

УДК 581.132:620.186:633.11

© 2010

*Писаренко П.В., доктор сільськогосподарських наук, професор
Колеснікова Л.А., асистент*

Полтавська державна аграрна академія

Загоруйко Г.Є., доктор біологічних наук

Полтавський університет економіки та торгівлі

ІЗОПЕРИМЕТРІЯ РІВНОВЕЛИКИХ ПЛОСКИХ ФІГУР І ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ МОРФОМЕТРІЇ ЗРІЗІВ ЛИСТКОВОЇ ПЛАСТИНКИ ПРОРОСТКІВ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук Г.П. Жемела

Запропоновано новий спосіб апроксимації зрізів біооб'єктів складної форми гомотопними плоскими геометричними моделями, що дає змогу отримати кількісні дані, близькі до значень відповідних параметрів реальних біооб'єктів. Застосування гомотопних геометричних моделей сприяє мінімізації похибки морфометричних вимірювань, дає можливість використовувати класичну метрику для дослідження структурних змін зрізів, проводити аналіз динаміки і визначати направленість структурних змін біологічних об'єктів в експериментальних умовах. Результати обчислень свідчать, що найбільш адекватною моделлю поперечного розрізу ЛП четвертого листка проростків пшениці є гомотопна геометрична плоска фігура у формі витягнутого прямокутника.

Ключові слова: морфометричні показники, апроксимація, гомотопні геометричні моделі, біооб'єкти.

Постановка проблеми. Окрему екологічну проблему сучасної Полтавщини становить нафтохімічне забруднення верхнього родючого шару ґрунту в районах розміщення нафтовидобувних та нафтопереробних підприємств. Забруднення можуть мати як постійний, так і аварійний характер [8, 12, 14]. Нині на Полтавщині та й у цілому в Україні, основною задачею сільського господарства є збереження екологічної рівноваги і стійкості агроландшафту в процесі експлуатації та забезпечення зростання виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції. Відомо, що нафта має сильну токсичну дію, що викликає мутагенні ефекти, будучи однією з основних причин гибелі та пригнічення рослин на забруднених територіях.

Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Виходячи з актуальних екологічних проблем сьогодення, проводяться інтенсивні дослідження впливу нафтових забруднень ґрунту на форму-

вання господарсько цінних органів рослин та урожайність різних сільськогосподарських культур [10, 11, 18], зокрема пшениці ярої, що є цінною страховою культурою для пересіву загиблих посівів пшениці озимої нашої області. Проростки пшениці – зручний біологічний тест-об'єкт для вивчення експериментальних і практичних аспектів природних та антропогенних екологічних стресів, спричинених негативними факторами навколишнього середовища. Відомо, що проростки пшениці на стадії третього-четвертого листка знаходяться в ювенільному періоді онтогенезу, для якого характерний інтенсивний розвиток вегетативних органів, які й визначають майбутню продуктивність посівів. У цей період різко зростає роль листків, як основного фотосинтезуючого органа зелених рослин. У попередньо проведених дослідженнях [3, 5, 7, 13] встановлено, що з четвертого листка значна частина синтезованих асимілятів надходить до ростучого стебла проростків пшениці. У зв'язку з цим експериментальні дослідження на проростках пшениці дають змогу визначити, за яких концентрацій сирової нафти або нафтопродуктів у ґрунті можливе вирощування й формування високих урожаїв зернових та оцінити рентабельність, затратоємність можливих рекультивационних заходів, із урахуванням матеріально-технічного забезпечення й агрометеорологічних умов.

Одним із проявів адаптації рослин до впливу екологічних стресів відбувається зміна геометричних характеристик ростучих листків, що безпосередньо впливає на структуру мезофілу і, як наслідок, – на фотосинтетичний потенціал рослин у цілому [6].

Поперечні зрізи ЛП проростків пшениці мають доволі складну форму. Геометричною мовою, поперечний розріз (перетин) ЛП представлений «випукло-ввігнутою» протяжною плоскою фігурою, площа якої обмежена замкнутою «хвилеподібною»

кривою. Така форма розрізів ЛПП є складною для проведення морфометричних досліджень і рутинного якісного мікроморфометричного опису. Суттєві труднощі виникають під час вибору первинних метричних показників для характеристики динаміки форми зрізів ЛПП, що потім використовуються для визначення похідних (вторинних) параметрів і співставлення кількісної інформації, що отримується в результаті проведених експериментів. Для характеристики зрізів біооб'єктів складної форми в практиці морфометричних досліджень використовують зазвичай апроксимовані фігури [15]. При цьому складний контур розрізу мікрооб'єкта «трансформується» в одну з найпростіших геометричних фігур типу: круг, еліпс, квадрат, ромб, прямокутник і т. п. [20]. Така «модельна» трансформація форми зрізів реальних біооб'єктів у прості геометричні фігури дає можливість суттєво спростити проведення морфометричного аналізу, використовуючи відому метрику класичних геометричних фігур та відповідні математичні формули [2, 17, 19]. Кількісним параметрам модельних геометричних фігур надається значення «еквівалентності» (еквівалентний діаметр, довжина контура, периметр, площа і т. п.). Суттєвим недоліком такої «геометричної трансформації» реальної форми перетину біоструктури є те, що при цьому часто використовують фігури, які описані або вписані в контур зрізу об'єкта. Результати вимірювання лінійних та похідних метричних параметрів описаних (вписаних) геометричних фігур значно відрізняються (завищені – занижені) від реальних значень досліджуваних зрізів біооб'єктів.

Для усунення цих суттєвих недоліків існує метод апроксимації зображень мікроструктур складної форми. Нами запропонований новий спосіб, в основу якого закладено принцип «деформованого перетворення» реального зображення біоструктури до однієї з форм простих геометричних фігур. Характерною ознакою запропонованого способу є використання при апроксимації геометричних властивостей так званих гомотопних фігур, які паралельно з реальними зображеннями відносяться до одного класу «відображень» [21, 22].

При деформованому перетворенні й апроксимації реальних зображень мікроструктур складної форми більш простими геометричними фігурами необхідно суворо дотримуватися основних умов:

1. Гомотопна геометрична фігура та її реальне «відображення» (зріз біооб'єкта) повинні мати однаковий периметр (P) – умова ізопериметрії [4].

2. Гомотопна геометрична фігура та її реальне «відображення» (зріз мікроструктури) повинен мати

однакову площу (S) – умова рівновеликих фігур [1].

3. Гомотопна геометрична фігура та її реальне «відображення» (зріз біоструктури) повинні мати однаковий коефіцієнт форми (Φ) – умова ізоморфності [15, 21].

Мета досліджень. Мета нашої роботи полягала у розробці та апробації способу визначення метричних характеристик поперечних зрізів листової пластинки (ЛПП) проростків пшениці ярої за допомогою гомотопних геометричних моделей.

Об'єктом дослідження були напівтонкі поперечні тотальні зрізи ЛПП проростків пшениці ярої на стадії четвертого листка.

Методика проведення досліджень. Пшеницю вирощували на відкритому ґрунті в спеціальних ящиках, в які висівалося по 100 каліброваних насінин. Контрольну групу склали четверті листки проростків пшениці, вирощені на ґрунті, що не містив компонентів сирової нафти. Експериментальна група – четверті листки проростків пшениці, вирощеної на ґрунті, що містив нафту густиною $\approx 0,80$ г/мл у концентрації 30 мл сирової нафти на 1 кг ґрунту (відповідає 24 г/кг ґрунту). Для мікроскопічних і морфометричних досліджень вирізали центральну частину ЛПП шириною $\approx 1-2$ мм у 10 проростків в обох групах спостережень. Біозразки четвертого листка фіксували, обезвожували й заливали в епоксидні смоли згідно з класичною методикою приготування препаратів для електронної мікроскопії [9]. З полімеризованих блоків за допомогою ультрамікротома УМТП-6 виготовляли серію напівтонких зрізів, які монтували на предметні скельця, забарвлювали метиленовим синім і фуксином, поміщали в краплю епоксидної смоли, накриваючи склом. Мікроскопічні дослідження та морфометричний аналіз препаратів проводили за допомогою мікроскопа МБІ-15 при загальному збільшенні 700*.

Для морфометричних досліджень застосовували стандартну квадратно-сітчасту скляну вставку для вимірювального окуляра К 7*, що містить 256 квадратів, які утворені перетином 16 горизонтальних і 16 вертикальних ліній. Тест-лінії вимірювальної сітки були використані для обрахунку периметра контуру зрізів ЛПП (P , мк), а вузлові точки – для визначення площі тотальних поперечних зрізів ЛПП (S , мк²) у контролі (κ) і в експериментальній групі (ϵ). У процесі роботи обчислювали наступні кількісні показники:

* L_z і L_b – довжина зовнішнього (z) і внутрішнього (b) контурів зрізу ЛПП (мк);

* їх співвідношення (L_z/L_b);

* показник (S_ϵ/S_κ);

* фактор форми ЛП ($\Phi = S/P^2$) і деякі інші параметри.

Цифрові значення параметрів реальних ЛП Р, S, Φ використали для побудови відповідних їм гомотопних геометричних фігур.

Отримані цифрові дані були статистично оброблені на ЕОМ IBM PC/AT за стандартною програмою STAT.

Морфометричний аналіз гістопрепаратів ЛП відповідав певній послідовності:

1. Вибір оптимального збільшення мікроскопа МБІ-15.

Для досягнення мінімальної інструментальної похибки вимірювання поперечних розрізів ЛП були використані наступні оптичні засоби: біокулярний тубус ЛУ-26 зі змінним збільшенням 1,1*; 1,6*; 2,5* [16]; окуляр К7* із прозорою квадратно-сітчастою вимірювальною вставкою, що містить 256 контрольних точок, 16 горизонтальних та 16 вертикальних тест-ліній, перекриття яких утворює 256 вузлових точок; об'єктив-ахромат 40 x 0,65.

Перераховані вище оптичні засоби дозволили отримати загальне збільшення 700* (2,5* X 7* X 40*) без використання імерсійних об'єктивів, що значно спрощує роботу з мікроскопом. При збільшенні мікроскопа 700*, відстань між тест-лініями квадратно-сітчастої вставки окуляра К7* становила $\Delta L_0 \approx 7,9$ мк, а площа зрізу ЛП, що припадала на 1 вузлову точку вимірювальної сітки, склала $\Delta S_0 \approx 62$ мк².

2. Визначення площі поперечного тотального зрізу ЛП ($S_{\text{лп}}$, мк²).

Визначення проводять шляхом послідовного накладання на зображення зрізу ЛП вимірювальної окулярної тест-сітки таким чином, щоб контрольні точки повністю покрили площу досліджуваного зразка ЛП. Планіметричні вимірювання проводили на п'яти послідовно отриманих напівтонких зрізах ЛП в обох групах спостереження. Площа поперечного зрізу кожної ЛП визначала за формулою:

$$S_{\text{лп}} = \Delta S \cdot N_i, \quad (1)$$

де: ΔS_0 – площа зрізу ЛП, що припадає на одну вузлову точку окулярної тест-сітки при збільшенні мікроскопа 700* ($\Delta S_0 = 62$ мк); N_i – сумарне число вузлових точок окулярної тест-сітки, що розміщені в середині контура і-зрізу ЛП.

3. Визначення периметра контура зрізу ЛП (Р, мк).

Визначення проводять із використанням методу випадково розміщених тест-ліній [15]. У видимому полі мікроскопу окулярна тест-сітка суміщається з зображенням зрізу ЛП. При кожному наступному накладанні сітки на зображення підраховується, в

скільки точках контур зрізу ЛП перетинається горизонтальними та вертикальними лініями вимірювальної сітки. Окремо підраховують число перетинів тест-лініями зовнішнього (N_3) і внутрішнього (N_B) контурів зрізу ЛП. Протяжність зовнішнього (L_3) і внутрішнього (L_B) контурів зрізу ЛП визначається за формулами [19]:

$$L_3 = \pi/4 \cdot (N_3 \cdot \Delta L_0), \quad (2)$$

$$L_B = \pi/4 \cdot (N_B \cdot \Delta L_0), \quad (3)$$

де: N_3 і N_B – число перетинів зовнішнього (з) та внутрішнього (в) контурів зрізу ЛП тест-лініями; ΔL_0 – відстань між лініями квадратної сітки окуляра К7*. При збільшенні 700* $\Delta L_0 = 7,9$ мк.

Периметр контура фігури зрізу ЛП дорівнює:

$$P = L_3 + L_B \quad (4)$$

4. Визначення метричних параметрів гомотопної модельної фігури реальної ЛП.

Протяжне реальне зображення поперечного тотального зрізу ЛП обмежене складчастим, випукло-ввігнутих замкнутим контуром. За допомогою методу «непрямої» деформації умовно «розправляли» контур реальної ЛП. При цьому відображення зрізу ЛП безперервно переходить у гомотопне модельне відображення рівновеликого, ізоморфного та ізопериметричного багатокутника, визначення метричних параметрів якого не є складним.

Периметр прямокутника дорівнює [1]:

$$P = 2 \cdot (A+B), \quad (5)$$

де: А і В – більша та менша сторони геометричної фігури.

Площа прямокутника визначається за формулою:

$$S = A \cdot B. \quad (6)$$

Із рівняння (6) маємо, що менша сторона прямокутника дорівнює:

$$A = S/B. \quad (7)$$

Підставимо значення «А» з рівняння (7) у формулу (5). Після елементарних алгебраїчних перетворень отримуємо наступне квадратичне рівняння:

$$2B^2 - PB + 2S = 0, \quad (8)$$

в якому: $B > 0$; $A > 0$; $S > 0$.

Знайшовши розв'язок рівняння (8), отримаємо, що більша сторона гомотопного прямокутника рівна:

$$B = \frac{P^2 - \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad (9)$$

Підставивши в формулу (9) цифрові значення Р і S, які одержали після морфометрії гістопрепаратів ЛП, отримаємо метричні параметри гомотопного прямокутника – рівновеликого, ізоморфного й ізопериметричного реальному відображенню досліджуваної ЛП. Гомотопний прямокутник за своїми основними метричними

характеристиками (P, S, Φ) буде еквівалентним зрізу досліджуваної ЛП проростка пшениці.

Результати досліджень. У таблиці 1 наведені числові дані проведених морфометричних показників реальних ЛП (індекс 1), апроксимованих геометричних моделей (індекс 2, 3) і гомотопних геометричних фігур (індекс 4) у формі різних протяжних багатокутників. Результати цих обчислень свідчать, що площа (S) поперечних тотальних зрізів ЛП четвертого листка в експериментальних умовах вирощування проростків пшениці в 1,35 разу менше порівняно з контролем. Усі ці дані дають підстави припустити, що компоненти сирої нафти в кількості 30 мг/кг ґрунту негативно впливають на кореневу систему проростків, що суттєво відображається на розвитку надземних паростків і листків пшениці. Зменшення числових значень площі зрізів ЛП в експерименті обумовлена зменшенням довжини зовнішнього контура (L_3) в 1,25 разу, а внутрішнього (L_B) – в 1,30 разу і периметру (P) – в 1,27 разу відносно контролю. В усіх поперечних тотальних розрізах ЛП у контролі та експерименті виявлена загальна тенденція: більша протяж-

ність внутрішнього контуру відносно зовнішнього. Це свідчить про те, що площа зовнішньої поверхні четвертого листка менша внутрішньої поверхні. Така «диспропорція» площ поверхонь листків дозволяє цим вегетативним органам «згортатися» за несприятливих умов зовнішнього середовища, і більша за розміром площа внутрішньої поверхні листків не перешкоджає цій зворотній деформації ЛП. У контрольних зразках гістопрепаратів ЛП відношення показників (L_B/L_3) становить, у середньому, 1,07, а в експериментальних – 1,03. При цьому різниця значень (L_B-L_3) у контролі рівна ≈ 230 мк, в експериментальній групі – близько ≈ 70 мк. Незважаючи на значне зменшення площі та протяжності периметра тотального зрізу ЛП в експериментальній групі рослин, максимальна товщина (H_{max}) ЛП в обох групах спостережень у межах похибки вимірювань не змінюється й становить 208...216 мк. Таким чином, в умовах забруднення родючого шару ґрунту сирою нафтою (30 мг/кг) спостерігається зменшення розмірів четвертого листка проростків пшениці при незмінній товщині ЛП на вершині центральної жилки.

1. Морфометричні показники поперечних розрізів ЛП четвертого листка проростків пшениці ярої та апроксимованих геометричних моделей ($M \pm m$)

Параметри листової пластинки (1)			Параметри гомотопних прямокутників (4)		
Показник	контроль	експеримент	показник	контроль	експеримент
*S	406 000±220	300 000±150	S	406 000	300 000
L_3	3330±80	3670±70	A	3330	2586
L_B	3560±100	2740±50	B	122	116
L_c	3100±100	2372±100			
P	6890±150	5410±120	P3	6890	5410
Φ	0,0085	0,010	Φ	0,0085	0,010
H_{max}	216±10	208±10			
h_{min}	80±50	70±5			
H_c	148	139			
L_c/H_c	21:1	17:1	A/B	27:1	22:1
Параметри апроксимованих прямокутників (2)			Параметри апроксимованих еліпсів (3)		
Показник	контроль	експеримент	показник	контроль	експеримент
S	509 860	375 995	S	525 887	387 485
A	3445	2705	A*	1550	1180
B	148	139	B*	108	104
P1	7186	5688	P2	5209	4052
Φ	0,011	0,013	Φ	0,019	0,024
A/B	23:1	19:1	A/B	14:1	11:1

Примітка: *S – площа поперечного перетину ЛП (мк²); L_3 – довжина зовнішнього контуру зрізу ЛП (мк); L_B – довжина внутрішнього контуру зрізу ЛП (мк); L_c – середня довжина ЛП (мк); A – більша сторона прямокутника (2, 4) (мк); B – менша сторона прямокутника (мк); A* – більший діаметр еліпса (3) (мк); B* – менший діаметр еліпса (3) (мк); P – периметри поперечного перетину ЛП та її геометричної моделі (P1, P2, P3) (мк); Φ – фактор форми; A/B – співвідношення сторін геометричних моделей ЛП; H_{max} – товщина поперечного розрізу ЛП на вершині центрального гребня (мк); h_{min} – мінімальна товщина зрізу ЛП у глибині впадини, що розміщена на краю ЛП (мк); H_c – середня товщина ЛП (мк); L_c/H_c – співвідношення середньої довжини ЛП до середньої товщини ЛП (мк).

У практичній геометрії форму протяжних обмежених фігур оцінюють за допомогою показника «фактора форми» [19]. Заявлений параметр – це відношення двох найбільш характерних метричних величин досліджуваної фігури, взятих у відповідних степенях, для отримання безрозмірної величини. Найчастіше в якості показника фактора форми використовують відношення площі фігури (S) до квадрата її периметра (P²).

$$\Phi = S/P^2 \quad (10)$$

Для правильних багатокутників і круга цей показник змінюється в інтервалі значень $\Phi \in (0,05 \div 0,08)$. У видовжених геометричних фігур, конкретно, прямокутника, величина фактора форми значно менша й залежить від співвідношення більшої і меншої сторін. Якщо відношення сторін складає, наприклад, 5:1; 10:1; 15:1; 20:1 ... 30:1, то числові значення фактора форми суттєво зменшуються – від 0,03; 0,02; 0,015; 0,011 до 0,008. У таблиці наведені числові дані фактора форми ЛП у контролі (0,0085) й експерименті (0,010). Таким чином, якщо в якості еквівалентної фігури реального розрізу ЛП обрати модель у формі витягнутого прямокутника, то співвідношення числових значень більшої й меншої сторін у контролі становитимуть приблизно (30:1), в експерименті (20:1).

Для апроксимації форми зрізів біоструктур, у тому числі поперечних розрізів ЛП, використовують різні моделі (багатогранних) витягнутих геометричних фігур [1]. У даній роботі (в якості прикладу) нами використовуються три геометричні моделі.

Геометрична модель 1. Витягнутий прямокутник, в якому більша сторона (L) рівна напівпериметру (P/2) контура зрізу ЛП проростка пшениці. Менша сторона модельного прямокутника визначалася за формулою:

$$H_c = (H_{max} + h_{min})/2, \quad (11)$$

де: H_{max} – товщина поперечного розрізу ЛП на вершині центрального гребня; h_{min} – мінімальна товщина зрізу ЛП у глибині впадини, розміщеної на краю ЛП. У моделі 1 використані три лінійних параметри, характерних для реальної ЛП. Результати визначення числових показників подібних параметрів даної геометричної моделі подані в таблиці (індекс 2). Виявляється, що площа фігури апроксимованої прямокутником значно перевищує значення даного показника реального зрізу ЛП у контрольній групі (в 1,26 разу), в експериментальній – в 1,25 разу. При цьому величини периметрів апроксимованих прямокутників близькі до значень цих показників зрізів реальних ЛП. У контрольній групі від-

ношення ($P_{прям}/P_{ЛП}$) для четвертого листка проростка пшениці дорівнює 1,04, а в експериментальній – 1,05. Однак, фактор форми модельних прямокутників в 1,3 разу більший значення даного показника зрізів ЛП в обох групах спостережень. Коефіцієнт елонгації реальних ЛП у контролі дорівнює ($L_c/H_{max} = 3100/216 = 14,3$), в експериментальній групі – 11,4 (2372/208). У геометричній моделі 1 коефіцієнт елонгації, відповідно, дорівнює ($3445/148 = 23,3$ та $2705/139 = 19,5$). Таким чином, виходячи зі значень коефіцієнта елонгації геометричні моделі суттєво відрізняються від реальних ЛП як у контролі, так і в експерименті.

Геометрична модель 2. Поперечний зріз ЛП проростків пшениці апроксимований сплосченим еліпсом. Менша вісь еліпса рівна максимальній товщині ЛП на вершині центрального гребня, а більша – ширині ЛП. Числові дані наведені в таблиці (індекс 3). Для визначення периметру та площі еліпса використовували відповідні формули [15, 17]:

$$P = \pi(A+B) \quad (12)$$

$$S_{еліпса} = \pi(A \cdot B) \quad (13)$$

$$\text{де: } B = H_{max}/2; A=L_c/2$$

Результати обчислень свідчать, що для контрольної групи периметр модельного еліпса менший, ніж периметр ЛП в 1,32 разу, а площа еліпса більше площі ЛП в 1,3 разу. Аналогічні дані отримані для експериментальної групи. Так, периметр модельного еліпса в 1,33 разу менший периметра ЛП, а площа еліпса в 1,29 разу перевищує площу ЛП. Фактор форми модельного еліпса в 2,2 разу більший значення для контрольної групи ЛП і в 2,4 разу більше аналогічного показника для експериментальної групи ЛП.

Геометричні моделі 1 і 2 на основі використання лінійних параметрів реальних ЛП (висота, ширина) суттєво відрізняються від реальних об'єктів за такими основними параметрами, як: S, P, Φ .

Геометрична модель 3. На відміну від перших двох геометричних моделей, модель 3 за параметрами S, P, Φ відповідає реальному ЛП. Числове значення інших метричних показників наведені в таблиці (індекс 4). Як виявилось, параметри гомотопних прямокутників геометричної моделі 3 практично не відрізняються від кількісних показників поперечних зрізів ЛП в обох групах спостережень.

Висновки:

1. Запропонований новий спосіб апроксимації зрізів біооб'єктів складної форми гомотопними плоскими геометричними моделями.

2. На відміну від відомого способу апроксимації, на основі використання лінійних параметрів реальних біоструктур, запропонований метод гомотопних геометричних моделей дає змогу отримати кількісні дані, близькі до значень відповідних параметрів реальних біооб'єктів.

3. Гомотопні геометричні моделі сприяють мінімізації похибки морфометричних вимірювань біологічних об'єктів складної форми.

4. Гомотопні геометричні моделі дають змогу використовувати класичну метрику для дослідження структурних змін зрізів біооб'єктів складної форми.

5. Гомотопні геометричні моделі дозволяють

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Александров А.Д.* Выпуклые многогранники / А.Д. Александров. – М.-Л.: Гостехиздат, 1990. – 270 с.

2. *Бескин Н.Л.* Стереометрия / Н.Л. Бескин. – М.: Просвещение. – 1981. – 415 с.

3. *Джура Н.М.* Вплив нафтового забруднення ґрунту на морфофізіологічні-особливості осоки шершаволистої (*Carex Hirta*) / Н.М. Джура, О.М. Цвілинюк, О.І.Терек // Вісник Львів. ун-ту. Сер. Біол. – 2005. – Вип. 40. – С. 51-58.

4. *Крыжованский А.А.* Изопериметры / А.А. Крыжованский. – М.: Физмат., 1999. – 115 с.

5. *Кириченко Е.В.* Влияние лектинов бобовых растений разной специфичности на развитие проростков сельскохозяйственных культур / Е.В. Кириченко, Л.В. Титова, А.В. Жемойда // Физиология и биохимия. культ. растений. – 2004. – Т. 36. – №5 – С. 390-397.

6. *Косаківська І.В.* Екологічний напрям у фізіології рослин: досягнення й перспективи // Физиология и биохимия. культ. Растений. – 2007. – Т. 39. – №4 – С. 279-289.

7. *Мусієнко М.М.* Фізіологія рослин / М.М. Мусієнко. – К.: Либідь, 2005. – 806 с.

8. *Пендеревський О.Г.* Вплив нафтогазодобування на деградацію земель на Прикарпатті та в Україні / О.Г. Пендеревський // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004, №5. – С. 36-40.

9. *Пиз Д.* Гистологическая техника в электронной микроскопии / Д. Пиз. – М.: Ил., 1983. – 163 с.

10. *Писаренко П.В.* Фітотоксичність мінералізованих (пластових) вод для культурних рослин та бур'янів / П.В. Писаренко // Продуктивність і якість сільськогосподарської продукції. Наукові праці Полтавського СГП. – 1995. – Т. 17. – С. 133-135.

11. *Писаренко П.В.* Фітотоксичність мінералізованої (пластової) води в посівах озимої пшениці

проводити аналіз динаміки і визначати направленість структурних змін біологічних об'єктів в експериментальних умовах.

6. Найбільш адекватною моделлю поперечного розрізу ЛП четвертого листка проростків пшениці є гомотопна геометрична плоска фігура у формі витягнутого прямокутника.

7. Забруднення родючого шару ґрунту нафтою у кількості 30 мл/кг ґрунту негативно впливає на ріст і розвиток проростків пшениці ярої. Площа поперечного розрізу ЛП четвертого листка проростків зменшується в 1,35 разу, а периметр контура зрізу ЛП зменшується в 1,27 разу.

/ П.В. Писаренко // Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту. – 1998, №1. – С. 22-23.

12. *Пшеницька Н.В.* Ріст *Carex Hirta* на нафтозабруднених територіях. – Зб. наук. доп. «Молодь і поступ біології». – Львів, 2008. – С. 219-220.

13. Растения в экстремальных условиях минерального питания: эколого-физиологические исследования / Под. ред. М.Я. Школьника. – Л.: Наука, 1983. – 177 с.

14. *Рудько І.Г.* Екологічна безпека навколишнього природного середовища України. Контури проблеми / І.Г. Рудько // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – №4 – С. 22-30.

15. *Салтыков С.А.* Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.

16. *Скворцов Г.Е.* Микроскопы / Г.Е. Скворцов, В.А. Панов, Н.И. Поляков. – Л.: Машиностроение, 1970. – 511 с.

17. *Старков С.Н.* Справочник по математическим формулам и графикам функций / С.Н. Старков. – СПб.: Питер, 2008. – 235 с.

18. *Терек О.І.* Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex Hirta* L. за умов нафтового забруднення ґрунту / О.І. Терек, Н.М. Джура, О.М. Цвілинюк // Физиология и биохимия культ. растений. – 2008. – Т. 40. – №3 – С. 238-243.

19. *Цикунов А.Е.* Сборник математических формул / А.Е. Цикунов – СПб.: Питер, 2006. – 137с.

20. *Чернявский К.С.* Стереология в металловедении / К.С. Чернявский – М.: Металлургия, 1977. – 208 с.

21. *Шашкин Ю.А.* Неподвижные точки / Ю.А. Шашкин – М.: Наука, 1999. – 80 с.

22. *Яглом И.М.* Выпуклые фигуры / И.М. Яглом, В.Г. Болтянский – М.: ТТЛ, 2001. – 343 с.