

УДК 631.53.011 : 635.25/.26 : 004.932.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-388-11-139-144

Ф.Б. Мусаев¹ ✉
 М.И. Иванова²
 Н.С. Прияткин³

¹Федеральный научный центр
 овощеводства, пос. ВНИИССОК,
 Одинцовский р-н, Московская обл., Россия

²Всероссийский научно-
 исследовательский институт
 овощеводства — филиал Федерального
 научного центра овощеводства,
 дер. Верея, Раменский р-н,
 Московская обл., Россия

³Агрофизический научно-
 исследовательский институт,
 Санкт-Петербург, Россия

✉ musayev@bk.ru

Поступила в редакцию: 05.09.2024

Одобрена после рецензирования: 02.10.2024

Принята к публикации: 17.10.2024

© Мусаев Ф.Б., Иванова М.И., Прияткин Н.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-388-11-139-144

Farkhad B. Musaev¹ ✉
 Maria I. Ivanova²
 Nikolay S. Priyatkin³

¹Federal scientific vegetable center,
 VNISSOK, Moscow region, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute
 of Vegetable Growing — branch of FSBSI
 "Federal Scientific Vegetable Center",
 Vereya, Moscow region, Russia

³Agrophysical Research Institute,
 Saint-Petersburg, Russia

✉ musayev@bk.ru

Received by the editorial office: 05.09.2024

Accepted in revised: 02.10.2024

Accepted for publication: 17.10.2024

© Musaev F.B., Ivanova M.I., Priyatkin N.S.

Цифровые технологии в оценке качества семян овощных культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Форма, определенная его линейными параметрами, цвет поверхности — важнейшие характеристики качества семян. Метод оптической визуализации в сочетании с автоматическим анализом цифровых сканированных изображений позволяет статистически достоверно различать семена овощных культур по размерным и цветовым параметрам. В Федеральном научном центре овощеводства совместно с сотрудниками Агрофизического научно-исследовательского института и ООО «АргусСофт» проводится разработка современного инструментального метода цифровой морфометрии семян.

Цели работы — определить морфометрические параметры семян трех овощных культур путем цифрового анализа сканированных изображений и установить их связь с жизнеспособностью и качественными показателями.

Методы. Цифровые изображения семян были получены с использованием планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов JPG, разрешение 600 DPI. Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян выполнен на базе Агрофизического НИИ с использованием программного обеспечения Argus-BIO производства ООО «АргусСофт», г. Санкт-Петербург.

Результаты. Показано, что путем отбора семян лука репчатого и редиса по размеру и плотности можно значительно улучшить их качественные показатели: до 75,5% всхожести у лука, до 100% — у редиса при максимальной выровненности партии, оцененной методом цифровой морфометрии. Определена идеальная форма для семян капусты: у полноценных семян капусты индекс округлости должен составить больше 0,9. Дальнейшее развитие методики позволит определить оптимальные параметры размера и формы семян для различных видов овощных культур и увязать их с качественными показателями.

Ключевые слова: цифровая морфометрия семян, RGB-визуализация, линейные параметры семян, цветовые характеристики семян, анализ изображений семян, фенотипирование

Для цитирования: Мусаев Ф.Б., Иванова М.И., Прияткин Н.С. Цифровые технологии в оценке качества семян овощных культур. *Аграрная наука*. 2024; 388(11): 139–144.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-139-144>

Digital technologies in vegetable seed quality assessment

ABSTRACT

Relevance. The shape determined by its linear parameters, the color of the surface are the most important characteristics of seed quality. The optical imaging method combined with the automatic analysis of digital scanned images allows statistically reliable differentiation of vegetable seeds by size and color parameters. The Federal Scientific Center of Vegetable Growing, together with employees of the Agrophysical Research Institute and "ArgusSoft" LLC, is developing a modern instrumental method of digital morphometry of seeds. *The purpose of the work* is to determine the morphometric parameters of the seeds of three vegetable crops by digitally analyzing scanned images and establish their relationship with viability and quality indicators.

Methods. Digital images of the seeds were obtained using an HP Sasanjet 200 flatbed scanner, JPG file format, 600 DPI resolution. Morphometric analysis of digital scanned images of seeds was performed on the basis of the Agrophysical Research Institute using Argus-BIO software manufactured by "ArgusSoft" LLC, St. Petersburg.

Results. It is shown that by selecting onion and radish seeds in size and density, their quality indicators can be significantly improved: up to 75.5% germination in onions, up to 100% in radishes with maximum batch alignment estimated by digital morphometry. The ideal shape for cabbage seeds has been determined: for full-fledged cabbage seeds, the roundness index should be more than 0.9. Further development of the technique will allow determining the optimal parameters of the size and shape of seeds for various types of vegetable crops and linking them with qualitative indicators.

Key words: Digital seed morphometry, RGB imaging, seed linear parameters, seed color characteristics, seed image analysis, phenotyping

For citation: Musaev F.B., Ivanova M.I., Priyatkin N.S. Digital technologies in vegetable seed quality assessment. *Agrarian science*. 2024; 388(11): 139–144 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-139-144>

Введение/Introduction

Семена сельскохозяйственных культур — важнейшие и основные компоненты сельского хозяйства. Получение качественных семян остается основной целью современных селекционных программ [1]. От «Селекции 1.0» до «Селекции 4.0» со временем произошли значительные изменения. В «Селекции 1.0» используется опыт фермеров для субъективного отбора семян. «Селекция 4.0» (Россия) сосредоточена на сборе данных и междисциплинарных исследованиях (например, науке о жизни и информатике) [2]. Независимо от этой эволюции фенотипы семян всегда были наиболее непосредственными проявлениями селекции [3].

Фенотипы семян в первую очередь включают массу, цвет, размер, форму и количество [4]. Невооруженным глазом обычно можно увидеть многочисленные внешние фенотипы. Традиционные методы тестирования семян основаны на ручных методах измерения и сенсорной оценке количественных факторов, цвета, формы. Тем не менее эти критерии оценки часто противоречат друг другу. Кроме того, требуется много времени и усилий [5].

Для изучения видимой морфологии семян невооруженным глазом изображение часто заменяют красно-зелено-синим (RGB). RGB-визуализация, как один из репрезентативных цифровых методов, быстро используется в анализе фенотипа семян благодаря их бесконтактным и высокопроизводительным измерительным характеристикам [6]. По сравнению с традиционной оценкой фенотипа вручную методы, основанные на цифровой визуализации, могут разложить сложный состав фенотипа с помощью неразрушающего контроля и устранить субъективные отклонения, вносимые исследованием невооруженным глазом [2]. Эти преимущества могут снизить потери семян и обеспечить получение высококачественной цифровой информации о фенотипе в сочетании с передовыми алгоритмами обработки данных [7].

Цифровые технологии могут помочь в выявлении различных фенотипов семян, повышая эффективность оценки семян и принятия селекционных решений.

В последние десятилетия исследователи приложили значительные усилия к алгоритмам обработки изображений RGB для сбора как можно большего количества данных, что привело к быстрому развитию машинного зрения. Признаки различных классов позволяют различать семена различных сортов [8]. Изображение RGB записывает видимую информацию об объектах, такую как цвет, морфология и текстура, обнаружение очевидных повреждений [9]. В соответствии с неоднородностью и сходством пикселей алгоритмы сегментации могут выполнять быстрый подсчет семян, оценку качества [10] и измерение внешнего размера [11].

В сочетании с функциями распознавания объектов и определения местоположения алгоритмы обнаружения могут точно определять отличие, положение и форму каждого семени, что обеспечивает поддержку принятия решений при сортировке семян и способствует автоматизации всего процесса оценки фенотипа семян [12].

С развитием современных технических и программных средств появилась возможность использования технологии компьютерного анализа изображений семян [13, 14]. Со снижением стоимости цифровых камер и развитием датчиков получение высококачественных

изображений стало более удобным, что сделало RGB-визуализацию широко используемым методом получения признаков семян.

Цифровая визуализация применена на семенах кукурузы для подсчета зерен, измерения размера, идентификации повреждений от шелушения [9], гаплоидной сортировки семян [11], на сое — оценки качества [12], распознавания внешнего вида по качеству [15], оценки всхожести и силы прорастания семян [17], на рапсе — подсчета семян [16] и распознавания сортов, перце — распознавания сортов [17].

Разработка цифровых систем мониторинга семян важна и для зерновых культур, так как позволит проводить более эффективный отбор партий для семенных, продовольственных и фуражных целей. Установлена связь показателей структурной целостности зерновки с ее ростовыми показателями на стартовых этапах прорастания [18].

В Федеральном научном центре овощеводства совместно с сотрудниками Агрофизического НИИ с 2017 г. начаты исследования по разработке метода цифрового морфометрического анализа качества семян овощных культур. Установлено, что метод достоверно различает разнокачественные партии семян по размерным и цветовым характеристикам [19, 20].

Цели работы — определение морфометрических параметров семян овощных культур путем программного анализа цифровых сканированных изображений и установление связи данных показателей с их жизнеспособностью и качественными показателями.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на базе Федерального научного центра овощеводства и Агрофизического НИИ в 2022–2023 гг.

Материалом для исследований были семена сортов и гибридов лука репчатого сорта Классика, редиса сорта Соната и разные сорта и гибриды капусты белокочанной селекции Федерального центра овощеводства и Всероссийского научно-исследовательского института — филиала Федерального научного центра овощеводства и его филиала ВНИИО, Агрофирмы «Поиск» (Россия), полученные у оригинаторов.

Семена лука репчатого и редиса сепарировали на три размерных калибра с использованием набора лабораторных сит ИСО 3310-2 (ООО «ЛабКомплект», Россия), каждый калибр в свою очередь на воздушном сепараторе поделили на две фракции по плотности (легкие, тяжелые). Оценку проводили как по размеру (цифровая морфометрия), так и по массе (масса 1000 семян — ГОСТ 12042¹) калиброванных семян.

Проведен анализ энергии прорастания и всхожести семян лука репчатого, редиса и капусты белокочанной в лабораторных условиях согласно ГОСТ 12038².

Морфометрический анализ проводили по цифровым изображениям семян, полученных с помощью планшетного сканера HP Scanjet 200 (США). Снимки сохранены в формате файлов BMP, TIFF, JPG. Выбор необходимого и достаточного разрешения при сканировании определяли техническими возможностями сканера (максимальное разрешение — 2400 DPI), ресурсами программного обеспечения и персонального компьютера, размерами семян.

¹ ГОСТ 12042–80 Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.

² ГОСТ 12038–84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян выполнили на базе Агрофизического НИИ с использованием серийного программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология» («Аргус-БИО», г. Санкт-Петербург, Россия).

Методика включала в себя подбор контрастного фона, сканирования семян с минимальными теневыми эффектами (рис. 1), калибровку программного обеспечения для привязки к реальным размерным величинам, выбор параметров измерений и непосредственно автоматический анализ цифровых сканированных изображений семян.

По результатам морфометрического анализа программа выдает массив данных по ряду размерных параметров семян (более 20 технических параметров размерных и цветовых характеристик семян: площадь проекции, периметр, длина, ширина, средний размер, округлость, удлиненность и др.).

Посчитан параметр «округлость» (коэффициент округлости) для семян капусты как важный качественный показатель, выражающий отношение периметра семени к периметру круга с той же площадью. Точность измерений составляет 0,001 см.

Данные лабораторных измерений (масса 1000 семян) и анализов (энергия прорастания и всхожесть семян) статистически обработали с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Семена лука репчатого сепарировали на три размерных калибра, каждый калибр в свою очередь поделили на две фракции по плотности, определили массу 1000 семян для каждого калибра и фракции (табл. 1).

Морфометрический цифровой анализ семян лука репчатого позволил выявить степень размерной выровненности семян. Общая фракция семян оказалась совершенно не выровнена по размеру (рис. 2).

Семена по показателю «площадь проекции» колебались от 4,6 до 10,5 мм². Калибровка семян способствовала значительной выровненности фракции: 4,7–8,9 мм — для I фракции, 5,3–9,1 мм — для II фракции, 5,23–9,9 мм — для III фракции.

Размерная выровненность семян (калибровка) имеет важное агрономическое значение. Она позволяет подобрать семена с одинаковой энергией и запасом питательной ткани, обеспечивает точный высев и равномерные всходы растений. Однако даже размерные показатели семян не могут полностью раскрыть их качественную характеристику. Крупносемянность, как показала практика, связана с повышенной требовательностью к условиям возделывания. Наиболее важным показателем является не столько крупность семян, сколько их удельная плотность, указывающая на плотность укладки зародыша и элементов питательной ткани.

Семена лука каждой размерной фракции были сепарированы на воздушной колонке по плотности. Получены две фракции по плотности (легкие, тяжелые) каждой размерной фракции семян. Определяли энергию прорастания и всхожесть каждой фракции семян.

Прослеживается четкая тенденция: легкие и тяжелые семена разных размерных фракций по всхожести между собой отличались в несколько раз: фракция 1,6–1,8 мм — легкая 11,5%, тяжелая 58,5%; 1,8–2,0 мм — легкая 19,5%, тяжелая 75,5%; фракция 2,0–2,2 мм — легкая 36,5%, тяжелая 67,5% (рис. 3). Следовательно, разделяя семена по размеру и плотности, можно существенно улучшить показатели их жизнеспособности.

Рис. 1. Подготовка семян для сканирования. Редис (1) и лук репчатый (2). Фото автора

Fig. 1. Preparing seeds for scanning. Radishes (1) and onions (2). Photo by the author

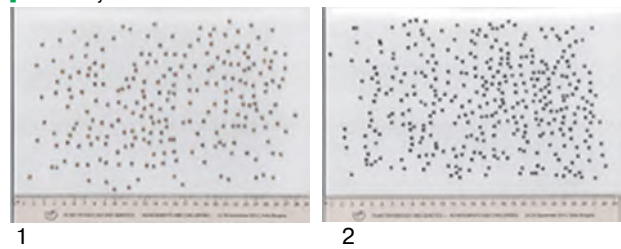


Таблица 1. Схема сепарации семян лука репчатого сорта Классика по размеру и плотности, 2022–2023 гг.

Table 1. Classic onion seed separation scheme by size and density, 2022–2023

Фракции	Калибр (размер), мм	Плотность	Масса 1000 семян, г
Контроль	общая фракция	–	3,682
I	1,6–1,8	легкие	2,977
		тяжелые	3,333
II	1,8–1,6	легкие	3,465
		тяжелые	3,843
III	2,0–2,2	легкие	3,974
		тяжелые	4,208
НСР ₀₅			0,281

Рис. 2. Площадь проекции семян (мм²) лука репчатого Классика в зависимости от их фракции

Fig. 2. The projection area of seeds (mm²) of onion Classics depending on their fraction

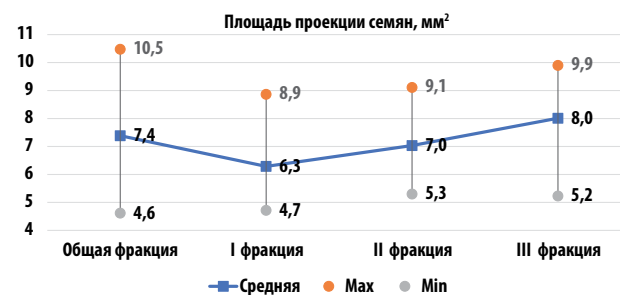
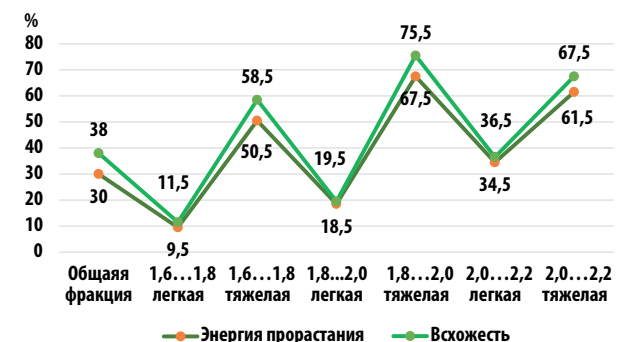


Рис. 3. Посевные качества разных фракций семян лука репчатого Классика

Fig. 3. Sowing qualities of different fractions of onion seeds Classic



В результате исследований выявлено, что высокими посевными качествами обладали не самые крупные семена, к тому же они в партии семян не составляли большинства. Фракции средние и выше среднего размера (1,8–2,0 мм) и тяжелые по плотности более жизнеспособны с высокой энергией прорастания 67,5% и всхожестью 75,5%.

Семена редиса сепарировали на четыре размерных калибра, каждый размерный калибр в свою очередь поделили на две фракции по плотности (легкие, тяжелые) (табл. 2).

Таблица 2. Схема сепарации семян редиса сорта Соната по размеру и плотности, 2022–2023 гг.

Table 2. Sonata radish seed separation scheme by size and density, 2022–2023

Фракции	Калибр (размер), мм	Плотность	Масса 1000 семян, г
Контроль	Общая	–	10,7
I	1,8–2,0	легкие	5,1
		тяжелые	5,9
II	2,0–2,2	легкие	6,5
		тяжелые	7,5
III	2,2–2,5	легкие	8,7
		тяжелые	9,8
IV	2,5–2,8	легкие	11,7
		тяжелые	13,0
V	Больше 2,8	легкие	15,4
		тяжелые	17,0
НСР ₀₅			0,97

Партия семян редиса была совершенно не выровнена по размеру (общая фракция) (рис. 4). Семена по площади проекции колебались от 3,3 до 11,7 мм². Калибровка семян способствовала значительной выровненности фракции: 2,3–5,4 мм² — для I фракции; 2,4–6,1 мм² — для II фракции. Только V фракция оказалась меньшей выровненности из-за наличия самых крупных семян.

Определены параметры жизнеспособности каждой фракции семян. Прослеживается четкая тенденция: энергия и всхожесть семян растут от мелкой фракции до средней, выше средней, далее к крупной фракции идет некоторое снижение всхожести (рис. 5). Высокой всхожестью (100%) семян отличились фракции 2,0–2,5 мм, то есть не самые крупные.

Фракции семян по плотности между собой по жизнеспособности отличались еще больше: по всем трем размерным калибрам (2,0–2,2, 2,2–2,5, 2,5–2,8 мм) энергия прорастания и всхожесть семян были выше у тяжелых фракций относительно легких. Следовательно, разделяя семена по плотности, можно существенно улучшить показатели их посевных качеств. В деле повышения посевных качеств семян овощных культур разделение их по размеру и плотности внутренней структуры имеет решающее значение. Эксперимент показал, что семена, выровненные по размеру и плотности, выровнены по энергии прорастания и всхожести.

Проведен лабораторный анализ посевных качеств (энергии прорастания и всхожести) коллекции семян

Рис. 4. Размерная классификация разных фракций семян редиса Соната

Fig. 4. Size classification of different fractions of Sonata radish seeds

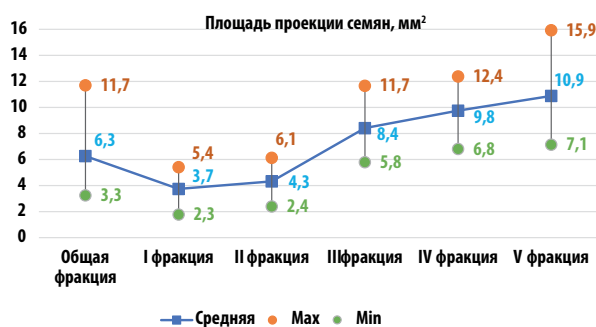
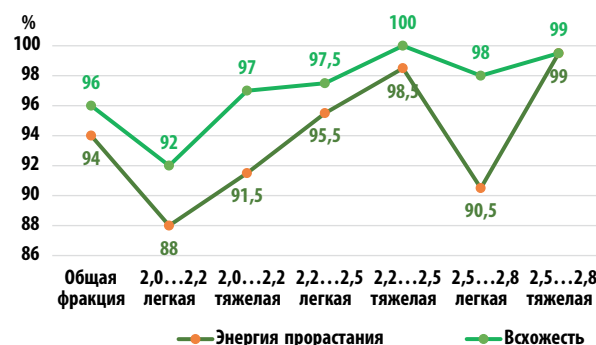


Рис. 5. Посевные качества разных фракций семян редиса Соната

Fig. 5. Sowing qualities of different fractions of Sonata radish seeds



капусты белокочанной. В целом они отмечены на достаточно высоком уровне: по всхожести семян 19 образцов отнесены к I классу (выше 85%), только 4 образца оказались во II классе (табл. 3) [21]. По величине важного качественного показателя «масса 1000 семян» (от 3,12 до 4,88 г) коллекция соответствовала стандартам [22], что свидетельствует о спелости и выполненности партий семян.

Программа морфометрического анализа семян путем измерения длины и ширины рассчитывает параметры округлости и удлинненности семян, указывающие на их форму. Форма семян, как известно, служит ярким показателем их полноценности. Зрелые, выполненные семена капусты имеют округлую форму. В данном анализе более округлой формой семян отличились образцы сортов Лосиноостровская 8, Малахит F₁, Мечта F₁, Надежда. У них индекс округлости превышал 0,9 (рис. 6).

Таблица 3. Посевные качества семян различных сортов и гибридов капусты белокочанной, 2022–2023 гг.

Table 3. Sowing qualities of seeds of different varieties and hybrids of cabbage, 2022–2023

Сорт (гибрид)	Энергия, %	Всхожесть, %	Масса 1000 семян, г	Сорт (гибрид)	Энергия, %	Всхожесть, %	Масса 1000 семян, г
Аврора F ₁	92	93	3,37	Ликова F ₁	89	94	4,30
Арктика F ₁	86	94	4,78	Лосиноостровская 8	80	85	3,12
Арктика F ₁ -2	80	89	4,57	Малахит F ₁	75	88	4,30
Вьюга	95	96	4,43	Мечта F ₁	93	96	3,95
Дитмаршер фриер	84	87	3,91	Надежда	79	82	3,87
Гарант F ₁	37	78	4,56	Парус	98	98	4,16
Герцогиня F ₁	83	90	4,88	СБ-3	94	94	4,61
Графиня F ₁	64	82	3,67	Северянка F ₁	90	93	4,26
Идиллия F ₁	78	82	4,41	Сибирячка 60	92	93	4,38
Казачок F ₁	82	88	4,32	Снежинка F ₁	99	99	4,21
Княгиня F ₁	83	86	3,81	Трансфер F ₁	90	94	4,26
Купидон F ₁	84	88	4,93				
НСР ₀₅							
					3,9	4,2	0,31

Рис. 6. Морфометрические различия сортообразцов капусты белокочанной по форме семян
Fig. 6. Morphometric differences of cabbage varieties by seed shape



Примечательно, что данные образцы оказались ниже средней массы семян (табл. 3). Крупные семена Герцогини F₁ и СБ-3, наоборот, оказались немного овальными

с индексом округлости 0,85 и 0,83. Следовательно, размер семян не сполна определяет их посевные качества, более важна форма семян как свидетельство их полноценности и полноценности.

Выводы/Conclusion

Установлено, что сепарация семян по размеру и плотности и оценка их линейных параметров методом цифровой морфометрии позволяют значительно выровнять их и улучшить качественные показатели.

Лучшими посевными качествами обладали фракции выше среднего размера и более плотные: для лука репчатого — 1,8–2,0 мм, для редиса — 2,2–2,5 мм. Для семян капусты важным параметром посевных качеств является их форма, для полноценных семян индекс округлости может составить выше 0,9.

Развитие методики цифровой морфометрии позволит определить оптимальные параметры размера и формы семян каждого вида овощных культур и характеризовать их качественные показатели.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Zheng Y. *et al.* Genome-wide association studies of grain quality traits in maize. *Scientific Reports*. 2021; 11: 9797. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89276-3>
- Wang X., Cai Z. Era of maize breeding 4.0. *Journal of Maize Sciences*. 2019; 27(1): 1–9 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.13597/j.cnki.maize.science.20190101>
- Wallace J.G., Rodgers-Melnick E., Buckler E.S. On the Road to Breeding 4.0: Unraveling the Good, the Bad, and the Boring of Crop Quantitative Genomics. *Annual Review of Genetics*. 2018; 52: 421–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120116-024846>
- Wang X. *et al.* Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development. *Journal of Plant Genetic Resources*. 2022; 23(1): 12–20 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210802001>
- Budd J. *et al.* Digital technologies in the public-health response to COVID-19. *Nature Medicine*. 2020; 26(8): 1183–1192. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1011-4>
- Sun D., Robbins K., Morales N., Shu Q., Cen H. Advances in optical phenotyping of cereal crops. *Trends Plant Science*. 2022; 27(2): 191–208. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.07.015>
- Clohesy J.W. *et al.* A Low-Cost Automated System for High-Throughput Phenotyping of Single Oat Seeds. *The Plant Phenome Journal*. 2018; 1(1): 1–13. <https://doi.org/10.2135/tppj2018.07.0005>
- Gong Z. *et al.* Recent Developments of Seeds Quality Inspection and Grading Based on Machine Vision. *2015 ASABE Annual International Meeting*. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2015; 152188378. <https://doi.org/10.13031/aim.20152188378>
- Fu J., Yuan H., Zhao R., Chen Z., Ren L. Peeling Damage Recognition Method for Corn Ear Harvest Using RGB Image. *Applied Sciences*. 2020; 10(10): 3371. <https://doi.org/10.3390/app10103371>
- Jitanan S., Chimlek P. Quality grading of soybean seeds using image analysis. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2019; 9(5): 3495–3503. <http://doi.org/10.11591/ijece.v9i5.pp3495-3503>
- Veeramani B., Raymond J.W., Chanda P. DeepSort: deep convolutional networks for sorting haploid maize seeds. *BMC Bioinformatics*. 2018; 19: 289. <https://doi.org/10.1186/s12859-018-2267-2>
- Jia B., Wang W., Ni X.Z., Chu X., Yoon S.C., Lawrence K.C. Detection of mycotoxins and toxigenic fungi in cereal grains using vibrational spectroscopic techniques: a review. *World Mycotoxin Journal*. 2020; 13(2): 163–177. <https://doi.org/10.3920/WMJ2019.2510>
- Kapadia V.N., Sasidharan N., Patil K. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. *Advances in Biotechnology and Microbiology*. 2017; 7(2): 555709. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.07.555709>
- Liu F. *et al.* Digital techniques and trends for seed phenotyping using optical sensors. *Journal of Advanced Research*. 2023; 63: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.010>
- Lin P. *et al.* Rapidly and exactly determining postharvest dry soybean seed quality based on machine vision technology. *Scientific Reports*. 2019; 9: 17143. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53796-w>
- Peng S. *et al.* Research on Rapeseed Counting Based on Machine Vision. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1757: 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1757/1/012028>

REFERENCES

- Zheng Y. *et al.* Genome-wide association studies of grain quality traits in maize. *Scientific Reports*. 2021; 11: 9797. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89276-3>
- Wang X., Cai Z. Era of maize breeding 4.0. *Journal of Maize Sciences*. 2019; 27(1): 1–9 (in Chinese). <https://doi.org/10.13597/j.cnki.maize.science.20190101>
- Wallace J.G., Rodgers-Melnick E., Buckler E.S. On the Road to Breeding 4.0: Unraveling the Good, the Bad, and the Boring of Crop Quantitative Genomics. *Annual Review of Genetics*. 2018; 52: 421–444. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120116-024846>
- Wang X. *et al.* Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development. *Journal of Plant Genetic Resources*. 2022; 23(1): 12–20 (in Chinese). <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210802001>
- Budd J. *et al.* Digital technologies in the public-health response to COVID-19. *Nature Medicine*. 2020; 26(8): 1183–1192. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1011-4>
- Sun D., Robbins K., Morales N., Shu Q., Cen H. Advances in optical phenotyping of cereal crops. *Trends Plant Science*. 2022; 27(2): 191–208. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.07.015>
- Clohesy J.W. *et al.* A Low-Cost Automated System for High-Throughput Phenotyping of Single Oat Seeds. *The Plant Phenome Journal*. 2018; 1(1): 1–13. <https://doi.org/10.2135/tppj2018.07.0005>
- Gong Z. *et al.* Recent Developments of Seeds Quality Inspection and Grading Based on Machine Vision. *2015 ASABE Annual International Meeting*. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2015; 152188378. <https://doi.org/10.13031/aim.20152188378>
- Fu J., Yuan H., Zhao R., Chen Z., Ren L. Peeling Damage Recognition Method for Corn Ear Harvest Using RGB Image. *Applied Sciences*. 2020; 10(10): 3371. <https://doi.org/10.3390/app10103371>
- Jitanan S., Chimlek P. Quality grading of soybean seeds using image analysis. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2019; 9(5): 3495–3503. <http://doi.org/10.11591/ijece.v9i5.pp3495-3503>
- Veeramani B., Raymond J.W., Chanda P. DeepSort: deep convolutional networks for sorting haploid maize seeds. *BMC Bioinformatics*. 2018; 19: 289. <https://doi.org/10.1186/s12859-018-2267-2>
- Jia B., Wang W., Ni X.Z., Chu X., Yoon S.C., Lawrence K.C. Detection of mycotoxins and toxigenic fungi in cereal grains using vibrational spectroscopic techniques: a review. *World Mycotoxin Journal*. 2020; 13(2): 163–177. <https://doi.org/10.3920/WMJ2019.2510>
- Kapadia V.N., Sasidharan N., Patil K. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. *Advances in Biotechnology and Microbiology*. 2017; 7(2): 555709. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.07.555709>
- Liu F. *et al.* Digital techniques and trends for seed phenotyping using optical sensors. *Journal of Advanced Research*. 2023; 63: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.010>
- Lin P. *et al.* Rapidly and exactly determining postharvest dry soybean seed quality based on machine vision technology. *Scientific Reports*. 2019; 9: 17143. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53796-w>
- Peng S. *et al.* Research on Rapeseed Counting Based on Machine Vision. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1757: 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1757/1/012028>

17. Kurtulmuş F., Alibaş İ., Kavdır I. Classification of pepper seeds using machine vision based on neural network. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016; 9(1): 51–62. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160901.1790>
18. Архипов М.В., Потрахов Н.Н., Тюкалов Ю.А., Гусакова Л.П. Цифровая система раннего выявления скрытой поврежденности зерновки. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2023; 106: 184–188. <https://elibrary.ru/wzuipa>
19. Musaev F.B., Priyatkin N.S., Ivanova M.I., Shchukina P.A., Jafarov I.H., Nowar M. Geometrical parameters and colour index of chive (*Allium schoenoprasum*) seed. *Research on Crops*. 2020; 21(4): 775–782. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.119>
20. Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Иванова М.И., Бухаров А.Ф., Кашлева А.И. Компьютеризированная визуализация семян подрода *Сера* (*Allium* L., Alliaceae) — эффективный инструмент для оценки их качества. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022; (2): 39–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-39-50>

ОБ АВТОРАХ

Фархад Багадыр оглы Мусаев¹
доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
musayev@bk.ru
<https://orcid.org/000-0001-9323-7741>

Мария Ивановна Иванова²
доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН
ivanova_170@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>

Николай Сергеевич Прияткин³
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
prini@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-5974-4288>

¹Федеральный научный центр овощеводства,
ул. Селекционная, 14, пос. ВНИИССОК, Одинцовский р-н,
Московская обл., 143080, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт
овощеводства — филиал Федерального научного центра
овощеводства, дер. Верея, стр. 500, Раменский р-н, Московская обл., 140153,
Россия

³Агрофизический научно-исследовательский институт,
Гражданский пр-т, 14, Санкт-Петербург, 195220, Россия

17. Kurtulmuş F., Alibaş İ., Kavdır I. Classification of pepper seeds using machine vision based on neural network. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016; 9(1): 51–62. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160901.1790>

18. Arkhipov M.V., Potrakhov N.N., Tyukalov Yu.A., Gusakova L.P. Digital system for early detection of latent grain damage. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2023; 106: 184–188 (in Russian). <https://elibrary.ru/wzuipa>

19. Musaev F.B., Priyatkin N.S., Ivanova M.I., Shchukina P.A., Jafarov I.H., Nowar M. Geometrical parameters and colour index of chive (*Allium schoenoprasum*) seed. *Research on Crops*. 2020; 21(4): 775–782. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.119>

20. Musaev F.B., Priyatkin N.S., Ivanova M.I., Bukharov A.F., Kashleva A.I. Computerized visualization of seeds of *Sepa* subgenus (*Allium* L., Alliaceae) — an effective tool to assess their quality. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; (2): 39–50 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-63-2-39-50>

ABOUT THE AUTHORS

Farkhad Bagadir ogli Musaev¹
Doctor of Agricultural Science, Leading Researcher
musayev@bk.ru
<https://orcid.org/000-0001-9323-7741>

Maria Ivanovna Ivanova²
Doctor of Agricultural Science, Professor RAS
ivanova_170@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>

Nikolay Sergeevich Priyatkin³
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
prini@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-5974-4288>

¹Federal Scientific Center of Vegetable Growing,
14 Selectionskaya Str., VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow
region, 143080, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing —
Branch of Federal Scientific Vegetable Center
Vereya village, 500 building, Ramenskoye district, Moscow region,
140153, Russia

³Agrophysical Research Institute,
14 Grazhdansky Ave., St. Petersburg, 195220, Russia

Форум и выставка по глубокой переработке зерна и промышленной биотехнологии «Грэйнтек»

Грэйнтек

Форум и выставка по глубокой переработке зерна и биоэкономике

+7 (495) 585-5167 | info@graintek.ru | www.graintek.ru

**Форум является уникальным специализированным
событием отрасли в России и СНГ и пройдет
19–20 ноября 2024 года в отеле «Лесная Сафмар» в г. Москве.**

В фокусе форума — практические аспекты глубокой переработки зерна как для производства продуктов питания и кормов, так и для биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Темы форума: производство и рынок нативных и модифицированных крахмалов, клейковины, сиропов, органических кислот, аминокислот (лизина, треонина, триптофана и т. д.), сахарозаменителей (сорбита, ксилита, маннита) и других химических веществ.

21 ноября 2024 года пройдет семинар «ГрэйнЭксперт», посвященный практическим вопросам запуска и эксплуатации завода глубокой переработки зерна. Семинар проводится для технических специалистов, которые отвечают за производственный процесс и высокое качество конечной продукции.

