

УДК 581.1:631.8

© 2021

## ВПЛИВ АГРОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ НА АКТИВНІСТЬ ХЛОРОФІЛУ РОСЛИН СОЇ

I.M. Малиновська<sup>1</sup>, Ю.П. Борко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН

<sup>2</sup> кандидат сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 26, смт Чабани Фастівського р-ну

Київської обл., Україна

e-mail: <sup>1</sup>irina.malinovskaya.1960@ukr.net, <sup>2</sup>yulia\_borko@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-5945-2042, <sup>2</sup>0000-0002-6277-8980

Надійшла 18.01.2021

**Мета.** Дослідити закономірності функціонування фотосинтетичного апарату рослин сої за різних елементів технології вирощування культури. **Методи.** Експериментально-польовий метод застосовували для вирощування рослин сої сорту Сіверка з використанням удосконалених технологій, лабораторно-аналітичний — для визначення характеристик фотосинтетичного апарату рослин сої, статистичний — для обрахунку статистичних відхилень від середнього значення. **Результати.** Вищою активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна у фазі наливу бобів характеризувалися рослини сої у варіанті з унесенням мінеральних добрив дозами  $N_{100}P_{60}K_{100}$  і  $N_{40}P_{40}K_{60}$  на фоні заорювання екзогенної органічної речовини. Збільшення дози мінеральних добрив сприяє підвищенню активності хлорофілу на 56,0%, активності ферментів циклу Кальвіна — на 53,1%. Із заорюванням побічної продукції на фоні мінеральних добрив активність хлорофілу зростає на 33,3%. У фазі повної стиглості максимальною активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна характеризуються рослини у варіантах з унесенням мінеральних добрив дозою  $N_{40}P_{40}K_{60}$  та контролю (без добрив) без заорювання побічної продукції попередника в сівозміні. У варіанті із максимальною дозою добрив і високою активністю хлорофілу та ферментів циклу Кальвіна впродовж вегетаційного періоду у фазі повної стиглості були найнижчі показники серед досліджуваних варіантів. Збільшення дози добрив призводить до зниження активності хлорофілу на 48,7%, активності ферментів циклу Кальвіна — на 36,2%. **Висновки.** Застосування методу індукції флуоресценції хлорофілу дає змогу об'єктивно оцінити фізіологічний стан рослин сої впродовж вегетаційного періоду та врахувати значущість впливу екзогенних і ендогенних чинників.

**Ключові слова:** флуоресценція, фотосинтез, листя, функціональний стан, фізіологічні процеси, цикл Кальвіна.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202102-03>

Природно-кліматичні умови лісостепової зони України загалом сприятливі для вирощування більшості сільськогосподарських

культур. Для ефективного використання біокліматичного потенціалу ґрунтово-кліматичної зони та особливостей сучасних

сортів сільськогосподарських культур велике значення має поглиблення досліджень фізіологічних процесів рослинних організмів із застосуванням різних агрозаходів [1]. Зокрема, за впровадження новітніх технологій вирощування сільськогосподарських культур об'єктивна інформація щодо стану посівів дасть змогу здійснювати науково обґрунтоване управління продукційним процесом з урахуванням реальних потреб рослини [2–4].

Застосування інтенсивних технологій у рослинництві, розроблення і використання наукоємних методів точного землеробства сприяють впровадженню різноманітних автоматизованих систем моніторингу стану сільськогосподарських угідь, які дають можливість оперативно оцінити стан рослинного покриву. Одним із сучасних методів отримання даних про стан і фізіологічні процеси в рослинах є метод індукції флуоресценції хлорофілу рослин у червоному спектрі світла [5, 6]. Фотосинтез — ключова ланка складного процесу онтогенезу, що забезпечує ріст і розвиток рослин відповідно до їхніх генетичних особливостей. У процесі фотосинтезу відбувається перетворення енергії світла, асиміляція вуглецевих сполук за допомогою біохімічних енергетичних зв'язків продуктів фотосинтезу.

За різного рівня фотосинтетично активної радіації (ФАР), температур і впливу зовнішніх факторів, зокрема і стресових чинників, у рослинах змінюється стан фотосинтетичного апарату та продуктивність фотосинтезу. Індикатором подібних фізіологічних змін є хлорофіл, локалізований у фотосинтетичних мембранах із певними спектральними властивостями, зміни яких можна детектувати та реєструвати в режимі реального часу. Саме на основі цього отримують необхідну інформацію для експрес-діагностики стану клітин [6–8].

Дослідження фізіологічних процесів рослин з метою розроблення та наукового обґрунтування заходів, спрямованих на підвищення врожаїв і поліпшення їх якості, є актуальними.

**Мета досліджень** — вивчення закономірностей функціонування фотосинтетичного апарату рослин сої за різних елемен-

тів технології вирощування. Об'єкт досліджень — зміни активності хлорофілу залежно від агрозаходів, застосовуваних за інтенсивної технології вирощування сої.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводили в стаціонарному досліді відділу інтенсивних технологій зернових колосових культур і кукурудзи «Розробка і удосконалення технологій вирощування зернових культур на основі розширеного відтворення родючості ґрунту» ННЦ «Інститут землеробства НААН» у 2014–2015 рр. Система удобрення містила: варіант 1 — унесення мінеральних добрив у дозі  $N_{20}P_{30}K_{30}$ ; 2 —  $N_{40}P_{60}K_{60}$ ; 3 —  $N_{100}P_{60}K_{100}$ ; 5 —  $N_{60}P_{90}K_{90}$ ; 6 —  $N_{40}P_{40}K_{60}$ ; 10 — контроль (без добрив); у схемі варіантів досліді № 1–3, 5, 6, 10 передбачається заорювання побічної продукції (Пп) попередника в сівозміні; 11 —  $N_{40}P_{40}K_{60}$  без Пп; 12 — контроль (без добрив) без Пп. У досліді вирощували сою сорту Сіверка, попередник — озимі зернові. Площа посівної ділянки — 60 м<sup>2</sup>, облікової — 24,0 м<sup>2</sup>. Повторність — 4-разова. Ґрунт дослідної ділянки — темно-сірий опідзолений крупнопилуватолегкосуглинковий на лесоподібному суглинку з умістом гумусу 1,46–1,96% (за Тюрнімом); легкогідролізованого азоту — 61–94 мг/кг ґрунту (за Корнфілдом), рухомого фосфору та обмінного калію (за Чиріковим) — відповідно 89–225 і 105–188 мг/кг ґрунту; рН<sub>con</sub> — 5,2–5,5. Система обробітку ґрунту загальноприйнята для зони проведення досліджень і передбачала під сою зяблеву оранку на 20–22 см, ранньовесняне закриття вологи та передпосівну культивування. Амофос (52% д. р.  $P_2O_5$ ) та калійну сіль (60% д. р.  $K_2O$ ) вносили під основний обробіток ґрунту, аміачну селітру (34,4% д. р. N) — під передпосівну культивування.

Для вивчення функціональних характеристик фотосинтетичного апарату рослин сої використовували метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) — реєстрацію флуоресценції хлорофілу листків, кінетика якої має характерний вигляд кривої (крива Каутського) і відображає параметри первинних процесів фотосинтезу, що змінюються залежно від умов вирощування рослин [6–8]. Невикористана у фотосинтезі енергія поглинутих квантів світла

переходить або в тепло, або у флуоресценцію хлорофілу. Параметри флуоресценції, які є показником стану та ефективності процесів фотосинтезу, визначали за допомогою однопроменевого флуорометра «Флоратест» за 3-хвилинного режиму.

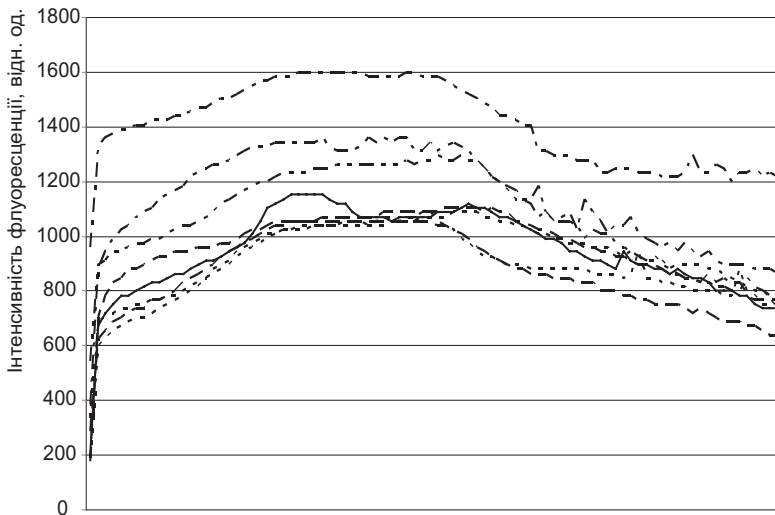
Статистичну обробку та математичний аналіз результатів досліджень здійснювали за допомогою програм MS Excel 10.0 та STATISTICA 7.0.

**Результати досліджень.** Наукові дослідження вітчизняних та іноземних учених свідчать про можливість використання ефекту ІФХ для експресної оцінки життєздатності рослин, що перебувають під впливом біотичних та абіотичних чинників — посухи, приморозків, унесення пестицидів, визначення оптимальних доз мінеральних добрив, забруднення довкілля шкідливими речовинами техногенного походження. Це дає можливість автоматизувати дослідження в галузі рослинництва, визначати оптимальні дози мікроелементів, мінеральних добрив, стимуляторів росту тощо [9, 10].

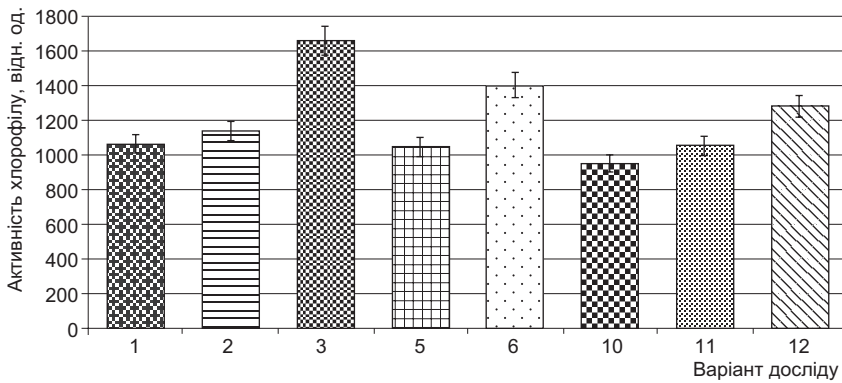
Установлено, що активність хлорофілу листків сої сорту Сіверка змінюється впродовж вегетації. У фазах кінця цвітіння вона становить майже 2293 відн. од., наливу

бобів — 1204, повної стиглості — 243 відн. од. Максимальною активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна у фазі наливу бобів характеризуються рослини сої у варіанті з унесенням мінеральних добрив дозами  $N_{100}P_{60}K_{100}$  і  $N_{40}P_{40}K_{60}$  на фоні заорювання екзогенної органічної речовини (рис. 1–3). Збільшення дози мінеральних добрив сприяє підвищенню активності хлорофілу на 56,0%, ферментів циклу Кальвіна — на 53,1%. Із заорюванням побічної продукції на фоні мінеральних добрив активність хлорофілу зростає на 33,3% (див. рис. 2). Однак у варіанті без добрив тенденція до зменшення активності хлорофілу в результаті заорювання екзогенної органічної речовини порівняно з попередньою фазою розвитку рослин посилюється на 35%. Аналогічно змінюється активність ферментів циклу Кальвіна: заорювання побічної продукції на фоні мінеральних добрив призводить до активізації ферментів, а на фоні без добрив — до інактивації ферментів (див. рис. 3).

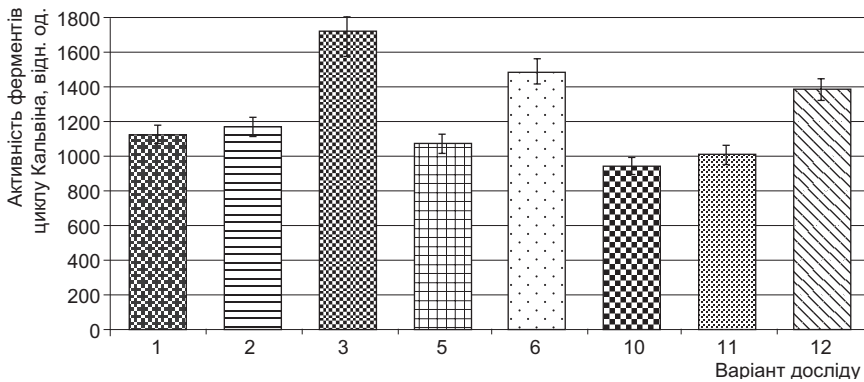
За показниками впливу екзогенних чинників у фазі наливу бобів, як і у фазі цвітіння — утворення бобів, вирізняються варіанти без добрив (із заорюванням побічної



**Рис. 1.** Індуція зміни флуоресценції хлорофілу листків сої сорту Сіверка у фазі наливу бобів під впливом заорювання побічної продукції рослинництва варіанти (— — — 1, — — — 2, — — — 3, — — — 5, — — — 6, — — — 10, — — — 11, — — — 12) та внесення мінеральних добрив у дозах: 1 —  $N_{20}P_{30}K_{30}$ , 2 —  $N_{40}P_{60}K_{60}$ , 3 —  $N_{100}P_{60}K_{100}$ , 5 —  $N_{60}P_{90}K_{90}$ , 6 —  $N_{40}P_{40}K_{60}$ , 10 — без добрив, 11 —  $N_{40}P_{40}K_{60}$ , 12 — без добрив (для рис. 1–5)



**Рис. 2.** Активність хлорофілу листків сої сорту Сіверка у фазі наливу бобів під впливом заорювання побічної продукції рослинництва та внесення мінеральних добрив у різних дозах



**Рис. 3.** Активність ферментів циклу Кальвіна листків сої сорту Сіверка у фазі наливу бобів під впливом заорювання побічної продукції рослинництва та внесення мінеральних добрив у різних дозах

**1.** Показники стану апарату фотосинтезу рослин сої сорту Сіверка у фазі наливу бобів під впливом агротехнічних заходів в умовах польового досліджу

Варіант		Індикаторний показник, %		
		впливу екзогенних чинників	квантового виходу флуоресценції	ендогенних чинників
1. $N_{20}P_{30}K_{30}$	заорювання побічної продукції	35,7	38,3	27,7
2. $N_{40}P_{60}K_{60}$		21,8	21,5	36,0
3. $N_{100}P_{60}K_{100}$		28,7	25,7	37,7
5. $N_{60}P_{90}K_{90}$		25,0	29,3	26,7
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$		41,3	40,0	58,0
10. —		31,0	34,3	38,7
11. $N_{40}P_{40}K_{60}$		33,7	39,7	75,7
12. —		28,3	33,8	29,0

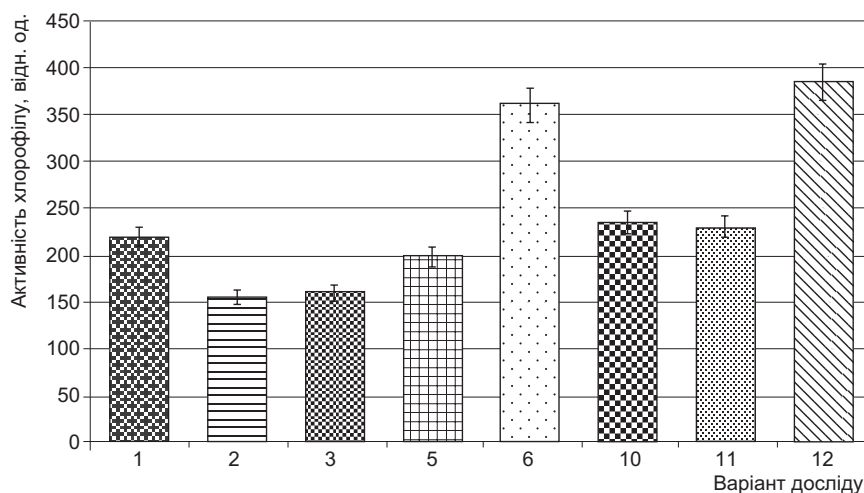
**2. Показники стану апарату фотосинтезу рослин сої сорту Сіверка у фазі повної стиглості під впливом агротехнічних заходів в умовах польового досліді**

Варіант		Індикаторний показник, %		
		впливу екзогенних чинників	квантового виходу флуоресценції	ендогенних чинників
1. $N_{20}P_{30}K_{30}$	заорювання побічної продукції	8,0	4,7	54,3
2. $N_{40}P_{60}K_{60}$		13,7	4,0	45,7
3. $N_{100}P_{60}K_{100}$		3,7	2,0	36,0
5. $N_{60}P_{90}K_{90}$		10,0	5,3	25,0
6. $N_{40}P_{40}K_{60}$		41,3	40,0	58,0
10. —		3,7	0,0	21,7
11. $N_{40}P_{40}K_{60}$		8,7	6,7	55,0
12. —		8,3	1,0	31,0

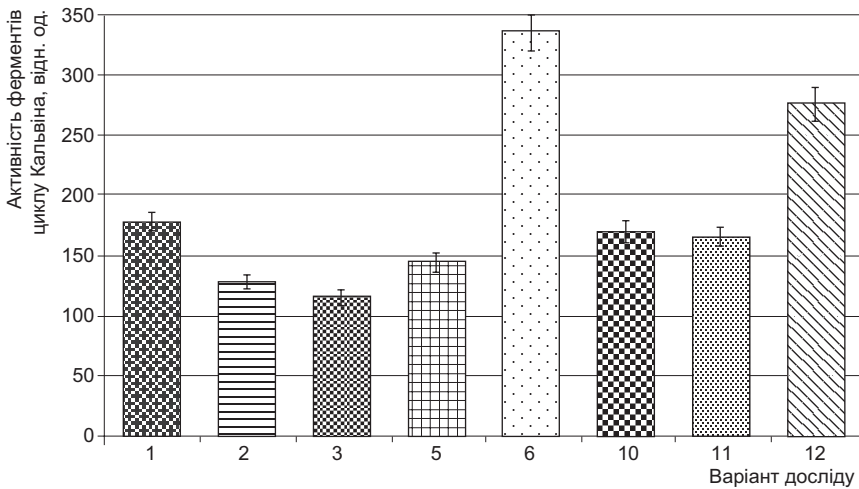
продукції і без) та з мінімальною дозою мінеральних добрив (табл. 1). З підвищенням дози мінеральних добрив зменшується вплив на стан фотосинтетичного апарату екзогенних чинників із 35,7 до 21,8 і 28,7%. І навпаки, оптимізація мінерального живлення рослин супроводжується зростанням ролі ендogenous чинників із 27,7 до 37,7%. Заорювання побічної продукції попередника сприяє зростанню впливу екзогенних факторів на фотосинтетичний апарат рослин сої на фоні внесення мінеральних добрив

і без їх унесення. Аналогічну залежність відзначено і для ендogenous чинників на фоні без унесення добрив, а за внесення мінеральних добрив — протилежну: спостерігається зниження чутливості фотосинтетичного апарату до ендogenous чинників. Порівняно з попередньою фазою розвитку рослин показники впливу екзогенних і ендogenous чинників зменшуються майже вдвічі (табл. 1, 2).

Максимальною активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна у фазі повної



**Рис. 4. Активність хлорофілу листків сої сорту Сіверка у фазі повної стиглості під впливом заорювання побічної продукції рослинництва та внесення мінеральних добрив у різних дозах**



**Рис. 5.** Активність ферментів циклу Кальвіна листків сої сорту Сіврка у фазі повної стиглості під впливом заорювання побічної продукції рослинництва та внесення мінеральних добрив у різних дозах

стиглості характеризуються рослини у варіантах з унесенням мінеральних добрив дозою  $N_{40}P_{40}K_{60}$  (варіант № 6) та контролю (без добрив) без заорювання побічної продукції попередника в сівозміні (варіант № 12) (рис. 4, 5). У варіанті № 3 з максимальною дозою добрив, який характеризувався високою активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна впродовж вегетаційного періоду, у фазі повної стиглості були найнижчі показники серед досліджуваних варіантів. Підвищення дози добрив у фазі повної стиглості призво-

дить до зниження активності хлорофілу на 48,7%, ферментів циклу Кальвіна — на 36,2%.

Заорювання побічної продукції залежно від фону по-різному впливає на обидва досліджувані показники: на фоні з мінеральними добривами внесення екзогенної речовини активізує хлорофіл на 52,3%, ферменти циклу Кальвіна — на 111%; на фоні без добрив унесення екзогенної органічної речовини спричиняє зниження активності хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна на 60,4 і 66,7% відповідно.

## Висновки

Максимальною активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна у фазі наливу бобів характеризуються рослини сої у варіанті з унесенням мінеральних добрив у дозах  $N_{100}P_{60}K_{100}$  і  $N_{40}P_{40}K_{60}$ . Найбільшою активністю хлорофілу і ферментів циклу Кальвіна у фазі повної стиглості відзначаються рослини у варіантах з унесенням мінеральних добрив дозою  $N_{40}P_{40}K_{60}$  та без добрив і без заорювання побічної продукції попередника в сівозміні.

Експериментально доведено, що параметри кінетики флуоресценції хлоро-

філу мають велику інформативність для оцінки стану первинних процесів фотосинтезу рослин у реальному часі. Основні параметри індукційної кривої можна використовувати як тестові показники для визначення стійкості рослин до дії несприятливих факторів техногенно сформованих едафотопів. Зміни цих показників характеризують процеси, пов'язані з впливом середовища на перебіг світлових і темнових фаз фотосинтетичних процесів у хлоропластах. Застосування методу індукції флуоресценції хлорофілу дає



зможу об'єктивно оцінити фізіологічний стан рослин сої впродовж вегетаційного

періоду і врахувати значущість впливу екзогенних та ендогенних чинників.

Malynovska I.<sup>1</sup>, Borko Yu.<sup>2</sup>

NSC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv region, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>irina.malinovskaya.1960@ukr.net, <sup>2</sup>yulia\_borko@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-5945-2042, <sup>2</sup>0000-0002-6277-8980

### **Influence of agro-technical measures on chlorophyll activity of soybean plants**

**Goal.** To study the laws of functioning of the photosynthetic apparatus of soybean plants under different elements of culture technology. **Methods.** The experimental field method was used for growing soybean plants of the Siverka variety using advanced technologies, the laboratory-analytical method was used to determine the characteristics of the photosynthetic apparatus of soybean plants, and the statistical method was used to calculate statistical deviations from the mean value. **Results.** The higher activity of chlorophyll and enzymes of the Calvin cycle in the bean filling phase was observed in soybean plants in the variant with the application of mineral fertilizers in doses of  $N_{100}P_{60}K_{100}$  and  $N_{40}P_{40}K_{60}$  on the background of plowing of exogenous organic matter. Increasing the dose of mineral fertilizers increased the activity

of chlorophyll by 56.0%, the activity of enzymes of the Calvin cycle — by 53.1%. With the plowing of by-products on the background of mineral fertilizers, the activity of chlorophyll increased by 33.3%. In the phase of full maturity, the maximum activity of chlorophyll and enzymes of the Calvin cycle was characterized by plants in variants with the application of mineral fertilizers at a dose of  $N_{40}P_{40}K_{60}$  and control (without fertilizers) without plowing by-products of the predecessor in crop rotation. The variant with the maximum dose of fertilizers and high activity of chlorophyll and enzymes of the Calvin cycle during the growing season in the phase of full maturity had the lowest indices among the studied variants. Increasing the dose of fertilizers led to a decrease in the activity of chlorophyll by 48.7%, the activity of Calvin cycle enzymes — by 36.2%. **Conclusions.** The use of the method of induction of chlorophyll fluorescence allows to objectively assess the physiological state of soybean plants during the growing season and to take into account the significance of the influence of exogenous and endogenous factors.

**Key words:** fluorescence, photosynthesis, leaves, functional state, physiological processes, Calvin cycle.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202102-03>

## **Бібліографія**

1. Темрієнко О.О. Фотосинтетична та насінєва продуктивність посівів сої залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу Правобережного. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Т. 2. Вип. 100. С. 75–85.
2. Каленська С.М., Новіцька Н.В., Джемсюк О.В. Формування площі листової поверхні сої під впливом інюкуляції та підживлення. *Вісник Полтавської Державної аграрної академії*. 2016. № 3. С. 6–10.
3. Білинська В.І. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2015. № 7 (172). С. 74–80.
4. Корсун С.Г., Груша В.В., Довбаш Н.Т. Індукція флуоресценції хлорофілу в листках кукурудзи за умов забруднення важкими металами. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. С. 36–41.
5. Брайон О.В., Корнєєв Д.Ю., Снегур О.О., Кутаєв О.І. Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою індукції

флуоресценції хлорофілу. Методичні вказівки для студентів біологічного факультету. Київ: Вид.-поліграф. центр Київського ун-ту, 2000. 15 с.

6. Корнєєв Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев: Альтерпрес, 2002. 188 с.

7. Лакович Д. Основы флуоресцентной спектроскопии. Москва: Мир, 1968. 496 с.

8. Butler W.L. Chlorophyll fluorescence: a probe for electron transfer and energy transfer. *Encyclopedia of Plant Physiology*. ed. by Trebst A., Avron. Berlin: Springer, 1977. V. 5. P. 149–167.

9. Muller N.J.C. Beziehungen zwischen Assimilation, Absorption und Fluoreszenz im Chlorophyll des lebenden Blattes. *Jahrbucher Wissenschaftliche Botanik*. 1974. V. 9. P. 42–49.

10. Strasser R., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. *Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis*; ed. by Papageorgiou G.C., Govindjee. The Netherlands, Dordrecht: Springer, 2004. P. 322–362.