

ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ ГЕРБІЦИДУ ПІРОКСУЛАМУ ЗА ЗАСТОСУВАННЯ ХІТОЗАНУ ТА КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ

СОНЬКО Р.В. – завідувач лабораторії

orcid.org/0000-0002-2309-7226

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ТРАЧ В.В. – кандидат біологічних наук

orcid.org/0000-0003-0345-2427

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ТОНХА О.Л. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-0677-5494

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Постановка проблеми. Сучасні тенденції сільського господарства України спрямовані на інтенсифікацію виробництва в рослинництві, оновлення асортименту гербіцидів завдяки створенню нових комплексних препаратів, які мають низку переваг порівняно із препаратами з однією діючою речовиною. Сумісне застосування діючих речовин із різними механізмами фітотоксичності дозволяє запобігти виникненню біотипів бур'янів, резистентних до гербіцидів із певним механізмом дії [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гербіцид піроксулам за механізмом дії належить до інгібіторів ацетолактатсинтази (далі – АЛС), яка бере участь у синтезі амінокислот із розгалуженим ланцюгом: валіну, лейцину, ізолейцину, ефективно контролює багато видів однорічних злакових і окремі види дводольних бур'янів [2]. Для підсилення дії цього гербіцидного препарату на дводольні їх види застосовують препарат хітозан [3]. У літературі практично відсутні дані про спільне застосування гербіцидів різних механізмів дії та хітозану, наноелементів за позакореневої обробки рослин. Вивчення цих питань є вкрай актуальним, оскільки добре відомо, що отримання високих урожаїв неможливе без застосування гербіцидів.

У невеликих кількостях наночастинки міді широко використовуються в сільському господарстві як мікроелементи для синтезу лігніну та деяких інших ферментних систем, як-от супероксиддисмутаза Cu/Zn (SOD), оксидаза цитохрому, аміноксидаза, пластоціанін та поліфенолоксидаза [4], фотосинтезу та метаболізму вуглеводів та білків [5; 6], можуть зменшувати хвороби рослин [7]. Однак високі концентрації таких металів можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослин, спричиняти фітотоксичність, детальні механізми якої все ще залишаються незрозумілими [5]. Тому варто проводити токсикологічні дослідження, щоб оцінити долю наночастинок, їхню токсичну дію, трансформацію та розподіл у рослинах, на додаток до їхнього впливу на фізіологічний, біохімічний та молекулярний аспекти.

Застосування бакових сумішей із наноелементами є економічно вигідним, оскільки дозволяє скоротити кількість обробок [8; 9]. Однак воно стає можливим тільки тоді, коли попередніми дослідженнями показано відсутність антагонізму між компонентами суміші. Фітотоксичність гербіцидів призводить до зниження на 35 і 32% вмісту хлорофілу і білка. Завдяки посиленню

уваги до цієї проблеми токсичність пестицидів останніми роками значно зменшилася, покращилися й інші параметри препаратів. У результаті інноваційних розробок у сільськогосподарському виробництві стали доступними препарати, які мають знижену токсичність для людини, безпечні для тварин і швидко інактивуються в навколишньому середовищі [10–18].

Мета статті – оцінити фітотоксичну дію гербіциду піроксуламу за застосування хітозану та колоїдного розчину міді в поєднанні зі сріблом на дводольні види бур'янів, параметри індукції флуоресценції хлорофілу (далі – ІФХ).

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили з рослинами гороху (*Pisum sativum* L.), які використовували як модель середньочутливих дводольних бур'янів. Рослини вирощували у пластикових посудинах із субстратом (суміш ґрунту з піском у співвідношенні 3:1 на вегетаційному майданчику Інституту фізіології рослин і генетики Національної академії наук України.

Варіанти дослідження були такі: 1 – контроль (вода); 2 – піроксулам; 3 – піроксулам + хітозан; 4 – піроксулам + колоїдний розчин (Cu + Ag); 5 – піроксулам + хітозан + колоїдний розчин (Cu + Ag); 6 – хітозан; 7 – колоїдні розчини (Cu + Ag).

Рослини обробляли піроксуламом у концентрації 5*10⁻⁵ М у фазі 3 справжні листки, колоїдним розчином Cu + Ag (0,1 мг/л), а також хітозаном – 0,2 відсотковий розчин. Повторність досліду – 5-разова

Колоїдний розчин міді в поєднанні зі сріблом отримували методом електроіскрового синтезу у плазмі ряду між струмопровідними гранулами у воді [8; 10].

Дослідження особливості реакції фотосинтетичного апарату рослин на обробку досліджуваними препаратами проводили методом реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) за допомогою портативного флуорометра «Флоратест» (Україна). Характеристику стану фотосинтетичного апарату рослин проводили за зміною параметра Fv/Fp, величина якого залежить від ефективності фотохімічних реакцій фотосистеми II (далі – ФС II). Кореляція цього параметра із квантовим виходом фотосинтезу дозволяє використовувати його для характеристики процесів фотосинтезу в межах цілого організму [2]. Для вимірювання на рослинах відбиралися листки, найбільш ідентичні один з одним.

Вимірювання проводили після 3-х хвилин темної адаптації. Час вимірювання становив три хвилини.

Результати досліджень. Найбільше пригнічував ріст рослин гороху варіант із поєднанням піроксуламу, хітозану і колоїдного розчину Cu + Ag. Так, на 21-у добу після позакореневої обробки рівень наростання маси сирової речовини надземної частини гороху був у 2,5 рази меншим порівняно з контролем (рис. 1). Найбільш позитивний ефект проявився у варіанті за використання колоїдного розчину, де маса рослин збільшилася порівняно з контролем на 16%.

Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів на 19-у добу після позакореневої обробки гербіцидом показало, що піроксулам спричинив зменшення вмісту хлорофілів a і b (табл. 1). Такий ефект може бути зумовлений пригніченням білкового синтезу внаслідок дії на фермент АЛС. Зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів за дії гербіциду може бути також посилено їх руйнуванням, що, імовірно, пов'язане з вільнорадикальними процесами.

На тлі обприскування рослин гороху піроксуламом позакоренева обробка хітозаном призвела до ще більшого зменшення вмісту хлорофілу a, але зросла кількість хлорофілу в порівняно з варіантом з одним лише внесенням піроксуламу. Колоїдний розчин не мав такого впливу, тому концентрація хлорофілу a і b була дещо нижчою порівняно з контролем. Наші дослідження пока-

зують, що через 30 хвилин після обробки найбільшу фізіологічну активність проявляють колоїдні розчини та хітозан. У рослин шостого та сьомого варіантів значення показника Fv/Fm зменшилось на 5%.

Через шість годин після обробки в усіх рослин спостерігалось зменшення фотосинтетичної активності. Найбільш прореагували на обробку рослини другого і варіанта з колоїдними розчинами металів, у яких інтенсивність фотосинтезу зменшилась на 10–12% щодо контролю. У решті варіантів різниця не перевищувала 5%.

Фізіологічний стан рослин наступного дня після обробки суттєво не змінився, проте в деяких варіантах дія препаратів посилилась. Незалежно від ярусу, інтенсивність фотосинтезу в дослідних варіантах була меншою порівняно з контролем, а виявлена різниця була несуттєвою. Виняток становлять рослини 6-го варіанта, де різниця була 7%, а показники фотосинтетичної активності були менші на 3 ярусі.

На восьмий день після обробки спостерігалась вищенаведена тенденція. Найбільший негативний вплив проявлявся у 5 варіанті обробки, зниження порівняно з контролем становило 6%. Отже, обробка рослин піроксуламом призводила до зменшення фотосинтетичної активності рослин, з формуванням мінімальних значень на 6 годину. Поєднання піроксулану з хітозаном, варіант із колоїдними розчинами, призвело до зменшення

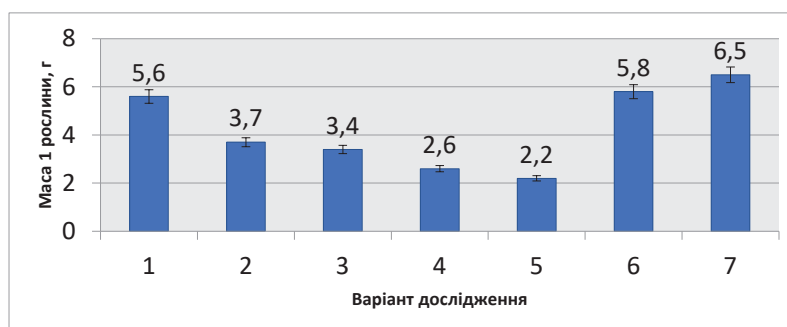


Рис. 1. Вплив позакореневої обробки препаратів на середню масу надземної частини рослин гороху на 21-у добу: 1 – контроль; 2 – піроксулам; 3 – піроксулам + хітозан; 4 – піроксулам + колоїдний розчин (Cu + Ag); 5 – піроксулам + хітозан + колоїдний розчин (Cu + Ag); 6 – хітозан; 6 – колоїдні розчини (Cu + Ag)

Таблиця 1 – Вміст фотосинтетичних пігментів (мкг/мг сирової речовини) у листках гороху після позакореневої обробки (1-й зверху повністю сформований листок)

Варіанти досліджу	Вміст пігментів	
	Хлорофіл a	Хлорофіл b
Контроль	0,98 ± 0,05	0,38 ± 0,01
Піроксулам	0,49 ± 0,02	0,29 ± 0,01
Піроксулам + хітозан	0,35 ± 0,02	0,19 ± 0,02
Піроксулам + колоїдний розчин (Cu + Ag)	0,51 ± 0,04	0,31 ± 0,01
Піроксулам + хітозан + колоїдний розчин (Cu + Ag)	0,47 ± 0,03	0,21 ± 0,02
Хітозан	1,05 ± 0,01	0,37 ± 0,01
Колоїдні розчини (Cu + Ag)	0,84 ± 0,08	0,29 ± 0,01

Таблиця 2 – Показники параметру Fv/Fm в залежності від часу обробки

Варіант обробки	Час після обробки				
	30 хвилин	6 годин	2-й день	3-й день	8-й день
Контроль	0,766 ± 0,025	0,741 ± 0,063	0,708 ± 0,174	0,785 ± 0,002	0,761 ± 0,003
Піроксулам	0,782 ± 0,012	0,664 ± 0,006	0,772 ± 0,003	0,777 ± 0,008	0,744 ± 0,001
Піроксулам+ хітозан	0,761 ± 0,012	0,721 ± 0,049	0,684 ± 0,013	0,748 ± 0,005	0,762 ± 0,001
Піроксулам+ колоїдний розчин (Cu + Ag)	0,790 ± 0,016	0,728 ± 0,055	0,701 ± 0,001	0,772 ± 0,01	0,749 ± 0,012
Піроксулам+ хітозан + кол. розч. (Cu + Ag)	0,782 ± 0,004	0,755 ± 0,032	0,763 ± 0,006	0,730 ± 0,023	0,714 ± 0,042
Хітозан	0,721 ± 0,06	0,748 ± 0,018	0,765 ± 0,012	0,767 ± 0,037	0,764 ± 0,019
Колоїдний розчин (Cu + Ag)	0,722 ± 0,093	0,67 ± 0,059	0,687 ± 0,009	0,776 ± 0,004	0,779 ± 0,002

показників вже через 30 хвилин та повернення до норми або покращення через тиждень. Подібний характер змін спостерігався в рослин, оброблених чистим хітозаном, проте в даному разі повернення до норми спостерігалося через 6 годин. Застосування трьох розчинів у комплексі (варіант 5) спричинило зменшення фотосинтетичної активності, яке спостерігалося і через тиждень, хоча на початку вимірювання різниця була несуттєва.

Висновки. Комплексне застосування піроксуламу, хітозану і колоїдного розчину Cu + Ag, а також піроксуламу з хітозаном призвело до значного пригнічення росту і розвитку рослин гороху і зменшення вмісту фотосинтетичних ферментів. Позитивний ефект проявився за використання колоїдного розчину, де маса рослин збільшилася порівняно з контролем на 16%. Усі варіанти дослідження мали фітотоксичний ефект, який проявлявся на різні дні після обробки. Але за тиждень він зменшувався, за винятком варіанта з комплексним застосуванням піроксулам + хітозан + колоїдний розчин (Cu + Ag).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мордерер Є.Ю. Комплексні гербіциди Паллас™ Екстра та Квелекс™ – нові можливості захисту посівів зернових колосових. 2018. URL: https://www.dowagro.com/content/dam/hdas/dowagro_ukraine.
2. Рубин А.Б., Кренделева Т.Е. Регуляція первичних процесів фотосинтезу. *Успехи біологічної хімії*. 2003. Т. 43. С. 225–266.
3. Вплив хітозану на фітотоксичну дію гербіциду гранстар / В.В. Трач та ін. *Бур'яни, особливості їх біології та систем контролювання в посівах сільськогосподарських культур* : збірник наукових праць : матеріали 8-ї Науково-теоретичної конференції Українського наукового товариства гербологів, м. Київ, 16–17 березня 2012 р. Київ : Колобіг ; Фенікс, 2012. С. 229–233.
4. Функціональні наноматеріали для потреб сільськогосподарства / В.А. Копілевич та ін. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2008. № 130. С. 349–354.
5. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection : A review / L.R. Khot et al. *Crop Prot.* 2012. № 35. P. 64–70. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.01.007.
6. Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications

of inkjet-printed electronics / Y. Lee et al. *Nanotechnology*. 2008. № 19. P. 415604. DOI: 10.1088/0957-4484/19/41/415604.

7. Antifungal activity of biosynthesised copper nanoparticles evaluated against red root-rot disease in tea plants / P. Ponmurugan et al. *J. Exp. Nanosci.* 2016. № 11. P. 1019–1031. DOI: 10.1080/17458080.2016.1184766.

8. Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом ОЭИД / А.А. Щерба и др. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2010. Вип. 26. С. 152–160.

9. Використання біологічно активних препаратів на основі нанорозмірних часток металів в технології вирощування сої / С.М. Каленська та ін. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2010. Серія «Біологія». Ч. 2. С. 24–32.

10. Маточний колоїдний розчин металів : Пат. 38459 України на корисну модель / К.Г. Лопатько та ін. Опубл. 12.01.2009.

11. Sommer A.L. Copper as an essential for plant growth. *Plant Physiol.* 1931. № 6. P. 339. DOI: 10.1104/pp.6.2.339.

12. An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity / D.K. Tripathi et al. *Plant Physiol. Biochem.* 2017. № 110. P. 2–12. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.07.030.

13. Phytotoxicity of Nanoparticles / M. Faisal et al. Berlin, Germany : Springer, 2018.

14. Kiaune L., Singhasemanon N. Pesticidal copper (I) oxide: Environmental fate and aquatic toxicity. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2011. № 213. P. 1–26. DOI: 10.1007/978-1-4419-9860-6_1.

15. Stampoulis D., Sinha S.K., White J.C. Assay-Dependent Phytotoxicity of Nanoparticles to Plants. *Environ. Sci. Technol.* 2009. № 43. P. 9473–9479. DOI: 10.1021/es901695c.

16. Phytotoxicity and accumulation of copper oxide nanoparticles to the Cu-tolerant plant *Elsholtzia splendens*/J. Shi et al. *Nanotoxicology*. 2014. №8. P. 179–188. DOI: 10.3109/17435390.2013.766768.

17. Copper Nanoparticles Induced Genotoxicity, Oxidative Stress, and Changes in Superoxide Dismutase (SOD) Gene Expression in Cucumber (*Cucumis sativus*) Plants / K.A. Mosa et al. *Front. Plant Sci.* 2018. № 9. P. 872. DOI: 10.3389/fpls.2018.00872.

18. Copper Oxide Nanoparticle Mediated DNA Damage in Terrestrial Plant Models / D.H. Atha et al. *Environ.*

Sci. Technol. 2012. № 46. P. 1819–1827. DOI: 10.1021/es202660k.

REFERENCES:

- Morderer, Ye.Yu. (2018). Kompleksni herbitydy Pallas™ Ekstra ta Kveleks™ – novi mozhlyvosti zakhystu posiviv zernovykh kolosovykh [Complex herbicides Pallas™ Extra and Quelex™ – new opportunities for protection of cereal crops]. URL: https://www.dowagro.com/content/dam/hdas/dowagro_ukraine [in Ukrainian].
- Rubin, A.B., & Krendeleva, T.E. (2003). Regulyatsiya pervichnykh protsessov fotosinteza [Regulation of primary processes of photosynthesis]. *Uspehi biologicheskoy himii – Advances in biological chemistry*, 43, 225–266 [in Russian].
- Trach, V.V., Hural'chuk, Zh.Z., Hrynyuk, S.O., & Morderer, Ye.Yu. (2012). Vplyv khitozanu na fitotoksychnu diyu herbitydu hranstar [The effect of chitosan on the phytotoxic effect of the herbicide granstar]. *Bur'yany, osoblyvosti yikh biolohiyi ta system kontrolyuvannya u posivakh sil's'kohospodars'kykh kul'tur: zbirnyk nauk. Prats': mater. 8-yi nauk. teor. konf. Ukr. nauk. tov-va herbolohiv [Weeds, features of their biology and control systems in crops: a collection of scientific papers: materials of the 8th scientific-theoretical conference of the Ukrainian Scientific Society of Herbologists]* (pp. 229–233). Kyiv: "Kolobih", Feniks [in Ukrainian].
- Kopilevych, V.A., Maksin, V.I., Kaplunencko, V.H., & Kosinov, M.V. (2008). Funktsional'ni nanomaterialy dlya potreb sil's'koho hospodarstva [Functional nanomaterials for agriculture]. *Visnyk NAU – Bulletin of NAU*, 130, 349–354 [in Ukrainian].
- Khot, L.R., Sankaran, S., Maja J.M., Ehsani, R., & Schuster, E.W. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Prot*, 35: 64–70. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.01.007 [in English].
- Lee, Y., Choi, J.R., Lee, K.J., Stott, N.E., & Kim, D. (2008). Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications of inkjet-printed electronics. *Nanotechnology*, 19: 415604. DOI: 10.1088/0957-4484/19/41/415604 [in English].
- Ponmurugan, P., Manjukarunambika, K., Elango, V., & Gnanamangai, B.M. (2016). Antifungal activity of biosynthesised copper nanoparticles evaluated against red root-rot disease in tea plants. *J. Exp. Nanosci*, 11: 1019–1031. DOI: 10.1080/17458080.2016.1184766 [in English].
- Scherba, A.A., Zaharchenko, S.N., Lopatko, K.G. et al. (2010). Razryadno-impulsnyie sistemyi proizvodstva nanokolloidnykh rastvorov biologicheskii aktivnykh metallov metodom OEID [Discharge-pulse systems for the production of nanocolloidal solutions of biologically active metals by the OEID method]. *Pratsi In-tu elektrodinamiki NAN UkraYini – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 152–160 [in Russian].
- Kalens'ka, S.M., Novyts'ka, N.V., Andriyets', D.V., & Kholodchenko, R.M. (2010). Vykorystannya biolohichnoaktyvnykh preparativ na osnovi nanorozmirnykh chastok metaliv v tekhnolohiyi vyroshchuvannya soyi [The use of biologically active drugs based on nanosized metal particles in soybean growing technology]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya "Biolohiya" – Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Biology"*, 2, 24–32 [in Ukrainian].
- Lopat'ko, K.H., Aftandilyants, Ye.H., Tonkha, O.L., & Kalens'ka, S.M. Matochnyy koloyidnyy rozchyn metaliv : Pat. 38459 Ukrayiny na korysnu model' [Uterine colloidal solution of metals: Pat. 38459 of Ukraine on a useful model]. Publ. 12.01.2009 [in Ukrainian].
- Sommer, A.L. (1931). Copper as an essential for plant growth. *Plant Physiol*, 6: 339. DOI: 10.1104/pp.6.2.339 [in English].
- Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V.P., Sharma, N.C., Prasad, S.M., Dubey, N.K., & Chauhan, D.K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiol. Biochem*, 110: 2–12. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.07.030 [in English].
- Faisal, M., Saquib, Q., Alatar, A.A., & Al-Khedhairi, A.A. (2018). Phytotoxicity of Nanoparticles. Springer; Berlin, Germany [in English].
- Kiaune, L., & Singhasemanon, N. (2011). Pesticidal copper (I) oxide: Environmental fate and aquatic toxicity. *Rev. Environ. Contam. Toxicol*, 213: 1–26. DOI: 10.1007/978-1-4419-9860-6_1 [in English].
- Stampoulis, D., Sinha, S.K., & White, J.C. (2009). Assay-Dependent Phytotoxicity of Nanoparticles to Plants. *Environ. Sci. Technol*, 43: 9473–9479. DOI: 10.1021/es901695c [in English].
- Shi, J., Peng, C., Yang, Y., Yang, J., Zhang, H., Yuan, X., Chen, Y., & Hu, T. (2014). Phytotoxicity and accumulation of copper oxide nanoparticles to the Cu-tolerant plant *Elsholtzia splendens*. *Nanotoxicology*, 8: 179–188. DOI: 10.3109/17435390.2013.766768 [in English].
- Mosa, K.A., El-Naggar, M., Ramamoorthy, K., Alawadhi, H., Elnaggar, A., Wartanian, S., Ibrahim, E., & Hani, H. (2018). Copper Nanoparticles Induced Genotoxicity, Oxidative Stress, and Changes in Superoxide Dismutase (SOD) Gene Expression in Cucumber (*Cucumis sativus*) Plants. *Front. Plant Sci*, 9: 872. DOI: 10.3389/fpls.2018.00872 [in English].
- Atha, D.H., Wang, H., Petersen, E.J., Cleveland, D., Holbrook, R.D., Jaruga, P., Dizdaroglu, M., Xing, B., Nelson, B.C. (2012). Copper Oxide Nanoparticle Mediated DNA Damage in Terrestrial Plant Models. *Environ. Sci. Technol*, 46: 1819–1827. DOI: 10.1021/es202660k [in English].

Сонько Р.В., Трач В.В., Тонха О.Л. Оцінка фітотоксичної дії гербіциду піроксуламу за застосування хітозану та колоїдних розчинів

Мета – оцінити фітотоксичну дію гербіциду піроксуламу за застосування хітозану та колоїдного розчину міді в поєднанні зі сріблом на дводольні види бур'янів, параметри індукції флуоресценції хлорофілу. Результати. У статті наведено результати досліджень оцінки фітотоксичної дії гербіциду піроксуламу за застосування хітозану та колоїдних розчинів Cu і Ag. Досліди проводили з рослинами гороху (*Pisum sativum* L.) на вегетаційному майданчику Інституту фізіології рослин і генетики Національної академії наук України. Встановлено, що найбільше пригнічення росту рослин гороху і зменшення вмісту хлорофілу отримано за комплексного використання піроксуламу, хітозану і колоїдного розчину Cu + Ag, порівняно з контролем – у 2,5 рази. Найкращі показники порівняно з контролем виявлені у варіанті з хітозаном. Колоїдний розчин мав менші показники порівняно з хітозаном на 25%. Обробка рослин піроксуланом призводила до зменшення фотосинтетичної

активності рослин, з формуванням мінімальних значень на шсту годину. Поєднання піроксулану з хітозаном, варіант із колоїдними розчинами, призвело до зменшення показників вже через 30 хвилин, повернення до норми або покращення через тиждень. Подібний характер змін спостерігався в рослин, оброблених чистим хітозаном, проте в даному разі повернення до норми спостерігалось через шість годин. Застосування в комплексі трьох розчинів (варіант 5) викликало зменшення фотосинтетичної активності, яке спостерігалось і через тиждень, хоча на початку вимірювання різниця була несуттєва. Висновки. Позитивний ефект проявився за використання колоїдного розчину, де маса рослин збільшилася порівняно з контролем на 16%. Усі варіанти дослідження мали фітотоксичний ефект, який проявлявся на різні дні після обробки. Але за тиждень він зменшувався, за винятком варіанта з комплексним застосуванням піроксулам + хітозан + колоїдний розчин (Cu + Ag).

Ключові слова: індукція флуоресценції хлорофілу, хлорофіл, ріст, мідь, срібло.

Sonko S.R., Trach V.V., Tonkha O.L. Evaluation of phytotoxic activity of peroxul herbicide using chitosan and colloid solutions

Purpose of the study was to evaluate the phytotoxic effect of the herbicide pyroxulam with the use of chitosan and colloidal copper solution in combination with silver on dicotyledonous weeds, parameters of chlorophyll fluorescence induction (IFH). Results. The article presents the results of a recent assessment of the phytotoxic effect of herbicide pyroxules with chitosan and coloids of Cu

and Ag. The research has been carried out with pea plants (*Pisum sativum* L.) on the growing site of the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine. It is found that the greatest inhibition of pea plant growth and reduction of chlorophyll has been obtained in the variant with a combination of piroxulam, chitosan and colloidal solution of Cu + Ag, the reduction compared to the control was 2,5 times. The best indicators in comparison with the control has been found in the variant with chitosan. The colloidal solution had lower indicators compared to chitosan by 25%. Treatment of plants with pyroxulane led to a decrease in photosynthetic activity of plants, with the formation of minimum values for 6 hours. The combination of pyroxulane with chitosan, a variant with colloidal solutions led to a decrease in 30 minutes and return to normal or improvement in a week. A similar nature of the changes was observed in plants treated with pure chitosan, but in this case the return to normal was observed after 6 hours. The use of three solutions in the complex (variant 5) caused a decrease in photosynthetic activity, which was observed after a week, although at the beginning of the measurement the difference was not significant. Conclusions. The positive effect was manifested by the use of colloidal solution, where the weight of plants increased compared to the control by 16%. All study variants had a phytotoxic effect, which manifested itself on different days after treatment. But within a week it decreased, except for the option with the complex use of pyroxulam + chitosan + colloidal solution (Cu + Ag).

Key words: chlorophyll fluorescence induction, chlorophyll, growth, copper, silver.