

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОГРАФИИ, НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

О.А. ПОДВИГИНА<sup>1</sup>, И.И. БАРТЕНЕВ<sup>1</sup>, А.В. НОВИКОВА<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»;  
<sup>2</sup> РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Семена сахарной свеклы характеризуются большой разнокачественностью, обусловленной варьированием размерно-массовых характеристик. Причин возникновения данного явления много: это генетические и биологические особенности культуры, почвенно-климатические условия, технологии и способы семеноводства и т.д. Определение полевых качеств семян сахарной свеклы традиционным методом ускоренного проращивания в лабораторных условиях не позволяет в дальнейшем изучать развитие растений и их продуктивность. Кроме того, способы предпосевной подготовки семян сахарной свеклы основаны на различиях в их размерно-массовых характеристиках и не учитывают внутреннюю структуру семян. Применение метода микрофокусной мягколучевой рентгенографии дает возможность в короткий срок выявить скрытые дефекты семян, установить биологическую и хозяйственную значимость аномалий развития зародыша и других элементов семени. Проведенные нами исследования по определению выполненности семян показали, что количество нормально развитых семян у МС форм составляло 81,4–83,4%, у опылителей – 82,6–90,9%, невосхожих семян – до 9,5 и 17,4% соответственно. Плоды с признаком более 50% отслоения оболочки собственно семени формировали при возделывании в полевых условиях ослабленные растения и мелкие корнеплоды. Аналогичная картина была отмечена при выращивании растений из многосемянных плодов (клубочков) опылителей. К середине вегетационного периода ввиду высоких температур и массового распространения корневых гнилей и увядания корнеплодов количество отсталых в развитии растений увеличивалось.*

**Ключевые слова:** сахарная свекла, рентгенографический метод, качество семян, полевая всхожесть, развитие растений.

### Введение

В настоящее время сахарная свекла является единственной культурой в Российской Федерации, возделываемой для получения сахара. Современное сельскохозяйственное производство осуществляется по интенсивным технологиям, основным требованием которых является посев высококачественными семенами. Для сахарной свеклы это прежде всего энергия прорастания, лабораторная всхожесть не ниже 90–95%, одноростковость (97–99%) и высокая устойчивость к патогенам и вредителям.

Особенностью сахарной свеклы является разнокачественность семян, обусловленная многими внешними и внутренними факторами: биологией цветения и развития растений, способами семеноводства, климатическими и погодными условиями выращивания, способами и сроками уборки, условиями хранения семян и др. [1]. Для данной культуры характерно широкое варьирование показателей семян по размерно-массовым признакам, которые проявляются более всего в неоднородности их фракций – от 2,5 до 5,5 мм и выше. Поэтому приоритетом предпосевной подготовки семян является снижение их разнокачественности по размерно-массовым характеристикам. Технологическую схему предпосевной подготовки можно подразделить на несколько этапов:

- предварительный;
- лабораторно-аналитический;
- основной;
- заключительный.

На предварительном этапе осуществляется подготовка семян путем первичной очистки и сушки обмолоченного вороха семян на воздушно-решетных машинах и зерноочистительных комплексах (ЗАВах). Затем, не ранее чем через 2–3 недели, проводят лабораторный анализ полученного сырья, когда исследуют фракционный состав, однородность, массу 1000 плодов, энергию прорастания, всхожесть, выполненность, доброкачественность (отношение всхожих семян к выполненным, выраженное в процентах), силу роста (длина и масса 100 проростков) согласно ГОСТ 22617.2–94 [2].

Полученные результаты позволяют использовать в дальнейшем на основном этапе оптимальные технологические схемы и настройки семяочистительной техники при калибровке сырья семян на фракции и окончательного удаления путем аспирации на ветро-решетных машинах легковесных и невыполненных семян. Отделение тяжелых примесей и разделение фракций семян по массовым характеристикам проводятся также на пневмостолах. Полученные фракции семян могут храниться как в калиброванном виде, так и в виде «серого драже» (дражированные семена без защитно-стимулирующих препаратов).

На заключительном этапе перед посевом на калиброванные или дражированные семена наносят защитно-стимулирующие композиции препаратов. Такая схема предпосевной подготовки довольно эффективна при условии хорошего качества вороха свеклосемян. Однако на практике во многих случаях не удается добиться желаемых результатов по посевным характеристикам подготовленных семян. Основной причиной является наличие в составе фракции невсхожих и низковсхожих, с пониженной энергией прорастания семян, обладающих схожими размерно-массовыми показателями с доброкачественными семенами.

Альтернативным методом определения качественных показателей семян и их внутренней структуры является метод микрофокусной мягколучевой рентгенографии. Метод позволяет «заглянуть» внутрь плода, выявить и изучить особенности скрытых дефектов семян, установить биологическую и хозяйственную значимость аномалий внутреннего развития зародыша и других элементов семени без механических воздействий, а главное – при последующем исследовании сопоставить результаты роста, развития и продуктивность растений, выращенных из этих семян.

Рентгенографический анализ качества семян был апробирован на зерновых [3], овощных [4, 5], плодовых культурах [6, 7], древесных породах [8]. Данный метод

применяется для изучения внутренней морфологии и физиологического качества семян в период созревания и хранения плодов и семян [9, 10].

Применение метода рентгеноскопии для анализа качества семян столовой свеклы испытывали в НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова [11] и ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» [12].

На семенах сахарной свеклы во ВНИИСС для изучения их выполненности в 1982 г. был применен метод рентгеновского излучения, позволяющий в маленьких селекционных партиях посевного материала отбраковать невыполненные (пустые) плоды [13]. В Беларуси ученые в селекционном материале иностранных фирм после рентгенографии обнаружили небольшое количество семян сахарной свеклы с признаками повреждения зародыша и одно семя с «близнецами» (формирование 2–3–4 семязачатков в одном плоде) [14].

На современном этапе подробное изучение качеств семян гибридов сахарной свеклы с применением рентгенографии в РФ не проводилось. Поэтому целью наших исследований было проведение и подробное описание рентгенограмм семян, определение их жизнеспособности, изучение роста и развития растений, выращенных из этих семян в полевых условиях.

В результате исследований во ВНИИСС была разработана методика применения рентгенографического метода оценки качества семян сахарной свеклы, где представлены рентгенограммы плодов с нормально развитыми семенами, с аномалиями и особенностями формирования репродуктивных органов [15].

В статье приведены результаты полевых исследований растений, выращенных из семян, подвергнутых рентгенографии, и выявлены особенности их развития.

### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводились в лабораторных и полевых условиях на базе отдела семеноводства и семеноведения ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова в 2019–2020 гг. Рентгенография семян осуществлялась на кафедре электронных приборов и устройств СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Для микрофокусной съемки семян использовались многофункциональная передвижная рентгеновская установка ПРДУ-02, разработчик – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), и рентгеносканер DIGORA – система регистрации на основе экранов с фотостимулирующим люминофором (Soredex, Finland).

В качестве исходного материала было взято сырье элитных семян компонентов (МС форма и опылитель) гибридов РМС 500 и РМС 501 селекции ВНИИСС.

Семена для рентгеновской съемки помещали на специальные карточки, изготовленные из картона толщиной 2–3 мм и размером внутреннего проема 80 × 75 мм, на клеящуюся ленту по 42–49 шт. семян в 3-кратной повторности.

Посев семян в полевых условиях проводился вручную в селекционном севообороте института с обозначением каждого второго семени колышком (рис. 1). На одном рядке длиной 10 м высевали семена с одной карточки. Всего за 2 года было изучено 929 семян.

Фенологические наблюдения осуществлялись в период вегетации согласно методике исследований по сахарной свекле [16].



**Рис. 1.** Внешний вид полевого опыта по изучению семян свеклы после рентгенографии

### Результаты и их обсуждение

Общий рентгенографический анализ качества селекционного материала показал выполненность семян на уровне 82,3–91,8% у МС форм; 81,9–97,8% у опылителей (табл. 1).

Категории семян, не выполненные (пустые или сформировавшие только эндосперм) и с дегенерирующим зародышем, были отнесены к невсхожим. Количество таких плодов колебалось у МС форм в пределах 8,9–9,5%, у опылителей – 8,0–17,4%. Большинство пустых семян было отмечено у опылителей, что связано с многоплодностью, удлинением периода цветения и близкородственным опылением, которое ведет к инбредной депрессии и снижению завязываемости семян.

Таблица 1

#### Качественный анализ селекционного материала по рентгенограммам (2019–2020 гг.)

| Селекционный материал | Всего семян, шт. | Нормально выполненные семена |      |                 |      | Близнецы        |     | Признаки пистило-<br>дийности |     | Нарушения<br>в развитии<br>зародыша |     | Пустые семена<br>и развитие одно-<br>го эндосперма |      |
|-----------------------|------------------|------------------------------|------|-----------------|------|-----------------|-----|-------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|----------------------------------------------------|------|
|                       |                  | шт.                          | %    | с отслоением    |      |                 |     |                               |     |                                     |     |                                                    |      |
|                       |                  |                              |      | шт.             | %    | шт.             | %   | шт.                           | %   | шт.                                 | %   | шт.                                                | %    |
| РМС 500 МС            | 292              | 238                          | 81,5 | 96              | 40,3 | 23              | 7,8 | 5                             | 2,1 | 17                                  | 5,8 | 9                                                  | 3,1  |
| РМС 500 ОП            | 186              | 169                          | 90,9 | -               | -    | 2               | 1,1 | -                             | -   | 6                                   | 3,3 | 9                                                  | 4,8  |
| РМС 501 МС            | 284              | 237                          | 83,4 | 92              | 31,3 | 20              | 7,0 | -                             | -   | 20                                  | 7,0 | 7                                                  | 2,5  |
| РМС 501 ОП            | 167              | 138                          | 82,6 | -               | -    | -               | -   | -                             | -   | 2                                   | 1,2 | 27                                                 | 16,2 |
| НСР <sub>05</sub> *   | -                | <u>5,4</u><br>7,6            | -    | <u>3,2</u><br>- | -    | <u>1,8</u><br>- | -   | -                             | -   | <u>2,1</u><br>0,8                   | -   | <u>0,7</u><br>2,3                                  | -    |

\*В числителе – НСР<sub>05</sub> по МС-формам; в знаменателе – по опылителям.

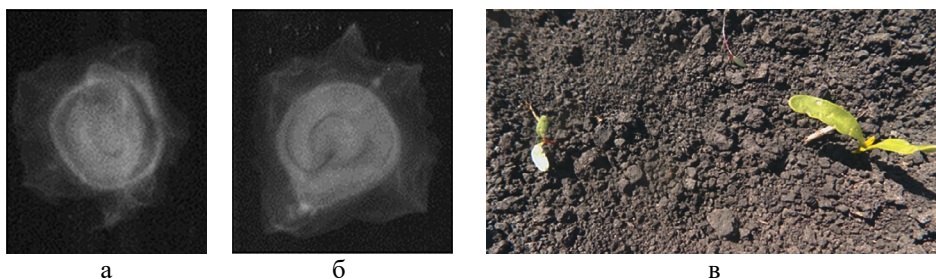
У МС-форм изучаемых гибридов выявлено некоторое количество сформированных в разной степени «близнецов» – от 7,0 до 7,8%. Большинство зародышей



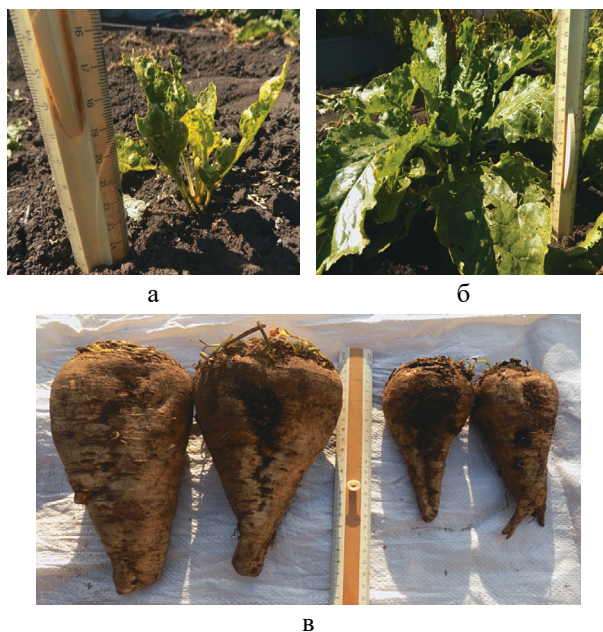
в таких плодах было недоразвито, и лишь одно семя с нормально развитыми двумя «близнецами» дало начало слабым проросткам, а потом небольшим корнеплодам.

У материнской формы РМС 500 обнаружены нормально сформированные плоды с видимыми признаками полиэмбрионии (увеличенные околоплодник и количество чашелистиков) – 2,1%, 5 семян с признаком пистиллодийности (стерильность растений, проявляющаяся в недоразвитии гинецея – женская репродуктивная часть цветка). Из таких семян вырастали хорошо развитые растения.

Количество семян с нарушениями в развитии зародыша не превышало 7,0%. Как показали полевые испытания данных семян, этот признак обеспечивал их всхожесть, но проростки отличались слабым ростом и развитием, что в дальнейшем чаще всего приводило к формированию мелких корнеплодов или гибели растений. Аналогичная картина была отмечена и при появлении всходов из семян с отслоением оболочки. Плоды с незначительными участками отслоения оболочки семени обеспечивали хорошее развитие проростков. Семена, имеющие сильную степень отслоения (50% и более), давали начало слабым проросткам (рис. 2 а, б, в) и в дальнейшем формировали меньшие по размерным характеристикам корнеплоды (рис. 3).

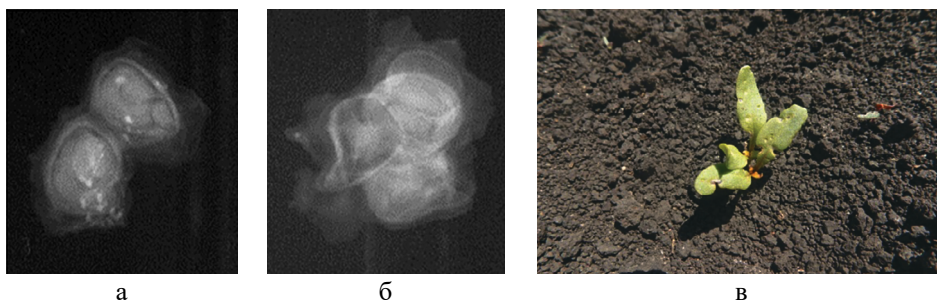


**Рис. 2.** Рентгенограммы семян: с сильным отслоением семенной оболочки (а); нормально выполненное семя (б); проростки из них (в)



**Рис. 3.** Внешний вид растений и корнеплодов из ослабленных проростков (а, в) в сравнении с нормально развитыми (б) (июль и октябрь)

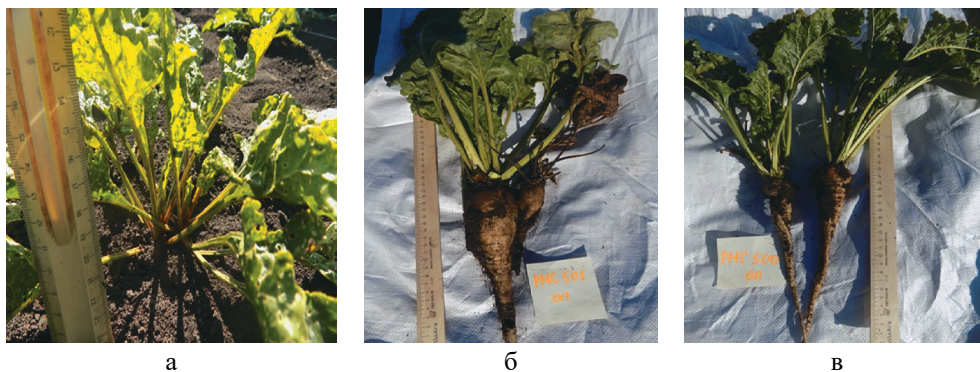
Плоды многосемянного материала (опылители) условно считаются всхожими, если в клубочке сформировано хотя бы одно семя. Чаще всего формируются 2–3 семени, поэтому всходы получают тоже по 2–3 проростка сразу (рис. 4).



**Рис. 4.** Выполненные два семени в многосемянных плодах (а, б) и всходы из них (в)

На начальном этапе развития взаимное влияние двух растений было мало заметным, однако во второй половине вегетационного периода конкуренция за питание и выживание усиливалась. Это приводило к гибели одного растения или к слабому развитию обоих (рис. 5).

Посев изученных по рентгенограммам семян и полевые наблюдения за ростом и развитием растений показали, что полевая всхожесть материала находилась в пределах 85,4–86,5% у материала гибрида РМС 500 и 73,8–78,1% у гибрида РМС 501. Среди взошедших растений нормально развитыми были 84,1–85,5% и 90,3–94,7% соответственно изучаемым гибридам (рис. 6). Следует отметить, что по анализу рентгенограмм выполненность семян у компонентов гибридов была выше полевой всхожести.



**Рис. 5.** Внешний вид растений опылителя (а), гибель одного (б) и слабое развитие двух растений (б, в)

На активную гибель проростков свеклы в первый месяц вегетации повлияло то, что после рентгенографии семена были расположены под номерами на липкой ленте на картонных планшетах и перед посевом не были обработаны защитными химическими препаратами. В связи с этим произошло сильное поражение корневидом и, как следствие, гибель растений.

Во второй половине вегетационного периода 2019 г. сложились неблагоприятные фитопатологические условия: после длительной сухой и жаркой погоды в июне на фоне высоких температур в июле-августе начались обильные осадки, активизировалось массовое увядание и гибель растений. В 2020 г. холодная

и влажная погода в мае-начале июня сменилась жарой и засухой во второй половине лета.

Математическая обработка результатов исследований позволила определить модели зависимостей развития растений селекционных материалов в период вегетации, описываемых уравнением линейной регрессии (табл. 2).

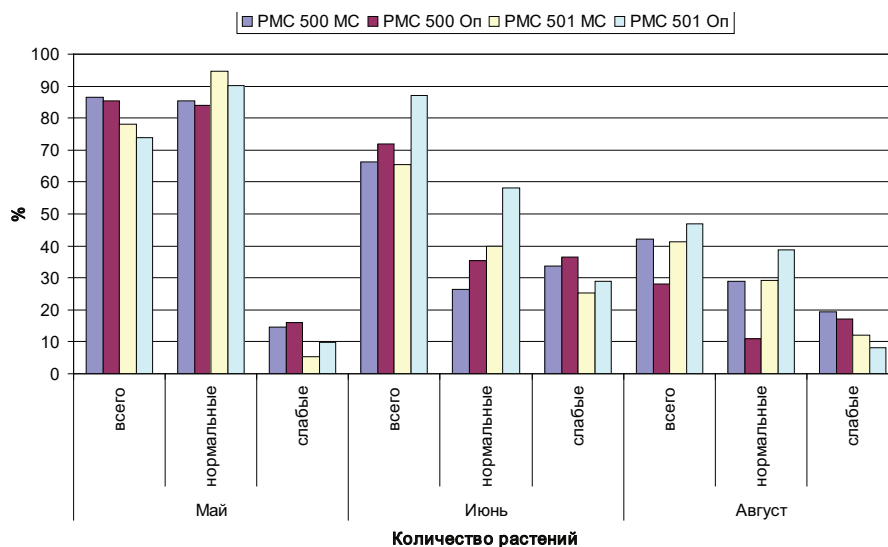


Рис. 6. Развитие растений сахарной свеклы в период вегетации (2019–2020 гг.)

Таблица 2

**Уравнение линейной регрессии и величина достоверности аппроксимации развития растений сахарной свеклы**

| Селекционный материал | Линейное уравнение регрессии | Величина достоверности аппроксимации |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| PMC 500 MC            | $y = -6,9283x + 79,453$      | $R^2 = 0,4691$                       |
| PMC 500 On            | $y = -8,4x + 84,822$         | $R^2 = 0,5974$                       |
| PMC 501 MC            | $y = -7,145x + 79,214$       | $R^2 = 0,4196$                       |
| PMC 501 On            | $y = -6,6917x + 82,525$      | $R^2 = 0,3543$                       |

К концу вегетационного периода резко увеличилось количество слабо развитых растений, показателем чего служили размерно-массовые характеристики растений. Площадь листовой поверхности у развитых растений в начале августа в среднем составляла 86,9–172,5 см<sup>2</sup>, у ослабленных – 28,4–81,5 см<sup>2</sup> (табл. 3).

К началу октября количество пригодных к хранению маточных корнеплодов свеклы после уборки и браковки вялых не превышало 23% от взошедших проростков изучаемых генотипов. В связи с тем, что посевы были изрежены ввиду большой гибели растений, масса корнеплодов достигала 444,6 г, что затруднит их посадку на следующий год.

Таблица 3

**Размерно-массовые характеристики растений и их сохранность к уборке (2019–2020 гг.)**

| Селекционный материал | Средняя площадь листа, см²  |                         | Сохранилось растений к уборке, % от взошедших |      |                   |      | Средняя масса корнеплодов перед уборкой, г |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|------|-------------------|------|--------------------------------------------|
|                       | нормально развитых растений | слабо развитых растений | тургорных                                     |      | вялых             |      |                                            |
|                       |                             |                         | шт.                                           | %    | шт.               | %    |                                            |
| PMC 500 MC            | 139,1                       | 28,4                    | 55                                            | 21,8 | 12                | 4,8  | 307,5                                      |
| PMC 500 On            | 86,9                        | 31,4                    | 30                                            | 19,0 | 7                 | 4,4  | 174,7                                      |
| PMC 501 MC            | 172,5                       | 62,3                    | 51                                            | 23,0 | 23                | 10,4 | 444,6                                      |
| PMC 500 On            | 161,8                       | 81,5                    | 27                                            | 22,0 | 16                | 13,0 | 346,4                                      |
| НСР <sub>05</sub> *   | $\frac{7,8}{6,2}$           | $\frac{2,2}{2,8}$       | $\frac{2,7}{1,4}$                             | -    | $\frac{0,8}{0,5}$ | -    | $\frac{18,5}{13,0}$                        |

\*В числителе – НСР<sub>05</sub> по МС-формам, в знаменателе – по опылителям.

**Выводы**

Таким образом, проведенные исследования качества семян с помощью рентгенографического метода показали наличие в посевном материале скрытых внутренних дефектов и аномалий развития зародыша. Полевые испытания всех облученных семян были сопоставимы с показателями выполненности по рентгенограммам. Семена, имеющие отклонения в развитии зародыша или других элементов семени, формировали в полевых условиях слабые проростки и растения. К концу вегетационного периода многие из них погибали или образовывали мелкие корнеплоды.

Проведенные исследования показали целесообразность проведения предпосевной подготовки элитных семян сахарной свеклы с использованием рентгенографии. Этот метод позволяет получать выровненный посадочный материал, полученный из однородных по генетическим признакам семян, что в последующем повысит и продуктивность гибридов сахарной свеклы.

**Библиографический список**

1. Подвигина О.А. Причины формирования разнокачественных семян у сахарной свеклы // Сахарная свекла. – 2019. – № 7. – С. 23–28.
2. Семена сахарной свеклы. Методы определения всхожести, однородности и доброкачественности: ГОСТ 22617.2–94. Введ. 1997–01–01. – Минск: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. М.: Изд-во стандартов, 1997. – 6 с.
3. Архипов М.В. Рентгенография растений при решении задач семеноводства и семеноведения / М.В. Архипов Л.П. Гусакова, Д.В. Алферова // Известия Санкт-Петербургского государственного агроуниверситета. – 2011. – № 22. – С. 336–341.
4. Мусаев Ф.Б. Рентгенография семян овощных культур / Ф.Б. Мусаев, Н.Н. Потрахов, М.В. Архипов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 207 с.
5. Мусаев Ф.Б. Краткий атлас рентгенографических признаков семян овощных культур / Ф.Б. Мусаев, Н.Н. Потрахов, С.Л. Белецкий. – М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2018. – 40 с.



6. Староверов Н.Е. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества плодов и семян репродуктивных диаспор / Н.Е. Староверов, А.Ю. Грязнов, К.Ж. Жамова и др. // Биотехносфера. – 2015. – № 6. – С. 16–19.
7. Безух Е.П. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур / Е.П. Безух, Н.Н. Потрахов, В.Б. Бессонов // Теоретический и научно-практический журнал. – 2016. – Вып. 89. – С. 106–112.
8. Архипов М.В. Применение методов мягколучевой рентгенографии и газоразрядной визуализации для оценки качества семян ели европейской / М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, А.С. Бондаренко // Известия Санкт-Петербургского государственного агроуниверситета. – 2013. – № 31. – С. 62–66.
9. André Dantas de Medeiros, Manuel Jesús Zavala-León, Laércio Junio da Silva, Ariadne Morbeck Santos Oliveira, Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias Relationship between internal morphology and physiological quality of pepper seeds during fruit maturation and storage // Agronomy Journal. – 2020. – Vol. 112. – Iss. 1. – P. 25–35.
10. Érica F. Leão-Araújo, Francisco G. Gomes Jr., Anderson R. de Silva, Nei Peixoto, Eli Regina B. de Souza. Evaluation of the Desiccation of *Campomanesia adamantium* Seed Using Radiographic Analysis and the Relation with Physiological Potential // Agronomy Journal. – 2019. – Vol. 111. – Iss. 2. – P. 592–600.
11. Соколова Д.В. Создание и оценка самоопыленных линий раздельноплодной столовой свеклы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.
12. Мусаев Ф.Б. Научно-практические аспекты совершенствования контроля качества семян овощных культур: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Москва, 2018. – 50 с.
13. Агафонов Н.С. Рентгенографическое исследование семян сахарной свеклы / Н.С. Агафонов, М.А. Богомолов // Сахарная свекла. – 1982. – № 1. – С. 40.
14. Лепетило Н.Н. Рентгенографический анализ семян сахарной свеклы / Н.Н. Лепетило, С.А. Мелентьева, Т.А. Параманчук и др. // Научное обеспечение отрасли свекловодства: Материалы Международной научно-практической конференции. Несвиж, 28–29 ноября 2013 г. – Минск: Беларуская навука, 2013. – С. 61–67.
15. Подвигина О.А. Методика применения рентгенографического метода оценки качества семян сахарной свеклы / О.А. Подвигина, Н.Н. Потрахов, И.И. Бартенев. – Рамонь: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2021. – 20 с.
16. Барштейн Л.А. Методика исследований по сахарной свекле / Л.А. Барштейн, Н.Г. Гизбулин. – Киев: ВНИС, 1986. – 263 с.

## INFLUENCE OF INTERNAL STRUCTURE OF SUGAR BEET SEEDS DETERMINED BY X-RAY METHOD ON PLANT DEVELOPMENT IN FIELD CONDITIONS

O.A. PODVIGINA<sup>1</sup>, I.I. BARTENEV<sup>1</sup>, A.V. NOVIKOVA<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov;

<sup>2</sup> State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Highly variable quality is characteristic of sugar beet seeds due to varying size-mass characteristics. There are many reasons for the occurrence of this phenomenon; they are genetic and biological features of culture, soil-climatic conditions, technologies and methods of seed production, etc. Determination of sugar beet seed quality by the traditional way of accelerated germination in laboratory conditions prevents the further study of plants' development and productivity. In addition, the methods of pre-sowing preparation of sugar beet seeds are based*



on differences in their size and mass characteristics. They do not take into account the internal structure of the seeds. The use of the method of microfocus migratory radiography makes it possible to identify hidden seed defects quickly and establish the biological and economic significance of the anomalies of the embryo and other elements of the seed. The conducted studies on the definition of the satisfaction of the seeds showed that the number of normally developed seeds in the MS forms was 81.4–83.4%, in pollinators – 82.6–90.9%, non-sprouting seeds up to 9.5 and 17.4%, respectively. Seeds with a sign of more than 50% of the shell detachment formed weakened plants and small root vegetables during the cultivation. A similar picture was typical for the cultivation of plants from multi-grain seeds (clashes) of pollinators. High temperatures, mass deflection of root rot, and root wilt increased the number of retarded plants by the middle of the growing season.

**Key words:** sugar beets, radiographic method, seed quality, field germination, plant development.

## References

1. Podvigina O.A. Prichiny formirovaniya raznokachestvennykh semyan u sakhar-noy svekly [Causes of the formation of multi-quality sugar beet seeds]. *Sakharnaya svekla*. 2019; 7: 23–28. (In Rus.)
2. GOST 22617.2–94. Semena sakharnoi svekly. Metody opredeleniya vskhozhesti, odnorostkovosti i dobrokachestvennosti [GOST 22617.2–94. Sugar beet seeds. Methods of determining germination, monococity and benignness]. Minsk: Mezhdunarodniy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. M.: Izd-vo standartov. 1997: 6. (In Rus.)
3. Arkhipov M.V., Gusakova L.P., Alferova D.V. Rentgenografiya rasteniy pri reshe-nii zadach semenovodstva i semenovedeniya [X-ray treatment of plants in solving the prob-lems of seed production and seed science]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gos. agrouni-versiteta*. 2011; 22: 336–341. (In Rus.)
4. Musaev F.B., Potrakhov N.N., Arkhipov M.V. Rentgenografiya semyan ovoshch-nykh kul'tur [X-ray treatment of vegetable seeds]. St. Petersburg: Izd-vo SPbGETU “LETI”. 2016: 207. (In Rus.)
5. Musayev F.B., Potrakhov N.N., Beletskiy S.L. Kratkiy atlas rentgenograficheskikh priznakov semyan ovoshchnykh kul'tur [A brief atlas of X-ray signs of vegetable seeds]. M: Izd-vo FGBNU FNTsO. 2018: 40. (In Rus.)
6. Staroverov N.E., Gryaznov A.Y., Zhamova K.Y. et al. Primenenie metoda mik-rofokusnoi rentgenografii dlya kontrolya kachestva plodov i semyan reproduktivnykh diaspor [Application of microfocus X-ray method to control the quality of fetuses and se-eds of reproductive diaspores]. *Biotekhnosfera*. 2015; 6: 16–19. (In Rus.)
7. Bezukh E.P., Natrakhov N.N., Bessonov V.B. Primenenie metoda mikrofokusnoy rentgenografii dlya kontrolya kachestva semyan plodovykh kul'tur [The use of microfocus X-ray imaging to control the quality of fruit seeds]. *Teoreticheskiy i nauchno-prakticheskiy zhurnal*. 2016; 89: 106–112. (In Rus.)
8. Arkhipov M.V., Priyatkin N.S., Bondarenko A.S. Primenenie metodov myagkolu-chevoy rentgenografii i gazorazryadnoy vizualizatsii dlya otsenki kachestva semyan eli evropeyskoy [The use of soft-beam X-ray and gas discharge imaging techniques to assess the quality of European spruce seeds]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gos. agrounivesti-teta*. 2013; 31: 62–66. (In Rus.)
9. André Dantas de Medeiros, Manuel Jesús Zavala-León, Laércio Junio da Silva, Ariadne Morbeck Santos Oliveira, Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias. Relationship between internal morphology and physiological quality of pepper seeds during fruit ma-turation and storage. *Agronomy Journal*. 2020; 112 (1): 25–35.

10. *Érica F. Leão-Araújo, Francisco G. Gomes Jr., Anderson R. de Silva, Nei Peixoto, Eli Regina B. de Souza.* Evaluation of the Desiccation of *Campomanesia adamantium* Seed Using Radiographic Analysis and the Relation with Physiological Potential. *Agronomy Journal*. 2019; 111 (2): 592–600.
11. *Sokolova D.V.* Sozdanie i otsenka samoopylennykh liniy razdel'noplodnoy stolovoy svekly [Creation and evaluation of self-op lines of separate dining beet]. Self-review of PhD (Bio) thesis. St. Petersburg. 2011: 22. (In Rus.)
12. *Musaev F.B.* Nauchno-prakticheskie aspekty sovershenstvovaniya kontrolya kachestva semyan ovoshchnykh kul'tur [Scientific and practical aspects of improving the quality control of vegetable seeds]. Self-review of DSc (Ag) thesis. Moscow. 2018: 50. (In Rus.)
13. *Agafonov N.S., Bogomolov M.A.* Rentgenograficheskoe issledovanie semyan sakharnoy svekly [X-ray study of sugar beet seeds]. *Sakharnaya svekla*. 1982; 1: 40. (In Rus.)
14. *Lepetilo N.N., Melent'eva S.A., Paramanchuk T.A. et al.* Rentgenograficheskiy analiz semyan sakharnoy svekly [X-ray analysis of sugar beet seeds]. *Nauchnoe obespechenie otrasli sveklovodstva. Mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Nesvizh, 28–29 noyabrya 2013 g. Minsk: Belaruskaja navuka*. 2013: 61–67. (In Rus.)
15. *Podvigina O.A., Potrakhov N.N., Bartenev I.I.* Metodika primeneniya rentgenograficheskogo metoda otsenki kachestva semyan sakharnoy svekly [Method of using X-ray method to assess the quality of sugar beet seeds]. *Ramon': Voronezhskiy TsNTI – filial FGBU "REA" Minenergo Rossii*. 2021: 20. (In Rus.)
16. *Barshtein L.A., Gizbulin N.G.* Metodika issledovaniy po sakharnoy svekly [Sugar beet research method]. *Kiev: VNIS*. 1986: 263. (In Rus.)

**Подвигина Ольга Анатольевна**, ведущий научный сотрудник отдела семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с элементами механизации, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», д-р с.-х. наук; Российская Федерация (Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС; e-mail: [vniiss@mail.ru](mailto:vniiss@mail.ru)).

**Бартенев Игорь Иванович**, заведующий отделом семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с элементами механизации, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», канд. техн. наук; Российская Федерация (Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС; e-mail: [vniiss@mail.ru](mailto:vniiss@mail.ru)).

**Новикова Алла Владимировна**, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции, канд. с.-х. наук (e-mail: [novikova\\_a@rgau-msha.ru](mailto:novikova_a@rgau-msha.ru); тел.: (499) 977–10–33).

**Olga A. Podvigina**, Key Research Associate, the Department of Seed Production and Seed Science of Sugar Beets with Elements of Mechanization, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Mazlumov, DSc (Ag) (VNIISS settlement, Ramonsky district, Voronezh region, Russian Federation; E-mail: [vniiss@mail.ru](mailto:vniiss@mail.ru)).

**Igor I. Bartenev**, Head of the Department of Seed Production and Seed Science of Sugar Beets with Elements of Mechanization, All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A.L. Maslumov, PhD (Eng) (VNIISS settlement, Ramonsky district, Voronezh region, Russian Federation; E-mail: [vniiss@mail.ru](mailto:vniiss@mail.ru)).

**Alla V. Novikova**, Associate Professor, the Department of Technology for Storage and Processing of Horticultural and Crop Products, PhD (Ag) (phone: (499) 977–10–33; E-mail: [novikova\\_a@rgau-msha.ru](mailto:novikova_a@rgau-msha.ru)).