

Оригинальные статьи / Original articles

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-44-48  
УДК 635.25/.26:631.52:581.48

Ф.Б. Мусаев<sup>1</sup>, М.И. Иванова<sup>2</sup>,  
Н.С. Прияткин<sup>3</sup>, С.В. Кузнец<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Россия, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

<sup>3</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФНИИ) 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14

<sup>4</sup> ООО «АргусСофт» 190121, Россия, Санкт-Петербург, ул. Александра Блока, 5

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность доктору сельскохозяйственных наук, заведующей лабораторией семеноведения ВНИИО – филиала ФНЦО Бухарову Александру Федоровичу за методическую помощь и Шукиной Полине Алексеевне, инженеру сектора биопластики растений Агрофизического НИИ за участие в экспериментальной части работы.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

**Для цитирования:** Мусаев Ф.Б., Иванова М.И., Прияткин Н.С., Кузнец С.В. Цифровая морфометрия семян луковых культур. *Овощи России*. 2021;(3):44-48. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-44-48>

**Поступила в редакцию:** 04.05.2021

**Принята к печати:** 08.06.2021

**Опубликована:** 25.06.2021

Farkhad B. Musaev<sup>1</sup>, Maria I. Ivanova<sup>2</sup>,  
Nikolay S. Priyatkin<sup>3</sup>, Sergey V. Kuznets<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

<sup>2</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center" 500, Vereya village, Ramenskoe district, Moscow region, Russia, 140153

<sup>3</sup> Agrophysical Research Institute 14, Grahdanskiy pr., St.-Petersburg, Russia, 195220

<sup>4</sup> ArgusSoft LLC 5, Alexander Blok st., St. Petersburg, Russia, 190121

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the Alexander F. Bukharov, Doc. Sci., Head of the Laboratory of seed science of the All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", for methodological assistance and Polina A. Shchukina, engineer of the plant biophysics sector of the Agrophysical Research Institute for participation in the experimental part of the work.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article.

**For citations:** Musaev F.B., Ivanova M.I., Priyatkin N.S., Kuznets S.V. Digital morphometry of onion seeds. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(3):44-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-44-48>

**Received:** 04.05.2021

**Accepted for publication:** 08.06.2021

**Published:** 25.06.2021

# Цифровая морфометрия семян луковых культур



## Резюме

**Актуальность.** Одним из главных вопросов в растениеводстве остается качество высеваемых семян. Овощные растения в период генеративного развития требовательны к условиям свето-, теплообеспеченности, однако условия большинства регионов нашей страны не могут отвечать этим требованиям. Послеуборочная доработка и предпосевная обработка семян также проводятся не на должном уровне. Отсутствуют надежные информативные инструментальные методы анализа качества семян. Сотрудниками ФГБНУ ФНЦО, Агрофизического НИИ и ООО «Аргус-Био» ведется разработка метода цифровой морфометрии семян овощных культур.

**Методика.** Материалом для исследований явились семена различных образцов разновидностей рода *Allium*: *Allium cristophii* Trautv., *Allium schoenoprasum* L., *Allium fistulosum* L. Цифровые изображения семян были получены с использованием планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов BMP, TIFF, JPG, разрешение 600 DPI. Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян был выполнен на базе Агрофизического НИИ с использованием серийного программного обеспечения «Аргус-БИО», производства ООО «Аргус Софт», г. Санкт-Петербург.

**Результаты.** Анализ цветковых характеристик семян (величины цветковых составляющих по модели RGB) *Allium cristophii* Trautv. выявил статистически значимое снижение показателей по всем цветовым каналам в ряду от нижнего яруса – верхнему, что является показателем разного уровня вызреваемости. Семена различных образцов *Allium schoenoprasum* L. по размеру (площадь проекции) значительно варьировали в пределах вида от 2,39 до 3,06 мм<sup>2</sup>, по форме они также оказались не выровненными: эллиптические с фактором удлиненности от 1,99 до 2,21 относительных единиц. Анализ морфометрических параметров семян сортов *Allium fistulosum* L. позволил выделить влияние природных и генетических факторов на эти параметры: фактор года оказывал существенное влияние (от 43,5% до 45,4%), фактора сорта – от 39,5% до 43,2%, на основные морфометрические параметры семян. Итак, представлен новый подход к анализу качества семян, включающий в себя оперативную цифровую морфометрию, моделирование данных и их интеграцию со стандартными тестами ISTA.

**Ключевые слова:** качество семян, цифровая морфометрия, морфометрические параметры семян, размер семян, округлость, удлиненность, цветковые признаки семян

# Digital morphometry of onion seeds

## Abstract

**Relevance.** One of the problematic issues in crop production remains the quality of sown seeds. Vegetable plants during the period of generative development are demanding to the conditions of light and heat supply, but the conditions of most regions of our country cannot meet these requirements. Post-harvest refinement and pre-treatment of seeds is also not carried out at the proper level. There are no reliable informative tools for analyzing seed quality. Employees of the FSBSI FSVC, Agrophysical Research Institute and Argus-Bio LLC are developing a method of digital morphometry of vegetable seeds.

**Methods.** The material for the studies was the seeds of various samples of varieties of the genus *Allium*: *Allium cristophii* Trautv., *Allium schoenoprasum* L., *Allium fistulosum* L. Digital images of seeds were obtained using the HP Scanjet 200 tablet scanner, BMP, TIFF, JPG save file format, 600 DPI resolution. Morphometric analysis of digital scanned images of seeds was carried out on the basis of the Agrophysical Research Institute using the serial software Argus-BIO, manufactured by Argus Soft LLC, St. Petersburg.

**Results.** Analysis of the color characteristics of seeds (values of color components according to the RGB model) *Allium cristophii* Trautv. revealed a statistically significant decrease in all color channels in the row from the lower tier – the upper, which is an indicator of different levels of maturity. Seeds of various samples of *Allium schoenoprasum* L. in size (projection area) varied significantly within the species from 2.39 to 3.06 mm<sup>2</sup>, in shape they also turned out to be unaligned: elliptical with an elongation factor of 1.99 to 2.21 relative units. Analysis of morphometric parameters of seeds of varieties *Allium fistulosum* L. made it possible to distinguish the influence of natural and genetic factors on these parameters: the factor of the year had a significant effect (from 43.5% to 45.4%), the factor of the variety – from 39.5% to 43.2%, on the main morphometric parameters of seeds. So, a new approach to seed quality analysis is presented, which includes rapid digital morphometry, data modeling and their integration with standard ISTA tests.

**Keywords:** seed quality, digital morphometry, seed morphometric parameters, seed size, roundness, elongation, seed color features

### Введение

Качество высеваемых семян является приоритетной задачей в производстве растительной продукции. Зачастую проблема состоит не в недостатке семян для посева, а в их низком качестве. Неблагоприятные почвенно-климатические условия большинства наших регионов в сочетании с низкой культурой земледелия, часто являются причиной вывода семеноводства за пределы нашей страны, особенно, овощного семеноводства [1]. Также не на должном уровне проводится послеуборочная доработка семян. В деле семенного контроля большей частью применяются традиционные биометрические методы. Однако современный уровень развития знаний и технологий позволяет нам применять более информативные инструментальные методы для анализа качества семян.

Физические свойства семян, а конкретно, их линейные размеры и форма являются важными показателями в определении их качества. Форма семени характеризует степень их выполненности и зрелости, что, в свою очередь, определяет уровень их жизнеспособности и силы роста. Масса, геометрические размеры и форма семени являются внешним проявлением процессов синтеза, превращения, распределения и накопления органических веществ в эмбриональных и запасающих тканях [2,3].

Каждому виду, а, зачастую, и сорту присуще определенная форма семени, обусловленная соотношением линейных размеров: длины, ширины и толщины [4]. Следовательно, путем измерения и анализа линейных размеров семян, определив их форму можно сделать предварительное заключение об их посевных качествах.

Измерение семян – «ручная» морфометрия представляется длительным и трудоемким процессом. Поэтому были предложены различные эффективные подходы компьютерной морфометрии семян с использованием методов обработки сканированных изображений [5,6,7]. Новый подход к морфометрии был реализован с использованием программного обеспечения для персональных компьютеров [8,9]. В результате

появилась возможность оценки целого ряда морфометрических параметров семени, описывающих их форму, цвет и тональность [10].

В совместной работе сотрудников ФГБНУ ФНЦО, Агрофизического НИИ и ООО «Аргус-Био» (г. Санкт-Петербург) ведется разработка метода цифровой морфометрии семян овощных культур. К настоящему времени проанализированы семена фасоли овощной, укропа, пастернака, майорана и др. [11,12,13]. Проводится адаптация метода для анализа семян разновидностей луковых культур.

### Материал и методы

Материалом для исследований явились семена различных образцов разновидностей рода *Allium*: *Allium cristophii* Trautv., *Allium schoenoprasum* L., *Allium fistulosum* L. из биоколлекции ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО (рис 1).

Цифровые изображения семян были получены с использованием планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов BMP, TIFF, JPG, разрешение 600 DPI. Выбор необходимого и достаточного разрешения при сканировании определялся техническими возможностями сканера (максимальное разрешение 2400 DPI), ресурсами программного обеспечения и персонального компьютера, а также размерами семян для обеспечения точности измерений [14]. Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян был выполнен на базе Агрофизического НИИ с использованием серийного программного обеспечения «Argus-BIO», производства ООО «АргусСофт», г. Санкт-Петербург. Методика включает в себя подбор контрастной подложки (фона) для сканирования семян с минимальными теневыми эффектами, калибровку программного обеспечения для привязки к реальным размерным величинам, выбор параметров измерений и непосредственно автоматический анализ цифровых сканированных изображений семян (рис. 2).

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных выполнили с использованием пакета прикладных программ – STATISTICA 6,0.



Рис. 1. Разновидности рода *Allium*: *Allium cristophii* Trautv., *Allium schoenoprasum* L., *Allium fistulosum* L. (слева направо)  
 Fig. 1. Species of the genus *Allium*: *Allium cristophii* Trautv., *Allium schoenoprasum* L., *Allium fistulosum* L. (from left to right)

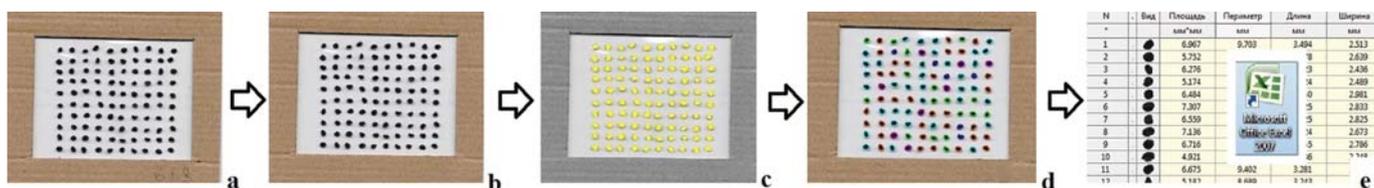


Рис. 2. Автоматический анализ цифровых сканированных изображений на примере семян *Allium cristophii*: а – исходное изображение; б – выделение области; с – выделение объектов (семян) по порогу яркости; д – автоматическое измерение объектов и их классификация; е – получение таблицы измерений с возможностью экспорта в MS Excel  
 Fig. 2. Automatic analysis of digital scanned images using the example of *Allium cristophii* seeds: a - original image; b - selection of the area; c - selection of objects (seeds) by the brightness threshold; d - automatic measurement of objects and their classification; e - obtaining a table of measurements with the ability to export to MS Excel

**Результаты и обсуждение**

Проанализированы матрикально разнокачественные семена *Allium cristophii*, собранные с разных ярусов соцветий материнских растений. Анализ цветовых характеристик семян (величины цветовых составляющих по модели RGB) выявил статистически значимое снижение показателей по всем цветовым каналам в ряду от нижнего яруса – верхнему, как следует из линии регрессии переменных значений (рис. 3). Следовательно, семена, собранные с нижнего яруса, имели более светлую окраску, а с верхнего – более темную, что свидетельствует о разном уровне их вызреваемости. Следует отметить, что изменений соотношения величин цветовых составляющих изображений семян лука Кристофа, в зависимости от принадлежности к определенному ярусу, пока не носит закономерный характер. Полагаем, что для более углубленных исследований матрикальной разнокачественности, в частности, сопутствующей ей различной физиологической зрелости семян, необходимо использовать более совершенные неразрушающие технологи

и обработки изображений, основанные на визуализации и количественной оценке флуоресценции хлорофилла, показанные, например, в работе [15].

Размер семян является важной особенностью идентификации семян наряду с формой и текстурой. Большой размер указывает на лучшее качество и всхожесть семян и генетический потенциал продуктивности [16,17], но качество семян может быть связано с некоторыми другими факторами, такими как вариации содержания питательных веществ в семенах [18], время сбора семян и генетические факторы происхождения [19].

Масса 1000 семян лука шнитта в среднем составляет 1,48 г, всхожесть – 67% (Storck et al., 2019) [20].

В нашем эксперименте семена различных образцов *Allium schoenoprasum* L. по площади проекции варьировали в диапазоне от 2,39 до 3,06 мм², по длине – от 2,62 до 3,04 мм и ширине – от 1,27 до 1,47 мм, по среднему размеру – от 2,02 до 2,24 мм (табл. 1). Наиболее крупные семена оказались у сортов Медонос (3,06 мм²) и Чемал (3,03 мм²).

**Величины составляющих цветов по модели RGB**

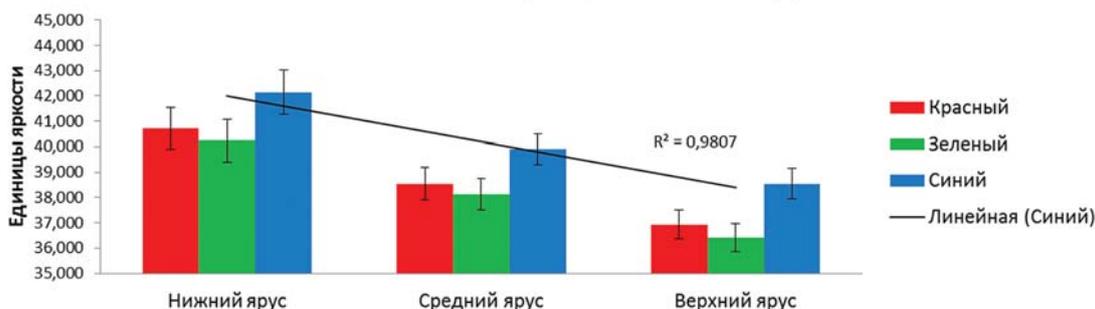


Рис. 3. Морфометрия окраски разнокачественных семян лука Кристофа, 2016-2017 годы  
 Fig. 3. Morphometry of color of different quality *Allium cristophii* seeds, 2016-2017

Таблица 1. Морфометрический анализ геометрических параметров семян различных образцов *A. schoenoprasum*  
 Table 1. Morphometric analysis of geometric parameters of seeds of *A. schoenoprasum*

Образец	Площадь (мм²)	Периметр (мм)	Длина (мм)	Ширина (мм)	Средний размер (мм)
Медонос	3,06±0,06	7,15±0,06	3,02±0,02	1,47±0,02	2,24±0,02
Чемал	3,03±0,05	7,12±0,06	3,04±0,02	1,43±0,02	2,23±0,02
Подвид Сибирский	2,68±0,05	6,61±0,05	2,78±0,02	1,38±0,02	2,08±0,02
Подвид Европейский	2,81±0,05	6,73±0,06	2,79±0,03	1,42±0,02	2,11±0,02
Мудрец	2,70±0,08	6,67±0,11	2,81±0,05	1,37±0,03	2,09±0,03
Pražský Крайова	2,50±0,08	6,48±0,12	2,76±0,05	1,27±0,03	2,02±0,04
Образец из ЮУБСИ	2,77±0,07	6,78±0,09	2,88±0,04	1,36±0,03	2,12±0,03
Образец из КузБС	2,39±0,06	6,25±0,08	2,62±0,03	1,33±0,02	1,97±0,02
Cv (%)	8,47	4,50	4,91	4,53	4,41

Таблица 2. Морфометрическая характеристика формы семян различных образцов *A. schoenoprasum*  
 Table 2. Morphometric characteristics of the seeds of *A. schoenoprasum*

Образец	Фактор эллипса (отн. ед.)	Фактор круга (отн. ед.)	Округлость (отн. ед.)	Удлиненность (отн. ед.)
Медонос	0,99/0,00	0,75±0,01	0,45±0,01	2,08±0,03
Чемал	0,99/0,00	0,75±0,01	0,44±0,01	2,14±0,03
Подвид Сибирский	0,99/0,00	0,77±0,01	0,47±0,01	2,05±0,04
Подвид Европейский	0,99/0,00	0,78±0,01	0,48±0,01	1,99±0,03
Мудрец	0,99/0,00	0,75±0,01	0,45±0,01	2,08±0,04
Pražský Крайова	0,99/0,00	0,73±0,01	0,43±0,01	2,21±0,04
Образец из ЮУБСИ	0,99/0,00	0,75±0,01	0,44±0,01	2,14±0,04
Образец из КузБС	0,99/0,00	0,76±0,01	0,47±0,01	1,99±0,03
Cv (%)	0,99/0,00	2,00	3,90	3,67

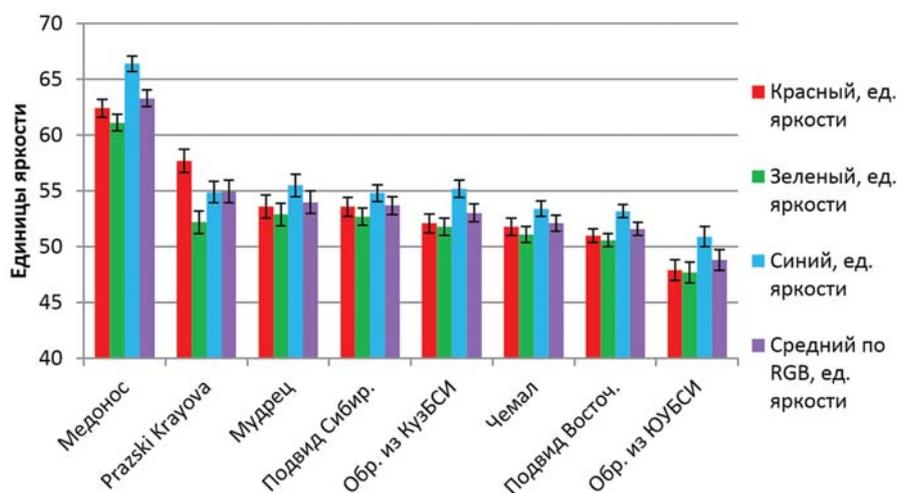


Рис.4. Морфометрический анализ цветовых характеристик семян различных образцов *A. schoenoprasum*  
 Fig. 4. Morphometric analysis of color characteristics of seeds of *A. schoenoprasum*

Таблица 3. Дисперсионный анализ изменчивости основных морфометрических параметров семян *A. fistulosum* в системе двухфакторного опыта 2x2 (n=4)  
 Table 3. Analysis of variance of variability of the main morphometric parameters of *A. fistulosum* seeds in the system of two-factor experiment 2x2 (n = 4)

Фактор	Df	Mean Sq	F - value	F <sub>05</sub> (F <sub>01</sub> )
<b>Длина семени</b>				
Сорт (А)	1	0,231	19,25	5,12 (10,56)
Год (В)	1	0,248	20,66	5,12 (10,56)
Взаимодействие А:В	1	0,077	6,42	5,12 (10,56)
Остаток	9	0,012	-	-
<b>Ширина семени</b>				
Сорт (А)	1	0,279	19,93	5,12 (10,56)
Год (В)	1	0,298	21,29	5,12 (10,56)
Взаимодействие А:В	1	0,094	6,71	5,12 (10,56)
Остаток	9	0,014	-	-
<b>Периметр семени</b>				
Сорт (А)	1	0,484	17,29	5,12 (10,56)
Год (В)	1	0,547	19,54	5,12 (10,56)
Взаимодействие А:В	1	0,166	5,93	5,12 (10,56)
Остаток	9	0,028	-	-
<b>Площадь проекции семени</b>				
Сорт (А)	1	0,375	24,87	5,12 (10,56)
Год (В)	1	0,394	26,27	5,12 (10,56)
Взаимодействие А:В	1	0,084	5,60	5,12 (10,56)
Остаток	9	0,015	-	-

Также были проанализированы различные индексы формы семян. Семена шнитта эллиптические: фактор эллипса у всех испытанных образцов составил 0,99 относительных единиц. Фактор круга варьировал в диапазоне от 0,73 до 0,78 относительных единиц, округлость – от 0,43 до 0,48 относительных единиц, удлиненность – от 1,99 до 2,21 относительных единиц (табл. 2). Самые удлиненные семена наблюдались у образца Pražský Krajova (2,21).

Результаты измерений цветковых характеристик семян выявили, что в окраске семян превалирует составляющая синего цвета (фиолетовый оттенок), за исключением образца Pražský Krajova (преобладает составляющая красного цвета) (рис. 4). Максимальное значение показателя средней яркости по цветовым каналам RGB наблюдалось у сорта Медонос (63,3), что в 1,15-1,30 раза выше, по сравнению с другими изученными образцами.

Морфометрические параметры семян сортов *Allium fistulosum* L. Семилетка и Спринтер проанализированы в системе двухфакторного опыта. Анализ показал, что факторы сорта и года оказывают существенное влияние на все основные параметры (длину, ширину, периметр и площадь проекции) семян при  $P < 0,01$ , а взаимодействие этих факторов – существенное влияние на все изученные параметры при  $P < 0,05$  (табл. 3).

Вклад сорта в изменчивость длины семени составлял 40,6%. Эффект фактора года достигал 43,7%.

Взаимодействие факторов обеспечило 13,6% вариативности длины семени. Изменчивость ширины семени на 40,8% обусловлена фактором сорта, на 43,5% – фактором года репродукции и только на 11,2% – их взаимодействием. Максимальное влияние на периметр семени (44,7%) также оказывал фактор года. Фактор сорта обеспечивал только 39,5% изменчивости этого параметра, 13,5% разнообразия обусловлено взаимодействием главных факторов. Вариативность параметра площадь проекции семени на 43,2% обусловлена сортом, на 45,4% – годом репродукции и на 9,7% – взаимодействием факторов.

Доля случайного фактора в изменчивости изученных параметров не превышала 2,3%. Таким образом, фактор года оказывал существенное и преобладающее влияние (от 43,5% до 45,4%) на основные параметры семени. Вклад фактора сорта в формирование изученных параметров колебался в пределах от 39,5% до 43,2%.

## Заключение

Таким образом, цифровая морфометрия может представлять новый подход для анализа качества семян и одновременно может включать в себя моделирование и автоматизацию оперативной цифровой морфометрии и их интеграцию с данными, полученными на основе стандартных тестов ISTA.

### Об авторах:

**Фархад Багадыр оглы Мусаев** – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Лабораторно-аналитического и испытательного отдела, <https://orcid.org/0000-0001-9323-7741>, musayev@bk.ru

**Мария Ивановна Иванова** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, зав. лабораторией селекции и семеноводства зеленых культур, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova\_170@mail.ru

**Николай Сергеевич Прияткин** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, зав сектором биофизики растений, prini@mail.ru

**Сергей Васильевич Кузнец** – директор ООО «АргусСофт», dir@argussoft.org

### About the authors:

**Farkhad B. Musaev** – Doc. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9323-7741>, musayev@bk.ru

**Maria I. Ivanova** – Doc. Sci. (Agriculture), Chief Researcher of the Department of Selection and Seed Production, prof. RAS, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova\_170@mail.ru

**Nikolay S. Priyatkin** – Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Head of the Plant Biophysics Sector, prini@mail.ru

**Sergey V. Kuznets** – Director of ArgusSoft LLC, dir@argussoft.org

### • Литература / References

1. Пивоваров В.Ф., Мусаев Ф.Б. Эколого-географическая направленность семеноводства овощных культур. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2017;(67):185-189. <http://proceedings.kubsau.ru/issue/2017/67/185-189> [Pivovarov V.F., Musaev F.B. Ecological and geographical focus of vegetable seed production. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2017;(67):185-189. (In Russ.) <http://proceedings.kubsau.ru/issue/2017/67/185-189>]
2. Макрушина Е.М., Залевская И.Н. Биохимические основы прорастания и формирования семян. *Наукові праці Південного філіалу НУБіП України «КАТУ»*. 2008;(107):174-180. [Makrushina E.M., Zalevskaya I.N. Biochemical bases of germination and seed formation. *Naukovi pratsi Pivdennoho branch of NUBiP of Ukraine "KATU"*. 2008;(107):174-180. (In Russ.)]
3. Макрушин Н.М., Макрушина Е.М., Шабанов Р.Ю. Семеноводство. *Симферополь: Ариал*, 2012. 564 с. [Makrushin N.M., Makrushina E.M., Shabanov R.Yu. Seed growing. *Simferopol: Ariel*, 2012. 564 p. (In Russ.)]
4. Строна И.Г. Семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 463 с. [Strona I.G. Seed study of field crops. *Moscow: Kolos*, 1966. 463 p. (In Russ.)]
5. Granitto P.M., Verdes P.F., and Ceccatto H.A. Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision. *Comput. Electron. Agric.* 2005;(47):15-24. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.003>
6. Pourreza A., Pourrezab H., Abbaspour-Farda M.H., Sadmiaa H. Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. *Comput. Electron. Agric.* 2012;(83):102-108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.005>
7. Tanabata T., Shibaya T., Hori K., Ebana K., Yano M. Smart Grain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiol.* 2012;(4):1871-1880. <https://doi.org/10.1104/pp.112.205120>
8. Herdridge R.P., Day R.C., Baldwin S., Macknight R.C. Rapid analysis of seed size in Arabidopsis for mutant and QTL discovery. *Plant Methods*. 2011;(7):3. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-3>
9. Whan A.P., Smith A.B., Cavanagh C.R., Ral J.P.F., Shaw L.M., Howitt, C.A. Grain Scan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*. 2014;(10):1. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-2310.4225/08/536302C43FC28>
10. Bai X.D., Cao Z.G., Wang Y., Yu Z.H., Zhang X.F., Li C.N. Crop segmentation from images by morphology modeling in the CIE L\*a\*b color space. *Comput. Electron. Agric.* 2013;(99):21-34. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.022>

11. Мусаев Ф.Б. Научно-практические аспекты совершенствования контроля качества семян овощных культур. 2018. 479 с. [Musaev F.B. Scientific and practical aspects of improving the quality control of vegetable seeds. 2018. 479 p. (In Russ.)]
12. Мусаев Ф.Б., Харченко В.А., Антошкина М.С. Инструментально-биофизический метод оценки качества семян зеленых овощных культур. *Овощи России*. 2019;(3):40-44. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-40-44> [Musaev F.B., Kharchenko V.A., Antoshkina M.S. Instrumental and biophysical method of evaluation test of seeds of green vegetable cultures. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(3):40-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-40-44>]
13. 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>
14. Kapadia V.N., Sasidharan N. and Patil K. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. *Advances in Biotechnology and Microbiology*. November 2017;7(2):1-3. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.07.555709>
15. Cicero S., van der Schoor R., Jalink H. Use of chlorophyll fluorescence sorting to improve soybean seed quality. *Revista Brasileira de Semente*. 2009;31(4):145-151.
16. Dong Y., Cheng Z., Meng H., Liu H., Wu C., Khan A.R. The effect of cultivar, sowing date and transplant location in field on bolting of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.). *BMC Plant Biology*. 2013;(13):154. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/154>
17. Wang D., Gao J., Liu G. General situation of Allium crops in China. *Acta Hort.* 2005;(688):327-332.
18. Abideen M.Z., Gopikumar K., Jamaludheen V. Effect of seed character and its nutrient content on vigour of seedlings in Pongamia pinnata and Tamarindas indica. *My Forest*, 1993;(29):225-230.
19. Liu S., He H., Feng G. Effects of nitrogen and sulphur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.). *Sci. Hort.* 2009;(121):12-18.
20. Storck J.L., Böttjer R., Vahle D., Brockhagen B., Grothe T., Dietz K.-J., Rattenholl A., Gudermann F., Ehrmann A. Seed Germination and Seedling Growth on Knitted Fabrics as New Substrates for Hydroponic Systems. *Horticulturae*. 2019;(5):73. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040073>