

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Задорожний А. І. Дослідження динаміки процесів підтоплення сільськогосподарських угідь в системі еколого-меліоративного моніторингу : автореф. дис... к.т.н.: 06.01.02 / А.І. Задорожний. – К.: УкрІНТЕІ, 2006.– 18 с.
2. Евграшкіна Г. П. Прогноз солевого режиму ґрунтів та ґрунтових зон аерації Фрунзенського зрошувального масиву методами математического моделювання / Г.П. Евграшкіна, М.М. Коппель // Меліорація і водне господарство. – 1978. – Вип. 43. – С. 56-63.
3. Игнат'ев В. М. Моделирование продуктивности орошения на меліоративных системах Северного Кавказа : автореф. дис... доктора тех. наук: (06.01.02) / ФГОУ „НГМА” / В.М. Игнат'ев. – Новочеркасск, 2008. – 47 с.
4. Ромащенко М.І. Зрошення земель в Україні / М.І. Ромащенко, С.А. Балюк. – К.: Світ, 2000. – 112 с.
5. Дюран Б. Кластерний аналіз / Б. Дюран, П. Одел; перекл. з англ. Є. Демиденко. – М.: Статистика, 1997. С. 32-38.
6. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник / [Ушкаренко В.О., Нікішенко В.Л., Голобородько С.П., Коковіхін С.В.] – Херсон: Айлант, 2008. – 272 с.
7. Росновский И.Н. Системный анализ и математическое моделирование процессов в почве : учебное пособие ; под. ред. д-ра биол. наук С.П. Кулижского. – Томск: Томский государственный университет, 2007. – 312 с.

**REFERENCES:**

1. Zadorozhnyy, A.I. (2006). Doslidzhennya dynamiky protsesiv pidtoplennya

- sil's'kohospodars'kykh uhid' v systemi ekoloho-melioratyvnoho monitorynhu [Research of dynamics of processes of flooding of agricultural lands in the system of ecological and land reclamation monitoring]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv: UkrINTEI [in Ukrainian].
2. Evgrashkina, G.P., & Koppel', M.M. (1978). Prognoz solevogo rezhima pochv i gruntov zony ajeracii Frunzenskogo oroshaemogo massivа metodami matematicheskogo modelirovanija [Forecast of salt regime of soils and soils of the aeration zone of the Frunze irrigated massif by mathematical modeling methods]. *Melioracija i vodnoe hozjajstvo – Melioration and water management*, 43 [in Ukrainian].
3. Ignat'ev, V.M. (2008). Modelirovanie produktivnosti oroshenija na meliorativnyh sistemah Severnogo Kavkaza [Modeling of irrigation productivity on the meliorative systems of the North Caucasus]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Novoчеркасск [in Ukrainian].
4. Romashchenko, M.I., & Balyuk, S.A. (2000). *Zroshennya zemel' v Ukrayini [Irrigated land in Ukraine]*. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
5. Dyuran, B., & Odel, P. (1997). *Klasternyj analiz [Cluster analysis]*. Moscow: Statystyka [in Russian].
6. Ushkarenko, V.O., Nikishenko, V.L., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2008). *Dyspersiyni i korelyatsiyni analiz u zemlerobstvi i roslynnystvi: navchalnyi posibnyk [The Dispersible and cross-correlation analysis in agriculture and plant-grower : train aid]*. Kherson: Ailant [in Ukrainian].
7. Rosnovskij, I.N. (2007). *Sistemnyj analiz i matematicheskoe modelirovanie processov v pochve [System analysis and mathematical modeling of processes in soil]*. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet [in Russian].

УДК 581.132.1:581.5: 631.5:633.522

**ФУНКЦІОНАЛЬНА ДІАГНОСТИКА АДАПТИВНОСТІ РОСЛИН *CANABIS* ДО УМОВ ПОСУХИ**

**КАБАНЕЦЬ В. М.** – кандидат с.-г. наук, доцент  
Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН  
**КИТАЄВ О. І.** – кандидат с.-г. наук,  
**КРИВОШАПКА В. А.** – кандидат с.-г. наук  
Інститут садівництва НААН

Viktor Kabanets – <http://orcid.org/0000-0002-5981-7184>  
Oleg Kitayev – <http://orcid.org/0000-0002-8931-6516>  
Viktoria Kryvoshapka – <http://orcid.org/0000-0003-4713-8149>

**Постановка проблеми.** Природні умови північного сходу України сприятливі для росту й розвитку конопель посівних (*Cannabis sativa L.*). Однак негативними чинниками літнього періоду для вирощування цієї культури останніми роками є: посуха, представлена компонентами – атмосферною, ґрунтовою, а також нестійкий режим природного зволоження і нерівномірний розподіл опадів протягом вегетації. Одним із способів протистояння

посузі є підвищення посухостійкості рослин – сформованої в процесі еволюції або штучного відбору здатності рослинного організму пристосовуватися до дії засухи та розвиватися і відтворюватися за таких умов погоди [1]. Тому визначення адаптивної спроможності сортів конопель посівних до посухи, оцінка їх чутливості до неї є одним з найважливіших завдань.

**Стан вивчення проблеми.** Існуючу проблему з вивчення сучасних сортів конопель посівних до стійкості їх рослин до дії засухи з метою визначення найбільш стійких до посухи, а також всебічного вивчення комплексу показників фотохімічних і фотофізичних процесів у хлоропластах листків цієї культури у спеціальній літературі як вітчизняних науковців, так і близького зарубіжжя не розкрито, інформація про такі дослідження відсутня. Можна констатувати, що такі дослідження не проводили, що свідчить про актуальність проведених наукових досліджень, результати яких висвітлені в статті.

**Мета дослідження** – оцінка стійкості до засухи і жаростійкості рослин сортів конопель посівних і відбір кращих генотипів, стійких до стресових чинників літнього періоду для наступної селекції.

Останнім часом в екологічному моніторингу для аналізу стану зелених рослин все ширше використовують метод Каутського [2], що ґрунтується на взаємозв'язку змін інтенсивності флуоресценції хлорофілу з фотосинтетичними реакціями в хлоропластах листків [3, 4].

Флуоресценція хлорофілу та її індукційні зміни легко реєструються, що дозволило створити портативні прилади для визначення функціонального стану рослин у польових умовах [5, 6].

Функціональний стан рослин оцінювали аналізуючи індукційні зміни флуоресценції хлорофілу листків з використанням портативного хроно-флуорометра «Флоратест», що дозволяло контролювати роботу фотосистеми 2 (ФС II) хлоропластів [7].

**Матеріали і методи дослідження.** Оцінку функціонального стану пігментної системи з допомогою методу індукції флуоресценції хлорофілу проводили у другій половині літа (липень) 2017 року.

У досліді проаналізований вплив на функціональний стан 8 сортів рослин конопель посівних до умов посухи.

Польові дослідження проводили в умовах експериментальної бази Інституту луб'яних культур НААН. Для лабораторних дослідів були використані повністю сформовані листки верхнього ярусу рослини (7–10 листок). Їх відбирали зранку, в день проведення вимірювань та за необхідності перед аналізом витримували в темноті не менше 30 хвилин. Всього для кожного варіанту досліду було визначено зміни індукції хлорофілу листків в 4-5 зразках.

Індукційні зміни флуоресценції хлорофілу реєстрували за допомогою хронофлуорометра «Флоратест», виробництва Інженерного центру Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Дослідження проводили в лабораторії фізіології Інституту садівництва НААН України. Флуоресценцію хлорофілу збуджували і реєстрували з верхньої поверхні листової пластинки (палісадна паренхіма) протягом трьох хвилин, по закінченню яких на рідкокристалічному моніторі приладу отримували графік. Надалі результати аналізу з приладу передавали на комп'ютер.

Для оцінювання функціонального стану фотосинтетичного апарату за індукційними змінами флуоресценції хлорофілу використано комплекс

параметрів, що дозволило проаналізувати зміни фотосинтетичних процесів у листках, а саме:

$F_0$  – початкове значення, або фоновий рівень флуоресценції (після ввімкнення освітлення), пропорційне кількості молекул хлорофілу, які не мають функціонального зв'язку з реакційними центрами (РЦ) і не передають енергію на фотосинтез;

$F_{pL}$  – рівень флуоресценції хлорофілу на момент досягнення тимчасового вповільнення зростання її сигналу (так зване «плато»);

$F_p$  – значення емісії флуоресценції (у першому максимумі ІФХ), яке пропорційне загальній кількості хлорофілів у межах фотосистеми та обернено пропорційне кількості РЦ;

$F_M$  – значення емісії флуоресценції у додатковому максимумі індукції флуоресценції хлорофілу;

$F_{st}$  – стаціонарний її рівень через 1,5–3 хвилини після початку освітлювання (показник кількості хлорофілів, які не беруть участь у передачі енергії на РЦ).

Інші показники, що характеризують перебіг фотосинтетичних процесів у листках визначали за формулами:

$K_{pL}$  – так званий «коефіцієнт плато», який характеризує частку первинних акцепторів електронів за насичуючої фотосинтез інтенсивності світла ФСII –  $Q_a$ , що не відновлюють реакційні центри:  $K_{pL} = \Delta F_{pL} / F_p, \Delta F_{pL} = F_{pL} - F_0, F_p = F_{p1} - F_0$ ;

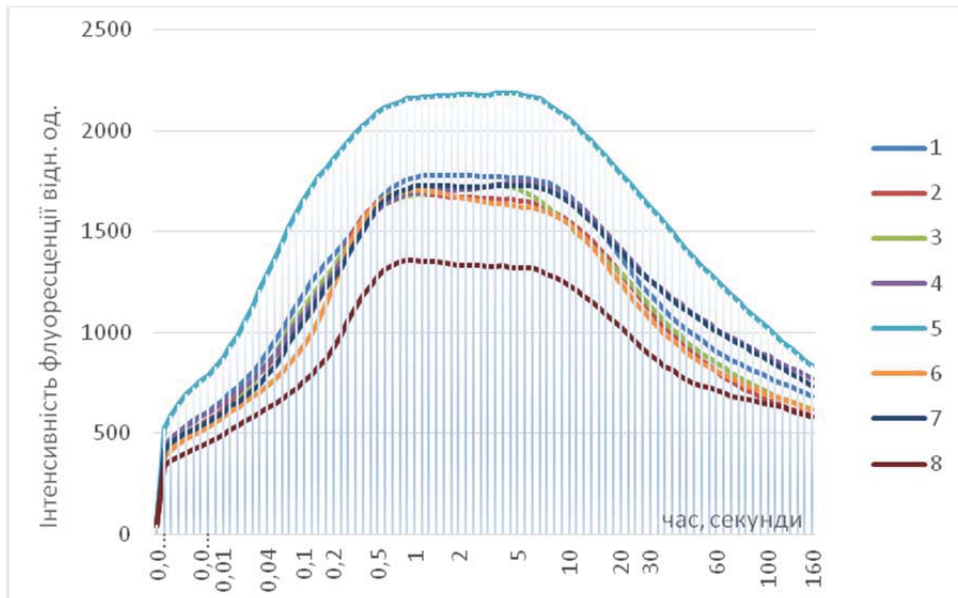
$K_i$  – коефіцієнт ефективності світлової фази фотосинтезу та електронного транспорту поблизу реакційних центрів фотосистеми 2 (ФСII):  $K_i = F_p / F_{p1}$ ;

$RFD$  – коефіцієнт ефективності темнових фотохімічних процесів, або коефіцієнт спаду флуоресценції, який характеризує квантову ефективність фотосинтезу (індекс життєздатності):  $RFD = (F_M - F_{st}) / F_{st}$ .

Усі показники фотоіндукції флуоресценції представлено у відносних одиницях еталону флуоресценції (скло ОС-14) з емісією у такому самому спектральному діапазоні, як і флуоресценція хлорофілу.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Зміна інтенсивності флуоресценції у 8 сортів конопель посівних, які інтродукують на дослідних ділянках Інституту луб'яних культур НААН України показано на графіках (рис. 1). Показник  $F_0$  (рівень флуоресценції хлорофілу, котра випромінюється комплексами ФС II з «відкритими» реакційними центрами) залежить від втрат енергії збудження при її міграції по пігментній матриці світлозбиральних комплексів [8].

Усі рослини конопель посівних у серпні місяці мають незначну інтенсивність  $F_0$ , в межах 360–590 відн. од., що в 3,7–4,1 рази менше, ніж в основному максимумі індукційної кривої (рис. 1). Останнє вказує на незначну частку хлорофілу, який не приймає участі у фотосинтезі. Значення флуоресценції на рівні  $F_{pL}$  опосередковане швидким насиченням енергією реакційних центрів ФСII, які не відновлюють первинний акцептор  $Q_a$ , що характеризує їх як не активні. Наростання флуоресценції від  $F_0$  до  $F_{pL}$ , визначається показником  $\Delta F_{pL}$  і в нашому експерименті він був на рівні 170–290 відн. од.



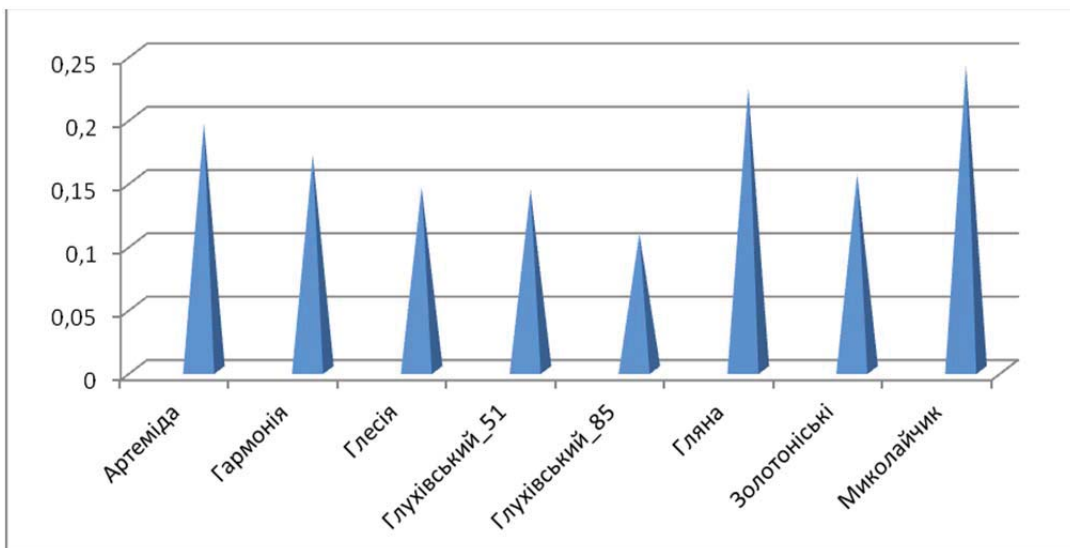
**Рисунок 1. Індукційні зміни флуоресценції хлорофілу листків коноплі (серпень 2017 р.) (середнє по 3-5 листках): 1–Артеміда; 2– Гармонія; 3 – Глесія; 4– Глухівські\_51; 5 – Глухівські\_85; 6 – Гляна; 7– Золотоніські; 8 – Миколайчик.**

Вважається, що за насичуючого фотосинтезу рівня освітленості (300–600 Вт/м<sup>2</sup>), співвідношення  $\Delta F_{pL}/F_v$ , визначає частку  $Q_a$ , які не відновлюють реакційні центри. При цьому воно досить незначне, оскільки  $F_p$ , а з ним і  $F_v$  насичується при значно вищій інтенсивності збуджуючого світла ніж  $F_{pL}$ . В нашому експерименті рівень інтенсивності збуджуючого світла був на порядок нижчим, і тому інтенсивність флуоресценції на рівні  $F_{pL}$  співставне з  $F_p$ . Отже, співвідношення  $\Delta F_{pL}/F_v$  буде набагато більшим, ніж за насичуючого світла. Проте, за таких умов проведення експерименту, цей показник з більшою ефективністю може характеризувати рівень зараження рослин патогенами вірусної природи. За даними вірусологів Кирика М. М., Таранухо Ю. М., перевищення рівня  $\Delta F_{pL}/F_v$  0,45 (за низької інтенсивності збуджуючого світла),

вказує на високу імовірність ураження рослин вірусною інфекцією. У нашому досліді  $\Delta F_{pL}/F_v$  було в межах 0,11–0,24, що є настільки малим, що може бути безумовною ознакою відсутності вірусної інфекції в дослідних зразках (рис. 2). Однак, збільшення частки неактивних реакційних центрів може відбуватися і під впливом абіотичних чинників [9].

При цьому відмітимо, що найвище значення  $K_{pL}$  було зафіксовано у рослин сорту Миколайчик – 0,24, сорту Гляна – 0,22 та сорту Артеміда – 0,20. Найменші значення у рослин сорту Глухівські 85 – 0,11, сортів Глесія та Глухівські 51 по 0,14.

Отже показник  $K_{pL}$  дозволяє оцінити вплив посухи на рівень пошкодження реакційних центрів хлоропластів листків конопель посівних. При цьому його низькі значення вказують на достатньо високу стійкість рослин конопель до посухи.

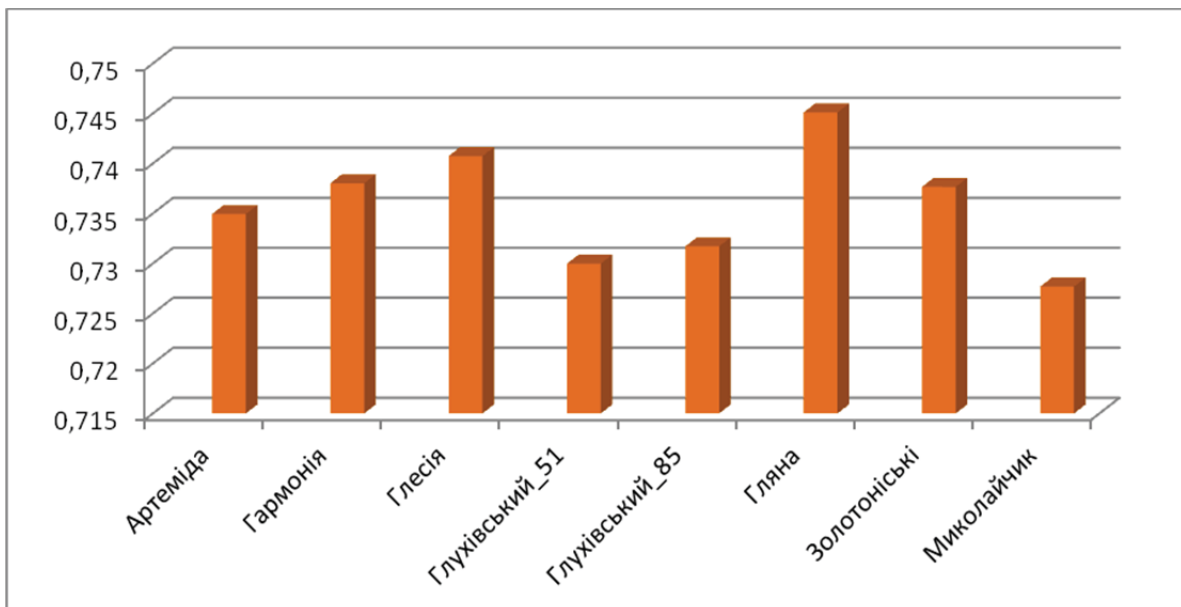


**Рисунок 2. Вплив посухи на відносний вміст неактивних реакційних центрів ФС II (за параметром –  $K_{pL}$ )**

Параметр  $F_p$  характеризує найбільший рівень флуоресценції хлорофілу  $a$ , що фіксується на індукційній кривій. За умов насичуючої інтенсивності світла максимальне значення флуоресценції обумовлене динамічною рівновагою між процесами флуоресценції, фотохімії і теплової дисипації. Вважається, що у точці  $F_p$  за максимального рівня флуоресценції фотосинтез знаходиться на мінімальному рівні [10, 11]. Для рослин конопель посівних у серпні місяці він знаходиться у межах 1360–2170 відн. од. Цей параметр найбільш варіабельний, що обумовлено адаптивними змінами у структурі пігментного комплексу відповідно до інтенсивності випромінювання. За недостатньої інсоляції, що зумовлено потужним листовим покривом відбувається збільшення як світлозбираючих, так і антенних хлорофілів, останнє супроводжується зростанням рівня  $F_p$  особливо у сортів Глухівські 85, Артеміда і Глухівські 51. Найменша амплітуда

$F_p$  зареєстрована у сорту Миколайчик. Останнє зв'язано з архітектонікою та розмірами рослин. При цьому коефіцієнт індукції  $K_1$  змінюється (залежно від сорту) лише від 0,73 до 0,75, що вказує на високу стійкість до посухи структурно-функціональної організації супрамолекулярних комплексів реакційних центрів фотосистеми 2 (ФС II) в усіх сортів конопель посівних (рис. 3).

Поява другого максимуму на індукційній кривій (який часто зветься М-піком) пов'язана із збільшенням споживання АТФ у процесі індукції циклу Кальвіна, що призводить до тимчасової релаксації градієнта протонів у тилакоїдній мембрані хлоропластів ( $\Delta pH$ ), а також до зниження нефотохімічного гасіння флуоресценції [12]. Низка авторів вважає, що індукція циклу Кальвіна, як і амплітуда піка М, залежить від концентрації поновленого НАДФ+, який визначається доступністю та рівнем фотосинтетичної фіксації  $CO_2$  [13, 14].



**Рисунок 3.** Вплив посухи на ефективність світлової фази фотосинтезу та електронного транспорту поблизу реакційних центрів фотосистеми 2 (за параметром  $K_1$ )

У нашому випадку інтенсивність флуоресценції у другому максимумі змінюється від 1333 до 2187 відн. од. Вважається, що в умовах недостатньої освітленості інтенсивність параметру  $F_M$  (М-пік) може бути вищою за  $F_p$ . В наших дослідженнях зареєстровано перевищення  $F_M$  над параметром  $F_p$  для сортів Глухівські 85, Глухівські 51 та Глесія (див. рис. 1). При цьому, незважаючи на потужний листовий апарат рослин конопель посівних, інтенсивність Р-максимуму нижча за інтенсивність М-піку лише на 1-2%, що вказує на достатнє освітлення рослин, які досліджують.

Зменшення флуоресценції від  $F_M$  супроводжується зростанням інтенсивності фотосинтезу, активацією основного ферменту циклу Кальвіна, рибу-

лозобісфосфаткарбоксілази [15, 16, 17]. Інтенсивність спаду флуоресценції до рівня  $F_t$  характеризується коефіцієнтом  $RFD$ , який отримав також назву індексу життєздатності. У нашому досліді визначено, що в умовах посухи цей коефіцієнт змінюється від 1,67 до 2,10 (рис. 4).

Найвищий коефіцієнт  $RFD$  визначено у сортів Гармонія – 2,10 та Глесія – 2,07, найменші у сортів Глухівські 51 – 1,65 та Миколайчик – 1,67.

Таким чином, як найбільш стійкий до посухи за комплексом показників фотохімічних і фотофізичних процесів у хлоропластах листків, виділяються сорти Глесія та Гармонія, а найменша стійкість за всіма параметрами визначена у рослин сорту Миколайчик.



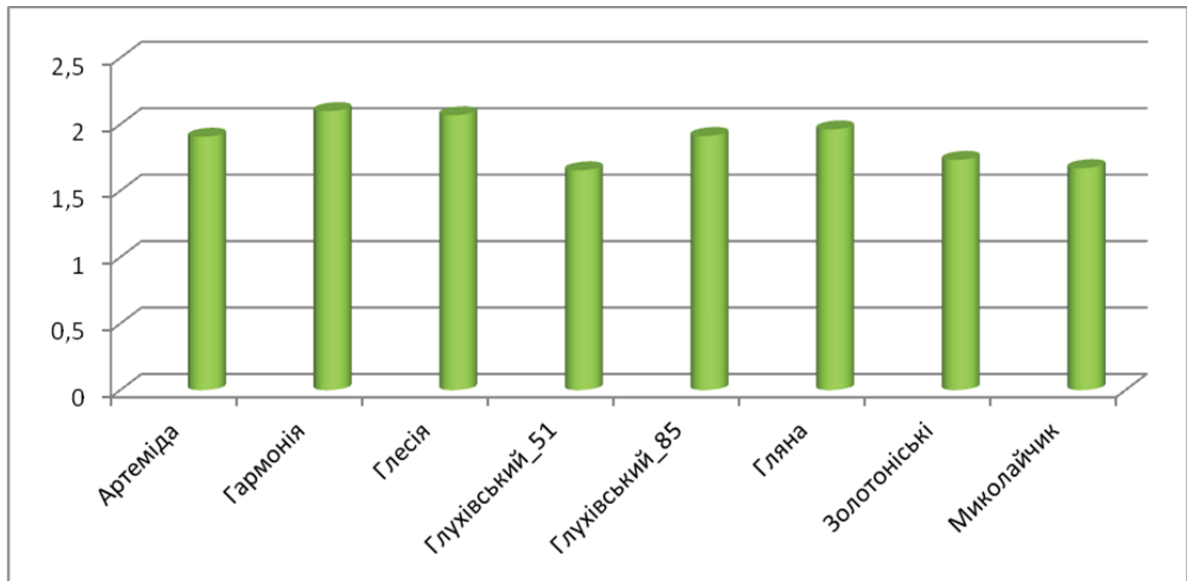


Рисунок 4. Вплив посухи на ефективність темнових фотохімічних процесів (за параметром RFD)

#### Висновки.

Методом індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою приладу «Флоратест», проаналізовано вплив на функціональний стан сортів конопель посівних до умов посухи.

Визначено, що показник  $K_{pL}$  дозволяє оцінити вплив недостатнього зволоження на рівень пошкодження реакційних центрів хлоропластів листків сортів конопель посівних. При цьому необхідно відмітити, що найвище значення  $K_{pL}$  було зафіксовано у рослин сорту Миколайчик – 0,24, сорту Гляна – 0,22 та сорту Артеміда – 0,20. Відносна невисока частка неактивних реакційних центрів вказує на достатню стійкість рослин конопель посівних до посухи.

Таким чином, за комплексом показників фотохімічних та фотофізичних процесів у хлоропластах листків, як найбільш стійкі до посухи виділяються сорти Глесія та Гармонія, а найменша стійкість за всіма параметрами визначена у рослин сорту Миколайчик.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П. А. Генкель. – М.: Наука, 1998. – 280 с.
2. Kautsky H. Neue Versuche zur Kohlensäure-assimilation / H. Kautsky, A. Hirsch // Naturwissenschaften. – 1931. – Vol. 19, Issue 48. – S. 964.
3. Карапетян Н. В. Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений / Н. В. Карапетян, Н. Г. Бухов // Физиология растений. – 1986. – Т. 33, № 5. – С. 1013–1026.
4. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance / U. Schreiber, W. Bilger, H. Hormann, C. Neubauer. In Photosynthesis: a comprehensive treatise. A.S. Raghavendra ed., Cambridge University Press, 1998. – P. 320–336.
5. Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою індукції флуоресценції

хлорофілу. Методичні вказівки для студентів біологічного факультету / О. В. Брайон, Д. Ю. Корнеєв, О. О. Снегур, О. І. Китаєв. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2000. – 15 с.

6. Корнеєв Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеєв. – К.: Альтерпрес, 2002. – 188 с.

7. Китаєв О. Портативний хронофлуорометр для експрес-діагностики фотосинтезу «Флоратест» / О. Китаєв, П. Ключан, В. Романов // Зб. доп. конф. – звіту з комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України у галузі сенсорних систем та технологій (Київ, 2–3 лютого 2005 р.). – Київ, 2005. – С. 59.

8. Бухов Н. Г. Старение листа. Выявление участков, лимитирующих фотосинтез, с помощью коэффициентов тушения флуоресценции хлорофилла и редокс-изменений Р-700 в листьях / Н. Г. Бухов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – С. 352–360.

9. Діагностика вірусної інфекції смородини чорної та малини методом індукції флуоресценції хлорофілу листків / М. М. Кирик, Ю. М. Таранухо, М. П. Таранухо, О. І. Китаєв, В. А. Скрыга, Д. М. Артеменко // Вісник аграрної науки : зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 10. – С. 26–28.

10. Kautsky H. Das Fluoreszenzverhaltensgrüner Pflanzen / H. Kautsky, A. Hirsch // Biochem Z. – 1934. – Vol. 274. – P. 422–434.

11. Walker D. A. Secondary fluorescence kinetics of spinach leaves in relation to the onset of photosynthetic carbon assimilation / D. A. Walker // Planta. – 1981. – Vol. 153. – P. 273–278.

12. Bukhov N. G. The correlation between the induction kinetics of the photoacoustic signal and chlorophyll fluorescence in barley leaves is governed by changes in the redox state of the photosystem II acceptor side. A study under atmospheric and high CO<sub>2</sub> concentrations / N. G. Bukhov, N. Boucher, R. Carpentier // Can. J. Bot. – 1997. – Vol. 75. – P. 1399–1406.

13. Lichtenthaler H. K. The Kautsky effect 60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics / H. K. Lichtenthaler // *Photosynthetica*. – 1992. – Vol. 27, № 1–2. – PP. 45–55.

14. Lazár D. Chlorophyll a fluorescence induction / D. Lazár // *Biochim. Et Biophys. Acta*. – 1999. – Vol. 1412, No. 1. – P. 1–28.

15. Lichtenthaler H. K., Babani F. Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity // *Chlorophyll fluorescence : a signature of photosynthesis* / Eds. Papageorgiou G. C., Govindjee. Dordrecht: Springer, 2004. – p. 713–736.

16. Lichtenthaler H. K. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RfD of leaves with the PAM fluorometer / H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann, M. Knapp // *Photosynthetica*. – 2005. – Vol. 43, No. 3. – p. 379–393.

17. Лысенко В. С. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В. С. Лысенко, Т. В. Вардуни, В. Г. Соьер, В. П. Краснов // *Фундаментальные исследования. Биологические науки*. – 2013. – № 4. – С. 112–120.

#### REFERENCES:

1. Henkel, P.A. (1998). *Fiziologija zharo- i zasuhoustojchivosti rastenij [Physiology of heat and drought resistance of plants]*. Moscow: Nauka [in Russian].

2. Kautsky, H., & Hirsch, A. (1931). Neue Versuche zur Kohlensäureassimilation. *Naturwissenschaften*, Vol 19, 48, 964.

3. Karapetian, N.V., & Bukhov, N.H. (1986). Peremennaja fluorescencija hlorofilla kak pokazatel' fiziologicheskogo sostojanija rastenij [Variable fluorescence of chlorophyll as an indicator of the physiological state of plants]. *Fiziologija rastenij – Plant Physiology*, Vol 33, 5, 1013–1026 [in Russian].

4. Schreiber U., Bilger W., Hormann H., & Neubauer C. (1998). Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool : basics and some aspects of practical relevance. In *Photosynthesis: a comprehensive treatise* A.S. Raghavendra ed., Cambridge University Press, 320–336 [in English].

5. Braion, O.V., Kornieiev, D.Yu., Sniehur, O.O., & Kytaiev, O.I. (2000). *Instrumentalne vyvchennia fotosyntetichnoho aparatu za dopomohoiu induktsii fluorestsentsii khlorofilu. Metodichni vkazivky dlia studentiv biolohichnoho fakultetu [Instrumental study of photosynthetic apparatus by induction of fluorescence of chlorophyll. Methodological instructions for students of the biological faculty]*. Kiev: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet» [in Ukrainian].

6. Korneev, D.Yu. (2002). *Informacionnye vozmozhnosti metoda induktsii fluorescencii hlorofilla [Information possibilities of the method of induction of chlorophyll fluorescence]*. Kiev: Alterpres [in Ukrainian].

7. Kytaiev, O., Klochan, P., & Romanov, V. (2005). Portatyvnyi khronofluorometr dlia ekspres-diahnostyky fotosintezu «Floratest» [Portable Chronofluorometer for Express-Diagnostics of Photosynthesis "Floratest"] *Kompleksnoi prohramy fundamentalnykh*

*doslidzhen NAN Ukrainy u haluzi sensorynykh system ta tekhnolohii '05: Nauchno-przkticheskaia konferentsiia (2-3 liutoho 2005 hoda) – Scientific and Practical Conference (pp. 59)*. Kyiv [in Ukrainian].

8. Bukhov, N.H. (1997). Starenie lista. Vyjavlenie uchastkov, limitirujushhih fotosintez, s pomoshh'ju koefitsientov tusheniya fluorescencii hlorofilla i redoksozmenenij R-700 v list'jah [Aging of the leaf. Identification of sites that limit photosynthesis, using the fluorescence quenching coefficients of chlorophyll and redox changes in P-700 in leaves]. *Fyzyolohyia rastenyi – Plant Physiology*, Vol 44, 352–360 [in Russian].

9. Kyryk, M.M., Taranukho, Yu.M., Taranukho, M.P., Kytaiev O.I., Skriaha, V.A., & Artemenko, D.M. (2011). Diahnostyka virusnoi infektsii smorodyny chornoi ta malyny metodom induktsii fluorestsentsii khlorofilu lystkiv [Diagnosis of viral infection of black currant and raspberry by fluorescence induction method of chlorophyll leaves]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agrarian Science*, 10. 26–28 [in Ukrainian].

10. Kautsky, H., & Hirsch A. (1934) Das Fluoreszenzverhaltengruener Pflanzen. *Biochem Z.* Vol. 274, 422–434.

11. Walker, D.A. (1981). Secondary fluorescence kinetics of spinach leaves in relation to the onset of photosynthetic carbon assimilation. *Planta*, Vol. 153, 273–278 [in English].

12. Bukhov, N., Boucher N., & Carpentier R. (1997). The correlation between the induction kinetics of the photoacoustic signal and chlorophyll fluorescence in barley leaves is governed by changes in the redox state of the photosystem II acceptor side. A study under atmospheric and high CO<sub>2</sub> concentrations. *Can. J. Bot.* Vol. 75, 1399–1406 [in English].

13. Lichtenthaler, H.K. (1992) The Kautsky effect 60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics. *Photosynthetica*. Vol. 27, 1–2, 45–55 [in English].

14. Lazár, D. (1999). Chlorophyll a fluorescence induction. *Biochim. Et Biophys. Acta*, Vol. 1412, 1, 1–28 [in English].

15. Lichtenthaler, H., & Babani, F. (2004). Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. *Chlorophyll fluorescence : a signature of photosynthesis*. Eds. Papageorgiou G. C., Govindjee. Dordrecht: Springer, 713–736 [in English].

16. Lichtenthaler, H., Buschmann, C., & Knapp, M. (2005). How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RfD of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, Vol. 43, 3, 379–393 [in English].

17. Lusenko, V.S., Varduny, T.V., Soier, V.H., & Krasnov, V.P. (2013). Fluorescencija hlorofilla rastenij kak pokazatel' jekologicheskogo stressa: teoreticheskie osnovy primenenija metoda [Fluorescence of plant chlorophyll as an indicator of environmental stress: the theoretical basis for applying the method]. *Fundamental'nye issledovanija. Biologicheskie nauki – Fundamental research. Biological Sciences*, 4, 112–120 [in Russian].