

АНАЛИЗ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕМЯН ПОДРОДА СЕРА (*ALLIUM* L., ALLIACEAE) МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО СКАНИРОВАНИЯ

✉ ¹Мусаев Ф.Б., ²Прияткин Н.С., ³Иванова М.И., ³Бухаров А.Ф., ³Кашлева А.И.

¹Федеральный научный центр овощеводства

Московская область, Россия

²Агрофизический научно-исследовательский институт

Санкт-Петербург, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –

филиал Федерального научного центра овощеводства

Московская область, Россия

✉ e-mail: musayev@bk.ru

Представлены результаты исследования морфологии семян из подрода Сера: секции Сера (Mill.) Prokh. – *Allium fistulosum* L., *A. altaicum* Pall., *A. galanthum* Kar. & Kir., *A. oschaninii* O. Fedtsch., *A. pskemense* B. Fedtsch.; секции *Schoenoprasum* Dum. – *A. altynolicum*, *A. ledebourianum*, *A. oliganthum*, *A. schoenoprasum* L.; секции *Condensatum* N. Friesen – *A. condensatum*. Морфологические признаки семян могут быть использованы в качестве дополнительных таксономических показателей в идентификации и различения таксонов в пределах подрода Сера рода *Allium*. Семена имели длину 2,74–3,50 мм, ширину 1,33–2,14 мм. Измерение морфометрических и оптических параметров семянок осуществляли путем анализа изображений с помощью программного обеспечения. Цифровые изображения семянок получены с использованием цифрового планшетного сканера HP Scanjet 200, разрешение 600 dpi, формат файлов JPG. Определены морфометрические и оптические параметры семян, в том числе площадь проекции (см²), длина, ширина, периметр, средний размер (мм), средний диаметр Фере, факторы округлости, удлиненности, эллипса, изрезанности (отн. ед.), параметры яркости, тональности, насыщенности цвета (отн. ед.). По результатам исследования составлены ряды распределения видов в порядке убывания по каждому из изученных признаков. В пределах секции Сера максимальные линейные размеры, периметр и площадь сечения имели семена *A. pskemense*. Среди представителей секции *Schoenoprasum* максимальную длину имели семянки *A. altynolicum*. Максимальные ширина, периметр, площадь сечения, средний диаметр Фере семян зафиксированы у *A. ledebourianum*. В секции Сера среднее значение RGB в порядке убывания составило ряд: *A. pskemense* > *A. galanthum* > *A. fistulosum* > *altaicum* > *A. oschaninii*. В секции *Schoenoprasum* этот ряд имеет вид: *A. schoenoprasum* > *A. ledebourianum* > *A. altynolicum* > *A. oliganthum*.

Ключевые слова: *Allium* L., морфология, цифровой анализ изображений, цветовые признаки в системе RGB

ANALYSIS OF MORPHOMETRIC AND OPTICAL PARAMETERS OF SEEDS OF THE SUBGENUS CEPA (*ALLIUM* L., ALLIACEAE) BY DIGITAL SCANNING

✉ ¹Musaev F.B., ²Priyatkin N.S., ³Ivanova M.I., ³Bukharov A.F., ³Kashleva A.I.

¹Federal Scientific Vegetable Center

Moscow region, Russia

²Agrophysical Research Institute

Saint-Petersburg, Russia

³All-Russian Research Institute of Vegetable Growing –
branch of the Federal Scientific Vegetable Center

Moscow region, Russia

✉ e-mail: musayev@bk.ru

The results of the study of seed morphology from the subgenus Cepa: section Cepa (Mill.) Prokh. – *Allium fistulosum* L., *A. altaicum* Pall., *A. galanthum* Kar. & Kir., *A. oschaninii* O. Fedtsch., *A. pskemense* B. Fedtsch.; section *Schoenoprasum* Dum. – *A. altynolicum*, *A. ledebourianum*, *A.*

oliganthum, *A. schoenoprasum* L.; section *Condensatum* N. Friesen - *A. condensatum* are presented. Morphological characters of seeds can be used as additional taxonomic indicators in the identification and distinction of taxa within the subgenus *Cepa* of the genus *Allium*. The seeds were 2.74-3.50 mm long and 1.33-2.14 mm wide. The morphometric and optical parameters of seeds were measured by analyzing images using software. Digital images of seeds were obtained using an HP Scanjet 200 digital flatbed scanner, 600 dpi resolution, JPG file format. Morphometric and optical parameters of seeds were determined, including projection area (cm²), length, width, perimeter, mean size (mm), average feret diameter, factors of roundness, elongation, ellipse, indentation (relative units), parameters of brightness, tonality, color saturation (relative units). According to the results of the study, a series of distribution of species in descending order for each of the studied traits are formed. Within the *Cepa* section, *A. pskemense* seeds had the maximum linear size, perimeter, and cross-sectional area. Among the representatives of *Schoenoprasum* section, the maximum length of the seeds was found in *A. altyncolicum*. Maximum width, perimeter, cross-sectional area, average feret diameter of the seeds were recorded in *A. ledebourianum*. In the *Cepa* section, the average RGB value in descending order was as follows: *A. pskemense* > *A. galanthum* > *A. fistulosum* > *altaicum* > *A. oschaninii*. In the *Schoenoprasum* section this series has the form: *A. schoenoprasum* > *A. ledebourianum* > *A. altyncolicum* > *A. oliganthum*.

Keywords: *Allium* L., seeds, morphology, digital image analysis, color signs in the RGB system

Для цитирования: Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Иванова М.И., Бухаров А.Ф., Кашлева А.И. Анализ морфометрических и оптических параметров семян подрода Сера (*Allium* L., Alliaceae) методом цифрового сканирования // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 2. С. 22–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-2-3>. EDN BQLNWW.

For citation: Musaev F.B., Priyatkin N.S., Ivanova M.I., Bukharov A.F., Kashleva A.I. Analysis of morphometric and optical parameters of seeds of the subgenus *Cepa* (*Allium* L., Alliaceae) by digital scanning. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science, 2022, vol. 52, no. 2, pp. 22–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-2-3>. EDN BQLNWW.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Методы визуализации в сельском хозяйстве и науке о растениях были использованы для анализа изображений, снятых с помощью методов дистанционного зондирования с участием самолетов, спутников, а также с близкого расстояния, которые затем обрабатывали и анализировали с использованием компьютеров. С новыми технологическими достижениями в захвате изображения и обработке данных методы визуализации решают различные практические проблемы в области биологии, медицины и сельского хозяйства. Различные типы методов визуализации: тепловидение, флуоресцентная визуализация, гиперспектральная визуализация и фотометрические изображения – внесли значительный вклад в продвижение различных аспектов фенотипирования растений. Один из них – колориметрия, или изображение на основе RGB из-за его зависимости от

изменения цвета различных биологических объектов. В последние годы значительный прогресс в применении изображений на основе RGB отмечен в различных областях сельского хозяйства и науки о растениях. RGB анализ успешно использован для идентификации сорных растений [1], картирования засоренности посевов [2], оценки состояния газонов [3], анализа физиологических процессов в листьях [4], тестирования семян на степень вызревания [5].

Современный уровень научных знаний в семеноведении сельскохозяйственных культур требует применения инновационных инструментальных методов, отличающихся высокой информативностью и скоростью исполнения. Успешно применяются интроскопические методы оценки качества семенного материала, связанные с особенностями внутренней структуры семян [6, 7]. Активно используют технологии компьютерного анализа изображений семян [8].

Морфометрические параметры определяют форму семян, что, в свою очередь, характеризует их жизнеспособность, а в итоге – продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур. Подсчет семян и «ручная» морфометрия длительны и трудоемки в исполнении. В связи с этим были предложены различные эффективные подходы компьютерной морфометрии семян с использованием методов обработки изображений [9]. Большинство из этих подходов реализованы с использованием программного обеспечения для настольных ПК для анализа изображений семян на светлом фоне, полученных с помощью цифровой камеры или сканера [10]. Эти подходы позволяют пользователям оценивать большое количество морфометрических параметров семени, описывающих форму и цвет [11], которые обеспечивают усовершенствование методов идентификации сорта с использованием изображений семян, определения содержания влаги в семенах и прогнозирования урожайности [12].

Методы обработки изображений для морфометрии и классификации семян применяют с 1980-х годов. Обновления этих методов происходят постоянно, в том числе в последние годы [13]. Разрабатывают различные методы оптического зондирования для оценки качества и безопасности семян [14], описывают сложные формы семян с использованием 2D-изображений [15]. Революционная технология 3D-визуализации и робототехника [16] или рентгеновская компьютерная томография [17] могут быть реализованы для точной оценки формы семян. Однако все еще существует необходимость в фенотипировании семян с использованием простых и доступных инструментов с высокой пропускной способностью [18].

Размерные характеристики, определяющие форму семян, оттенки цвета их поверхности, пригодные для дальнейшей обработки, делают современные методы получения изображений высокоадаптируемыми. Биоморфологические свойства семян могут быть проанализированы с помощью компьютерных систем анализа изображений,

а данные быстро обработаны и сохранены, нанесены на график [19].

Фирмой «Argus-BIO» (Санкт-Петербург) разработан новый морфометрический метод анализа цифровых сканированных изображений семян с использованием серийного программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология». Новая программа полностью лишена субъективизма, исключает ошибки оператора, существенно ускоряет время анализа и прибавляет новые параметры оценки исследуемого материала.

Allium L. – большой, разнообразный и таксономически сложный род однодольных. Род включает более 800 видов, относящихся к 15 под родам и более 70 секциям [20], много культивируемых видов – в основном овощные и декоративные растения, некоторые с лечебными свойствами [21]. Установлен высокий уровень морфологического разнообразия семенной оболочки в роде *Allium*, чьи детали хорошо видны под сканирующим электронным микроскопом. Различия в размере семян, форме, цвете и структуре клеток семенной оболочки служили таксономическими и/или филогенетическими маркерами [22].

Цель исследования – изучить геометрические параметры и оптические признаки семян под рода Сера (*Allium* L., Alliaceae) из биоколлекции Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства (ВНИИО) – филиала Федерального научного центра овощеводства – путем цифрового сканирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлись семена *Allium* L. из под рода Сера: секции Сера (Mill.) Prokh. – *A. fistulosum* L., *A. altaicum* Pall., *A. galanthum* Kar. & Kir., *A. oschaninii* O. Fedtsch., *A. pskemense* B. Fedtsch.; секции *Schoenoprasum* Dum. – *A. altynolicum*, *A. ledebourianum*, *A. oliganthum*, *A. schoenoprasum* L.; секции *Condensatum* N. Friesen – *A. condensatum* из биоколлекции ВНИИО (Московская область). Растения 4–5-го летнего возраста.

Программное обеспечение анализа изображений позволяет проводить автоматические и ручные измерения по изображениям. Измерение морфометрических и оптических параметров семян осуществляли путем анализа изображений с помощью программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология» разработки ООО «Argus-BIO» (Санкт-Петербург). Цифровые изображения семян получены с использованием цифрового планшетного сканера HP Scanjet 200, разрешение 600 dpi, формат файлов JPG. Программа с высокой точностью (до 1/1000 долей мм) измеряет линейные параметры семян. Число семян каждого вида 100 шт.

Программа способна выделить объекты интереса (от фона) по значениям пикселей в цветовых системах RGB и HSB (цветовой тон, насыщенность, светлость). Для описания цветности при анализе цифровых изображений пользовались цветовой моделью RGB. Эта цветовая модель дает возможность разрешить до 28 (256) градаций яркости каждого из трех базовых цветов. Яркость в любом из каналов цифрового изображения в данной точке отражает интенсивность света красной, зеленой и синей областей спектра, попадающего на матрицу регистрирующего устройства сканера. Согласно цветовой модели R, G и B могут принимать абсолютные значения от 0 до 255.

Среднее значение RGB (значение R + значение G + значение B) / 3.

Определяли следующие морфометрические параметры семян:

- площадь проекции, см²;
- линейные размеры: длину, ширину, периметр, размер средний, мм;
- факторы округлости, удлинённости, эллипса, изрезанности, отн. ед.;
- параметры яркости: яркость, тональность, насыщенность, отн. ед.

Фактор округлости (отн. ед.) – это отношение периметра семанки к периметру круга с той же площадью. Для круга показатель близок к единице. Фактор удлинённости (отн. ед.) показывает отношение габаритной длины семанки к габаритной ширине. Про-

екция изображения семени, не имеющего форму круга, измеряемая как расстояние между касательными к контуру изображения, проведенными параллельно выбранному направлению (средний диаметр Фере).

Были рассчитаны доверительные интервалы средних значений исследуемых признаков с уровнем значимости 0,01 [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Allium – один из крупнейших однодольных родов. Подрод Сера включает пять секций. В настоящем исследовании мы описываем семанки 10 видов из трех секций. Роду *Allium* характерны зонтиковидные соцветия, при основании – с покрывалом. Завязь трех- или одногнездная с шестью или многими семаночками. Плод – коробочка, вскрывающаяся по гнездам. В плоде образуется до шести семян, у редких видов – более 10.

Поливариантность семян является необходимым условием адаптивной стратегии растительных видов в нативных фитоценозах, но в агроценозах ее проявление ограничивается уровнем применяемых технологий возделывания сельскохозяйственной культуры. Варьирование морфометрических параметров семян, как и любых других признаков, является геноспецифичным, следовательно селекционно значимым [23].

Из секции Сера проанализированы семанки видов *A. fistulosum*, *A. altaicum*, *A. galanthum*, *A. oschaninii*, *A. pskemense*. Внутри секции максимальную длину имели семанки *A. pskemense* (3,09 мм), минимальную – *A. fistulosum* (2,88 мм). Максимальная ширина семанки зафиксирована у *A. pskemense* (2,14 мм), минимальная – у *A. altaicum* (1,89 мм). Распределение среднего размера и площади семанки внутри секции составил ряд в порядке убывания: *A. pskemense* > *A. oschaninii* > *A. galanthum* > *A. fistulosum* > *A. altaicum*. Семанки всех изученных видов эллиптические: фактор эллипса 0,99 отн. ед., у *A. altaicum* – 0,98 отн. ед., у которого отмечена минимальная округлость (0,61 отн. ед.) и максимальная удлинённость

(1,57 отн. ед.). Распределение периметра и изрезанности семянки внутри секции составил ряд в порядке убывания: *A. pskemense* > *A. oschaninii* > *A. galanthum* > *A. altaicum* > *A. fistulosum* (см. табл. 1).

Из секции *Schoenoprasum* в изучении находились семена видов *A. altyncolicum*, *A. ledebourianum*, *A. oliganthum*, *A. schoenoprasum*. Внутри секции максимальную длину имели семянки *A. altyncolicum* (3,26 мм), минимальную – *A. oliganthum* (2,74 мм). Максимальная ширина семянки зафиксирована у *A. ledebourianum* (1,89 мм), минимальная – у *A. oliganthum* (1,33 мм). Распределение площади, периметра, ширины, среднего размера и среднего диаметра Фере семянки внутри секции составил ряд в порядке убывания: *A. ledebourianum* > *A. altyncolicum* > *A. schoenoprasum* > *A. oliganthum*.

Распределение длины и максимального диаметра Фере семянки внутри секции составил ряд в порядке убывания: *A. altyncolicum* > *A. ledebourianum* > *A. schoenoprasum* > *A. oliganthum*. Удлиненность семянки составила 2,08 отн. ед. у видов *A. oliganthum* и *A. schoenoprasum*, 2,05 – у *A. altyncolicum* и 1,64 отн. ед. – у *A. ledebourianum*. Семена всех изученных видов эллиптические: фактор эллипса 0,99 отн. ед., изрезанность – 0,01 отн. ед.

В наших исследованиях секция *Condensatum* представлена видом *A. condensatum*. Длина семянки составила 3,5 мм, ширина – 1,95 мм, средний размер – 2,73 мм. Периметр зафиксирован на уровне 8,86 мм, изрезанность – 0,03 отн. ед. Семена эллиптические: фактор эллипса 0,99 отн. ед.

Анализ изрезанности семян изученных видов *Allium* из трех секций показал, что значение этого признака максимально (0,03 отн. ед.) у видов *A. pskemense* и *A. condensatum*. Доверительные интервалы средних значений признака «удлиненность» для секций *Cepa* (1,46–1,50), *Schoenoprasum* (1,93–1,99) и *Condensatum* (1,77–1,87) не

пересекаются, следовательно, удлиненность семени может быть первичным маркерным признаком для идентификации секции.

Программное обеспечение также может извлекать и экспортировать информацию о цвете из изображения. Цветовой анализ стал очень важным в области растений в последние годы. Это позволяет идентифицировать вариации в накоплении различных пигментов, проводить диагностику болезней растений, сравнивать мутантные фенотипы и таксономические вариации [23].

На основе интенсивности всех отдельных цветовых компонентов и среднего значения RGB определены различия значений между секциями и видами (см. табл. 2). В секции *Cepa* среднее значение RGB в порядке убывания составило следующий ряд: *A. pskemense* > *A. galanthum* > *A. fistulosum* > *A. altaicum* > *A. oschaninii*. В секции *Schoenoprasum* этот ряд имеет вид: *A. schoenoprasum* > *A. ledebourianum* > *A. altyncolicum* > *A. oliganthum*. Наивысший показатель среднего значения RGB установлен у *A. schoenoprasum* (63,31 ед. яркости) и *A. condensatum* (63,07 ед. яркости).

Выявлен ряд значений RGB в порядке убывания: в секции *Cepa* и секции *A. condensatum* – R > G > B. В секции *Schoenoprasum* эти значения неоднозначны: у *A. altyncolicum*, *A. oliganthum* и *A. schoenoprasum* – B > R > G, у *A. ledebourianum* – R > G > B. Максимальная тональность семянки обнаружена в секции *Schoenoprasum*: у *A. altyncolicum* – 0,73 отн. ед., у *A. schoenoprasum* – 0,72 отн. ед.

Из секции *Cepa* у *A. altaicum* отмечены высокие значения максимальной яркости (241,68 ед. яркости) и насыщенности (0,04 отн. ед.). Однако в секции *Schoenoprasum* обнаружена обратная закономерность: у *A. schoenoprasum* при наименьшем значении максимальной яркости (226,75 ед. яркости) отмечена высокая насыщенность (0,04 отн. ед.).

Табл. 1. Морфометрический анализ семян некоторых видов *Allium* L. ($n = 100$)**Table 1.** Morphometric analysis of the seeds of some species of *Allium* L. ($n = 100$)

Параметр	Секция Сера (Mill.) Prokh.					Секция <i>Schoenoprasum</i> Dum.				Секция <i>Condensatum</i> N. Friesen
	<i>A. fistulosum</i>	<i>A. altaicum</i>	<i>A. galanthum</i>	<i>A. oschaninii</i>	<i>A. pskemense</i>	<i>A. altynolicum</i>	<i>A. ledebourianum</i>	<i>A. oliganthum</i>	<i>A. schoenoprasum</i>	<i>A. condensatum</i>
Площадь, мм ²	4,10/0,07	4,01/0,08	4,19/0,07	4,57/0,15	4,72/0,08	3,58/0,06	4,34/0,08	2,53/0,06	3,06/0,06	4,77/0,10
Периметр, мм	7,71/0,06	7,73/0,08	7,80/0,07	8,11/0,14	8,42/0,08	7,66/0,06	8,03/0,07	6,45/0,07	7,15/0,06	8,86/0,14
Длина, мм	2,88/0,02	2,95/0,03	2,90/0,02	3,02/0,06	3,09/0,03	3,26/0,02	3,06/0,02	2,74/0,03	3,02/0,02	3,50/0,05
Ширина, мм	1,98/0,02	1,89/0,02	1,99/0,02	2,06/0,03	2,14/0,02	1,60/0,02	1,89/0,03	1,33/0,02	1,47/0,02	1,95/0,03
Средний размер, мм	2,43/0,02	2,42/0,02	2,45/0,02	2,54/0,04	2,61/0,02	2,43/0,02	2,47/0,02	2,04/0,02	2,24/0,02	2,73/0,03
Максимальный диаметр Фере, мм	2,84/0,02	2,90/0,03	2,86/0,02	2,97/0,06	3,04/0,03	3,19/0,02	3,02/0,02	2,67/0,03	2,95/0,02	3,45/0,05
Средний диаметр Фере, мм	2,43/0,02	2,44/0,02	2,44/0,02	2,54/0,04	2,61/0,02	2,43/0,02	2,53/0,02	2,04/0,02	2,24/0,02	2,75/0,03
Фактор круга, отн. ед.	0,86/0,00	0,84/0,01	0,86/0,01	0,87/0,01	0,84/0,01	0,77/0,01	0,84/0,01	0,76/0,01	0,75/0,01	0,77/0,02
Фактор эллипса, отн. ед.	0,99/0,00	0,98/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00	0,99/0,00
Округлость, отн. ед.	0,65/0,01	0,61/0,01	0,65/0,01	0,66/0,01	0,65/0,01	0,45/0,01	0,60/0,01	0,45/0,01	0,45/0,01	0,52/0,01
Удлиненность, отн. ед.	1,47/0,02	1,57/0,02	1,47/0,02	1,46/0,02	1,45/0,02	2,05/0,03	1,64/0,03	2,08/0,03	2,08/0,03	1,82/0,05
Изрезанность, отн. ед.	0,01/0,00	0,01/0,00	0,02/0,00	0,02/0,00	0,03/0,00	0,01/0,00	0,01/0,00	0,01/0,00	0,01/0,00	0,03/0,01

Примечание. Значение / – доверительный интервал.

Табл. 2. Величины цветовых составляющих семян некоторых видов *Allium* L. по модели RGB ($n = 100$)**Table 2.** Values of color components of the seeds of some species of *Allium* L. by RGB model ($n = 100$)

Параметр	Секция <i>Cepa</i> (Mill.) Prokh.					Секция <i>Schoenoprasum</i> Dum.				Секция <i>Condensatum</i> N. Friesen
	<i>A. fistulosum</i>	<i>A. altaicum</i>	<i>A. galanthum</i>	<i>A. oschaninii</i>	<i>A. pskemense</i>	<i>A. altynolicum</i>	<i>A. ledebourianum</i>	<i>A. oliganthum</i>	<i>A. schoenoprasum</i>	<i>A. condensatum</i>
Средняя яркость, ед. яркости	58,12/0,56	56,62/0,84	58,35/0,82	54,17/0,64	61,83/0,88	52,80/0,78	61,64/0,79	51,99/0,61	61,59/0,75	62,61/1,11
Отклонение яркости, ед. яркости	26,44/0,26	27,60/0,35	27,04/0,31	25,00/0,34	29,62/0,47	31,82/0,34	32,31/0,30	32,30/0,35	40,39/0,29	30,13/0,39
Минимальная яркость, ед. яркости	9,70/0,46	9,80/0,56	10,10/0,54	10,35/0,59	9,59/0,54	6,00/0,60	7,71/0,47	7,90/0,58	9,86/0,48	8,01/0,63
Максимальная яркость, ед. яркости	239,00/0,20	241,68/0,22	239,56/0,23	237,43/0,17	238,55/0,29	242,24/0,30	243,45/0,25	243,22/0,23	226,75/0,08	240,98/0,47
Красный, ед. яркости	60,37/0,62	59,88/0,97	60,71/0,86	56,76/0,71	63,35/0,90	53,45/0,81	64,69/0,80	52,19/0,63	62,40/0,80	64,62/1,18
Зеленый, ед. яркости	57,84/0,55	55,94/0,82	58,00/0,82	53,68/0,62	61,79/0,88	52,75/0,77	60,95/0,79	52,08/0,61	61,08/0,74	62,34/1,09
Синий, ед. яркости	57,20/0,51	55,18/0,72	57,60/0,77	53,54/0,57	61,63/0,86	55,24/0,77	60,93/0,81	55,17/0,63	66,44/0,70	62,24/1,02
Среднее значение RGB, ед. яркости	58,47/0,56	57,00/0,84	58,77/0,82	54,66/0,63	62,26/0,88	53,81/0,78	62,19/0,80	53,15/0,62	63,31/0,75	63,07/1,10
Тональность, отн. ед.	0,27/0,04	0,29/0,06	0,40/0,05	0,46/0,07	0,41/0,05	0,73/0,01	0,46/0,06	0,68/0,01	0,72/0,01	0,46/0,07
Насыщенность, отн. ед.	0,03/0,00	0,04/0,00	0,03/0,00	0,03/0,00	0,02/0,00	0,02/0,00	0,03/0,00	0,03/0,00	0,04/0,00	0,02/0,00

Примечание. Значение / – доверительный интервал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены геометрические параметры и оптические признаки семян подрода Сера (*Allium* L., Alliaceae) из биоколлекции Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства (ВНИИО) – филиала Федерального научного центра овощеводства – путем цифрового сканирования. В пределах секции Сера максимальные линейные размеры, периметр и площадь сечения имели семена *A. pskemense*. Среди представителей секции *Schoenoprasum* максимальную длину имели семянки *A. altynolicum*. Максимальные ширина, периметр, площадь сечения, средний диаметр Фере семян зафиксированы у *A. ledebourianum*. В секции Сера среднее значение RGB в порядке убывания составило ряд: *A. pskemense* > *A. galanthum* > *A. fistulosum* > *A. altaicum* > *A. oschaninii*. В секции *Schoenoprasum* этот ряд имеет вид: *A. schoenoprasum* > *A. ledebourianum* > *A. altynolicum* > *A. oliganthum*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahmad I., Muhamin A., Naeem Islam M. Real-time specific weed recognition system using histogram analysis, Proc // World academy of science, engineering and technology. 2006. N 16. P. 145–148.
2. Aitkenhead M.J., Dalgetty I.A., Mullins C.E., McDonald A.J.S., St. Rachan, N.J.C. Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods // Computers and Electronics in Agriculture. 2003. N 39. P. 157–171.
3. Karcher D.E., Rechardson M.D. Quantifying turf grass color using digital image analysis // Crop Science. 2003. N 3. P. 943–951.
4. Aldea M., Frank T.D., Delucia E.H. A method for quantitative analysis for spatially variable physiological processes across leaf surfaces // Photosynthesis Research. 2006. N 90. P. 161–172.
5. Dana W., Ivo W. Computer image analysis of seed shape and seed color of flax cultivar description // Computers and Electronics in Agriculture. 2008. N 61. P. 126–135.
6. Musaev F.B., Priyatkin N.S., Shchukina P.A., Ivanova M.I., Jafarov I.H., Nowar M. Geometrical parameters and colour index of chive (*Allium schoenoprasum*) seed // Research on Crops. 2020. Vol. 21. N 4. P. 775–782.
7. Мусаев Ф.Б., Иванова М.И., Прияткин Н.С., Кузнец С.В. Цифровая морфометрия семян луковых культур // Овощи России. 2021. № 3. С. 44–48.
8. Kapadia V.N., Sasidharan N., Patil K. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research // Advances in Biotechnology and Microbiology. 2017. Vol. 7. Iss. 2. P. 1–3.
9. Tanabata T., Shibaya T., Hori K., Ebana K., Yano M. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis // Plant physiology. 2012. N 4. P. 1871–1880. DOI: 10.1104/pp.112.205120.
10. 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. N 10. P. 1. DOI: 10.1186/1746-4811-10-2310.4225/08/ 536302C43FC28.
11. 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 // Computers and Electronics in Agriculture. 2013. N 99. P. 21–34. DOI: 10.1016/j.compag.2013.08.022.
12. Zapotoczny P. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks, Part I, single kernel texture // Journal of Cereal Science. 2011. N 54. P. 60–68. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.02.012.
13. Sankaran S., Wang M., Vandemark G.J. Image-based rapid phenotyping of chickpeas seed size // Eng Agric Environ Food. 2016. N 9. P. 50–55. DOI: 10.1016/j.eaef.2015.06.001.
14. Huang M., Wang Q.G., Zhu Q.B., Qin J.W., Huang G. Review of seed quality and safety tests using optical sensing technologies // Seed Science and Technology. 2015. N 43. P. 337–366. DOI: 10.15258/sst.2015.43.3.16.
15. Cervantes E., Martín J.J., Saadaoui E. Updated methods for seed shape analysis // Scientifica. 2016. N 42. P. 1569–1825. DOI: 10.1155/2016/5691825.
16. Roussel J., Geiger F., Fischbach A., Jahnke S., Scharr H. 3D surface reconstruction of plant seeds by volume carving: performance and accuracies // Frontiers in Plant Science. 2016. N 7. P. 745. DOI: 10.3389/fpls.2016.00745.
17. Strange H., Zwiggelaar R., Sturrock C., Mooney S.J., Doonan J.H. Automatic estimation of wheat grain morphometry from computed tomography data // Functional Plant Biology. 2015. N 42. P. 452–459. DOI: 10.1071/FP14068.

18. Fritsch R.M., Blattner F.R., Gurushidze M. New classification of *Allium* L. subg. *Melanocrommyum* (Webb & Berthel) Rouy (Alliaceae) based on molecular and morphological characters // *Phyton*. 2010. N 49. P. 145–220.
19. Иванова М.И., Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р., Кашлева А.И., Середин Т.М., Разин О.А. Биохимический состав листьев видов *Allium* L. в условиях Московской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 5. С. 47–50.
20. Bednorz L., Krzywińska A., Czarna A. Seed morphology and testa sculptures of some *Allium* L. species (Alliaceae) // *Acta Agrobotanica*. 2011. Vol. 64 (2). P. 33–38.
21. Choi H.J., Giussani L.M., Jang C.G., Oh B.U., Cota-Sánchez J. Hugo. Systematics of disjunct northeastern Asian and northern North American *Allium* (Amaryllidaceae) // *Botany*. 2012. N 90 (6). P. 491–508. DOI:10.1139/b2012-031.
22. Лакин Г.В. Биометрия: монография. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
23. Kasajima I. Measuring plant colors // *Plant Biotechnology*. 2019. N 36. P. 63–75. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.19.0322a.
1. Ahmad I., Muhamin A., Naeem Islam M. Real-time specific weed recognition system using histogram analysis, *Proc. World academy of science, engineering and technology*, 2006, no. 16, pp. 145–148.
2. Aitkenhead M.J., Dalgetty I.A., Mullins C.E., McDonald A.J.S., St. Rachan N.J.C. Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2003, no. 39, pp. 157–171.
3. Karcher D.E., Recharadson M.D. Quantifying turf grass color using digital image analysis. *Crop Science*, 2003, no. 3, pp. 943–951.
4. Aldea M., Frank T.D., Delucia E.H. A method for quantitative analysis for spatially variable physiological processes across leaf surfaces. *Photosynthesis Research*, 2006, no. 90, pp. 161–172.
5. Dana W., Ivo W. Computer image analysis of seed shape and seed color of flax cultivar description. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, no. 61, pp. 126–135.
6. Musaev F.B., Priyatkin N.S., Shchukina P.A., Ivanova M.I., Jafarov I.H., Nowar M. Geometrical parameters and colour index of chive (*Allium schoenoprasum*) seed. *Research on Crops*, 2020, vol. 21, no. 4, pp. 775–782.
7. Musaev F.B., Ivanova M.I., Priyatkin N.S., Kuznec S.V. Digital morphometry of onion seeds. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*, 2021, no. 3, pp. 44–48. (In Russian).
8. Kapadia V.N., Sasidharan N., Patil K. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. *Advances in Biotechnology and Microbiology*, 2017, vol. 7, iss. 2, pp. 1–3.
9. Tanabata T., Shibaya T., Hori K., Ebana K., Yano M. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant physiology*, 2012, no. 4, pp. 1871–1880. DOI: 10.1104/pp.112.205120.
10. Whan A.P., Smith A.B., Cavanagh C.R., Ral J.P.F., Shaw L.M., Howitt C.A. GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*, 2014, no. 10, pp. 1. DOI: 10.1186/1746-4811-10-2310.4225/08/536302C43FC28.
11. 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. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, no. 99, pp. 21–34. DOI: 10.1016/j.compag.2013.08.022.
12. Zapotoczny P. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks, Part I, single kernel texture. *Journal of Cereal Science*, 2011, no. 54, pp. 60–68. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.02.012.
13. Sankaran S., Wang M., Vandemark G.J. Image-based rapid phenotyping of chickpeas seed size. *Eng Agric Environ Food*, 2016, no. 9, pp. 50–55. DOI: 10.1016/j.eaef.2015.06.001.
14. Huang M., Wang Q.G., Zhu Q.B., Qin J.W., Huang G. Review of seed quality and safety tests using optical sensing technologies. *Seed Science and Technology*, 2015, no. 43, pp. 337–366. DOI: 10.15258/sst.2015.43.3.16.
15. Cervantes E., Martín J.J., Saadaoui E. Updated methods for seed shape analysis. *Scientifica*, 2016, no. 42, pp. 1569–1825. DOI: 10.1155/2016/5691825.
16. Roussel J., Geiger F., Fischbach A., Jahnke S., Scharr H. 3D surface reconstruction of plant seeds by volume carving: performance and accuracies. *Frontiers in Plant Science*, 2016, no. 7, pp. 745. DOI: 10.3389/fpls.2016.00745.
17. Strange H., Zwiggelaar R., Sturrock C., Mooney S.J., Doonan J.H. Automatic estima-

- tion of wheat grain morphometry from computed tomography data. *Functional Plant Biology*, 2015, no. 42, pp. 452–459. DOI: 10.1071/FP14068.
18. Fritsch R.M., Blattner F.R., Gurushidze M. New classification of Allium L. subg. Melanocrommyum (Webb & Berthel) Rouy (Alliaceae) based on molecular and morphological characters. *Phyton*, 2010, no. 49, pp. 145–220.
19. Ivanova M.I., Buharov A.F., Baleev D.N., Buharova A.R., Kashleva A.I., The biochemical composition of Allium L. leaves under the environmental conditions of the Moscow region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2019, vol. 33, no. 5, pp. 47–50. (In Russian).
20. Bednorz L., Krzywińska A., Czarna A. Seed morphology and testa sculptures of some Allium L. species (Alliaceae). *Acta Agrobotanica*, 2011, vol. 64 (2), pp. 33–38.
21. Choi H.J., Giussani L.M., Jang C.G., Oh B.U., Cota-Sánchez J. Hugo. Systematics of disjunct northeastern Asian and northern North American Allium (Amaryllidaceae). *Botany*, 2012, no. 90 (6), pp. 491–508. DOI:10.1139/b2012-031.
22. Lakin G.V. *Biometrics*: Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990, 352 p. (In Russian).
23. Kasajima I. Measuring plant colors. *Plant Biotechnology*, 2019, no. 36, pp. 63–75. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.19.0322a.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Мусаев Ф.Б. оглы, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; адрес для переписки: Россия, 143080, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: musayev@bk.ru

Прияткин Н.С., кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором

Иванова М.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая лабораторией

Бухаров А.Ф., доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией

Кашлева А.И., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ Farkhad B. Musaev, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher; address: 14, Selektionnaya St., VNISSOK settl., Odintsovo district, Moscow region, 143080, Russia; e-mail: musayev@bk.ru

Nikolay S. Priyatkin, Candidate of Science in Engineering, Senior Researcher, Section Leader

Mariya I. Ivanova, Doctor of Science in Agriculture, Professor, Laboratory Head

Alexander F. Buharov, Doctor of Science in Agriculture, Laboratory Head

Anna I. Kashleva, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.04.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 20.04.2022
Дата публикации / Published 25.05.2022