

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ ПРИ ВИВЧЕННІ ВПЛИВУ НЕКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗИ КАРБАМІДОМ

С. Г. Зуза, Я. А. Погромська, В. О. Зуза

Донецька дослідна станція Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О. Н. Соколовського», м. Дзержинськ Донецької області

За допомогою методу індукції флуоресценції хлорофілу досліджені зміни стану системи фотосинтезу при некореневому підживленні кукурудзи карбамідом на фоні застосування мінеральних добрив та регуляторів росту. Показано, що обробка по листю карбамідом служить причиною короткочасного стресу, вихід з якого залежить від стану рослин і рівня мінерального харчування.

Ключові слова: система фотосинтезу, індукція флуоресценції хлорофілу, карбамід, некореневе підживлення.

Вступ. Флуоресценція хлорофілу є поки єдиним показником, що дозволяє досліджувати в живих об'єктах протікання фотохімічних реакцій, пов'язаних з роботою так названої фотосистеми 2 (ФС2) вищих рослин - системи, найбільш чутливої до факторів зовнішнього середовища. Результати таких досліджень сприяють більш глибокому розумінню регуляторних механізмів, що забезпечують ефективне перетворення енергії в первинних і наступних стадіях фотосинтезу.

З огляду на те, що флуоресценція - непродуктивний шлях реалізації енергії кванту, інтенсивність її несе інформацію про "КПД" фотосистеми. Метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ), який полягає у детектуванні індукованої флуоресценції хлорофілу при опроміненні адаптованого до темряви листя рослини, вже має деяке застосування. Так, є роботи по вивченню впливу стресових факторів на стан фотосистеми рослин за допомогою методу ІФХ [1], впливу некореневої обробки мікроелементами та поєднання некореневої обробки мікродобривом і кореневого підживлення повним комплексним добривом [2]. Метод є перспективним, та має буди всесторонньо вивченим і адаптованим до виробничого застосування.

Ціль, об'єкти та методи дослідження. Перед нами було поставлене завдання по застосуванню методу індукції флуоресценції хлорофілу при вивченні впливу некореневого підживлення карбамідом на стан фотосистеми кукурудзи на різному фоні кореневого живлення та на фоні обробки рослин стимулюючими препаратами по листю (табл. 1).

Таблиця 1

Схема вегетаційного дослідження

Варіант	Некореневе живлення 30 % розчином карбаміду	Зміст варіанту дослідження
1	Так/ Ні	Контроль
2	Так/ Ні	N ₆₀
3	Так/ Ні	N ₉₀
4	Так/ Ні	N ₉₀ P ₆₀
5	Так/ Ні	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀
6	Так/ Ні	P ₆₀ K ₄₀
7	Так/ Ні	K ₄₀
8	Так/ Ні	«Реаком», 5 л/га
9	Так/ Ні	«Гуміам», 100 мл/га
10	Так/ Ні	«Емістим С», 5 мл/га

Для постановки досліджень було закладено вегетаційний дослід за стандартною методикою [3] по схемі, представленій у табл. 1. На варіантах 1-7 добрива вносилися, як основні, у ґрунт при закладці дослідження. У якості азотного добрива використовувалася аміачна селітра, у якості фосфорного – подвійний суперфосфат, у якості калійного – хлорид калію. Посів проведено 10 травня 2009 року, обробку регуляторами росту (обприскування) – 6 червня, у фазі 7 листів, в подальшому некореневий обробіток 30% розчином карбаміду застосовано 3 серпня, у фазі 9-10 листків. Забір висоти рослин проведено 31 липня (фаза 5-7-ми листків), перед некореневим підживленням карбамідом, та 2 вересня (початок цвітіння), перед збиранням. Під час вегетації було зроблено три серії замірів індукованої флуоресценції хлорофілу (ІФХ) за методикою [1] з п'ятикратною повторністю для кожного варіанту. Перший забір проведено 28-29 липня (фаза 5-7-ми листів), другий – в перші дні після обробки карбамідом (3-5 серпня, фаза 9-10 листків), третій – практично через місяць, після некореневого підживлення (28-31 серпня, початок цвітіння). Аналіз даних по ІФХ проводили відповідно відомої методики [2, 4].

У роботі використано хронофлуориметр "Флоратест", розроблений в Інституті кібернетики НАН України [1]. Адаптація листя до темряви становила 5 хв. Довжина хвилі висвітлення – у максимумі

470±15 нм; освітленість у межах плями не менш 20 Вт/м². Спектральний діапазон виміру флуоресценції становить 670–800 нм. Виміри проведено у режимі 10 с, тобто детектування швидкої індукції флуоресценції хлорофілу А (Хла) фото системи 2 (ФС2) [4]. Інтерпретацію кривої ІФХ проведено у відповідності с ОЛР- кінетикою, яка враховує активність комплексу ФС2, що виділяє кисень (КВК) [2]. Для аналізу впливу факторів живлення рослин використано наступні показники. Fo – інтенсивність флуоресценції Хла при «відкритих» реакційних центрах (РЦ) ФС2, коли всі первинні акцептори електрону Qa окиснені. Для флуорометра «Флоратест» Fo, по рекомендації розробників, відповідає першим показникам прибору. Fp – інтенсивність флуоресценції Хла при «закритих» РЦ ФС2, коли всі Qa відновлені та не можуть приймати електрони e⁻ від РЦ; Fj – точка кривої ІФХ, обумовлена кількістю систем ФС2, що не відновлюють вторинний акцептор електрону Qv (Qv-невідновлюючих), у яких відсутній контакт між двома послідовними акцепторами Qa и Qv; FI – точка кривої ІФХ, що обумовлена ефективністю донорної частини ФС2 (системи фотолізу води); τ_{0,5} – час досягнення половини значення флуоресценції Fp. Для аналізу використано розрахункові показники [4]: (Fp-Fo)/Fp – квантовий вихід (ефективність) ФС2; (Fj-Fo)/Fv – доля Qv- невідновлюючих ФС2; (Fj-Fo)/Fp – ефективність розділення заряду, величина, яка характеризує якість комплексу, що збирає світло, (ССК) та РЦ ФС2; (Fp-Fj)/Fp – ефективність електронтранспортного ланцюгу (ЕТЛ) передачі електрону на фото систему 1 (ФС1). Для оцінки ефективності донорної сторони ФС2 (КВК) використано показник (Fp-Fo)/FI=Fv/FI – ефективність фотолізу води [2]. Дисперсійний та регресійний аналіз даних проведено за допомогою пакету STATISTICA 6.

Результати досліджень та їх обговорення. Отримані при інтерпретації серії кривих ІФХ показники дозволили проаналізувати у динаміці вплив некореневої обробки карбамідом кукурудзи на стан фотосистеми 2. Середні по обробці карбамідом представлені у табл. 2 (зірочками помічені достовірні на рівні 95% за різницею дані, одинарними та двійними між собою відповідно). У якості контролю виступає ряд варіантів, не оброблених карбамідом, з яким порівнювалися середні дані ряду варіантів, на яких застосовувалося некоренева підживлення.

Таблиця 2

Вплив некореневої обробки карбамідом на показники стану ФС2

Показник	Через добу після обробки карбамідом		Через місяць після обробки карбамідом	
	контроль	карбамід	контроль	карбамід
Fp, відн. од.	0,190	0,191	0,203	0,212
Fo, відн. од.	0,088**	0,109*	0,105**	0,103
Квантовий вихід ФС2, відн. од.	0,539**	0,433*	0,481**	0,512*
Доля Qv-невідновлюючих ФС2, відн. од.	0,364*	0,438**	0,343	0,373**
Ефективність розділення зарядів, відн. од.	0,197**	0,188	0,167**	0,194
Ефективність ЕТЛ, відн. од.	0,342*	0,247**	0,311	0,318**
Ефективність фотолізу, відн. од.	0,630*	0,490**	0,600	0,634**
τ _{0,5} , мс	1,3*	1,1*	1,1	1,2
τ, мс	226*	277*	195	210

Аналіз показників стану ФС2 з таблиці 2 показав, що некоренева підживлення карбамідом має істотний вплив на стан системи фотосинтезу. Швидка реакція на карбамід по листю характеризується суттєвим зниженням квантового виходу ФС2 при збільшенні інтенсивності флуоресценції Хла при «відкритих» реакційних центрах ФС2 (Fo) та зниженні ефективності розділення зарядів, ЕТЛ та фотолізу. Доля Qv-невідновлюючих ФС2 суттєво збільшується при зменшенні τ_{0,5} (часу досягнення половини максимальної інтенсивності флуоресценції). Тобто, збільшуються втрати енергії кванту на світлозбиральному комплексі та гальмуються початкові стадії фотосинтезу - передача електрону між первинним акцептором Qa та пластохіноном Qb. Однак τ, час досягнення інтенсивності флуоресценції Fp, що відповідає заповненню ЕТЛ електронним потоком, суттєво збільшується, скоріш за все, за рахунок появи альтернативного шляху утилізації електронного потоку через активізацію азотного обміну. Все це говорить про те, що некоренева обробка карбамідом є стресовим фактором для системи фотосинтезу. Але через місяць після підживлення спостерігається покращення стану показників фотосистеми відносно контрольного ряду (дивись табл. 2). Преш за все – збільшується квантовий вихід ФС2 та ефективність фотолізу. Це говорить про перебудову первинної системи фотосинтезу у напрямку її оптимізації.

Для вивчення дії добрив було проаналізовано середні на варіантах без застосування основного добрива під час закладання досліду (фази 1,8,9,10) та середні на варіантах, в яких основні добрива було внесено (варіанти 2-7).

З результатів табл. 3 (зірочками помічені достовірні на рівні 95% за різницею дані, одинарними та двійними між собою відповідно) можна помітити, що вплив добрив на стан показників ФС2 був суттєвим, особливо у період інтенсивного росту рослин. Підвищення значень Fo, зниження квантового виходу ФС2, зниження ефективності розділення зарядів, ефективності ЕТЛ, показника τ_{0,5} та підвищення часу τ були достовірні на 95% рівні ймовірності. Такі зміни в показниках говорять про те, що додаткове коренева живлення провокує навантаження на фотосистему, насамперед через активізацію додаткових шляхів

електронного відтоку за рахунок інтенсифікації анаболізму. Підвищення інтенсивності F_0 та F_v одночасно можуть бути обумовлені зростанням вмісту хлорофілу (за рахунок підсилення процесів його синтезу) та з інтенсифікацією споживання АТФ, що призводить до зниження нефотохімічного гасіння флуоресценції [1, 4].

Таблиця 3

Вплив добрив на стан та динаміку показників ФС2

Показник	Без застосування основних добрив (середні по варіантах 1, 8-10)			На фоні застосування основних добрив (середні по варіантах 2-7)		
	фаза 7-ми листіків	фаза 9-10 листіків	початок цвітіння	фаза 7-ми листіків	фаза 9-10 листіків	початок цвітіння
F_v , відн. од.	0,169*	0,191*	0,196	0,170*	0,198*	0,207
F_0 , відн. од.	0,077**	0,090*	0,108	0,085**	0,086*	0,103*
Квантовий вихід ФС2, відн. од.	0,545**	0,525*	0,448**	0,498**	0,549*	0,503**
Доля Qb-невідн. ФС2, відн. од.	0,289*	0,365*	0,327	0,280*	0,365*	0,354
Ефект. розд. зарядів, відн. од.	0,163	0,192*	0,147**	0,141*	0,201*	0,181**
Ефективність ЕТЛ, відн. од.	0,383**	0,333*	0,301*	0,357**	0,348	0,322
Ефективність фотолізу, відн. од.	0,659**	0,640*	0,551**	0,596**	0,623	0,634**
$\tau_{0,5}$, мс	1,23**	1,35*	1,08*	1,12**	1,32*	1,15
τ , мс	254*	216	197*	272	233	194

При зростанні інтенсивності флуоресценції взагалі протягом місяцю (що може бути обумовлено збільшенням вмісту хлорофілу [4] у більш зрілому листі) квантовий вихід ФС2 та ефективність системи фотолізу води на фоні добрив збільшуються, на відміну від показників варіантів без застосування добрив. Це говорить про оптимізацію системи фотосинтезу, покращення утилізації енергії світла на фоні добрив у період цвітіння. То ж в цілому, використання добрив сприяє покращенню стану первинних процесів фотосинтезу.

Регресійний аналіз низки варіантів без обробітку карбамідом показав від'ємну залежність ваги рослин та інтенсивності флуоресценції при відкритих реакційних центрах F_0 періоду початку цвітіння (рис. 1): $y=206,0 - 1588,1 \cdot x$ ($r^2 = 0,625$; $r = -0,791$, $p = 0,011$), де x – F_0 у період початку цвітіння; y – вага рослин, г.

Аналіз ряду варіантів без обробки карбамідом показав від'ємну залежність висоти рослин у період інтенсивного росту (у фазі 9-10 листів, перший замір) та долі Qb-невідновлюючих ФС2 (рис. 2): $y=120,836 - 142,393 \cdot x$ ($r^2 = 0,447$; $r = -0,669$, $p = 0,035$), де x – доля Qb-невідновлюючих ФС2; y – висота рослин у фазі 9-10 листів, см.

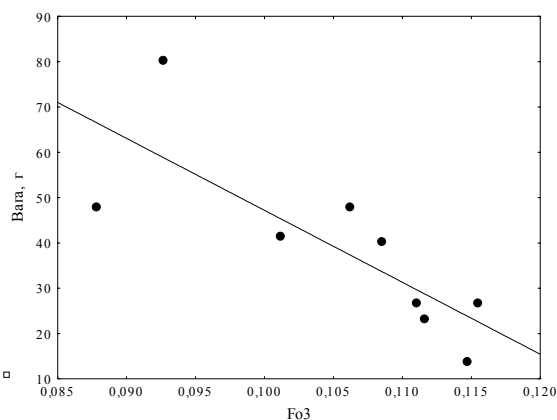


Рис. 1. Регресійна залежність ваги однієї рослини кукурудзи та інтенсивності флуоресценції при відкритих РЦ ФС2 у період початку цвітіння.

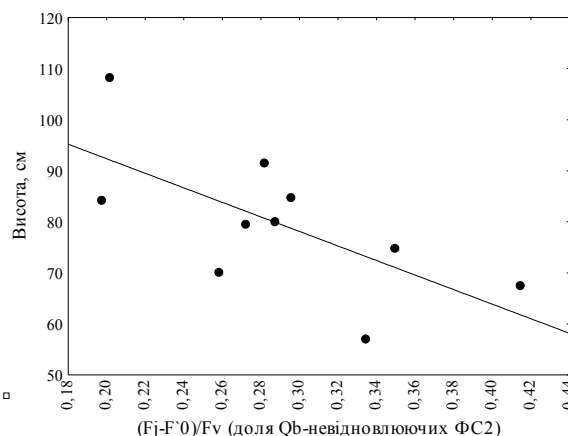


Рис. 2. Залежність висоти рослин кукурудзи у фазі 9-10 листів та долі Qb-невідновлюючих ФС2.

При виключенні з аналізу варіантів зі стимуляторами, застосування яких включає гормональні механізми регулювання розвитку рослин, що торкаються не тільки системи фотосинтезу (варіанти 8,9 та 10), 5, отримали позитивну залежність ваги та ефективності фотолізу в період початку цвітіння ($r^2 = 0,870$; $r = 0,933$, $p = 0,007$). Тож збільшення певною мірою показника ефективності фотолізу та зменшення F_0 та долі Qb-невідновлюючих ФС2 можуть служити позитивним індикатором врожайності.

Композитивне застосування некореневого підживлення карбамідом та основного добрива під посів, яке містить азот, показало, що варіанти з різними дозами азотного добрива (N_{60}) та (N_{90}) відрізняються за показником урожаю та реакцією на карбамід (табл. 4, 5, 6).

Таблиця 4

Швидка реакція на карбамід по листю. Період інтенсивного росту, фаза 9-10 листів

Варіант ¹	F ₀ , відн. од.		Квантовий вихід ФС ₂ , відн. од.		Доля Q _b -невідн. ФС ₂ , відн. од.		Ефективність розділення зарядів, відн. од.		Ефективність ЕТЛ, відн. од.		Ефективність фотолізу, відн. од.		τ, мс	
	контроль	карбамід	контроль	карбамід	контроль	карбамід	контроль	карбамід	контроль	карбамід	контроль	карбамід	контроль	карбамід
1	0,101	0,112	0,495	0,448	0,232	0,342	0,115	0,153	0,380	0,294	0,578	0,523	241	264
2	0,085	0,085	0,562	0,486	0,352	0,321	0,199	0,157	0,363	0,328	0,655	0,541	249	241
3	0,084	0,085	0,542	0,495	0,383	0,646	0,211	0,315	0,331*	0,181*	0,603	0,553	206	325
4	0,088	0,100	0,546	0,509	0,368	0,405	0,202	0,203	0,344	0,305	0,623	0,571	209	271
5	0,078	0,107	0,583	0,424	0,373	0,377	0,220	0,160	0,363	0,264	0,650	0,479	268	250
6	0,096	0,100	0,514	0,511	0,366	0,366	0,188	0,189	0,326	0,322	0,605	0,631	193	236
7	0,081	0,127	0,558	0,291	0,326	0,443	0,185	0,128	0,373	0,163	0,616	0,317	297	300
8	0,090	0,117	0,516	0,386	0,390	0,554	0,199	0,215	0,316	0,171	0,615*	0,418*	202	392
9	0,076	0,147	0,602	0,602	0,423	0,464	0,255	0,140	0,347*	0,162*	0,775*	0,324*	159	252
10	0,098	0,120	0,483	0,402	0,364	0,503	0,170*	0,206*	0,313	0,196	0,580*	0,451*	264	211

Примітка: ¹ - варіанти згідно табл.1; * - дані, що відрізняються від варіанту 1 достовірно на рівні 95%.

Таблиця 5

Показники ФС₂ початку цвітіння

Варіант	F ₀ , відн. од.		Квантовий вихід ФС ₂ , відн. од.		Ефективність фотолізу, відн. од.	
	контроль	карбамід	кконтроль	карбамід	контроль	карбамід
1	0,111	0,099	0,455	0,495	0,573	0,628
2	0,115	0,107	0,454	0,503	0,565	0,598
3	0,093*	0,099	0,550*	0,537	0,709	0,643
4	0,112	0,099	0,499	0,547	0,623	0,690
5	0,098	0,112	0,494	0,507	0,645	0,648
6	0,109	0,104	0,492	0,500	0,622	0,596
7	0,088*	0,124*	0,523	0,441	0,646	0,540
8	0,101	0,099	0,436	0,544	0,531	0,708
9	0,116	0,094	0,457	0,550	0,541	0,683
10	0,106	0,099	0,436	0,489	0,556	0,605

Примітка: * - дані, що відрізняються від варіанту 1 достовірно на рівні 95%.

Таблиця 6

Характеристики зростання та урожаю кукурудзи по варіантах

Варіант	Збільшення висоти рослин за місяць після підживлення, %		Вага однієї рослини, г	
	контроль	карбамід	контроль	карбамід
Контроль	5,2	17,0	27	28
N ₆₀	11,0	6,1	13	38
N ₉₀	10,2	7,3	80	26
N ₉₀ P ₆₀	4,3	2,9	23	29
N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	12,3	4,6	4	41
P ₆₀ K ₄₀	4,1	2,3	40	30
K ₄₀	37,6	4,6	48	36
«Реаком», 5 л/га	1,8	2,2	41	33
«Гуміам», 100 мл/га	9,0	6,8	27	19
«Емістим С», 5 мл/га	11,9	3,2	48	16

Показники системи фотосинтезу говорять про те, що варіант з застосуванням N₆₀ у фазі 7-ми листів мало відрізняється від контрольного (табл. 7). Тільки збільшення часу досягнення максимальної інтенсивності флуоресценції τ було збільшено на 30 %, ймовірно за рахунок стоку електронів на обмін азоту при інтенсифікації білкового синтезу.

Вплив варіантів на показники ФС2 у фазі 7-ми листів

Варіант	F ₀ , відн. од.	квантовий вихід ФС2, відн. од.	доля Qb-невідновлюючих ФС2, відн. од.	ефективність розділення зарядів, відн. од.	ефективність ЕПЛ, відн. од.	ефективність фотолізу, відн. од.	τ, мс
Контроль	0,066	0,588	0,296	0,177	0,411	0,767	271
N ₆₀	0,076	0,528	0,259	0,139	0,389	0,654*	346*
N ₉₀	0,089*	0,455*	0,202*	0,092*	0,362*	0,544*	243
N ₉₀ P ₆₀	0,088*	0,540	0,273	0,147	0,393	0,644*	285
N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀	0,088*	0,475*	0,335	0,161	0,314*	0,545*	281
P ₆₀ K ₄₀	0,095*	0,454*	0,282	0,129	0,325*	0,536*	219*
K ₄₀	0,082*	0,520	0,351	0,182	0,337*	0,624*	215*
«Реаком», 5 л/га	0,089*	0,481*	0,198*	0,095*	0,386	0,571*	281
«Гуміам», 100 мл/га	0,068	0,597	0,416*	0,252*	0,345*	0,667	220
«Емістим С», 5 мл/га	0,083*	0,519	0,288	0,152	0,367	0,604*	220

Примітка: * - дані, що відрізняються від варіанту 1 достовірно на рівні 95%.

Варіант з високою дозою азотних добрив (N₉₀) має знижені показники квантового виходу ФС2 на 22 % відносно контролю, долі Qb-невідновлюючих ФС2 (-32 %), низьку ефективність розділення зарядів (-48 %), ефективність фотолізу (-29 %), найменше значення τ_{0,5} (-23 %) та малий час τ (-10 % від контролю) у період інтенсивного росту фази 7-ми листів (табл. 7). Це говорить про напруженість системи фотосинтезу. Лімітуючою стадією у ньому, виходячи з пониження τ, є відтік електронів на азотний цикл, відновлення нітритів, що узгоджується з літературними даними [5]. Тобто, на підвищеному фоні азотного живлення можливе накопичення нітритів, що сприяє розвитку окисного стресу.

Внесення карбаміду у некореневе підживлення на фоні помірних доз амонійної селітри не спричинило суттєвих стресових змін. Тому і реакція варіанту з N₆₀ у якості основного добрива за показниками фотосинтезу мало відрізняється від контролю як зразу після обприскування, так і при відновленні через місяць (табл. 4, 5). Варіант з помірним внесенням азоту (N₆₀) при застосуванні позакореневого підживлення карбамідом дав більший приріст по масі рослин, ніж контроль (майже у 2 рази проти біля 10 % на контролі) (табл. 6). На фоні ж підвищеного рівня азотного живлення спостерігається зниження урожаю від застосування карбаміду більш ніж у 2 рази.

Варіанти з внесенням калію та при застосуванні регуляторів росту (7, 8, 9, 10) мають негативну реакцію на карбамід за показниками врожаю (табл. 6). При цьому швидка реакція на некореневу обробку полягає, як і у разі з підвищеним нітратним живленням, у різкому та суттєвому підвищенні долі Qb-невідновлюючих ФС2 (табл. 4).

Ще один ефект некореневого живлення карбамідом, який спостерігався у досліді – це стимуляція росту молодого листя на варіантах з підвищеними дозами азотного добрива без додатково внесеного калію та на варіанті з обробкою листя «Гуміамом». Відомо, що накопичення нітратного азоту [6] у листі ускладнює відтік асимілятів (продуктів фотосинтезу у формі сахарози) з нього, при цьому відбувається їх накопичення в апопласті. До того ж активізація азотного обміну активує гліколатний метаболізм, утворення амінокислот, та через шикиматну путь – утворення фітогормонів [7], у тому числі і цитокиніни. То ж додаткове азотне живлення спричиняє гормональні зміни [8]. При внесенні карбаміду по листю у рослину клітину потрапляє азот в амонійній формі. Амонійний азот прискорює відтік асимілятів з листя в грани-акцептори [6]. При цьому накопичені цитокиніни знімають апікальну домінанту. Формується нове листя у якості акцепторів потоку асимілятів. Подібний ефект на варіанті з застосуванням «Гуміаму» можна пояснити наявністю амонійного азоту у препараті, що стимулював синтез амінокислот і фітогормонів, та власною фітогормональною активністю препарату.

На варіанті з «Емістимом», 5 мл/га по листю, після обробки карбамідом спостерігалось скорочення міжвузлів та відмирання листя. Це можна пояснити гормональним дисбалансом. Відомо, що препарат сам змінює співвідношення фітогормонів у листі в бік збільшення абсцизової кислоти (АБК) відносно цитокинінів. І при завданому обробкою карбамідом по листю тимчасовому стресі також підвищується вміст АБК [7]. Надлишок АБК і спричиняє ефект, який спостерігається при композитивному застосуванні даного регулятору та карбаміду у некореневе підживлення. Суттєвий дисбаланс у співвідношенні фітогормонів на користь АБК проявляється у скороченні міжвузлів та передчасному відмиранні листів.

Висновки. За допомогою методу ІФХ було встановлено наступне.

1. Некореневе підживлення карбамідом спричиняє короточасний стрес системи фотосинтезу кукурудзи, який згладжується на фоні використання помірних доз амонійної селітри (N₆₀) у якості основного добрива під посів.

2. Внесення добрив під посів сприяє напруженню ФС2 у початковий період вегетації кукурудзи та навантаженню фотосистеми, насамперед через активізацію додаткових шляхів електронного відтоку за

рахунок інтенсифікації анаболізму, та подальшій оптимізації системи фотосинтезу, покращенню утилізації енергії світла на фоні добрив у період цвітіння.

3. Аналіз даних ІФХ та результатів вегетаційного дослідження дозволив припустити, що некореневе підживлення карбамідом на фоні підвищеного азотного живлення, та на фоні попередньої обробки «Гуміамом» 100 мл/га по листю, стимулює відтік асимілятів фотосинтезу, зміну гормонального статусу та утворення молодого листа, що спостерігалось у досліді.

4. «Емістим», 5 мл/га, по листю є не найкращим попередником для внесення карбаміду у некореневе живлення. Таке поєднання обробок спричиняє гормональний дисбаланс на користь АБК, що помітно гальмує розвиток рослини та спричиняє старіння і відмирання листя.

5. Існування регресійних залежностей між показниками системи фотосинтезу, ваги та зросту рослин дає можливість прогнозування та регулювання урожаю. Збільшення ефективності фотолізу та зменшення F_0 та долі Q_b -невідновлюючих ФС2 можуть служити позитивним індикатором врожайності.

Таким чином за допомогою методу ІФХ стало можливим дослідити швидку реакцію та подальші зміни фотосистеми 2 рослин при некореновому підживленні, проаналізувати вплив добрив та стимуляторів на стан системи фотосинтезу та спрогнозувати результати композитивного застосування прийомів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.

РЕЗЮМЕ

С помощью метода индукции флуоресценции хлорофилла исследованы изменения состояния системы фотосинтеза при некорневой подкормке кукурузы карбамидом на фоне применения минеральных удобрений и регуляторов роста. Показано, что обработка по листе карбамидом служит причиной кратковременного стресса, выход из которого зависит от состояния растений и уровня минерального питания.

Ключевые слова: система фотосинтеза; индукция флуоресценции хлорофилла; карбамид; некорневая подкормка.

SUMMARY

By means of a method of an induction of fluorescence of chlorophyll the changes of a state of system of photosynthesis at use of foliar processing of maize by a carbamide depending on mineral fertilizers and growth regulators are studied. It is shown that processing of sheet by urea leads to short-term stress, from which the exit depends on states of a plant and level of a mineral food

Key words: system of photosynthesis; induction of fluorescence of chlorophyll; carbamide; foliar processing.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галелюка І. Б. Портативний флуориметр для експрес-діагностики стану рослин: методи віртуального проектування і результати дослідного використання / І. Б. Галелюка, М. С. Качановська, Є. В. Сарахан. – К., 2006. – 53 с.
2. Байрак Н. В. Применение метода индукции флуоресценции хлорофилла для изучения неоднородности системы фотосинтеза растений / Н. В. Байрак, В. А. Зуза, Я. А. Погромская // Вісник Харківського університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія. – 2008. – № 814. – С. 181-186.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос. 1973. – 416 с.
4. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеев. – К.: Альтапрес, 2002. – 188 с.
6. Рубин А. Б. Регуляция первичных процессов фотосинтеза / А. Б. Рубин, Т. Е. Кренделева // Успехи биологической химии. – 2003. – Т. 43. – С. 225-266.
7. Чиков В. И. Эволюция представлений о связи фотосинтеза с продуктивностью растений / В. И. Чиков. // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 1. – С. 140-154.
8. Особенности физико-химических и регуляторных свойств гликолатоксидаз из C3- и C4-растений / А. Т. Епринцев, А. Е. Семенов, М. Навид, В. Н. Попов // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 2. – С. 184-185.
9. Трапезников В. К. Локальное питание растений. / В. К. Трапезников, И. И. Иванов, Н. Г. Тальвинская - Уфа: Гилем, 1999. – 260 с.

Надійшла до редакції 21.04.2010 р.