

- Nikolayev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich V. S., Anis'kov N. I., Safonova I. V. Adaptivnyy potentsial sortov ovsa selektsii Omskogo agrarnogo nauchnogo tsentra [Adaptive potential of oat varieties of the Omsk Agrarian Scientific Center breeding] // *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 1(50), pp. 42–51.
- Orlyanskiy N. A. Seleksiya i semenovodstvo zernovoy kukuruzy na povysheniye adaptivnosti v usloviyakh Tsentral'nogo Chernozem'ya: avtoref. diss. ... d-ra s.-kh. nauk: 06.01.05 [Breeding and seed production of grain corn to increase adaptability in the conditions of the Central Black Earth Region]. Belgorod, 2004, 42 p.
- Udachin R. A., Golovchenko A. P. Metodika otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov pshenitsy [Methodology for assessing the ecological plasticity of wheat varieties] // *Seleksiya i semenovodstvo*, 1990, no. 5, pp. 2–6.
- Fomina M. N. Urozhaynost' plenchatykh sortov ovsa i osobennosti yeye formirovaniya v usloviyakh lesostepi Tyumenskoy oblasti [Productivity of filmy oat varieties and peculiarities of its formation in the forest-steppe conditions of the Tyumen region] // *Dostizheniye nauki i APK*, 2016, no. 12, pp. 24–27.
- Khangil'din V. V., Asfondiyarova R. R. Proyavleniye gomeostaza u gibridov gorokha posevnogo [Manifestation of homeostasis in pea hybrids] // *Biologicheskiye nauki*, 1977, no. 1, pp. 116–121.
- Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop. Sci.* 1966. Vol. 6. no. 1. pp. 36–40.
- Lewis D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // *Heredity*. 1954. no. 8. pp. 333–356.
- Wricke C. Under line method zur Ermittlung der ecologischen Strenbreite in Feldversuchen // *Z. Pflanzenerziehung*. 1962. Vol. 47. no. 1. pp. 92–96.

УДК 633.111.1: 631.53.011.2: 57.081.23

DOI: 10.25695/AGRPH.2022.01.07

О СВЯЗИ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА**ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ**

Т. С. Рутковская¹, М. В. Архипов¹, Е. Н. Пасынкова², Н. С. Прияткин¹, П. Ю. Конончук¹,
Н. В. Кочерина¹, К. В. Симон³

¹ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14,
E-mail: tatiana-ekan@yandex.ru

²Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха»
188338, п. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область

³ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого,
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: prini@mail.ru

Поступила в редакцию 18 января 2022 г., принята к печати 24 февраля 2022 г.

Проведено комплексное экспериментальное исследование образцов семян пшеницы сорта Дарья (50 образцов), различающихся годом репродукции и технологией выращивания. Для реализации метода микрофокусной съемки семян пшеницы использован аппаратно-программный комплекс на основе передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 для контроля качества семян и зерна. Определение массовой доли компонентов в образцах зерна пшеницы осуществлялось традиционными лабораторными методами в соответствии с требованиями действующих ГОСТ. Посевные качества семян пшеницы оценивались согласно ГОСТ 12038-84 с дополнительной морфометрией проростков (длина корня, длина ростка). Установлен ряд взаимосвязей рентгеновских и биохимических характеристик зёрен и их посевных качеств. В частности, установлены корреляции между показателями натуры зерна и длины ростка ($r=0,77$), содержания фосфора и длины ростка ($r=-0,69$), сырой золы и длины ростка ($r=-0,74$), округлости семян и длины ростка ($r=-0,47$), суммарного количества скрытых дефектов и длины ростка ($r=-0,38$). Разработанный подход в дальнейшем может служить дополнительным инструментом в экспресс-оценке посевных качеств семян пшеницы.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, семена пшеницы, посевные качества семян, биохимические показатели качества зерна, микрофокусная рентгенография, анализ изображений семян

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SOWING QUALITIES OF SEEDS AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF THE QUALITY OF SPRING WHEAT GRAIN

T. S. Rutkovskaya¹, M. V. Arkhipov¹, E. N. Pasyunkova², N. S. Priyatkin¹, P. Yu. Kononchuk¹,
N. V. Kocherina¹, K. V. Simon³

¹Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdanskiy pr., St Petersburg, 195220,
E-mail: tatiana-ekan@yandex.ru

²Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre,
Belogorka, Gatchinsky District, Leningrad Region, 188338

³Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University,
29 Polytechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251
E-mail: prini@mail.ru

A comprehensive experimental study of Daria wheat grain seed samples (50 samples), differing by year of reproduction and cultivation technology, was carried out. To implement the method of microfocus imaging of wheat seeds a hardware-software complex based on a mobile X-ray diagnostic unit PRDU-02 was used to control the quality of seeds and grains. Determination of the mass fraction of components in wheat grain samples was carried out using traditional laboratory methods in accordance with the requirements of current GOST. Qualities of wheat seeds was evaluated according to GOST 12038-84 with additional morphometry of seedlings (root length, sprout length). A number of correlations between X-ray and biochemical characteristics of grain and their seeding qualities were established. Particularly, correlations between the indices of kernel fatness and sprout length ($r=-0,77$), phosphorus content and sprout length ($r=-0,69$), crude ash and sprout length ($r=-0,74$), roundness of seeds and sprout length ($r=-0,47$), total number of latent defects and sprout length ($r=-0,38$) were established. The developed approach can further serve as an additional tool in express-evaluation of sowing qualities of wheat seeds.

Key words: spring soft wheat, wheat seeds, seed sowing qualities, biochemical indices of grain quality, microfocus x-ray, seed image analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Разнокачественность или неоднородность свойств зерна (семян) является объективной реальностью (закономерностью), зависящей от биологических особенностей растений, многообразия почвенно-климатических факторов и технологических приемов возделывания зерновых культур (Пасынков, Пасынкова, 2018). В ряде работ отмечается, что матричная, генетическая и экологическая разнокачественность семян определяет их неодинаковую ответную реакцию при последующем посеве. Как отмечает О. А. Некрасова, на изменение показателей качества семян пшеницы больше всего влияют сортовые особенности, условия обитания, система возделывания и агротехнические мероприятия, в том числе азотные удобрения (Некрасова и др., 2021).

Зерновки, относящиеся к разным фракциям по крупности, существенно различаются по содержанию белка, натуре, энергии прорастания и всхожести (Мухин, Гущина, 2000; Лубников, 2001; Пасынкова и др., 2012). Отбор семян для посева исключительно по крупности, без учета их формы, не отражается на продуктивности растений (Кирпа, 2007). Напротив, крупносемянность связана с повышенной требовательностью к агротехнике (Сечняк, 1983; Gray, Ward, 1985).

Известно, что масса, геометрические размеры и форма семени являются внешним проявлением процессов синтеза, превращения, распределения и накопления органических веществ в эмбриональных и запасающих тканях. Накопление веществ происходит при формировании семян, во время прорастания запасные вещества утилизируются для развития

проростка. Интенсивность этих процессов во многом определяет дальнейший рост растений и их продуктивность. В связи с этим, характер метаболизма органических веществ при прорастании семян объективно отражает потенциал их биологических свойств (Макрушин, Макрушина, 2009).

Наряду с этим, важнейшее значение имеет не только разнокачественность семян по размерным признакам и форме, но и их скрытой дефектности, оцениваемой стандартизованным методом микрофокусной рентгенографии (Архипов, Потрахов, 2008; ГОСТ Р 59603-2021). Имеются литературные данные о связи скрытой дефектности семян не только с посевными (Архипов, 2021), но и биохимическими показателями качества зерна, в частности, снижением массовой доли белка, массовой доли клейковины, числом падения (Леонова, 2011).

С учетом вышеизложенного была проведена сравнительная оценка посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна пшеницы для прогноза их хозяйственной пригодности.

Цель исследований: изучение связи посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы с целью оценки их хозяйственной пригодности.

Задачи исследований:

- разработка адаптированной методики каскадной инструментальной оценки посевных качеств семян.

- получение «параметрического паспорта» образцов семян.

- подбор регрессионных моделей, отражающих связь посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили образцы семян пшеницы сорта Дарья (50 образцов), происхождение – Ленинградский НИИСХ «Белогорка», различающихся годом репродукции и технологией выращивания (доза внесения азота).

Физические показатели (масса 1000 зерен, натура) определяли с использованием весов ВМ512 и пурки литровой ПХ-1 (ГОСТ 10842-2017, ГОСТ 10840-89). Содержание белка определяли в соответствии с ГОСТ 10846-91, методом Кьельдаля с использованием полуавтоматической установки АКВ-10, крахмала поляриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 10845-98, клейковины ручной отмывкой в соответствии с ГОСТ Р 54478-2011, сырой золы – термогравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 10847-2019, фосфора – фотометрическим методом (спектрофотометр ПЭ-3000УФ) после сухого озоления в соответствии с ГОСТ 26657-97, калия, кальция, магния – методом атомно-абсорбционной спектофотометрии (атомно-абсорбционный спектрофотометр АА 240FS) после сухого озоления в соответствии с ГОСТ 32343-2013, серы – турбидиметрическим методом (спектрофотометр ПЭ-3000УФ) в соответствии с Методическими указаниями по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения / Минсельхоз РФ. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004 г.) Определение указанных показателей проводилось с использованием для внутрилабораторного контроля отраслевого стандартного образца состава пшеницы ОСО-207-2015.

Стекловидность зерна измеряли с помощью диафаноскопа «Янтарь», производства ООО «Экан», Санкт-Петербург, Россия.

Цифровые изображения семян были получены с использованием цифрового планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов *.TIFF. Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян был выполнен на базе Агрофизического научно-исследовательского института с использованием серийного программного обеспечения «Argus-ВЮ», производства ООО «АргусСофт», г. Санкт-Петербург, Россия. Алгоритмы и формулы расчета параметров приведены ранее (Мусаев и др., 2018).

Цифровые рентгеновские изображения семян были получены с использованием передвижной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02, производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», Санкт-Петербург, Россия. Расшифровку цифровых рентгеновских изображений зерен осуществляли с использованием визуального (ГОСТ 59603-2021) и автоматического анализа с использованием программного обеспечения «ВидеоТесТ-Морфология» («Аргус-ВЮ»), производства ООО «АргусСофт», Санкт-Петербург, Россия, методика описана ранее (Архипов и др., 2020).

Проращивание семян осуществляли, согласно ГОСТ 12038-84, рулонным способом, с дополнительной компьютерной морфометрией

проростков (длина корня, длина ростка), методика описана ранее (Прияткин и др., 2018).

Статистический анализ выполнен в программе Statistica 10, с применением корреляционного анализа Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследований была разработана адаптированная методика пробоподготовки, рентген-съемки и анализа (визуального и автоматического) анализа скрытой дефектности семян. Основным требованием к разработанной адаптированной методике являлась такая пробоподготовка образца семян зерновых культур, которая позволяла бы последовательно осуществлять цифровое сканирование, рентгеновскую съемку, и съемку на диафаноскопе, при этом не требовались дополнительные манипуляции с пробами (Прияткин и соавт., 2019).

В ходе реализации эксперимента были получены экспериментальные данные по группам («параметрический паспорт» зерновки):

1) Оптический анализ:

О-Площадь, мм², О-Периметр, мм, О-Длина, мм, О-Ширина, мм, О-Средний размер, мм, О-Фактор круга, относительные единицы, О-Фактор эллипса, относительные единицы, О-Округлость, относительные единицы, О-Удлиненность, относительные единицы, О-Ср. яркость, единицы яркости, О-Отклонение яркости, единицы яркости, О-Минимальная яркость, единицы яркости, О-Максимальная яркость, единицы яркости, О-Интервал яркости, единицы яркости, О-Интегральная яркости, единицы яркости, О-Оптическая плотность, относительные единицы. О-Изрезанность, относительные единицы, О-Красный, единицы яркости, О-Зеленый, единицы яркости, О-Синий, единицы яркости, О-Тон, относительные единицы, О-Насыщенность, относительные единицы, Стекловидность, %.

2) Рентгеновский анализ:

Р-Площадь, мм², Р-Периметр, мм, Р-Длина, мм, Р-Ширина, мм, Р-Средний размер, мм, Р-Фактор круга, относительные единицы, Р-Фактор эллипса, относительные единицы, Р-Округлость, относительные единицы, Р-Удлиненность, относительные единицы, Р-Средняя яркость, единицы яркости, Р-Отклонение яркости, единицы яркости, Р-Минимальная яркость, единицы яркости, Р-Максимальная яркость, единицы яркости, Р-Интервал яркости, единицы яркости, Р-Интегральная яркости, единицы яркости, Р-Поврежденность грызущими насекомыми %, Р-Поврежденные клопом Вредная Черепашка, %; Р-Пораженные гельминтоспориозом, %, Р-Со скрытых прорастанием, %, Р-Грешиноватые, %, Р-Суммарное количество дефектов, %.

3) Биохимический анализ: Масса 1000 зерен, Натура, Белок, Клейковина, ИДК-1, Р, К, Са, Mg, S, Сырая Зола.

4) Анализ посевных качеств: энергия прорастания, %, всхожесть, %, длина корня, мм, длина ростка, мм.

В ходе проведения анализа был установлен ряд взаимосвязей оптических, рентгеновских,

биохимических характеристик семян и их посевных качеств. Данные представлены на рисунках 1–6.

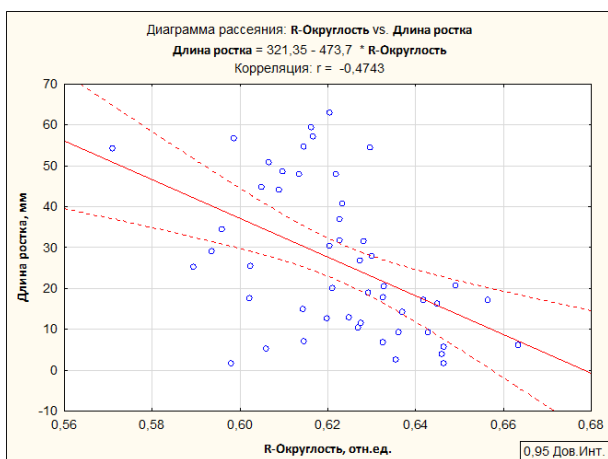


Рис. 1. Связь показателя округлости семян, оцениваемой по рентген-проекциям, с длиной ростка (б) $r=-0,47$, при $p<0,05$

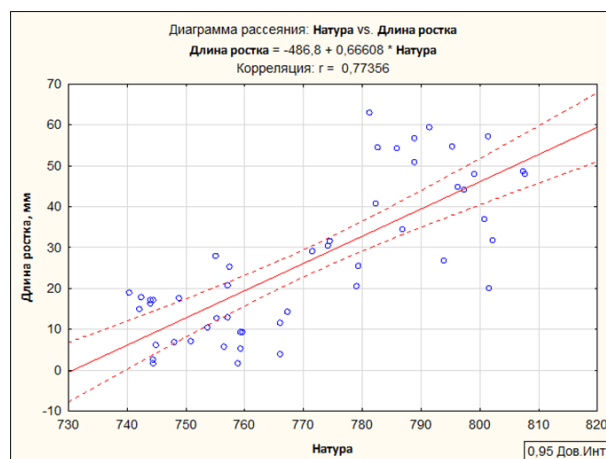


Рис. 2. Связь показателя натурности с длиной ростка (б) $r=0,77$, при $p<0,05$

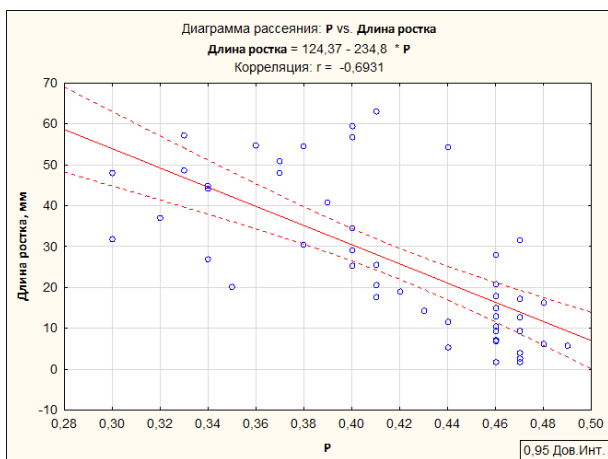


Рис. 3. Связь показателя содержания фосфора с длиной ростка (б) $r=-0,69$, при $p<0,05$

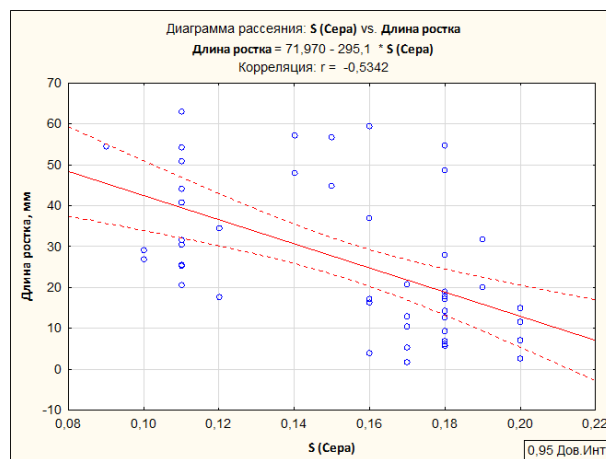


Рис. 4. Связь показателя содержания серы с длиной ростка (б) $r=-0,53$, при $p<0,05$

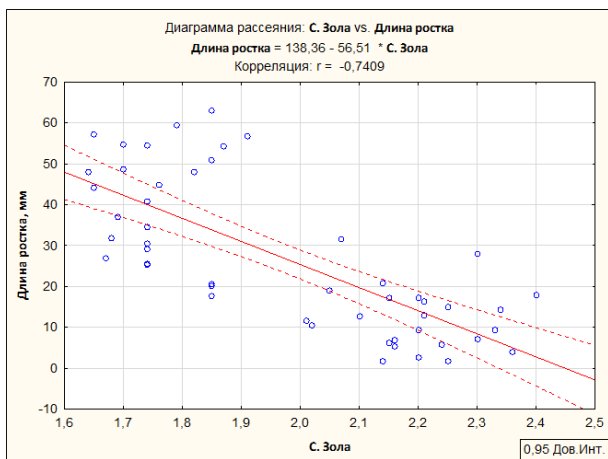


Рис. 5. Связь показателя содержания сырой золы с длиной ростка (б) $r=-0,74$, при $p<0,05$

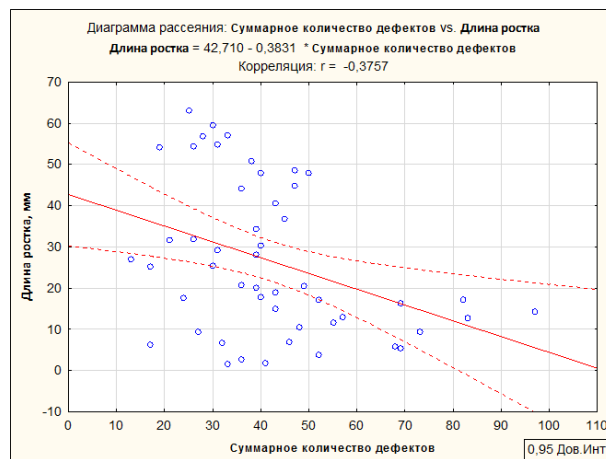


Рис. 6. Связь показателя суммарного количества скрытых дефектов с длиной ростка (б) $r=-0,38$, при $p<0,05$

Также выявлены корреляции слабой степени между длиной корня, длиной ростка и следующими

показателями: длина семени ($r=0,29$, $r=0,29$); удлинённость ($r=0,30$, $r=0,37$); масса 1000 зерен

($r=0,31$, $r=0,30$); скрытое прорастание ($r=-0,29$, $r=-0,34$). Кроме того, найдены зависимости длины ростка от следующих показателей: содержание клейковины ($r=0,34$); содержание кальция ($r=0,33$); пораженность гелиминтоспориозом ($r=-0,34$).

Других значимых корреляций, в частности между длиной корня, длиной ростка и стекловидностью, длиной корня, длиной ростка и яркостными параметрами цифровых рентгеновских изображений, а также длиной корня, длиной ростка и оптическими (цветовыми) показателями поверхности зерен обнаружено не было.

Данные количественной меры достоверной связи длины корня и длины ростка с признаками и их качественная характеристика приведена в табл. 1 и 2.

Установлено, что наибольшая степень влияния исследованных признаков на длину корня и ростка

была выражена по показателям: натура, сырая зола, содержание фосфора.

ВЫВОДЫ

Разработана адаптированная методика каскадной инструментальной оценки посевных качеств семян.

Получен «параметрический паспорт» образцов семян.

Подобраны регрессионные модели, отражающие связь посевных качеств семян и биохимических показателей качества зерна.

Разработанный подход в дальнейшем может служить дополнительным инструментом в экспресс-оценке посевных качеств семян пшеницы.

Таблица 1. Количественная мера достоверной связи длины корня с признаками ($p<0,05$) и их качественная характеристика

Признаки	r^2 коэффициент детерминации	p значимость	Влияние признака на длину корня, %	Качественная характеристика силы связи*
R-Длина, мм	0,0822	0,043	8,22	очень слабая
R-Округлость, отн.ед.	0,1545	0,005	15,45	слабая
R-Удлиненность, отн.ед.	0,0896	0,035	8,96	очень слабая
Масса 1000 зерен	0,0946	0,030	9,46	очень слабая
Натура	0,4535	0,000	45,35	умеренная
P	0,3944	0,000	39,44	умеренная
S (Сера)	0,2086	0,001	20,86	слабая
C. Зола	0,4296	0,000	42,96	умеренная
Скрытое прорастание	0,0844	0,041	8,44	очень слабая
Суммарное кол-во дефектов	0,0977	0,027	9,77	очень слабая

* – качественная оценка дана по шкале Чеддока

Таблица 2. Количественная мера достоверной связи длины корня с признаками ($p<0,05$) и их качественная характеристика

Признаки	r^2 коэффициент детерминации	p значимость	Влияние признака на длину ростка, %	Качественная характеристика силы связи*
R-Длина, мм	0,0840	0,041	8,4	очень слабая
R-Округлость, отн.ед.	0,2249	0,001	22,49	слабая
R-Удлиненность, отн.ед.	0,1344	0,009	13,44	слабая
Масса 1000 зерен	0,0902	0,034	9,02	очень слабая
Натура	0,5984	0,000	59,84	заметная
Клейковина	0,1145	0,016	11,45	слабая
P	0,4804	0,000	48,04	умеренная
Ca	0,1056	0,021	10,56	слабая
S (Сера)	0,2854	0,000	28,54	слабая
C. Зола	0,5489	0,000	54,89	заметная
Скрытое прорастание	0,1129	0,017	11,29	слабая
Суммарное кол-во дефектов	0,1412	0,007	14,12	слабая

* – качественная оценка дана по шкале Чеддока

Список литературы

- Архипов М. В. Повышение эффективности оперативного контроля при экспертной оценке качества зерна // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 19–27.
- Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. М.: Изд-во «Технолит». 192 с.
- Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Карамышева А. В., Трофимук Л. П., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б., Щукина П. А. Методика микрофокусной рентгенографии для выявления скрытой дефектности семян древесных лесных пород и других видов сосудистых растений // Журнал технической физики. 2020. Т. 90. № 2. С. 338–346.
- ГОСТ 59603-2021. Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии. М.: Стандартинформ. 16 с.
- Кирпа М. Я. Теоретичне обґрунтування процесів післязбіральної обробки та методів контролю якості насіння кукурудзи // Наук. Праці ПФНУБіП України «КАТУ». Вип. 127. С. 244–247.
- Леонова С. А. Развитие системы оценки и формирования технологических свойств пшеницы от селекции до товарного производства и переработки. Автореферат дис... д.т.н. М., 2011. 48 с.
- Лубников С.И. Определение разнокачественности семян методом диэлектрического фракционирования: автореф. дис. ... к.т.н. М., 2001. 21с.
- Макрушин Н. М., Макрушина Е.М. Важнейшие принципы прогнозирования биологических свойств и отбора семян // Наукові праці ПФ «КАТУ» НАУ. Вип. 127. Сімферополь, 2009. С. 48–53.
- Мусаев Ф. Б., Солдатенко А. В., Балеев Д. Н., Прияткин Н. С., Щукина П. А. Исследование разнокачественности семян овощных культур с использованием компьютерного анализа изображений // Агрофизика. 2019. № 1. С. 38–44.
- Мухин В. П., Гушина Е. О. Реакция разнокачественных семян яровой пшеницы на разный уровень минерального питания // Известия ТСХА, 2000. Вып. 2. С. 57–80.
- Некрасова О. А., Кравченко Н. С., Игнатъева Н. Г., Копусь М. М., Марченко Д. М. Седиментационная оценка и показатели качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5. С. 35–40.
- Пасынков А. В., Пасынкова Е. Н. Эффективность фракционирования зерна озимой ржи, яровой пшеницы и пивоваренного ячменя // В кн.: Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. Коллективная монография: в 2-х томах. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский аграрный научный центр». Иваново, 2018. С. 225–237.
- Пасынкова Е. Н., Пасынков А. В., Андреев В. Л., Завалин А. А. Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы при его фракционировании // Агрофизика. 2012. № 4. С. 25–33.
- Прияткин Н. С., Архипов М. В., Гусакова Л. П., Бойцов А. А., Потрахов Н. Н., Староверов Н. Е., Щукина П. А., Капусткина А. В. Автоматический анализ и классификация цифровых рентгеновских и газоразрядных изображений семян пшеницы, поврежденных клопом вредная черепашка, для прогноза их посевных качеств // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2018. № 6. С. 60–67.
- Прияткин Н. С., Пасынков А. В., Баженова И. А., Симон К. В., Рутковская Т. С. Методика комплексной оценки физических характеристик, посевных и товарных качеств зерен пшеницы // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, 18–23 ноября 2019 г. Институт биомедицинских систем и биотехнологий. В 2-х ч. Ч. 1. Высшая школа биотехнологий и пищевых производств. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С. 82–84.
- Сечняк Л. К., Киндрук Н. А., Слюсаренко О. К., Иващенко В. Г., Кузнецов Е. Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 350 с.
- Gray D., Ward J. A. Relationship in seed and characteristics of endosperm by carrot // Annals of Applied Biology, v. 106, 1985, no. 2, pp. 379–384.

References

- Arkhipov M. V. Povyshenie effektivnosti operativnogo kontrolya pri ekspertnoj ocenke kachestva zerna [Improving efficiency of operational control in the expert evaluation of grain quality] // *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2021, no. 2(26), pp. 19–27.
- Arkhipov M. V., Potrahov N. N. *Mikrofokusnaia rentgenografiia rastenii* [Microfocal X-ray analysis of plants]. Saint-Peterburg: Tehnolit, 2008. 192 p.
- Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Gusakova L. P., Karamysheva A. V., Trofimuk L. P., Potrahov N. N., Bessonov V.B., Shchukina P. A. Metodika mikrofokusnoj rentgenografii dlya vyyavleniya skrytoj defektnosti semyan drevesnyh lesnyh porod i drugih vidov sosudistyh rastenij [Microfocus x-ray method for detecting hidden defects in seeds of woody forest species and other types of vascular plants] // *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2020, v. 90, no. 2, pp. 338–346.
- ГОСТ 59603-2021. *Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Metody cifrovoj rentgenografii*. [Agricultural seeds. Methods of digital x-ray]. Moscow: Standartinform. 16 p.
- Кирпа М. Я. *Teoretichne obgruntovannia protsessiv pislyazbiral'noi obrobki ta metodiv kontrolia yakosti nasinnia kukurudzi* [Theoretical grounding of the process in pislyazbiral processing and methods for controlling the quality of corn] // Наук. Праці ПФНУБіП України «КАТУ». Вип. 127. С. 244–247.

- Leonova S. A. *Razvitie sistemy ocenki i formirovaniya tekhnologicheskikh svoystv pshenicy ot selekcii do tovarnogo proizvodstva i pererabotki* [Development of the system of evaluation and formation of technological properties of wheat from breeding to commercial production and processing.] Avtoreferat dis. d.t.n. Moscow, 2011. 48 p.
- Lubnikov S. I. *Opreделение raznokachestvennosti semyan metodom dielektricheskogo frakcionirovaniya* [Determination of seed variability by dielectric fractionation method]. Avtoref. dis. k.t.n., Moscow, 2001. 21 p.
- Makrushin N. M., Makrushina E. M. Vazhnejshie principy prognozirovaniya biologicheskikh svoystv i otbora semyan [The most important principles of predicting biological properties and seed selection] // *Naukovi praci PF «KATU» NAU*. Vip. 127. Simferopol', 2009. 48–53 pp.
- Musaev F.B., Soldatenko A.V., Baleev D.N., Priyatkin N.S., SHCHukina P.A. Issledovanie raznokachestvennosti semyan ovoshchnyh kul'tur s ispol'zovaniem komp'yuternogo analiza izobrazhenij [Studies of vegetable seeds heterogeneity with use of computer image analysis] // *Agrofizika*, 2019, no. 1, pp. 38–44.
- Muhin V. P., Gushchina E. O. Reakciya raznokachestvennyh semyan yarovoj pshenicy na raznyj uroven' mineral'nogo pitaniya [Response of different quality spring wheat seeds to different levels of mineral nutrition] // *Izvestiya TSKHA*, 2000, issue 2, pp. 57–80.
- Nekrasova O. A., Kravchenko N. S., Ignat'eva N. G., Kopus' M. M., Marchenko D. M. Sedimentacionnaya ocenka i pokazateli kachestva zerna sortov ozimoj myagkoj pshenicy [Sedimentation evaluation and grain quality indices of winter soft wheat varieties] // *Zernovoe hozyajstvo Rossii*, 2021, no. 5, pp. 35–40.
- Pasynkov A. V., Pasynkova E. N. Effektivnost' frakcionirovaniya zerna ozimoj rzhi, yarovoj pshenicy i pivovarennoy yachmenya [Efficiency of grain fractionation of winter rye, spring wheat and malting barley] // V knige: *Sovremennye tendencii v nauchnom obespechenii APK Verhnevolzhskogo regiona. Kollektivnaya monografiya: v 2 tomah. Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Verhnevolzhskij agrarnyj nauchnyj centr»*. Ivanovo, 2018, 225–237 p.
- Pasynkova E. N., Pasynkov A. V., Andreev V. L., Zavalin A. A. Izmenenie pokazatelej kachestva zerna yarovoj pshenicy pri ego frakcionirovanii [Changes in quality indicators of spring wheat grain during its fractionation] // *Agrofizika*, 2012, no. 4, pp. 25–33.
- Priyatkin N. S., Arhipov M. V., Gusakova L. P., Bojcov A. A., Potrahov N. N., Staroverov N. E., SHCHukina P. A., Kapustkina A. V. Avtomaticheskij analiz i klassifikaciya cifrovyyh rentgenovskikh i gazorazryadnyh izobrazhenij semyan pshenicy, povrezhdennyh klopom vrednaya cherepashka, dlya prognoza ih posevnyh kachestv [The automatic analysis and classification of digital x-ray and gas discharge images of wheat seeds damaged by corn bug for the forecast of their sowing qualities] // *Izvestiya SPbGETU LETI*, 2018, no. 6, pp. 60–67.
- Priyatkin N. S., Pasynkov A. V., Bazhenova I. A., Simon K. V., Rutkovskaya T. S. Metodika kompleksnoj ocenki fizicheskikh harakteristik, posevnyh i tovarnyh kachestv zeren pshenicy [Method of complex evaluation of physical characteristics, sowing and marketable qualities of wheat grains] // *Nedelya nauki SPbPU: materialy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, 18–23 noyabrya 2019 g. Institut biomeditsinskih sistem i biotekhnologij. V 2 ch. CH. 1. Vysshaya shkola biotekhnologij i pishchevyh proizvodstv. Saint-Peterburg.: POLITEKH-PRESS, 2019. 82–84 pp.*
- Sechnyak L. K., Kindruk N. A., Slyusarenko O. K., Ivashchenko V. G., Kuznecov E. D. *Ekologiya semyan pshenicy*. Moscow: Kolos, 1983. 350 p.
- Gray D., Ward J. A. Relationship in seed and characteristics of endosperm by carrot // *Annals of Applied Biology*, v. 106, 1985, no. 2, pp. 379–384.