

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІСТРЕГУЛЮЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСУ СПІРОКАРБОНУ З БУРШТИНОВОЮ КИСЛОТОЮ ТА ЙОГО СКЛАДОВИХ

М. М. СИДОРОВИЧ, доктор педагогічних наук, кандидат біологічних наук,
професор, професор кафедри біології людини та імунології

Херсонський державний університет

E-mail: marinasidorovich1@gmail.com

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.01.004>

Анотація. Екологічна безпечність синтетичних регуляторів росту рослин і поява нових властивостей, що не притаманні їх вихідним складникам відкривають широке можливості для їх практичного застосування. Похідні спірокарбону належать до такого класу хімічних речовин. Фітотестування біологічних властивостей координаційної сполуки спірокарбону з буриштиноювою кислотою дозволило припустити, що такий похідний здійснює біостимулюючий вплив на формування проростку однодольних. Для доведення припущення проведено моніторинг змін біометричних параметрів модельної системи «проростки однодольних» за дії спектру розчинів чотирьох препаратів. Цей спектр містив комплекс спірокарбону з буриштиноювою кислотою, їх суміш, спірокарбон і буриштинову кислоту у концентраціях 10^{-7} - 10^{-2} моль/дм³. Проведені дослідження дали можливість продемонструвати у комплексу спірокарбону з буриштиноювою кислотою значно більшу ефективність регулювати ріст, ніж у суміші його компонентів. Вказане доводить їх появу саме в синтезованій координаційної сполуки спірокарбону. Поєднання базової речовини з буриштиноювою кислотою призводить до підвищення рівня вказаних властивостей не тільки у спірокарбону, а і в буриштиноювій кислоті. У координаційної сполуки спірокарбону з буриштиноювою кислотою порівняно із її складовими з'являються нові біостимулюючі властивості. Вони доведені засобами моніторингу біометричних ростових показників фітотесту «проростки однодольних», який сформований із пшениці озимої *Triticum aestivum* L. Комплексна сполука спірокарбону й буриштиноювій кислоти є екологічно безпечним препаратом. Він має нові біологічні властивості порівняно зі своїми складовими. Препарат може бути рекомендований для широкого практичного застосування у сільському господарстві.

Ключові слова: синтетичний регулятор росту рослин, спірокарбон, буриштинова кислота, біостимулюючі властивості регулятора росту, фітотест

Актуальність. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Синтез нових регуляторів росту рослин – одна з актуальних

сільськогосподарських проблем [2, 11, 12]. Особливу увагу приділяють вчені їх екологічній безпечності [8, 10]. Саме до таких препаратів

Сидорович М. М.

належать похідні спірокарбону. Для них вказаний статус доведений засобами фітотестування або повністю [6], або частково (наявність слабого рівня токсичності за концентрації 10^{-2} дм³/л) [7]. Його базовий компонент – спірокарбон або 4,4,10,10-тетраметил –1,3,7,9–тетраазоспиро [5.5] ундекан–2,8–дион, який має рістрегулюючу властивість, використовують для передпосівної обробки насіння через його змочування у досить низьких концентраціях [4]. У попередніх дослідженнях доведені рістрегулюючі властивості координаційних сполук спірокарбону з металами відносно одно- і дводольних рослин за дії лише декількох концентрацій препаратів [4, 5]. Комплекс спірокарбону з бурштиною кислотою також належить до вказаного класу синтетичних хімічних речовин. Власні дослідження у спектрі концентрацій препарату продемонстрували його рістрегулюючі властивості [1]. Аналіз їх результатів дозволив припустити на відміну від попередніх досліджень [4], наявність у комплексу спірокарбону з бурштиною кислотою біостимулюючого ефекту на процес формування проростку в однодольних. Під таким ефектом розуміли чергування у спектрі концентрацій тих, що стимулюють і гальмують ріст. Тому метою

дослідження стало доведення засобами фітотесту «проростки однодольних» наявність вказаного вище ефекту в комплексі спірокарбону з бурштиною кислотою щодо процесу формування проростку і з'ясування причин його виникнення.

Матеріали і методи досліджень. Для проведення дослідження використали фітотест «проростки однодольних», що виготовили з пшениці озимої *Triticum aestivum* L, сорт «Астед». Проростки формували у чашках Петрі за постійної $t=26^{\circ}\text{C}$ за загальновизнаною методикою. Перед пророщенням насіння замочили у контрольному (дист. вода) й експериментальних варіантах (розчинах комплексу спірокарбону з бурштиною кислотою – К, спірокарбону – С, бурштинової кислоти – Б та суміші бурштинової кислоти і спірокарбону). Розчини вказаних речовин складали спектр концентрацій від 10^{-7} до 10^{-2} моль/дм³. Із закінченням процесу формування проростків в них визначали біометричні показники, які відображали динаміку двох провідних складових вказаного процесу: росту і координації росту органів проростка. Первинні значення довжини стебла (колеоптиля), максимальної довжини коренів і відношення довжини стебла до довжини кореню складали репрезентативні об'єми. Їх обробили

Сидорович М. М.

статистично з використанням ресурсу Excel і непараметричного критерію Ст'юдента.

Результати досліджень та їх обговорення.

Результати проведеного дослідження щодо змін показників росту органів проростку й координації росту таких самих органів містять таблиці 1-3. Керуючись обчисленням кількості значимих концентрацій препаратів щодо вказаних складових процесу формування проростку фітотесту, найменш ефективним препаратом була суміш спірокарбону й бурштинової кислоти: для трьох його параметрів лише 1 концентрація демонструвала рістрегулюючі властивості. Наступним за ефективністю впливу на процес формування проростку виявлений спірокарбон, що мав 2 «ефективні» концентрації, що здійснювали гальмування росту органів. Суттєвий регулюючий ріст ефект мали два останні препарати – бурштинова кислота й комплекс спірокарбону з

бурштиною кислотою. Обидва проявляли вказаний ефект за дії 4-5 концентрацій. Водночас спостерігали й гальмування, і прискорення росту органів проростку. Виявлені властивості бурштинової кислоти не є випадковими. Відомо, що вона активує процес пророщення насіння засобами стимуляції росту меристемних клітин, скорочення їх клітинного циклу, стимуляції дихання, активації гідролітичних ферментів і збільшення вмісту вільної ІУК [3]. Передпосівна обробка бурштиною кислотою впливає на фотосинтез, поглинання клітинами води, на енергетичний обмін і загалом стимулює безліч процесів у рослинному організмі [9]. Моніторинг змін щодо значень координації росту органів (див.табл.3) за дії препаратів продемонстрував подібні відмінності тим, що наведені вище для ростових процесів. Проте біостимулюючого ефекту знайдено не було.

1. Динаміка довжини стебла проростку пшениці озимої *Triticum aestivum* L. в моніторингу комплексу спірокарбону з бурштиною кислотою, його окремих складових та їх суміші

Речовина/ варіант, моль/ дм ³	комплекс	суміш	спірокарбон	бурштинова кислота
Контроль	17,3 ± 0,7	13,0±0,7	9,0±0,6	15,1±0,6
10 ⁻⁷	17,3 ± 0,7	13,2±0,1	8,7±0,6	17,6±0,7^a
10 ⁻⁶	17,3 ± 0,7	12,9±0,8	8,4±0,7	15,2±0,6
10 ⁻⁵	12,1 ± 0,6^a	13,0±1,0	8,0±0,7^a	17,3±0,6^a
10 ⁻⁴	18,9 ± 0,8^a	12,3±0,8	8,5±1,2	14,0±0,6
10 ⁻³	13,8 ± 0,7^a	12,9±0,8	8,5±1,2	16,7±0,6^a
10 ⁻²	16,0 ± 0,8^a	9,4±0,6^a	7,1±0,4^a	11,6±2,5^a

^a - достовірно відрізняється від контролю з p=0,05

Сидорович М. М.

2. Динаміка довжини кореню проростку пшениці озимої *Triticum aestivum* L. в моніторингу комплексу спірокарбону з бурштиною кислотою, його окремих складових та їх суміші

Речовина/ варіант, моль/ дм ³	комплекс	суміш	спірокарбон	бурштинова кислота
Контроль	31,2 ± 1,3	29,5±2,0	18,5 ±1,6	36,5±1,5
10 ⁻⁷	38,2 ± 1,5^a	29,3±2,3	17,6±1,4	40,5±1,5^a
10 ⁻⁶	38,2 ± 1,5^a	31,2±2,1	17,0±1,5	38,0±1,4
10 ⁻⁵	24,8 ± 1,1^a	30,6±2,5	17,0±1,5	41,5±1,3^a
10 ⁻⁴	38,2 ± 1,5^a	29,8±2,1	17,7±2,2	35,0±1,3
10 ⁻³	29,4 ± 1,4	29,9±2,5	16,1±1,6^a	40,5±1,5^a
10 ⁻²	30,5 ± 1,7	22,4±2,0^a	15,1±1,3^a	31,0±2,0^a

^a - достовірно відрізняється від контролю з p=0,05

3. Динаміка відношення довжини стебла до довжини кореню проростку пшениці озимої *Triticum aestivum* L. в моніторингу комплексу спірокарбону з бурштиною кислотою, його окремих складових та їх суміші

Речовина/ варіант, моль/ дм ³	комплекс	суміш	спірокарбон	бурштинова кислота
Контроль	0,59 ± 0,04	0,44±0,02	0,60±0,05	0,44±0,02
10 ⁻⁷	0,50 ± 0,02^a	0,45±0,02	0,60±0,06	0,46±0,01^a
10 ⁻⁶	0,52 ± 0,02^a	0,41±0,03	0,60±0,05	0,42±0,03
10 ⁻⁵	0,53 ± 0,05	0,42±0,02	0,60±0,05	0,42±0,01^a
10 ⁻⁴	0,53 ± 0,05	0,41±0,02	0,60±0,05	0,42±0,03
10 ⁻³	0,50 ± 0,02^a	0,44±0,03	0,70±0,06^a	0,42±0,01^a
10 ⁻²	0,57 ± 0,03	0,42±0,01^a	0,50±0,04^a	0,40±0,02^a

^a - достовірно відрізняється від контролю з p=0,05

У зв'язку з тим, що тестування кожного препарату проводили незалежно, для доведення наявності біостимулюючого ефекту в К одержані результати щодо дії комплексу і його складників порівняли з їх контрольними аналогами і обчислили різницю у відсотках. Особливо актуальним вказане було для ростових параметрів фітотесту. Результати викладено графічно (рис.1-2).

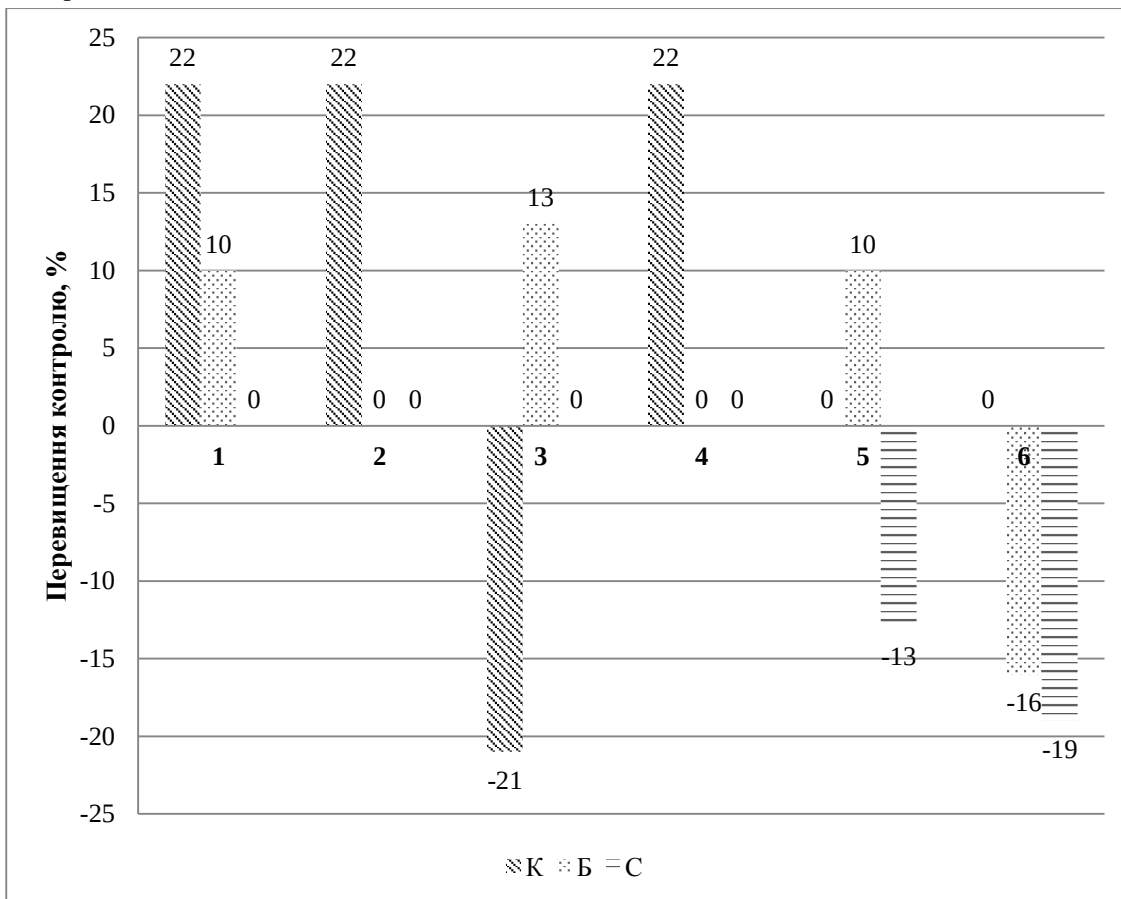


Рис. 1. Різниця результатів виміру довжини стебла (колеоптилю) проростку пшениці від контролю. 1-6 спектр концентрацій препаратів від 10^{-7} до 10^{-2} моль/дм³: К-комплексу, Б-бурштинової кислоти, С – спірокарбону

Як свідчать їх аналіз:

- у комплексі з бурштиною спірокарбон набуває більш ефективних рістрегулюючих можливостей: гальмування найвищими концентраціями росту органів в межах 12-22 % для С проти 18-31 % у спектрі концентрацій К і гальмування, і стимулювання росту таких самих органів різниця від контролю;

- поєднання спірокарбону з бурштиною кислотою сприяє 2-кратному підсилению

рістрегулюючого ефекту і в Б: в комплексу він відрізняється від контролю на 22 % проти 10-13 %, що зафіксований для бурштинової кислоти;

- для різних органів проростку спостерігається неоднаковий напрям дії препаратів К і Б порівняно з контролем: якщо для колеоптилю більшість концентрацій обох препаратів стимулює ріст, то стосовно кореню вплив діаметрально протилежний – К гальмують, а Б – стимулюють ріст цього органу;

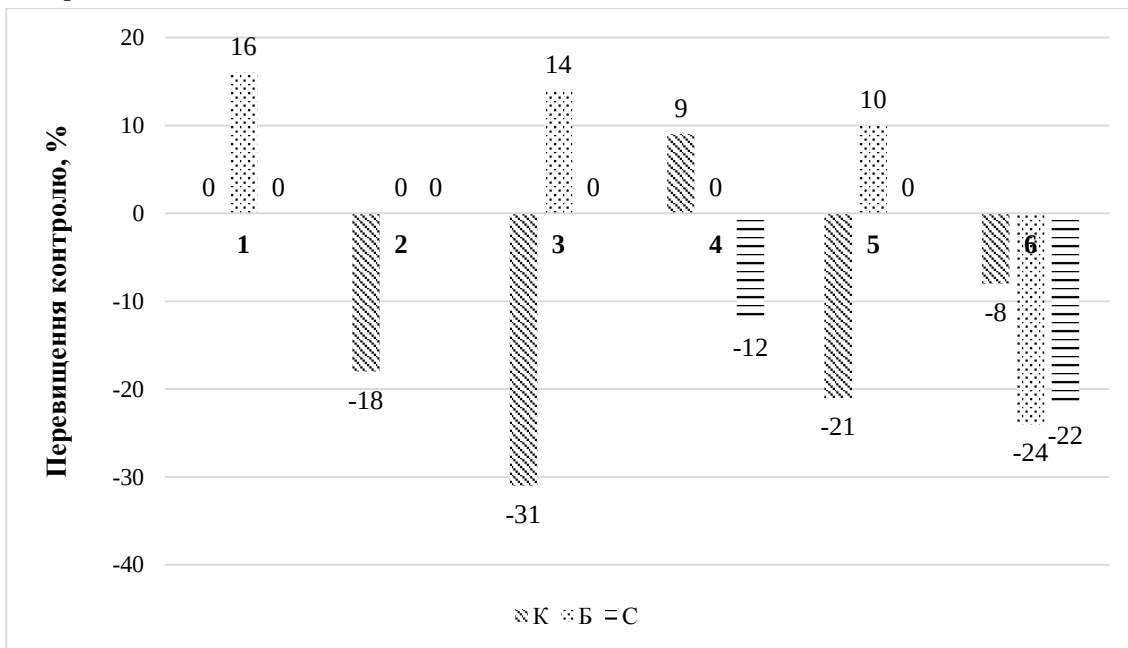


Рис. 2. Різниця результатів виміру довжини кореню проростку пшениці від контролю. 1-6 спектр концентрацій препаратів від 10^{-7} до 10^{-2} моль/ дм³: К-комплексу, Б-бурштинової кислоти, С – спірокарбону

- **К** на відміну від його складників притаманний біостимулюючий ефект щодо росту органів проростку: наприклад, для стебла концентрації 10^{-7} , 10^{-6} - стимулюють ріст, 10^{-5} – його гальмує, 10^{-4} – знов прискорює ріст; водночас у **Б** - 10^{-7} , 10^{-5} , 10^{-3} – стимулюють ріст, 10^{-2} моль/ дм³ – гальмує ріст органу; чергування у спектрі концентрацій не спостерігається;

- водночас виявлений ефект має різну спрямованість для колеоптилю і кореню проростку: у першому випадку домінує стимулювання росту, у іншому – його гальмування.

Висновки і перспективи. Проведені дослідження дозволили продемонструвати значно більшу ефективність регулювати ріст у комплексу спірокарбону з бурштиновою кислотою, ніж у

суміші його компонентів, що доводить їх появу саме у синтезованій координаційної сполуки спірокарбону. Поєднання базової речовини з бурштиновою кислотою призводить до підвищення рівня вказаних властивостей не тільки у спірокарбону, а і у бурштинової кислоти. До того у координаційної сполуки спірокарбону з бурштиновою кислотою порівняно із її складовими з'являються нові властивості – біостимулюючі, які продемонстровані засобами моніторингу біометричних ростових показників фітотесту «проростки однодольних», що сформований з пшениці озимої *Triticum aestivum* L. Отже синтез комплексної сполуки можна розглядати, як причину набуття її складовими – спірокарбоном і бурштиновою

Сидорович М. М.

кислотою – нових біологічних властивостей. Отже, комплексна сполука спірокарбону і бурштинової кислоти є екологічно безпечним препаратом, який має нові біологічні

властивості порівняно зі своїми складовими, і може бути рекомендований для практичного застосування у сільському господарстві.

Список використаних джерел

1. Баканча, М.В., Гладков А.О., Сидорович М.М. Визначення біостимулюючих властивостей хімічних речовин з класу біциклічних бісечовин засобами фітотестування. Біологічні дослідження – 2015: Збірник наукових праць. Житомир: ПП«Рута», 2015. С. 225-228.

2. Дядюченко Л. В., Тараненко В.В., Стрелков В.Д., Соколов М.С. Разработка новых регуляторов роста озимой пшеницы. *Агрохимия*. 2019. № 6. С. 14-17.

3. Котляров В. В., Федулов Ю. П., Доценко К. А., Котляров Д. В., Яблонская Е. К.. Применение физиологически активных веществ в агротехнология. Краснодар: КубГАУ, 2014. С.49-50.

4. Нетребя Е. Е., Федоренко О. М., Максименко А. В. Исследования на растительных объектах рострегулирующей активности некоторых координационных соединений спирокарбона. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2013. Т.9. №2. С.203-2013.

5. Речицкий О.Н., Пилипчук Л.Л., Косяк Т.А., Єзіков В.І. Дослідження на рослинних об'єктах рістрегулюючої активності спірокарбону та його похідних. *Чорноморський ботанічний журнал*, 2010. 6 (1) С. 89-94.

6. Сидорович М. М., Речицкий О. Н. Визначення екологічної безпеки синтетичних хімічних речовин за рівнями фітотесту «проростки *Allium cepa* L.». *Ecological research in higher education institutions: a collection of scientific articles*. Kherson: PE Vyshemyrskyi V.S., 2018. С. 56-63.

7. Сидорович М.М., Кундельчук О.П. Визначення біологічних властивостей нового синтетичного регулятора росту рослин – комплексу спірокарбону з борною кислотою засобами фітотестів. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2021. № 6(94).

Електронне видання. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/issue/view/675>

8. Ткачук О.О. (2014). Екологічна безпека та перспективи застосування регуляторів росту рослин. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. No 3. С.41-44.

9. Grabovskaya N., Babenko O., Safronova N., Khusainova R. Features of the use of succinic acid as a biostimulator and plant adaptogen. *Scientific and practical journal*, 2020. 1. С.28-32. Kristina Vlahoviček-Kahlina et.al. Synthesis, Characterization, and Encapsulation of Novel Plant Growth Regulators (PGRs) in Biopolymer Matrices *Int J Mol Sci*. 2021 Feb; 22(4): 1847.

10. Il-Doo Kim et.al. Persimmon Fruit Powder May Substitute Indolbi, a Synthetic Growth Regulator, in Soybean Sprout Cultivation *Molecules*. 2017 Sep; 22(9): 1462.

11. Kristina Vlahoviček-Kahlina et.al. Synthesis, Characterization, and Encapsulation of Novel Plant Growth Regulators (PGRs) in Biopolymer Matrices. *Int J Mol Sci*. 2021 Feb; 22(4): 1847.

12. María Isabel Duran et.al. Synthesis of Five Known Brassinosteroid Analogs from Hyodeoxycholic Acid and Their Activities as Plant-Growth Regulators *Int J Mol Sci*. 2017 Mar; 18(3): 516.

References

1. Bakancha, M.V., Hladkov A.O., Sydorovych M.M. (2015). Vyznachennya biostymulyuyuchykh vlastyvostey khimichnykh rehovyn z klasu bitsiklichnykh bissechovyn zasobamy fitotestuvannya. [Determination of biostimulating properties of chemicals from the class of bicyclic urea by phytotesting] *Biologichni doslidzhennya* – 2015: Zbirnyk naukovykh prats'. Zhytomyr: PP«Ruta», 2015. S. 225–228. [in Ukrainian].

2. Diadiuchenko L. V., Taranenko V.V., Strelkov V.D., Sokolov M.S. (2019)

Сидорович М. М.

Razrabotka novykh rehuliatorov rosta ozymoi pshenytsy [Development of new regulators of winter wheat growth]. *Ahrokhymia*. № 6. S. 14-17. [in Russian].

3. Kotlyarov V. V., Fedulov YU. P., Dotsenko K. A., Kotlyarov D. V., Yablonskaya Ye. K. (2014). Primeneniye fiziologicheskii aktivnykh veshchestv v agrotekhnologiyakh [The use of physiologically active substances in agricultural technologies]. Krasnodar: KubGAU. 169 s. [in Russian].

4. Netreba E.E., Fedorenko O.M., Maksymenko A.V. (2013). Icsledovaniya na rastytelnykh ob'ektakh rostrehuliruiushchei aktivnosti nekotorykh koordynatsyonnykh soedyneni spiropkarbona. [Studies on plant objects of rostregulating activity of some coordination compounds of spiropcarbon] *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*. T.9. №2. S.203-2013. [in Russian].

5. Rechyskyi O.N., Pylypchuk L.L., Kosiak T.A., Yezikov V.I. (2010) Doslidzhennia na roslынnykh ob'ektakh ristrehuliiuchoi aktyvnosti spiropkarbonu ta yoho pokhidnykh. [Investigation of plant-regulating activity of spiropcarbon and its derivatives. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal*, 6 (1) C. 89-94. [in Ukrainian].

6. Sydorovych M. M., Rechys'kyi O. N. (2018). Vyznachennia ekolohichnoi bezpeky syntetychnykh khimichnykh rehovyn za rivnyamy fitotestu «prorostky Allium cepa l.». [Determination of ecological safety of synthetic chemicals according to the levels of phytotest "Allium cepa l. Seedlings"] Ecological research in higher education institutions: a collection of scientific articles. [in Ukrainian]. Kherson: PE Vyshemyrskyi V.S. S. 56-63.

7. Sydorovych M.M., Kundel'chuk O.P. (2021). Vyznachennia biolohichnykh

vlastyvostey novoho syntetychnoho rehulyatora rostu roslын – kompleksu spiropkarbonu z bornoyu kyslotoyu zasobamy fitotestiv. [Determination of biological properties of a new synthetic plant growth regulator - a complex of spiropcarbon with boric acid by means of phytotests] *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny*. 2021. № 6(94). Elektronne vydannya [in Ukrainian]. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/issue/view/675>

8. Tkachuk O.O. (2014). Ekolohichna bezpeka ta perspektyvy zastosuvannya rehuliatoriv rostu roslын. [Environmental safety and prospects for the use of plant growth regulators]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. No 3. S.41-44. [in Ukrainian].

9. Grabovskaya N., Babenko O., Safronova N., Khusainova R. (2020). Features of the use of succinic acid as a biostimulator and plant adaptogen. *Scientific and practical journal*. 1. C.28-32. Kristina Vlahoviček-Kahlina et.al. Synthesis, Characterization, and Encapsulation of Novel Plant Growth Regulators (PGRs) in Biopolymer Matrices *Int J Mol Sci*. 2021 Feb; 22(4): 1847.

10. Il-Doo Kim et.al. (2017) Persimmon Fruit Powder May Substitute Indolbi, a Synthetic Growth Regulator, in Soybean Sprout Cultivation *Molecules*. 22(9): 1462.

11. Kristina Vlahoviček-Kahlina et.al. (2021). Synthesis, Characterization, and Encapsulation of Novel Plant Growth Regulators (PGRs) in Biopolymer Matrices. *Int J Mol Sci*. Feb; 22(4): 1847.

12. María Isabel Duran et.al. (2017). Synthesis of Five Known Brassinosteroid Analogs from Hyodeoxycholic Acid and Their Activities as Plant-Growth Regulators *Int J Mol Sci*. Mar; 18(3): 516.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF RESTREGUATING PROPERTIES OF SPIROCARBON COMPLEX WITH AMBIC ACID AND ITS COMPONENTS M. M. Sidorovich

Abstract. Synthetic plant growth regulators are the focus of modern agriculture. The environmental safety of such drugs and the emergence of new properties that are not inherent in their original components, open wide opportunities for their practical

Сидорович М. М.

*application. Spirocarbon derivatives belong to this class of chemicals. Phytotesting of the biological properties of the coordination compound of spirocarbon with succinic acid suggested that such a derivative may have a biostimulating effect on the formation of monocotyledonous seedlings. To prove the assumption, changes in the biometric parameters of the model system "monocotyledonous seedlings" under the action of the spectrum of solutions of four drugs were monitored. This spectrum contained a complex of spirocarbon with succinic acid, a mixture of spirocarbon and succinic acid in concentrations of 10^{-7} - 10^{-2} mol / dm³. Studies have shown that the complex of spirocarbon with succinic acid is much more effective in regulating growth than in the mixture of its components. This proves their appearance in the synthesized coordination compound of spirocarbon. The combination of the base substance with succinic acid leads to an increase in the level of these properties not only in spirocarbon, but also in succinic acid. Compared to its constituents, the coordination compound of spirocarbon with succinic acid has new biostimulating properties. They are proven by means of monitoring the biometric growth indicators of the phytotest "monocotyledonous seedlings", which is formed from winter wheat *Triticum aestivum* L. A complex compound of spirocarbonate and succinic acid is an environmentally friendly drug. It has new biological properties compared to its components. The drug can be recommended for wide practical use in agriculture.*

Key words: synthetic plant growth regulator, spirocarbon, succinic acid, biostimulating properties of growth regulator, phytotest