплексную базу данных о биологической полноценности и хозяйственной пригодности партий семян, разработать соответствующие нормативные документы, необходимые в современном контрольно-семенном деле. Решение этой задачи обеспечит возможность проведения отбора партий семян, в том числе и для страховых запасов, имеющих, в частности минимальный уровень скрытой поврежденности; а также корректировать на всех этапах выращивания и производства семян степень скрытой травмированности, влияющую на их хозяйственную пригодность, и давать оценку сортам и получаемым в разных регионах страны семенам с точки зрения их пригодности для целей промышленного семеноводства. Все это позволит при соответствующем научном сопровождении сделать отечественное семеноводство конкурентоспособным на мировом рынке семян.

Выводы

Установлено, что нарушение структурной целостности зерновки приводит к снижению ее ростового потенциала. Использование метода рентгенографии дает

возможность выявить и идентифицировать основные типы скрытых повреждений и аномалий без снижения жизнеспособности исследуемых семян.

Показано, что для исследуемых образцов семян ячменя разных партий, сортов и репродукций самым распространенным является показатель скрытой трещиноватости, который достигает максимальной величины – 92 %. Максимальные значения для других выявленных типов повреждений следующие: для ЭМИС – 53 %, для скрытого прорастания – 48 %, для скрытой щуплости – 28 %. Для партий семян злаковых трав максимум выявленных недоразвитых семян достигает 36 %, что приводит к снижению показателя всхожести до 20 %.

Установлено, что максимальное снижение всхожести и ростовых показателей наблюдается у образцов семян из партий ячменя с показателем трещиноватости в диапазоне 70–91 %.

Показано, что рентгенографический анализ скрытой поврежденности производственных партий семян (в том числе и в период послеуборочного дозревания) позволяет отбирать для посева наиболее хозяйственно пригодные с минимальной долей семян, имеющих скрытые дефекты и аномалии.

Использование комплекса неинвазивных и традиционных методов оценки качества семян позволит разработать морфометрический, рентгенографический паспорта семян и морфофизиологический паспорт проростков; на этой основе создать новую нормативную базу для оценки хозяйственной пригодности семян и реализовать цифровой подход в контрольно-семенном деле.

Литература

1. Бухаров А. Ф., Балеев Д. И., Бухарова А. Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия ТСХА. 2017. Вып. 2. С. 5–19.

2. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. 192 с.

3. Гусакова Л. П. Типы дефектов семян ячменя, выявляемые рентгенографическим методом, и их агробиологическое значение // Докл. РАСХН. 2004. № 6. С.15–17.

4. Гусакова Л. П., Архипов М. В. Рентгенографическая оценка внутренних дефектов семян кормовых трав // Докл. РАСХН. 2008. № 1. С. 17–19.

5. Мусаев Ф. Б., Потрахов Н. Н., Архипов М. В. Рентгенография семян овощных культур. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 206 с.

6. 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.

7. Grodek J., Grundas S. Attempt of automatic X-ray image analysis for detection of cereal grain damage. // Proceedings of the 6th International workshop for young scientists “BioPhys”. Poland: Lublin, 2007. P. 27–30.

8. Kamra S. K. Use of X-ray radiography for studying seed quality in tropical forestry // Studia Forestalia Suecica. 1976. No. 131. P. 3–34.

9. Marcos-Filho J., Gomes-Junior F. G., Bennett M.A., Wells, A.A. and Stieve, S. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds // Revista Brasileira de Sementes. 2010. Vol. 32. P. 146–153. DOI: 10.1590/S0101-31222010000200018.

10. Gomes-Junior F. G., Yagushi J. T., Belini U. L., Cicero S. M., Tomazello-Filho M. X-ray densitometry to assess internal seed morphology and quality // Seed Sci. & Technol. 2012. Vol. 40. No. 1. P. 102–107.

11. Dell’Aquila A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. Biologia Plantarum. 2007. Vol. 51. P. 777–781.

12. Al Turki T. A., Baskin C. C. Determination of seed viability of eight wild Saudi Arabian species by germination and X-ray tests // Saudi Journal of Biological Sciences. 2017. Vol. 24. Iss. 4. P. 822–829.

13. Архипов М. В., Потрахов Н. Н., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Щукина П. А., Борисова Н. Р. Неинвазивные технологии экспресс-оценки и отбора биологически полноценных семян для выращивания растительной продукции в вегетационно-облучательном оборудовании нового типа. Методические указания. СПб.: АФИ, 2019. 56 с.

14. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П. Выявление скрытой дефектности семян зерновых культур методом микрофокусной рентгенографии // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3(15). С. 8–14. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.01.

15. Потрахов Н. Н., Белецкий С. Л., Архипов М. В. Аппаратно-программный комплекс для контроля качества зерна на основе передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-2 // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4 (16). С. 152–159. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.

16. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Издательство стандартов, 1985. 58 с.

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

References

1. Bukharov A. F., Baleev D. I. Bukharova A. R. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA). 2017. Iss. 2. P. 5–19.

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

3. Gusakova L. P. Types of defects of barley seeds detected by x-ray method and their agrobiological value // Reports of RAAS. 2004. No. 6. P. 15–17.

4. Gusakova L. P., Arkhipov M. V. Radiographic assessment of internal defects of seeds of fodder grasses // Reports of RAAS. 2008. No. 1. P. 17–19.

5. Musaev F. B., Potrakhov N. N., Arkhipov M. V. X-ray screening of seeds of vegetable cultures. Saint-Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 2016. 206 p.

6. 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.

7. Grodek J., Grundas S. Attempt of automatic X-ray image analysis for detection of cereal grain damage // Proceedings of the 6th International workshop for young scientists “BioPhys”. Poland: Lublin, 2007. P. 27–30.

8. Kamra S. K. Use of X-ray radiography for studying seed quality in tropical forestry // Studia Forestalia Suecica. 1976. No. 131. P. 3–34.

9. Marcos-Filho J., Gomes-Junior F. G., Bennett M. A., Wells A. A., Stieve, S. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds // Revista Brasileira de Sementes. 2010. Vol. 32. No. 2. P. 46–153. DOI: 10.1590/S0101-31222010000200018.

10. Gomes-Junior F. G., Yagushi J. T., Belini U. L., Cicero S. M., Tomazello-Filho M. X-ray densitometry to assess internal seed morphology and quality // Seed Sci. & Technol. 2012. Vol. 40. No. 1. P. 102–107.

11. Dell’Aquila A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis // Biologia Plantarum. 2007. Vol. 51. P. 777–781.

12. Al Turki T. A., Baskin C. C. Determination of seed viability of eight wild Saudi Arabian species by germination and X-ray tests // Saudi Journal of Biological Sciences. 2017. Vol. 24. Iss. 4. P. 822–829.

13. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Shchukina P. A., Borisova N. R. Non-invasive technology rapid assessment and selection of biologically high-quality seeds for growing in the vegetation-irradiation equipment of the new type. Methodical instructions. Saint-Petersburg: AFI, 2019. 56 p.

14. 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 // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 3(15). P. 8–14. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.01.

15. Potrakhov N. N., Beletsky S. L., Arkhipov M. V. Hardware and software complex for grain quality control based on the mobile X-ray diagnostic unit PRDU-2 // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 4(16). P. 152–159. DOI:10.25637/TVAN2018.04.

16. GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Publishing house of standards, 1985. 58 p.

17. Dospekhov B. A. method of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

UDC 631.53.01: 633.1: 621.386.8

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

Summary. *The aim of this work was to investigate the relationship between the structural wholeness of a caryopsis of cereal crops assessed by X-ray imaging to reveal hidden defects and the intensity of the initial growth of seedlings for a more accurate assessment of the degree of biological completeness and economic suitability of seeds. Experimental data obtained on the example of seeds of seven varieties of barley and*

perennial grasses (Fescue and Arrhenatherum elatius) grown on various farms of the Leningrad region in 2016-2017 are presented. The experimental design was as follows: in the obtained seed samples, internal grain damage such as thin (empty) seeds, enzyme mycosis depletion, various levels of endosperm fissuring and hidden germination were detected by X-ray imaging. Then, seeds were sprouted according to GOST 12038-84 under laboratory conditions; the germination of seeds and linear parameters of shoots and roots were determined. Germination data were compared with X-ray analysis. The highest values of hidden damage were observed for the endosperm fissuring indicator. Thus, for seeds of 'Krynichniy' cultivar, it varied from 17 to 91 %, for 'Leningradskiy' – from 24 to 87 %, for 'Gonar' – from 43 to 70 %. The maximum values of other internal defects were lower, namely 39 % for enzyme mycosis depletion, 28 % for thin (empty) seeds and 17 % for hidden germination. The samples with the highest total number of revealed internal defects had the lowest level of germination (52 %) and seedling length (78 mm). A similar situation was observed for the seeds of the studied perennial grasses. Further presentation of the complex of these indicators in the form of development of certificates for seeds (morphometric and radiographic) and seedlings (morphological and physiological) will allow using it for more reliable control of the complex non-invasive (in particular, radiographic) and traditional indicators of seed quality in industrial seed production.

***Keywords**: seeds of cereal crops, x-ray radiography analysis, structural wholeness of caryopsis, intensity of germination.*

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.

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

Щукина Полина Алексеевна, инженер, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14; ФГБНУ «Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения», 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7; e-mail:art122@bk.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.

Shchukina Polina Alekseevna, engineer, FSBSI "Agrophysical Research Institute"; 14, Grazhdanskiy ave., Saint-Petersburg, 195220, Russia; e-mail: art122@bk.ru.

Дата поступления в редакцию – 13.01.2020.
Дата принятия к печати – 12.06.2020.