

Обновление приложения SeedCounter – оценка цветовых и текстурных характеристик зерен злаковых

Комышев Е.Г.^{1*}, Генаев М.А.^{1, 2}, Афонников Д.А.^{1, 2}

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Курчатowski геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

* komyshev@bionet.nsc.ru

Ключевые слова: мобильное приложение; цветовые характеристики; текстурные характеристики; зерна злаковых

Мотивация и цель: Оболочка зерна – это основной барьер между зерном и внешней средой, поэтому с ее характеристиками связан ряд важных биологических функций: поглощение влаги, жизнеспособность зерна, устойчивость к предуборочному прорастанию [1]. Цвет оболочки зерен злаков – важный признак, он характеризует пигменты и метаболиты, содержащиеся в ней, такие как каротиноиды, антоцианы, меланины. Помимо цвета, интерес представляет также текстура зерна. Например, шершавость оболочки зерен у пшеницы – это признак, который связан с восприимчивостью зерен поражению вредителями [2], технологическими свойствами зерна [3], содержанием влаги [4]. При изучении механизмов генетического контроля тех или иных признаков зерна селекционеры и генетики сталкиваются с необходимостью оценки цветовых и текстурных характеристик их оболочки.

Мобильные устройства все чаще стали использоваться в различных сферах научных наблюдений, в том числе и в агробиотехнологиях. Благодаря совершенствованию цифровой техники, качество цветопередачи на современных моделях камер становится все более точным. Это позволяет с высоким качеством оценивать цветовые характеристики органов растений. Разработанное нами ранее приложение SeedCounter показало свою практическую пользу при морфометрии зерен пшеницы и ячменя. Расширение функциональности за счет возможности оценки цветовых и текстурных характеристик оболочки зерна может стать существенным улучшением в практическом применении.

Методы и алгоритмы: В обновленной версии приложения SeedCounter была реализована поддержка различных протоколов съемки: с масштабированием на основе листа бумаги стандартного формата с коррекцией перспективы; на сплошном фоне с масштабированием на основе цветовой шкалы ColorChecker Mini Classic target (<https://calibrite.com/us/product/colorchecker-classic-mini>); на листе бумаги с цветовой шкалой.

Помимо этого, в новой версии приложения был реализован расчет цветовых и текстурных характеристик зерен [5]. Цветовые характеристики включают: средние значения интенсивности цветовых каналов, глобальную цветовую гистограмму, дескриптор доминантных цветов, дескриптор цветовой раскладки. Текстурные характеристики включают: среднее, дисперсию, инерцию, гомогенность, единообразие, энергию, корреляцию, энтропию, максимальную вероятность, тень кластера, выпуклость кластера, рассчитываемые на основе матрицы совпадения уровней серого (GLCM, Grey Level Co-occurrence Matrix), а

также короткие серии, длинные серии, неравномерность уровня серого, неравномерность длин серий, процент серий, энтропию, рассчитываемые на основе матрицы длин серий уровней серого (GLRM, Gray Level Run-length Matrix). Как цветовые, так и текстурные характеристики вычисляются с учетом масок изображений зерен, что важно, так как при вычислении признаков на прямоугольной области пиксели фона могут вносить значительные искажения в рассчитываемые характеристики из-за малого размера зерен и их эллипсоидной формы.

Результаты: Обновленная версия приложения SeedCounter была использована для анализа красnozерных образцов озимой мягкой пшеницы. Проведенные оценки позволили сопоставить генетические вариации изученных образцов, цветовые характеристики зерен и их устойчивость к предуборочному прорастанию. На основе нашего метода было показано, что у красnozерных сортов существуют вариации по оттенкам цвета (голубизне и светлоте). В результате этой работы наравне с двенадцатью локусами, ассоциированными с признаками устойчивости к предуборочному прорастанию, были выявлены 26 локусов, ассоциированных с цветовыми характеристиками зерен (в том числе и новые).

Помимо этого, были проанализированы изображения зерен пшеницы популяции Международной инициативы по картированию Triticeae (International Triticeae Mapping Initiative, ITMI), включающие 116 генотипов (1740 изображений).

Анализ текстурных характеристик коллекции показал значимые различия отдельных генотипов (Synthetik_R93, Opata, ITMI_11, ITMI_103, ITMI_115, ITMI_42, ITMI_62, ITMI_82, ITMI_88) по таким характеристикам, как: среднее, гомогенность, единообразие, корреляция.

Выводы: Обновленное приложение SeedCounter расширяет возможности для определения цветовых и текстурных характеристик зерен злаковых. Цветовые признаки могут быть полезны для исследования содержания пигментов и метаболитов в оболочке зерна, таких как каротиноиды, антоцианы, меланины. Текстурные признаки могут быть полезны для оценки характеристик поверхности зерен, таких как шершавость.

Реализованные цветовые характеристики позволяют определять тонкие различия оттенков зерна даже между образцами, имеющими один тип окраски. Такой подход позволяет выявлять локусы, связанные с цветовыми признаками. Приложение SeedCounter позволило выявить новые локусы контроля цветовых характеристик зерен вне зависимости от признака устойчивости к предуборочному прорастанию.

Проведенный анализ текстурных признаков продемонстрировал, что в популяции мягкой пшеницы ITMI существует разнообразие зерен по степени шершавости оболочки зерен, которое можно выявлять и анализировать на основе предложенных алгоритмов оценки текстуры зерен.

Финансирование: Работа поддержана грантом Российского научного фонда (№ 22-74-00122) и Курчатовским геномным центром ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия.

SeedCounter app update – evaluation of color and texture characteristics of cereal grains

Komyshchev E.G.^{1*}, Genaev M.A.^{1, 2}, Afonnikov D.A.^{1, 2}

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Kurchatov Genomic Center of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

* komyshchev@bionet.nsc.ru

Key words: mobile app; color characteristics; textural characteristics; cereal grains

Motivation and Aim: The grain coat is the main barrier between the grain and the external environment, so a number of important biological functions are associated with its characteristics: moisture absorption, grain viability, resistance to pre-harvest germination [1]. The color of cereal grain coat is an important trait, it characterizes the pigments and metabolites contained in it, such as carotenoids, anthocyanins, melanins. In addition to color, the texture of the grain is also of interest. For example, the roughness of the grain coat in wheat is a trait that is related to the susceptibility of grains to pest damage [2], technological properties of grain [3], and moisture content [4]. When studying the mechanisms of genetic control of certain grain traits, breeders and geneticists face the need to evaluate the color and textural characteristics of their shells. Mobile devices are increasingly being used in various fields of scientific observation, including agro-biotechnology. Thanks to the improvement of digital technology, the quality of color reproduction on modern camera models is becoming more and more accurate. This makes it possible to assess the color characteristics of plant organs with high quality. The previously developed SeedCounter application has shown its practical usefulness in morphometry of wheat and barley grains. Expanding the functionality to include the ability to assess the color and texture characteristics of the grain coat could be a significant improvement in practical applications.

Methods and Algorithms: In the updated version of the SeedCounter application, support for different imaging protocols was implemented: with scaling based on a standard-size sheet of paper with perspective correction; on a solid background with scaling based on the ColorChecker Mini Classic target (<https://calibrite.com/us/product/colorchecker-classic-mini>); on a sheet of paper with a color scale.

In addition, the calculation of color and texture characteristics of grains was implemented in the new version of the application [5]. Color characteristics include: average intensity values of color channels, global color histogram, descriptor of dominant colors, descriptor of color layout. Texture characteristics include: mean, variance, inertia, homogeneity, uniformity, energy, correlation, entropy, maximum probability, cluster shade, cluster prominence, calculated based on the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM, Grey Level Co-occurrence Matrix), and short run, long run, gray level on-uniformity, run length non-uniformity, run ratio, entropy, calculated based on the Gray Level Run-length Matrix (GLRM, Gray Level Run-length Matrix).

Both color and texture features are computed by considering grain image masks, which is important because when computing features on a rectangular region, background pixels can introduce significant distortions in the computed features due to the small size of grains and their ellipsoidal shape.

Results: The updated version of the SeedCounter application was used to analyze red-grained winter soft wheat accessions. The evaluations made it possible to compare genetic variations of the studied accessions, color characteristics of grains and their resistance to preharvest germination. Based on our method, it was shown that variations in color shades (blueness and lightness) exist in red-grain varieties. As a result of this work, 26 loci associated with grain color traits (including new ones) were identified along with twelve loci associated with preharvest germination resistance traits.

In addition, wheat grain images of the International Triticeae Mapping Initiative (ITMI) population including 116 genotypes (1,740 images) were analyzed.

Analysis of the textural characteristics of the collection showed significant differences between individual genotypes (Synthetik_R93, Opata, ITMI_11, ITMI_103, ITMI_115, ITMI_42, ITMI_62, ITMI_82, ITMI_88) in terms of such characteristics as mean, homogeneity, uniformity, and correlation.

Conclusion: The updated SeedCounter application expands the possibilities for determining color and textural characteristics of cereal grains. Color traits can be useful to investigate the content of pigments and metabolites in the grain coat, such as carotenoids, anthocyanins, melanins. Textural attributes may be useful for evaluating grain surface characteristics such as roughness.

Realized color features allow the detection of subtle differences in grain hues even between samples having the same color type. This approach allows the identification of loci associated with color traits. The SeedCounter application allowed the identification of new loci controlling grain color traits independent of the preharvest germination resistance trait.

The analysis of textural traits demonstrated that in the ITMI soft wheat population there is grain diversity in terms of grain coat roughness, which can be detected and analyzed based on the proposed algorithms for grain texture evaluation.

Funding: The work was supported by RSF (project No. 22-74-00122) and Kurchatov Genomic Center, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Список литературы/References

1. Souza F.H., Marcos-Filho J. The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae. *Braz J Botany*. 2001;24:365-375
2. D'Isita I. et al. Susceptibility of old and modern wheat genotypes to *Sitophilus granarius* (L.) and *Rhyzoperta Dominica* (F.). *J Stored Prod Res*. 2024;106:102265
3. Molenda M. et al. Friction of wheat grain. *Acta Agrophys*. 1995;(4):3-89
4. Królczyk J.B. Metrological changes in the surface morphology of cereal grains in the mixing process. *Int Agrophys*. 2016;30(2):193-202
5. Komyshev E.G., Genaev M.A., Afonnikov D.A. Analysis of color and texture characteristics of cereals on digital images. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(4):340-347