

УДК 581.144:633.11:631.89

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. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: oksanaoostrowska@ukr.net

АГРОФІЗІОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ ЛИСТКІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Вивчено закономірності формування середнього індексу, фотосинтетичного потенціалу, тривалості життя, мінімального, максимального індексу, максимальної амплітуди зазначеної ознаки ($LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)}$), середніх величин абсолютної, відносної швидкості росту, швидкості нетто асиміляції ($AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$) у верхніх листках пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості залежно від екологічно безпечних систем удобрення (ЕБСУ). Встановлено, що $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ є більш доречними для характеризувannya росту, розвитку, продуктивності фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої протягом трубкування – молочної стиглості порівняно з рештою вивчених показників за умов застосованих систем удобрення. Разом з тим показано, що становлення зернової продуктивності пшениці озимої за ЕБСУ позитивно корелює з ознаками потужності ($LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$) та ефективності функціонування асиміляційної системи верхніх листків рослин ($AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$). Зроблено висновки, що як перелічені ознаки потужності розвитку фотосинтетичного апарату, так і показники ефективності його функціонування у верхніх листках важливі для розкриття закономірностей формування продуктивності колосу рослин серед розглянутих ЕБСУ.

Ключові слова: пшениця озима, екологічно безпечні системи удобрення, листковий індекс, фотосинтетичний потенціал, тривалість життя листків, абсолютна та відносна швидкість росту, швидкість нетто асиміляції, зернова продуктивність колосу.

Вступ. З метою аналізу закономірностей формування біологічної продуктивності посіву сільськогосподарських культур доцільно визначати та розраховувати показники росту рослин зазначеного фітоценозу. Загалом, ростові індекси рослин поділяють на 2 групи: 1) показники, що відображають утворення, нагромадження, відплив і розподіл субстратів, асимілятів, – побудовані на основі величин вмісту сухої речовини в органах рослин; 2) ознаки, що характеризують розміри асиміляційної системи, – утворені з урахуванням площі листків [8, 18].

Серед другої категорії ознак росту рослин важливими є листковий індекс LAI (Leaf Area Index), фотосинтетичний потенціал PP (Photosynthetic Potential), тривалість життя листків LAD (Leaf Area Duration) [8, 18]. Справді, LAI, а отже, й похідні від нього PP, LAD визначають ефективність перехоплення й використання фотосинтетично активної радіації (ФАР), транспірації листкового покриву, тривалість і ефективність функціонування фотосинтетичного апарату листків рослин [7, 9, 18, 23, 29, 36]. Разом з тим LAI, PP істотно залежать від агротехнічних факторів, зокрема рівня мінерального живлення, систем удобрення, типу ґрунту та ін. [5, 14, 15, 19].

Важливими екологічними, фітоценотичними показниками листкового покриву є окремі характеристики динаміки LAI впродовж фаз вегетації та між вегетаційними періодами рослин. Справді, середня величина LAI за обліковий період ($LAI_{average}$, LAI_{mean}) характеризує нагромадження біомаси та рівень розвитку листкового покриву, тоді як різниця між сезонними величинами максимального і мінімального LAI ($LAI_{max}-LAI_{min}$) є ознакою швидкості “обігу” листків впродовж зазначеного періоду [35]. Показник $LAI_{average}$ застосовують для моделювання кліматичних умов, гросс-фотосинтезу та дихання екосистем [17, 24, 30]. Середні сезонні величини, $LAI_{average}$, важливі також для характеристики біомів (сукупність екосистем в одній природно-кліматичній зоні), загального стану рослинності впродовж вегетації [10, 13, 32].

Слід зазначити, що максимальна сезонна амплітуда LAI ($LAI_{max}-LAI_{min}$) визначається амплітудою надходження ФАР упродовж зазначеного періоду; при цьому теоретично передбачений LAI_{max} відповідає максимальному надходженню ФАР [11].

Максимальний сезонний, максимальний річний LAI_{max} є прогностичною величиною, яку застосовують для розрахунку теоретичної функції приросту LAI і добового інкременту сухої біомаси сільськогосподарських рослин (імітаційна модель біопродуктивності EPIC), у відомих симуляціях Community Earth System Models

(повністю об'єднане чисельне моделювання системи планети Земля, що складається з атмосфери, океану, льоду, поверхні землі, циклу вуглецю та ін.) [1, 16]. Теоретичні і фактичні взаємозалежності між LAI_{max} і величинами первинної нетто продуктивності екосистем NPP (Net Primary Productivity) забезпечують можливість побудови прогностичних математичних моделей розвитку LAI, дихання екосистем на основі зазначеного параметра [17, 22, 25, 31, 33, 34]. Передбачені й фактичні величини LAI_{max} , LAI_{min} застосовують у моделях земної поверхні, для оцінки біомів [10, 16, 17]. Разом з тим сезонні величини LAI_{max} сільськогосподарських культур істотно залежать від кліматичних, агротехнічних умов, зокрема від рівня мінерального живлення, системи удобрення та ін. При цьому між LAI_{max} і продуктивністю цих культур існують тісні прямо пропорційні взаємозалежності [21, 27].

Ознаки росту рослин першої групи також застосовують для вивчення впливу умов та рівня забезпечення поживними речовинами на формування продуктивності, врожаю сільськогосподарських культур. Справді, швидкість росту культури, швидкість нетто асиміляції, відносна швидкість росту рослини (відповідно CGR, NAR, RGR – Crop Growth Rate, Net Assimilation Rate, Relative Growth Rate) зазнають істотних змін залежно від системи, дози, способу застосування удобрення [12, 20, 26, 28]. У таких дослідженнях важливе значення мають логічні та математично-статистичні взаємозалежності між зазначеними показниками росту й загальною продуктивністю, рівнем врожайності сільськогосподарської культури.

Незважаючи на чималу кількість досліджень росту і розвитку сільськогосподарських рослин, у науковій літературі недостатньо даних щодо комплексного аналізу ознак зазначених процесів у зернових культур, зокрема пшениці озимої, за багатокомпонентних екологічно безпечних систем удобрення. Ми вивчили закономірності становлення $LAI_{average}$, PP, LAD, LAI_{min} , LAI_{max} , амплітуди $LAI_{max} - LAI_{min}$, а також величин абсолютної швидкості росту (AGR – Absolute Growth Rate), RGR, NAR верхніх листків пшениці озимої за багатокомпонентних ЕБСУ впродовж пререпродуктивного – репродуктивного періодів розвитку (фази онтогенезу трубкування – молочна стиглість); здійснили кореляційний аналіз взаємозалежностей між переліченими показниками та зерновою продуктивністю колосу. Аналіз отриманих результатів уможливив виділити ознаки росту зазначених органів пшениці озимої (трубкування – молочна стиглість), найбільш чутливі до застосованих систем удобрення і важливі для формування кінцевої продуктивності колосу пшениці озимої за ЕБСУ.

Матеріали і методи. Дослідження виконано у посівах пшениці озимої (*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 (Інститут 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)	10	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀ + BC + гній
		11	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀ + BC + ГД
8	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	12	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀ + BC + МД
9	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀ + BC	13	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀ + ХД

Примітка. BC – біостимулятор, ГД – гумусовмісне добриво, МД – мікробіологічне добриво, ХД – добриво на хелатній основі.

Площа дослідної мікроділянки – 1 м², повторення ділянок шестиразове, розташування – системне. Гній вносили під осінню оранку (40 т/га), гумусовмісне добриво (еко-імпульс, 1,5 л/га) – у фазі весняного кушення, мікробіологічне добриво (еко-ґрунт, 3,0 л/га) – у міжфазний період весняне кушення – трубкування, добриво на хелатній основі (роза-соль 18-18-18+125+ME, одноразова доза 1,0 л/га) та біостимулятор (тера-сорб, одноразова доза 0,5 л/га) – двічі за вегетацію у фазі повного кушення та колосіння. Фази онтогенезу пшениці озимої визначали за Майсуряном [3]. Верхні листки (прапорцевий, передпрапорцевий) відбирали у фазі трубкування, колосіння, цвітіння, молочної стиглості зерна загальноприйнятими методами [6] у трьох біологічних повтореннях. Визначали кількість продуктивних пагонів рослин на 1 м² посіву, площу верхніх листків [5], уміст сухої речовини у верхніх листках та зерні висушуванням зразків за 105 °С.

Середній індекс верхніх листків пшениці озимої у кожній фазі онтогенезу розраховували за формулою:

$$LAI_{ВЛi} = ((S_{(П-Σ)i} + S_{(ПП-Σ)i}) / n_{ВЛi}) \cdot N_{П}, LAI_{ВЛ} = \sum_{i=1}^{i=K} LAI_{ВЛi} / K.$$

У наведених рівняннях: LAI_{ВЛi}, S_{(П-Σ)i}, S_{(ПП-Σ)i}, n_{ВЛi} – середній індекс (усереднення за ярусами прапорцевих і передпрапорцевих листків, дм²/м² посіву), сумарна площа прапорцевих і передпрапорцевих листків (дм²), сумарна кількість верхніх листків

відповідно у фазі онтогенезу i ; N_{II} – середня кількість продуктивних пагонів (m^{-2}); $LAI_{BЛ}$ – середній індекс верхніх листків упродовж трубкування – молочної стиглості, dm^2/m^2 посіву, $K = 4$ – кількість облікованих фаз онтогенезу.

Фотосинтетичний потенціал верхніх листків пшениці озимої (трубкування – молочна стиглість) визначали за рівняннями [4]:

$$PP_{BЛ} = \int_{t=t_1}^{t=t_2} LAI_{BЛ}(t) dt, \quad PP_{BЛ} = \sum_{i=1}^{i=K-1} [0,5(LAI_{BЛi} + LAI_{BЛi+1})(t_{i+1} - t_i)] \cdot 0,01,$$

де $PP_{BЛ}$ – фотосинтетичний потенціал верхніх листків (трубкування – молочна стиглість, $(m^2 \cdot \text{добу})/m^2$ посіву), $LAI_{BЛ}(t)$ – див. вище; t_1, t_2 – початок і кінець облікового періоду, доба; $LAI_{BЛi}, LAI_{BЛi+1}, (t_{i+1} - t_i)$ – середній індекс верхніх листків у фазі онтогенезу $i, i+1$, dm^2/m^2 , тривалість періоду між фазами онтогенезу $i, i+1$, доба; $K - 1 = 3$ – кількість міжфазних періодів упродовж облікового періоду; $0,01$ – коефіцієнт перерахунку dm^2/m^2 у m^2/m^2 .

Середню тривалість життя верхніх листків пшениці озимої впродовж облікового періоду визначали за формулою [8, 18]:

$$LAD_{BЛ} = \sum_{i=1}^{i=K-1} (0,5(LAI_{BЛi} + LAI_{BЛi+1})(t_{i+1} - t_i)) \cdot 0,01.$$

Тут $LAD_{BЛ}$ – середня тривалість життя верхніх листків упродовж трубкування – молочної стиглості, діб; інші позначення – див. попередні рівняння. З наведених рівнянь очевидно, що $LAD_{BЛ}$ чисельно дорівнює $PP_{BЛ}$ і обидві ці величини характеризують потенційну середню тривалість функціонування фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої.

Мінімальні і максимальні $LAI_{BЛ(Min)}$, $LAI_{BЛ(Max)}$ у кожному з дослідних варіантів визначали як мінімум і максимум серед множини величин $LAI_{BЛi}$ пшениці озимої, виміряних у облікованих фазах онтогенезу:

$$LAI_{BЛ(Min)} = \text{Min}\{LAI_{BЛ1}, LAI_{BЛ2}, LAI_{BЛ3}, LAI_{BЛ4}\},$$

$$LAI_{BЛ(Max)} = \text{Max}\{LAI_{BЛ1}, LAI_{BЛ2}, LAI_{BЛ3}, LAI_{BЛ4}\}.$$

Тут $LAI_{BЛ1}-LAI_{BЛ4}$ – середній індекс верхніх листків у фазі онтогенезу: трубкування (1), колосіння (2), цвітіння (3), молочна стиглість (4).

Максимальна амплітуда $LAI_{BЛi}$ у кожному з дослідних варіантів упродовж облікового періоду становила $LAI_{BЛ(Max)}-LAI_{BЛ(Min)}$.

Середню абсолютну швидкість росту, середню відносну швидкість росту, середню швидкість нетто асиміляції (відповідно

AGR, RGR, NAR) у верхніх листках пшениці озимої протягом трубкування – молочної стиглості розраховували за формулами [8, 18]:

$$AGR_{BЛj} = (W_{i+1} - W_i) / (t_{i+1} - t_i), AGR_{BЛ} = \sum_{j=1}^{j=K-1} AGR_{BЛj} / (K-1);$$

$$RGR_{BЛj} = (\ln W_{i+1} - \ln W_i) / (t_{i+1} - t_i), RGR_{BЛ} = \sum_{j=1}^{j=K-1} RGR_{BЛj} / (K-1);$$

$$NAR_{BЛj} = [(W_{i+1} - W_i) / (S_{i+1} - S_i)] \cdot [(\ln S_{i+1} - \ln S_i) / (t_{i+1} - t_i)],$$

$$NAR_{BЛ} = \sum_{j=1}^{j=K-1} NAR_{BЛj} / (K-1).$$

У наведених рівняннях: $AGR_{BЛj}$, $RGR_{BЛj}$, $NAR_{BЛj}$ – середні величини AGR, RGR, NAR верхніх листків пшениці озимої впродовж міжфазного періоду j , тобто між фазами $i+1 - i$ (відповідно мг/добу, доба⁻¹, мг/(дм²•добу),); W_i , W_{i+1} , S_i , S_{i+1} , $(t_{i+1} - t_i)$ – середній вміст сухої речовини у верхніх листках, мг/г сирової речовини, середня площа зазначених листків, дм² (усереднення за ярусами прапорцевих, передпрапорцевих листків), тривалість періоду між фазами i , $i+1$, доба. $AGR_{BЛ}$, $RGR_{BЛ}$, $NAR_{BЛ}$ – середні величини AGR, RGR, NAR верхніх листків пшениці озимої впродовж облікового періоду (мг/добу, доба⁻¹, мг/(дм²•добу)); $K - 1 = 3$ – кількість міжфазних періодів.

Статистичний аналіз результатів досліджень, визначення коефіцієнтів кореляції виконано за Лакінім [2] та за допомогою комп'ютерної програми Excel 11.0.6560.0.

Результати та обговорення. Дослідженнями встановлено, що на контролі (вар. 1) середній індекс, фотосинтетичний потенціал, середня тривалість життя верхніх листків пшениці озимої впродовж фаз онтогенезу трубкування – молочна стиглість становили відповідно $LAI_{BЛ} = 86,56 \pm 4,15$ дм²/м² посіву, $PP_{BЛ} = 22,06 \pm 1,05$ (м²•добу)/м² посіву, $LAD_{BЛ} = 22,06 \pm 1,05$ діб (табл. 2). У вар. 8 відбулося одночасне збільшення $LAI_{BЛ}$, $PP_{BЛ}$, $LAD_{BЛ}$ на 26,8–27,3 % порівняно до вар. 1, у вар. 9–13 – узгоджене зростання величин перелічених показників на 10,0–50,9 % порівняно до вар. 8. Найменший рівень показників потужності розвитку фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої серед дослідних варіантів 1–13 та з-поміж вивчених технологій (вар. 8–13) відзначено на контролі й за умов внесення N₆₀P₉₀K₉₀ (вар. 1, 8; табл. 2). У групі вивчених ЕБСУ (вар. 9–13) мінімальні величини $LAI_{BЛ}$, $PP_{BЛ}$, $LAD_{BЛ}$ відзначено за N₆₀P₉₀K₉₀ + БС + ГД (вар. 11). Максимального рівня зазначених показників досягнуто за умов застосування N₆₀P₉₀K₉₀ + БС + гній (вар. 10; табл. 2).

2. Вплив ЕБСУ на фотосинтетичний потенціал, середні величини індексу та тривалість життя верхніх листків пшениці озимої (відповідно $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, трубкування – молочна стиглість; $M \pm m$, $n = 12$)

№ вар.	$LAI_{ВЛ}$, дм ² /м ² посіву	$PP_{ВЛ}$, (м ² •добу)/м ² посіву	$LAD_{ВЛ}$, дїб
1	86,56 ± 4,15	22,06 ± 1,05	22,06 ± 1,05
8	110,17 ± 5,62 ¹	27,98 ± 1,36 ¹	27,98 ± 1,36 ¹
9	121,19 ± 4,06 ^{1,8}	32,28 ± 0,99 ^{1,8}	32,28 ± 0,99 ^{1,8}
10	166,23 ± 9,31 ^{1,8}	42,12 ± 2,65 ^{1,8}	42,12 ± 2,65 ^{1,8}
11	135,34 ± 4,41 ^{1,8}	34,77 ± 1,17 ^{1,8}	34,77 ± 1,17 ^{1,8}
12	136,38 ± 6,82 ^{1,8}	35,48 ± 1,77 ^{1,8}	35,48 ± 1,77 ^{1,8}
13	157,37 ± 7,41 ^{1,8}	40,71 ± 1,86 ^{1,8}	40,71 ± 1,86 ^{1,8}

Примітка. Індекси ^{1, 8} – вірогідність різниці порівняно до варіантів 1, 8, відповідно $P < 0,001-0,05$. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

Таким чином, застосування добрив у дозі $N_{60}P_{90}K_{90}$ (вар. 8) зумовило узгоджене збільшення показників потужності розвитку фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої порівняно до контролю (вар. 1; трубкування – молочна стиглість). Разом з тим ЕБСУ (вар. 9–13) спричинили достовірне зростання $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$ щодо вар. 8 ($N_{60}P_{90}K_{90}$).

Параметри динаміки індексу верхніх листків пшениці озимої $LAI_{ВЛi}$ упродовж трубкування – молочної стиглості наведено у табл. 3: мінімальна, максимальна величини та максимальна амплітуда зазначеної ознаки – $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$. Отримані результати засвідчили, що мінеральна система удобрення (вар. 8) зумовила узгоджене збільшення перелічених показників відповідно на 20,8; 32,1; 108,4 % до контролю (вар. 1). Також ЕБСУ у вар. 9–13 привели до одночасного зростання $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ на 14,0–66,4 % та 9,0–56,4 % щодо вар. 8. Разом з тим за ЕБСУ у вар. 9, 11–13 відзначено зменшення величин $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ на 9,5–41,3 %, тоді як у вар. 10 – збільшення зазначеного параметра на 44,0 % щодо вар. 8 (табл. 3).

Встановлено, що збільшення $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ у вар. 8, 10 щодо вар. 1, 8 зумовлене значним зростанням $LAI_{ВЛ(Max)}$ і меншим – $LAI_{ВЛ(Min)}$. Навпаки, зменшення $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ у вар. 9, 11–13 щодо вар. 8 спричинене менш істотним приростом $LAI_{ВЛ(Max)}$ (табл. 3).

3. Параметри динаміки індексу верхніх листків пшениці озимої $LAI_{ВЛ}$ упродовж трубкування – молочної стиглості ($M \pm m$, $n = 12$)

№ вар.	$LAI_{ВЛ(Min)}$, дм ² /м ² посіву	$LAI_{ВЛ(Max)}$, дм ² /м ² посіву	$LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$, дм ² /м ²
1	76,89±3,61(Ц)	92,33±4,43(Т)	15,44±1,86
8	92,87±5,82 ^{1,8} (К)	121,93±9,89 ^{1,8} (Т)	32,18±7,10 ¹
9	105,85±5,36 ^{1,8} (Т)	132,86±3,06 ^{1,8} (Ц)	27,02±3,65 ¹
10	149,33±11,07 ^{1,8} (Ц)	190,65±4,20 ^{1,8} (Т)	46,33±6,31 ^{1,8}
11	125,52±5,19 ^{1,8} (Ц)	140,50±4,96 ^{1,8} (М)	18,89±3,90 ⁸
12	124,70±4,00 ^{1,8} (Ц)	151,96±12,34 ^{1,8} (К)	29,11±9,47 ^{1*}
13	154,55±12,83 ^{1,8} (М)	162,62±5,63 ^{1,8} (Т)	23,61±5,81 ^{1*,8}

Примітка. $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ – мінімальна, максимальна величина, максимальна амплітуда $LAI_{ВЛ}$ (трубкування – молочна стиглість). Індекси – достовірність різниці порівняно до вар. 1, 8 – $P < 0,001-0,05$; ^{1*}, ^{8*} – достовірність різниці щодо вар. 1, 8, відповідно $p = 0,858-0,864$. Літери в дужках Т, К, Ц, М – трубкування, колосіння, цвітіння, молочна стиглість, у яких досягнуто $LAI_{ВЛ(Min)}$ або $LAI_{ВЛ(Max)}$. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

Розподіл $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ за варіантами частково відрізняється від відповідного розподілу $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$. Так, найменші величини $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ були у вар. 1, 8 (відповідно контроль, $N_{60}P_{90}K_{90}$, табл. 3). Серед застосованих ЕБСУ (вар. 9–13) найнижчий рівень $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ встановлено у вар. 9 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC$), найбільші величини цих показників – у вар. 13, 10 (відповідно $N_{60}P_{90}K_{90} + ХД$, $N_{60}P_{90}K_{90} + BC + гній$). Розподіл за варіантами максимальних амплітуд $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ упродовж облікового періоду характеризується відповідним розподілом $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$. Так, найменші величини амплітуди були у вар. 1. Разом з тим у групі застосованих систем удобрення (вар. 8–13) найменшу $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ виявлено у вар. 11 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC + ГД$), тоді як найбільшу – у вар. 10 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC + гній$; табл. 3).

Слід зауважити, що розподіл $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ за фазами онтогенезу у кожному варіанті досліджу характеризувався чітко вираженою нерівномірністю. Зокрема у вар. 1, 10, 11, 12 $LAI_{ВЛ(Min)}$ відзначено у фазі цвітіння, у вар. 8, 9, 13 – відповідно у фазі колосіння, трубкування, молочної стиглості. У вар. 1, 8, 10, 13 $LAI_{ВЛ(Max)}$ досягнуто у фазі трубкування, у вар. 9, 11, 12 – відповідно у фазі цвітіння, молочної стиглості, колосіння. Очевидно, що зазначені особливості вказують на нерегулярність і відсутність однотипності динаміки $LAI_{ВЛ}$ у дослідних варіантах упродовж трубкування – молочної стиглості. Частково це може бути зумовлено такими

причинами: 1) включення в обліковий період фаз, що відповідають пререпродуктивному (трубкування, колосіння) та репродуктивному розвитку (цвітіння, молочна стиглість); 2) внесення елементів екологізації у різні фази онтогенезу та міжфазні періоди (весняне кушення, весняне кушення – трубкування, колосіння; див. “Матеріали і методи”); 3) специфічна реакція верхніх листків пшениці озимої на сумісний вплив декількох елементів екологізації за кожної ЕБСУ.

Наведені вище результати (табл. 2, 3) дозволяють зробити такі узагальнення. Застосування мінеральної системи удобрення $N_{60}P_{90}K_{90}$ (вар. 8) зумовило збільшення величин $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ пшениці озимої порівняно до контролю (вар. 1). Вивчені екологічно безпечні технології (вар. 9–13) привели до зростання перших п’яти серед перелічених показників щодо вар. 8. Такі результати узгоджуються з даними у науковій літературі щодо чутливості LAI , PP , LAD , LAI_{min} , LAI_{max} до систем удобрення, рівня мінерального живлення тощо [5, 14, 15, 19, 21, 27]. Очевидно, що вказані вище ознаки характеризують середню ($LAI_{ВЛ}$), інтегральну ($PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$), мінімальну та максимальну ($LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$) потужність фотосинтетичного апарату, продуктивність асиміляційної системи верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості [5, 7, 8, 10, 13, 18, 32, 35]. При цьому величина цих показників є пропорційною до метаболічної активності верхніх листків рослин [1, 16, 17, 22, 24, 25, 30, 31, 33, 35].

Беручи до уваги наведені вище особливості розподілу $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ в умовах вивчених систем удобрення, впливають такі твердження. Максимальна амплітуда $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$, швидше за все, не може бути показником швидкості “обігу” листків і, очевидно, не пропорційна амплітуді ФАР упродовж облікового періоду технологій. Також фактичний $LAI_{ВЛ(Max)}$, вірогідно, не збігається з максимальним ФАР [11, 35]. Вважаємо, що $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ за досліджених ЕБСУ прямо пропорційна до максимальних величин потоків енергії й речовини через фотосинтетичний апарат верхніх листків пшениці озимої протягом трубкування – молочної стиглості. Інакше кажучи, $LAI_{ВЛ(Max)}-LAI_{ВЛ(Min)}$ є характеристикою максимальної пропускну здатності асиміляційної системи зазначених органів щодо потоків енергії й речовини впродовж облікового періоду.

На наступному етапі досліджень вивчено показники, які характеризують утворення сухої речовини (субстрати, асиміляти) з верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості за умов застосованих добрив у технологіях вирощування культури. Встановлено, що на контролі (вар. 1) середні величини

абсолютної, відносної швидкості росту та швидкості нетто асиміляції у верхніх листках рослин впродовж облікового періоду становлять $AGR_{ВЛ} = 0,10 \pm 0,33$ мг/добу, $RGR_{ВЛ} \times 10^2 = 0,08 \pm 0,25$ доба $^{-1} \times 10^2$, $NAR_{ВЛ} = 0,37 \pm 1,07$ мг/(дм 2 •добу) (табл. 4). У вар. 8 відбулося збільшення $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$, $NAR_{ВЛ}$ відповідно на 0,24 мг/добу, 0,24 діб $^{-1} \times 10^2$, 1,24 мг/(дм 2 •добу), порівняно до вар. 1. ЕБСУ у вар. 9, 10, 12 зумовили зменшення $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$, $NAR_{ВЛ}$ на 0,32–1,42 мг/добу, 0,31–1,17 діб $^{-1} \times 10^2$, 1,49–5,72 мг/(дм 2 •добу), тоді як екологічно безпечні дози добрив у технології у вар. 11 – збільшення перелічених показників на 0,28 мг/добу, 0,20 діб $^{-1} \times 10^2$, 0,50 мг/(дм 2 •добу) щодо вар. 8. За ЕБСУ у вар. 13 відбулося зростання $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$ на 0,08 мг/добу, 0,06 діб $^{-1} \times 10^2$, одночасне зменшення $NAR_{ВЛ}$ на 0,33 мг/(дм 2 •добу).

4. Вплив ЕБСУ на середні величини абсолютної, відносної швидкості росту, швидкості нетто асиміляції верхніх листків пшениці озимої (відповідно $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$; трубкування – молочна стиглість; $M \pm m$, $n = 6$)

№ вар.	$AGR_{ВЛ}$, мг/добу	$RGR_{ВЛ} \times 10^2$, доба $^{-1} \times 10^2$	$NAR_{ВЛ}$, мг/(дм 2 •добу)
1	$0,10 \pm 0,33$	$0,08 \pm 0,25$	$0,37 \pm 1,07$
8	$0,34 \pm 0,26$	$0,32 \pm 0,28^{1*}$	$1,61 \pm 1,47$
9	$-1,08 \pm 0,45^{1,8}$	$-0,85 \pm 0,45^{1,8}$	$-4,11 \pm 1,70^{1,8}$
10	$0,02 \pm 0,40$	$0,01 \pm 0,35^{8*}$	$0,12 \pm 1,43^8$
11	$0,62 \pm 0,54$	$0,52 \pm 0,46$	$2,11 \pm 1,89$
12	$-0,32 \pm 0,44^{1*,8*}$	$-0,29 \pm 0,39^{8*}$	$-1,31 \pm 1,60^{1*,8}$
13	$0,42 \pm 0,47$	$0,38 \pm 0,44$	$1,28 \pm 1,45$

Примітка. Індeksi $^1, ^8$ – вірогідність різниці щодо варіантів 1, 8, відповідно $P < 0,001-0,05$; $^{1*}, ^{8*}$ – вірогідність різниці щодо варіантів 1, 8, відповідно $p = 0,829-0,973$. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

Мінімальні величини $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$ були у вар. 12 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC + MD$), найменший рівень $NAR_{ВЛ}$ – у вар. 9 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC$). Максимальні величини перелічених показників встановлено у вар. 11 ($N_{60}P_{90}K_{90} + BC + GD$).

Отримані результати узгоджуються з даними у науковій літературі щодо чутливості CGR, NAR, RGR до систем удобрення, забезпечення поживними речовинами [12, 20, 26, 28]. При цьому вірогідність різниць показників $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$, $NAR_{ВЛ}$ порівняно до вар. 1, вар. 8 є переважно низькою (табл. 4): для ознак, величини яких не позначені індексом і зірочкою у табл. 4, вірогідність різниці

щодо вар. 1, 8 – $< 0,829$. Вважаємо, що зазначені особливості частково можна пояснити такими самими причинами, що й нерегулярність, неоднаковість динаміки $LAI_{ВЛ}$. Від'ємні величини $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ} \times 10^2$, $NAR_{ВЛ}$ у вар. 9, 12 можуть бути зумовлені такими самими чинниками, а також поступовим зменшенням площі та вмісту сухої речовини у верхніх листках пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості.

Результати досліджень засвідчили, що в умовах вивчених систем удобрення ознаки $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$ доцільно використовувати для окреслення тенденцій росту й розвитку верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості. Низький рівень вірогідності різниць перелічених індексів росту щодо вар. 1, вар. 8 не дає підстав вважати саме ці показники базовими для точного характеризування продуктивності асиміляційної системи верхніх листків впродовж облікового періоду за умов застосованих ЕБСУ. Разом з тим розглянуті ознаки прямо пропорційні середній пропускній здатності фотосинтетичного апарату листків рослин, пов'язані з потоками енергії й речовини продовж облікового періоду. Цей факт підсилює доцільність використання показників $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$. Крім того, очевидно, що $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$ важливі для аналізу продукційного процесу, оскільки уможлиблюють об'єднати вивчення утворення й відпливу асимілятів з донорів (листки) та нагромадження асимілятів у акцепторі (колос).

Враховуючи викладене, доцільно вважати, що найбільш вагомою оцінкою релевантності вивчених агрофізіологічних ознак є їхня координація з показниками кінцевої продуктивності рослин. Міцність зазначених взаємозв'язків вивчено за допомогою методів двовимірного кореляційного аналізу. За результативні ознаки X1, X2 обрано середній вміст сухої речовини зерен у колосі з розрахунку відповідно на колос та 1 м² посіву (фаза повної стиглості, M_3 , г/колос; $M_{Пз}$, г/м²; табл. 5). Факторіальні ознаки: 1) Y1 – $LAI_{ВЛ}$, Z1 – $PP_{ВЛ}$, U1 – $LAD_{ВЛ}$; 2) Y2 – $LAI_{ВЛ(Min)}$, Z2 – $LAI_{ВЛ(Max)}$, U2 – $(LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)})$; 3) Y3 – $AGR_{ВЛ}$, Z3 – $RGR_{ВЛ}$, U3 – $NAR_{ВЛ}$. Зіставлення ознак здійснено за такими парами варіантів: 1) вар. 1 – вар. 8; 2) вар. 8 – вар. п.

Встановлено, що за зіставлення вар. 1–8 існують тісні прямо пропорційні співвідношення між показниками $M_{Пз}$ та $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, але відсутня кореляція між $M_{Пз}$ й $LAD_{ВЛ}$: $r_{x1y1} = 0,90$, $r_{x1z1} = 0,89$, $P < 0,020$; $r_{x1u1} = 0,49$, $r = 0,733$ (табл. 6). У парах варіантів 8–9 ... 8–13 відзначено лише додатну кореляцію між переліченими ознаками: r_{x1y1} , r_{x1z1} , $r_{x1u1} = 0,83–0,94$, $P < 0,010–0,050$.

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

№ вар.	Вміст сухої речовини у зерні	
	у колосі, M_3 , г/колос	на 1 м ² посіву, $M_{ПЗ}$, г/м ²
1	1,199 ± 0,068	384,94 ± 21,99
8	1,541 ± 0,104 ¹	627,34 ± 42,44 ¹
9	1,566 ± 0,078 ¹	686,06 ± 34,16 ^{1,8}
10	1,586 ± 0,103 ^{1,8}	820,04 ± 53,41 ^{1,8}
11	1,554 ± 0,104 ^{1,8*}	758,29 ± 50,74 ^{1,8}
12	1,511 ± 0,105 ^{1,8}	675,29 ± 46,90 ^{1,8}
13	1,558 ± 0,104 ^{1,8}	747,83 ± 50,01 ^{1,8}

Примітка. Індекси ^{1, 8} – вірогідність різниці щодо варіантів 1, 8, відповідно $P < 0,001-0,05$; ^{8*} – вірогідність різниці порівняно до варіанта 8, відповідно $p = 0,881$. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

6. Двовимірні кореляційні взаємозалежності між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої з розрахунку на 1 м² посіву, $M_{ПЗ}$, та $PhP_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$ рослин упродовж трубкування – молочної стиглості за дії ЕБСУ

Пари зіставлених варіантів	$r_{x_1y_1}$	$r_{x_1z_1}$	$r_{x_1u_1}$
1–8	0,90; $P < 0,020$	0,89; $P < 0,020$	0,49; $p = 0,733$
8–9	0,94; $P < 0,010$	0,91; $P < 0,020$	0,90; $P < 0,020$
8–10	0,90; $P < 0,020$	0,90; $P < 0,020$	0,92; $P < 0,010$
8–11	0,93; $P < 0,010$	0,92; $P < 0,010$	0,90; $P < 0,020$
8–12	0,86; $P < 0,050$	0,84; $P < 0,050$	0,91; $P < 0,020$
8–13	0,85; $P < 0,050$	0,83; $P < 0,050$	0,93; $P < 0,010$

Примітка. $r_{x_1y_1}$, $r_{x_1z_1}$, $r_{x_1u_1}$ – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними $x_1 - M_{ПЗ}$, $y_1 - LAI_{ВЛ}$, $z_1 - PhP_{ВЛ}$, $u_1 - LAD_{ВЛ}$; p – вірогідність коефіцієнта кореляції; $P < 0,010$ – $P < 0,050$ – вірогідність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,010–0,050. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

У разі зіставлення вар. 1–8, вар. 8–9 ... 8–13 встановлено прямо пропорційні співвідношення між $M_{ПЗ}$ та $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$: $r_{x_1y_2}$, $r_{x_1z_2} = 0,74-0,92$, $P < 0,020-0,100$ (табл. 7).

Між $M_{ПЗ}$ і $LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)}$ є позитивна кореляція у парах вар. 1–8, 8–9, 8–10, 8–12: $r_{x_1u_2} = 0,72-0,78$, $p = 0,961-0,965$, $P < 0,100$. У парах вар. 8–11, 8–13 відсутні вірогідні лінійні співвідношення $M_{ПЗ} - (LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)})$ (табл. 7).

7. Вплив ЕБСУ на двовимірні лінійні взаємозалежності між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої з розрахунку на 1 м² посіву, $M_{Пз}$, та $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)}$, трубкування – молочна стиглість

Пари зіставлених варіантів	$\Gamma_{x_1y_2}$	$\Gamma_{x_1z_2}$	$\Gamma_{x_1u_2}$
1–8	0,79; P<0,100	0,88; P<0,050	0,75; P<0,100
8–9	0,88; P<0,020	0,90; P<0,020	0,73; p=0,965
8–10	0,91; P<0,020	0,89; P<0,020	0,78; P<0,100
8–11	0,89; P<0,020	0,89; P<0,020	0,43; p=0,658
8–12	0,74; P<0,100	0,92; P<0,020	0,72; p=0,961
8–13	0,78; P<0,100	0,90; P<0,020	0,54; p=0,796

Примітка. $\Gamma_{x_1y_2}$, $\Gamma_{x_1z_2}$, $\Gamma_{x_1u_2}$, $\Gamma_{x_1v_2}$ – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними $x_1 - M_{Пз}$, $y_2 - LAI_{ВЛ(Min)}$, $z_2 - LAI_{ВЛ(Max)}$, $u_2 - LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)}$, $v_2 - \Delta LAI_{ВЛ}$; p – вірогідність коефіцієнта кореляції; P < 0,020 – P < 0,100 – вірогідність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,020–0,100. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

За умов зіставлення вар. 1–8, вар. 8–9 ... 8–13 виявлено прямо пропорційні співвідношення між M_3 та $AGR_{ВЛ(T-МC)}$, $RGR_{ВЛ(T-МC)}$, $NAR_{ВЛ(T-МC)}$: $\Gamma_{x_2y_3}$, $\Gamma_{x_2z_3}$, $\Gamma_{x_2u_3} = 0,60-0,93$, p = 0,872–0,936, P < 0,010–0,100 (табл. 8). Лише у парі вар. 8–9 вірогідність кореляції $M_3 - AGR_{ВЛ(T-МC)}$ була відносно низькою: $\Gamma_{x_2y_3} = 0,60$, p = 0,872.

8. Коефіцієнти двовимірної кореляції між вмістом сухої речовини у зерні пшениці озимої з розрахунку на 1 колос, M_3 , та $AGR_{ВЛ(T-МC)}$, $RGR_{ВЛ(T-МC)}$, $NAR_{ВЛ(T-МC)}$ упродовж трубкування – молочної стиглості за дії ЕБСУ

Пари зіставлених варіантів	$\Gamma_{x_2y_3}$	$\Gamma_{x_2z_3}$	$\Gamma_{x_2u_3}$
1–8	0,75; P<0,100	0,79; P<0,100	0,82; P<0,050
8–9	0,60; p=0,872	0,66; p=0,920	0,68; p=0,936
8–10	0,82; P<0,050	0,85; P<0,050	0,86; P<0,050
8–11	0,85; P<0,050	0,87; P<0,050	0,91; P<0,020
8–12	0,86; P<0,050	0,88; P<0,050	0,89; P<0,020
8–13	0,89; P<0,020	0,89; P<0,020	0,93; P<0,010

Примітка. $\Gamma_{x_2y_3}$, $\Gamma_{x_2z_3}$, $\Gamma_{x_2u_3}$ – коефіцієнти двовимірної кореляції між змінними $x_2 - M_3$, $y_3 - AGR_{ВЛ}$, $z_3 - RGR_{ВЛ}$, $u_3 - NAR_{ВЛ}$; p – вірогідність коефіцієнта кореляції; P < 0,010 – P < 0,100 – вірогідність коефіцієнта кореляції за рівня значимості 0,010–0,100. Зміст варіантів 1–13 див. табл. 1.

Результати кореляційного аналізу свідчать про наявність прямо пропорційних співвідношень між зерновою продуктивністю колосу пшениці озимої (M_3 , г/колос, $M_{Пз}$, г/м²; повна стиглість) та $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$, $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$ (трубкування – молочна стиглість) за умов вивчених систем удобрення. Менш переконливі закономірності є у випадку взаємозалежностей між $M_{Пз}$ і $(LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)})$.

Таким чином, у формування зернової продуктивності пшениці озимої на основі досліджених ЕБСУ безсумнівно роблять вагомий внесок обидві групи ознак росту верхніх листків: 1) $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$, що відображають утворення, нагромадження та відтік асимілятів із зазначених органів, а також є прямо пропорційними до середніх величин потоків енергії й речовини через фотосинтетичний апарат; 2) $LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$ – характеризують розміри асиміляційної системи (площа листового покриву), тривалість її функціонування у верхніх листках і, отже, детермінують величини щільності потоків енергії, речовини через ці листки та є прямо пропорційними до метаболічної активності в них.

Висновки. Результати досліджень свідчать, що традиційна мінеральна система удобрення зумовила зростання продуктивності колоса пшениці озимої (вміст сухої речовини зерен у колосі з розрахунку на колос та 1 м² посіву – відповідно M_3 , г/колос; $M_{Пз}$, г/м²) на 28,5–63,0 % щодо контролю (вар. 8 проти вар. 1). Приріст M_3 , $M_{Пз}$ за ЕБСУ у вар. 9–11, 13 порівняно до вар. 8 становив відповідно 0,8–2,9 %, 9,4–30,7 %. Застосування ЕБСУ у вар. 12 спричинило зменшення M_3 на 2,0 % і побіжне збільшення $M_{Пз}$ на 7,6 %.

Дослідженнями встановлено, що в умовах вивчених систем удобрення середній листовий індекс, фотосинтетичний потенціал, середня тривалість життя, мінімальна та максимальна величини листового індексу ($LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$) є більш доречними для характеризування росту, розвитку, продуктивності фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої впродовж трубкування – молочної стиглості порівняно з максимальною амплітудою листового індексу, абсолютною та відносною швидкістю росту, швидкістю нетто асиміляції у зазначених органах (відповідно $LAI_{ВЛ(Max)} - LAI_{ВЛ(Min)}$, $AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$). Разом з тим, як ознаки потужності розвитку фотосинтетичного апарату ($LAI_{ВЛ}$, $PP_{ВЛ}$, $LAD_{ВЛ}$, $LAI_{ВЛ(Min)}$, $LAI_{ВЛ(Max)}$), так і показники ефективності його функціонування у верхніх листках ($AGR_{ВЛ}$, $RGR_{ВЛ}$, $NAR_{ВЛ}$) важливі для розкриття особливостей формування продуктивності колосу рослин за умов застосування ЕБСУ.

Вивчені закономірності можуть бути використані для створення логічних, імітаційних моделей онтогенетичної динаміки ознак потужності, ефективності фотосинтетичного апарату верхніх листків та прогнозування зернової продуктивності пшениці озимої за ЕБСУ.

Список використаної літератури

1. Евтюшкин А. В. Мониторинг аграрных ресурсов по разновременным данным ERS-2/SAR / А. В. Евтюшкин, В. М. Брыксин, Н. В. Рычкова // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 5 (51). – С. 79–82.
2. Лакин Г. Ф. Биометрия / Лакин Г. Ф. – М. : Высшая шк., 1990. – 352 с.
3. Майсуриян Н. А. Практикум по растениеводству / Майсуриян Н. А. – М. : Колос, 1970. – 446 с.
4. 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.
5. Прядкіна Г. О. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої озимої пшениці за різного рівня мінерального живлення / Г. О. Прядкіна, В. В. Швартау, Л. М. Михальська // Физиология и биохимия культурных растений. – 2011. – Т. 43, № 2. – С. 158–163.
6. Сирота Ф. Н. Основы аналитической химии та сільськогосподарський аналіз / Сирота Ф. Н. – К. : Вища шк., 1970. – 222 с.
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. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops / G. L. Hammer [et al.] // J. Exp. Bot. – 2010. – V. 61, N 8. – P. 2185–2202.
10. Asner G. P. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies / G. P. Asner, J. M. O. Scurlock, J. A. Hicke // Glob. Ecol. Biogeography. – 2003. – V. 12, N 3. – P. 191–205.

11. Caldararu S. Inferring Amazon leaf demography from satellite observations of leaf area index / S. Caldararu, P. I. Palmer, D. W. Purves // *Biogeosci.* – 2012. – V. 9, N 4. – P. 1389–1405.
12. Mahamood J. Comparative growth and grain yield responses of soybean genotypes to phosphorous fertilizer application / J. Mahamood, Y. A. Abayomi, M. O. Aduloju // *African J. Biotechnol.* – 2009. – V. 8, N 6. – P. 1030–1036.
13. Dragovic S. Effect of stand density on formation of leaves and leaf area of sugarbeet under irrigation / S. Dragovic, L. Maksimovic, Dj. Karagic // *J. Sugar Beet Res.* – 1996. – V. 33, N 1/4. – P. 45–54.
14. Effects of long-term mixed application of organic and inorganic fertilizers on canopy apparent photosynthesis and yield of winter wheat / J. Zhao [et al.] // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* – 2015. – V. 26, N 8. – P. 2362–2370.
15. Effects of phosphorus fertilization on leaf area index, biomass accumulation and allocation, and phosphorus use efficiency of intercropped maize / Chen Y. X. [et al.] // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* – 2013. – V. 24, N 10. – P. 2799–2806.
16. Evaluation of land surface models in reproducing satellite derived leaf area index over the high-latitude Northern Hemisphere. Part II: Earth System Models / A. Anav [et al.] // *Remote Sensing.* – 2013. – V. 5, N 8. – P. 3637–3661.
17. Evaluation of land surface models in reproducing satellite-derived LAI over the high-latitude Northern Hemisphere. Part I: uncoupled DGVMs / G. Murray-Tortarolo [et al.] // *Remote Sensing.* – 2013. – V. 5, N 10. – P. 4819–4838.
18. Hunt R. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners / Hunt R. – London : Unwin Hyman, 1990. – 112 p.
19. Impact of combined exposure of chemical, fertilizer, bio-fertilizer and compost on growth, physiology and productivity of Brassica campestris in old alluvial soil / Datta J. K. [et al.] // *J. Environ. Biol.* – 2009. – V. 30, N 5. – P. 797–800.
20. Influence of plant population and nitrogen-fertilizer at various levels on growth and growth efficiency of maize / M. I. Tajul [et al.] // *The Scientific World Journal.* – 2013. – V. 11. – P. 1–9.
21. Influence of stand, site and meteorological variables on the maximum leaf area index of beech, oak and Scots pine / R. Bequet [et al.] // *Eur. J. Forest Res.* – 2012. – V. 131, N 2. – P. 283–295.
22. Leaf area index and net primary productivity along subtropical to alpine gradients in the Tibetan Plateau / T. Luo [et al.] // *Glob. Ecol. Biogeograp.* – 2004. – V. 13, N 4. – P. 345–358.

23. Leaf area index estimation for a greenhouse transpiration model using external climate conditions based on genetics algorithms, back-propagation neural networks and nonlinear autoregressive exogenous models / H. Wang [et al.] // *Agricultural Water Management*. – 2017. – V. 183. – P. 107–115.

24. Leaf area index is the principal scaling parameter for both gross photosynthesis and ecosystem respiration of Northern deciduous and coniferous forests / A. Lindroth [et al.] // *Tellus*. – 2008. – V. 60, N 2. – P. 129–142.

25. Leaf area index simulation in soybean grown under near-optimal conditions / T. D. Setiyono [et al.] // *Field Crops Res.* – 2008. – V. 108, N 1. – P. 82–92.

26. Optimum irrigation and integrated nutrition improves the crop growth and net assimilation rate of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) / M. Saleem [et al.] // *Pak. J. Bot.* – 2010. – V. 42, N 5. – P. 3659–3669.

27. Pepó P. Evaluation of the yield production of C3 (*Triticum aestivum* L.) and C4 (*Zea mays* L.) cereals with a new plant physiological parameter / P. Pepó, E. Vári // *J. Animal Plant Sci.* – 2016. – V. 26, N 3. – P. 716–724.

28. Physiological indices, biomass and economic yield of maize influenced by humic acid and nitrogen levels / K. K. Azeem [et al.] // *Basic Res. J. Agric. Sci. Rev.* – 2015. – V. 4, N 6. – P. 158–163.

29. Plant functional diversity increases grassland productivity-related water vapor fluxes: an Ecotron and modeling approach / A. Milcu [et al.] // *Ecol.* – 2016. – V. 97, N 8. – P. 2044–2054.

30. Projections of leaf area index in earth system models / N. Mahowald [et al.] // *Earth Syst. Dynam.* – 2016. – V. 7, N 1. – P. 211–229.

31. Relationships between net primary productivity and forest stand age in U.S. forests / L. He [et al.] // *Glob. Biogeochem. Cycles*. – 2012. – V. 26, N 3. – P. 3942–3961.

32. Seasonal changes in leaf area of Amazon forests from leaf flushing and abscission / A. Samanta [et al.] // *J. Geophys. Res. Biogeosci.* – 2012. – V. 117, N 11. – P. 1015–1027.

33. Semiempirical modeling of abiotic and biotic factors controlling ecosystem respiration across eddy covariance sites / M. Migliavacca [et al.] // *Glob. Change Biol.* – 2011. – V. 17, N 1. – P. 390–409.

34. Simulation models of leaf area index and yield for cotton grown with different soil conditioners / L. Su [et al.] // *PLoS One*. – 2015. – V. 10, N 11. – P. 141835–141853.

35. Space-time LAI variability in Northern Puglia (Italy) from SPOT VGT data / G. Balacco [et al.] // *Environ. Monit. Assess.* – 2015. – V. 187, N 7. – P. 434–448.

36. Study on light interception and biomass production of different cotton cultivars / Z. Bai [et al.] // *PLoS One.* – 2016. – V. 11, N 5. – P. 156335–156351.

Отримано 23.08.2017