

А.І. ГЕРЦ, О.Б. КОНОНЧУК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: herts@chem-bio.com.ua

ВПЛИВ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ПЛАНТАФОЛОМ НА ДЕЯКІ ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ КУЛЬТУРНОЇ (*GLYCINE MAX* MOENCH.)

Досліджено ефективність позакореневого підживлення сої культурної комплексним мінеральним добривом Плантафол 10.54.10 у ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області. Виявлено, що застосування добрива збільшує надземну масу та густоту рослин, загальну масу насіння на рослинах та його вагомість, а відтак, підвищує врожай зерна культури на 4,9 ц/га. Методом індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) виокремлено групу параметрів флуоресценції хлорофілу *a*, зокрема квантовий вихід NPQ (ϕ NPQ), частка світлової енергії, що поглинається ФС II та втрачається через нерегульовані процеси (ϕ NO), що можуть обумовлювати відмінності у продуктивності сорту, позаяк є чутливими до позакореневого внесення добрива Плантафол.

Ключові слова: соя культурна, *Glycine max* Moench., Плантафол, позакореневе підживлення, насіннева продуктивність, флуоресценція, індукція флуоресценції хлорофілу, нефотохімічне гасіння, ефективність фотохімії ФС II

У світі важливою олійною і білковою культурою є соя. Саме цій рослині належать лідируючі позиції із виробництва харчової олії та забезпеченні людства високобілковими продуктами харчування. Частка соєвої олії у загальному світовому виробництві становить біля 30%. Олія сої належить до групи лінолево-олеїнових напіввисихаючих харчових олій, які необхідні для людини, як джерело енергії, незамінних жирних кислот, жиророзчинних вітамінів тощо. За вмістом у насінні та якісним складом білки сої перевищують інші продовольчі та кормові сільськогосподарські культури. Вони включають усі незамінні амінокислоти і велику кількість біологічно активних сполук, що в цілому дуже наближує їх до тваринних білків [1, 2].

Унікальний хімічний склад сої, який поєднується із її властивістю до симбіотичної фіксації атмосферного азоту, спонукає все більше приділяти уваги вирощуванню цієї культури. Так, в Україні, як і всьому світі, спостерігається тенденція зростання валового виробництва сої. Якщо в Україні у 2000 р. було висіяно сою на площі 60,6 тис. га і зібрано 64,4 тис. т зерна, то у 2010 р. – 1,04 млн. га і 1,68 млн. т, 2017 р. – 1,98 млн. га і 3,90 млн. т. Зростання виробництва відбувалось, перш за все, за рахунок розширення посівних площ та незначного збільшення урожайності, яка у 2017 р. становила 19,7 ц/га, що далеко не вичерпує можливості сучасних сортів цієї культури [20].

Для досягнення високих показників продуктивності сої, як і всіх культурних рослин, необхідно оптимально поєднати процеси фотосинтезу, живлення і морфогенезу [5].

Фотосинтез є складним фізіологічним процесом утворення органічних речовин із мінеральних за участі енергії сонця, який лежить в основі накопичення біологічної маси зеленими рослинами, а отже і формування урожаю сільськогосподарськими культурами.

Адаптація рослин до умов навколишнього середовища, а відтак підтримка гомеостазу між вуглецевмісними (вуглеводи, ліпіди), азотовмісними сполуками (нуклеїнові кислоти, амінокислоти, білки) та вторинними метаболітами (терпени, алкалоїди, фенольні сполуки) відбувається через зміну засвоєння, розподілу вуглецю і поживних речовин. Такі зміни, у більшості випадків, підтримують ріст і розвиток рослин, впливають на стан фотосинтетичного апарату (ФА), зокрема, на перебіг первинних процесів фотосинтезу (ППФ). Останні, як

правило, оцінюються через явище флуоресценції хлорофілу *a* та описуються біофізичними параметрами [4].

Відомо, що позакоренева обробка мікродобривами впливає на величину антени світлозбиральних комплексів (СЗК), кількість активної форми хлорофілу в СЗК фотосистеми II (ФС II), Q_b невідновлювальних комплексів [3] та на квантову ефективність фотохімічного перетворення енергії (ФПСII) загалом. Існуючий зв'язок між ефективністю фотохімії ФС II та активністю рибулозобісфосфаткарбоксилази (РБФК), як ключового ферменту темної фази фотосинтезу, обумовлює зміни продуктивності фотосинтезу загалом [3, 21].

Отже, фотосинтез залежить від багатьох чинників, тісно пов'язаний з іншими фізіологічними процесами, у тому числі і мінеральним живленням, яке забезпечує рослину необхідними хімічними елементами, включає їх до обміну речовин та є одним із основних факторів регулювання росту, розвитку і продуктивності. Крім того, сам фотосинтез є необхідною умовою ефективного використання елементів мінерального живлення, адже постачає для цього процесу енергію [4, 5, 10, 19].

Соя, як квіткова рослина, переважну кількість мінеральних елементів живлення поглинає із ґрунту кореневою системою, а також здатна засвоювати їх надземними органами, тобто позакоренево. Тому, дуже часто для усунення недоліків ґрунтового живлення, застосовують швидко і дієво позакоренево підживлення, яке компенсує обмежене надходження мінеральних речовин з ґрунту через їх нестачу чи за зниженої активності кореневої системи рослин. Необхідно зазначити, що ефективність дії позакореневого підживлення залежить від багатьох чинників, таких як фенологічна стадія росту рослини, дефіцит певного елемента мінерального живлення у ґрунті, погодних умов тощо [5, 8, 10, 13, 16].

Сучасні добрива для позакореневого підживлення рослин виготовляються із хімічно чистої сировини з високим ступенем подрібнення, із низькою вологістю та включенням мікроелементів у хелатній формі з додаванням стабілізаторів, прилипачів тощо [7].

Відповідно до цього, метою роботи було дослідити ефективність позакореневого підживлення сої культурної комплексним мінеральним добривом Плантафол 10.54.10 за показниками фотосинтетичного апарату і продуктивністю в ґрунтово-кліматичних умовах Тернопільської області.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом дослідження була соя культурна (*Glycine max* Moench.) сорту Аннушка та комплексне мінеральне добриво Плантафол 10.54.10.

Сорт сої Аннушка належить до скоростиглих сортів із вегетацією 75-85 днів, має зерновий напрямок використання та високий потенціал продуктивності – до 42 ц/га і більше. В Україні є національним стандартом для скоростиглих сортів [14].

Добриво Плантафол 10.54.10 (Plantafol 10.54.10) виробляється італійською фірмою Валагро (Valagro SpA) та поширюється в Україні ТОВ «АгріСол» [6].

Плантафол 10.54.10 містить азоту – 10%, фосфору – 54%, калію – 10%, а також мікроелементи – бор 0,02% і хелати у формі EDTA: заліза – 0,01%, марганцю – 0,05%, цинку – 0,05%, міді – 0,005% [16].

Польові досліді проводили на території агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка на важкосуглинистому чорноземі типовому із *дуже високим вмістом обмінного калію*, низьким вмістом легкогідролізованого азоту, сірки, кобальту і цинку, середньою забезпеченістю гумусом, фосфором, марганцем, *близькою до нейтральної* реакцією ґрунтового розчину тощо (табл. 1).

Польові досліді проводили за загальноприйнятою для Лісостепу України технологію вирощування сої [11], але без застосування пестицидів і ґрунтового внесення добрив. Строк сівби – перша декада травня, спосіб – широкорядний з міжряддям 45 см, норма – 700 тис./га, попередник – кукурудза на зерно.

Агрохімічні показники ґрунту агробіолабораторії ТНПУ

Агрохімічний показник	Результат аналізу	Забезпеченість
кислотність: обмінна <i>pH</i> сол.	5,6	бл. до нейтральної
гідролітична, мг-екв./100 г	2,16	бл. до нейтральної
сума ввібраних основ, мг-екв./100 г	19,0	підвищена
вміст в орному шарі гумусу, %	2,63	середня
легкогідролізований азот, мг/кг	102	низька
рухомий фосфор, мг/кг	71	середня
обмінний калій, мг/кг	189	дуже висока
S, мг/кг	2,60	дуже низька
B, мг/кг	0,69	висока
Mn, мг/кг	9,34	середня
Co, мг/кг	0,09	низька
Cu, мг/кг	0,25	підвищена
Zn, мг/кг	1,05	низька
Cd, мг/кг	0,06	не перевищує ГДК
Pb, мг/кг	1,01	не перевищує ГДК

У фенологічних стадіях росту «поява суцвіття – початок цвітіння» (ВВСН 51-61 (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie)) сою двічі з інтервалом 10 діб обприскували розчином добрива Плантафол 10.54.10 концентрацією 3 г/л з розрахунку витрати робочого розчину 300 л/га. Рослини контрольного варіанту зволожували водою.

Розміщення варіантів досліду послідовне із 4-разовою повторністю.

Під час стадії «кінець цвітіння» (ВВСН 69) досліджували стан фотосинтетичного апарату сої методом індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) за допомогою РАМ-флуорометра MultispeQ V1.0 [23].

Структуру та величину урожаю сої визначали у фенологічну стадію старіння після повного відмирання надземної частини рослин (ВВСН 97). Для встановлення продуктивності культури застосовували метод пробних майданчиків [9].

Повторність досліджень від 6 до 100 і більше разової. Статистичне опрацювання даних проводили за допомогою програми *MS Excel*[®] та *RStudio*. Достовірність відмінностей між вибірками визначалася за t-критерієм Стьюдента.

Результати досліджень та їх обговорення

Мікроелементи у формі хелатів металів є найбільш доступними для сільськогосподарських культур. Відомий їх вплив на чисту продуктивність фотосинтезу, врожайність та якість насіннєвого матеріалу [3, 8]. Через дію на компоненти антиоксидантної системи рослин [17], а відтак на фотосинтетичну активність листового апарату, вони здатні забезпечувати стійкість рослинного організму до хвороб та інших стресових факторів зовнішнього середовища.

Одним із ефективних шляхів виявлення раннього стресу в рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Аналіз даних ІФХ дає можливість оцінити критичні параметри та з'ясувати зміни у функціональній активності фотосинтетичного апарату за дії позакореневої обробки мікродобривами. Зміни флуоресценції хлорофілу є відображенням окисно-відновлювального стану реакційних центрів (РЦ) ФС II [21].

Дослідження реакції фотосинтетичної системи рослин сої на позакореневе підживлення Плантафолом 10.54.10 виявило відсутність прямого впливу використаного мінерального добрива на квантовий вихід фотохімії ФС II (Φ_{PSII}). Водночас, відносний вміст хлорофілу (SPAD), який корелює із загальним вмістом азоту в листках рослин [23], статистично значимо зростав (табл. 2).

Флуоресцентні параметри та відносний вміст хлорофілів у листках сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Плантафол 10.54.10, в.о., $M \pm SD^{**}$

Параметри	Контроль	Дослід
Φ_{PSII}	0,50±0,03	0,51±0,04
ϕ_{NPQ}	0,20±0,02	0,17±0,02*
ϕ_{NO}	0,30±0,02	0,32±0,02*
NPQt	0,68±0,07	0,60±0,06*
qL	0,33±0,04	0,34±0,05
LEF	114,57±21,64	110,22±18,87
SPAD	47,02±2,95	50,09±2,43*

Примітки: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем; ** SD – середнє арифметичне значення та його середнє квадратичне відхилення; Φ_{PSII} – квантова ефективність ФС II, NPQt – нефотохімічне гасіння, оцінене без темної адаптації, ϕ_{NPQ} – квантовий вихід NPQ, ϕ_{NO} – частка світлової енергії, що поглинається ФС II та втрачається через нерегульовані процеси; qL – частка відкритих реакційних центрів ФС II, LEF – лінійний електронний транспорт, SPAD – відносний вміст хлорофілу.

Враховуючи те, що флуоресценція хлорофілу є обернено пропорційною до фотосинтетичної активності листків [21] та конкурує із фотохімічним (qP) та нефотохімічним гасінням хлорофілу (NPQ) [18, 23], спостерігається зниження рівня останнього у дослідному варіанті, що був оцінений за відсутності темної адаптації рослин (NPQt). Ймовірно, це може бути обумовлено не лише різними рівнями фотохімічного розділення зарядів у РЦ дослідних та контрольних рослин, а й різною інтенсивністю лінійного транспорту електронів (LEF). Однак, окисно-відновний стан Q_A (первинний хіноновий акцептор електронів ФС II), оцінка якого здійснювалась за показником qL (кількість відкритих РЦ у ФС II) [21] і лінійний електронний транспорт (LEF) контрольної та дослідної груп суттєво не відрізнялись (табл. 2).

Отже, застосоване комплексне добриво Плантафол знижує частку теплової дисипації надлишкової світлової енергії у РЦ ФС II, але статистично значимо не впливає на LEF. Раніше, у роботах [18, 22], було продемонстровано, що швидка компонента нефотохімічного гасіння (qE), у порівнянні з LEF, є більш чутливою до зміни CO_2 та O_2 [18].

Відомо, що за умов, коли активність світлових реакцій значно перевищує інтенсивність ензиматичних процесів у циклі Кальвіна, який утилізує АТФ і НАДФН, відбувається зниження рН люмена тилакоїда [18]. Такий дисбаланс світлової і темної стадій фотосинтезу запускає ланцюг процесів, які призводять до виникнення теплової дисипації квантів. При цьому, основний внесок у процес нефотохімічного гасіння має qE [21], що залежить від трансмембранного градієнту протонів і ступеня деепоксидзації пігментів ксантофілового циклу [18, 21].

Для аналізу стану підкислення просвіту тилакоїдів та активності АТФ-синтази, були використані параметри ECSt, g_{H^+} та v_{H^+} [18], що оцінюються через явище електрохромної зміни абсорбції хлоропластів у ділянці 520 нм [12, 18] та характеризують зміни рН люмена тилакоїда і відтік протонів через АТФ-синтазу відповідно [18, 21]. Зниження рівня ECSt, яке спостерігається за умов позакореневої обробки рослин добривом Плантафол (табл. 3), обумовлювало зниження рівня NPQt та ϕ_{NPQ} , що згідно літературних даних, є закономірним [18, 21, 22]. Відтак, тенденція до підкислення тилакоїдного простору, що наявна у контролі, обумовлює зростання протонної провідності (g_{H^+}) АТФ-синтази та швидкості відтоку протонів через АТФ-синтазу (v_{H^+}) (табл. 3). Остання є критичною зв'язуючою ланкою між світловими та темновими реакціями фотосинтезу і метаболізмом рослинного організму загалом [18].

Отже, за дії Плантафолу на рослини сої, на фоні відсутності достовірної різниці у швидкості лінійного електронного транспорту порівняно з контрольною групою, зменшується рівень NPQt. Під час цього, зростає загальна кількість активних РЦ ФС I ($p < 0,05$), а відтак

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

спостерігається тенденція до зменшення частки відкритих та окислених РЦ ФС I [18, 22], що, можливо, у кінцевому результаті призведе до збільшення рівня АТФ через циклічний транспорт електронів та збільшення кількості відновлених еквівалентів НАДФН.

Таблиця 3

Флуоресцентні параметри листків сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Плантафол 10.54.10, у.о., М±SD

Параметри	Контроль	Дослід
<i>ECSt</i>	537±185	481±125
g_H^+	197±19,80	191±17,62
v_H^+	0,10±0,03	0,09±0,02
загальна к-ть активних центрів ФС I	1,94±0,38	2,19±0,32*
частка відкритих центрів ФС I	0,99±0,43	0,89±0,15
частка центрів ФС I в окисленому стані	0,33±0,20	0,25±0,12

Примітки: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем; *ECSt* – загальна величина затухання електрохромної зміни абсорбції хлоропластів, mAU; g_H^+ – протонна провідність АТФ-синтази хлоропластів; v_H^+ – стаціонарна швидкість потоку протонів крізь АТФ-синтазу хлоропласта.

Дослідження продуктивності сої культурної сорту Аннушка виявило, що позакореневе підживлення комплексним мінеральним добривом Плантафол підвищує врожай зерна культури на 4,9 ц/га (табл. 4).

Аналіз елементів продуктивності показав, що зростання урожаю відбувалось за рахунок формування на 15,0% вищої біологічної надземної маси із вищою на 8,0% густотою стеблостою та зростання насінневої продуктивності переважно за рахунок підвищення загальної маси насіння на рослинах на 10,2% і його вагомості – на 7,9% порівняно з контролем. За дії Плантафолу відбувалось збільшення на 6,4% висоти кріплення нижніх бобів, а також виявлена тенденція до зростання на 5,7% кількості бобів і на 2,1% кількості насінин на рослинах (табл. 4).

Таблиця 4

Основні елементи продуктивності сої культурної сорту Аннушка за дії добрива Плантафол 10.54.10, М±m

Показник	Контроль	Плантафол
густота рослин, тис. шт./га	507,4±6,8	548,1±15,9*
висота рослин, см	75,1±0,9	75,2±1,0
біологічний урожай надземної маси без листя, ц/га	51,5±0,8	59,2±2,0*
кількість бобів на 1 рослину, шт.	17,7±0,5	18,7±0,7
довжина бобів, см	4,0±0,07	3,9±0,03
висота кріплення нижніх бобів, см	14,0±0,3	14,9±0,4*
кількість насінин на 1 рослину, шт.	32,8±1,0	33,5±1,2
маса насіння на 1 рослину, г	5,9±0,18	6,5±0,23*
кількість насінин в 1 бобові, шт.	1,86±0,02	1,83±0,03
маса 1000 насінин (вагомість), г	180,6±3,2	194,9±2,6*
біологічний урожай зерна, ц/га	28,4±0,7	33,3±1,4*

Примітки: * – $p < 0,05$ різниця вірогідна порівняно з контролем

Отже, основними чинниками зростання продуктивності сої культурної за дії добрива Плантафол було підвищення маси надземних органів і густоти рослин під час збирання урожаю, збільшення загальної маси зерна на рослинах та його вагомості, що відповідає даним, щодо високої чутливості останнього показника на екзогенні впливи [2].

Підвищення зернової продуктивності сої сорту Аннушка на 17,3% під впливом позакореневого підживлення Плантафолом 10.54.10 відповідає літературним даним, щодо 15,0-

18,0% зростання урожаю зерна соєю після передпосівної обробки насіння та дворазового позакореневого підживлення мікродобривами [15].

Висновки

Отже, польові дослідження показали, що позакореневе підживлення добривом Плантафол 10.54.10 дозволяє зменшити негативну дію дефіциту деяких поживних елементів у ґрунті та підвищити урожай зерна сої культурної в умовах Тернопільської області за рахунок стимулювання фотосинтетичних, ростових і продукційних процесів. Одержані дані вказують на доцільність і перспективність позакореневого використання комплексного мінерального добрива під час вирощування сої, яке підвищує її продуктивність у місцевих ґрунтово-кліматичних умовах.

1. Адамень Ф. Ф., Сичкарь В. И., Письменов В. Н., Шерстобитов В. В. Соя: промышленная переработка, кормовые добавки, продукты питания. 2-е изд. Киев : Нора-принт, 2003. 476 с.
2. Біологічний азот / Патица В. П. та ін. Київ : Світ, 2003. 424 с.
3. Богдан М. М. Фізіологічне обґрунтування застосування комплексних добрив у посівах пшениці озимої : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.12. Умань, 2016. 23 с.
4. Герц А. І., Конончук О. Б. Зміна деяких фізіологічних показників рослин *Phaseolus vulgaris* L. за різної концентрації наномолібдену. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. 2017. № 1 (68). С. 106-115.
5. Городній М. М. Агрохімія : підруч. Київ : Арістей, 2008. 936 с.
6. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні на 2017 рік. Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/news/31534.html>. (дата звернення 14.02.2019).
7. Дудка В. Позакореневе підживлення рослин. Хибні теорії та практичні помилки. Агроном. 2010. URL: <https://agronom.com.ua/pozakoreneve-pidzhyvlennya-hybni-teoriyi-ta-praktychni-pomylyky/>. (дата звернення 16.02.2019).
8. Комплексні хелатовані добрива у посівах пшениці. Науково-методичні рекомендації / Богдан М. М та ін. К. : ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 32 с.
9. Конончук О. Б. Навчальна практика з основ сільського господарства : навч. посіб. Тернопіль : ТНПУ імені Володимира Гнатюка, 2016. 128 с.
10. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин : навч. посіб. 2-е вид., переробл. і допов. Київ : Логос, 2009. 184 с.
11. Лихочвор В. В. Петриченко В. Ф., Івашук П. В., Корнійчук П. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / за ред. Лихочвора В. В., Петриченка В. Ф. 3-є вид., виправ., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
12. Медведев С. С. Электрофизиология растений: учебное пособие. СПб. : Изд-во С.-Петербургского университета, 1997. 122 с.
13. Санін Ю. В., Санін В. А. Особливості позакореневого підживлення сільськогосподарських культур мікроелементами. Агрономія Сьогодні. 2012. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/218-osoblyvosti-pozakorenevoho-pidzhyvlennia-silskohospodarskykh-kultur-mikroelementamy.html>. (дата звернення 12.02.2019).
14. Соєвий Вік. URL: <http://www.soya-ua.biznes-pro.ua/product.php?id=30420>. (дата звернення 15.02.2019).
15. Тарасенко О. Листкове підживлення зернових мікроелементами. Пропозиція. 2017. URL: <https://propozitsiya.com.ua/listkove-pidzhyvlennya-mikroelementami-zernovih>. (дата звернення 12.02.2019).
16. AgriSol. URL: <http://agrisol.com.ua/index.php/katalog/mineralnye-udobreniya/plantafol/product/view/4/36>. (Last accessed: 14.01.2019).
17. Andrews P. K. How Foliar-Applied Nutrients Affect Stresses in Perennial Fruit Plants. Acta Horticulturae. 2002. Vol. 594. P. 49-55.
18. Chloroplast ATP Synthase Modulation of the Thylakoid Proton Motive Force: Implications for Photosystem I and Photosystem II Photoprotection / Atsuko Kanazawa et all. Front. plant sci. 2017. Vol. 8, № 719. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00719/>. (Last accessed: 02.04.2019).
19. Epstein E. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. New York : Wiley, 1971. 412 p. URL: <https://archive.org/details/mineralnutrition00epst/page/n5>. (Last accessed: 14.01.2019).

20. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/> (Last accessed: 16.01.2019).
21. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel / Kalaji HM et al. *Photosynth Res.* 2017. Vol. 132, №1. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27815801>. (Last accessed: 02.04.2019).
22. Kanazawa A., Kramer D. In vivo modulation of nonphotochemical exciton quenching (NPQ) by regulation of the chloroplast ATP synthase. *PNAS.* 2002. Vol. 99, № 20. URL: <https://www.pnas.org/content/99/20/12789>. (Last accessed: 02.02.2019).
23. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network / Sebastian Kuhlert et al. *R. Soc. open sci.* 2016. Vol. 3, №10. URL: <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/3/10/160592>. (Last accessed: 14.01.2019).

References

1. Adamen' F. F., Sichkar' V. I., Pis'menov V. N., Sherstobitov V. V. *Soia: promyshlennaia pererabotka, kormovye dobavki, produkty pitaniia. 2-e izd.* Kiev : Nora-print, 2003. 476 s. (in Russian).
2. *Biologichnyy azot / Patyka V. P. ta in.* Kyiv : Svit, 2003. 424 s. (in Ukrainian).
3. Bohdan M. M. *Fiziologichne obgruntuvannia zastosuvannia kompleksnykh dobryv u posivakh pshenytsi ozymoi : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk: 03.00.12.* Uman', 2016. 23 s. (in Ukrainian).
4. Herts A. I., Kononchuk O. B. *Zmina deiakykh fiziologichnykh pokaznykiv roslyn Phaseolus vulgaris L. za riznoi kontsentratsii nanomolibdenu.* *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Ser. Biologhiia.* 2017. No 1 (68). S. 106-115. (in Ukrainian).
5. Horodniy M. M. *Ahrokhimiia : pidruch.* Kyiv : Aristey, 2008. 936 s. (in Ukrainian).
6. *Derzhavnyy reiestr pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini na 2017 rik.* Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. URL: <https://menr.gov.ua/news/31534.html>. (data zvernennia 14.02.2019). (in Ukrainian).
7. Dudka V. *Pozakoreneve pidzhyvlennia roslyn. Khybni teorii ta praktychni pomylky.* *Ahronom.* 2010. URL: <https://agronom.com.ua/pozakoreneve-pidzhyvlennya-hybni-teoriyi-ta-praktychni-pomylyky/>. (data zvernennia 16.02.2019). (in Ukrainian).
8. *Kompleksni khelatovani dobryva u posivakh pshenytsi. Naukovo-metodychni rekomendatsii / Bohdan M. M ta in. K. : TOV «TsP «KOMPRYNT», 2016. 32 s.* (in Ukrainian).
9. Kononchuk O. B. *Navchal'na praktyka z osnov sil's'koho hospodarstva : navch. posib.* Ternopil' : TNPU imeni Volodymyra Hnatiuka, 2016. 128 s. (in Ukrainian).
10. Kots' S. Ya., Peterson N. V. *Mineral'ni elementy i dobryva v zhyvlenni roslyn : navch. posib. 2-e vyd., pererobl. i dopov.* Kyiv : Lohos, 2009. 184 s. (in Ukrainian).
11. Lykhochvor V. V., Petrychenko V. F., Ivashchuk P. V., Korniyuchuk P. V. *Roslynnystvo. Tekhnolohii vyroshchuvannia sil's'kohospodars'kykh kul'tur / za red. Lykhochvora V. V., Petrychenka V. F. 3-ie vyd., vyprav., dopov. L'viv : NVF «Ukrains'ki tekhnolohii», 2010. 1088 s.* (in Ukrainian).
12. Medvedev S. S. *Elektrofiziologiiia pastenyi: uchebnoe posobie.* SPb. : Izd-vo S.-Peterburgskogo universiteta, 1997. 122 c. (in Russian).
13. Sanin Yu. V., Sanin V. A. *Osoblyvosti pozakorenevoho pidzhyvlennia sil's'kohospodars'kykh kul'tur mikroelementamy.* *Ahronomiia S'ohodni.* 2012. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/218-osoblyvosti-pozakorenevoho-pidzhyvlennia-sil'skohospodarskykh-kulturno-mikroelementamy.html>. (data zvernennia 12.02.2019). (in Ukrainian).
14. Soievyy Vik. URL: <http://www.soya-ua.biznes-pro.ua/product.php?id=30420>. (data zvernennia 15.02.2019). (in Ukrainian).
15. Tarasenko O. *Lystkove pidzhyvlennia zernovykh mikroelementamy. Propozytsiia.* 2017. URL: <https://propozitsiya.com.ua/listkove-pidzhyvlennya-mikroelementami-zernovih>. (data zvernennia 12.02.2019). (in Ukrainian).
16. AgriSol. URL: <http://agrisol.com.ua/index.php/katalog/mineralnye-udobreniya/plantafol/product/view/4/36>. (Last accessed: 14.01.2019).
17. Andrews P. K. *How Foliar-Applied Nutrients Affect Stresses in Perennial Fruit Plants.* *Acta Horticulturae.* 2002. Vol. 594. P. 49-55.
18. *Chloroplast ATP Synthase Modulation of the Thylakoid Proton Motive Force: Implications for Photosystem I and Photosystem II Photoprotection / Atsuko Kanazawa et al.* *Front. plant sci.* 2017. Vol. 8, № 719. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00719/>. (Last accessed: 02.04.2019).
19. Epstein E. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives.* New York : Wiley, 1971. 412 p. URL: <https://archive.org/details/mineralnutrition00epst/page/n5>. (Last accessed: 14.01.2019).
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/> (Last accessed: 16.01.2019).

21. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel / Kalaji HM et al. *Photosynth Res.* 2017. Vol. 132, №1. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27815801>. (Last accessed: 02.04.2019).
22. Kanazawa A., Kramer D. In vivo modulation of nonphotochemical exciton quenching (NPQ) by regulation of the chloroplast ATP synthase. *PNAS.* 2002. Vol. 99, № 20. URL: <https://www.pnas.org/content/99/20/12789>. (Last accessed: 02.02.2019).
23. MultispeQ Beta: a tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network / Sebastian Kuhlert et al. *R. Soc. open sci.* 2016. Vol. 3, №10. URL: <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/3/10/160592>. (Last accessed: 14.01.2019).

A. I. Herts, O. B. Kononchuk

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

INFLUENCE OF PLANTAFOL FOLIAGE APPLICATION ON SOME PHYSIOLOGICAL PARAMETERS AND SOYBEAN PRODUCTIVITY (*GLYCINE MAX* MOENCH.)

The efficiency of influence of Plantafol (10.54.10) foliage application on soybeans in soil and climatic conditions of the Ternopil region was investigated. It was found that Plantafol increased the green weight of top and plant density, the total mass of grain per plant, its significance and therefore increased the grain crop by 4.9 c/ha.

The crop growth was due to the formation of 15.0% higher biomass green weight of top with higher plant stand by 8% and the increase of seed productivity mainly by increasing of the total weight of seeds in plants by 10.2% and its significance by 7.9 % in comparison with the control. By the influence of Plantafol, there was an increase of the height of beans fastening by 6.4%, as well as a tendency to increase the number of beans by 5.7% and the number of seeds per plant by 2.1%.

The chlorophyll fluorescence induction technique was used to isolate a group of fluorescence parameters of chlorophyll *a*, in particular ϕ NPQ, ϕ NO, which can determinate variations in the productivity of the variety, as they are sensitive to the foliage application.

There wasn't found the direct influence of the mineral fertilizer on the quantum yield of photochemistry PS II (Φ_{PSII}). At the same time, the abundance of chlorophyll (SPAD) increased.

It is assumed that the decrease of the ECSt level, observed under the conditions of Plantafol foliage application of plants, led to the decrease of NPQt and ϕ NPQ levels in soybean.

In the absence of significant difference in the rate of linear electron flux in the experimental and control groups, Plantafol decreases the NPQt level and causes the increase of the total number of active RC FS I.

The obtained data proved the significance and the perspective of foliage application using as of complex mineral fertilizers during soybean cultivation that increases its productivity in local soil and climatic conditions.

The Plantafol reduces the negative effect of some nutritional elements in soil and increases the soybean crop in the conditions of Ternopil region by stimulating photosynthetic, growth and production processes.

Key words: soybean, productivity, chlorophyll, fluorescence, induction of chlorophyll fluorescence, non-photochemical quenching, thr efficiency of photosystem II photochemistry

Надійшла 21.01.2019.