

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

## **РОЛЬ ЧУТЛИВИХ ДО СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ОЗНАК ПОТУЖНОСТІ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ ЛИСТКІВ У ФОРМУВАННІ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА БІОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ**

*Вивчено закономірності формування потужності фотосинтетичного апарату верхніх листків (середній фотосинтетичний потенціал  $\Phi_{ПВЛ}$ , середня питома поверхнева щільність ППЩЛ<sub>В</sub>; фази онтогенезу трубкування – молочна стиглість) та кінцевої продуктивності пшениці озимої за біологізованих систем удобрення (БСУ). За допомогою методів тривимірного кореляційного аналізу встановлено, що збільшення зернової продуктивності рослин в умовах застосованих БСУ зумовлене зростанням  $\Phi_{ПВЛ}$  порівняно з базовою мінеральною системою удобрення і не залежить від побіжних змін ППЩЛ<sub>В</sub>. Висунуто гіпотезу щодо важливої ролі ефективності використання фізіологічно активної радіації (ФАР) верхніми листками пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості у формуванні її кінцевої продуктивності за БСУ. Ефективність поглинання ФАР зазначеними органами рослин упродовж облікового періоду швидше за все не впливає істотно на продуктивність колосу пшениці озимої в умовах застосованих БСУ.*

**Ключові слова:** пшениця озима, біологізовані системи удобрення, середній фотосинтетичний потенціал, середня питома поверхнева щільність листків, зернова продуктивність, часткові та коефіцієнти тривимірної кореляції.

**Вступ.** Згідно з сучасними уявленнями, продуктивність посівів залежить від їхньої здатності поглинати фізіологічно активну радіацію (ФАР) і перетворювати її в енергію хімічних зв'язків, які надалі

© 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.

використовуватимуться у метаболічних процесах. Разом з тим ефективність поглинання та використання ФАР (відповідно ЕПР і ЕВР) певним чином залежить від ценотичних показників потужності й ефективності фотосинтетичного апарату, яким своєю чергою належить важлива роль у формуванні продуктивності сільськогосподарських рослин, зокрема пшениці озимої [3, 8, 9, 13, 26–28].

У джерелах [3, 8, 9, 13, 20, 23, 26–28] відзначено наявність прямо пропорційних співвідношень між ЕВР і листовим індексом ЛІ рослин. Оскільки ЛІ прямо пропорційний до фотосинтетичного потенціалу ФП [9, 10], то очевидно, що ЕВР прямо пропорційна до ФП. Також у джерелах [3, 8, 9, 14] відзначено наявність позитивних взаємозалежностей між ЕПР і питомою поверхневою щільністю листків ППЩЛ (Leaf Mass per Area ratio, LMA; Specific Leaf Weight, SLW; співвідношення сухої речовини до одиниці площі листків). Разом з тим доцільно зауважити, що ЛІ, а отже, і ФП прямо пропорційні до тривалості активного функціонування листків на одиниці площі посіву [9, 10, 16, 18, 32]. ППЩЛ прямо пропорційна до швидкості нетто асиміляції, інтенсивності фотосинтезу з розрахунку на площу листків, об'єму і щільності (не фізичної густини) листової пластинки та характеризує залежну від ФАР вартість утворення зазначеного органа, ефективність накопичення асимілятів у ньому. Крім того, ППЩЛ обернено пропорційна, тоді як ЛІ, ФП прямо пропорційні концентрації ферментів фотосинтезу з розрахунку на площу листка [11, 14–16, 18, 21, 22, 24, 25, 29, 30, 31, 33]. При цьому між ФП (ЛІ) та ППЩЛ мають місце взаємно обернені співвідношення [9, 12, 14, 19, 32]. Також відомо, що як ФП (ЛІ), так і ППЩЛ є чутливими до умов і рівня забезпечення рослин поживними речовинами (системи удобрення, вміст елементів живлення у ґрунті тощо) [3, 6, 8, 9, 14, 16, 17, 26–28]. Тим не менше у науковій літературі недостатньо даних щодо взаємозалежностей між ФП, ППЩЛ і/або ЕВР, ЕПР та показниками зернової продуктивності пшениці за біологізованих систем удобрення (БСУ).

Вивчення тривимірних взаємозалежностей між вмістом сухої речовини у зерні та чутливими до інтенсивності ФАР показниками потужності фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої – ФП, ППЩЛ упродовж періоду дозрівання зерна дозволить з'ясувати формування кінцевої продуктивності зазначених рослин за БСУ внаслідок змін переважно ЕВР або ЕПР.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили на пшениці озимій (*Triticum aestivum* L.) сорту Миронівська 65, яку вирощували на сірому лісовому ґрунті після гороху посівного (*Pisum sativum* L.) в

умовах стаціонарного досліді з вивчення продуктивності різних типів короткоротаційних сівозмін Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. Зміст дослідних варіантів наведено у табл. 1.

### 1. Зміст варіантів польового стаціонарного досліді

№ вар.	Зміст варіанта	№ вар.	Зміст варіанта
1	Контроль (без добрив)	8	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ПП + ГФ
2	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	10	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ЕБ
4	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ПП	12	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ЕБ + КМ
6	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ПП + КМ	14	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + ЕБ + ГФ

Примітка. ПП – пташиний послід, ЕБ – органо-мінеральне біодобриво екобіом, КМ – комплексний регулятор росту кропмакс, ГФ – листкове мікродобриво гідроферт.

Площа дослідної мікроділянки – 1 м<sup>2</sup>. Пташиний послід (ПП) та екобіом (ЕБ) вносили у рекомендованій дозі (2 т/га) під культивуацію посівів пшениці озимої. Обробку рослин кропмаксом (КМ) та гідрофертом (ГФ) проводили двічі за вегетацію (початок фаз трубкування та колосіння; однократна доза – відповідно 0,5 л/га та 4 кг/га). Фази онтогенезу пшениці озимої визначали за Майсуряном [2]. Відбір верхніх листків (прапорцевий, передпрапорцевий) рослин проводили у фазах трубкування, колосіння, цвітіння, молочної стиглості загальноприйнятими методами [7] у трьох біологічних повторностях. Визначали кількість продуктивних пагонів, площу верхніх листків, загальний вміст сухої речовини у листках і зерні пшениці озимої згідно з [4, 6].

Середні величини ЛП та ФП верхніх листків пшениці впродовж трубкування – молочної стиглості розраховували за формулами [5]:

$$\langle \text{ЛП}_{вл} \rangle_j = \langle S_{вл} \rangle_j \cdot N_{Пр} = \left[ (S_{(п-с)_j} + S_{(мл-с)_j}) / n_{вл} \right] \cdot N_{Пр},$$

$$\Phi \text{П}_{вл} = \int_{t=t_1}^{t=t_2} \langle \text{ЛП}_{вл} \rangle dt.$$

Усереднення здійснювали за ярусами прапорцевих і передпрапорцевих листків. У наведених рівняннях:  $\langle \text{ЛП}_{вл} \rangle_j$ ,  $\langle S_{вл} \rangle_j$ ,  $S_{(п-с)_j}$ ,  $S_{(мл-с)_j}$ ,  $n_{вл}$  – середній листковий індекс (м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> посіву), середня площа верхніх листків, сумарна площа прапорцевих і передпрапорцевих листків (м<sup>2</sup>), сумарна кількість верхніх листків відповідно у фазі онтогенезу  $j$ ;  $N_{Пр}$  – середня кількість продуктивних пагонів (м<sup>-2</sup>).  $\Phi \text{П}_{вл}$  – середній фотосинтетичний потенціал верхніх листків пшениці озимої у фазах трубкування – молочної стиглості зерна (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup>.

Середні величини ППЩЛ (трубкування – молочна стиглість) визначали згідно з таким рівнянням:

$$ППЩЛ_B = \left[ \sum_{j=1}^{j=K} \left( (N_{Пр} \cdot W_{ВЛ}) / (N_{Пр} \cdot S_{ВЛ}) \right)_j \right] / K = \left[ \sum_{j=1}^{j=4} (W_{ВЛ} / S_{ВЛ})_j \right] / 4,$$

де  $ППЩЛ_B$  – середня питома поверхнева щільність верхніх листків посіву (трубкування – молочна стиглість, г/м<sup>2</sup> посіву);  $(W_{ВЛ}/S_{ВЛ})_j$  – усереднене за ярусами прапорцевих і передпрапорцевих листків співвідношення сухої речовини до площі верхніх листків у фазі онтогенезу  $j$  з розрахунку на одну рослину, г/м<sup>2</sup>;  $K = 4$  – кількість облікованих фаз онтогенезу;  $N_{Пр}$  – див. попередні формули.

Статистичний аналіз результатів досліджень, обчислення коефіцієнтів кореляції між результативною, факторіальними змінними проводили згідно з [1] та за допомогою комп'ютерної програми Excel 11.0.6560.0.

**Результати та обговорення.** Дослідженнями встановлено, що на контролі (вар. 1) середня величина фотосинтетичного потенціалу верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості –  $ФП_{ВЛ} = 8,69 \pm 0,65$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву (табл. 2). У вар. 2, за базової традиційної системи удобрення  $N_{60}P_{90}K_{90}$ , має місце зростання зазначеного показника на 69,6 %, тобто до величини  $14,73 \pm 1,04$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву. БСУ у вар. 4–14 зумовили збільшення  $ФП_{ВЛ}$  на 13,5–44,3 % щодо вар. 2. Серед вивчених біологізованих технологій мінімальну і максимальну величини  $ФП_{ВЛ}$  виявлено за ПП та ЕБ + ГФ на фоні  $N_{60}P_{90}K_{90}$  – у вар. 4 і 14 – відповідно  $16,73 \pm 1,40$ – $21,26 \pm 1,62$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву (табл. 2).

Протилежні закономірності мають місце за зіставлення середніх величин питомої поверхневої щільності верхніх листків рослин між дослідними варіантами. Справді, у контролі  $ППЩЛ_B = 40,52 \pm 1,64$  г/м<sup>2</sup>; у вар. 2 відбулося збільшення цього показника на 31,4 % до рівня  $53,23 \pm 1,92$  г/м<sup>2</sup> (табл. 2). Разом з тим БСУ у вар. 4–14 зумовили зменшення  $ППЩЛ_B$  на 5,2–13,9 % щодо вар. 2, утворюючи діапазон зазначеного показника  $45,83 \pm 0,43$  –  $50,48 \pm 0,98$  г/м<sup>2</sup>. Серед перелічених біологізованих технологій найменшу і найбільшу величини  $ППЩЛ_B$  виявлено за ПП + КМ та ЕБ + ГФ на фоні  $N_{60}P_{90}K_{90}$  – відповідно у вар. 6 і 14 (табл. 2).

Слід відзначити, що у вар. 4 і 6 величини  $ФП_{ВЛ}$  та  $ППЩЛ_B$  практично не відрізнялися між собою:  $ФП_{ВЛ} = 16,73 \pm 1,40$  –  $16,79 \pm 1,12$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву,  $ППЩЛ_B = 45,83 \pm 0,43$  –  $45,92 \pm 1,53$  г/м<sup>2</sup> (табл. 2). Отже, доцільно стверджувати, що мінімальні величини кожного з цих показників серед вивчених БСУ мають місце одночасно за технологій  $N_{60}P_{90}K_{90} + ПП$  і  $N_{60}P_{90}K_{90} + ПП + КМ$  – відповідно вар. 4 і 6.

**2. Вплив БСУ на середні величини фотосинтетичного потенціалу та питомої поверхневої щільності верхніх листків пшениці озимої (трубкування – молочна стиглість;  $M \pm m$ ,  $n = 12$ ,  $n = 6$  відповідно)**

№ вар.	Фотосинтетичний потенціал, $\Phi P_{BL}$ , (м <sup>2</sup> •добу)/м <sup>2</sup> посіву	Питома поверхнева щільність, $ППЩЛ_B$ , г/м <sup>2</sup>
1	8,69 ± 0,65	40,52 ± 1,64
2	14,73 ± 1,04 <sup>1</sup>	53,23 ± 1,92 <sup>1</sup>
4	16,73 ± 1,40 <sup>1, 2</sup>	45,92 ± 1,53 <sup>1, 2</sup>
6	16,79 ± 1,12 <sup>1, 2</sup>	45,83 ± 0,43 <sup>1, 2</sup>
8	17,11 ± 0,84 <sup>1, 2</sup>	46,82 ± 1,88 <sup>1, 2</sup>
10	20,19 ± 1,43 <sup>1, 2</sup>	48,30 ± 0,52 <sup>1, 2</sup>
12	20,89 ± 1,22 <sup>1, 2</sup>	49,73 ± 0,96 <sup>1, 2*</sup>
14	21,26 ± 1,62 <sup>1, 2</sup>	50,48 ± 0,98 <sup>1, 2*</sup>

Примітка. Індекси <sup>1, 2</sup> – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2, відповідно  $P < 0,001-0,050$ ; <sup>2\*</sup> – достовірність різниці щодо варіанта 2,  $p = 0,903-0,964$ . Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

БСУ на основі ПП зумовили менші величини  $\Phi P_{BL}$  та  $ППЩЛ_B$  пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості порівняно з БСУ на основі ЕБ. Справді, у вар. 4–8  $\Phi P_{BL} = 16,73 \pm 1,40 - 17,11 \pm 0,84$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву,  $ППЩЛ_B = 45,92 \pm 1,53 - 46,82 \pm 1,88$  г/м<sup>2</sup> (табл. 2). У вар. 10–14  $\Phi P_{BL} = 20,19 \pm 1,43 - 21,26 \pm 1,62$  (м<sup>2</sup>•добу)/м<sup>2</sup> посіву,  $ППЩЛ_B = 48,30 \pm 0,52 - 50,48 \pm 0,98$  г/м<sup>2</sup>. Також за БСУ на основі ПП (вар. 4–8) мають місце менші прирости  $\Phi P_{BL}$  і більші величини декременту  $ППЩЛ_B$  щодо базової традиційної системи удобрення (вар. 2). Приріст  $\Phi P_{BL}$  у вар. 4–8 порівняно з вар. 2  $\Delta \Phi P_{BL} = 13,5-16,1$  %, у вар. 10–14 щодо вар. 2  $\Delta \Phi P_{BL} = 37,0-44,3$  %. Декремент  $ППЩЛ_B$  у вар. 4–8 порівняно з 2  $-\Delta ППЩЛ_B = 12,0-13,9$  %, у вар. 10–14 щодо вар. 2  $-\Delta ППЩЛ_B = 5,2-9,3$  %.

Таким чином, результати досліджень засвідчили чіткі взаємно обернені зміни вивчених показників верхніх листків рослин за всіх застосованих БСУ (вар. 4–14) щодо базової традиційної системи удобрення  $N_{60}P_{90}K_{90}$  (вар. 2). Справді, збільшення  $\Phi P_{BL}$  у вар. 4–14 супроводжується зменшенням  $ППЩЛ_B$  порівняно з вар. 2 (табл. 2). Зазначені закономірності узгоджуються з сучасними уявленнями про те, що одночасно зі зростанням потужності розвитку (ЛП, ФП), а отже, й тривалості активного функціонування листків відбувається, як правило, зменшення інтенсивності фотосинтезу, нетто асиміляції з розрахунку на площу листків, які у свою чергу є прямо пропорційними до  $ППЩЛ$  [11, 14–16, 18, 24, 31, 32]. Такі співвідношення перелічених показників потрібні для дотримання оптимальних величин балансу

між надходженнями/витратами речовини й енергії у листках, цілісній рослині.

У цілому як у випадку систем удобрення на основі ПП, так і на основі ЕБ формування продуктивності донорних листків, принаймні частково, відбувається внаслідок залежного від ФАР збільшення потужності, тривалості функціонування фотосинтетичного апарату (зростання  $\Phi P_{ВЛ}$  у вар. 4–14 щодо вар. 2), а також зменшення швидкості нетто асиміляції, інтенсивності фотосинтезу, залежної від ФАР вартості утворення листків, зниження рівня накопичення/зростання інтенсивності відпливу асимілятів, потоншення мезофілу зазначених органів (зниження  $ППЩЛ_B$  у вар. 4–14 щодо вар. 2), збільшення вмісту ферментів фотосинтезу з розрахунку на одиницю площі листків (зростання  $\Phi P_{ВЛ}$ , побіжне зниження  $ППЩЛ_B$ ) [3, 8–10, 13–16, 18, 21, 24, 25, 30–33]. Ймовірно, що поліпшення продуктивності верхніх листків рослин за вивчених БСУ, принаймні частково, спричинене збільшенням ефективності використання та зменшенням ефективності поглинання ФАР (ЕВР, ЕПР) зазначеними органами, що поєднано зі змінами  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$  упродовж облікового періоду [3, 8, 9, 14, 20, 23, 26–28].

Той факт, що величини  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$ , прирости  $\Phi P_{ВЛ}$  більші, тоді як і декременти  $ППЩЛ_B$  – менші у вар. 10–14 порівняно з вар. 4–8, можна пояснити таким чином. БСУ на основі ОМБД екобіом (ЕБ; пташиний послід + збалансований комплекс мікро-, макроелементів + органічні речовини + мікроорганізми; вар. 10–14) зумовлюють, очевидно, більшу інтенсивність росту, розвитку, а отже, й  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$ , ЕВР, ЕПР верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості порівняно з системами удобрення на основі ПП (вар. 4–8). Також вірогідно, що за технологій у вар. 10–14 верхні листки характеризуються більшою концентрацією ферментів фотосинтезу з розрахунку на площу та вищим рівнем накопичення асимілятів щодо вар. 4–8. Це свідчить швидше за все про більш ефективне поглинання й використання ФАР, вищий рівень накопичення асимілятів, більш плавний та ефективний їх відплив з листків за БСУ, до складу яких входить ЕБ, порівняно з ПП-БСУ.

Доцільно припустити, що кінцева продуктивність пшениці озимої за вивчених систем удобрення також зумовлена залежними від ФАР змінами  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$  протягом облікованих фаз онтогенезу. Як показник кінцевої продуктивності використано вміст сухої речовини в колосі пшениці озимої (повна стиглість) з розрахунку на 1 м<sup>2</sup> посіву –  $m_{ЛЗ}$ , г/м<sup>2</sup> посіву (табл. 3). На контролі (вар. 1)  $m_{ЛЗ} = 368,30 \pm 24,77$  г/м<sup>2</sup> посіву. У вар. 2 зазначений показник зазнав збільшення на 56,7 % і

становив  $577,12 \pm 44,75$  г/м<sup>2</sup> посіву. У вар. 4–14 має місце збільшення  $m_{ГЗ}$  на 13,4–34,5 % до величин  $654,18 \pm 40,95 - 776,14 \pm 21,69$  г/м<sup>2</sup> посіву. При цьому БСУ на основі ПП (вар. 4–8) зумовлюють менші величини  $m_{ГЗ}$  порівняно з БСУ на основі ЕБ (вар. 10–14):  $654,18 \pm 40,95 - 687,76 \pm 46,66$  проти  $718,25 \pm 30,82 - 776,14 \pm 21,69$  г/м<sup>2</sup> посіву. Відповідні прирости цього показника  $\Delta m_{ГЗ} = 13,4-19,2$  % у вар. 4–8,  $\Delta m_{ГЗ} = 24,5-34,5$  % у вар. 10–14 щодо вар. 2 (табл. 3).

### 3. Вміст сухої речовини в колосі пшениці озимої з розрахунку на 1 м<sup>2</sup> посіву залежно від БСУ (повна стиглість; $M \pm m$ , $n = 6$ )

№ вар.	Вміст сухої речовини, $m_{ГЗ}$ , г/м <sup>2</sup> посіву
1	$368,30 \pm 24,77$
2	$577,12 \pm 44,75^1$
4	$654,18 \pm 40,95^{1,2}$
6	$687,76 \pm 46,66^{1,2}$
8	$667,60 \pm 40,57^{1,2}$
10	$718,25 \pm 30,82^{1,2}$
12	$776,14 \pm 21,69^{1,2}$
14	$742,83 \pm 27,41^{1,2}$

Примітка. Індеси <sup>1, 2</sup> – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2 – відповідно  $P < 0,001 - 0,010$ . Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Таким чином, як і у випадку верхніх листків, БСУ на основі ПП (вар. 4–8) спричиняють менші прирости зернової продуктивності пшениці озимої порівняно з БСУ на основі ЕБ (вар. 10–14) щодо базової традиційної системи удобрення.

Взаємозалежності між зерновою продуктивністю пшениці озимої та показниками  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_{В}$  верхніх листків цих рослин вивчено за допомогою методів двовимірного та тривимірного кореляційних аналізів. Результативна ознака  $X_1$  – середній вміст сухої речовини зерен у колосі на 1 м<sup>2</sup> посіву (повна стиглість,  $m_{ГЗ}$ ; табл. 3). Факторіальні ознаки:  $Y - \Phi P_{ВЛ}$ ,  $Z - ППЩЛ_{В}$ . Масиви даних результативної, факторіальних ознак формували з даних пар варіантів: 1) вар. 1 (“0-доза” удобрення) – вар. 2 (“доза 1” мінерального удобрення); 2) вар. 2 (“0-доза” БСУ) – вар. 2п (“доза 1” БСУ).

Встановлено, що за зіставлення вар. 1–2 мають місце позитивні кореляційні взаємозалежності між  $m_{ГЗ}$  та  $\Phi P_{ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_{В}$ , між  $\Phi P_{ВЛ}$  та  $ППЩЛ_{В}$ :  $r_{x_1y} = 0,96$ ,  $r_{x_1z} = 0,94$ ,  $r_{yz} = 0,99$ ;  $P < 0,001 - 0,010$  (табл. 4). За зіставлення вар. 2–4 ... 2–14 прямо пропорційні співвідношення віднайдено лише між  $m_{ГЗ}$  та  $\Phi P_{ВЛ}$ :  $r_{x_1y} = 0,86-0,97$ ;  $P < 0,001-0,050$ . Взаємозалежності  $m_{ГЗ} - ППЩЛ_{В}$ ,  $\Phi P_{ВЛ} - ППЩЛ_{В}$  характеризуються

малими величинами коефіцієнтів двовимірної кореляції та низьким рівнем їх достовірності:  $r_{x1z}$ ,  $r_{yz} = -0,08-0,37$ ;  $p = 0,103-0,582$  (табл. 4).

#### 4. Двовимірна лінійна взаємозалежність між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої $m_{ПЗ}$ (на 1 м<sup>2</sup> посіву) та $\Phi_{ПВЛ}$ і $ППЩЛ_B$ рослин упродовж фаз трубкування – молочної стиглості за дії БСУ

Пари зіставлених варіантів	$r_{x1y}$	$r_{x1z}$	$r_{yz}$
1–2	0,96; P<0,010	0,94; P<0,010	0,99; P<0,001
2–4	0,86; P<0,050	0,32; p=0,504	0,34; p=0,535
2–6	0,97; P<0,001	0,06; p=0,103	0,11; p=0,166
2–8	0,93; P<0,010	0,37; p=0,582	0,28; p=0,445
2–10	0,92; P<0,010	0,13; p=0,213	-0,08; p=0,119
2–12	0,96; P<0,010	0,14; p=0,228	0,07; p=0,119
2–14	0,91; P<0,020	0,29; p=0,458	0,17; p=0,274

Примітка.  $r_{x1y}$ ,  $r_{x1z}$ ,  $r_{yz}$  – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними  $x1 - m_{ПЗ}$ ,  $y - \Phi_{ПВЛ}$ ,  $z - ППЩЛ_B$ ;  $p$  – достовірність коефіцієнта кореляції;  $P < 0,001 - P < 0,050$  – достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,001–0,050. Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Подібні закономірності мають місце у випадку часткових двовимірних та тривимірних кореляційних взаємозалежностей між вивченими ознаками рослин. Справді, за зіставлення вар. 1–2 віднайдено прямо пропорційні співвідношення між  $m_{ПЗ}$  та  $\Phi_{ПВЛ}$ ,  $\Phi_{ПВЛ}$  та  $ППЩЛ_B$ , але не виявлено істотної кореляції між  $m_{ПЗ}$  і  $ППЩЛ_B$ :  $r_{x1y(z)} = 0,65$ ,  $p = 0,915$ ;  $r_{x1z(y)} = -0,26$ ,  $p = 0,404$ ,  $r_{yz(x1)} = 0,89$ ,  $P < 0,020$  (табл. 5). Відповідні коефіцієнти тривимірної кореляції й детермінації –  $R_{x1(yz)} = 0,97$ ,  $R^2_{x1(yz)} = 0,941$ ,  $P < 0,010$ . За зіставлення вар. 2–4 ... 2–14 відзначено тісні прямо пропорційні співвідношення між  $m_{ПЗ}$  та  $\Phi_{ПВЛ}$ :  $r_{x1y(z)} = 0,84-0,98$ ,  $P < 0,001 - 0,050$ . Тим не менше у перелічених парах варіантів відсутня кореляція між  $m_{ПЗ}$  і  $ППЩЛ_B$ , між  $\Phi_{ПВЛ}$  та  $ППЩЛ_B$ :  $r_{x1z(y)}$ ,  $r_{yz(x1)} = -0,51-0,52$ ,  $p = 0,766-0,778$ . Відповідні коефіцієнти тривимірної кореляції й детермінації є істотними:  $R_{x1(yz)} = 0,86-0,98$ ,  $R^2_{x1(yz)} = 0,740-0,960$ ,  $P < 0,010-0,100$  (табл. 5).

Таким чином, зростання продуктивності колосу пшениці озимої за базової традиційної системи удобрення, у вар. 2, зумовлене збільшенням  $\Phi_{ПВЛ}$  щодо контролю (в умовах сталої величини  $ППЩЛ_B$ ) і, ймовірно, синергічними взаємодіями між обернено спрямованими ознаками продуктивності верхніх листків –  $\Phi_{ПВЛ}$  та  $ППЩЛ_B$  у фазах онтогенезу трубкування – молочної стиглості.



**5. Часткові та коефіцієнти тривимірної кореляції між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої  $m_{Пз}$  та  $\Phi_{ПВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$  рослин (трубкування – молочна стиглість) за умов БСУ**

Пари зіставлених варіантів	$r_{x1y(z)}$	$r_{x1z(y)}$	$r_{yz(x1)}$	$R_{x1(yz)}$
1–2	0,65; $p=0,915$	-0,26; $p=0,404$	0,89; $P<0,020$	0,97; $P<0,010$
2–4	0,84; $P<0,050$	0,06; $p=0,103$	0,13; $p=0,213$	0,86; $P<0,100$
2–6	0,98; $P<0,001$	-0,18; $p=0,289$	0,20; $p=0,318$	0,98; $P<0,010$
2–8	0,93; $P<0,010$	0,32; $p=0,510$	-0,21; $p=0,326$	0,94; $P<0,020$
2–10	0,94; $P<0,010$	0,52; $p=0,778$	-0,51; $p=0,766$	0,94; $P<0,020$
2–12	0,96; $P<0,010$	0,25; $p=0,390$	-0,22; $p=0,340$	0,96; $P<0,010$
2–14	0,92; $P<0,020$	0,34; $p=0,529$	-0,25; $p=0,390$	0,92; $P<0,050$

Примітка.  $r_{x1y(z)}$ ,  $r_{x1z(y)}$ ,  $r_{yz(x1)}$ ,  $R_{x1(yz)}$  – часткові та коефіцієнти тривимірної кореляції між змінними  $x1 - m_{Пз}$ ,  $y - \Phi_{ПВЛ}$ ,  $z - ППЩЛ_B$ ;  $p$  – достовірність коефіцієнта кореляції;  $P < 0,001 - P < 0,100$  – достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,001–0,100. Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Поліпшення зернової продуктивності рослин за БСУ у вар. 4–14 приблизно однаковою мірою спричинене збільшеннями  $\Phi_{ПВЛ}$  (з урахуванням, що  $ППЩЛ_B = \text{константа}$ ) і не поєднане зі зменшеннями  $ППЩЛ_B$  ( $\Phi_{ПВЛ} = \text{константа}$ ) щодо базової традиційної системи удобрення (вар. 2) упродовж трубкування – молочної стиглості. Разом з тим взаємодії між ознаками  $\Phi_{ПВЛ}$  та  $ППЩЛ_B$  ( $m_{Пз} = \text{константа}$ ) не беруть участі у формуванні продуктивності колосу за таких умов. Коефіцієнти детермінації лінійних множинних взаємозв'язків між вивченими показниками верхніх листків та кінцевою продуктивністю пшениці озимої за БСУ становлять 74,0–96,0 % (див. вище відповідні величини  $R^2_{x(yz)}$ ; зіставлення з вар. 2). Це свідчить про те, що 74,0–96,0 % варіації ознаки  $m_{Пз}$  пшениці (вміст сухої речовини в колосі) зумовлені одночасно варіацією  $\Phi_{ПВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$ , і лише 4–26 % – впливом випадкових (неврахованих) факторів.

Слід зауважити, що відсутність прямо пропорційних взаємозалежностей між питомою поверхневою щільністю верхніх листків пшениці озимої  $ППЩЛ_B$  і вмістом сухої речовини у колосі рослин з розрахунку на  $1 \text{ м}^2$  посіву  $m_{Пз}$  частково може бути зумовлена суто математичними причинами. Справді, розрахунки  $m_{Пз}$  побудовані з урахуванням кількості продуктивних пагонів на  $1 \text{ м}^2 N_{Пр}$ , тоді як у ході розрахунків  $ППЩЛ_B$  математичний фактор  $N_{Пр}$  нівелюється. Навпаки, рівняння для обчислення  $\Phi_{ПВЛ}$  містять  $N_{Пр}$  як фактор визначення середнього листкового індексу верхніх листків  $\langle Л_{ВЛ} \rangle$  (див. розділ “Матеріали і методи”). Отже, формальні особливості побудови

зазначених показників можуть, принаймні до певної міри, послаблювати лінійні взаємозалежності  $m_{ПЗ}$  –  $ППЩЛ_B$ ,  $\Phi_{П_ВЛ}$  –  $ППЩЛ_B$  і посилювати прямо пропорційні співвідношення  $m_{ПЗ}$  –  $\Phi_{П_ВЛ}$ . З метою перевірки припущення про формальні, математичні причини відсутності кореляції між  $m_{ПЗ}$ ,  $ППЩЛ_B$  проаналізовано двовимірні лінійні взаємозалежності між  $\Phi_{П_ВЛ}$ ,  $ППЩЛ_B$  (трубкування – молочна стиглість) та середнім вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої з розрахунку на 1 колос ( $m_3$ , повна стиглість; результативна ознака Х2; величина  $N_{Пр}$  у розрахунках відсутня). Очевидно, що наявність достовірних прямо пропорційних співвідношень  $m_3$  –  $ППЩЛ_B$  свідчатиме про те, що формування продуктивності колосу окремої рослини пшениці озимої за вивчених БСУ залежить від зазначеного параметра листової пластинки. Навпаки, відсутність кореляції  $m_3$  –  $ППЩЛ_B$  означатиме, що розвиток продуктивності окремого колосу пшениці за умов БСУ не залежить від  $ППЩЛ_B$ .

#### 6. Вплив БСУ на вміст сухої речовини в колосі пшениці озимої (з розрахунку на 1 колос; $M \pm m$ , $n = 6$ )

№ вар.	Вміст сухої речовини, $m_3$ , г/колос
1	$1,083 \pm 0,073$
2	$1,535 \pm 0,119^1$
4	$1,690 \pm 0,106^{1,2}$
6	$1,759 \pm 0,119^{1,2}$
8	$1,716 \pm 0,104^{1,2}$
10	$1,765 \pm 0,076^{1,2}$
12	$1,870 \pm 0,052^{1,2}$
14	$1,803 \pm 0,067^{1,2}$

Примітка. Індекси <sup>1, 2</sup> – достовірність різниці щодо варіантів 1, 2 – відповідно  $P < 0,001 - 0,050$ . Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Результати визначень середнього вмісту сухої речовини у зерні пшениці озимої з розрахунку на 1 колос ( $m_3$ , повна стиглість) наведено у табл. 6. Порівняння даних, наведених у табл. 3, табл. 6, свідчить про те, що формування  $m_3$  і  $m_{ПЗ}$  за вивчених БСУ відбувається подібним чином. Справді, у контрольному вар. 1  $m_3 = 1,083 \pm 0,073$  г/колос, тоді як у вар. 2 величина цього показника на 41,7 % більша і становить  $1,535 \pm 0,119$  г/колос. Технології у вар. 4–14 зумовили зростання  $m_3$  на 10,1–21,8 % щодо вар. 2 до величин 1,690–1,870 г/колос (табл. 6). При цьому величини  $m_3$  і прирости  $\Delta m_3$  (%) щодо вар. 2 є більшими за БСУ на основі ЕБ порівняно з БСУ на основі ПП. У вар. 4–8  $m_3 = 1,690 \pm$

0,106 – 1,759 ± 0,119 г/колос,  $\Delta m_3 = 10,1\text{--}14,6\%$ ; у вар. 10–14  $m_3 = 1,765 \pm 0,076 - 1,870 \pm 0,052$  г/колос,  $\Delta m_3 = 15,0\text{--}21,8\%$ .

Двовимірний кореляційний аналіз засвідчив, що за зіставлення вар. 1–2 взаємозалежності  $m_3 - \Phi П_{ВЛ}$ ,  $m_3 - ППШЦЛ_B$ ,  $\Phi П_{ВЛ} - ППШЦЛ_B$  подібні до відповідних взаємозалежностей за участю  $m_{ПЗ}$  (табл. 7, табл. 4). Так, у зазначеній парі варіантів  $r_{x_2y} = 0,94$ ,  $r_{x_2z} = 0,92$ ,  $r_{yz} = 0,99$ ;  $P < 0,001 - 0,010$ . За зіставлення вар. 2–4 ... 2–14 мають місце прямо пропорційні співвідношення між  $m_3$  і  $\Phi П_{ВЛ}$  приблизно такого самого рівня міцності, як і взаємозалежності  $m_{ПЗ} - \Phi П_{ВЛ}$ :  $r_{x_2y} = 0,84\text{--}0,97$ ;  $P < 0,010 - 0,050$ . Взаємозалежності  $m_3 - ППШЦЛ_B$ , як і відповідні співвідношення  $m_{ПЗ} - ППШЦЛ_B$ ,  $\Phi П_{ВЛ} - ППШЦЛ_B$ , характеризуються малими величинами коефіцієнтів кореляції та низьким рівнем їх достовірності:  $r_{x_2z}$ ,  $r_{yz} = -0,08\text{--}0,47$ ;  $p = 0,119\text{--}0,720$  (табл. 7). Отже, припущення про ймовірні математичні причини слабкої кореляції між вмістом сухої речовини у колосі пшениці з розрахунку на одиницю площі посіву  $m_{ПЗ}$  та питомою поверхневою щільністю листків  $ППШЦЛ_B$  не можна вважати істинним. Це у свою чергу означає, що формування кінцевої продуктивності колосу пшениці озимої за вивчених БСУ справді зумовлене розвитком  $\Phi П_{ВЛ}$  і не залежить від змін  $ППШЦЛ_B$ .

## 7. Двовимірна кореляційна залежність між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої $m_3$ (на 1 колос) та $\Phi П_{ВЛ}$ і $ППШЦЛ_B$ рослин упродовж фаз трубкування – молочної стиглості за дії БСУ

Пари зіставлених варіантів	$r_{x_2y}$	$r_{x_2z}$	$r_{yz}$
1–2	0,94; $P < 0,010$	0,92; $P < 0,010$	0,99; $P < 0,001$
2–4	0,85; $P < 0,050$	0,39; $p = 0,610$	0,34; $p = 0,535$
2–6	0,97; $P < 0,010$	0,16; $p = 0,251$	0,11; $p = 0,166$
2–8	0,92; $P < 0,020$	0,45; $p = 0,692$	0,28; $p = 0,445$
2–10	0,85; $P < 0,050$	0,33; $p = 0,510$	-0,08; $p = 0,119$
2–12	0,90; $P < 0,020$	0,34; $p = 0,529$	0,07; $p = 0,119$
2–14	0,84; $P < 0,050$	0,47; $p = 0,720$	0,17; $p = 0,274$

Примітка.  $r_{x_2y}$ ,  $r_{x_2z}$ ,  $r_{yz}$  – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними  $x_2 - m_3$ ,  $y - \Phi П_{ВЛ}$ ,  $z - ППШЦЛ_B$ ;  $p$  – достовірність коефіцієнта кореляції;  $P < 0,001 - P < 0,050$  – достовірність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,001–0,050. Зміст варіантів 1–14 див. табл. 1.

Таким чином, поліпшення зернової продуктивності пшениці озимої за базової традиційної системи удобрення (вар. 2) щодо контролю та за вивчених БСУ (вар. 4–14) щодо традиційної системи удобрення (вар. 2) зумовлене збільшенням фотосинтетичного потенціалу верхніх листків  $\Phi П_{ВЛ}$ , а отже, й ЕВР у зазначених органах

рослин протягом трубкування – молочної стиглості. Побіжне зменшення питомої поверхневої щільності листків  $ППЩЛ_B$  та, очевидно, ЕПР упродовж облікового періоду не впливає на формування кінцевої продуктивності пшениці в умовах застосованих БСУ. Тим не менше залишається певна вірогідність, що між  $ППЩЛ_B$  (ЕПР у верхніх листках) та продуктивністю колосу за БСУ упродовж пререпродуктивного й репродуктивного періоду розвитку рослин існують нелінійні взаємозалежності.

**Висновки.** Результати досліджень свідчать, що базова традиційна система удобрення зумовила зростання продуктивності колосу пшениці озимої на 56,7 % порівняно з абсолютним контролем (вар. 2 проти вар. 1). Приріст зернової продуктивності за БСУ на основі ПП щодо базової мінеральної системи удобрення становив 13,4–19,2 % (вар. 4–8 проти вар. 2). Інкремент продуктивності колосу за БСУ на основі ЕБ був більшим – 24,5–34,5 % (вар. 10–14 проти вар. 2).

За вивчених БСУ (вар. 4–14) має місце зростання середнього фотосинтетичного потенціалу верхніх листків рослин  $ФП_{ВЛ}$  і побіжне зменшення середньої питомої поверхневої щільності зазначених органів  $ППЩЛ_B$  упродовж трубкування – молочної стиглості щодо базової традиційної системи удобрення (вар. 2). Разом з тим БСУ із застосуванням ПП або ЕБ у різний спосіб впливають на продуктивність донорних листків пшениці озимої: БСУ на основі ПП спричиняють менший приріст  $ФП_{ВЛ}$  і більший декремент  $ППЩЛ_B$  щодо вар. 2 порівняно з БСУ, до складу яких входить ЕБ.

Поліпшення продуктивності колосу у вар. 2 порівняно з вар. 1 та за вивчених БСУ щодо базової традиційної системи удобрення (вар. 4–14 проти вар. 2) зумовлене збільшенням  $ФП_{ВЛ}$  і не залежить від побіжних змін  $ППЩЛ_B$  (трубкування – молочна стиглість). Збільшення продуктивності колосу пшениці озимої за всіх перелічених зіставлень зумовлене, ймовірно, підвищенням ЕВР і не поєднане лінійними взаємозалежностями зі змінами ЕПР у верхніх листках рослин протягом трубкування – молочної стиглості.

Отримані результати можуть бути використані для створення прогностичних моделей, що пов'язують продукційний процес пшениці озимої за БСУ з важливим кліматичним фактором – ФАР.

### 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. Практикум по агрохимии / [В. В. Кидин и др.] ; под ред. В. В. Кидина. – М. : КолосС, 2008. – 599 с. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
5. Прядкина Г. А. Связь между показателями мощности развития фотосинтетического аппарата и зерновой продуктивностью озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы / Г. А. Прядкина, Т. М. Шадчина // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 1. – С. 59–68.
6. 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.
7. Сирота Ф. Н. Основы аналитической химии та сільсько-господарський аналіз / Сирота Ф. Н. – К. : Вища шк., 1970. – 222 с.
8. 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.
9. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
10. 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.
11. A modern tool for classical plant growth analysis / R. Hunt [et al.] // Ann. Bot. – 2002. – V. 90, N 4. – P. 485–488.
12. A worldwide analysis of within-canopy variations in leaf structural, chemical and physiological traits across plant functional types / Ü. Niinemets [et al.] // New Phytol. – 2015. – V. 205, N 3. – P. 973–993.
13. Assessing the effects of architectural variations on light partitioning within virtual wheat-pea mixtures / R. Barillot [et al.] // Ann. Bot. – 2014. – V. 114, N 4. – P. 725–737.

14. 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.
15. 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.
16. Diversity of leaf traits related to productivity in 31 *Populus deltooides* × *Populus nigra* clones / N. Marron [et al.] // *Tree Physiol.* – 2005. – V. 25, N 4. – P. 425–435.
17. Effects that nutritional and saline gradients have on the growth of *Passiflora mucronata* Lam. and *Canavalia rosea* (Sw.) DC. found in the restinga of Brazil / J. L. Junior [et al.] // *Acta Botanica Brasilica.* – 2013. – V. 27, N 2. – P. 318–326.
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. Kanton R. A. L. Radiation capture and use as affected by morphologically contrasting maize/pea in sole and intercropping / R. A. L. Kanton, M. D. Dennett // *West African J. Appl. Ecol.* – 2008. – V. 13, N 1. – P. 55–66.
21. Lachapelle P.-P. Interspecific prediction of photosynthetic light response curves using specific leaf mass and leaf nitrogen content: effects of differences in soil fertility and growth irradiance / P.-P. Lachapelle, B. Shipley // *Ann. Bot.* – 2012. – V. 109, N 6. – P. 1149–1157.
22. Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water Availability gradient / E. G. De la Riva [et al.] // *PLoS ONE.* – 2016. – V. 11, N 2. – P. 148788–148806.
23. Leepipatpaiboon S. Estimation of solar radiation use efficiency in paddy and cassava fields / S. Leepipatpaiboon, S. Boonyawat, E. Sarobol // *Kasetsart J. (Nat. Sci.).* – 2009. – V. 43, N 4. – P. 642–649.
24. 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.
25. Photosynthesis at an extreme end of the leaf trait spectrum: how does it relate to high leaf dry mass per area and associated structural parameters? / F. Hassiotou [et al.] // *J. Exp. Bot.* – 2010. – V. 61, N 11. – P. 3015–3028.

26. Raising yield potential in wheat / M. Reynolds [et al.] // J. Exp. Bot. – 2009. – V. 60, N 7. – P. 1899–1918.
27. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies / M. Reynolds [et al.] // J. Exp. Bot. – 2011. – V. 62, N 2. – P. 439–452.
28. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance / M. J. Foulkes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2011. – V. 62, N 2 – P. 469–486.
29. Venation networks and the origin of the leaf economics spectrum / B. Blonder [et al.] // Ecol. Letters. – 2011. – V. 14, N 2. – P. 91–100.
30. Vertical, horizontal and azimuthal variations in leaf photosynthetic characteristics within a *Fagus crenata* crown in relation to light acclimation / A. Iio [et al.] // Tree Physiol. – 2005. – V. 25, N 5. – P. 533–544.
31. 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.
32. 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.
33. 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 29.03.2017