УДК 631.53.01:633.854 DOI: 10.36710/IOC-2025-39-02

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМИ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЧНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

П. Ю. Бусаров, К. В. Ведмедєва

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

Соняшник є однією з найбільш важливих культур як в Україні так і в світі. Морфологія насінини соняшника описана за допомогою оціночних спостережень, а також структуризації по групам. Сучасні технології дозволяють отримати точні параметри форми насіння. Для цього дослідження було проаналізовано за допомогою комп'ютерного аналізу фотографій насіння 6 контрастних ліній соняшника, отриманих протягом трьох послідовних врожаїв. Запропоновані параметри вимірювання насіння у вигляді кутів для оцінки форми за категоріями UPOV. Запропоновано використовувати відношення площ нижньої та верхньої частин у фото плазом для визначення трикутності у форм за класифікацією UPOV.

Ключові слова: соняшник, насіння, фенотипування, форма, товщина.

Вступ. Олійні культури здавна вирощують як джерело їжі для людей та сировину для промисловості. Серед провідних олійних культур соняшник є основним джерелом високоякісної харчової олії та матеріалу для виробництва харчової продукції.

Окрім переробки на олію, насіння соняшнику використовують як сировину для кондитерської промисловості. Кондитерська промисловість спрямовує селекцію на виведення крупноплідних сортів та гібридів з хорошими фізико–механічними якостями насіння, з масою 1000 насінин, яка у виробництві близька до 100 г, з підвищеним вмістом у насінні білка, з виходом чистого ядра (коефіцієнтом шеретування) не нижчим 0,6–0,7 та іншими цінними ознаками (Aliyev 2022, Maklyak et al. 2023). Для кондитерського соняшника характерним є унікальні біохімічні показники насіння та можливість давати високі показники урожайності в межах 5 т/га (Ryabovol et al. 2019).

В Україні основними споживачами великоплідного соняшнику є кондитерські фабрики та заводи продтоварів, які займаються виготовленням солодощів на основі насіння соняшника, наприклад, халви. Для раціонального використання обладнання при механічному очищення насіння соняшника від лушпиння важливо знати характеристики руйнування насіння і ядра соняшнику та їх залежність від вологості, лінії та розміру під дією стискаючого навантаження (Khodabakhshian et al. 2011).

Морфологія насіння соняшника описана в багатьох наукових роботах. Різноманітні морфологічні аспекти насіння можуть впливати на її подальше використання як продукту. Морфологічні особливості насіння можуть бути більш чи менш бажаними на різних етапах вирощування, вироблення та використання продукції соняшника. Для кондитерської промисловості бажано мати велике насіння. К.В. Ведмедева (2022) в своєму дослідженні вказує, що при

*Corresponding author

використанні насіння у якості корму для свійських птахів, вони надають перевагу більш темному насінню. R. Khodabakhshian (2011) вказує, що більш сферичні насінини мають більшу силу руйнування насіння (Zhenyuan, 2024) також зазначає, що олійні та кондитерські типи насіння мають різні оптимальні умови зберігання, що може бути пов'язано з їх морфологічними особливостями.

Серед показників фенотипу насіння найбільш дослідженим є її зовнішні прояви фенотипу, зокрема відомо про генетичні залежності, що впливають на забарвлення насіння соняшника (Vedmedeva et al. 2022). Пристрої автоматичного морфологічного аналізу за допомогою візуальної оцінки також здебільшого вивчають забарвлення (Aliiev 2022). Форма не є настільки дослідженим фактором морфології насіння. Більшість досліджень обмежуються лише візуальною оцінкою форми та вимірюванням розмірних характеристик насіння (довжини, ширини, об'єму).

Для фенотипування рослинних об'єктів вже досить широко використовують цифрові зображення з фотокамер та багато різноманітних програм з аналізу зображень (Delwiche et al. 2013). E. E. Perez (2006) в своєму дослідженні використовує скануючий електронний мікроскоп, а Muhittin Yağmur Polat (2013) проводить вимірювання за допомогою побутового сканеру. Враховуючи широкий напрямок використання насіння соняшника, та масштаби індустріальної обробки важливо знайти зв'язок фізичних параметрів насіння, таких як сила руйнування, з генотипами існуючої колекції ліній соняшника (*Helianthus annuus*), виявити лінії, що мають контрастні прояви.

Метою даної роботи є кількісне визначення морфологічних характеристик форми насіння соняшника за допомогою автоматизованого комп'ютерного аналізу зображень, для створення об'єктивних критеріїв оцінки форми згідно з класифікацією UPOV.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження було проаналізовано 196 ліній соняшника (*Helianthus annuus* L.) з колекції Інституту олійних культур НААН 2019 та 2020 року вирощування. З них було відібрано лінії з контрастними ознаками параметрів. Для дослідження було відібрано 6 репрезентативних ліній, що досліджувались протягом трьох послідовних врожаїв.

Рослини вирощувались у селекційному розсаднику Інституту олійних культур НААН, що розташований біля міста Запоріжжя. Технологія вирощування соняшнику класична (Aksenov et al. 2013). Густота стояння рослин 40 тис. рослин на гектар. Площа ділянки 10 м^2. Насіння для дослідження отримано від самозапилення під індивідуальними ізоляторами.

Для дослідження з самозапилених рослин відбиралось по 10 випадкових виповнених насінин. Вимірювались маса та розміри насіння, сила руйнування насіння, маса ядра та лушпиння та колір лушпиння.

Зображення насінин досліджуваних ліній отримані за допомогою стаціонарного фотоапарата, обладнаним макролінзою (Aliyev 2022). Отримані фотознімки насіння обробляли за допомогою комп'ютерної програми, яка розроблена на мові програмування Python (Vedmedyev et al. 2022).

Створені зображення насіння було оброблено за допомогою програми аналізу форми зображення. Програма, аналізуючи зображення, автоматично визначала ширину та довжину об'єкта на зображенні, а також місця їх перетину. Визначені показники були поділені за місцем перетину, на окремі показники розміру.

Також програма будує між найвіддаленішими точками визначених осей чотирикутник, та визначає складові площі об'єкта що не потрапила всередину чотирикутника. Окремі складові вимірювання та їх розміщення на типовому насінні соняшника представлено на рис.1.

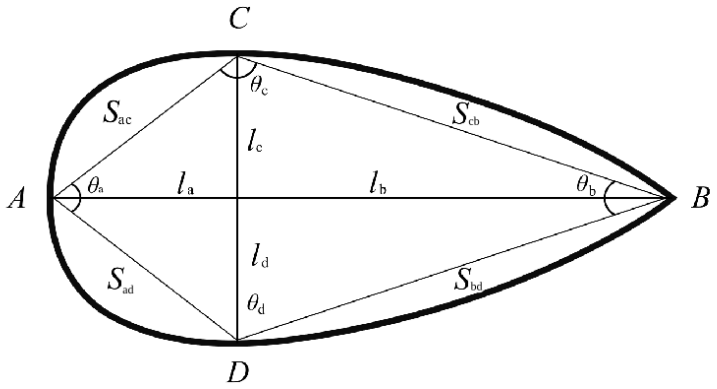

Рис.1. **Складові параметри форми насінини соняшнику**

ABCD — чотирьохкутник, відповідний розмірам насіння; l_a – перша частина довжини; l_b – друга частина довжини; l_c – перша частина ширини; l_d – друга частина ширини; θ_a – кут в точці A; θ_b – кут в точці B; θ_c – кут в точці C; θ_d – кут в точці D; $S_{нас}$ – площа насінини в пікселях; S_{ac} – площа першої ділянки за межами трикутника; S_{cb} – площа другої ділянки за межами трикутника; S_{bd} – площа 3 ділянки за межами трикутника; S_{ad} – площа 4 ділянки за межами трикутника; h – ширина; w – довжина

Методика встановлена Українським інститутом експертизи сортів рослин (далі УІЕСР) встановлює 4 основні форми сім'янки для соняшника, що відповідає міжнародній класифікації UPOV (Methodology for conducting the examination of oil plant varieties for distinctness, uniformity and stability (2016); International Union for the Protection of New Varieties of Plants (2023)) – подовжена, вузько–яйцеподібна, широко–яйцеподібна, округла. Оцінка форми проводиться суб'єктивно.

Основуючись на методиці UPOV пропонуємо наступну класифікацію відповідних форм, стосовно спостережених значень θ_a:

- видовжена: $\theta_a < 60$;
- вузько–яйцеподібна: $60 < \theta_a < 65$;
- широко–яйцеподібна: $65 < \theta_a < 70$;
- округла: $70 < \theta_a$.

Програмою також вимірювались площі ділянок зображення, що не потрапили у сформований чотирикутник. Таких ділянок всього чотири – дві з нижньої частини насінини – S_{cb}, S_{bd} та дві з верхньої частини насінини – S_{ac}, S_{ad} розділені точками A, B, C, D відповідно.

Розглядати кожен з цих показників окремо досить складно для опису загальної форми тому пропонуємо ввести і розрахувати відсоток від загальної площі насінини, який займають два виступи біля гострого кінця і позначаємо як закруглення верхньої частини, а відсоток інших двох виступів як закруглення нижньої частини. Таке вимірювання дозволяє виявити насіння різних форм.

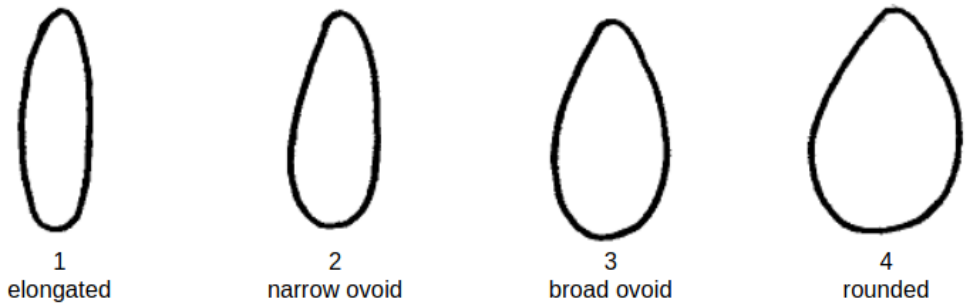

Рис. 2. **Форми сім'янки соняшника згідно класифікації UPOV**

Статистична обробка результатів проведена з використанням середніх значень і похибок (Schmuller 2021).

Результати досліджень та їхнє обговорення. Протягом трьох років послідовно досліджувалась група з 6 ліній: 160в, L3333, КГ110, I2K2848–2, КГ101, Орн1.

У дослідженні було порівняно насіння вирощене у різних погодних умовах, зокрема при різному забезпеченні вологою та різних температурах. Наявність опадів помісячно у роки вегетації представлено на рис.3.

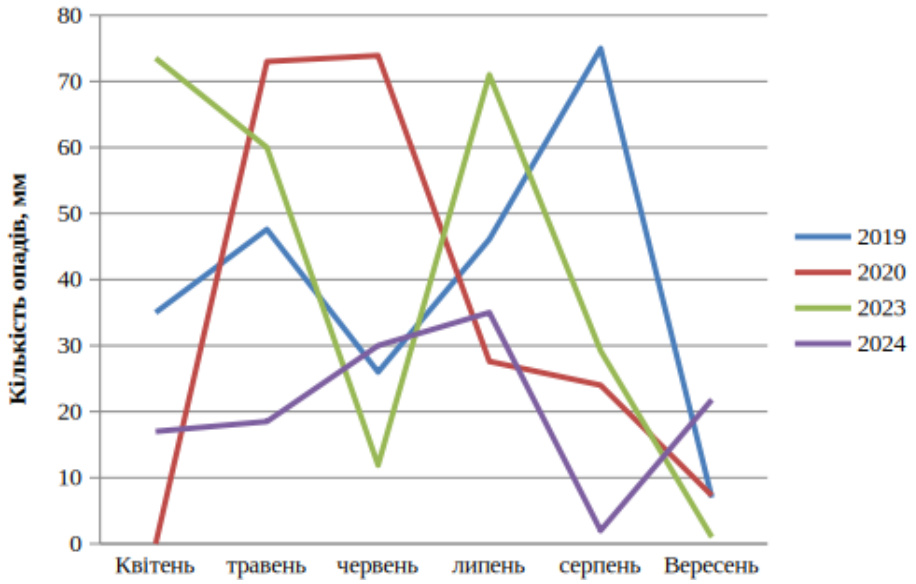

Рис.3. **Кількість опадів на дослідному полі ІОК НААН** (2019–2024)

Графік наочно демонструє низький рівень опадів у травні та червні 2023 та 2024 років. Втім, для розвитку соняшнику це було досить звичайним. Соняшник, при помірному зволоженні у квітні та травні, створює велику кореневу систему і може пережити нестачу опадів червня, особливо якщо при наливі насіння у червні та на початку серпня їх достатньо. Дуже сильно вирізняється 2024 рік, який мав дуже мало опадів і створив дуже посушливі умови при яких спостерігався пригнічений стан рослин та часткова відсутність

зав'язування насіння.

За температурним режимом 2024 рік виявився найспекотнішим у період наливу та формування насіння (рис.4).

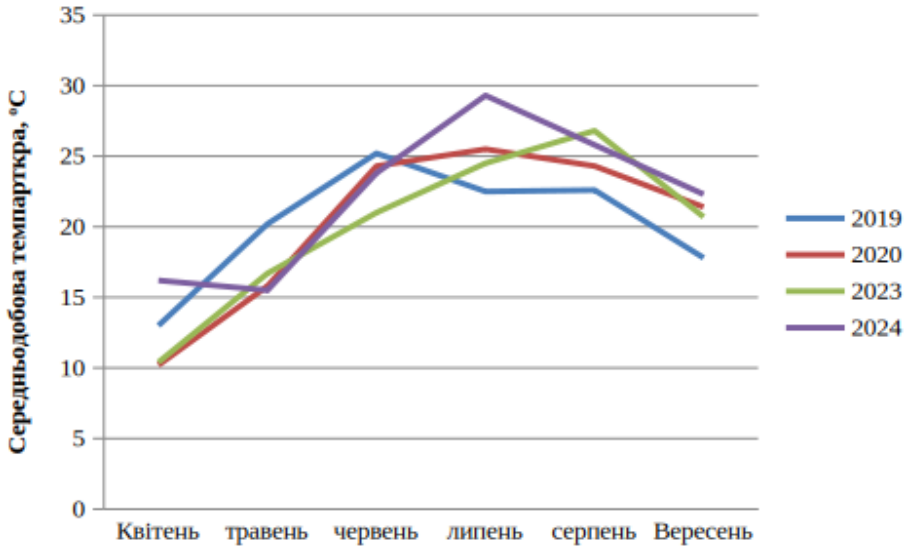

Рис. 4. **Середньодобові температури на дослідному полі ІОК НААН** (2019–2024)

Загалом погодні умови для більшості олійних культур були досить несприятливі. Нестача вологи та високі температури починаючи з середини червня і до кінця вегетації практично згубили більшу частину врожаю олійних культур, значно погіршуючи і якість сформованого насіння.

За усіма ознаками ліній по роках було розраховано середні та похибки. Проведено аналіз наявного розмаху мінливості і розміру похибок. З 17 первинних вимірювань створених програмою дійсну відмінність між діниями і помірні похибки, які дозволяють встановлювати достовірну різницю виявлено у трьох основних розмірів лінійних lineA, lineB, lineC. В двох показниках кутів: firstAngle, secondAngle. В площі насінини Square, яку перерахували у мм ^{2} для кращого цифрового прийняття. Також відмінність виявили показники довжини та ширини насінини. Ці середні значення з похибками представлені у таблиці 1.

У досліджуваних ліній спостерігалась загальна тенденція до зменшення виповненості при збільшенні розмірів насіння. Врожай, отриманий в 2023 році, продемонстрував збільшення значень розмірів насінини, при цьому спостерігалась знижена виповненість насінини – відповідно це відобразилось в зрості лушпинності.

В 2024 році це спостереження проявлялось ще сильніше – найбільші зразки насіння за весь період спостережень, мали високий показник лушпинності насіння – КГ101 – 64%, Орн1 – 62%, 160в – 78%, що вказує на надзвичайно низьку виповненість насіння цього року.

При детальному розгляді таблиці 1 виявляється, що показники розмірів насіння суттєво змінюються по роках. Зокрема товщина насіння лінії 160В, а саме показник l_c зменшується від 271 у 2024 до 156 у 2020, а також Орн1 від 352 у 2024 до 151 у 2023.

Таблиця 1

Середні значення вимірювання ліній насіння соняшника у положенні плазом (2019–2024)

Рік досліджень	Лінія	l_a, піксель	l_b, піксель	l_c, піксель	l_d, піксель	θ_a, градус	θ_b, градус	S, мм^2	Довжина, піксель	Ширина, піксель
2024	160в	308±23,8	192±18,1	271±17,3	108±6,8	82±2,4	82±4,4	248±20,5	500±29,6	529±34,3
	L3333	411±15,3	325±23,7	129±9,9	140±4,1	55±6,4	116±8,8	138±21,3	736±48,1	232±52,3
	КГ110	219±13,8	129±17,6	218±14,2	107±3,1	62±6,6	89±1	146±10,9	348±22,8	349±22,7
	I2K2848-2	390±27,3	183±26,6	376±34,1	115±6,8	72±5,2	74±4,5	307±12,1	573±18,4	584±18
	КГ101	322±17,9	238±22,2	354±22,4	103±8,0	73±5,4	89±2,9	275±3,5	561±12,7	599±12,3
	Орн1	369±14	212±15,9	352±25,7	99±4,2	74±7,1	80±3	316±4,2	581±6,2	579±9,7
2023	160в	402±15,4	202±8,8	183±7,0	136±3,5	61±6,7	91±8,1	126±3,3	604±7,3	286±8,1
	L3333	352±15,8	221±8,9	89±6,7	130±6,1	40±6,0	132±7,3	76±1,9	573±16,8	194±19,1
	КГ110	364±11,9	190±8,5	176±11,5	124±4,1	68±3,8	91±6,6	126±2,9	554±7,5	320±7
	I2K2848-2	449±12,9	269±4,7	201±15,9	128±4,2	52±4,2	111±5,6	196±8,8	718±11,4	353±17,1
	КГ101	367±10,2	228±8,3	179±8,2	128±2,7	64±4,7	99±6,4	138±1,2	595±4,6	312±6,4
	Орн1	498±10	248±7,9	151±8,2	125±4,2	40±3,8	126±4,8	170±2,4	746±8,1	307±9,2
2020/19	160в	410±21,4	258±12,8	156±14,5	130±6,1	64±5,4	104±8,4	143±6,1	668±14,4	298±13
	L3333	443±8,4	237±11,4	114±8,7	144±3,6	61±3,2	105±5,8	112±2,3	679±7,5	212±4,2
	КГ110	387±17,4	166±14,8	138±9,6	131±2,9	68±2,2	86±5,9	100±4,9	552±10,5	242±9,9
	I2K2848-2	462±11,6	194±6,3	142±9,7	134±3,3	62±2,7	98±6,2	138±3,3	656±14,5	280±6,7
	КГ101	398±11,2	192±9,6	175±10,4	123±3,3	69±2	92±4,4	147±5,9	590±5,3	345±12,9
	Орн1	508±22,6	276±18,3	198±10,6	131±2,5	67±2,7	97±4,3	216±4,3	783±20,5	381±18,4

Як і описано в рисунках умови 2024 року були досить несприятливі і те що спостерігається значна зміна товщини та ширини насінини тому підтвердження. За цими вимірюваннями можна зробити висновок що умови року дуже сильно впливають на ширину, та товщину насінини.

Ширина насінини, яка складається з ліній l_c та l_d, є менше за довжину і в абсолютному значенні мають більші похибки. До того ж у природних умовах насіння не має ідеальної симетрії. При визріванні насінини у кошику здавлюють одне одного, через що насінини згинаються відповідно напрямку розміщення насіння в спіралі, а тому можуть мати коротше чи деформоване ребро, при розташуванні ближче до центра кошику. Тому практично у всіх ліній спостерігається хоча б невелике порушення симетрії в усіх площинах.

Показники кутів представлених у таблиці 1: θ_a та θ_b це кути гострого кінчика насінини та тупого, це кути які протистоять один одному по довжині і вказують на форму насінини. Чим більш схожі кути тим більш однакові обидва кінці насінини, чим більш вони відрізняються тим більш не симетричну по довжині форму має насінина. Загальна тенденція у ліній така, що θ_a явно виражена практично в усіх лініях. За виключенням 2024 року, під час якого несприятливі погодні умови повпливали на розвиток насіння таким чином, що розміри кутів θ_a були майже однаковими. Але не дивлячись на це можна з впевненістю сказати, що цей показник досить добре характеризує лінії за генотипом. Так θ_b найбільший в усі роки досліджень в одній і тій самій лінії L3333. Але цей показник теж перебуває під впливом умов. А саме великі кути спостерігались у 2023 році, коли погодні умови були сприятливими і насінини мали достатній налив. В цьому році було помітно суттєві різниці і у іншого кута, більшість з яких вирізнялись між собою.

З цього спостереження можна зробити заключення, що опис форми насінини і різниця між генотипами краще виявляється у гарних умовах вирощування, коли формується виповнена насінина.

Показники площ мали високу розбіжність між насінинами у різні роки вирощування, але загальна площа зображення насінини виявилась більш інформативною і з достовірними відмінностями. Так наприклад найбільша площа спостерігалась у лінії Орн1 у 2024 та у 2020 рр. А у 2023 цю лінію достовірно перевищила по площі I2K2848-2 в інші роки вона була другою або третьою. Тому звичайно використовувати цей показник для характеристики насінини можливо. Але теж треба враховувати умови.

Останні дві колонки таблиці – це розраховані довжина та ширина насінини. Вони мають достовірні різниці між лініями. Так найдовша насінина у гарних умовах 2023 та нормальних 2020 у лінії Орн 1. В той час в умовах 2024 ця лінія не мала найбільшої довжини лише другу і досить схожу з кількома іншими лініями. Так само і по ширині насінини.

Підсумовуючи достовірність спостережень за 17 визначеними комп'ютером параметрами слід виділити як здатні для достовірного виділення – розміри ліній A, B, C, другий та перший кути та площу насінини. Але для визначення форми насінини згідно методиці UPOV цих параметрів не достатньо.

Тому ми спробували розрахувати форму з залученням декількох інших похідних вимірювань та розрахунку за середніми показниками за усі роки випробування. У таблиці 2 представлені середні за три роки вимірювання розміру довжини насінини та ширини, та їх похідні.

Таблиця 2

Середні значення вимірювання ліній насіння соняшника у положенні плазом (2019–2024)

Виміряні параметри форми	Одиниця вимірювання	Назва та форма лінії					
		160в Широко-яйцеподібна	L3333 Видовжена	КГ101 Широко-яйцеподібна	I2K2848–2 Вузько-яйцеподібна	КГ101 Округла	Орн1 Вузько-яйцеподібна
l_a	піксель	215±9,0	268±12,0	360±13,0	209±10,8	218±8,4	242±8,9
l_b	піксель	362±13,9	401±9,5	140±12,2	425±11,3	367±9,2	450±14,2
l_c	піксель	214±11,8	111±5,1	157±10,4	265±21,2	223±17,0	244±18,0
l_d	піксель	186±17,6	96±4,2	121±11,2	177±11,3	178±10,3	195±11,2
h	піксель	577±17,2	669±15,2	501±12,0	635±12,7	585±5,1	692±16,6
w	піксель	400±24,3	212±7,2	307±11,6	439±23,8	399±24,2	437±21,4
θ_a	градус	66±1,7	52±3,1	67±2,1	65±2,5	72±2,8	64±3,3
θ_c	градус	91±3,7	119±4,1	87±5,8	90±3,9	90±3,7	97±4,8
θ_b	градус	81±3,4	51±2,1	83±3,0	82±2,0	83±2,1	82±2,6
θ_d	градус	116±4,1	139±2,5	122±3,8	123±3,6	115±2,7	117±3,1
$S_{нас}$	тис. піксель	203±13,3	119±5,6	123±5,9	251±14,1	192±12,7	263±12,2
S_{ac}	тис. піксель	25±2,6	11±0,8	15±1,2	40±5,7	19±2,8	33±4,1
S_{cb}	тис. піксель	22±1,6	15±1,0	16±2,0	27±2,1	23±2,0	32±3,94
S_{bd}	тис. піксель	18±1,6	12±0,8	12±1,3	22±2,6	18±1,4	24±2,0
S_{ad}	тис. піксель	23±3,4	10±0,8	11±1,3	22±2,0	14±1,8	25±2,6
kAB		42±4,4	53±3,7	44±4,7	50±3,0	45±2,6	50±3,3
kCD		54±4,9	53±5,4	58±6,6	47±3,9	48±3,9	40±3,0

Лінії були розташовані за зменшенням довжини: Орн1, L3333, I2K2848–2, КГ101, 160в, КГ110. В той час за шириною насінини лінії не відповідають розташуванню за довжиною.

Так, найменш широка лінія L3333 є одночасно і другою за довжиною. Це точно показує наявність різних за формою насінин.

Для ліній, форма яких була оцінена згідно методики UPOV, були отримані середні значення θ_a. Відмічено, що лініям, форма насіння яких була оцінена як більш округла, відповідають більші значення показників куту θ_a. Ці дані приведені далі по мірі збільшення θ_a:

Видовжена: L3333 (θ_a=52±3,1);

Вузько–яйцеподібна: Орн1 (θ_a = 64±3,3); I2K2848–2 (θ_a = 65±2,5)

Широко–яйцеподібна: 160в (θ_a = 66±1,7), КГ110 (θ_a = 67±2,1)

Округла: КГ101 (θ_a = 72±2,8).

На рисунку 5 представлені фото вивчених насінин.

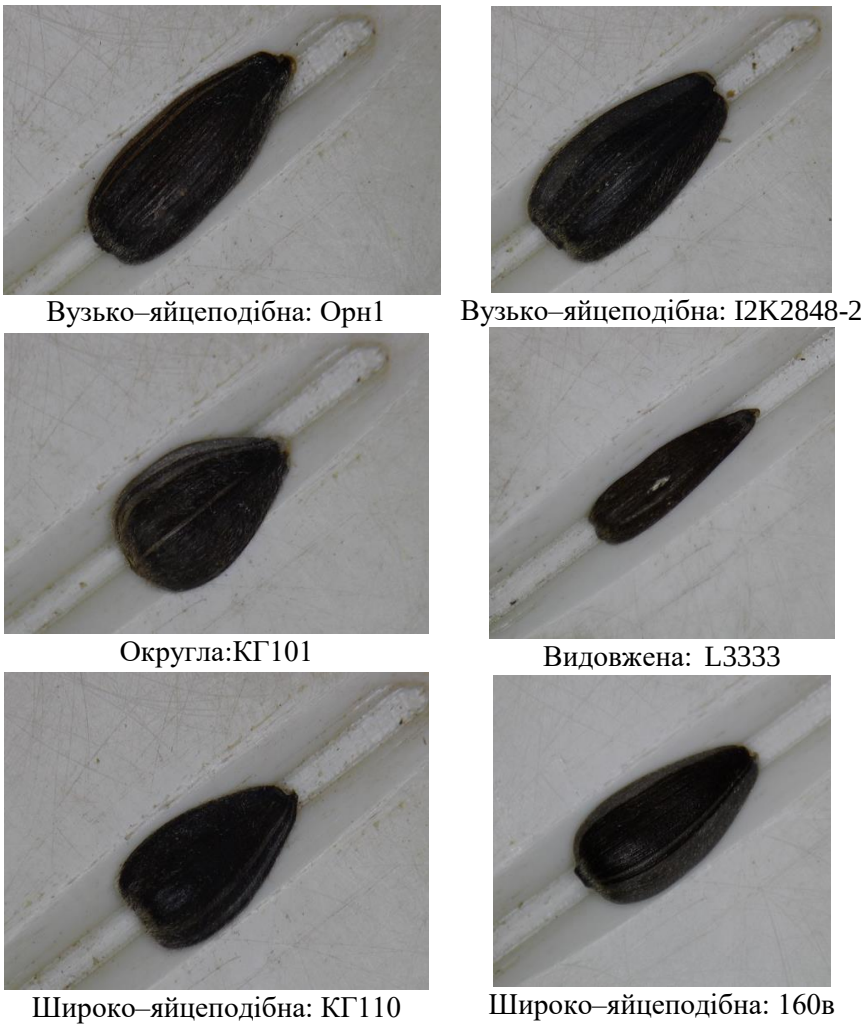

Рис. 5. **Фотозображення насіння вивчених ліній з формою опису UPOV**

Як бачимо з рисунку, лінії дійсно мають різну форму насіння. Особливо виділяються округла та видовжена форми. Кути у широко та вузько яйцеподібних ліній відрізняються за невеликим кількісним значенням, хоча й достовірно у більшості. Цей факт закономірний для біологічних об'єктів і ознак зі складним успадкуванням.

Але розгляд великої кількості колекцій і їх гібридів показує наявність і інших особливостей форми. Зокрема на рисунку 5 представлено по дві широко яйцеподібної та вузько яйцеподібної форми на яких можна спостерігати наявність різної форми кінців насінини: у лінії Орн1 насінина має більш гострі обидва кінці у лінії: I2K2848-2 навпаки обидва кінці практично тупі. А ось у широко яйцеподібної форми лінія КГ110 мала нижній дуже тупий кінець, а ось верхній гострий, що створює практично трикутну форму. А лінія 160в з широко-яйцеподібної форми має більш закруглену нижню частину і відповідно має трохи інший вигляд. Це вимагає подальшого опису та вивчення на більшому колекційному матеріалі.

Для встановлення методів опису, які можна застосувати для кількісного виразу ознаки форми ми спробували випробувати визначені програмою площі частини насінини, які виступають за описаний чотирикутник ABCD. Отримані усереднені результати представлені у таблиці 3. У площині плазом показники площ ділянок насінини, що розташовані поза чотирикутником ABCD, сформованим головними осями довжини та ширини, демонструють відносну стабільність між врожаями більшості ліній. Середні значення площ нижньої частини для більшості зразків знаходяться в межах 19– 21 мм², а верхньої частини – 15–19 мм². Найвищі показники спостерігались у ліній Орн1 (нижня частина – 50,2 мм², верхня – 39,7 мм²) та I2K2848–2 (нижня – 44,5 мм², верхня – 31,1 мм²), що свідчить про масивніше заокруглення верхньої та нижньої частин насінини порівняно з іншими лініями.

Лінія 160в демонструє іншу динаміку – при типовому значенні площі нижньої частини 19 мм² у 2020 році, цей показник зріс до 24 мм² у 2023 році та 25 мм² у 2024 році. Аналогічно, площа верхньої частини для цієї ж лінії збільшилась із 15 мм² до 24 мм² відповідно. У 2023 році вона мала найнижче значення серед усіх зразків – лише 13 мм².

У середньому для всіх ліній частка виступаючих ділянок становить 23% для нижньої та 18% для верхньої частини від загальної площі насінини, що вказує на відносну симетрію і збалансованість форми. У динаміці за роками спостерігається тенденція до зростання частки виступів, особливо для нижньої частини в площині плазом – від 18% у 2020 році до 31% у 2024 році. Найбільші значення зафіксовано у лінії 160в, у якої нижня частина в площині плазом займає 38% від загальної площі насінини, що характеризує її як зразок із більш вираженим заокругленням верхньої частини насінини.

По усередненим даним представленим у таблиці 3 виявляється, що усереднені показники можуть виявити округлу форму у лінії КГ101 яка мала значно найменший відсоток площ виступаючих частин. Похибки дозволяють відрізнити лінії одна від одної за формою. Для більшої наочності у таблиці наведено розрахунок відношення площ нижньої та верхньої частин у фото плазом. Співвідношення дійсно показали різницю. Найменше відношення 1,15 показала лінія L3333 видовженої форми насінини. Відношення трьох інших ліній виявились 1,25, 1,25, 1,26.

Таблиця 3

Результати аналізу площі насінини, та площ окремих частин насінини соняшника (2020–2024)

Параметр вимірювання	Частина зображення		Назва лінії					
			160в	L3333	КГ110	I2K2848–2	КГ101	Орн1
Площа виступів, мм^2	боком	нижня	31,84±0,07	21,03±0,11	25,95±0,05	32,90±0,07	26,79±0,02	31,86±0,001
		верхня	18,83±0,04	16,97±0,04	19,65±0,04	24,34±0,05	21,19±0,03	29,78±0,02
	плазом	нижня	35,76±0,07	21,54±0,04	30,30±0,06	44,47±0,09	37,65±0,04	50,22±0,10
		верхня	29,82±0,005	18,49±0,02	20,73±0,1	31,14±0,06	29,19±0,03	39,66±0,04
Площа насінини, мм^2	боком		112,69±0,15	95,45±0,22	100,78±0,22	121,85±0,27	113,72±0,12	132,89±0,08
	плазом		153,16±0,44	96,56±0,41	110,37±0,24	170,06±0,87	165,98±0,21	208,30±0,01
Різниця площ, %	боком		73,55±0,16	86,27±0,19	80,92±0,17	81,18±0,09	78,95±0,12	96,66±0,12
	плазом		79,44±0,17	87,66±0,19	72,41±0,16	77,40±0,17	81,34±0,18	88,42±0,13
Від усієї площі, %	боком	нижня	24,91±0,05	21,36±0,17	22,86±0,09	24,30±0,02	21,95±0,04	22,33±0,02
		верхня	16,46±0,03	18,25±0,04	18,03±0,04	18,93±0,04	17,34±0,03	21,05±0,02
	плазом	нижня	22,85±0,05	21,96±0,04	26,55±0,05	24,82±0,05	21,72±0,04	22,56±0,05
		верхня	18,11±0,04	19,15±0,04	18,45±0,04	18,37±0,04	17,37±0,03	18,88±0,02
Відношення площ нижньої та верхньої частин у фото плазом			1,26	1,15	1,44	1,35	1,25	1,19

Ці три лінії відносили до різних форм. Але є одна особливість , що це співвідношення дозволило вирізнити групи за широким верхнім кінцем в одній формі за описом. Так, у широко-яйцеподібних лініях КГ110 мала найбільше співвідношення 1,44, а 160в лише 1,26, у вузько-яйцеподібних I2K2848-2 велике співвідношення 1,35, а Орн1 лише 1,19. Відповідно найбільше відношення показує наявність нижнього тупого краю, який створює трикутну чи краплевидну форму насінини.

Ці співвідношення та інші показники потрібно визначити на більшій кількості ліній і апробувати ці методи на більшому різноманітті матеріалу. В цьому дослідженні ми можемо рекомендувати використати для опису форми протилежні кути θa та θb, які дозволяють виділити чотири групи за UPOV. А потім відношення площ нижньої та верхньої частин у фото плазом, що дозволяє виділити більш трикутні форми.

Досліджень, присвячених стабільності лінійних розмірів насіння, знайти не вдалося.

У наукових роботах зустрічається математичний підхід до визначення площі насінини. В таких статтях (Khodabakhshian et al. 2011) площу насінини не вимірювали безпосередньо – її обчислювали за формулою геометричного середнього діаметра. Такий підхід потребує менше обладнання і може бути виконаний в умовах обмеженого доступу до устаткування. Водночас точність цього методу залишається сумнівною, адже замість реального вимірювання площі використовується математична апроксимація, розрахована для об’єктів із майже сферичною формою. Насіння соняшника, зрозуміло, рідко відповідає цій геометричній моделі, тому результат може бути лише умовним наближенням, а не фактичним значенням.

Раніше використовувалась схожа до нашої методика (Polat et al. 2023) – аналіз зображень насіння із подальшою комп’ютерною обробкою. Його дослідження охоплювало лінії кондитерських сортів соняшника, де площа насінин варіювала від 108 мм² до 259 мм². У нашій роботі ці показники були значно нижчими: від 13 мм² у лінії 160В до 90 мм² у лінії L3333. Це очікувано, адже наша колекція включала різні лінії, зокрема олійні та межеумкові, які зазвичай дрібніші за кондитерські сорти.

Методики UPOV та УІЕСР пропонують визначати форму насінини суб’єктивно – порівнянням із описами або зображеннями в протоколах. Jing Wang у своєму дослідженні також користується підходом UPOV: вимірює співвідношення довжини до ширини насінини та порівнює ці значення з візуальною оцінкою форми. Форма визначалася лише в площині плазом. Автор вказує, що подовжені насінини мали співвідношення 39, довго-яйцеподібні – 49, а широко-яйцеподібні – 61. Даних щодо округлої форми не наведено.

В нашому дослідженні використовуються отримані за допомогою комп’ютерної програми значення кутів насінини, і для отримання оцінки форми пропонується використовувати кут θa, адже він, є аналогічною похідною товщини та довжини. Отримані результати θa демонструють низький рівень похибок (табл.1) що дозволяє оцінити форму з достатнім ступенем достовірності.

Видовжена: θ_a = 52; Вузько–яйцеподібна: θ_a = 64-65, Широко-яйцеподібна: θ_a = 66-67; Округла: θ_a = 72. Порівняно з іншими дослідженнями подібного характера (Wang et al., 2016) результати знаходяться в схожих межах, і отримані результати в ході нашого дослідження доповнюють спостереження

отримані в ході дослідження Jing Wang та відповідають значенням запропонованої нами класифікації.

Окремих робіт, присвячених пропорціям насіння соняшника та їхній динаміці, виявити не вдалося. Запропонована нами методика дозволила визначити пропорції у вісях AB і CD з високою точністю. Зокрема, виявлено взаємодію між площами нижніх і верхніх виступів: у площині плазом площа передньої частини показала високу стабільність серед усіх досліджених врожаїв.

Висновки. Розроблена комп'ютерна програма дозволила отримати багато нових точних вимірювань форми насіння соняшника та кількісно описати його форму.

Запропоновано показник – кут θa, для оцінки форми насіння згідно градацію форм за методикою UPOV: видовжена, вузько–яйцеподібна, широко-яйцеподібна, округла.

Встановлено, що виступи нижніх та верхніх частин насінини складали 23% в нижній та 18% від загальної площі насінини, в обох проекціях. Відношення площ нижньої та верхньої частин у фото плазом дозволяють виділити більш трикутні форми. Але для встановлення чітких рекомендацій меж класів по формі насінини буде досліджена більш широка колекція.

References

Aksenov IV, Kutishcheva NN, Vedmedeva EV (2013) Agrotechnical features of sunflower cultivation: monograph. Zaporozhye: TOV "Fabrika Vol'f". 86 p.

Aliyev EB (2022) Automatic phenotyping of sunflower seed material: monograph. Kyiv: Ahrarna Nauka. 104 p. ISBN 978-966-540-540-5

Atlas of morphological characteristics of annual sunflower varieties Helianthus annuus L. (visual supplement to the Methodology for the qualification examination for DUS of annual sunflower) (2018) Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine; Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 2nd ed. Kyiv: Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. 79 p.

Figueiredo AK, Baumler E, Riccobene IC, Nolasco SM (2011) Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. J Food Eng. 102(1): 58–65

Dedio W (1982) Variability in hull content, kernel oil content, and whole seed oil content of sunflower hybrids and parental lines. Can J Plant Sci. 62(1): 51–54

Dedio W (1995) Association of sunflower achene color with other achene characters and bird preference. Can J Plant Sci. 75(2): 377–380

Delwiche SR, Yang IC, Graybosch RA (2013) Multiple view image analysis of free-falling US wheat grains for damage assessment. Comput Electron Agric 98: 62–73 DOI: 10.1016/j.compag.2013.07.002

International Union for the Protection of New Varieties of Plants (2023) Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability— Sunflower. 26 p.

Jafari S, Khazaei J, Arabhosseini A, Massah J, Hadi Khoshtaghaza M (2011) Study on mechanical properties of sunflower seeds. Electron J Polish Agric Univ. 14(1): 06

Kaya Y, Evci G, Durak S, Pekcan V, Gücer T (2007) Determining the relationships between yield and yield attributes in sunflower. Turk J Agric For 31(4): 237–244 DOI: 10.3906/tar-0610-2

Khodabakhshian R, Emadi B, Abbaspour Fard M, Saiedirad M (2011) Modeling the fracture resistance of sunflower seed and its kernel as a function of moisture content, variety, size and loading orientation. Int J Food Eng. 7(3). DOI: 10.2202/1556-3758.2118

Korkodola MM, Maklyak KM (2022) Formation of husk content in confectionery sunflower seeds depending on agrotechnical cultivation methods. In: Scientific foundations for improving the efficiency of agricultural production. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, Nov 29–30, 2022). Kharkiv: State Biotechnological University: 159–161

Li Z, Xiang F, Huang X, Liang M, Ma S, Gafurov K, Gu F, Guo Q (2024) Properties and characterization of sunflower seeds from different varieties of edible and oil sunflower seeds. Foods. 13(8): 1188 DOI: 10.3390/foods13081188

Maklyak KM, Korkodola MM (2023) Features of technology for growing confectionery-type sunflower. Selektsiya i nasinnytstvo. 124: 76–93 DOI: 10.30835/2413-7510.2023.293894

Methodology for conducting the examination of oil plant varieties for distinctness, uniformity and stability (2016) 2nd ed., rev. and enl. Ed. by Tkachyk SO. Vinnytsia: FOP Korzun DYu. 178 p.

Miklič V, Mrdja J, Modi R, Jocić S, Dušanić N, Hladni N, Miladinović D (2012) Effect of location and harvesting date on yield and 1,000-seed weight of different sunflower genotypes. Rom Agric Res 29(29):219–225

Nel AA, Loubser HL, Hammes PS (2000) The effect of environment and cultivar on sunflower seed. I. Yield, hullability and physical seed characteristics. S Afr J Plant Soil. 17(3): 133–137

Perez EE, Crapiste GH, Carelli AA (2007) Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds. Biosyst Eng. 96(1): 41–45

Polat MY, Özcan A, Uygun S, Aydin O (2023) Measurement of projected areas in some confectionery sunflowers (Helianthus annuus L.) seeds by image processing technique. Selcuk J Agric Food Sci 37(1): 145–154 DOI: 10.15316/sjafs.2023.015

Ryabovol LO, Rakul IO, Kotsuba SP (2019) Value of created experimental hybrids of confectionery sunflower for use. Naukovi Dopovidi NUBiP Ukrainy 1(77): 1–9

Schmuller J (2021) Statistical analysis with Excel for dummies. John Wiley & Sons. 576 p.

Vedmedeva K, Machova T (2022) Study of the possibilities of using sunflower lines with different seed colours to create poultry feed. Helia. 45(76): 23–40

Vedmedyev SR, Tereshchenko EV (2022) Creation of a digital model of sunflower. Modern problems and achievements in the field of radio engineering, telecommunications and information technologies. Abstracts of the XI International Scientific and Practical Conference (Zaporizhzhya, Dec 12–14, 2022). Zaporizhzhya: National University “Zaporizhzhia Polytechnic”: 136–137

Wang J (2016) Grain shape as a predictor of salt tolerance in sunflower. Agron J. 108(6): 2280–2288

DETERMINATION OF SEED SHAPE CHARACTERISTICS USING AUTOMATED COMPUTER IMAGE ANALYSIS

P. Y. Busarov, K. V. Vedmedeva

Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Sunflower (Helianthus annuus L.) is one of the world's leading oilseed crops and the main source of edible oil in Ukraine. In addition to oil production, sunflower seeds are widely used as raw material in the confectionery industry. Breeding of confectionery types focuses on developing large-seeded varieties with a high kernel yield and improved physical and mechanical characteristics. The morphology of the seed – including its shape, thickness, and proportions – significantly affects processing quality and industrial use. Despite numerous studies, the shape of the seed remains a less explored trait compared to color or mass, and most existing methods rely on subjective visual evaluation. The aim of this study was to perform a quantitative assessment of sunflower seed morphology using automated computer image analysis and to compare the obtained parameters with the established UPOV and UPOV–OECD classification systems. The analysis was conducted on digital images of seeds from various sunflower lines, including oilseed, intermediate, and confectionery types. Image-processing software was used to determine seed area, proportions, angular characteristics, and thickness, enabling an objective shape classification. The results showed that seed area ranged from 13 mm² in line 160B to 90 mm² in line L3333, reflecting the differences between oilseed and confectionery types. The proposed θa angle parameter proved effective for shape characterization: elongated (L3333, θa = 52±3.1), narrow-elliptic (Orn1, θa = 64±3.3), broad-elliptic (KG110, θa = 67±2.1), and round (KG101, θa = 72±2.8). The obtained data support the development of an improved, quantitative approach for sunflower seed shape evaluation based on objective digital parameters. The proposed methodology can be applied in breeding and technological studies for morphological standardization and for refining classification criteria within UPOV and OECD systems.

Key words: sunflower, seed, phenotypes, shape, thickness.