

УДК 004.93:633.854

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-7>

Станислав ВЕДМЕДЄВ

аспірант кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

ORCID: 0009-0005-9635-8879

Scopus Author ID: 58298235800

Бібліографічний опис статті: Ведмедєв, С. (2024). Розробка програмного забезпечення для збирання фенотипічних даних насіння соняшнику. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 4, 53–60, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-7>

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ФЕНОТИПІЧНИХ ДАНИХ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

Головним напрямком в селекції соняшнику є підвищення якості насіння й промислових характеристик, що є важливими для споживача. Для оцінки якості насінини може бути використано оцінку за фенотипом. Фенотипування дозволяє створити формалізований підхід до оцінювання, що включає перелік ознак, форму точного опису та засоби для вимірювання цих характеристик.

Метою представленого дослідження є розробка програмного забезпечення вивчення морфологічних ознак насінини соняшнику за фотозображеннями, а саме метричних характеристик, форми та забарвлення насінини.

Методологія. Розроблені програми базуються на точному математичному обрахунку, що забезпечує точність створених описів. Програмні продукти аналізу зображень розроблено зі застосуванням мови програмування Python. Програма розрахунків розроблена в середовищі PyCharm Community Editor 2022.2.4 з використанням бібліотек: os, cv2, imutils, numpy, time, Pool. Cv2-для обробки зображення. Дослідження проводилося на колекції фотозображень насінини соняшнику, що містить 3000 фотографій 250 ліній соняшнику та створена фахівцями Інституту олійних культур Національної Академії Аграрних Наук України.

Наукова новизна полягає в тому що вперше було розроблено програми для аналізу зображення насіння соняшнику з урахуванням біологічного різноманіття насіння. Вони вперше дали змогу описати досі якісні ознаки насіння у якості таблиць кількісних показників.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено модель для вимірювання метричних характеристик та форми насінини, а також програмне забезпечення, яке складається з програм розпізнавання метричних характеристик насіння, форми та смугастого забарвлення насінини. Розробки можуть бути використані для аналізу фотозображень насінини, яке зроблено на стаціонарному приладі з детермінованими параметрами в умовах лабораторії. Отриманні результати є важливою складовою для селекційної роботи по створенню нових високопродуктивних гібридів, сортів та ліній соняшнику. Зараз розробка використовується селекціонерами та генетиками Інституту олійних культур Національної Академії Аграрних Наук України в ході наукової селекційної роботи.

Ключові слова: фотозображення, насіння, програмне забезпечення, розпізнавання, фенотипування

Stanislav VEDMEDEV

Postgraduate Student at the Department of System Analysis and Computational Mathematics, Zaporizhia Polytechnic National University, 64, Zhukovsky Str., Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, vedmedev_s@ukr.net

ORCID: 0009-0005-9635-8879

Scopus Author ID: 58298235800

To cite this article: Vedmedev, S. (2024). Rozrobka prohramnoho zabezpechennia dlia zbyrannia fenotypichnykh danykh nasinnia soniashnyku [Development of software for collecting phenotypic data of sunflower seeds]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 4, 53–60, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-7>

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR COLLECTION OF PHENOTYPIC DATA OF SUNFLOWER SEEDS

The main direction in sunflower breeding is the improvement of seed quality and industrial characteristics, which are important for the consumer. Phenotypic evaluation can be used to assess seed quality. Phenotyping allows for a formalized approach to assessment that includes a list of traits, a form of precise description, and means to measure those characteristics.

The purpose of the presented research is the development of software for the study of morphological features of sunflower seeds based on photo images, namely metric characteristics, shape and color of seeds.

Methodology. The developed programs are based on accurate mathematical calculation, which ensures the accuracy of the created descriptions. Image analysis software products are developed using the Python programming language. The calculation program was developed in the PyCharm Community Editor 2022.2.4 environment using the following libraries: *os*, *cv2*, *imutils*, *numpy*, *time*, *Pool*. *Cv2*-for image processing. The study was conducted on a collection of sunflower seed photographs, which contains 3,000 photographs of 250 sunflower lines and was created by specialists of the Institute of Oil Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Developments can be used for the analysis of photo images of seeds, which is made on a stationary device with deterministic parameters in laboratory conditions.

The scientific novelty is that, for the first time, programs were developed for the analysis of the image of sunflower seeds, taking into account the biological diversity of the seeds. For the first time, they made it possible to describe the qualitative characteristics of seeds in the form of tables of quantitative indicators.

Conclusions. As a result of the research, a model was developed for measuring the metric characteristics and shape of the seed, as well as software, which consists of programs for recognizing the metric characteristics of the seed, shape and striped color of the seed. The obtained results are an important component for selection work to create new high-yielding hybrids, varieties and lines of sunflower. Now the development is used by breeders and geneticists of the Institute of Oil Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine in the course of scientific selection work.

Key words photo images, seeds, software, recognition, phenotyping.

Актуальність проблеми. Серед господарських культур України найбільший економічний ефект зумовлює культура соняшнику. Насьогодні актуальними проблемами для аграрного виробництва соняшнику визначено забезпечення якості соняшникової продукції, механізація процесів вирощування та створення нових сортів. Одним із ключових напрямків у селекційній роботі є фенотипування рослин, що здійснюється як у польових умовах, так і в лабораторіях. Традиційні методи оцінки фізичних характеристик рослин упродовж їхнього вегетативного розвитку передбачають ручне спостереження та фіксацію, що характеризується суб'єктивністю оцінок, низькою точністю, відсутністю стандартизації та потребує значних часових витрат (Plants guidelines). Сучасні селекційні експерименти потребують використання новітніх технологій, що включають як створення пристроїв та устаткування, так й методів комп'ютерного обробки інформації та агрегації біометричних даних.

Аналіз предметної галузі та наявних рішень. Сучасним трендом по вирішенню цієї задачі є фенотипування (Pieguschka, 2019). Термін позначає процес переведення візуальної інформації про об'єкт у цифрове сприйняття яке забезпечує класифікацію цих об'єктів. Цей процес можна розкласти на кілька етапів: вибір ознак, що підлягає вивченню (Ведмедева, 2023), підбір та створення умов і обладнання для отримання зображень, збір великої кількості зображень з урахуванням факторів впливу на фенотип об'єкту, розробка програм для аналізу зображень та переведення їх у табличні редактори, створення бази даних отриманої інформації, онтологій (Вакугова, 2023), використання

бази даних для класифікації зразків, прогнозу якостей та добору. На кожному з цих етапів вирішують свої проблеми. Серед них є загальні, характерні для усіх об'єктів. Наприклад задачі підпису та поєднання фото з підписом (Triki, 2022), або збереження точності вимірів при зменшенні розмірів фотографій (Borges, 2020). Дуже важливою є проблема оптимізації обсягу інформації при збереженні її цінності (Walker, 2022). Вже зроблені дослідження на окремих рослинних об'єктах з метою фенотипування. За проектом виконаним у Юліхському дослідницькому центрі використано позитронно-емісійну томографію і вивчено зображення живих коренів у ґрунті (Fiorani, 2013). У дослідженнях Китайського сільськогосподарського університету 3D-моделі 20 генотипів цукрових буряків були реконструйовані методом SFM на трьох етапах їх росту в польових умовах (Xiao, 2020). Було розроблено автоматичний конвеєр для обробки даних, включаючи обробку хмари точок окремих рослин та вилучення їх характерних ознак. Дослідженнями Yang, S. з співавторами (Yang, 2021) розроблено метод фенотипування насіння сої. Запропоновано новий синтетичний метод генерації та доповнення зображень та метод навчання переносу шляхом точного налаштування вагових коефіцієнтів попередньо навченої моделі, що забезпечує зниження витрат на обчислення. В роботі (Олешко, 2020) запропоновано застосування алгоритму E. Ростена & Т. Драммонда (Rosten 2006) в задачах розпізнавання хвороб рослин у поєднанні з детекторами кольору. В роботі (Гетьман, 2022) побудовано систему розпізнавання образів по фотографії на основі навченої нейронної мережі за категоріями в залежності від частини

рослини. Для аугментації обиралися ті перетворення, які відбуваються в реальному житті.

Відомо багато досліджень з розпізнавання образів та вимірювання об'єктів на фото, однак у селекційному значенні використовується не велика кількість розробок. Відомі лише початкові публікації з розробки цих технологій (Старчак 2023). Зокрема на коренях (Kumar, 2014) та листках (Shibayama, 2011) рослин. Розробки перших пристроїв автоматичного фенотипування насіння (Алієв, 2022) ставили на меті масове вилучення насінин, що різко відрізнялися за кольором. Застосування на насінні соняшнику з селекційною метою, яке проводиться з залученням представлених нами програм знаходиться у стадії розробки та отримання перших результатів (Махова, 2023).

Автор цієї статті брав участь в розробці онтологічного підходу для управління створеними сховищами даних по вирощуванню, селекції, генетики та фенотипуванню соняшника (Bakurova, 2023). Також результати розробки The Helianthus phenotype digital model system для реалізації селекційних програм соняшнику кондитерського було представлено на VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence 2023 November 20–25, 2023 (Society of ambient intelligence, 2023).

Метою представленого дослідження є розробка програмного забезпечення вивчення морфологічних ознак насінини соняшнику за фотозображеннями, а саме метричних характеристик, форми та забарвлення насінини.

Матеріали та методи. Колекція фотозображень насінини соняшнику містить 3000 фотографій 250 ліній соняшнику та створена фахівцями Інституту олійних культур НААН України. Для фотографування в лабораторних умовах відбувалося зі застосуванням стаціонарного приладу, що має детерміновані налаштування, розробленого Е.Б. Алієвим (Алієв, 2019).

Колекційні зразки насіння бувають різної форми: трикутної, овальної, закругленої, близької до прямокутної. За розміром змінюються від 0,5 до 1,5 мм довжини насінини. Для отримання тривимірних параметрів насінини використовуються фотографії, що містять дві проєкції кожної насінини. Забарвлення має як різний колір, так й різний малюнок. Колір змінюється від білого до чорного з різними відтінками, від жовтого до темно-коричневого, або бордового. За малюнком бувають однокольорові, смугасті з невеликою або великою кількістю смужок (рис. 1а) (Gorohivets, 2016).

Програмні продукти аналізу зображень розроблено зі застосуванням мови програмування

Python. Програма розрахунків розроблена в середовищі PyCharm Community Editor 2022.2.4 з використанням бібліотек: os, cv2, imutils, numpy, time, Pool. Cv2-для обробки зображення.

Результати і обговорення. Розроблено та апробовано програмне забезпечення для аналізу фотозображень насіння соняшнику, що виконано в лабораторних умовах на стаціонарному приладі з детермінованими налаштуваннями.

Програмне забезпечення складається з двох блоків: визначення метричних розмірів та визначення забарвлення насінини.

Програмне забезпечення для розпізнавання метричних розмірів насінини. Оригінальна фотографія містила зображення насінини, що центрувалося по довжині вздовж діагоналі знімку. Це викликано розташуванням предметного столику стаціонарного приладу, на якому розміщувалася насінини для фотографування. Тому, на першому кроці зображення насінини (рис. 1 а) повертається на кут в 315 градусів та обрізаються зайві ділянки зображення. Кут повернення постійний. Координати обрізки можна змінювати у разі необхідності для кожного виду насінини. Приклад отриманого фото на рис. 1 б. На другому етапі проводимо обробку зображення. Приймемо модель для вимірювання метричних характеристик та форми насінини у формі ромбу, що вписаний у контури насінини (рис. 1 в). Далі знаходимо розміри діагоналей ромбу, що визначають довжину та ширину насінини. Далі визначаємо кути ромбу, повну площу ромбу та площі окремих трикутників, для визначення форми насінини.

Розрахунок відрізків довжини та ширини відбувається за формулами:

$$\text{line_a} = y - y_min_r_coordinate;$$

$$\text{line_b} = y_max_r_coordinate - y;$$

$$\text{line_c} = x - x_min_c_coordinate;$$

$$\text{line_d} = x_max_r_coordinate - x,$$

де

line_a та line_b -складові довжини насінини, lineC та lineD – складові ширини насінини (рис. 1б).

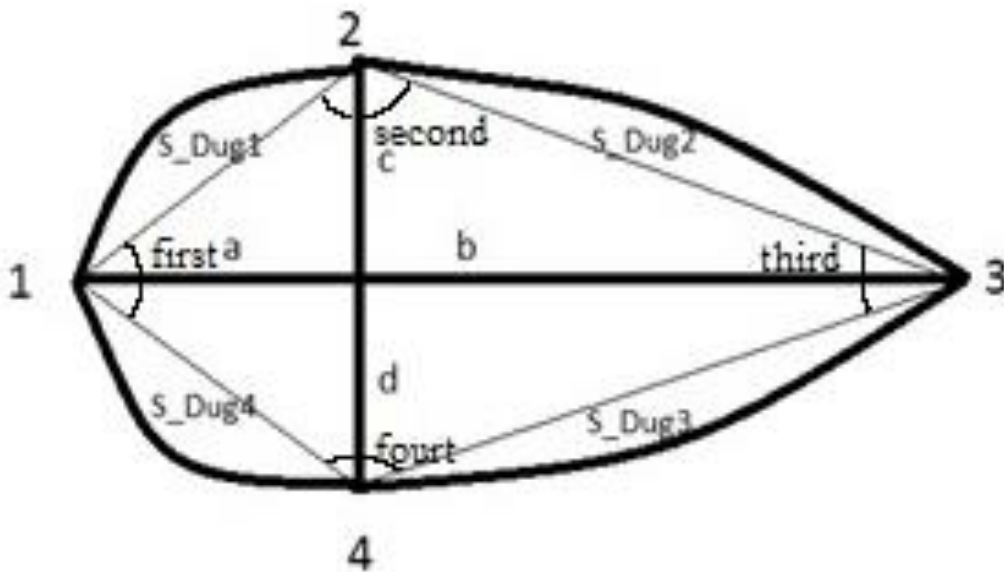
Результати розрахунків параметрів організовано у вигляді таблиці, де рядок містить інформацію по кожному фото. Перший стовпчик – це назва фото. Далі розташовано виміри кутів, площі трикутників та площі ділянок за межами трикутників. Вони позначені: firstAngle – перший кут; secondAngle – другий



а) необроблене фото



б) фото смугастої насінини



в) модель для вимірювання метричних характеристик та форми насінини

Рис. 1. Фото насінини соняшнику та модель для розрахунків метричних характеристик насінини

кут; $thirdAngle$ – третій кут; $fourthAngle$ – четвертий кут; $square$ – площа насінини в пікселях; S_Dug1 – площа 1 ділянки за межами трикутника; S_Dug2 – площа 2 ділянки за межами трикутника; S_Dug3 – площа 3 ділянки за межами трикутника; S_Dug4 – площа 4 ділянки за межами трикутника; $zolH$ – співвідношення половинок ширини; $zolW$ – співвідношення половинок довжини; $heightSeed$ – ширина насінини; $widthSeed$ – довжина насінини.

Обчислення відбуваються у циклі, для обробки усіх фото, поміщених у теку програми. Фрагмент таблиці, що містить інформацію про метричні характеристики насінини, представлено на рис. 2.

Для отримання адекватної роботи програми усі наявні фото повинні мати формат JPG, назву латиницею, або у вигляді цифр. Фотозображення

розміщуються в одну теку з програмою. Файл результатів `result.csv` розміщується в цій же теці. Цей результат можна відкривати та обробляти у будь яких табличних редакторах та статистичних програмах, зокрема у Excel.

Програма визначення забарвлення насіння з можливістю розпізнавати кількість смуг.

Насіння соняшнику, в основному, має смугасте забарвлення. Смуги бувають дуже контрастні і близькі за забарвленням. На фото зазвичай спостерігається невелика кількість смуг від 3 до 7. Для оцінки було прийнято рішення аналізувати вісім діапазонів. Принцип визначення смуг полягає в аналізі забарвлення смужки пікселів, розташованих за шириною насінини. З наявної смужки пікселів виділяють найбільші різниці між двома сусідніми пікселями. Згідно

Name	lineA	lineB	lineC	lineD	lineE	firstAngle	secondAn	thirdAngl	fourthAng	square	S_Dug1	S_Dug2	S_Dug3	S_Dug4	zoH	zoW	heightSec	widthSec
1-1-1b.jpg	259.0	361.0	153.0	129.0	57.048268	126.45989	63.103819	113.38801	137405	11328.961	15790.559	13313.609	9551.8693	1.8431372	2.9938223	282.0	620.0	
1-1-1p.jpg	261.0	387.0	245.0	143.0	71.908893	104.47424	62.607851	121.01101	207092	20697.483	30689.372	17912.572	12080.572	1.5836734	2.4827586	388.0	648.0	
1-1-2b.jpg	257.0	448.0	192.0	128.0	65.238541	120.03867	56.808659	119.83412	165960	11627.336	20268.063	13512.442	7751.5574	1.6666666	2.7431906	320.0	705.0	
1-1-2p.jpg	235.0	464.0	285.0	123.0	78.120076	97.948425	54.903261	129.02823	230752	20702.712	40876.845	17641.586	8934.8550	1.4315789	2.9746680	408.0	699.0	
1-1-3b.jpg	231.0	484.0	175.0	93.0	59.076274	122.97483	47.865936	130.08295	150682	11576.039	24254.557	12889.565	6151.8378	1.5914285	3.0952380	268.0	715.0	
1-1-3p.jpg	218.0	595.0	344.0	155.0	83.634216	109.48126	54.723397	112.16123	209335	7790.1207	21098.265	13402.586	4910.5275	1.6352459	3.7293577	399.0	813.0	
1-1-4b.jpg	182.0	508.0	179.0	82.0	68.777788	116.06559	44.023073	131.13353	136577	8417.5661	23495.184	10763.157	3856.0917	1.4581005	3.7912087	261.0	690.0	
1-1-4p.jpg	239.0	532.0	213.0	154.0	74.503619	116.47217	57.687081	111.33712	217227	13627.967	30335.058	21932.389	9853.0847	1.7290046	3.2259414	367.0	771.0	
1-1-5b.jpg	202.0	481.0	196.0	45.0	56.695146	113.69356	35.100680	154.51061	133922	12416.291	25565.525	6788.0033	2850.6791	1.2295918	3.3811881	241.0	683.0	
1-1-5p.jpg	259.0	469.0	189.0	169.0	69.244176	121.93196	63.751141	105.07272	204309	13898.286	25167.168	22503.975	12427.568	1.8941798	2.8108108	358.0	728.0	
1-1-6b.jpg	214.0	507.0	216.0	60.0	60.928596	111.65778	38.599837	148.81378	155736	13063.304	30949.043	8596.9565	3628.6956	1.2777777	3.3691588	276.0	721.0	
1-1-6p.jpg	195.0	548.0	223.0	140.0	84.508677	109.02463	54.263806	112.20287	219906	13712.795	38536.472	24193.301	8608.9301	1.6278026	3.8102564	363.0	743.0	

Рис. 2. Табличний результат роботи програми визначення метричних складових насіння соняшнику

Name	red avg2	green avj	blue avg2	red avg3	green avj	blue avg3	red avg4	green avj	blue avg4	red avg5	green avj	blue avg5	red avg6	green avj	blue avg6	red avg7	green avj	blue avg7
162-1b.jpg	63	52	35	56	45	29	41	32	14	34	26	11	26	22	17	146	146	146
162-1p.jpg	85	78	58	68	61	42	56	49	31	45	37	26	25	22	19	66	59	51
162-2b.jpg	27	24	19	46	43	36	81	76	54	74	67	47	92	88	77	46	41	37
162-2p.jpg	44	40	33	33	30	27	33	31	29	49	50	46	88	83	75	65	61	47
162-3b.jpg	60	49	33	79	72	63	111	107	101	122	118	94	68	59	41	65	53	30
162-3p.jpg	32	24	18	54	48	44	21	17	13	64	61	55	147	148	147	63	82	94
162-4b.jpg	42	38	25	90	83	59	72	66	42	60	54	31	36	32	25	63	59	54
162-4p.jpg	32	28	26	58	54	53	76	70	69	66	57	48	38	32	26	146	147	146
162-5b.jpg	68	60	40	47	36	11	21	16	12	25	20	17	56	56	54	69	69	69
162-5p.jpg	33	28	20	25	21	20	63	59	57	149	149	149	83	96	110	68	83	99
167-1b.jpg	19	16	13	40	38	39	25	21	19	30	27	22	70	69	70	83	82	88
167-1p.jpg	18	14	12	39	36	32	58	53	47	70	67	58	89	87	80	151	152	152
167-2b.jpg	74	68	46	54	50	39	45	38	27	13	10	7	22	19	18	149	150	150
167-2p.jpg	81	73	36	63	55	19	16	13	12	22	19	17	60	59	54	75	75	74
167-3b.jpg	77	71	47	60	53	25	42	35	10	18	13	10	23	22	21	148	149	149
167-3p.jpg	100	93	63	86	78	41	66	57	22	19	16	11	52	49	40	149	150	150
167-4b.jpg	29	25	20	38	37	31	73	69	53	35	27	19	71	70	67	149	149	149
167-4p.jpg	12	9	8	12	9	8	44	41	36	13	10	8	56	51	48	94	89	86
167-5b.jpg	27	22	18	48	46	35	76	73	60	25	19	13	52	46	46	19	15	15
167-5p.jpg	58	43	12	21	16	11	16	13	10	25	19	15	71	66	55	155	156	156

Рис. 3. Табличний результат роботи програми визначення забарвлення смужок насінини соняшнику

цієї різкої зміни значень забарвлення виділяють вісім діапазонів, для кожного з яких вираховується середнє значення в кольоровій моделі RGB. Фрагмент таблиці, що містить інформацію про забарвлення смужок насінини соняшнику, представлено на рис. 3.

Застосування розробленого програмного забезпечення дозволяє отримати інформацію про фенотипові ознаки насінини за фотозображенням, в який описані розміри, форма та забарвлення кожної насінини. В рамках роботи лабораторії генетики та генетичних ресурсів фахівцями Інституту олійних культур НААН України отримана інформація доповнюється даними за іншими вимірами, більша частина яких проводиться і записується при зваженні

насінини, зважені після обрушення лущиння та ін. (ДСТУ 8836:2019). На даний час таблиця, яку отримано за допомогою цих програм, містить 34 виміри насінини. До цієї інформації долучають таблиці морфологічного опису рослин з ще 34 вимірами. Долучення нових параметрів, визначення їх зав'язків та подальше використання цих програм дозволить проводити успішний селекційний добір рослин соняшнику та створювати нові лінії, сорти та гібриди соняшнику різних якостей. Цей інструмент допоможе вирішувати завдання пошуку та створення генотипів з крупним насінням, завданого забарвлення, форми та інші.

Наукова новизна полягає в тому що вперше було розроблено програми для аналізу

зображення насіння соняшнику з урахуванням біологічного різноманіття насіння. Вони вперше дали змогу описати досі якісні ознаки насіння у якості таблиць кількісних показників.

Проведені експерименти продемонстрували високу роздільність розробленого методу. Виділено контрастні зразки за розмірами та забарвленням насіння. Представлені розробки мають обмеження пов'язані з об'єктами дослідження та обладнанням для отримання фото. Ці обмеження можна зняти додатковим прилаштуванням при виникненні необхідності як програмного так і технічного характеру.

Проведені дослідження і створені інструменти базуються на точних математичних обчисленнях, без використання штучного інтелекту, як у інших дослідників (Rosten, 2006; Олешко, 2020; Triki, 2022; Гетьман, 2022; Старчак, 2023). У дослідженні Інституту олійних культур НААН України використовується колекція різного генетичного матеріалу з встановленими генами, які обумовлюють забарвлення насіння і з відомими донорами великого розміру насінин. Це дає змогу виявити закономірності морфології до генотипу, встановити межі генетичної мінливості з застосуванням точного

математичного розрахунку. Лише подальше накопичення інформації і точних даних про насінини дасть змогу залучати штучний інтелект. Тому що навчати не зрозумівши причинно наслідкові зв'язки і межі мінливості, не встановивши дійсну різницю між фенотипами різних генотипів для селекціонерів не має сенсу. Таке навчання усього лише створить ще одного штучного «селекціонера» з власною думкою, яка обґрунтована лише досвідом (кількістю фото), а не знаннями (математичним доведенням відмінності якостей).

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено модель для вимірювання метричних характеристик та форми насінини, а також програмне забезпечення для фенотипування насінини соняшнику за фотозображеннями, а саме визначення метричних характеристик, форми та забарвлення насінини. Розроблене програмне забезпечення базується на точному математичному обрахунку морфологічних ознак насінини соняшнику за фотозображеннями, що забезпечує точність створених описів. Зараз розробки вже використовуються селекціонерами та генетиками Інституту олійних культур НААН України для наукової селекційної роботи.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Алієв Е. Б. Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія/ Алієв Е. Б. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с.
2. Алієв Е. Б. Розробка пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 2019. Вип.10. № 1. С. 11–17. DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.011-017
3. Ведмедева К. В. Маркерні морфологічні ознаки соняшнику: ідентифікація, успадкування та ефекти алелів генів: монографія/ Ведмедева К. В. Аграрна наука, Київ. 2023. 240 с. ISBN 978-966-540-572-6. DOI: 10.31073/978-966-540-572-6.
4. Гетьман І., Держевецька М., Бауліна Т., Кухтік Т., Соломко Т. Проект програмного комплексу для реалізації додатку для розпізнавання лікарських рослин. *ITSynergy*, 2022. № 1. С. 6–25. <https://doi.org/10.53920/ITS-2022-1-1>
5. ДСТУ 8836:2019 Насіння олійних культур. Методи визначення вмісту лушпиння [Чинний від 2019-26-11]. Нац. Стандарт України. Київ: Держспоживстандарт України. 2019: 7. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82148 (In Ukrainian)
6. Махова Т. В., Ведмедев С. Р., Поляков О. І. Створення баз даних фенотипових ознак та добір ліній соняшнику особливого призначення. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2023. № 35, Р.51–62. DOI: 10.36710/IOC-2023-35-05.
7. Олешко Т. І., Квашук Д. М., Якименко А. М. Сучасні підходи до аналізу зображень в системах ідентифікації захворювань рослин із застосуванням детектору FAST. *Наукоємні технології*. 2020. № 1(45). С. 85–91.
8. Старчак О. В., Коротєєва Т. О. Класифікація якості насіння соняшника за його зображеннями із використанням нейронних мереж. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. № 33(6), С. 69–75.
9. Bakurova A., Vedmedeva K., Vedmedev S., Tereschenko E. Ontological Model of Helianthus Cultivation in Ukrainian Conditions. *CEUR Workshop Proceedings This link is disabled*. 2023. № 3396, P. 130–140.
10. Borges L. M., Reis V. C., Izbicki R. Schrodinger's phenotypes: Herbarium specimens show two-dimensional images are both good and (not so) bad sources of morphological data. *Methods in Ecology and Evolution*, 2020. 11(10), P. 1296–1308. doi:10.1111/2041-210x.13450.

11. Fiorani F., Schurr U. Future scenarios for plant phenotyping. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2013. V.64. № 1, P. 267–291.
12. Gorohivets N. A., Vedmedeva E. V. Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes. *Cytology and Genetics*, 2016. Вип. 50. № 2. С. 116–120.
13. Kumar P., Huang C., Cai J., Miklavcic S. J. Root phenotyping by root tip detection and classification through statistical learning. *Plant Soil*. 2014. № 380. P.193–209. doi: 10.1007/s11104-014-2071-3.
14. Pieruschka R., Schurr U. Plant Phenotyping: Past, Present, and Future. *Plant Phenomics*. 2019. № 7507131. P. 1–6. doi: 10.34133/2019/7507131
15. Plants guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability common sunflower UPOV Code(s): HLNTS_ANN *Helianthus annuus* L. URL: https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twa_47/tg_81_7_proj_1.pdf.
16. Rosten E., Drummond T. Machine Learning for High-Speed Corner Detection. ECCV (1). *Springer. of Lecture Notes in Computer Science*. 2006. Vol. 3951. P. 430–443.
17. Shibayama M., Sakamoto T., Takada E., Inoue A., Morita K., Takahashi W., Kimura, A. Estimating paddy rice leaf area index with fixed point continuous observation of near infrared reflectance using a calibrated digital camera. *Plant Product. Sci.*, 2011. № 14, P. 30–46. doi: 10.1626/pp.s.14.30
18. SOCIETY OF AMBIENT INTELLIGENCE 2023. URL: <https://www.isc-sai.org/>
19. Triki A., Bouaziz B., Mahdi W. A deep learning-based approach for detecting plant organs from digitized herbarium specimen images. *Ecological Informatics*, 2022, № 69. doi:10.1016/j.ecoinf.2022.101590.
20. Walker B. E., Tucker A., Nicolson N. Harnessing Large-Scale Herbarium Image Datasets Through Representation Learning. *Frontiers in Plant Science*. 2022. № 12. doi:10.3389/fpls.2021.806407.
21. Xiao S., Chai H., Shao K., Shen M., Wang Q., Wang R., Sui Y., Ma Y. Image-Based Dynamic Quantification of Aboveground Structure of Sugar Beet in Field. *Remote Sens*. 2020. 12, P. 269. doi: 10.3390/rs12020269.
22. Yang S., Zheng L., He P., Wu T., Sun S., Wang M. High-throughput soybean seeds phenotyping with convolutional neural networks and transfer learning. *Plant Methods*. 2021. V.17. № 50, P. 1–17. doi: 10.1186/s13007-021-00749-y.

REFERENCES:

1. Aliyev, E. B. (2022). Avtomatychnе fenotypuvannya nasinnyevoho materialu sonyashnyku. Kyiv: Ahrarna nauka, 104 c. [in Ukrainian]
2. Aliyev, E. B. (2019). Rozrobka prystroyu dlya avtomatychnoho fenotypuvannya nasinnyevoho materialu sonyashnyku. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 10, 1, 11–17. DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.011-017 [in Ukrainian]
3. Vedmedeva, K. V. (2023). Markerni morfolohichni oznaky sonyashnyku: identyfikatsiya, uspadkuvannya ta efekty aleliv heniv. Ahrarna nauka, Kyiv, 240 c. ISBN 978-966-540-572-6. DOI: 10.31073/978-966-540-572-6. [in Ukrainian]
4. Het'man, I., Derzhevets'ka, M., Baulina, T., Kukhtik, T., & Solomko, T. (2022). Proekt prohramnoho kompleksu dlya realizatsiyi dodatku dlya rozpoznavannya likars'kykh roslyn. *ITSynergy*, (1), 6–25. <https://doi.org/10.53920/ITS-2022-1-1> [in Ukrainian]
5. DSTU 8836:2019 Nasinnya oliynykh kul'tur. Metody vyznachennya vmistu lushpynnya [Chynnyy vid 2019- 26-11]. Nats. standart Ukrayiny. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2019: 7. Retrieved from: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82148 [in Ukrainian]
6. Makhova, T. V., Vedmedyev, S. R., Polyakov, O. I. (2023). Stvorennya baz danykh fenotypovykh oznak ta dobir liniy sonyashnyku osoblyvoho pryznachennya. *Naukovo-tekhnichnyy byuleten' Instytutu oliynykh kul'tur NAAN*, 35, 51–62. DOI: 10.36710/IOC-2023-35-05 [in Ukrainian]
7. Oleshko, T. I., Kvaschuk, D. M., Yakymenko, A. M. (2020). Suchasni pidkhody do analizu zobrazhen' v systemakh identyfikatsiyi zakhvryuvan' roslyn iz zastosuvannyam detektoru FAST. *Naukoyemni tekhnolohiyi NAU* 1(45), 85–91. [in Ukrainian]
8. Starchak, O. V., Korotyeyeva, T. O. (2023). Klasyfikatsiya yakosti nasinnya sonyashnyka za yoho zobrazhennyamy iz vykorystannyam neyronnykh merezh. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny*, 33(6), 69–75. [in Ukrainian]
9. Bakurova, A., Vedmedeva, K., Vedmedev, S., Tereschenko, E. (2023). Ontological Model of Helianthus Cultivation in Ukrainian Conditions *CEUR Workshop Proceedings*This link is disabled., 3396, pp. 130–140
10. Borges, L. M., Reis, V. C., Izbicki, R. (2020). Schrodinger's phenotypes: Herbarium specimens show two-dimensional images are both good and (not so) bad sources of morphological data. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(10), 1296–1308. doi:10.1111/2041-210x.13450.

11. Fiorani, F., Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annu. Rev. Plant Biol*, 64(1), 267–291.
12. Gorohivets, N. A., Vedmedeva, E. V. (2016). Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes. *Cytology and Genetics*, 50(2), 116–120.
13. Kumar, P., Huang, C., Cai, J., Miklavcic, S. J. (2014). Root phenotyping by root tip detection and classification through statistical learning. *Plant Soil*, 380, 193–209. doi: 10.1007/s11104-014-2071-3.
14. Pieruschka, R., Schurr, U. (2019). Plant Phenotyping: Past, Present, and Future. *Plant Phenomics*, 7507131: 1–6. doi: 10.34133/2019/7507131
15. Plants guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability common sunflower UPOV Code(s): HLNTS_ANN *Helianthus annuus* L. Retrieved from: https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twa_47/tg_81_7_proj_1.pdf.
16. Rosten, E., Drummond, T. (2006). Machine Learning for High-Speed Corner Detection. *ECCV* (1). Springer of Lecture Notes in Computer Science, 3951, 430–443.
17. Shibayama, M., Sakamoto, T., Takada, E., Inoue, A., Morita, K., Takahashi, W., Kimura, A. (2011). Estimating paddy rice leaf area index with fixed point continuous observation of near infrared reflectance using a calibrated digital camera. *Plant Product. Sci.*, 14, 30–46. doi: 10.1626/pp.s.14.30
18. SOCIETY OF AMBIENT INTELLIGENCE (2023). Retrieved from: <https://www.isc-sai.org/>
19. Triki, A., Bouaziz, B., Mahdi, W. (2022). A deep learning-based approach for detecting plant organs from digitized herbarium specimen images. *Ecological Informatics*, 69. doi:10.1016/j.ecoinf.2022.101590.
20. Walker, B. E., Tucker, A., Nicolson, N. (2022). Harnessing Large-Scale Herbarium Image Datasets Through Representation Learning. *Frontiers in Plant Science*, 12. doi:10.3389/fpls.2021.806407.
21. Xiao, S., Chai, H., Shao, K., Shen, M., Wang, Q., Wang, R., Sui, Y., Ma, Y. (2020). Image-Based Dynamic Quantification of Aboveground Structure of Sugar Beet in Field. *Remote Sens*, 12, 269. doi: 10.3390/rs12020269.
22. Yang, S., Zheng, L., He, P., Wu, T., Sun, S., Wang, M. (2021). High-throughput soybean seeds phenotyping with convolutional neural networks and transfer learning. *Plant Methods*, 17, 50, 1–17. doi: 10.1186/s13007-021-00749-y.