

УДК 635.652/654:60

**ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ЕКСПРЕСНА ОЦІНКА СТАНУ СТІЙКОСТІ
КВАСОЛІ ЗВИЧАЙНОЇ ПРОТИ АБІОТИЧНИХ СТРЕСОВИХ
ЧИННИКІВ**

М. В. Таран, аспірант*

К. Є. Шаванова, О.А. Марченко, кандидати біологічних наук

О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук

М. Ф. Стародуб, доктор біологічних наук, професор

Наведено результати вивчення впливу абіотичних стресових чинників на стан фотосинтетичного апарату квасолі звичайної методами біосенсорики, що забезпечують експрес-діагностику. Визначено показники ІФХ, інтенсивність фотосинтезу, індекси адаптації рослин до абіотичних стресових чинників та індекси життєздатності.

***Ключові слова:** біосенсор, ІФХ, індекси адаптації, індекси життєздатності, квасоля звичайна, абіотичні стресові чинники.*

Визначення впливу чинників довкілля на стан рослини вимагає застосування експресних та інформативних методів, які б дозволяли проводити аналізи як в лабораторних, так і в польових умовах з мінімальним порушенням цілісності досліджуваних об'єктів. До таких методів належить метод реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ), що базується на сучасних принципах біосенсорики і який може бути широко використовуваним у сучасних дослідженнях фотосинтетичних процесів [7, 13]. Цей метод віддзеркалює ті зміни фотосинтетичного апарату, які відбуваються на найбільш ранніх стадіях зовнішнього впливу на рослину. Інтерес до вивчення повільної індукції флуоресценції хлорофілу (ПІФХ) зумовлений ще й тим, що в цьому явищі значною мірою проявляються регуляторні процеси, які забезпечують оптимальне функціонування всієї

*Науковий керівник – доктор біологічних наук, професор М.Ф. Стародуб

сукупності фотосинтетичних реакцій. Вивчення ПФХ рослин є досить перспективним з точки зору розробки експрес-методів оцінки стану рослин в умовах навколишнього природного середовища, що змінюється [10, 14]. Оскільки запропонований інструментальний підхід реалізації цього методу дещо новий, то у роботі він порівнюється з традиційним, а саме, з визначенням інтенсивності фотосинтезу газометричним способом у течії повітря.

Квасоля – цінна бобова культура, загальна площа вирощування якої у світі становить 25,6 млн. га , зокрема в Україні 20 тис. га У плодах квасолі містяться білки, вуглеводи, азотисті речовини, флавоноїди, стеріни та органічні кислоти, вітаміни: піридоксин, тіамін, пантотенова та аскорбінова кислоти. Але останнім часом вирощування цієї корисної овочевої культури стало проблемним, оскільки різні стресові чинники погано впливають на її розвиток і продуктивність [1, 3, 4].

Метою досліджень було вивчення особливостей ІФХ, встановлення індексів життєздатності та адаптації до стресів квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris L.*) за різних умов її росту, а саме: на підкислених, засолених і сухих ґрунтах.

Матеріали та методи дослідження. Вихідним матеріалом для дослідження було обрано квасолю звичайну, оскільки ця рослина має широку листову пластинку, що спрощує проведення експериментів, та високу інтенсивність росту. Рослини висаджували на кислі, лужні та зневоднені ґрунти, що слугували стресовим чинником [6, 5].

Для отримання даних про вплив чинників на фотосинтетичний апарат рослини застосовували біосенсор Флоратест (виробництва Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України) і портативний флуорометр (виготовлений кафедрою фізики НУБіП України), які базуються на визначенні ІФХ, та класичний газометричний метод визначення

інтенсивності фотосинтезу. Для контролю кислотності та вологості ґрунтів використовували прилад рН-300 [9].

Виміри за допомогою приладу Флоратест проводили так : фіксували початковий час процедури; далі здійснювали темнову адаптацію контрольованої площини листка, а потім визначали рівень флуоресценції протягом 3 хв та 160 с, відповідно. Листові пластинки для вимірювання брали з ідентичних ярусів у кожній серії дослідів. Для побудови кривих ІФХ та їх аналізу використовували програмний засіб Microsoft Office Excel 2007 [8].

ІФХ, або індукційна крива, – показує залежність інтенсивності флуоресценції від часу після початку освітлення. За допомогою приладу Флоратест можна зафіксувати кінетику як швидких, так і повільних змін рівня сигналу, та інтерпретувати характерні ділянки індукційних кривих. У кінетиці індукційних переходів флуоресценції хлорофілу знаходять своє відображення процеси як світлової так і темної фази фотосинтезу. Для оцінки стану фотосинтетичного апарату використовують цілий комплекс параметрів, серед яких основними є:

1. $(F_{max}-F_o)/F_{max}=F_v/F_{max}$ – залежить від ефективності фотохімічних реакцій фотосинтетичної системи 2 (ФС2), де: $(F_v=F_{max}-F_o$ – варіабельна флуоресценція);
2. $(F_{pl}-F_o)/F_v$ – якщо інтенсивність діючого світла достатня для досягнення стану максимальної відновлюваності системи QA у момент досягнення рівня F_{max} , тоді параметр $(F_{pl}-F_o)/F_v$ відповідає відносній кількості QB-невідновлюючих комплексів ФС2, які не беруть участі у лінійному транспорті електронів;
3. $t_{1/2}$ – час, який відповідає досягненню половини варіабельної флуоресценції;
4. $(F_{max}-F_{st})/F_{st}$ – величина гасіння флуоресценції, на яку впливають як фотохімічні (фіксація CO₂), так і нефотохімічні процеси (теплова дисипація енергії збудженого стану молекул хлорофілу).

Форма кривої ІФХ чутлива до змін стану фотосинтетичного апарату в результаті дії несприятливих чинників або фізіологічно-активних речовин, наприклад, гербіцидів. Вимірювання не потребують значних затрат часу та реактивів, їх можна проводити, не пошкоджуючи нативної структури об'єкта. Завдяки цим перевагам метод індукції флуоресценції набув широкого застосування у дослідженнях фотосинтетичного апарату [2, 7].

Для визначення індексів адаптації до стресів використано метод флуоресцентної спектроскопії на основі портативного флуорометра кафедри фізики НУБіП України. Зразок перед вимірюванням тримали в кліпсі 4 хвилини у темряві, після чого здійснювали реєстрацію ІФХ одразу на обох довжинах хвиль (690 і 740нм) протягом наступних 4-х хв. Флуоресцентні індекси реєстрували на екрані рідинно-кристалічного індикатора [3]. Як флуоресцентні параметри використовували: індекс життєздатності (Rfd), який вимірювали на двох довжинах хвиль: $Rfd(690)$ і $Rfd(740)$, а також індекс адаптації до стресів (Ap). Індекси життєздатності обраховували за формулою:

$$Rfd = \frac{f_d}{f_{st}} = (f_{max} - f_{st}),$$

де f_{max} – максимальна, а f_{st} – стаціонарна флуоресценція, $f_d = f_{max} - f_{st}$ віддзеркалює зменшення флуоресценції. Індекс адаптації до стресів вираховували за таким рівнянням:

$$Ap = 1 - [Rfd(740) + 1] + [Rfd(690) + 1] [4, 12, 13].$$

Визначення інтенсивності фотосинтезу газометричним методом здійснювали так : розміщували фотосинтезуючий листок у плоску прозору камеру; вносили барит (в об'ємі 100 мл при концентрації 9 г/л) у колбу, з'єднану трубкою з поглиначем; спочатку гумову трубку приєднували до циліндра, закріпленого в штативі, другий кінець її опускали в колбу, а потім фіксували час (t) і пропускали воду з 10-літрової ємності; відбирали в колбу 10 мл бариту, через який не проходило повітря, додавали 1-2 краплі індикатора фенолфталеїну до ледь рожевого забарвлення; титрування проводили щавлевою кислотою до зникнення забарвлення і визначали її

кількість (B), при цьому 1 мл щавлевої кислоти дорівнює 0,2 мг CO₂); підраховували фотосинтезуючу площу поверхні листка (S). і, на кінець, зповторювали досліди декілька разів, але без листка в камері і визначали кількість щавлевої кислоти, що використана на титрування (C).

Розраховували інтенсивність фотосинтезу за формулою [11]:

$$I\phi = [(A - C) - (A - B)] \times 0,2 \times 100 \times 60 \div S \times t,$$

де: Iφ-інтенсивність фотосинтезу, мг CO₂×дм²/год; S – площа листка, см²; t – час дослід, год.

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження стану рослин на основі ІФХ. Прямих експресних методів оцінки процесу фотосинтезу не існує, але аналіз конкурентного до фотосинтезу процесу, яким є флуоресценція, дає змогу здійснювати експрес-діагностику фотосинтетичного апарату рослини. Застосування методу оцінки ІФХ рослин надає можливість отримати об'єктивну експресну інформацію про функціонування фотосинтетичного апарату досліджуваної рослини під впливом зміни умов її життєвого циклу.

При зміні умов вирощування квасолі звичайної спостерігалися зміни в характері переходів ІФХ, які супроводжувалися досить суттєвими змінами спектральних характеристик листової тканини рослин (рис. 1).

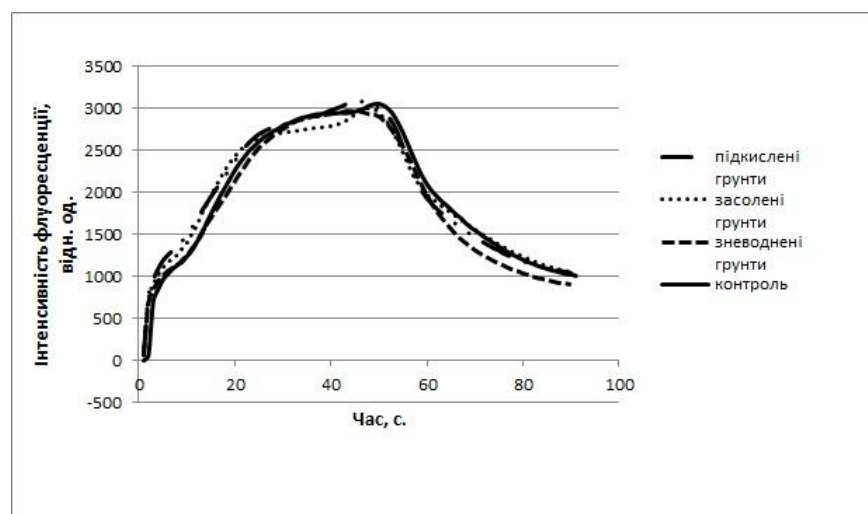


Рис.1. Криві ІФХ квасолі звичайної у фазі 2-ох листків за дії абіотичних стресових чинників

За результатами вимірювання ІФХ під дією стресових чинників у фазі двох листків, можна стверджувати, що найзгубніше на рослину діє кисле середовище, оскільки фоновий рівень флуоресценції $F_{0\text{кисле}}=772$, отже, саме цей стресовий чинник викликає найбільші втрати енергії збудження під час міграції по пігментній матриці, а також зменшує вміст молекул хлорофілу. Фонові рівні флуоресценції рослин, що зростали на засолених і зневоднених ґрунтах, теж високі: $F_{0\text{лужне}}=736$ і $F_{0\text{зневоднені}}=725$ порівняно з контролем $F_{0\text{к}}=700$. Ефективність фотохімічних реакцій ФС2, F_v/F_{max} у рослин, які росли під впливом стресових чинників, нижча порівняно з контролем (табл. 1).

1. Вплив підкислених, засолених і зневоднених ґрунтів на параметри індукції флуоресценції хлорофілу квасолі звичайної в фазі двох листків.

Величина гасіння флуоресценції, на яку впливають як фотохімічні, так і

Ґрунт	Параметри									
	F_o	F_{pl}	F_{max}	F_{st}	F_v	K_i	dF_{pl}	dF_{pl}/F_v	F_v/F_{max}	$(F_{max}-F_{st})/F_{st}$
Контроль	700± 62	980± 61	3048± 70	1008± 63	2348	0,7703	280	0,1193	0,7703	2,0238
Підкислений	772± 55	1152± 63	3000± 68	1040± 61	2328	0,7509	380	0,1632	0,7509	1,9808
Засолений	736± 53	1020± 64	2992± 64	1052± 62	2256	0,7540	284	0,1259	0,7540	1,8441
Зневоднений	725± 51	1024± 61	2992± 64	904± 61	2300	0,7687	332	0,1443	0,7687	2,3097

нефотохімічні процеси $(F_{max}-F_{st})/F_{st}$ у рослин, які росли на підкислених і засолених ґрунтах, нижча, ніж у контролю та рослин, що росли на зневодненому ґрунті.

Аналізуючи криві, показані на рис. 2, ми отримали дані, внесені до табл. 2, які переконують, що у фазі цвітіння квасолі звичайної визначені показники зросли.

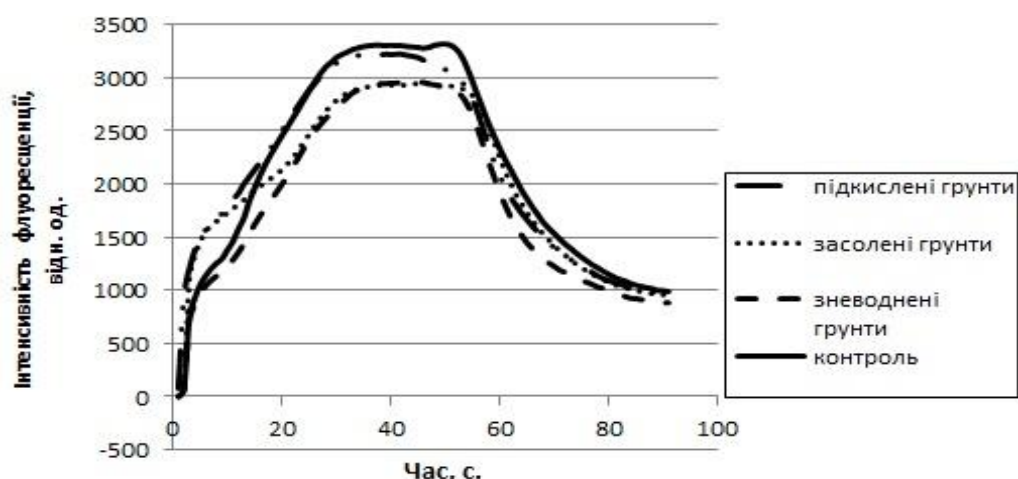


Рис. 2. Криві ІФХ квасолі звичайної у фазі цвітіння за дії абіотичних стресових чинників

Найзгубніше на рослину діє лужне середовище $F_{0\text{лужне}} = 1104$. Отже, саме цей стресовий чинник приводить до найбільших втрати енергії збудження під час її міграції по пігментній матриці, а також зменшує вміст молекул хлорофілу.

2. Вплив підкисленого, засоленого і зневодненого ґрунту на параметри індукції флуоресценції хлорофілу квасолі звичайної в фазі цвітіння.

Ґрунт	Параметри									
	F_0	F_{pl}	F_{max}	F_{st}	F_v	K_i	dF_{pl}	dF_{pl}/F_v	F_v/F_{max}	$(F_{max} - F_{st})/F_{st}$
Контроль	720 ±53	960 ±61	3316 ±69	988 ±56	2568	0,7744	212	0,0826	0,7744	2,3563
Підкислений	944 ±55	1468 ±57	3228 ±67	960 ±52	2284	0,7076	524	0,2294	0,7076	2,3625
Засолений	1104 ±56	1486 ±57	2960 ±65	960 ±52	1856	0,6270	382	0,2058	0,6270	2,0833
Зневоднений	722 ±52	988 ±56	2974 ±65	882 ±57	2252	0,7572	266	0,1181	0,7372	2,37198

Фонові рівні рослин, що зростали на підкисленому і зневодненому ґрунті, теж високі: $F_{0\text{кисле}} = 944$ і $F_{0\text{зневоднене}} = 722$ порівняно з контролем – $F_{0\text{контроль}} = 720$. Інтенсивність фотохімічних реакцій ФС2, F_v/F_{max} у рослин під впливом стресових чинників нижча порівняно з контролем.

За результатами вимірювання ІФХ під дією стресових чинників у фазі плодоношення (рис. 3, табл. 3) фоновий рівень флуоресценції у всіх рослин майже не змінився, що можна пояснити поступовою адаптацією їх до стресу.

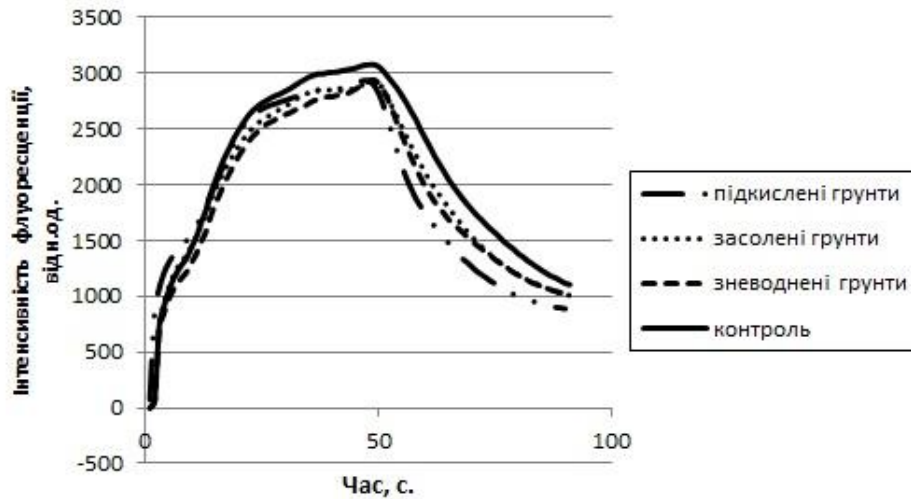


Рис. 3. Криві ІФХ квасолі звичайної в фазі плодоношення за дії абіотичних стресових чинників

Інтенсивність фотохімічних реакцій ФС2, F_v/F_{max} у рослин під впливом стресових чинників залишилася нижчою порівняно з контролем.

3. Вплив підкисленого, засоленого і зневодненого ґрунту на параметри індукції флуоресценції хлорофілу квасолі звичайної у фазі плодоношення.

Ґрунт	Параметри									
	F_o	F_{pl}	F_{max}	F_{st}	F_v	K_i	dF_{pl}	dF_{pl}/F_v	F_v/F_{max}	$(F_{max} - F_{st})/F_{st}$
Контроль	705 ±53	1148 ±65	3084 ±70	1104 ±64	2348	0,7613	412	0,1755	0,7613	1,7935
Підкислений	705 ±53	1324 ±63	2936 ±61	888 ±55	2076	0,7070	464	0,2235	0,7071	2,3063
Засолений	752 ±63	1184 ±66	2932 ±67	1008 ±64	2180	0,7435	432	0,1982	0,7435	1,9087
Зневоднений	707 ±56	1108 ±64	2932 ±67	1012 ±63	2228	0,7599	404	0,1813	0,7599	1,8972

Максимальний рівень флуоресценції хлорофілу найвищий у контрольної групи, але дані інших груп подібні, що ще раз підтверджує здатність рослин адаптуватися до стресових чинників.

Результати вимірювання індексів життєздатності та індексу адаптації залежності флуоресцентних індексів квасолі звичайної від впливу стресових чинників наведені в табл. 4.

4. Залежність індексів життєздатності ($Rfd(690)$ та $Rfd(740)$) від абіотичних стресових чинників

Показник	Контроль	Підкисленість	Засоленість	Зневоднення
$Rfd(690)$	1,077±0,09	0,466±0,04	0,992±0,05	1,550±0,11
$Rfd(740)$	1.618±0,20	0,508±0,03	1,133±0,11	2,136±0,23
$Rfd(740)/Rfd(690)$	1,502	1,090	1,142	1,378

Вони свідчать про те, що флуоресцентні індекси чутливі до впливу абіотичних стресових чинників.

Під впливом підкисленості, засоленості та зневоднення у співвідношення флуоресцентних індексів рослини квасолі мають істотно нижчі, ніж у контролі, оскільки вони піддаються стресу. Зменшення індексів життєздатності супроводжуються серйозним порушенням фотосинтетичного апарату. Вплив водного дефіциту на фотосинтетичну активність рослин і флуоресцентні індекси можна пояснити перевищенням втрат води через транспірацію порівняно з її постачанням через кореневу систему та стебло, що призводить до руйнування хлоропластів та порушення їх функцій. Кислотність є не менш стресовим чинником для рослини. Значна зміна значення рН в той чи інший бік має шкідливий, а іноді і згубний вплив на рослину. Менш шкідливе для рослин зміщення значення рН ґрунту в лужний бік. Це пояснюється тим, що клітини кореня рослини виділяють CO_2 , а іноді й органічні кислоти, які нейтралізують надлишкову лужність. Різке зміщення реакції ґрунту в кислий бік має небажані наслідки через декілька обставин: прямого пошкоджуючого впливу на поверхневі шари протоплазми; гальмування надходження в клітини кореня поживних катіонів; переходу в розчин солей алюмінію і заліза, щоперетворює фосфорну кислоту в незасвоювану для рослин форм і отруєє рослинний організм.

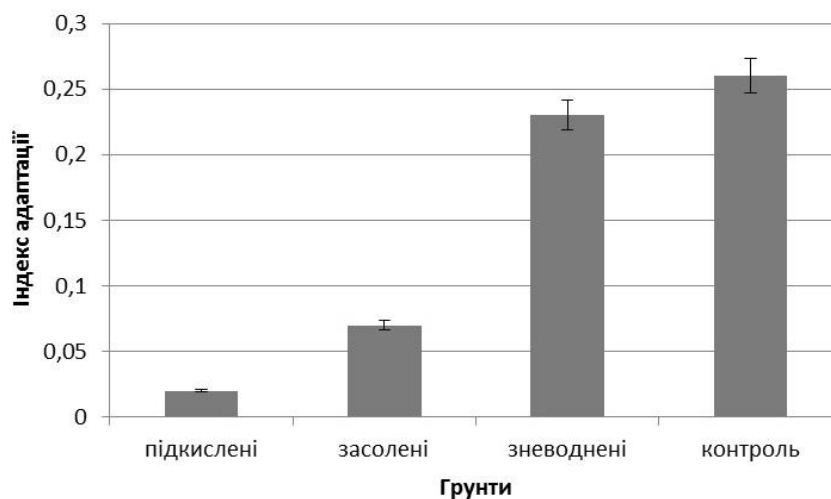


Рис.4. Залежність індексів адаптації від різних стресових умов.

Результати, що представлені на рис. 4, свідчать про те, що індекс адаптації до стресів у листках квасолі, яка росла на підкисленому, засоленому, надмірно осушеному ґрунтах, становив відповідно 0,02, 0,07 та 0,23 відносної одиниці. В той же час у контрольних дослідах цей показник мав значення 0,26. Отримані результати вказують на те, що флуоресцентні індекси чутливі до впливу таких стресових чинників як підкислення, засолення, зневоднення. Всі ці умови призводять до зменшення індексів *Rfd(690)* і *Rfd(740)*, крім зневоднення.

Результати експериментального визначення інтенсивності фотосинтезу газометричним методом за кількістю засвоєного вуглекислого газу (CO_2) фотосинтезуючим листком квасолі звичайної за одиницю часу наведені в табл. 5.

5. Визначення інтенсивності фотосинтезу квасолі звичайної газометричним методом.

Ґрунт	Інтенсивність фотосинтезу, мг $\text{CO}_2 \times \text{дм}^2 / \text{Год}$ (Іф)
Контроль	21,07±3,49
Підкислений	9,13±0,98
Засолений	16,25±1,61
Зневоднений	14,32±1,32

Дані табл. 5 підтверджують, що інтенсивність фотосинтезу під впливом стресових чинників починає спадати, а найзгубніше на фотосинтетичну активність рослини діє закисленість ґрунтів, оскільки інтенсивність фотосинтезу зменшилася істотно на 56,7% порівняно з контролем.

Висновки

1. Проведені дослідження стану фотосинтетичного апарату рослин квасолі за дії ряду чинників довкілля за допомогою трьох типів інструментальних пристроїв. Найбільш ефективним за простотою, експресністю та інформативністю отриманих результатів виявилось застосування біосенсора Флоратест.
2. Виходячи з параметрів ІФХ, встановлено, що у фазі двох листків у квасолі, порівняно з фазами її цвітіння і плодоношення, найзгубніше на рослину діє кисле середовище, оскільки фоновий рівень флуоресценції $F_{01к} = 772$ істотно відрізняється від контролю, саме цей стресовий чинник найбільше зумовлює втрату енергії збудження під час міграції по пігментній матриці, а також зменшує вміст молекул хлорофілу. Інтенсивність фотохімічних реакцій ФС2, F_v/F_{max} і величина гасіння флуоресценції у таких рослин істотно нижча, ніж у контролі.
3. Виявлено, що засоленість ґрунту поступово пригнічує фотосинтетичний апарат рослини. Рівень пригнічення ІФХ спостерігається у фазі цвітіння і має найвищі показники $F_{01л} = 1104$, вищі, ніж під впливом підкислених ґрунтів у фазі двох листків. Максимальна флуоресценція в цих умовах теж істотно знижується. Так, показник F_{max} у рослин на засолених ґрунтах складає 2960, а в контролі він зберігається на рівні 3316.
4. Стресовий чинник – зневоднення, порівняно з підкисленням і засоленням, менш згубно впливає на рослину. В цьому разі найвищий фоновий рівень флуоресценції спостерігався у фазі двох листків ($F_{01к} = 725$), ефективність фотохімічних реакцій (ФС2, F_v/F_{max}) і величина гасіння флуоресценції у таких рослин наближена до контролю.

5. Встановлено, що індекс адаптації до стресів у листках квасолі, під впливом підкислення, засолення, посухи, становив 0,02, 0,07 та 0,23 відносних одиниць, істотно поступаючись контролю (0,26). Отримані результати свідчать про те, що флуоресцентні індекси чутливі до впливу таких стресових чинників як підкислення, засолення, зневоднення. Всі ці умови призводять до істотного зменшення індексів *Rfd(690)* і *Rfd(740)*.
6. Результати, отримані під час газометричного методу діагностики, підтверджують показники, визначені за допомогою портативного флуориметра та біосенсора Флоратест - інтенсивність фотосинтезу істотно зменшувалась під впливом стресових чинників порівняно з контрольним зразком. Під впливом засоленості вона становила $16,25 \text{ мгСО}_2 \times \text{дм}^2/\text{год}$, підкисленості – $9,13 \text{ мгСО}_2 \times \text{дм}^2/\text{год}$, зневоднення – $14,32 \text{ мгСО}_2 \times \text{дм}^2/\text{год}$, а в контролі – $21,07 \text{ мгСО}_2 \times \text{дм}^2/\text{год}$.

Список літератури

1. Дудчак Т. В. Стан і перспективи виробництва в Україні зерна квасолі / Т. В. Дудчак // Збірник наукових праць. – Кам'янець-Подільський – 2007. – № 15. – С.92-96.
2. Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою індукції флуоресценції хлорофілу [О. В. Брайон, Д. Ю. Корнєєв, О. О. Снегур, О. І. Китаєв] Методичні вказівки для студентів біологічного факультету – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2000.– 15 с.
3. Клиша А. І. Взаємозв'язок ознак продуктивності та їхній вплив на урожайність квасолі / А. І. Клиша, І. В. Хорошун // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2009. – № 2. – С. 41-44.
4. Клиша А. І. Мінливість господарсько-цінних ознак у квасолі і добір урожайних форм / А. І. Клиша, І. В. Хорошун // Бюлетень Інституту зернового господарства. – 2009. – № 36. – С. 159-162.

5. Коломієць О. Д. Неспецифічні реакції рослинних клітин на стресові фактори / О.Д. Коломієць // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – 2001. – Т2. – с.41-47.
6. Колупаєв Ю. Є. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень) / Є. С. Колупаєв. – Харків: Хар. держ. агр. ун-т. , 2001. – 173 с.
7. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофила / Д. Ю. Корнеев. – К.: «Альтерпрес», 2002. – 188с.
8. Корсунский В. М. Инструкция к прибору “Флоратест ФТ-1” / В. М. Корсунский – К.: Научно-производственная фирма “Рост”, 1997. – 11 с.
9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Ґрунтознавство” для студентів спеціальності „Екологія та охорона навколишнього середовища” / За ред. Стороженко Д. О. – Полтава: Полтавський нац. технічний ун-т, 2005. – С. 15-24.
10. Посудін Ю. І. Флуоресцентний аналіз гороху посівного *Pisum sativum* впродовж розвитку та під впливом зовнішніх факторів / Ю. І. Посудін, О. В. Богдасева // Наукові доповіді НУБіП України. – 2010. – №5(21).
11. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений [Н. Н. Третьяков, Е. И. Кошкин, Н. М. Макрушин и др.] ; Под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос, 2000. – 640 с.
12. Posudin Y. I. Application of portable fluorometer for estimation of plant tolerance to abiotic factors / Y. I. Posudin, O. O. Godlevska, I. A. Zaloilo, Ya.V. Kozhem'yako // Agrophysics – 2010. – V. 24, No 4. – P.363-368.
13. Romanov V. O. Biosensors for express-diagnostics of photosynthesis and acute viral infections / V. O. Romanov, M. F. Starodub, I. B. Galelyuka // Proceedings: Measurements Control Computers in Economy and Environment Protection – 2010. – 3. – P. 3-7.

14. Smart portable fluorometer for express-diagnostics of photosynthesis: principles of operation and results of experimental researches [V. Romanov, V. Sherer, I. Galelyuka, et al.] Information research and applications (I.TECH 2007): Firth International Conference, 26-30 June 2007, Varna, Bulgaria : Proceedings. – VI., 2007. – Vol. 2. – P. 399-403.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ЭКСПРЕССНАЯ ОЦЕНКА
СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ К
АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ**

**М. В. Таран, К. Е. Шаванова, О.А. Марченко, О. А. Годлевская,
М. Ф. Стародуб**

В статье представлены результаты изучения влияния абиотических стрессовых факторов на состояние фотосинтетического аппарата фасоли обыкновенной методами биосенсорики, обеспечивающие экспресс-диагностику. Определены показатели ИФХ и интенсивности фотосинтеза, а также индексы адаптации и жизнеспособности растений под влиянием абиотических стрессовых факторов.

***Ключевые слова:** биосенсор, ИФХ, индексы адаптации, индексы жизнеспособности, фасоль обыкновенная, абиотические стрессовые факторы.*

**EXPRESS INSTRUMENTAL STABILITY ASSESSMENT
OF ORDINARY BEANS TO ABIOTIC STRESS FACTORS
Taran M.V., Shavanova K.E, Marchenko O.A., Godlevska O.O.,
Starodub N.F.**

The results of studying the influence of abiotic stress factors on the state of the photosynthetic apparatus of bean by the conventional methods based on the biosensors allowed the rapid diagnostics are presented. It was characterized a

number of such indexes: IFH, the intensity of photosynthesis adaptation and viability of plants to abiotic stress factors.

Keywords: *biosensor, IFH, indexes adaptation, sustainability indexes, common bean, abiotic stress factors.*