

УДК 581.132:633.11:631.89

О. Л. ДУБИЦЬКИЙ, кандидат біологічних наук

О. Й. КАЧМАР, А. О. ДУБИЦЬКА, О. В. ВАВРИНОВИЧ, кандидати с.-г. наук

М. М. ЩЕРБА, науковий співробітник

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшино Пустомитівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: vavrynovychoksana@gmail.com

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОЛОСУ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД ПИТОМОЇ ПЛОЩІ ТА ПИТОМОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ ЛИСТКІВ ЗА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Вивчено особливості становлення функціональних ознак верхніх листків (середня питома площа – $SLA_{ВЛ}$, середня питома поверхнева щільність – $LMA_{ВЛ}$, середній листковий індекс – $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, середня тривалість життя – $D_{ВЛ(Т-МС)}$; фази онтогенезу трубкування – молочна стиглість) та продуктивності колосу озимої пшениці за екологічно безпечних систем удобрення (ЕБСУ). На підставі результатів порівняльного логічного та двовимірного кореляційного аналізу зроблено висновок про доцільність застосування ознак $SLA_{ВЛ}$, $LMA_{ВЛ}$ для комплексної характеристики “економічного” стану верхніх листків рослин за вивчених систем удобрення. За допомогою методів двовимірного та тривимірного кореляційного аналізу встановлено, що приріст продуктивності колосу озимої пшениці за ЕБСУ щодо базової альтернативної системи удобрення (БАСУ), безсумнівно, зумовлений збільшенням $SLA_{ВЛ}$. Достовірні взаємозалежності між зерною продуктивністю рослин та $LMA_{ВЛ}$ серед вивчених систем удобрення мають місце лише у випадках постійності $SLA_{ВЛ}$.

Ключові слова: озима пшениця, екологічно безпечні системи удобрення, середня питома площа листків, середня питома поверхнева щільність листків, продуктивність колосу, двовимірні, часткові та коефіцієнти тривимірної кореляції.

Вступ. Питома площа і питома поверхнева щільність листків (Specific Leaf Area, SLA – співвідношення площі до сухої речовини листків; Leaf Mass per unit Area ratio, LMA – співвідношення сухої речовини до одиниці площі листків) належать до функціональних ознак рослин (PFTs, Plant functional traits). PFTs – це ознаки

© Дубицький О. Л., Качмар О. Й., Дубицька А. О.,
Вавриневич О.В., Щерба М. М., 2017

Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2017. Вип. 61.

(фенологічні, морфологічні, фізіологічні, біохімічні), що характеризують функціонування індивідуальних рослин на рівні клітини або цілісного організму, відображають екологічні стратегії і визначають відповідь рослин на біотичні та абіотичні фактори довкілля, дію інших трофічних рівнів, властивості екосистеми [9, 23, 26, 28].

SLA і LMA належать до структурних PFTs “економічного спектра”, тобто характеризують структурну організацію, надходження/витрату речовини, енергії листками [12, 22, 26, 28, 31]. Справді, SLA пов’язана прямо пропорційними залежностями з відносною швидкістю росту листків, листовим індексом (RGR – relative growth rate, LAI – leaf area index) і обернено пропорційними співвідношеннями – з тривалістю функціонування листків, інтенсивністю фотосинтезу з розрахунку на одиницю площі листків, швидкістю нетто асиміляції (LL – leaf longevity (lifespan), Pn(a) – net photosynthesis rate per unit area, NAR – net assimilation rate). Навпаки, LMA прямо пропорційна LL, Pn(a), NAR і обернено пропорційна RGR, LAI. SLA характеризує ефективність використання сухої речовини на побудову асиміляційної системи, LMA – залежну від фізіологічно активної радіації ФАР вартість утворення зазначеного органа, ефективність накопичення асимілятів на одиницю площі. Крім того, SLA детермінує ефективність перехоплення світла листовим покривом, використання ФАР (ЕВР), тоді як LMA – ефективність поглинання ФАР (ЕПР) [3, 6, 7, 10, 13–16, 19–21, 24, 25, 27, 29, 32, 33, 35–37].

Ряд абіотичних та біотичних стресів (посуха, низька температура, надмірне освітлення, низький рівень забезпеченості азотом і високий – вуглецем) зумовлюють зменшення величини SLA і взаємно обернені зміни LMA [13, 15, 19, 38]. Припускають, що перелічені стреси діють через спільні внутрішньоклітинні механізми на основі енергетичного балансу, зумовлюючи надзбуджений стан фотосистеми II (ФС II) у хлоропластах і, ймовірно, через міжклітинні взаємодії – наступне зниження SLA і збільшення концентрації ферментів фотосинтезу з розрахунку на площу листка [15, 38]. Разом з тим величина LMA, а отже, й SLA знаходяться під контролем фітогормонів, зокрема гіберелінів [34].

Показано, що SLA, LMA чутливі не лише до умов довкілля, але й рівня забезпечення рослин поживними речовинами [11, 13, 15, 16, 19, 38]. Тим не менше за різних умов довкілля і забезпечення поживними речовинами зростання кінцевої продуктивності рослин може бути зумовлене змінами однієї, обох зазначених PFTs або жодною з них. У науковій літературі недостатньо даних щодо взаємозалежностей між

SLA, LMA та показниками зернової продуктивності пшениці за екологічно безпечних систем удобрення (ЕБСУ).

Вивчення взаємозалежностей між вмістом сухої речовини у зерні та середніми величинами SLA, LMA верхніх листків озимої пшениці впродовж пререпродуктивного – репродуктивного періодів розвитку (фази онтогенезу трубкування – молочна стиглість) дозволить з'ясувати, формується кінцева продуктивність зазначених рослин за ЕБСУ внаслідок змін однієї або обох цих PFTs.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на озимій пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Поліська 90, яку вирощували на сірому лісовому ґрунті після гороху посівного (*Pisum sativum* L.) в умовах стаціонарного досліду з вивчення наукових основ управління продуктивністю короткоротаційних сівозмін Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. Зміст дослідних варіантів наведено у табл. 1.

1. Зміст варіантів польового стаціонарного досліду

№ вар.	Зміст варіанта	№ вар.	Зміст варіанта
1	Контроль (без добрив)	4	$N_{30}P_{45}K_{45} + СГ + БС$
		5	$N_{30}P_{45}K_{45} + СГ + БС + ГД$
2	СГ	6	$N_{30}P_{45}K_{45} + СГ + БС + МД$
3	$N_{30}P_{45}K_{45} + СГ$	7	$N_{30}P_{45}K_{45} + СГ + ХД$

Примітка. СГ – солома гороху, БС – біостимулятор, ГД – гумусовмісне добриво, МД – мікробіологічне добриво, ХД – добриво на хелатній основі.

Солому вносили під осінню оранку (2,2 т/га), гумусовмісне добриво (ГД, еко-імпульс, 1,5 л/га) у фазі весняного кушення, мікробіологічне добриво (МД, еко-ґрунт, 3,0 л/га) у міжфазний період весняне кушення – трубкування, добриво на хелатній основі (ХД, роза-соль 18-18-18+125+МЕ, одноразова доза 1,0 л/га) та біостимулятор (БС, тера-сорб, одноразова доза 0,5 л/га) двічі за вегетацію у фазі повного кушення та колосіння. Фази онтогенезу озимої пшениці визначали за Майсуряном [2]. Відбір верхніх листків (прапорцевий, передпрапорцевий) проводили у фазах трубкування, колосіння, цвітіння, молочної стиглості зерна загальноприйнятими методами [5] у трьох біологічних повторностях. Визначали площу [4], вміст сухої речовини у верхніх листках та зерні шляхом висушування зразків за 105 °С.

Середні величини SLA, LMA (трубкування – молочна стиглість) визначали згідно з такими рівняннями:

$$SLA_{BL} = \left[\sum_{j=1}^{j=K} (S_{BL}/W_{BL})_j \right] / K; \quad LMA_{BL} = \left[\sum_{j=1}^{j=K} (W_{BL}/S_{BL})_j \right] / K,$$

де SLA_{BL} , LMA_{BL} – середня питома площа і середня поверхнева щільність верхніх листків озимої пшениці (трубкування – молочна стиглість; відповідно $\text{см}^2/\text{мг}$, $\text{мг}/\text{см}^2$ верхнього листка); $(S_{BL}/W_{BL})_j$, $(W_{BL}/S_{BL})_j$ – усереднені за ярусами прапорцевих і передпрапорцевих листків співвідношення площі до вмісту сухої речовини у верхніх листках і навпаки – у фазі онтогенезу j з розрахунку на одну рослину, $\text{см}^2/\text{мг}$, $\text{мг}/\text{см}^2$; $K = 4$ – кількість облікованих фаз онтогенезу.

Середні величини індексу верхніх листків пшениці впродовж трубкування – молочної стиглості розраховували таким чином:

$$LAI_{BLj} = \langle S_{BL} \rangle_j \cdot N_{Pr} = \left((S_{(II-\Sigma)_j} + S_{(III-\Sigma)_j}) / n_{BLj} \right) \cdot N_{Pr},$$

$$LAI_{BL(T-MC)} = \sum_{j=1}^{j=K} LAI_{BLj} / K.$$

У наведених рівняннях: LAI_{BLj} – усереднений листковий індекс прапорцевих + передпрапорцевих (верхніх) листків ($\text{дм}^2/\text{м}^2$ посіву); $\langle S_{BL} \rangle_j$, $S_{(II-\Sigma)_j}$, $S_{(III-\Sigma)_j}$, n_{BLj} – середня площа верхніх листків, сумарна площа прапорцевих і передпрапорцевих листків (дм^2), сумарна кількість верхніх листків відповідно у фазі онтогенезу j ; N_{Pr} – середня кількість продуктивних пагонів (м^2); $LAI_{BL(T-MC)}$ – середній листковий індекс верхніх листків озимої пшениці упродовж фаз трубкування – молочна стиглість зерна, $\text{дм}^2/\text{м}^2$ посіву; $K = 4$ – див. попередні формули.

Для визначення середньої тривалості життя верхніх листків озимої пшениці застосовано підхід, запропонований у [8]:

$$D_{BL(T-MC)} = \left(\sum_{j=1}^{j=K} LAI_j / K \right) \cdot \Delta t \cdot 0,01.$$

$D_{BL(T-MC)}$ – середня тривалість життя верхніх листків рослин (D – duration, тривалість) упродовж трубкування – молочної стиглості, діб; LAI_{BLj} – індекс верхніх листків у фазі онтогенезу j , $\text{дм}^2/\text{м}^2$, Δt – тривалість облікового періоду, діб; 0,01 – коефіцієнт для перерахунку $\text{дм}^2/\text{м}^2$ у $\text{м}^2/\text{м}^2$; $K = 4$ – див. попередні рівняння.

Статистичний аналіз результатів досліджень, обчислення двовимірних, часткових і коефіцієнтів тривимірної кореляції між результативною та факторіальними змінними проводили за методикою Г.Ф. Лакіна [1] та за допомогою комп'ютерної програми Excel 11.0.6560.0.

Результати та обговорення. Проведеними дослідженнями встановлено, що на контролі (вар. 1) середня величина питомої площі верхніх листків озимої пшениці протягом трубкування – молочної

стиглості – $SLA_{BL} = 0,222 \pm 0,008$ см²/мг (табл. 2). У вар. 2, за базової альтернативної системи удобрення (БАСУ, солома гороху – СГ) має місце зменшення зазначеного показника на 29,7 %, до величини $0,156 \pm 0,009$ см²/мг. ЕБСУ у вар. 3–7 спричинили збільшення SLA_{BL} на 37,5–87,8 % щодо вар. 2. Серед вивчених екологічно безпечних технологій найменшу і найбільшу величини SLA_{BL} відзначено за БАСУ (СГ) та ХД на фоні СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ (вар. 2 і 7) – відповідно $0,156 \pm 0,009$ – $0,293 \pm 0,014$ см²/мг.

2. Вплив ЕБСУ на середні величини питомої площі та питомої поверхневої щільності верхніх листків озимої пшениці (SLA_{BL} , LMA_{BL} , трубкування – молочна стиглість; $M \pm m$, $n = 6$)

№ вар.	SLA_{BL} , см ² /мг	LMA_{BL} , мг/см ²
1	$0,222 \pm 0,008$	$4,60 \pm 0,19$
2	$0,156 \pm 0,009^1$	$7,05 \pm 0,58^1$
3	$0,215 \pm 0,011^2$	$4,84 \pm 0,25^2$
4	$0,275 \pm 0,014^{1,2}$	$3,72 \pm 0,18^{1,2}$
5	$0,253 \pm 0,011^{1,2}$	$4,03 \pm 0,15^{1,2}$
6	$0,275 \pm 0,009^{1,2}$	$3,67 \pm 0,12^{1,2}$
7	$0,293 \pm 0,014^{1,2}$	$3,47 \pm 0,17^{1,2}$

Примітка. Індекси ^{1, 2} – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2, відповідно $P < 0,001$ – $0,01$. Зміст варіантів 1–7 див. табл. 1.

Як і слід було очікувати, протилежні закономірності мають місце за зіставлення середніх величин питомої поверхневої щільності верхніх листків рослин між дослідними варіантами. Справді, на контролі $LMA_{BL} = 4,60 \pm 0,19$ мг/см²; у вар. 2 цей показник зазнав збільшення на 53,3 %, до рівня $7,05 \pm 0,58$ мг/см² (табл. 2). ЕБСУ у вар. 3–7 зумовили зменшення LMA_{BL} на 31,3–50,8 % щодо БАСУ (вар. 2). За цих технологій LMA_{BL} знаходилася у межах $3,47 \pm 0,17$ – $4,84 \pm 0,25$ мг/см² – відповідно вар. 7 і 3 (ХД на фоні СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ та СГ + N₃₀P₄₅K₄; табл. 2).

Таким чином, найменша величина SLA_{BL} супроводжується найбільшою LMA_{BL} (вар. 2, СГ), і навпаки – за максимальної SLA_{BL} має місце мінімальна LMA_{BL} (табл. 2; вар. 7, СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ + ХД). Технологія СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ (вар. 3) зумовила найменші величини приросту SLA_{BL} і побіжного зменшення LMA_{BL} щодо БАСУ (вар. 2): відповідно 37,5; 31,3 %. За умов застосування БС і БС + МД на фоні СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ (вар. 4, 6) SLA_{BL} , LMA_{BL} практично не відрізнялися: $SLA_{BL} = 0,275 \pm 0,009$ ($\pm 0,014$) см²/мг; $LMA_{BL} = 3,67 \pm 0,12$ – $3,72 \pm 0,18$ мг/см². Приріст SLA_{BL} , декремент LMA_{BL} у вар. 4, 6 щодо БАСУ (вар. 2)

становили відповідно 76,0–76,1, 47,3–47,9 %. Технологія СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ + БС + ГД зумовила перехідний рівень зростання *SLA_{ВЛ}* і зниження *LMA_{ВЛ}* щодо БАСУ: 42,8–62,2 % (табл. 2; порівн. відповідно вар. 5 і вар. 2).

Результати досліджень засвідчили, що БАСУ (вар. 2, СГ) призводить до істотного зменшення *SLA_{ВЛ}*, побіжного збільшення *LMA_{ВЛ}*. Це дозволяє припустити, що за умов БАСУ має місце зменшення RGR, ефективності використання сухої речовини на побудову асиміляційної системи, ЕВР (показники пропорційні *SLA_{ВЛ}*) у верхніх листках озимої пшениці впродовж трубкування – молочної стиглості порівняно з контролем (вар. 1; скорочені позначення див. “Вступ”). Разом з тим у зазначених органах рослин у вар. 2 відбувається, очевидно, збільшення Pn(a), NAR, ефективності накопичення асимілятів на одиницю площі, ЕПР (пропорційні *LMA_{ВЛ}*) щодо вар. 1 [4, 6, 8, 10, 13–17, 19, 21, 25, 30–33, 38].

Збільшення *SLA_{ВЛ}*, зменшення *LMA_{ВЛ}* у вар. 3–7 щодо вар. 2 супроводжуються, очевидно, зростанням RGR, ЕВР, ефективності використання сухої речовини на побудову асиміляційної системи верхніх листків озимої пшениці впродовж трубкування – молочної стиглості. Вірогідно, що у зазначених листках пшениці у вар. 3–7 відбувається зниження Pn(a), NAR, ефективності накопичення асимілятів, ЕПР щодо вар. 2 [4, 6, 8, 13–15, 17–21, 25, 27, 29, 30–33, 35–38].

Згідно з наведеними міркуваннями, зміни *SLA_{ВЛ}*, *LMA_{ВЛ}* свідчать про збільшення Pn(a), NAR у верхніх листках пшениці у вар. 2 щодо вар. 1, зменшення перелічених показників у листках рослин у вар. 3–7 щодо вар. 2. Послідовно продовжуючи, доречно вважати, що зростання рівня Pn(a), NAR за БАСУ (вар. 2, СГ) щодо контролю (вар. 1) супроводжується зменшенням тривалості життя, середньої тривалості життя, індексу верхніх листків – відповідно LL, D, LAI. Разом з тим, ймовірно, що одночасно зі зниженням Pn(a), NAR за БАСУ у вар. 3–7 щодо БАСУ (вар. 2, СГ) відбувається збільшення LL, D, LAI. Такі припущення про взаємно обернені зміни Pn(a), NAR та LL, D, LAI узгоджуються з сучасними уявленнями про “економічний баланс”, тобто надходження/відплив, набуття/витрату ресурсів та енергії у листках рослин [17, 18, 20, 24, 25, 30, 31, 37]. Справді, за умов зростання інтенсивності фотосинтезу, нетто асиміляції, дихання (Pn(a), NAR, R), тобто збільшення інтенсивності метаболізму у листках цим органам потрібно менше часу, щоб отримати, перетворити ресурси, інвестувати їх у побудову власної асиміляційної системи та ремобілізувати до акцептора. За таких обставин відбувається

зменшення тривалості життя, середньої тривалості життя листків, листкового індексу (LL, D, LAI), SLA, побіжне зростання LMA, концентрації ферментів фотосинтезу з розрахунку на одиницю площі листка. Навпаки, за умов зниження Pn(a), NAR, R листкам потрібно більше часу для накопичення, перетворення ресурсів, інвестування їх у власну асиміляційну систему та ремобілізацію до акцептора. У такому випадку має місце збільшення LL, D, LAI, SLA, побіжне зменшення LMA, концентрації ферментів фотосинтезу з розрахунку на одиницю площі листка.

Отже, якщо наведені міркування щодо комплексних змін PFTs (SLA, LMA, Pn(a), NAR, LL, D, LAI) правильні, то зменшення $SLA_{ВЛ}$, побіжне збільшення $LMA_{ВЛ}$ супроводжуватимуться зменшенням середньої тривалості життя, індексу верхніх листків (D, LAI). Навпаки, одночасно зі зростанням величин $SLA_{ВЛ}$, побіжним зменшенням $LMA_{ВЛ}$ відбуватиметься збільшення величин D, LAI верхніх листків. У зв'язку з цим проведено визначення середнього індексу, середньої тривалості життя верхніх листків упродовж фаз онтогенезу трубкування – молочна стиглість за умов застосованих систем удобрення – $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$. Встановлено, що на контролі (вар. 1) $LAI_{ВЛ(Т-МС)} = 86,56 \pm 4,15 \text{ дм}^2/\text{м}^2$, $D_{ВЛ(Т-МС)} = 22,51 \pm 1,08$ діб (табл. 3). За БАСУ (вар. 2, СГ) відбулося зменшення кожного серед перелічених показників на 39,0 %, до величин $52,81 \pm 2,83 \text{ дм}^2/\text{м}^2$, $13,73 \pm 0,74$ діб. ЕБСУ у вар. 3–7 зумовили зростання $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$ на 74,7–154,0 % щодо вар. 2. При цьому, як і у випадку $SLA_{ВЛ}$, мінімальні величини та прирости $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$ щодо вар. 2 мають місце у вар. 3, тоді як максимальні – у вар. 7. Разом з тим у вар. 2–7 та вар. 3–7 відзначено поступове, градуальне зростання $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$ у напрямі від вар. 2 або вар. 3 до вар. 7. Такі закономірності не характерні для показника $SLA_{ВЛ}$ (порівн. табл. 2, табл. 3). Справді, у випадку $SLA_{ВЛ}$ наступна після мінімальної величина зазначеного показника має місце у вар. 5, тоді як $SLA_{ВЛ}$, найближчі до максимуму, – у вар. 4, 6 (табл. 2).

У цілому зіставлення результатів, наведених у табл. 2, табл. 3, засвідчило односпрямовані зміни $SLA_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$ за всіх вивчених технологій. У вар. 2 має місце одночасне зменшення перелічених показників щодо вар. 1; у вар. 3–7 – зростання величин трьох зазначених функціональних ознак верхніх листків пшениці порівняно з вар. 2. Цілком очевидно, що побіжні зміни $LMA_{ВЛ}$ характеризуються оберненою спрямованістю щодо $SLA_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Т-МС)}$, $D_{ВЛ(Т-МС)}$.

3. Середній індекс, середня тривалість життя верхніх листків озимої пшениці упродовж фаз онтогенезу трубкування – молочна стиглість за ЕБСУ (відповідно $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $D_{ВЛ(T-МС)}$; $M \pm m$, $n = 12$)

№ вар.	$LAI_{ВЛ(T-МС)}$, dm^2/m^2	$D_{ВЛ(T-МС)}$, діб
1	$86,56 \pm 4,15$	$22,51 \pm 1,08$
2	$52,81 \pm 2,83^1$	$13,73 \pm 0,74^1$
3	$92,28 \pm 4,24^{1,2}$	$23,99 \pm 1,10^{1,2}$
4	$122,50 \pm 4,87^{1,2}$	$31,85 \pm 1,27^{1,2}$
5	$127,01 \pm 4,04^{1,2}$	$33,02 \pm 1,05^{1,2}$
6	$132,36 \pm 3,87^{1,2}$	$34,41 \pm 1,01^{1,2}$
7	$134,14 \pm 5,90^{1,2}$	$34,88 \pm 1,53^{1,2}$

Примітка. Індeksi ^{1, 2} – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2, відповідно $P < 0,001$. Зміст варіантів 1–7 див. табл. 1.

З метою кількісної оцінки зазначених зіставлень проведено двовимірний кореляційний аналіз взаємозалежностей $SLA_{ВЛ} - LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $SLA_{ВЛ} - D_{ВЛ(T-МС)}$, $LMA_{ВЛ} - LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $LMA_{ВЛ} - D_{ВЛ(T-МС)}$ (змінні $Y - U$, $Y - V$, $Z - U$, $Z - V$). Зіставлення ознак проводили за такими парами варіантів: 1) вар. 1 (“0-доза” удобрення) – вар. 2 (“доза 1” альтернативного удобрення); 2) вар. 2 (“0-доза” ЕБСУ) – вар. n (“доза 1” ЕБСУ).

Встановлено, що за зіставлення вар. 1–2, вар. 2–3 ... 2–7 мають місце тісні прямо пропорційні співвідношення між $SLA_{ВЛ}$ і $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $SLA_{ВЛ}$ і $D_{ВЛ(T-МС)}$: $r_{yu} = r_{yv} = 0,96 - 0,99$; $P < 0,001 - 0,100$ (табл. 4). У парах вар. 1–2, 2–3 відзначено слабкі від’ємні кореляційні взаємозалежності $LMA_{ВЛ} - LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $LMA_{ВЛ} - D_{ВЛ(T-МС)}$: $r_{zu} = r_{zv} = -0,42 \dots -0,40$; $p = 0,621 - 0,648$. За зіставлення вар. 2–4 ... 2–7 віднайдено істотні обернено пропорційні співвідношення між $LMA_{ВЛ}$ і $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $LMA_{ВЛ}$ і $D_{ВЛ(T-МС)}$: $r_{zu} = r_{zv} = -0,77 \dots -0,71$; $p = 0,953 - 0,961$, $P < 0,100$ (табл. 4).

Таким чином, результати вимірювань $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $D_{ВЛ(T-МС)}$, двовимірні зіставлення $SLA_{ВЛ}$ ($LMA_{ВЛ}$) – $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $SLA_{ВЛ}$ ($LMA_{ВЛ}$) – $D_{ВЛ(T-МС)}$ свідчать на користь чітких односпрямованих змін $SLA_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $D_{ВЛ(T-МС)}$ і вірогідних обернено пропорційних співвідношень між $LMA_{ВЛ}$ та $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, $D_{ВЛ(T-МС)}$. Це своєю чергою означає, що наведені вище міркування щодо комплексних змін PFTs (SLA, LMA, Pn(a), NAR, LL, D, LAI) доречно вважати правильними.

4. Вплив ЕБСУ на двовимірні кореляційні взаємозалежності між $SLA_{ВЛ}$, $LMA_{ВЛ}$ та середніми величинами індексу $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, тривалості життя $D_{ВЛ(T-МС)}$ верхніх листків озимої пшениці (трубкування – молочна стиглість)

Пари зі- ставлених варіантів	r_{yu}	r_{yv}	r_{zu}	r_{zv}
1–2	0,97; P<0,010	0,97; P<0,010	-0,42; p=0,648	-0,42; p=0,648
2–3	0,96; P<0,010	0,96; P<0,010	-0,40; p=0,621	-0,40; p=0,621
2–4	0,99; P<0,001	0,99; P<0,001	-0,71; p=0,953	-0,71; p=0,953
2–5	0,98; P<0,001	0,98; P<0,001	-0,72; p=0,961	-0,72; p=0,961
2–6	0,99; P<0,001	0,99; P<0,001	-0,77; P<0,100	-0,77; P<0,100
2–7	0,99; P<0,001	0,99; P<0,001	-0,74; P<0,100	-0,74; P<0,100

Примітка. r_{yu} , r_{yv} , r_{zu} , r_{zv} – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними у – $SLA_{ВЛ}$, z – $LMA_{ВЛ}$, u – $LAI_{ВЛ(T-МС)}$, v – $D_{ВЛ(T-МС)}$; p – достовірність коефіцієнта кореляції; P < 0,001 – P < 0,100 – достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,001–0,100. Зміст варіантів 1–7 див. табл. 1.

Слід зауважити, що найбільш вагомою оцінкою релевантності ознак SLA , LMA є їхня координованість з показниками кінцевої продуктивності сільськогосподарських культур. Кінцеву продуктивність озимої пшениці охарактеризовано середнім вмістом сухої речовини у зерні колосу з розрахунку на одну рослину у фазі повної стиглості (продуктивність колосу).

Встановлено, що закономірності змін продуктивності колосу озимої пшениці залежно від застосованої системи удобрення є подібними до відповідних змін $SLA_{ВЛ}$. Справді, на контролі (вар. 1) вміст сухої речовини у зерні колосу рослин $M_3 = 1,199 \pm 0,068$ г/колос (повна стиглість зерна; табл. 5). У вар. 2 (БАСУ, СГ) зазначений показник не зазнав достовірних змін порівняно з контролем і становив $1,192 \pm 0,060$ г/колос. ЕБСУ у вар. 3–7 зумовили приріст M_3 на 8,4–19,5 % до величин $1,291 \pm 0,062$ – $1,423 \pm 0,058$ г/колос (відповідно вар. 4 і 3, табл. 5).

Взаємозалежності між продуктивністю колосу озимої пшениці та показниками $SLA_{ВЛ}$, $LMA_{ВЛ}$ вивчено за допомогою двовимірного та тривимірного кореляційного аналізу. Результативна ознака – M_3 (X, повна стиглість зерна, г/колос; табл. 5); факторіальні ознаки – $SLA_{ВЛ}$, см²/мг; $LMA_{ВЛ}$, мг/см² (відповідно Y, Z). Зіставлення ознак проводили за парами варіантів, як зазначено вище: вар. 1–2, вар. 2–3 ... 2–7.

5. Вміст сухої речовини в зерні колосу озимої пшениці (повна стиглість) залежно від ЕБСУ ($M \pm m, n = 6$)

№ вар.	Вміст сухої речовини, M_3 , г/колос
1	1,199 \pm 0,068
2	1,192 \pm 0,060
3	1,423 \pm 0,058 ^{1,2}
4	1,291 \pm 0,062 ^{1,2}
5	1,364 \pm 0,056 ^{1,2}
6	1,309 \pm 0,062 ^{1,2}
7	1,344 \pm 0,066 ^{1,2}

Примітка. Індекси ^{1,2} – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2, відповідно $P < 0,001 - 0,01$. Зміст варіантів 1–7 див. табл. 1.

Встановлено, що за зіставлення вар. 1–2 мають місце слабкі кореляційні взаємозалежності між вивченими показниками: $r_{xy} = 0,50$, $r_{xz} = 0,49$, $r_{yz} = -0,39$; $p = 0,605 - 0,750$ (табл. 6). У парах вар. 2–3 ... 2–7 віднайдено тісні прямо пропорційні співвідношення між M_3 і $SLA_{B/L}$: $r_{xy} = 0,66 - 0,96$; $p = 0,923 - 0,933$, $P < 0,010 - 0,100$. Разом з тим за зіставлення перелічених варіантів відсутня кореляція між M_3 і $LMA_{B/L}$: $r_{xz} = -0,08 - 0,11$; $p = 0,024 - 0,174$. Чіткі обернено пропорційні співвідношення між $SLA_{B/L}$ і $LMA_{B/L}$ відзначено у парах вар. 2–4, 2–6, 2–7: $r_{yz} = -0,70 \dots -0,64$; $p = 0,903 - 0,951$. За умов зіставлення вар. 2–3, 2–5 двовимірні лінійні взаємозалежності $SLA_{B/L} - LMA_{B/L}$ є малозначимими: $r_{yz} = -0,59 \dots -0,23$; $p = 0,369 - 0,853$ (табл. 6).

6. Двовимірні лінійні взаємозалежності між вмістом сухої речовини у зерні озимої пшениці M_3 (на 1 колос) та $SLA_{B/L}$ і $LMA_{B/L}$ рослин упродовж трубкування – молочної стиглості за дії ЕБСУ

Пари зіставлених варіантів	r_{xy}	r_{xz}	r_{yz}
1–2	0,50; $p=0,750$	0,49; $p=0,737$	-0,39; $p=0,605$
2–3	0,96; $P<0,010$	-0,03; $p=0,040$	-0,23; $p=0,369$
2–4	0,68; $p=0,933$	0,11; $p=0,174$	-0,64; $p=0,903$
2–5	0,84; $P<0,050$	-0,08; $p=0,127$	-0,59; $p=0,853$
2–6	0,66; $p=0,923$	0,02; $p=0,024$	-0,70; $p=0,948$
2–7	0,73; $P<0,100$	-0,08; $p=0,127$	-0,70; $p=0,951$

Примітка. r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними $x - M_3$, $y - SLA_{B/L}$, $z - LMA_{B/L}$; p – достовірність коефіцієнта кореляції; $P < 0,010 - P < 0,100 -$ достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,010–0,100. Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Протилежні закономірності виявлено за тривимірного кореляційного аналізу взаємозалежностей $M_3 - SLA_{BL}$ (LMA_{BL}), $SLA_{BL} - LMA_{BL}$. Так, за зіставлення вар. 1–2 мають місце позитивні часткові взаємозалежності між M_3 і SLA_{BL} або LMA_{BL} та негативна кореляція між SLA_{BL} і LMA_{BL} : $r_{xy(z)} = r_{xz(y)} = 0,86$; $r_{yz(x)} = -0,84$; $P < 0,050 - 0,100$. Відповідні множинні коефіцієнти кореляції та детермінації становлять $R_{x(yz)} = 0,90$, $R^2_{x(yz)} = 0,810$; $P < 0,050$ (табл. 7). За зіставлення вар. 2–3 ... 2–7 відзначено тісні прямо пропорційні співвідношення між M_3 і SLA_{BL} – $r_{xy(z)} = 0,94 - 0,99$, $P < 0,001 - 0,010$, між M_3 і LMA_{BL} – $r_{xz(y)} = 0,77 - 0,95$, $P < 0,001 - 0,020$. Також у зазначених парах варіантів віднайдено негативну кореляцію $SLA_{BL} - LMA_{BL}$: $r_{yz(x)} = -0,78 \dots -0,97$, $P < 0,001 - 0,010$. Множинні коефіцієнти кореляції та детермінації для перелічених пар варіантів: $R_{x(yz)} = 0,94 - 0,99$, $R^2_{x(yz)} = 0,884 - 0,980$; $P < 0,010 - 0,020$ (табл. 7).

7. Тривимірна кореляційна залежність між вмістом сухої речовини у зерні озимої пшениці M_3 та SLA_{BL} і LMA_{BL} рослин упродовж фаз трубкування – молочної стиглості за ЕБСУ

Пари зіставлених варіантів	$r_{xy(z)}$	$r_{xz(y)}$	$r_{yz(x)}$	$R_{x(yz)}$
1–2	0,86; $P < 0,050$	0,86; $P < 0,050$	-0,84; $P < 0,100$	0,90; $P < 0,050$
2–3	0,99; $P < 0,001$	0,77; $P < 0,100$	-0,78; $P < 0,100$	0,99; $P < 0,010$
2–4	0,97; $P < 0,010$	0,95; $P < 0,010$	-0,97; $P < 0,010$	0,97; $P < 0,010$
2–5	0,98; $P < 0,001$	0,93; $P < 0,010$	-0,95; $P < 0,010$	0,98; $P < 0,010$
2–6	0,94; $P < 0,010$	0,89; $P < 0,020$	-0,95; $P < 0,010$	0,94; $P < 0,020$
2–7	0,95; $P < 0,010$	0,90; $P < 0,020$	-0,95; $P < 0,010$	0,96; $P < 0,020$

Примітка. $r_{xy(z)}$, $r_{xz(y)}$, $r_{yz(x)}$, $R_{x(yz)}$ – часткові та коефіцієнти тривимірної кореляції між змінними $x - M_3$, $y - SLA_{BL}$, $z - LMA_{BL}$; p – достовірність коефіцієнта кореляції; $P < 0,001 - P < 0,100$ – достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,001–0,100. Зміст варіантів 1–7 див. табл. 1.

Результати дво- та тривимірного кореляційного аналізу взаємозалежностей $M_3 - SLA_{BL}$ (LMA_{BL}), $SLA_{BL} - LMA_{BL}$ виявилися певною мірою несподіваними. Справді, у випадку, коли варіації SLA_{BL} , LMA_{BL} залежать одна від одної та від інших факторів, незмінність M_3 у вар. 1–2 не спричинена побіжним зменшенням SLA_{BL} /збільшенням LMA_{BL} упродовж фаз онтогенезу трубкування – молочна стиглість (малі і малозначимі величини r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} ; табл. 6). Навпаки, коли $LMA_{BL} =$ константа або $SLA_{BL} =$ константа, M_3 істотно й однаковою мірою залежить від змін кожної із зазначених ознак. При цьому між SLA_{BL} ,

LMA_{BL} мають місце чіткі обернено пропорційні співвідношення ($M_3 =$ константа; $r_{xy(z)}$, $r_{xz(y)}$, $r_{yz(x)}$; табл. 7). Величина впливу варіації SLA_{BL} , LMA_{BL} , взаємодій між ними на формування продуктивності колосу пшениці у вар. 2 за зіставлення з вар. 1 є вагомою – 81,0 % (див. вище відповідний $R^2_{x(yz)}$ для вар. 1–2).

У випадку двовимірних взаємозалежностей, коли SLA_{BL} , LMA_{BL} залежать одна від одної та інших факторів, зростання продуктивності колосу озимої пшениці (M_3) у вар. 3–7 за зіставлення з вар. 2 зумовлене збільшенням SLA_{BL} , але не корелює з побіжним зменшенням LMA_{BL} (трубкування – молочна стиглість зерна; r_{xy} , r_{xz} , табл. 6). За обставин постійної величини однієї з вивчених функціональних ознак верхніх листків пшениці зростання M_3 із високим рівнем достовірності й приблизно однаковою мірою спричинене збільшенням SLA_{BL} , одночасними змінами LMA_{BL} ($LMA_{BL} =$ константа або $SLA_{BL} =$ константа, $r_{xy(z)}$, $r_{xz(y)}$ відповідно; табл. 7). При цьому обернено пропорційні співвідношення $SLA_{BL} - LMA_{BL}$ є більш вираженими й достовірними за умов $M_3 =$ константа, ніж за протилежних обставин (порівн. r_{yz} , $r_{yz(x)}$, табл. 6, табл. 7). Сумарний вплив варіації SLA_{BL} , LMA_{BL} , їх взаємодій на формування продуктивності колосу пшениці у вар. 3–7 за зіставлення з вар. 2 становить 88,4–98,00 % (див. вище відповідні $R^2_{x(yz)}$ для вар. 2–3 ... 2–7).

Таким чином, результати досліджень виявили такі закономірності. По-перше, незмінність продуктивності колосу озимої пшениці за базової альтернативної системи удобрення (БАСУ – солома гороху, СГ; вар. 2) щодо контролю (вар. 1) може бути зумовлена питомою площею SLA_{BL} , питомою поверхневою щільністю LMA_{BL} верхніх листків рослин лише за умов постійності протилежної ознаки (відповідно $LMA_{BL} =$ константа або $SLA_{BL} =$ константа). У інших випадках сталість продуктивності колосу за БАСУ щодо вар. 1 не залежить ні від SLA_{BL} , ні від LMA_{BL} . По-друге, зростання продуктивності колосу озимої пшениці за ЕБСУ (вар. 3–7) щодо БАСУ у вар. 2, безсумнівно, спричинене збільшенням SLA_{BL} . По-третє, достовірні взаємозалежності між поліпшенням зернової продуктивності озимої пшениці та змінами LMA_{BL} за ЕБСУ порівняно з БАСУ мають місце лише за умов постійності SLA_{BL} ($SLA_{BL} =$ константа). У інших випадках збільшення продуктивності колосу за ЕБСУ порівняно з вар. 2 не залежить від LMA_{BL} .

Висновки. Результати досліджень свідчать, що базова альтернативна система удобрення (БАСУ) не спричинила достовірних змін продуктивності колосу озимої пшениці порівняно з контролем (вар. 2, солома гороху – СГ, проти вар. 1). Приріст зернової

продуктивності за ЕБСУ на основі СГ щодо БАСУ становив 8,4–19,5 % (вар. 3–7 проти вар. 2).

Функціональні ознаки верхніх листків озимої пшениці $SLA_{ВЛ}$, $LMA_{ВЛ}$ (відповідно питома площа, питома поверхнева щільність, фази онтогенезу трубкування – молочна стиглість) доцільно використовувати для кількісного аналізу, прогнозування “економічного” стану зазначених органів рослин в умовах застосованих ЕБСУ. Втім, коли йдеться про аналіз і прогнозування кінцевої продуктивності озимої пшениці за ЕБСУ, лише $SLA_{ВЛ}$ є релевантною ознакою донорних листків, що чітко й достовірно корелює зі змінами зернової продуктивності рослин.

Вивчення взаємозалежностей між $SLA_{ВЛ}$, $LMA_{ВЛ}$, кінцевою продуктивністю важливе для систематизування інформації про функціональні ознаки листків озимої пшениці та побудови логічних і математичних прогностичних моделей розвитку й формування продуктивності зазначеної сільськогосподарської культури за екологічно безпечних систем удобрення.

Список використаної літератури

1. Лакин Г. Ф. Биометрия / Лакин Г. Ф. – М. : Высшая шк., 1990. – 352 с.
2. Майсурян Н. А. Практикум по растениеводству / Майсурян Н. А. – М. : Колос, 1970. – 446 с.
3. Моргун В. В. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы / В. В. Моргун, Г. А. Прядкина // Физиология растений и генетика. – 2014. – Т. 46, № 4. – С. 279–301.
4. Прядкіна О. Г. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої озимої пшениці за різного рівня мінерального живлення / О. Г. Прядкіна, В. В. Швартау, Л. М. Михальська // Физиология и биохимия культурных растений. – 2011. – Т. 43, № 2. – С. 158–163.
5. Сирота Ф. Н. Основы аналитической химии та сільськогосподарський аналіз / Сирота Ф. Н. – К. : Вища шк., 1970. – 222 с.
6. Стасик О. О. Фотосинтез и проблемы повышения продуктивности растений / О. О. Стасик, Д. А. Киризий, Г. А. Прядкина // Физиология растений и генетика. – 2013. – Т. 45, № 6. – С. 501–516.
7. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.

8. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения / [пер. с англ. Гудскова Н. Л., Обручевой Н. В., Спекторова К. С., Чайановой С. С.]; под ред. А. Т. Мокроносова. – М. : Агропромиздат, 1989. – 460 с.
9. A functional trait perspective on plant invasion / R. E. Drenovsky [et al.] // *Ann. Bot.* – 2012. – V. 110, N 1. – P. 141–153.
10. A modern tool for classical plant growth analysis / R. Hunt [et al.] // *Ann. Bot.* – 2002. – V. 90, N 4. – P. 485–488.
11. Aerts R. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns / R. Aerts, F. S. Chapin III // *Adv. Ecol. Res.* – 1999. – V. 30. – P. 1–67.
12. Baltzer J. L. A second dimension to the leaf economics spectrum predicts edaphic habitat association in a tropical forest / J. L. Baltzer, S. C. Thomas // *PLoS ONE.* – 2010. – V. 5, N 10. – P. 13163–13169.
13. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control / H. Poorter [et al.] // *New Phytol.* – 2012. – V. 193, N 1. – P. 30–50.
14. Cámara Zapata J. M. Improvement in growth and salt resistance of lemon (*Citrus limon*) trees by an interstock-induced mechanism / J. M. Cámara Zapata, M. Nieves, A. Cerdá // *Tree Physiol.* – 2003. – V. 23, N 13. – P. 879–888.
15. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis / H. Poorter [et al.] // *New Phytol.* – 2009. – V. 183, N 4. – P. 565–588.
16. Comparing salt tolerance of beet cultivars and their halophytic ancestor: consequences of domestication and breeding programmes / J. Rozema [et al.] // *AoB Plants.* – 2015. – V. 7. – P. 83–95.
17. Convergent effects of elevation on functional leaf traits within and among species / Q. D. Read [et al.] // *Funct. Ecol.* – 2014. – V. 28, N 1. – P. 37–45.
18. Hikosaka K. Leaf canopy as a dynamic system: ecophysiology and optimality in leaf turnover / K. Hikosaka // *Annals of Botany.* – 2005. – V. 95, N 3. – P. 521–533.
19. How can we make plants grow faster? A source – sink perspective on growth rate / A. C. White [et al.] // *J. Exp. Bot.* – 2016. – V. 67, N 1. – P. 31–45.
20. How do leaf veins influence the worldwide leaf economic spectrum? Review and synthesis / L. Sack [et al.] // *J. Exp. Bot.* – 2013. – V. 64, N 13. – P. 4053–4080.

21. Intraspecific leaf trait variability along a boreal-to-tropical community diversity gradient / C. C. Bastias [et al.] // *PLoS One*. – 2017. – V. 12, N 2. – P. 172495–172510.
22. Keenan T. F. Global leaf trait estimates biased due to plasticity in the shade / Keenan T. F., Niinemets Ü. // *Nat. Plants*. – 2016. – V. 19, N 3. – P. 16201–16206.
23. Lavorel S. How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services / S. Lavorel, K. Grigulis // *J. Ecol.* – 2012. – V. 100, N 1. – P. 128–140.
24. Leaf economics of evergreen and deciduous tree species along an elevational gradient in a subtropical mountain / K. Bai [et al.] // *AoB PLANTS*. – 2015. – V. 7. – P. 64–78.
25. Mao W. Linking changes to intraspecific trait diversity to community functional diversity and biomass in response to snow and nitrogen addition within an inner Mongolian grassland / W. Mao, A. J. Felton, T. Zhang // *Front. Plant Sci.* – 2017. – V. 8. – P. 339–348
26. Martin A. R. Review: Plant functional traits in agroecosystems: a blueprint for research / A. R. Martin, M. E. Isaac // *J. Appl. Ecol.* – 2015. – V. 52, N 6. – P. 1425–1435.
27. Miyashita A. A novel index of leaf RGR predicts tree shade tolerance / A. Miyashita, M. Tateno // *Functional Ecology*. – 2014. – V. 28, N 6. – P. 1321–1329.
28. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide / N. Pérez-Harguindeguy [et al.] // *Austral. J. Bot.* – 2013. – V. 61, N 3. – P. 167–234.
29. Niinemets Ü. A worldwide analysis of within-canopy variations in leaf structural, chemical and physiological traits across plant functional types / Ü. Niinemets, T. F. Keenan, L. Hallik // *New Phytol.* – 2015. – V. 205, N 3. – P. 973–993.
30. Novel evidence for within-species leaf economics spectrum at multiple spatial scales / Hu Y. K. [et al.] // *Front. Plant Sci.* – 2015. – V. 6. – P. 901–909.
31. Phylogenetic structural equation modelling reveals no need for an ‘origin’ of the leaf economics spectrum / C. M. Mason [et al.] // *Ecol. Lett.* – 2016. – V. 19, N 1. – P. 54–61.
32. Reich P. B. Predicting leaf physiology from simple plant and climate attributes: a global GLOPNET analysis / P. B. Reich, I. J. Wright, C. H. Lusk // *Ecol. Appl.* – 2007. – V. 17, N 7. – P. 1982–1988.
33. Relative growth rate variation of evergreen and deciduous savanna tree species is driven by different traits / K. W. Tomlinson [et al.] // *Ann. Bot.* – 2014. – V. 114, N 2. – P. 315–324.

34. Roles of gibberellins and cytokinins in regulation of morphological and physiological traits in *Polygonum cuspidatum* responding to light and nitrogen availabilities / Daisuke Sugiura [et al.] // *Funct. Plant Biol.* – 2015. – V. 42, N 4. – P. 397–409.

35. Venation networks and the origin of the leaf economics spectrum / B. Blonder [et al.] // *Ecol. Letters.* – 2011. – V. 14, N 2. – P. 91–100.

36. Which plant trait explains the variations in relative growth rate and its response to elevated carbon dioxide concentration among *Arabidopsis thaliana* ecotypes derived from a variety of habitats? / R. Oguchi [et al.] // *Oecologia.* – 2016. – V. 180, N 3. – P. 865–876.

37. Wright I. J. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span / I. J. Wright, M. Westoby, P. B. Reich // *J. Ecol.* – 2002. – V. 90, N 3. – P. 534–543.

38. Yin X. Modelling the crop: from system dynamics to systems biology / X. Yin, P. C. Struik // *J. Exp. Bot.* – 2010. – V. 61, N 8. – P. 2171–2183.

Отримано 13.04.2017