**Алієв Е.Б.**

к.т.н., завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва

*Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України***Яропуд В.М.**

к.т.н., доцент

*Вінницький національний аграрний університет***Aliiev E.****Institute of Oilseed Crops
NAAS****Yaropud V.***Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 631.362**

ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ НАСІННЯ ЗА ФОТОЗОБРАЖЕННЯМ

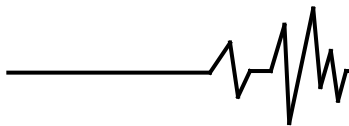
Форма та розмір насіння є одними з найважливіших агрономічних ознак, оскільки вони впливають на врожайність, якість та ринкову ціну. Тому такі галузі науки, як генетика, функціональний аналіз та геноміка, які сприяють підвищенню врожайності, вивчають програми схрещення рослин із різними морфологічними і маркерними ознаками. Тому виникає потреба у ефективних, надійних і високопродуктивних методах фенотипування насіння. Загалом форму насіння можна оцінити двома способами. Простий спосіб – вимірювати довжину і ширину насіння за допомогою ручного вимірювального інструменту (лінійки, штангельциркуля, мікрометра та інш.). Однак ручні методи обмежують кількість даних, якість вимірювань та різноманітність форм. Навпаки, обчислювальні методи, що використовують цифрову технологію візуалізації, можуть дати нам можливість автоматично вимірювати різноманітні параметри форми при дуже малих розмірах у зображеннях з високою роздільною здатністю. Мета досліджень є обґрунтування алгоритму і розробка відповідного програмного забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням. В результаті досліджень обґрунтовано алгоритм і розроблено відповідне програмне забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням, які основані на його перетворенні з 24-розрядного (повнокольорового) в 1-бітове (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, обробки на основі морфологічних операцій і з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа автоматичного визначення контуру кожного насіння в 1-бітному зображенні з подальшим обчисленням довжини L , ширини B , площі S та довжини периметра P насіння.

Ключові слова: насіння, фракційний склад, фенотипування, форма, розміри, зображення.

Постановка проблеми. Форма та розмір насіння є одними з найважливіших агрономічних ознак, оскільки вони впливають на врожайність, якість та ринкову ціну. Тому такі галузі науки, як генетика, функціональний аналіз та геноміка, які сприяють підвищенню врожайності, вивчають програми схрещення рослин із різними морфологічними і маркерними ознаками. Тому виникає потреба у ефективних, надійних і високопродуктивних методах фенотипування насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом форму насіння можна оцінити двома способами. Простий спосіб – вимірювати довжину і ширину насіння за допомогою ручного вимірювального інструменту (лінійки, штангельциркуля, мікрометра та ін.). Однак ручні методи

обмежують кількість даних, якість вимірювань та різноманітність форм. Навпаки, обчислювальні методи, що використовують цифрову технологію візуалізації, можуть дати нам можливість автоматично вимірювати різноманітні параметри форми при дуже малих розмірах у зображеннях з високою роздільною здатністю [1-5]. Наразі розроблено кілька методів візуалізації. Еліптичні дескриптори Фур'є були використані для дослідження варіацій форми насіння [6], але вимірюється лише невелика кількість насінин, які розміщені в одному напрямку. Таким чином, цей спосіб не підходить для вимірювання високої пропускної здатності. В роботі [7] розроблено високопропускний метод вимірювання площі насіння, використовуючи настільний сканер та програмне забезпечення для аналізу



зображень для автоматизації трудомістких завдань, але він вимірює лише площу насіння, а не параметри форми.

Мета досліджень. Обґрунтувати алгоритм і розробити відповідне програмне забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням.

Результати досліджень. Сутність визначення фракційного складу соняшнику полягала у отриманні зображення насіннєвої суміші на поверхні та подальша його обробка за наступним алгоритмом. Даний алгоритм використовує новий метод аналізу зображень, за допомогою якого можна зменшити час, необхідний для підготовки насіння та зйомку зображень. Контури насіння автоматично розпізнаються з цифрових зображень, і обчислюються кілька параметрів форми, такі як довжина L , ширина B , площа S та довжина периметра P насіння.

Спочатку на зображенні вибирається прямокутна область фракції «схід» зернового або насіннєвого матеріалу. За результатами сканування зазначеної області проводяться морфологічні перетворення, метою яких є позбавлення зображень випадкових вкраплень, шумів і об'єднання зон, розділених тінню.

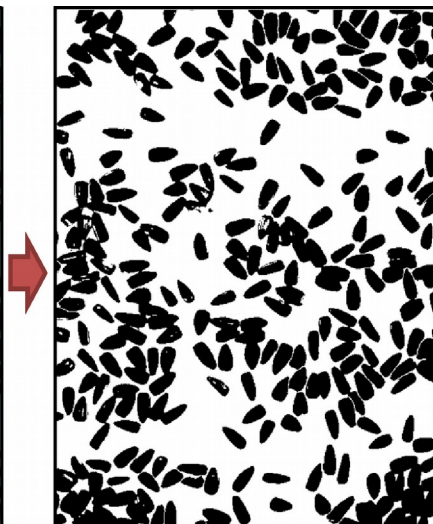
Алгоритм і реалізоване відповідне програмне забезпечення на базі Visual Studio C++ і бібліотеки OpenCV аналізує всі зображення, що отримані з фотокамери. В результаті аналізу автоматично ідентифікуються насіння шляхом взяття послідовних точок по периметру насіння та максимізації або мінімізації значень у наступній послідовності:

- завантаження зображення;
- перетворення в 1-бітове зображення

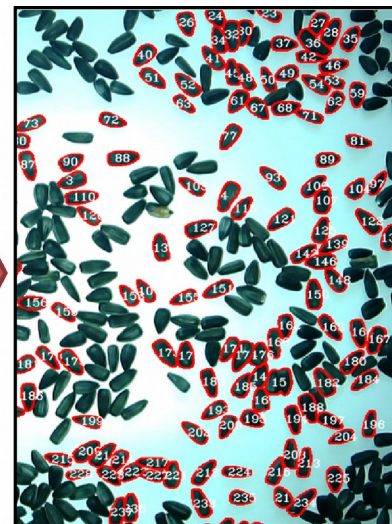
(чорне насіння на білому фоні);



Вихідне зображення
насіння



Перетворене (чорно-біле)
зображення насіння



Визначення контурів
насіння

Рис. 1. Етапи обробки зображення

- аналіз морфології для видалення шумів і пропусків;

- визначення контурів, позначивши всі насіння на зображенні та обчисливши довжину L , ширину B , площу S та довжину периметра P насіння.

Зображення обробляється в три етапи (рис. 1).

По-перше, зображення обраної прямокутної області фракції зернового або насіннєвого матеріалу перетворюється з 24-розрядного (повнокольорового) в 1-бітове (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, щоб отримати чорні насіння на білому [8]. Цей спосіб стабільний до рівня освітлення.

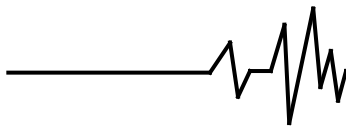
По-друге, будь-який шум або пропуск видаляється. Програмне забезпечення використовує функції OpenCV Erode та Dilate на основі морфологічних операцій [9].

По-третє, з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа функція OpenCV FindContour [10] автоматично визначає контур кожного насіння в 1-бітовому зображенні, який набуває набір координат (рис. 2)

$$P_i = (x_i, y_i) \quad (1)$$

Положення початкової точки системи координат $O(0, 0)$ за всіх P_i визначається як лівий верхній кут на зображенні. З набору координат контуру функція OpenCV ContourArea обчислює його площу, а ArcLength [11] обчислює периметр. Використовуючи ці функції, обчислюються координати центра мас насіння, як

$$(x_c, y_c) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n y_i \right) \quad (2)$$



Для вимірювання довжини L алгоритм виявляє максимальну відстань між точками по периметру шляхом обчислення всіх відстаней сегмента $hl_{i,j}$ між усіма парами точок конуру (рис. 2):

$$hl_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Найдовший сегмент L визначається шляхом:

$$L = hl_{\max} = \max_{i,j} (hl_{i,j}), P_{h0}(x_{h0}, y_{h0}), P_{h1}(x_{h1}, y_{h1}) \quad (4)$$

$$P(x) = A \cdot \exp\left[-(x - \bar{x})^2 / 2\delta^2\right] \quad (7)$$

де $P(x)$ – щільність ймовірності ознаки x (геометричний розмір насінини);
 A – амплітуда розподілу Гаусса;

Для вимірювання ширини B алгоритм виявляє найдовший сегмент, який перпендикулярний довжині L (рис. 2):

$$wl_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \left(\text{if } \frac{(y_{h1} - y_{h0})(y_i - y_j)}{(x_{h1} - x_{h0})(x_i - x_j)} = -1 \right) \quad (5)$$

$$B = wl_{\max} = \max_{i,j} (wl_{i,j}), P_{w0}(x_{w0}, y_{w0}), P_{w1}(x_{w1}, y_{w1}) \quad (6)$$

Далі використовуючи властивість нормального розподілу, проводиться процедура поетапного виділення складових, що входять до інтегральної кривої розподілу щільності ймовірності (функція Гаусса):

\bar{x} – середнє значення ознаки;

δ – середньоквадратичне відхилення ознаки x від середнього \bar{x} .

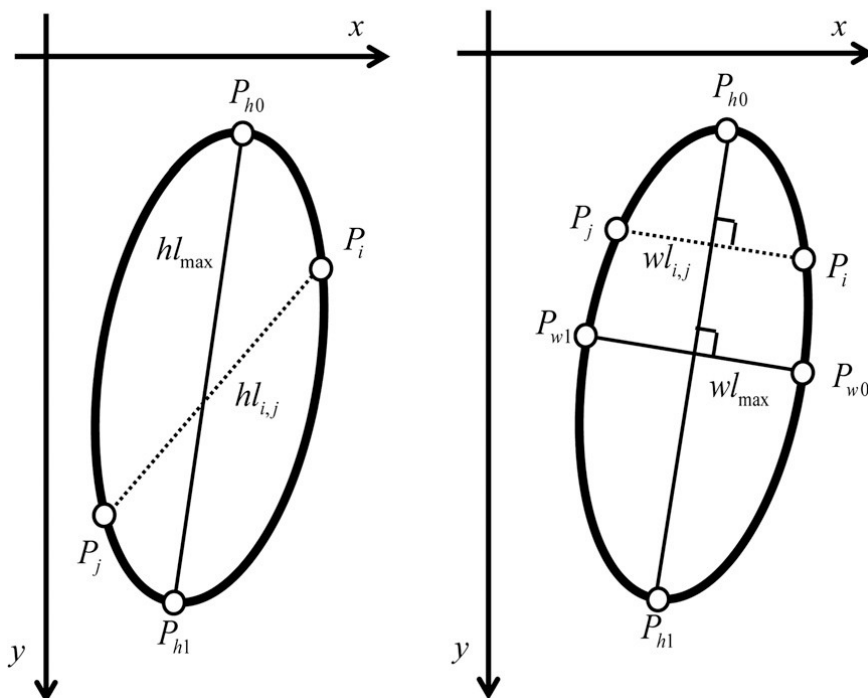


Рис. 2. Схема визначення параметрів насіння

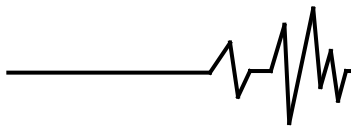
Використовуючи квадратичну регресію до логарифму попередньої залежності,

$$\ln P(x) = -\frac{x^2}{2\delta^2} + \frac{\bar{x}}{\delta^2} \cdot x + \left[\ln A - \frac{\bar{x}^2}{2\delta^2} \right] \quad (8)$$

де коефіцієнт при змінній другого порядку – $1/2\delta^2$; при змінній першого порядку – \bar{x}/δ^2 ; вільний член – $(\ln A - \bar{x}^2/2\delta^2)$, визначаються

всі параметри нормального розподілу граничної ділянки інтегральної кривої. Послідовне вилучення виділених Гауссіан дозволяє відновити всі складові. Кожна компонента має свій максимум, що відповідає середньому значенню геометричного розміру насінини і площі нормованої до одиниці, яка в процентному вираженні відображає сумарну концентрацію тієї чи іншої фракції зернової або насінневої суміші (θ_d , %).

Для відпрацювання зазначеної методики було складено спеціалізований штатив із фотокамерою ELP-USBFHD01M-BFV і



джерелом світла, загальний вигляд яких представлено на рисунку 3.

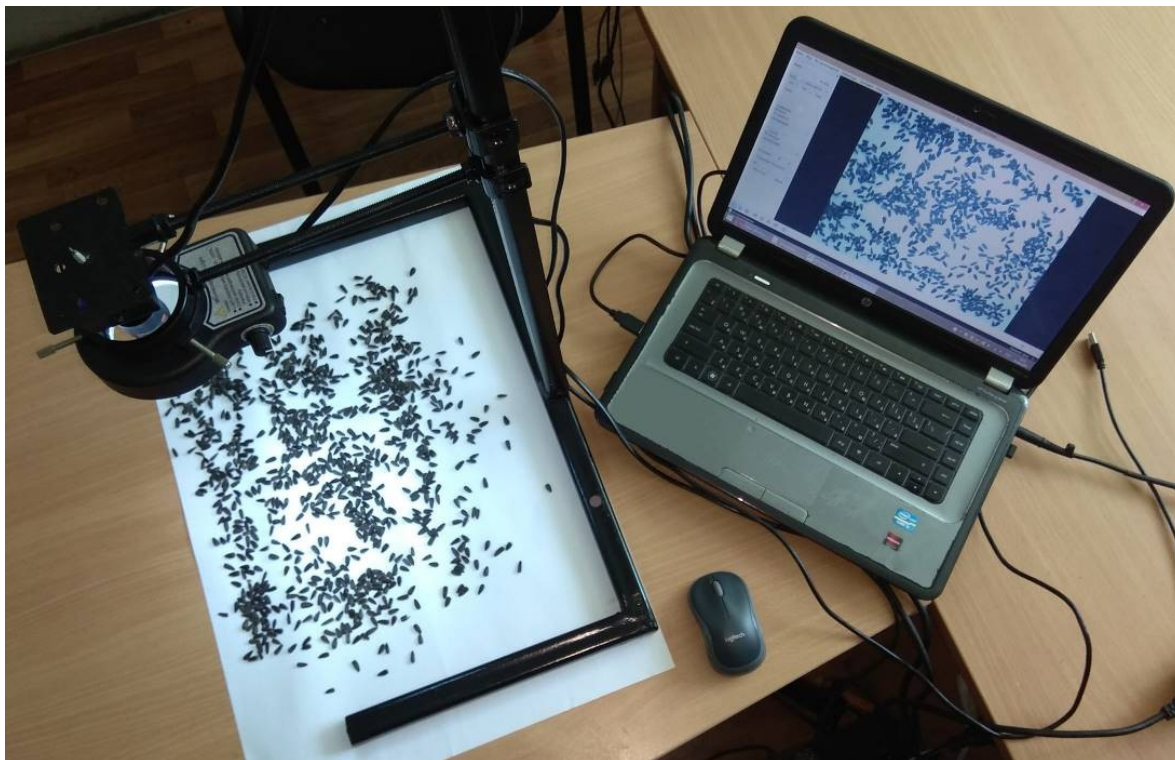


Рис. 3. Загальний вигляд спеціалізованого штатива із фотокамерою ELP-USBFHD01M-BFV і джерелом світла

Вихідним матеріалом при проведенні експериментальних досліджень була насіннева суміш соняшнику, до складу якої входили наступні сортозразки соняшнику селекції Інституту олійних культур НААН: Сл2613, 14RNA274, ВК419-2, ІnK22, ІnK404, І2K2218, ВІР130, КГ9. Калібрування за

геометричними розмірами проводилося за допомогою комплекту лабораторних решіт на лабораторному розсіві РЛУ-3.

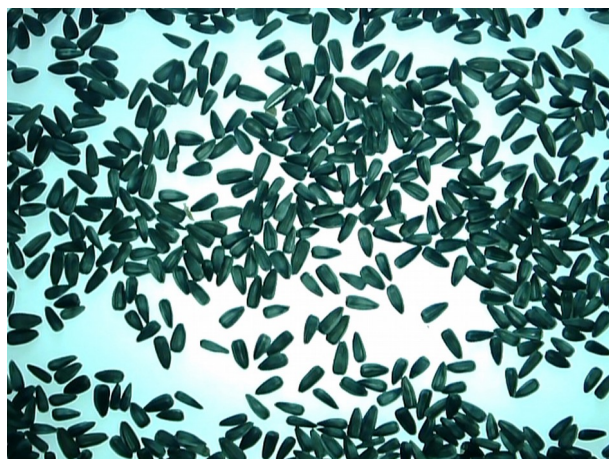
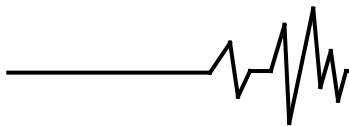
В результаті фотозйомки отримано набір зображень насінин соняшнику різних фракцій «проходу» \varnothing 5 мм – \varnothing 10 мм (рис. 4).



Ø 5 мм



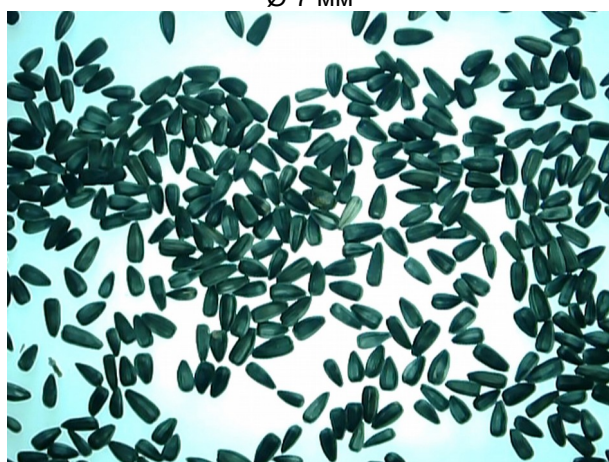
Ø 6 мм



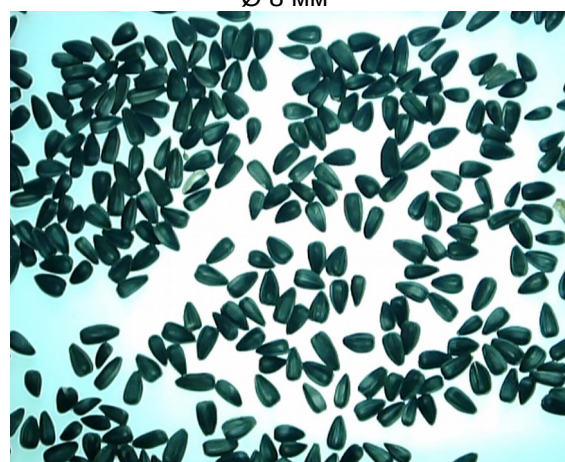
Ø 7 мм



Ø 8 мм



Ø 9 мм

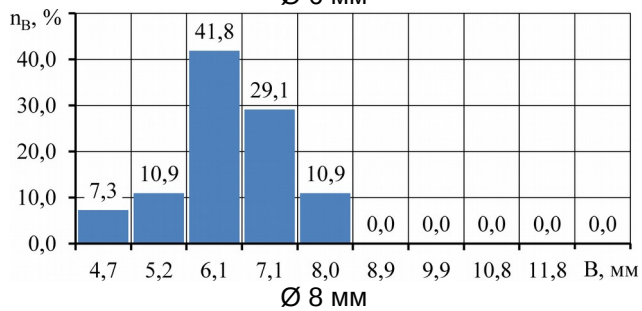
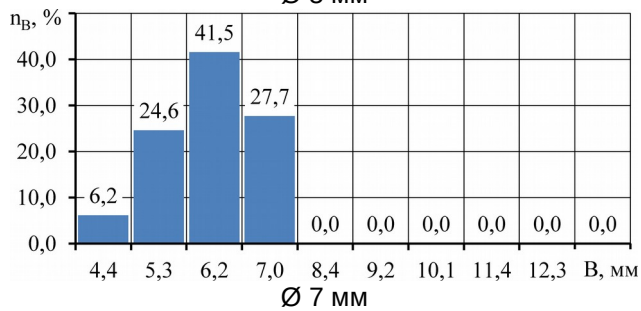
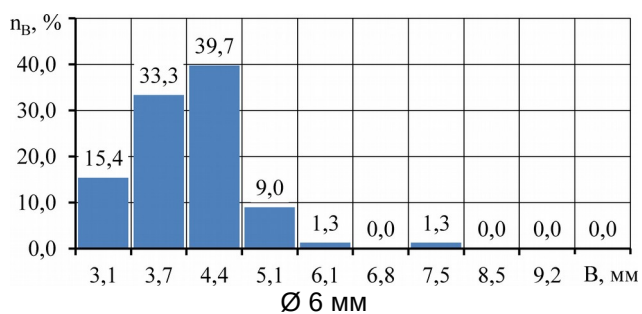
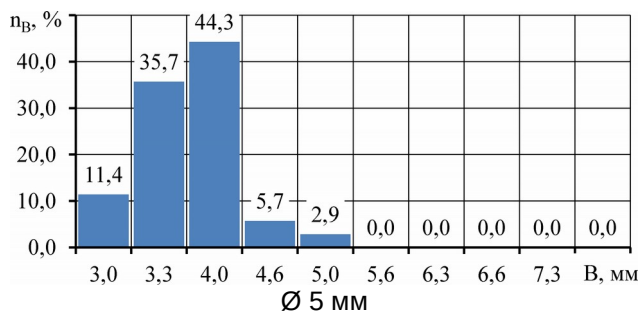


Ø 10 мм

Рис. 4. Зображення насінин соняшнику різних фракцій

В результаті обробки зображень насінин соняшнику різних фракцій на розробленому програмному забезпеченні

отримано розподіл насіння за їх шириною, що відповідає проведеному калібруванню на комплекті лабораторних решіт (рис. 5).



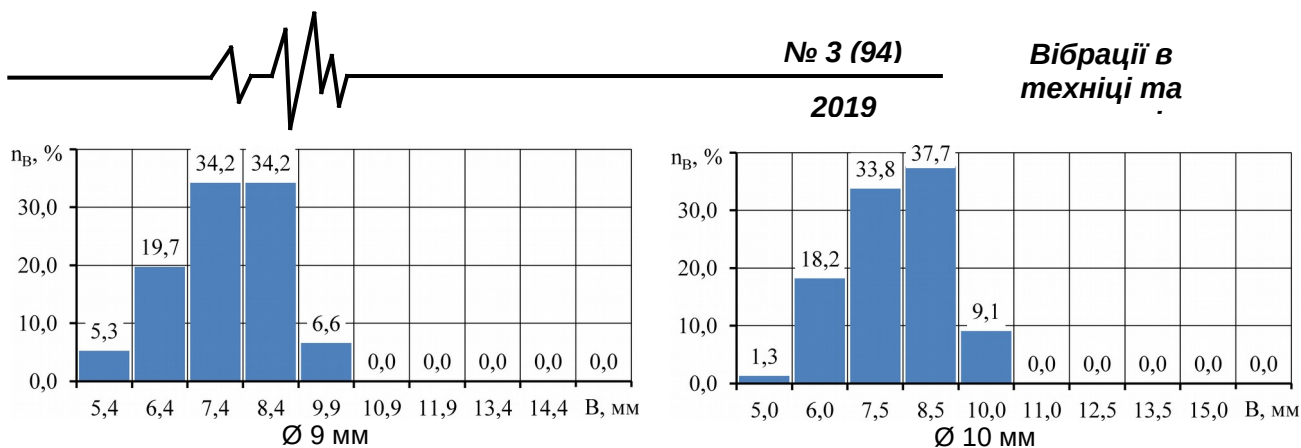


Рис. 5. Розподіл насіння за їх шириною при проведенному калібруванні на комплекті лабораторних решіт

Висновки. В результаті досліджень обґрунтовано алгоритм і розроблено відповідне програмне забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням, які основані на його перетворенні з 24-розрядного (повнокольорового) в 1-бітове (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, обробки на основі морфологічних операцій і з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа автоматичного визначення контуру кожного насіння в 1-бітному зображенні з подальшим обчисленням довжини L, ширини B, площі S та довжини периметра P насіння.

Список літератури

1. Brewer MT, Lang L, Fujimura K, Dujmovic N, Gray S, van der Knaap E. Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiol* 141. P. 15-25.
2. Bylesjö M, Segura V, Soolanayakanahally RY, Rae AM, Trygg J, Gustafsson P, Jansson S, Street NR. LAMINA: a tool for rapid quantification of leaf size and shape parameters. *BMC Plant Biol* 8. P. 82.
3. Weight C., Parnham D., Waites R. LeafAnalyser: a computational method for rapid and large-scale analyses of leaf shape variation. *Plant J* 53. P. 578-586.
4. Калетнік Г.М. Перспективи розвитку вібраційних машин для первинної обробки сільськогосподарської сировини / Калетнік Г.М., Янович В.П. // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 296 – 297.
5. Паламарчук В.Д. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: Підручник / В.Д. Паламарчук, І.С. Поліщук, С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова. – Вінниця, 2013. – 713 с.
6. Iwata H., Ebana K., Uga Y., Hayashi T., Jannink J.L. Genome-wide association study of grain shape variation among *Oryza sativa* L.

germplasms based on elliptic Fourier analysis. *Mol Breed* 25: P. 203-215.

7. Herridge R.P., Day R.C., Baldwin S., Macknight R.C. Rapid analysis of seed size in *Arabidopsis* for mutant and QTL discovery. *Plant Methods* 7. P. 3.

8. Wang S., Wu K., Yuan Q., Liu X., Liu Z., Lin X., Zeng R., Zhu H., Dong G., Qian Q., et al. Control of grain size, shape and quality by OsSPL16 in rice. *Nat Genet* 44. P. 950-954.

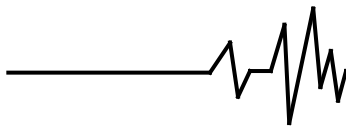
9. OpenCV Developers Team. OpenCV Reference Manual. <http://opencv.org/documentation.html> (July 31, 2012).

10. Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digital binary image by border following. *Comput Vis Graph Image Process* 30. P. 32-46.

11. Tanabata T., Yamada T., Shimizu Y., Shinozaki Y., Kanekatsu M., Takano M. Development of automatic segmentation software for efficient measurement of area on the digital images of plant organs. *Hort Res* 9. P. 501-506.

References

1. Brewer MT, Lang L, Fujimura K, Dujmovic N, Gray S, van der Knaap E (2006). Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiol* 141. P. 15-25. [in English].
2. Bylesjö M, Segura V, Soolanayakanahally RY, Rae AM, Trygg J, Gustafsson P, Jansson S, Street NR (2008). LAMINA: a tool for rapid quantification of leaf size and shape parameters. *BMC Plant Biol* 8. P. 82. [in English].
3. Weight C, Parnham D, Waites R (2008). LeafAnalyser: a computational method for rapid and large-scale analyses of leaf shape variation. *Plant J* 53: P. 578-586. [in English].
4. Kaletnik G.M., Yanovich V.P. (2017). Perspektivy rozvytku vibratsiynykh mashyn dlya pervynnoyi obrobky sil'skohospodars'koyi syrovyny. [Prospects for the development of vibrating machines for primary processing of



agricultural raw materials]. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference. Problems of construction, production and operation of agricultural machinery. - Kropivnitsky: TsNTU, 2017. - P. 296 - 297. [in Ukrainian].

5. Palamarchuk V.D., Polishchuk I.S., Kalenska S.M., Ermakova L.M. (2013). Biolohiya ta ekolohiya sil's'kohospodars'kykh roslyn. [Biology and Ecology of Agricultural Plants]. Vinnytsya, 713 p. [in Ukrainian].

6. Iwata H, Ebana K, Uga Y, Hayashi T, Jannink JL (2010). Genome-wide association study of grain shape variation among *Oryza sativa* L. germplasms based on elliptic Fourier analysis. *Mol Breed* 25. P. 203-215. [in English].

7. Herridge RP, Day RC, Baldwin S, Macknight RC (2011). Rapid analysis of seed size in *Arabidopsis* for mutant and QTL discovery. *Plant Methods* 7. P. 3.

8. Wang S, Wu K, Yuan Q, Liu X, Liu Z, Lin X, Zeng R, Zhu H, Dong G, Qian Q, et al (2012). Control of grain size, shape and quality by *OsSPL16* in rice. *Nat Genet* 44. P. 950-954. [in English].

9. OpenCV Developers Team (2012) OpenCV Reference Manual. <http://opencv.org/documentation.html> (July 31, 2012). [in English].

10. Suzuki S, Abe K (1985). Topological structural analysis of digital binary image by border following. *Comput Vis Graph Image Process* 30. P. 32-46. [in English].

11. Tanabata T, Yamada T, Shimizu Y, Shinozaki Y, Kanekatsu M, Takano M (2010). Development of automatic segmentation software for efficient measurement of area on the digital images of plant organs. *Hort Res* 9. P. 501-506. [in English].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СЕМЕН ПО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЮ

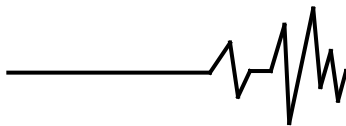
Аннотация: Форма и размер семян являются одними из важнейших агрономических признаков, поскольку они влияют на урожайность, качество и рыночную цену. Поэтому такие отрасли науки, как генетика, функциональный анализ и геномика, которые способствуют повышению урожайности, изучают программы скрещивания растений с различными морфологическими и маркерным признакам. Поэтому возникает потребность в эффективных, надежных и высокопроизводительных методах фенотипирования семян. Форму семян можно оценить двумя способами. Простой способ –

измерять длину и ширину семян с помощью ручного измерительного инструмента (линейки, штангельциркулем, микрометра и др.). Однако ручные методы ограничивают количество данных, качество измерений и разнообразие форм. Напротив, вычислительные методы, использующие цифровую технологию визуализации, могут дать возможность автоматически измерять различные параметры формы при очень малых размерах в изображениях с высоким разрешением. Целью исследований является обоснование алгоритма и разработка соответствующего программного обеспечения для определения фракционного состава семян по фотоизображению. В результате исследований обоснованный алгоритм и разработано соответствующее программное обеспечение для определения фракционного состава семян по фотоизображениям, основанные на его преобразовании из 24-разрядного (полноцветного) в 1-битное (черно-белое) с помощью метода сегментации, обработки на основе морфологических операций и с использованием детектора границ Кенни и преобразования Хафа автоматического определения контура каждого семени в 1-битном изображении с последующим вычислением длины L , ширины B , площади S и длины периметра P семян.

Ключевые слова: семена, фракционный состав, фенотипирования, форма, размеры, изображения.

DETERMINATION OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF SEEDS BY PHOTO IMAGE

Abstract: The shape and size of seeds are some of the most important agronomic traits, as they affect yield, quality and market price. Therefore, such branches of science as genetics, functional analysis, and genomics, which contribute to increasing yields, study programs for crossing plants with various morphological and marker characters. Therefore, there is a need for effective, reliable and high-performance methods of seed phenotyping. The shape of the seeds can be evaluated in two ways. A simple way is to measure the length and width of seeds using a hand-held measuring tool (ruler, caliper, micrometer, etc.). However, manual methods limit the amount of data, the quality of measurements, and the variety of forms. On the contrary, computational methods using digital imaging technology can make it possible to automatically measure various shape parameters at very small sizes in high-resolution images. The aim of the research is to substantiate the algorithm and develop appropriate software for determining the fractional composition of seeds from a photo image. As a result of the studies, a justified



algorithm was developed and the corresponding software was developed for determining the fractional composition of seeds from photo images based on its conversion from 24-bit (full color) to 1-bit (black and white) using the segmentation method, processing based on morphological operations and with using the Kenny border detector and the Hough transform to automatically

determine the contour of each seed in a 1-bit image, followed by calculating the length L, width B, area S, and perimeter length P seed.

Key words: seeds, fractional composition, phenotyping, shape, size, image.

Відомості про авторів

Алієв Ельчин Бахтиярогли – кандидат технічних наук, завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва Інституту олійних культур НААН України (вул. Інститутська 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., Україна, 70417, e-mail: aliev@meta.ua).

Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Алиев Эльчин Бахтияроглы – кандидат технических наук, заведующий отделом технико-технологического обеспечения семеноводства Института масличных культур НААН Украины (ул. Институтская 1, с. Солнечное, Запорожский р-н, Запорожская обл., Украина, 70417, e-mail: aliev@meta.ua).

Яропуд Виталий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Aliyev Yelchin BakhtiyarOgly – Ph.D., head of the department of technological and technological support of seedling of the Institute of oil seeds of Ukraine, (Institutskaya St. 1, Sonyachne village, Zaporozhye district, Zaporozhye region, Ukraine, 70417, e-mail: aliev@meta.ua).

Yaropud Vitaliy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).