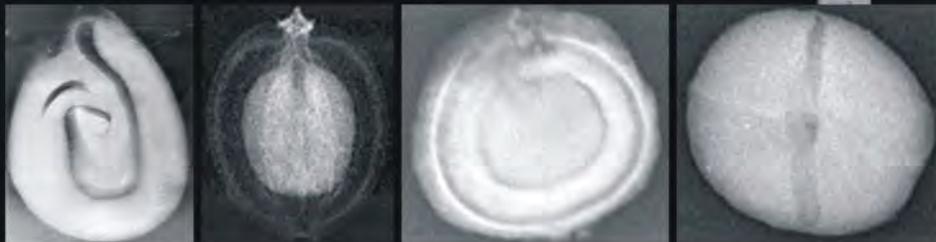


КРАТКИЙ АТЛАС РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ОВОЩЕВОДСТВА»**

Ф.Б. Мусаев, Н.Н. Потрахов, С.Л. Белецкий

**КРАТКИЙ АТЛАС
РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ
ПРИЗНАКОВ СЕМЯН
ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР**



**ФГБНУ ФНЦО
МОСКВА
2018**

УДК 631.53:635.1/.7:621.386 (084.4)

ББК 41.38:42.34(04)

К 78

ISBN 978-5-901695-72-2

Мусаев Ф.Б., Потрахов Н.Н., Белецкий С.Л. Краткий атлас рентгенографических признаков семян овощных культур. М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2018. – 40 с.

Авторы:

Мусаев Ф.Б., кандидат с.-х. наук, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Потрахов Н.Н., доктор технических наук, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Белецкий С.Л., кандидат технических наук, ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва

Фото: Лебедев А.П., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Рецензент:

Бухаров А.Ф., доктор с.-х. наук, зав. лабораторией семеноведения, ВНИИО – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Ответственный редактор:

Тареева М.М., кандидат с.-х. наук, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

В атласе показаны характерные дефекты и недостатки внутренней структуры семян основных видов овощных культур, выявляемые методом микрофокусной рентгенографии. Приведены примеры рентгеновских изображений семян, которые связаны с их качественными показателями. Показаны физико-технический принцип и аппаратно-программное обеспечение рентгенографии семян овощных культур. Раскрыта перспектива развития рентгенографических исследований, основанная на автоматическом компьютерном анализе качества семян.

Атлас предназначен для агрономов-семеноводов, сотрудников контрольно-семенных лабораторий, научных работников, преподавателей вузов и студентов по специальности «Семеноводство и семеноведение».

ISBN 978-5-901695-72-2



© ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», 2017

© Коллектив авторов, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (от рецензента).....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР	6
1.1. РЕНТГЕНОВСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛНОЦЕННЫХ (НОРМАЛЬНЫХ) СЕМЯН.....	7
1.2. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК НЕВЫПОЛНЕННОСТЬ, НЕВЫЗРЕВАЕМОСТЬ СЕМЯН	9
1.2.1. Признак «отслоение оболочки» семян	9
1.2.2. Признак «недовыполненность» семян.....	10
1.2.3. Признак «невыполненность» семян.....	11
1.3. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «СКРЫТАЯ ТРАВМИРОВАННОСТЬ» СЕМЯН.....	13
1.4. СКРЫТАЯ ЗАСЕЛЕННОСТЬ И ПОВРЕЖДЕННОСТЬ СЕМЯН ВРЕДИТЕЛЯМИ.....	15
1.5. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «ВНУТРЕННЕЕ (СКРЫТОЕ) ПРОРАСТАНИЕ» СЕМЯН	18
1.6. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ СЕМЯН, ВЫРАЖЕННЫЕ НА РЕНТГЕНОВСКОЙ ПРОЕКЦИИ СЕМЯН.....	21
1.6.1. Генетически обусловленные структурные изменения семян на рентгеновской проекции	21
1.6.2. Возрастные изменения, выраженные на рентгеновской проекции семян...22	
2. АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕНТГЕНОГРАФИИ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР	25
3. ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР.....	30
ЛИТЕРАТУРА	37

ПРЕДИСЛОВИЕ

Краткий атлас рентгенографических признаков семян овощных культур – это первый отечественный атлас, посвященный исследованию семян овощных культур с помощью рентгенографического метода. Работа охватывает практически все основные виды овощных культур. Издание хорошо иллюстрировано авторскими фото- и рентгеновскими снимками. Выявленные негативные рентгенпризнаки идентифицированы и классифицированы. По каждой группе признаков приведено достаточно примеров различных семян овощных культур.

Требования к качеству семян повышаются по мере развития аграрных технологий. Точное земледелие должно строиться на применении высококачественных однородных семян с высокой полевой всхожестью. Реализация прецизионных семян уже осуществляется не на вес, а на счет, и по сути семя становится штучным товаром. Каждое без исключения семя при этом должно быть здоровым и жизнеспособным, а выросшее из него растение должно давать товарный урожай высокого качества.

Использование рентгеноскопии, как показали авторы, может стать высокоэффективным методом, с помощью которого можно контролировать качество семян и в перспективе отсортировывать семена, лишенные каких-либо внутренних дефектов. Использование рентгенографии позволяет сделать это оперативно и без разрушения семени.

Классификация и систематизация дефектов и недостатков внутренней структуры семян, собранный иллюстративный материал, банк данных в дальнейшем могут быть положены в основу автоматизированной системы анализа качества и сортировки семян.

Атлас может служить хорошим пособием для научных работников, преподавателей, студентов и специалистов – практиков в области селекции, семеноводства и семеноведения.

*Доктор сельскохозяйственных наук,
заведующий лабораторией семеноведения
Всероссийского научно-исследовательского
института овощеводства
А.Ф. Бухаров*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие отечественного растениеводства задерживается не столько нехваткой семян для посева, а сколько их низким качеством. Современные интенсивные технологии рассчитаны на применение высококачественных однородных семян, чтобы получить равномерные всходы растений. В семенном контроле необходимо применение новых инструментальных автоматизированных методов оценки качества семян, позволяющих получить больше информации и в более короткие сроки.

Необходимо изучение внутренней структуры семян овощных культур в связи с их хозяйственно-биологической пригодностью. Выявление структурных недостатков и аномалий семян, их влияния на потенциальную продуктивность позволило бы понять причины скрытой неоднородности семенного материала и корректировать технологии его выращивания. В этом плане перспективным является неразрушающий метод микрофокусной рентгенографии, позволяющий выявлять и исследовать характер связей между особенностями скрытых структурных дефектов семени с его посевными качествами.

Настоящий атлас, по сути, является первым иллюстрированным изданием по рентгенографии семян овощных культур. Авторы свое издание считают пробным и называют его «Краткий атлас рентгенографии семян овощных культур». Он составлен по итогам десятилетних системных исследований. Продолжается работа по сбору материала для выпуска «большого» атласа по данной теме.

Атлас может служить полезным пособием для сотрудников контрольно-семенных лабораторий, практикующих семеноводов, студентов, обучающихся по курсу «семеноведение и семеноводство». Аппаратно-программное обеспечение рентгенографии семян полностью отечественное, что облегчает организацию и наладку рентгендиагностической лаборатории в предприятиях.

Большую помощь в сборе материала и составлении данного атласа оказали: ведущий лабораторией доктор биологических наук, профессор Архипов М.В., ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук Великанов Л.П. (лаборатория биофизики семян Агрофизического НИИ); кандидат технических наук, доцент Бессонов В.Б., инженер Косов В.О. (кафедра электронных приборов и устройств СПб государственного электротехнического университета); ведущий фотолабораторией Лебедев А.П., кандидат с.-х. наук Антошкина М.С. (ФНЦ Овощеводства).

Всем вышеперечисленным коллегам-сотрудникам авторы выражают признательность и большую благодарность.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Особенности внутренней структуры семян могут указывать как на их полноценность, так и на недостаточность или дефектность. Следовательно, рентгенографические признаки авторами условно поделены на положительные и негативные: положительные – характеризуют внутреннюю структуру нормальных полноценных семян, негативные – указывают на наличие дефектов, повреждений, аномалий структуры семян.

Признаки выделены и классифицированы по их хозяйственно-биологической значимости, по степени их влияния на качество семян.

Выявление, идентификация и классификация рентгенографических признаков семян было проведено на основании анализа большого количества рентгенограмм семян 26 видов овощных культур, принадлежащих к 11 ботаническим семействам (табл. 1).

Таблица 1. Виды овощных культур для рентгенографических исследований

№	Семейство	Вид	Культура
1	Астровые – <i>Asteraceae</i>	<i>Lactuca sativa L.</i>	Салат
2	Сельдерейные – <i>Apiaceae</i>	<i>Daucus carota L.</i>	Морковь столовая
3		<i>Anethum graveolens L.</i>	Укроп
4		<i>Apium graveolens L.</i>	Сельдерей
5		<i>Pastinaca sativa L.</i>	Пастернак
6	Капустные – <i>Brassicaceae</i>	<i>Brassica oleracea L., var. capitata</i>	Капуста белокочанная
7		<i>Brassica oleracea L., var. botrytis</i>	Капуста цветная
8		<i>Raphanus sativus L., var. radicula</i>	Редис
9		<i>Lepidium sativum L.</i>	Кресс-салат
10	Бобовые – <i>Fabaceae</i>	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	Фасоль
11		<i>Pisum sativum L.</i>	Горох
12	Пасленовые – <i>Solanaceae</i>	<i>Solanum lycopersicum L.</i>	Томат
13		<i>Capsicum annum L.</i>	Перец
14	Маревые – <i>Chenopodiaceae</i>	<i>Solanum melongena L.</i>	Баклажан
15		<i>Beta vulgaris L.</i>	Свекла столовая
16		<i>Spinacia oleracea L.</i>	Шпинат
17	Тыквенные – <i>Cucurbitaceae</i>	<i>Cucumis sativus L.</i>	Огурец
18		<i>Cucurbita pepo L., var. giromontina</i>	Кабачок
19		<i>Cucurbita pepo L., var. patisson</i>	Патиссон
20		<i>Cucurbita pepo L.</i>	Тыква
21	Яснотковые – <i>Lamiaceae</i>	<i>Ocimum basilicum L.</i>	Базилик
22		<i>Melissa officinalis L.</i>	Мелисса
23		<i>Origanum majorana L.</i>	Майоран
24	Мальвовые – <i>Malvaceae</i>	(<i>Hibiscus esculentus L.</i>)	Бамя
25	Луковые – <i>Alliaceae</i>	<i>Allium cepa L.</i>	Лук репчатый
26	Спаржевые – <i>Asparagaceae</i>	<i>Asparagus officinalis L.</i>	Спаржа

Ниже приводим шаблонные рентгеновские образцы семян овощных культур по основным группам дефектов и недостатков их внутренней структуры.

1.1. РЕНТГЕНОВСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛНОЦЕННЫХ (НОРМАЛЬНЫХ) СЕМЯН

Нормальное (полноценное) семя на рентгеновском снимке выглядит как черно-белое тональное изображение внутренней структуры семени, характерной для данного вида и его пространственной ориентации при съемке. Структурные различия по плотности и толщине создают разную степень потемнения отдельных органов. Промежутки между деталями внутренней структуры семени выделяются темными линиями, когда направление их полостей совпадает с направлением рентгеновских лучей. Оптическая плотность рентгеновской проекции семени на снимке выделяется как область значительно пониженной по сравнению с фоном. Напротив, детали структуры выделяются затемнениями, участками повышенной оптической плотности различной формы. На рентгеновском изображении нормального семени присутствуют затемнения регулярного, «ожидаемого» характера, например, корешок зародыша будет выглядеть на снимке по всей длине равномерно светлым одной из градаций серого (рис. 1.1.1). Однако к боковым краям и кончику корешка по мере уменьшения его толщины будет распространяться плавное потемнение.

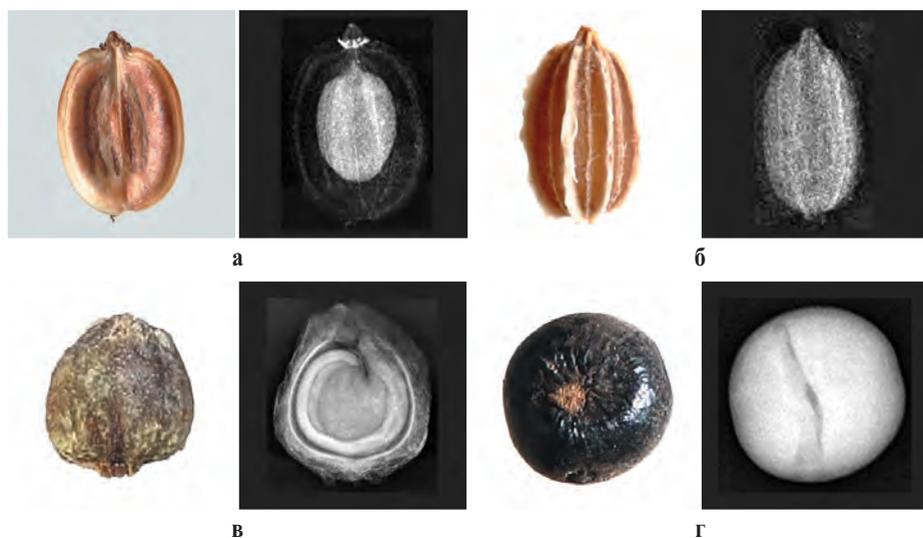


Рис. 1.1.1. Фотографии и рентгенограммы нормальных семян овощных культур: а) пастернак, б) морковь, в) шпинат, г) спаржа

Такие потемнения, как и темные линии границ деталей зародыша, будем называть регулярными, непременно присутствующими на проекциях нормального семени. Нерегулярные затемнения, например, наблюдаемые в каком-либо месте того же корешка, будут говорить о локальной потере плотности этого органа, т. е. его поврежденности, не позволяющей относить данное семя к полноценному, нормальному. На основе просмотра некоторого количества снимков семян данного об-

разца и их сопоставления с результатами их последующего проращивания является характерный образ проекции нормального семени, принадлежащий к тому или иному виду. Он «запоминается» в компьютере и используется при визуальном или автоматическом анализе диагностируемого образца (рис 1.1.2).

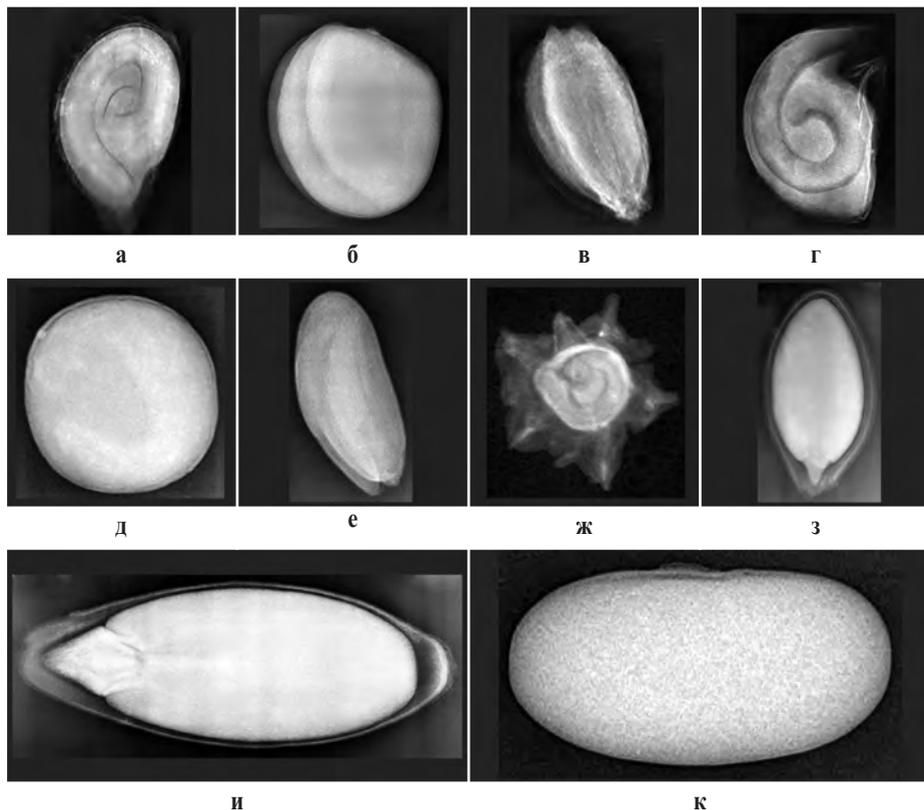


Рис. 1.1.2. Рентгеновские изображения нормальных семян различных овощных культур:
а) томат; б) редис; в) сельдерей; г) лук; д) капуста, е) кресс-салат; е) свекла, з) кабачок; и) огурец; к) фасоль

1.2. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «НЕВЫПОЛНЕННОСТЬ, НЕВЫЗРЕВАЕМОСТЬ СЕМЯН»

1.2.1. Признак «отслоение оболочки» семян

Отслоение оболочки на рентгенограммах определяется как наличие темной полоски вокруг семядолей зародыша или эндосперма (рис. 1.2.1.1). Данный дефект может быть обусловлен как недоразвитием семядолей зародыша, так и его усыханием. Иногда приходится фиксировать признак «отставшая оболочка», когда оболочка отделена от семени по всему периметру проекции или его части. Это явление может возникнуть при увлажнении и последующем высыхании семени и к выполнению не имеет отношения.

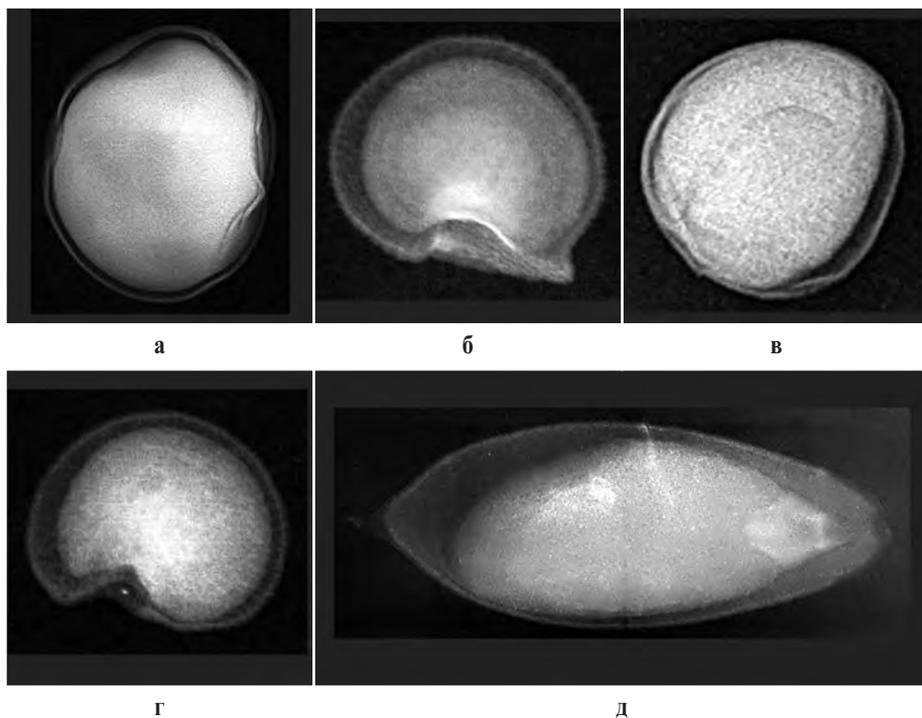


Рис. 1.2.1.1. Примеры рентгеновского признака отслоение оболочки семян: а) горох, б) перец, в) капуста, г) баклажан, д) огурец.

1.2.2. Признак «недовыполненность» семян

Недовыполненные семена в основном жизнеспособные, но не обладают большой энергией прорастания. Партия таких семян при посеве не сможет формировать равномерные всходы, следовательно, использование таких семян в интенсивном овощеводстве недопустимо. Данный признак на рентгенограммах достаточно хорошо просматривается: чем большая часть проекции занята темным полем, тем выше степень «недовыполненности» семян (рис. 1.2.2.1).

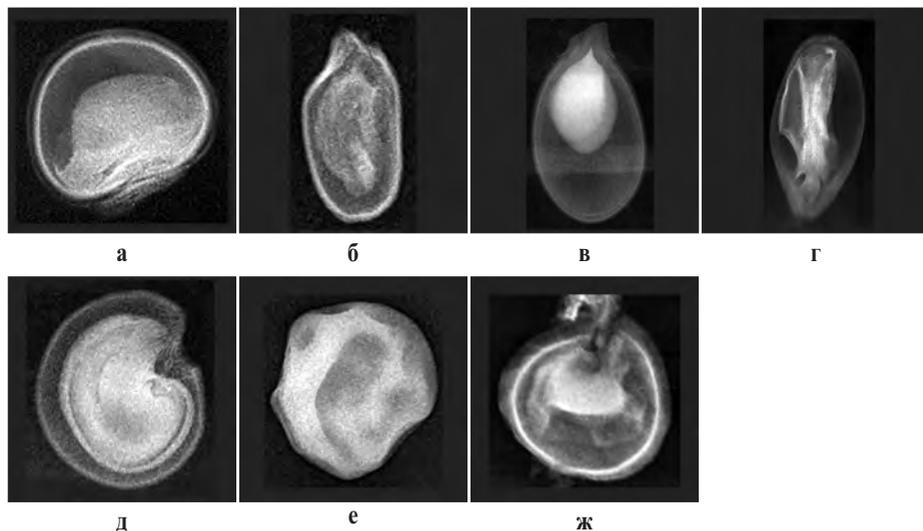
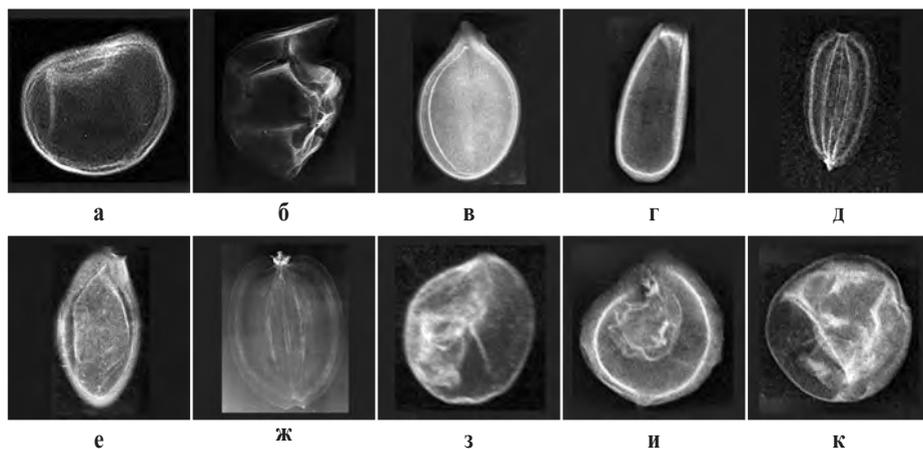


Рис. 1.2.2.1. Примеры рентгеновского признака «недовыполненность» семян: а) баклажана, б) базилика, в) кабачка, г) огурца, д) баклажана, е) гороха, ж) шпината.

1.2.3. Признак «невыполненность» семян

На рентгеновском снимке семян признак «невыполненность» может выглядеть как общее потемнение проекции в сравнении с таковой у большинства семян образца, показавшего в целом жизнеспособность, и указывает на недостаточную (меньше среднестатистической нормы) плотность или толщину тканей в наблюдаемом месте. Незаполненность пространства внутри семени, ограниченной оболочкой – следствие недосформированности зародыша и питательной ткани. «Невыполненность» и её степень для всхожести и продуктивности семян различных культур имеет определяющее значение, так как семя без достаточного запаса питательной ткани не сможет сформировать полноценные всходы.

Для различных овощных культур признак «невыполненность» хорошо выявляется на рентгенограммах в виде сплошного или в разной степени частичного потемнения проекции. Сплошное потемнение говорит о том, что семя пустое, точнее, оно имеет незаполненную оболочку (рис. 1.2.3.1, тыква, мелисса). В случае частичного потемнения видны остатки или начало недоразвившегося зародыша (рис. 1.2.3.1, шпинат, спаржа).



*Рис. 1.2.3.1. Примеры рентгеновского признака «невыполненность семян»:
а) бамя, б) лук, в) тыква, г) мелисса, д) укроп, е) кабачок,
ж) пастернак, з) капуста, и) шпинат, к) спаржа.*



Рис. 1.2.3.2. Невыполненность семян тыквы (сверху) и базилика (снизу) внешне не заметные (фото), отчетливо проявляемые на рентгенограммах.

1.3. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «СКРЫТАЯ ТРАВМИРОВАННОСТЬ» СЕМЯН

В процессе уборки, обмолота, транспортировки и хранения семена часто подвергаются травмам. Это биологически вредное явление в дальнейшем отрицательно сказывается на их жизнеспособности. На рентгеновской проекции семян травмы обнаруживаются в виде темных линий на месте обрывов структур со смещением или без такового (рис. 1.3.1, 1.3.2).

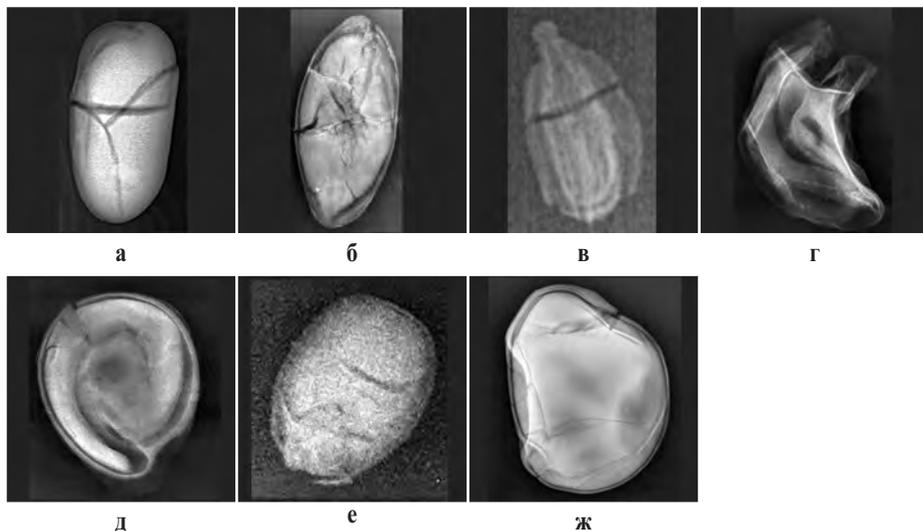


Рис. 1.3.1. Проявление рентгеновского признака «травмированность семян»: а) фасоль, б) огурец, в) морковь, г) лук, д) томат, е) майоран, ж) горох.



Рис. 1.3.2. Глубокие трещины семядолей кабачка внешне не заметные (фото), отчетливо проявляемые на рентгенограммах.

Четкие линии обрыва со смещением – свидетельство механического характера травмы, полученной при уборке и обмолоте семян (рис. 1.3.3, верхний ряд); нечеткие, размытые линии без смещения характеризуют трещины, полученные им при формировании как следствие влияния неблагоприятных условий среды (рис. 1.3.3, нижний ряд).



Рис. 1.3.3. Механическое повреждение семени фасоли (верхний ряд) и внутреннее растяжение (расщелина) семени гороха (нижний ряд): фото- и рентгенография.

Могут наблюдаться также трещины семядолей в результате старения и чрезмерного усыхания семян. Такие примеры приведены в разделе 1.6. Во всех случаях травмированность семян плохо сказывается в их жизнеспособности (рис. 1.3.4).

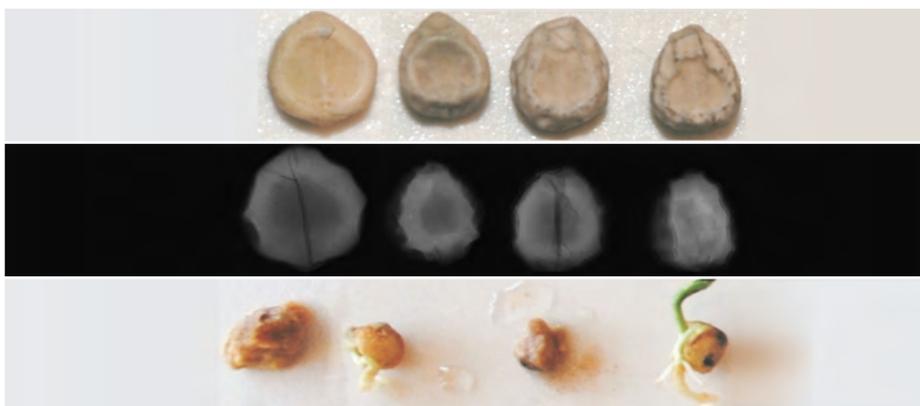
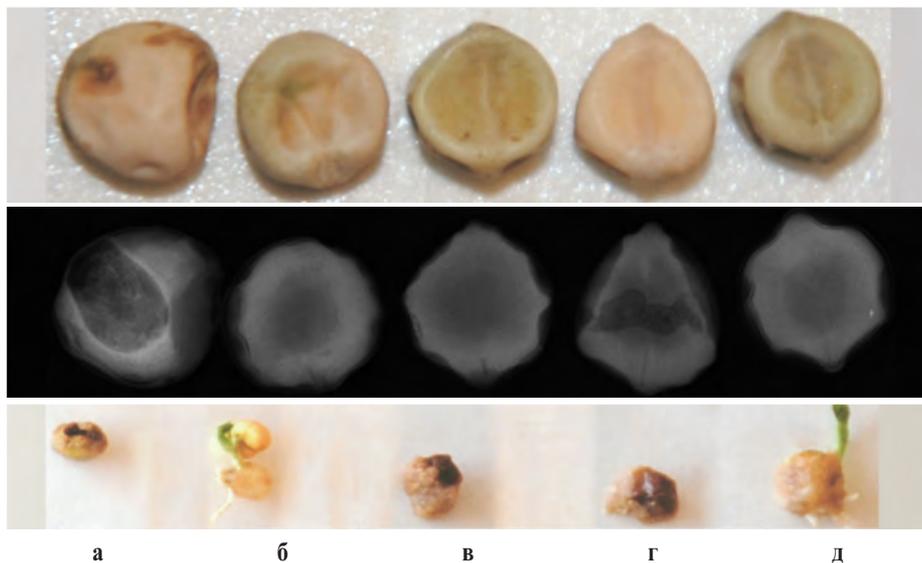


Рис. 1.3.4. Механические травмы семян гороха и её последствия для жизнеспособности: а, в – травмированные; б, г – нормальные семена (фото- и рентгенография).

1.4. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «СКРЫТАЯ ЗАСЕЛЕННОСТЬ И ПОВРЕЖДЕННОСТЬ СЕМЯН ВРЕДИТЕЛЯМИ»

Семена являются отличным кормом для многочисленных насекомых-вредителей. Высокая питательная ценность семян их привлекает как во время формирования на материнском растении, так и в период их хранения.

Рентгенографический анализ позволяет обнаруживать насекомое и его личинку внутри семени. Оно проявляется наличием нерегулярных затемнений характерной формы – в разной степени извитой темной полоски, вначале узкой, а затем расширяющейся до ширины проекции взрослой личинки насекомого (рис. 1.4.1, 1.4.2, 1.4.5). Это путь насекомого внутри семени: от микроличинки, вылупившейся из яйца, до куколки и взрослой особи вблизи поверхности семени, готовой к выходу.



*Рис. 1.4.1. Заселенность семян гороха овощного зерновкой (*Bruchus pisorum* L.) и ее последствие для жизнеспособности (фотография и рентгенограмма):*

б, д – неповрежденные семена; а, г – поврежденные семена, в – неповрежденное, но не всхожее семя.



Рис. 1.4.2. Анатомирование заселенного зерновкой (*Bruchus affinis* F.) семени фасоли: 1 – фотография; 2 – рентгенограмма; 3 – препарирование путем срезания дорзовентральных слоев; 4 – вскрытие камеры и извлечение насекомого.

Насекомые-вредители могут заселить уже сформировавшиеся, вызревшие семена в поисках «пищи» (рис. 1.4.3 - а) либо могут повредить цветоносные побеги и завязи. В таких случаях формируются неполноценный зародыш и эндосперм, но целостная оболочка (рис. 1.4.3. - б, 1.4.6), следовательно, внешний вид семени сохраняется.



Рис. 1.4.3. Внутренняя поврежденность семян: а) грызущими вредителями (тмин), б) сосущими вредителями (укроп).

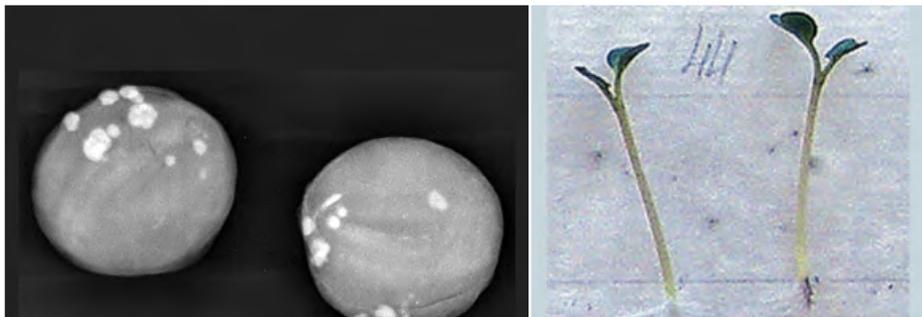


Рис. 1.4.4. Рентгенограмма зараженных семян и фотография проростков капусты белокочанной.

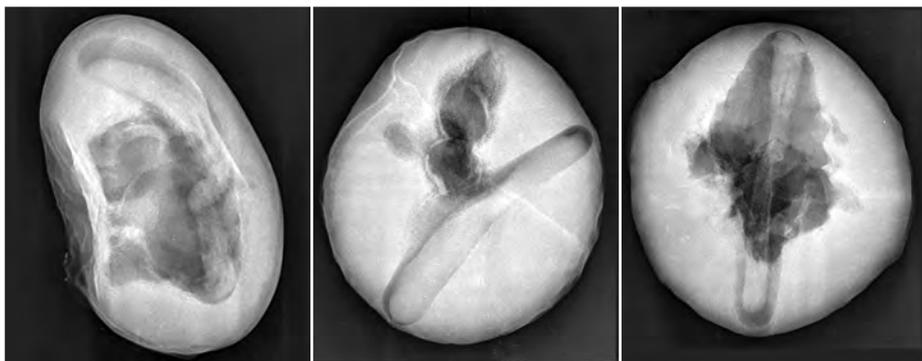


Рис. 1.4.5. Повреждение семян спаржи личинками пятиточечной спаржевой трещалки (*Crioceris asparagi* L.).

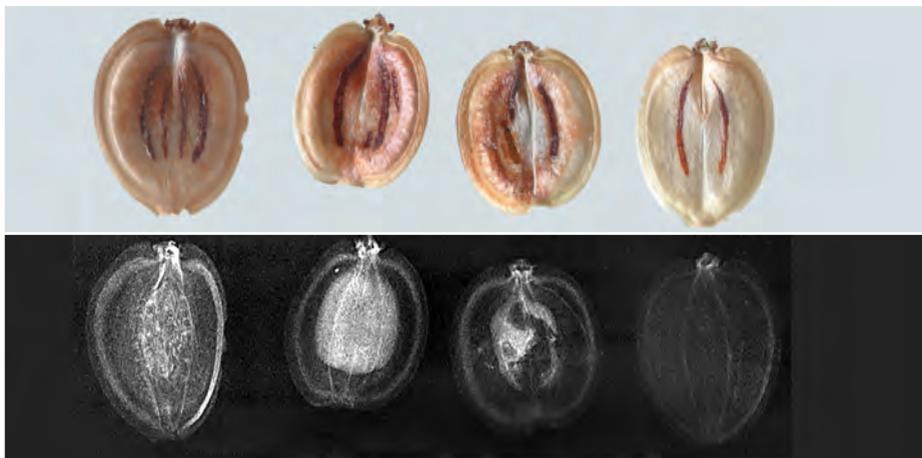


Рис. 1.4.6. Фотография и рентгенограмма семян пастернака, поврежденных клопом полосатым щитником (*Graphosoma lineatum* L.) во время цветения и завязывания.

1.5. РЕНТГЕНОВСКИЙ ПРИЗНАК «ВНУТРЕННЕЕ (СКРЫТОЕ) ПРОРАСТАНИЕ» СЕМЯН

Рентгенографический метод эффективно выявляет внутреннее прорастание семян, в то время как внешне семена выглядят нормальными (рис. 1.5.1) с сохранением формы и цвета, только нежная оболочка некоторых видов семян (капуста, редис) может треснуть при увлажнении. На снимках семена с внутренним прорастанием легко узнать по вытянутой проекции почечки, превращающейся в росток, или по светлому овальному пятну в верхней части зародыша. В целом, детали зародыша и эндосперма при кратковременном увлажнении приобретают более четкие очертания (рис. 1.5.1 – средняя колонка) по сравнению с их плотной укладкой у сухих нормальных семян (рис. 1.5.1 – правая колонка). Внутреннее прорастание семян на рентгенограммах в основном характеризуется четкими очертаниями корешка зародыша и некоторым его ростом (томат, капуста) (рис. 1.5.1 – а, б). В ряде случаев просматриваются и распутившиеся («тронувшиеся») семечки (перец, баклажан) (рис. 1.5.1 – в, г). На семенах тыквенных культур (кабачок, огурец) внутреннее прорастание семени проявляется в виде отделенности семядолей, роста корешка зародыша, также микротрещин семядолей, образовавшихся вследствие кратковременного увлажнения и последующей сушки (рис. 1.5.1 – д, е).

Признак «внутреннее прорастание» на рентгенограммах семян бобовых овощных культур проявляется своеобразно. Это широкая щель между семядолями и набухший корешок (рис. 1.5.2 – рентгенограмма). По внешнему виду опытный глаз может отличить семя, подвергавшееся увлажнению (рис. 1.5.2 – фото) и потому, возможно, начавшее прорасти, но рентгенограмма должна выявлять внутреннее прорастание более определенно и количественно.

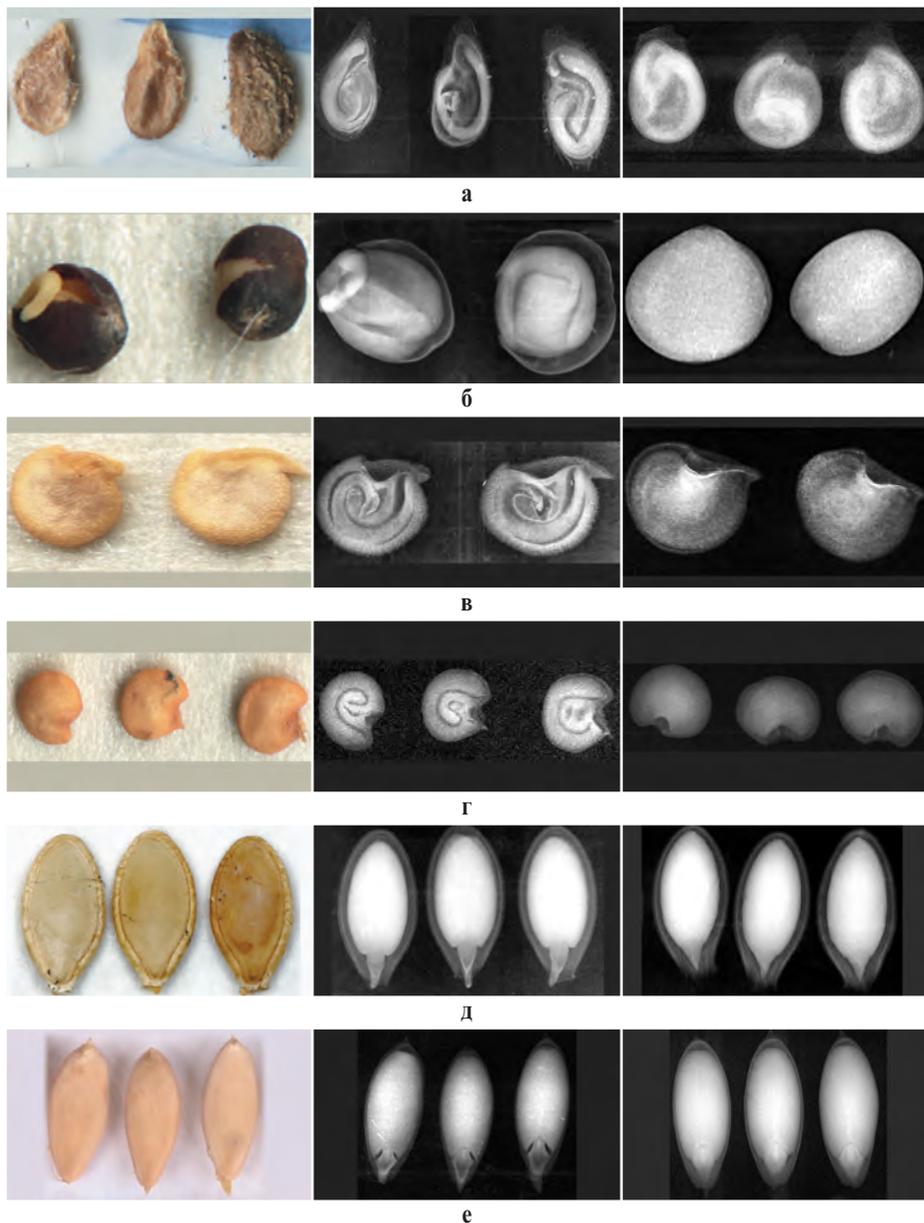


Рис. 1.5.1. Примеры проявления признака «внутреннее прорастание семян»: фотографии (левая колонка) и рентгенограммы семян, имеющих признаки «внутреннего (скрытого) прорастания» (средняя колонка) и без признаков прорастания (правая колонка): а) томат, б) капуста, в) перец, г) баклажан, д) кабачок, е) огурец.

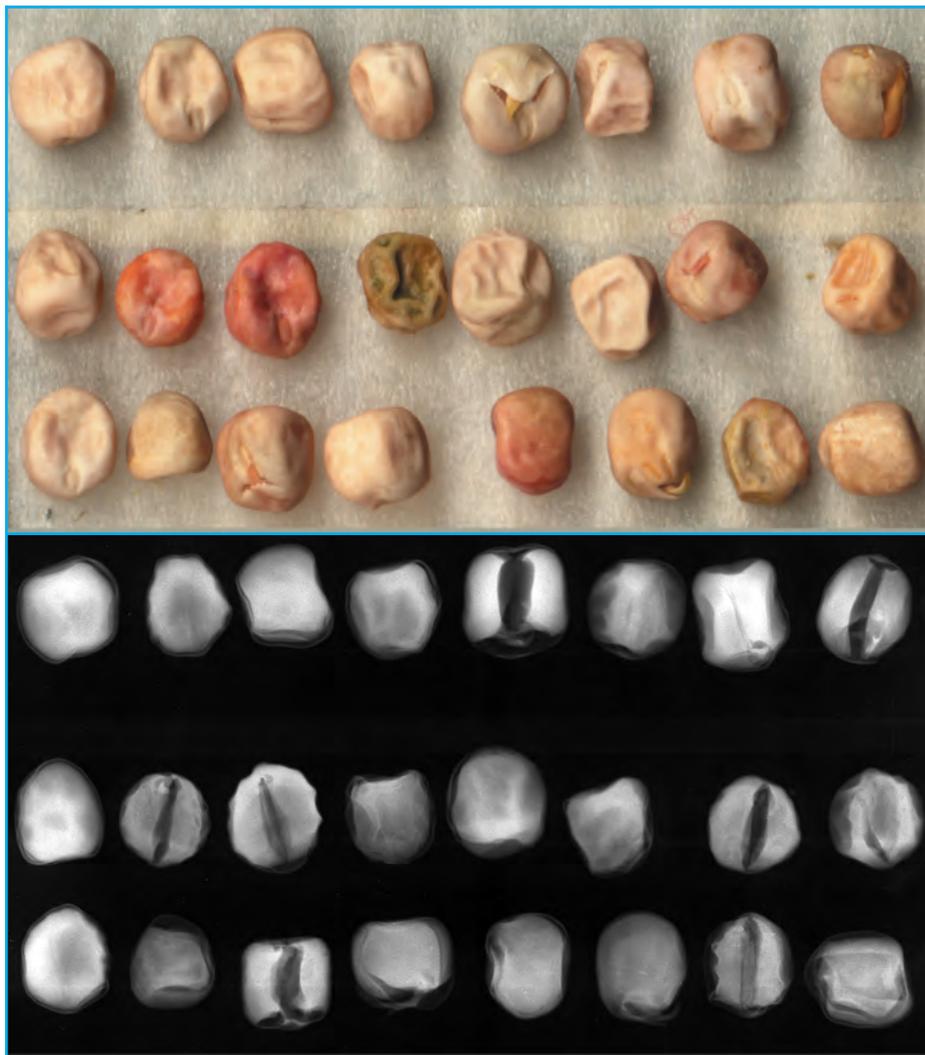


Рис. 1.5.2. Фотография и рентгенограмма семян гороха овощного с признаками увлажнения и внутреннего прорастания.

1.6. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ СЕМЯН, ВЫРАЖЕННЫЕ НА РЕНТГЕНОВСКОЙ ПРОЕКЦИИ

С помощью метода рентгенографии семян благодаря его высокой информативности можно провести разносторонний анализ.

Так, был проведен анализ семян селекционных образцов свеклы столовой. Выяснилось, что монокарпические плоды в поколении I_0 образовали полноценные, выполненные семена (рис. 1.6.1, а). При дальнейшем размножении путем самоопыления в инбредном поколении I_2 стало появляться больше семян с дегенеративными зародышами (рис. 1.6.1, б, в). С помощью метода можно даже определить число семяпочек и их состояние. Так, на рис. 1.6.1, г изображен полноценный, монокарпический двусемяпочковый плод свеклы столовой, в последующих инбредных поколениях одна почка деформируется (рис. 1.6.1, д) и теряет жизнеспособность (Соколова, 2011).

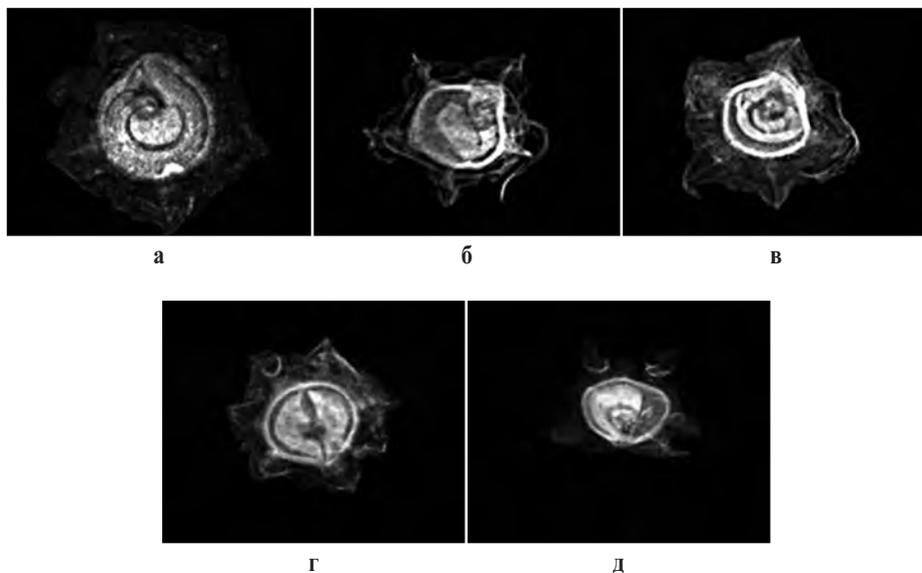


Рис. 1.6.1. Генетические изменения в растениях свеклы столовой, выраженные во внутренней структуре семян: односемяпочковые (а – нормальное; б, в – дегенерированные); двусемяпочковые (г – нормальные; д – одна почка дегенерирована).

В другом эксперименте на семенах редиса отмечено следующее: семена сорта Ария (I_0) на рентгеновском изображении (рис. 1.6.2) имеют невысокую и достаточно равномерную оптическую плотность проекции и при прорастивании дали

полноценные корнеплоды. Напротив, внутренняя структура семян инбредного поколения I_3 выглядит более «рисуночной», с явно выраженными затемнениями, обнаруживающими пустоты и потерю плотности тела зародыша (рис. 1.6.3). При проращивании такие семена оказались частично нежизнеспособными, а взшедшие не смогли сформировать полноценные корнеплоды (Musayev et al., 2013).



Рис. 1.6.2. Рентгенограмма популяционных семян редиса и фотография полученных корнеплодов.



Рис.1.6.3. Рентгенограмма инбредных семян редиса и фотография несформированных корнеплодов (недогоны).

Возрастные изменения также могут отразиться во внутреннем строении семян, и рентгеновские лучи способны их выявить. Так, например, семена артишока сорта Султан 2013 года урожая на рентгенограмме выглядят в основном равномерно светлой проекцией, семядоли занимают почти все пространство внутри семенной оболочки, на некоторых семенах просматриваются элементы зародыша (рис. 1.6.4, а). На другой рентгенограмме представлены семена сорта Красавец 2006 года урожая. Они отличаются наличием теневого тонального рисунка, выявляющего элементы зародыша и пространства (щели) между ними естественного (усыхание) происхождения (рис. 1.6.4, б). Отдельные семена потеряли формы семядолей, видимо, с возрастом зародыш семян потерял критический уровень влаги, сморщился (рис. 1.6.5, а), дал трещины (рис. 1.6.5, б) и даже местами начал рассыпаться (рис. 1.6.5, в).

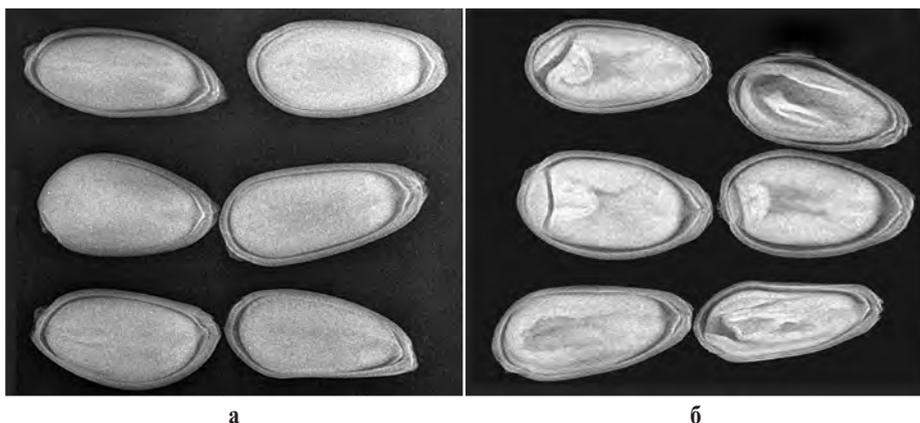


Рис. 1.6.4. Увеличенные фрагменты рентгенограмм разновозрастных семян артишока:

а – сорт Султан (2013 года репродукции); б – сорт Красавец (2006 года репродукции).



Рис.1.6.5. Макрорентгено снимки старых семян артишока: а – морщинистость; б – растрескивание; в – распад.

Возрастные изменения на семенах томата проявляются следующим образом. Как правило, на рентгеновских проекциях семян томата часто выделяется мощный зародыш, расположенный по периметру плоской стороны. На свежих семенах очертание корешка зародыша выражено слабо и только на части семян (рис. 1.6.6, а). Напротив, старые семена демонстрируют «рисунчатую» форму с четким выражением овала зародыша (рис. 1.6.6, б).

Изменение рентгеновской проекции внутренней структуры старых семян томата можно объяснить истощением их питательной ткани – эндосперма. Проекция свежих семян слитно-светлые, внутреннее пространство семени почти целиком заполнено «завитком» зародыша и эндоспермом (рис. 4.25, а), а на проекции старых семян преимущественно выделяется зародыш, особенно корешок (рис. 4.25, б). Усыхание элементов зародыша приводит к их отделению друг от друга и тем самым к ясному выявлению границ между ними, прозрачных для рентгеновых лучей и потому на снимках представленных в виде темных линий.

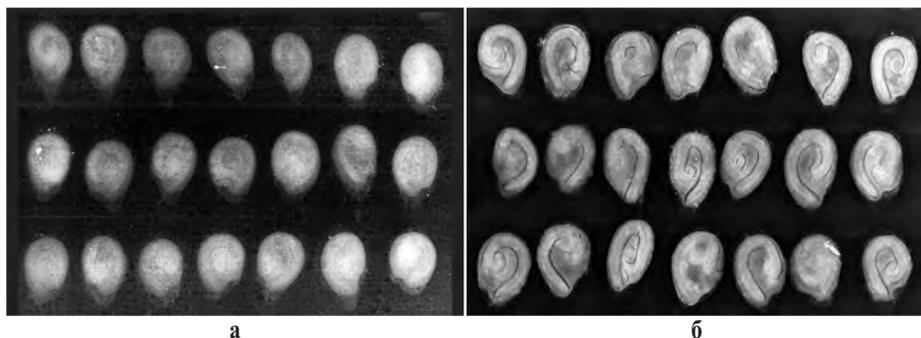


Рис. 1.6.6. Фрагменты рентгенограмм семян томата: а – сорт Дубок (РФ) 2014 года репродукции; б – F₁ Sadig (Нидерланды) 2005 года репродукции.

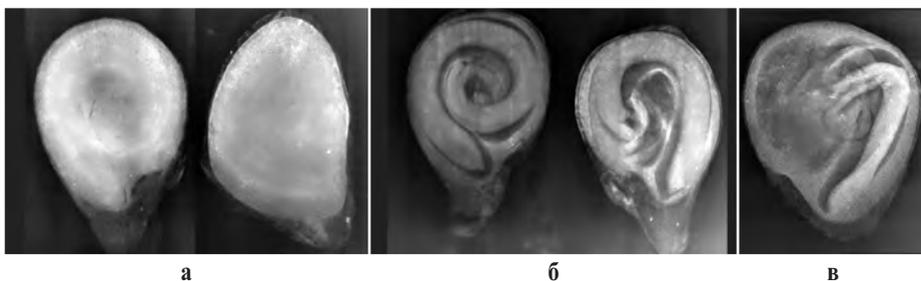


Рис. 1.6.7. Макрорентгеноснимки семян томата: а – сорт Дубок (РФ) 2014 года репродукции; б – F₁ Sadig (Нидерланды) 2005 года репродукции; в – F₁ Bosky (Нидерланды) 2002 года урожая

Морфометрические изменения внутреннего строения семян, обусловленные их генетической депрессией либо возрастом, обнаруживаемые на рентгеновской проекции, не носят обязательного характера и нуждаются в дальнейшем экспериментальном подтверждении с привлечением других видов.

2. АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕНТГЕНОГРАФИИ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Функциональная схема получения и обработки рентгеновских изображений выглядит следующим образом: рентгеновские лучи, излучаемые микрофокусным излучением (рентгеновская трубка), пройдя сквозь объект (семя), на приемнике – экране с фотостимулируемым люминофором (ФСЛ-экран) создают скрытый образ семени, который переводится в цифровой вид в специальном сканере, откуда образ передается на экран компьютера для редактирования, анализа и архивирования (рис. 2.1).

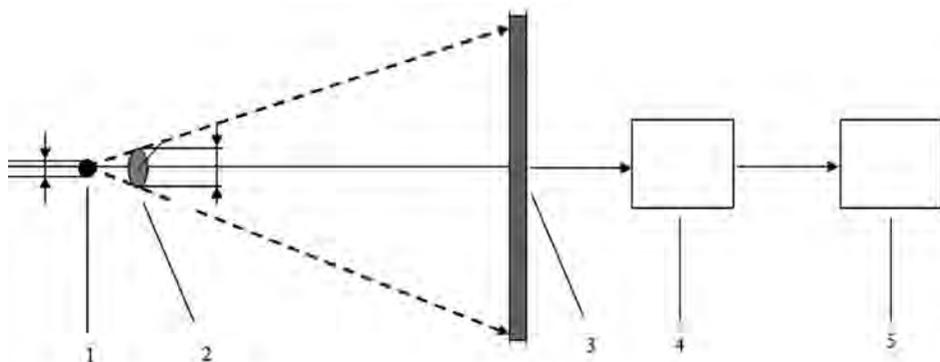


Рис. 2.1. Функциональная схема получения и обработки рентгеновских изображений:
1 – источник излучения (рентгеновская трубка), 2 – объект (семя), 3 – приемник ПЗС-матрица, 4 – блок обработки сигнала, 5 – персональный компьютер.

Для реализации метода микрофокусной съемки семян была разработана специализированная передвижная рентгенодиагностическая установка ПРДУ-02 (Архипов и др., 2009, Науч.-тех. разработки по перспективным научным направлениям университета, 2016), в состав которой (рис. 2.2) входят:

- рентгенозащитная камера для проведения рентгенографических работ (1);
- источник рентгеновского излучения моноблочного типа РАП-70М (2);
- приемник рентгеновского изображения на основе экрана с фотостимулируемым люминофором (ФСЛ-экран) (Блинов, Леонов, 2001);
- персональный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением (Желудков и др., 2014).



Рис. 2.2. Внешний вид установки ПРДУ-02.

Однако для исследования более «мелких» морфологических особенностей строения семян необходимо получать изображение с большим увеличением. С этой целью может быть использована еще одна специализированная установка – рентгеновский микроскоп РМ-01 (рис. 2.3). В отличие от ПРДУ-02 установка РМ-01 принципиально позволяет получать снимки отдельных семян с увеличением до тысячи раз. С этой целью объект съемки размещается в специальном держателе, который в автоматическом режиме обеспечивает его перемещение в горизонтальной плоскости (по двум координатам), по вертикали, а также вращение вокруг оси. Визуализация рентгеновского изображения осуществляется с помощью приемника изображения, построенного по схеме «экран – оптика – ПЗС» (Блинов, Леонов, 2001). Возможно также использование более чувствительного приемника на основе ФСЛ-экрана.



Рис. 2.3. Внешний вид установки РМ-01.

На рис. 2.4 представлен общий вид лаборатории рентгенодиагностики, состоящей из рентгенодиагностических установок ПРДУ-2 и РМ-1, специального FCR-сканера и персонального компьютера.



Рис. 2.4. Рентгенодиагностическая лаборатория кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Рисунок 2.5 отражает общий вид рентгенодиагностического сектора лаборатории технологии длительного хранения продовольственных товаров и хлебопродуктов ФГБУ НИИПХ Росрезерва. Оборудование состоит из программно-аппаратного комплекс ПРДУ-02 производства ЗАО «Элтех-мед» (Санкт-Петербург) в комплектации с рентгенсканером DIGORA (Soredex, Finland).

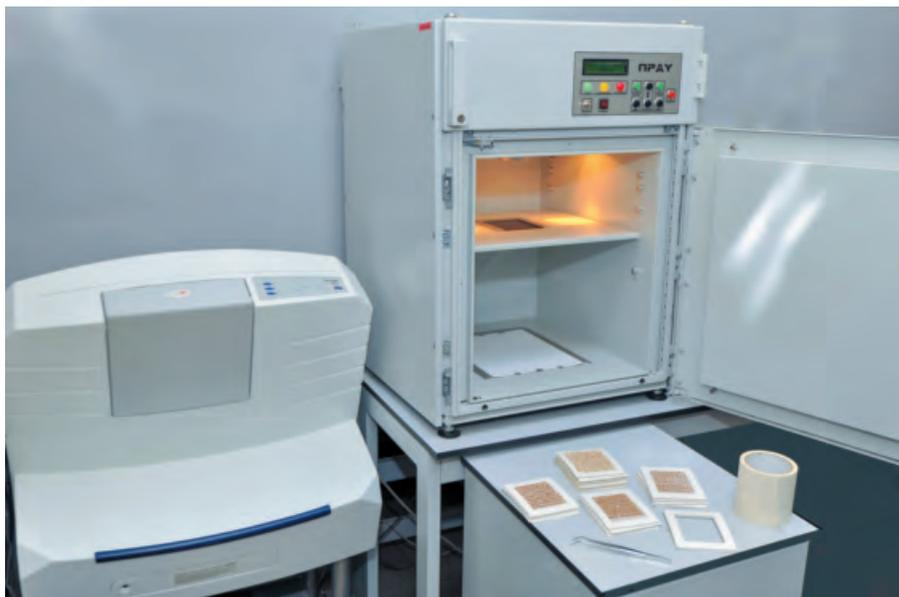


Рис 2.5. Рентгенодиагностический сектор ФГБУ НИИППХ Росрезерва: программно-аппаратный комплекс ПРДУ-02 (справа) в комплектации с рентгенсканером DIGORA (слева).

Компания ЗАО «Элтех-мед» (Санкт-Петербург) также разработала портативную рентгенодиагностическую установку ПРДУ-02.1 (Пардус) (рис. 2.6). Она может применяться в полевых условиях для экспресс-анализа качества семян, а также в плодоводстве и виноградарстве для определения приживаемости привитых саженцев (Никольский и др., 2011; Никольский, Грязнов, 2017).



а



б



в



г

*Рис 2.6. Портативная рентгениагностическая установка ПРДУ-02.1 (Пардус):
а) внешний вид, б) рабочая комплектация,
в) подготовка семян к съемке, г) параметры съемки.*

3. ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Рентгенографический метод анализа партий семян и зерна уже в достаточной мере показал свою эффективность. Метод основывается на применении аппаратуры рентгеновской съемки, которая, будучи надежной, компактной и безопасной, позволяет получать четкие рентгеновские снимки семян (рис. 3.1.), по которым может производиться распознавание и интерпретация их внутренних дефектов.



Рис. 3.1. Внутренняя структура семян укропа на рентгенограмме.

Одним из важных направлений развития метода рентгенанализа скрытых дефектов семян является его автоматизация, программная обработка как одного рентгенснимка, так и пакета фотографий с автоматическим анализом скрытых дефектов и выводением протокола испытаний.

Авторы данного труда разрабатывают новое программное обеспечение под рабочим названием «Сортсемконтроль». Программа предназначена для автоматического анализа графических файлов рентгенообразов семян овощных культур. На рисунке 3.2 приведён интерфейс программы «Сортсемконтроль». Программа предназначена для автоматического анализа графических файлов рентгенообразов семян овощных культур. Функции программы: автоматическое количественное определение выполненности семян овощных культур с дифференциацией степени выраженности дефектов по одному или нескольким снимкам (до 50 снимков па-

кетной обработки); автоматическое количественное определение геометрических характеристик семян, их фракционного состава и показателя выравненности; выведение графического отображения дефектов; создание протокола по результатам автоматического анализа. Область применения программы: исследование партий и лабораторных проб семян овощных культур по степени их выполненности.

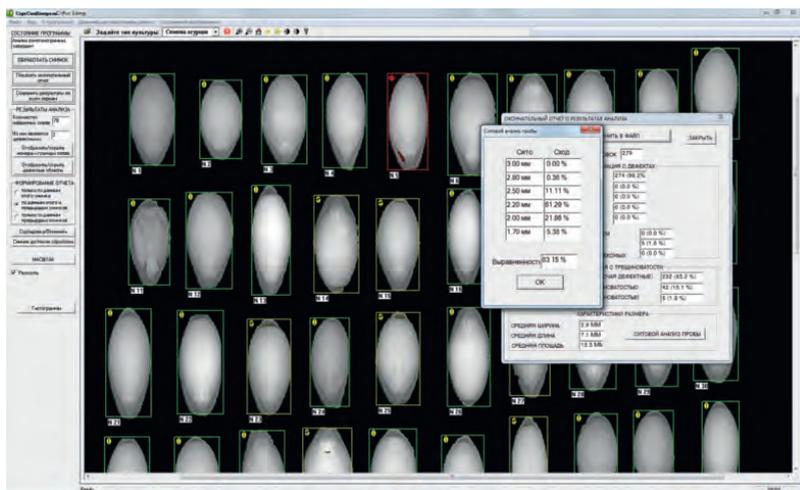


Рис 3.2. Интерфейс программы «Сортсемконтроль»

Тип ЭВМ: IBM PC совмест. ПК

Язык: C++

ОС: Windows XP и выше

Объём программы: 2,1 Мб.

Ниже приведём основные этапы автоматизированного анализа рентгенообразов семян овощных культур программой «Сортсемконтроль», которая может успешно работать в составе программно-аппаратного комплекса ПРДУ-02 (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Программно-аппаратный комплекс: а) общий вид,

б) модернизированная рентгенустановка с контрастирующей панелью.

В декабре 2017 года в системе Росрезерва был успешно апробирован модернизированный программно-аппаратный комплекс ПРДУ (М-ПРДУ). Модернизация затронула приёмник изображения. На фотографии видно, что вместо рентген-чувствительной пластины применена так называемая контрастирующая панель (рентгеновская цифровая матрица с разрешением получаемого изображения 3000×3000 точек). В остальном параметры передвижной рентгенодиагностической установки остались теми же.

Изменилась комплектация установки. Так как контрастирующая панель после экспонирования сразу передаёт изображение на ЭВМ, отпадает необходимость в рентгенсканере. Установка становится компактнее и проще в обращении и обслуживании.

Подготовка изображения. Необходимым этапом предварительной цифровой обработки изображения для получения адекватного цифрового образа зерновки является:

- масштабирование динамического диапазона яркостей изображения;
- подавление шума видеосигнала и общее улучшение качества изображения;
- компенсация искажений, обусловленных погрешностями и конструктивными особенностями аппаратуры съёмки.

Искажения значений яркости могут обусловлены как неравномерностью светового потока для различных сеансов съёмки и для различных участков одной рентгенограммы, так и неравномерностью подложки, на которой расположены семена.



Рис. 3.4. Артефакты износа чувствительных пластин («царапина»).

Еще одним видом оптических искажений является наличие на снимке яркостных артефактов износа и прочих дефектов чувствительных пластин (рис. 3.4). В процессе исследования данной задачи получен метод программного удаления данных артефактов, включающий их обнаружение, основанное на высокочастотной цифровой фильтрации образа и последующей билинейной интерполяцией внутренних областей обнаруженных яркостных артефактов для их удаления со снимка.

Идентификация объектов на изображении. Для численного решения этой задачи был разработан и программно реализован достаточно эффективный и быстрый численный метод. В силу упомянутой пространственной неравномерности потока излучения при съемке, данную процедуру следует проводить итеративно с уточнением пороговых значений яркости объектов и параметров светового потока на каждом шаге.

После того как объекты выделены, необходимо определить пространственную ориентацию объекта. Для этого есть несколько распространенных способов, в частности, для зерновок в силу их формы идеально подходит способ, основанный на построении для каждой из них эллипсоида инерции. Для дальнейшего анализа семя можно развернуть по главным осям эллипсоида инерции.

Дефекты семян. Скрытая травмированность (трещиноватость). Скрытая травмированность (трещиноватость) семян, обнаруживаемая рентгенографическим методом, является важным показателем, характеризующим как качество семени, так и влияние техногенных факторов, к которым относятся воздействия механического и термического характера при уборке, вымолачивании, сушке и хранении, а также устойчивость семян к действию данных факторов.

Для качественной и количественной оценки трещиноватости может быть предложен следующий алгоритм анализа изображения зерновки. Здесь и далее за единицу измерения яркости изображения принимается шаг дискретизации яркостной компоненты сигнала изображения в диапазоне от 0 до 255, задаваемый используемой аппаратурой съемки и оцифровки.

Окончательная количественная характеристика трещиноватости $[T(A)]$ вычисляется как

$$T(A) = \frac{100D(A)}{S(A)},$$

где $D(A)$ – суммарное отклонение яркости, $S(A)$ – площадь области A (в пикселях). На рис. 3.5 приведены изображения семян с различными значениями показателя T .



Рис. 3.5. Семена с различными степенями травмированности (а – горох, б – фасоль).

Дефекты семян. Нахождение и оценка крупных дефектов. Для идентификации и анализа других крупных дефектов требуются более сложные методы, включающие в себя этапы: а) локализации дефекта; б) идентификации дефекта.

В общем виде локализацию крупных дефектов семян можно проводить следующим образом. По контуру семени и значениям яркости в опорных точках её внутренней поверхности проводится реконструкция образа семени без дефектов, затем потенциально дефектные области отделяются как участки наибольшего отклонения от реконструированного нормального образа. Такой подход позволяет не только локализовать дефектные области, но и измерить их количественную характеристику как суммарное отклонение яркости от построенного эталона, масштабированное по суммарной яркости семени.

На рисунках 3.6 и 3.7 приведена программная визуализация результатов описанных методов локализации дефектных областей и формальные признаки основных обнаруживаемых дефектов на примере семян томата.

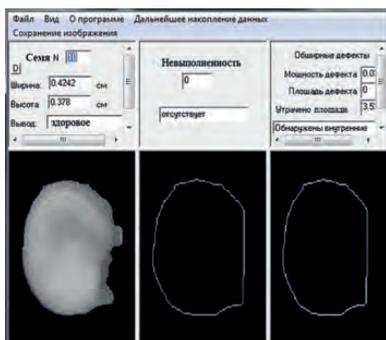


Рис. 3.6. Нормальное семя томата.

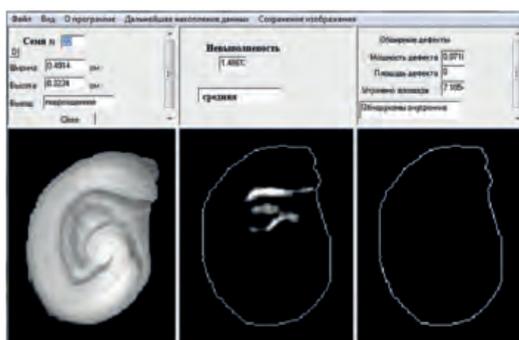


Рис. 3.7. Дефектное семя томата.

Оценка партии по исследованной пробе. Количественные показатели.

Получив значения интересующих показателей для каждого семени в отдельности, нетрудно вычислить соответствующие общие показатели для всей проанализированной выборки – средний размер семени, среднюю количественную характеристику скрытой травмированности, процентное содержание семян с тем или иным дефектом. Однако одной из конечных целей автоматического анализа пробы должна являться оценка данных характеристик не только для данной пробы, но и для всей партии в целом. Естественно, данную задачу целесообразно решать в предположении, что методика отбора проб обеспечивает достаточную репрезентативность выборки. Также необходимо определять достоверность такой оценки для анализируемой партии и достаточность накопленных в процессе анализа пробы данных для получения оценок требуемой достоверности.

Для показателей, оцениваемых количественно для каждого семени (размеры, степень скрытой травмированности и т.д.), данную задачу можно решить, вычисляя доверительные интервалы для данных параметров и считая оценку достоверной, если размеры получившихся доверительных интервалов, вычисляемых с наперед заданной надежностью оценки, не превосходят наперед заданных значений.

На рис. 3.8 проиллюстрирован пример анализа доверительных интервалов для показателя "выполненность семян". Были проанализированы последовательно десять рентгенограмм, по сто семян пшеницы в каждой. После каждой проанализированной рентгенограммы вычислялся с надежностью оценки 0,95 размер доверительного интервала среднего значения показателя травмированности для данной рентгенограммы (верхний график) и для всего проанализированного массива данных, состоящего из текущей рентгенограммы и всех предыдущих (нижний график). Эмпирически установлено, что для среднего значения показателя травмированности критическим значением размера 0,95-доверительного интервала можно принять величину 0,1; как видно из графиков, для обеспечения требуемой достоверности оценки выполненности семян партии в данном случае достаточно проанализировать 6-7 рентгенограмм (600-700 семян).

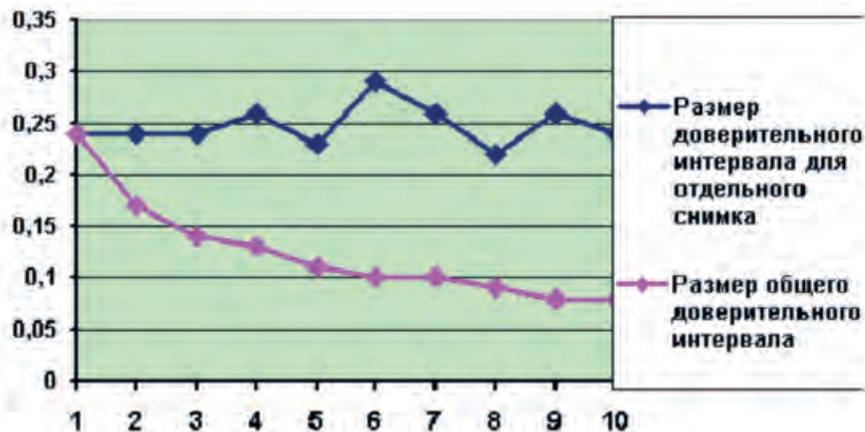


Рис. 3.8. Размеры суммарного и локального доверительных интервалов для показателя "выполненность семян" при последовательном анализе десяти рентгенограмм.

Для оценки достоверности выборки также целесообразно контролировать однородность проанализированных рентгенограмм и считать результаты анализа достаточно достоверными, если данные проанализированных рентгенограмм удовлетворяют на заданном уровне значимости известным статистическим критериям однородности выборок (согласно экспериментам достаточно адекватные результаты обеспечивает применение критерия однородности на уровне значимости 0,05).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системный подход и комплексное применение биологических и математических методов, компьютерных технологий позволит эффективно решить задачи автоматического анализа рентгенографических изображений, интерпретировать полученные результаты и применять рентгенографический метод для экспресс-оценки качества семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов М. В. и др. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве/ М.В. Архипов, Д.И. Алексеева, Н.Ф. Батыгин и др.; РАСХН.М., 2001. – 93 с.
2. Архипов М.В., Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. – 192 с.
3. Белецкий С.Л., Иванова Е.В., Фешина Т.В. Современные рентгендиагностические комплексы для экспресс-оценки качества сырья: сб. докладов научно-практического семинара «Практические аспекты исследования и мониторинга качества сырья и продуктов питания для обеспечения продовольственной безопасности России». М.: ФГУ НИИПХ Росрезерва, 2010. – С. 78-83.
4. Блинов Н. Н., Леонов Б. И. Рентгеновские диагностические аппараты: в 2 т. М.: ВНИИИМТ, НПО «Экран», 2001. – Т.2. – 140 с.
5. Желудков А. Г., Белецкий С. Л., Потрахов Н. Н. Теоретические аспекты автоматизации рентгенографического метода анализа качества семян и товарного зерна злаковых культур // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. сб. науч. тр. / ФБГУ НИИПХ Росрезерва. М.: Галяя Принт, 2014. – С.106–115.
6. Желудков А. Г., Потрахов Н. Н., Белецкий С. Л. Комплексное решение задач автоматизации рентгенографического метода анализа качества семян и зерна злаковых культур. // Хлебопродукты. – М., 2016. – № 05. – С.58-61.
7. Мусаев Ф. Б. и др. Методические указания по рентгенографическому анализу качества семян овощных культур /Ф.Б. Мусаев, М.С. Антошкина, М.В. Архипов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 39 с.
8. Мусаев Ф. Б., Потрахов Н. Н., Архипов М. В. Рентгенография семян овощных культур. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 207 с.
9. Никольский М.А., Лукьянова А.А., Панкин М.И., Грязнов А.Ю., Великанов Л.П., Архипов М.В., Потрахов Н.Н. Микрофокусная рентгенография в виноградарстве (Методические рекомендации). Анапа, 2011. – 98 с.
10. Никольский М. А., Грязнов А. Ю. Оценка эмбриональной плодородности глазков винограда методом микрофокусной рентгенографии. Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – №66. – С.185-189.
11. Соколова Д.В. Создание и оценка самоплодных линий раздельноплодной столовой свеклы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2011. – 22 с.
12. Якушев В.П., Архипов М.В., Желудков А.Г., Великанов Л.П. Анализ качества семян по рентгенограмме с помощью ЭВМ. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2001. – №1. – С.16-17.
13. Musayev F.B. et al. Non-distractive X-ray diffraction method for stadying seed anatomy in relation to seed heterogeneity /F.B.Musayev, M.V.Arkhypov, L.P.Velikanov et al.// Proc. of the Intern.Conf. «Functional plant anatomy». Lomonosov Moscow State University. M., 2013. – P.115–121.

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ПРДУ-02

ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основные технические характеристики установки ПРДУ-02

Габаритные размеры, мм	600 x 600 x 800
Общая масса установки, не более, кг	200
Размер фокусного пятна, не более, мм	0,2
Диапазон анодного напряжения, кВ	10-50
Диапазон анодного тока, мкА	20-200
Максимальная эквивалентная толщина контролируемых объектов (по стали), мм	3
Максимальная разрешающая способность получаемых рентгеновских изображений, пар лин./мм	100

ЗАЩИТА:

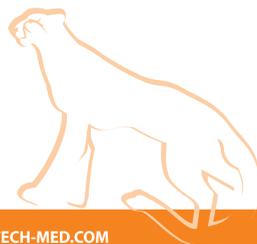
- Конструкция установки ПРДУ-02 обеспечивает полную защиту от рентгеновского излучения и в соответствии с ОСПОРБ-99 полностью освобождена от радиационного контроля и учета

КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ:

- Специализированный рентгеновский аппарат*
 - Цифровое устройство для визуализации рентгеновского изображения
 - Камера для проведения рентгенографических работ
 - Методика обнаружения и анализа скрытых дефектов семян
 - Программное обеспечение "Агротест" и SEAN для реализации методики
- *установка может быть укомплектована рентгеновскими аппаратами на максимальное напряжение 100 и 140 кВ

ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ:

- Обнаружение и анализ скрытых дефектов в семенах зерновых культур: скрытых повреждений насекомыми, внутренних прорастаний, трещиноватостей, механических повреждений и т.д.
- Установка позволяет контролировать до 1000 семян одновременно, размеры обнаруживаемых дефектов составляют от нескольких единиц до нескольких десятков микрон

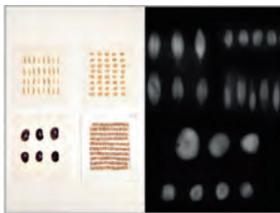


МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ПРДУ-02



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Контроль качества продовольственного и фуражного зерна, семян зерновых и овощных культур
- Контроль прививки саженцев плодовых деревьев и кустарников
- Контроль качества консервированной продукции в пищевой промышленности
- Контроль готовых изделий и различных стадий технологического процесса в электронной промышленности
- Криминалистика и судмедэкспертиза
- Таможенный контроль и др.



ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЕМЯН:

- Навеска в 1000-1200 семян из пробы (по ГОСТ 28666.2-90) фиксируется на карточках с клейким слоем
- Карточки просвечиваются последовательно на установке ПРДУ-02
- Рентгеновские изображения выводятся на монитор компьютера для визуального наблюдения
- Автоматический анализ с помощью программы SEAN на предмет наличия в пробе семян с дефектами
- Время контроля одной пробы - несколько минут
- Производительность - до 2000 проб в месяц

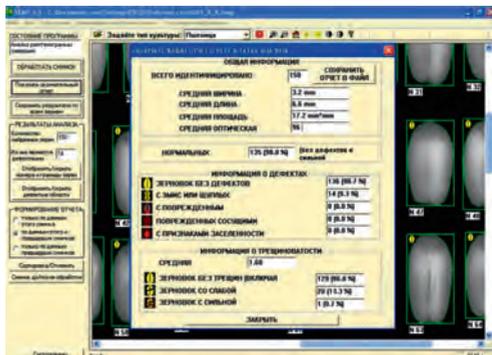


АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВИТЬ:

- внутреннюю трещиноватость
- грибную инфекцию
- скрытую заселенность и поврежденность насекомыми
- скрытое прорастание
- наличие пустых семян

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Уверенная идентификация скрытых дефектов
- Высокая скорость распознавания дефектов и оценка их содержания в образце



**УСТАНОВКА ПРДУ-02 ОБЕСПЕЧИВАЕТ СУЩЕСТВЕННОЕ СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И
УЩЕРБА ОТ НЕПРАВИЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ПРИЕМКИ ПАРТИЙ ЗЕРНА**



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕХНИКИ

МЫ ЖДЕМ ВАС НА НАШЕМ САЙТЕ WWW.ELTECH-MED.COM



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ОВОЩЕВОДСТВА»**

Ф.Б. Мусаев, Н.Н. Потрахов, С.Л. Белецкий

КРАТКИЙ АТЛАС

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Дизайн и верстка: Янситов К.В.

Фото: Лебедев А.П.

Подписано в печать 29.12.2017. Формат 60×90/16
Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 2,25
Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии ООО «ТР-принт»
127055, Москва, а/я 69, ул. Правды 24, стр. 3
Тел.: (499) 519-01-24
www.tirazhy.ru

