

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЯГІД СУНИЦІ САДОВОЇ НА ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

Качанова Т. В., Манушкіна Т. М.

ВСТУП

За комплексом цінних господарсько-біологічних властивостей суниця залишається однією з провідних ягідних культур у світовому виробництві ягід. Вона належить до небагатьох культурних рослин, здатних добре адаптуватись у різних ґрунтово-кліматичних умовах, з цим пов'язаний широкий ареал її поширення майже на всіх континентах. Серед ягідних культур суниця економічно найвигідніша. Урожайність плодів становить 8–10 т/га, в інтенсивних насадженнях відкритого ґрунту – до 50–75 т/га, рівень рентабельності – до 150–300 %. Порівняно з іншими ягідними культурами, суниця більш чутлива до забруднення ґрунтів важкими металами, оскільки має неглибоку кореневу систему, а основну кількість токсикантів акумулюють верхні горизонти ґрунту. З огляду на це розроблення прийомів з отримання екологічно якісної продукції суниці садової, безсумнівно, актуальне та являє істотну виробничу значущість.

У світі донедавна в системі захисту сільськогосподарських рослин застосовувалися пестициди, що містять значні концентрації важких металів. Близько 10 % хімікатів, схвалених для використання як інсектициди і фунгіциди в Європі, ґрунтувалися на сполуках із вмістом Cu, Hg, Mn, Pb або Zn. Прикладами таких пестицидів є бордоська суміш (сульфат міді) і оксихлорид міді^{1,2}. В Україні препарати із вмістом свинцю протягом багатьох років використовувалися у фруктових садах для боротьби з деякими

¹ Raymond A.W. & Felix E.O. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. ISRN Ecology. 2011. Vol. 2011. P. 1-20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

² Яковишина Т.Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем. Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2013. 101 с.

паразитичними комахами. Сполуки, що містять миш'як, також широко використовувалися для боротьби зі шкідниками в Новій Зеландії та Австралії, і нині є багато покинутих ділянок, де ґрунтові концентрації цих елементів значно перевищують фонові. Забруднення важкими металами ґрунтів і сільськогосподарської продукції, вирощуваної в зонах впливу промислових міст, а також локальних джерел забруднення зазначається в низці досліджень. Наприклад, перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів у плодовій та ягідній продукції, що вирощується в умовах підвищеного антропогенного навантаження, показано в роботах О. А. Ветрової³, М. Grembecka, P. Szefer^{4,5}, М. А. Elbagermi⁶. М. Grembecka та P. Szefer вивчили вміст основних важких металів (хром, нікель, цинк і мідь) у фруктах та ягодах різних географічних регіонів. У дослідженнях М. А. Elbagermi, H. G. M. Edwards, & A. I. Alajtal показано високий вміст міді, кобальту й нікелю у зразках плодів суниці, що тісно пов'язано із забрудненням зрошувальної води, ґрунту і пестицидами. Таке забруднення неминуче веде до потрапляння небезпечних елементів в організм людини⁷. Це говорить про необхідність вивчення процесів надходження токсичних елементів у рослини суниці й розроблення ефективних прийомів, що знижують накопичення важких металів у плодах в умовах техногенного забруднення.

1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми

На думку багатьох дослідників, наявність ВМ у ґрунті позначається на розвитку сільськогосподарських культур лише тоді,

³ Vetrova O. A., Kuznetsov M. N., Leonicheva E. V., Motyleva S. M., & Mertvisheva M. E. Accumulation of heavy metals in the strawberry plants grown in conditions of anthropogenic pollution. *Agricultural biology*. 2014. № 5. P. 113–119.

⁴ Grembecka M., & Szefer P. Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical origins. *Environmental monitoring and assessment*. 2013. № 185 (11). P. 9139–9160. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3242-z>.

⁵ Grembecka M. Metals and metalloids in foods: essentiality, toxicity, applicability. *Food quality: control, analysis and consumer concerns: monograph* / M. Grembecka, P. Szefer. Hauppauge, 2011. *Nova Science Publishers*. P. 1–60.

⁶ Elbagermi M. A., Edwards H. G. M., & Alajtal A. I. Monitoring of Heavy Metal Content in Fruits and Vegetables Collected from Production and Market Sites in the Misurata Area of Libya. *International Scholarly Research Network*. 2012. Vol. 2012. P. 1–20. URL: <https://doi.org/10.5402/2012/827645>.

коли концентрація їх перевищує гранично допустимі рівні. Встановлено, що під впливом ВМ рослина, понижуючи до певного рівня адаптивний потенціал, може нормально функціонувати, нарощувати вегетативну масу та формувати генеративні органи. Це спостерігається тоді, коли вміст важких металів у ґрунті рухомих форм ВМ перебуває на рівні 2–3 кларків. Якщо ж вміст їх сягає рівня, за якого рослини фізіологічно не можуть протидіяти токсикантам, продуктивність їх знижується, якість урожаю погіршується^{7,8}.

У загальному ряді земель сільськогосподарського призначення садові агроценози виділяються за навантаженням пестицидами. Система захисту ягідних і плодових рослин від шкідників і хвороб передбачає багаторазові обробки препаратами, що містять мідь і цинк⁹. Одним із джерел надходження ВМ у ґрунт є мінеральні добрива, які тим самим, поряд із позитивним впливом на врожайність, можуть привести до негативних наслідків. Сировина для одержання мінеральних добрив – фосфорити, апатити, сирі калійні солі, що зазвичай містять значну кількість домішок – від 10–5 до 5 % і більше, у складі яких можуть бути присутні миш'як, кадмій, свинець, фтор, стронцій. Отже, мінеральні добрива треба розглядати як потенційні джерела забруднення довкілля та строго враховувати, вносячи до ґрунту. Вміст важких металів у добривах залежить як від сировини, з якої виготовляють добриво, так і від технології їх виробництва. Наприклад, суперфосфат містить свинцю – 138,1 мг/кг, 1 555,1 – міді, 1 230,2 – цинку, 2,65 мг/кг – кадмію^{10,11}.

⁷ Hua M., Zhang S., Pan B., Zhang W., Lv L., & Zhang Q. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2012. № 211. P. 317–331. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.016>

⁸ Кармазиненко С. П. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) : монографія / С. П. Кармазиненко, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, Ю. Ю. Войтюк, В. Й. Манічев. Київ, 2014. 168 с.

⁹ Холод Н. А. Защита земляники от вредных организмов. *Оптимизация фитосанитарного состояния садов в условиях погодных стрессов*. Краснодар, 2005. С. 299–300.

¹⁰ Кашин В. И., Попеско И. Г. Проблема техногенного загрязнения в садоводстве. *Садоводство и виноградарство*. 1997. № 3. С. 2–4.

Встановлено, що за систематичного застосування мінеральних добрив спостерігається тенденція до збільшення в ґрунті валового вмісту міді від 8,9 до 15,3 мг/кг, олова – від 16 до 19,3, цинку – від 23,5 до 38,2, кадмію – від 0,51 до 0,79 і стронцію від 172 до 192 мг/кг. Значна частина цих елементів у малих концентраціях позитивно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, збільшення ж їх концентрації понад гранично допустимі рівні може негативно впливати на екологічний стан довкілля та якість сільськогосподарської продукції. Отже, важкі метали є одними з найбільш поширених забруднювачів довкілля в застосуванні мінеральних добрив¹².

Під час вирощування плодово-ягідних культур у помірній зоні з дефіцитом зволоження в посушливі періоди використовують краплинне зрошення, що дає змогу подавати воду в необхідних кількостях з одночасним внесенням поживних речовин. Однак вплив краплинного зрошення на продуктивність суниці садової залежно від режимів зрошення вивчено недостатньо. Низка авторів стверджує, що під час вирощування ягідних рослин в умовах підвищеного вмісту важких металів у ґрунті можна очікувати позитивного ефекту від зрошення¹³. Отже, для розроблення адаптивної технології вирощування суниці на краплинному зрошенні поряд із розробленням ефективних агротехнічних прийомів є актуальним розкриття особливостей сортової реакції культури на забруднення навколишнього середовища важкими металами.

Відомості про накопичення важких металів в органах і тканинах плодових і ягідних рослин незначні. Агротехнічні способи знизити надходження важких металів у продукцію ягідних культур вивчалися у вегетаційних і польових дослідах І. С. Соловйовим,

¹¹ Лозовицька Т. Нагромадження свинцю і кадмію рослинами суниці ананасної (*Fragaria ananassa* Duch.) та вплив цих металів на якість плодів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2004. Вип. 6 (9). С. 99–101.

¹² Мотылева С. М., Соснина М. В. Накопление никеля некоторыми плодово-ягодными культурами. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. Орел : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 1996. С. 227–228.

¹³ Dziubanek G., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., & Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015. № 118. P. 183–189. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>.

В. І. Переверзенцевим, Т. І. Кириловою¹⁴. Т. А. Роева і Л. І. Леонтєва у своїх дослідженнях показали, що формування мікроелементного складу листя та плодів ягідних культур відбувається під дією генетичних, екологічних та агротехнічних факторів. У роботі С. М. Мотильової показано значні відмінності в накопиченні важких металів різними сортами суниці. Наприклад, у ягодах сорту Редгонтлет містилося вдвічі більше Pb, ніж у ягодах Рубінового кулона, і вдвічі менше, ніж у сорту Зеніт. Водночас вміст Ni у плодах сорту Редгонтлет у 1,5 раза перевищував його в ягодах сорту Зеніт і був удвічі нижчим, ніж у ягодах Рубінового кулона. Отже, вивчення розподілу важких металів в органах ягідних на прикладі одного сорту не дає змоги об'єктивно судити про реакцію рослин на підвищення концентрації ВМ в навколишньому середовищі.

В. Г. Куян та О. Б. Овезмирадова¹⁵ стверджують, що високий рівень концентрації важких металів у ґрунті спричинює значне нагромадження їх у плодах ягідних культур. Перевищення ГДК по Pb, Cd становить 1,2–2 раза в суниць садових на відстані до 100 м та 1,2–4,6 раза у смородини.

О. І. Врадій¹⁶ стверджує, що в лісових ягодах, одержаних в умовах лісових господарств Вінницького району, перевищення ГДК виявлено тільки за кадмієм у суницях у 3,0 раза. Тоді як концентрація цинку і міді була нижчою за ГДК у 5,1 та 45,4 раза відповідно.

У дослідженнях Т. М. Лозовицької¹⁷ показано, що під час забруднення ґрунту свинцем і кадмієм відбуваються негативні зміни в хімічному складі плодів суниці. Це відображається у зменшенні сухих розчинних речовин, цукрів, вітаміну С з одночасним деяким

¹⁴ Савицкене Н., Вайчюнене Я., Пясецкене А., Респеліс С. Содержание тяжёлых металлов в лекарственных растениях из разных придорожных зон в Литве. *Растительные ресурсы*. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 23–30.

¹⁵ Куян В. Г., Овезмирадова О. Б. Сучасний радіологічний стан насаджень ягідних культур в умовах зони безумовного (обов'язкового) відселення Житомирщини. *Карантин і захист рослин*. 2013. № 1 (198). С. 9–11.

¹⁶ Врадій О. І., Куян В. Г., Марцінівський М. В. Ефективність вирощування екологічно безпечних врожаїв суниць в умовах осушуваних дернових ґрунтів Полісся України. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2013. № 1 (36), Т. 1. С. 13–21.

¹⁷ Лозовицька Т. М. Ріст і продуктивність суниці ананасної (*Fragaria ananassa*) в умовах забруднення ґрунту свинцем і кадмієм. *Екологічні дослідження у промислових регіонах України*: мат. Всеукр. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, 8–9 листопада 2005 р. Дніпропетровськ, 2005. С. 54–55.

збільшенням вмісту органічних кислот, зміною співвідношення цукрів і кислот. Вміст нітратів у плодах за умов забруднення ґрунту свинцем і кадмієм на рівні 1–10 ГДК нижчий за допустимий вміст.

Актуальність теми визначається потребою плодівництва в розробленні технологій отримання екологічно безпечної ягідної продукції під час вирощування в умовах підвищеного техногенного навантаження. У системі захисту промислових насаджень суниці дотепер застосовуються препарати, що містять важкі метали. Це говорить про необхідність вивчення процесів надходження токсичних елементів у рослини суниці й розроблення ефективних прийомів, що знижують накопичення важких металів у плодах в умовах техногенного забруднення.

Важливу роль у закріпленні рухомих форм важких металів ґрунтом відіграють процеси іонного обміну та адсорбції. Агрозаходи, що підсилюють ці процеси в ґрунті, можуть знизити вміст найбільш доступних рослинам форм важких металів. Як меліоранти-сорбенти використовують місцеві матеріали – відходи гірських розробок, збагачувальних фабрик, переробки мінеральної сировини, а також багато природних мінералів: шунгіт, бентоніт, глауконіт, перліт, діатоміт, вермикуліт, цеоліт тощо. З органічних сорбентів використовують гній, торф, сапрпель, біогумус. Ефективність використання таких добрив для зниження ризику отримання забрудненої важкими металами продукції ягідних і плодкових культур показано в роботі Е. Boros¹⁸ та М. Karniba¹⁹. Серед засобів зниження токсичності важких металів у сільськогосподарському виробництві часто згадується і кремній (Si) унаслідок його здатності пом'якшувати їхні несприятливі ефекти²⁰. Водночас практичні аспекти застосування органічних сорбентів під час вирощування суниці розроблено недостатньо.

¹⁸ Boros E., Baćmaga M., Kucharski J. & Wyszowska J. The usefulness of organic substances and plant growth in neutralizing the effects of zinc on the biochemical properties of soil. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2011. № 20(12). P. 3101–3109.

¹⁹ Karniba M., Kabbanib A., Holaila H., & Olama Z. Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia*. 2014. № 50. P. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>

²⁰ Kim Y.H., Khan A.L. & Kim D.H. (2014). Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biol.* 2014. № 14. P. 1-13. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-13>

Успіх отримання конкурентоспроможної продукції значною мірою залежить від правильного вибору сортів, які повинні характеризуватись строком стиглості, високою врожайністю, зимостійкістю, стійкістю до хвороб, досить транспортабельними плодами, придатними для споживання у свіжому вигляді та для переробки і бути високовітамінними. Якщо сорт відповідає цим критеріям, він справді має цінність для виробництва. Враховуючи суттєвий вплив на біохімічні властивості ягід кліматичних умов їх вирощування, набуває актуальності питання вивчення сортів, для їх адаптивної оцінки за господарсько-біологічними ознаками в нових умовах вирощування.

Отже, ефективними прийомами з регулювання токсикантів у плодах суниці можуть бути підбір стійких до нагромадження ВМ сортів і використання природних адсорбентів за вирощування культури на зрошенні.

2. Аналіз сучасних методів розв'язання проблеми формування екологічно безпечної продукції суниці садової на техногенно забруднених ґрунтах

Метою наших досліджень було виявити можливості формування екологічно безпечної продукції суниці садової за вирощування культури на техногенно забруднених ґрунтах. Матеріалом для проведення досліджень слугували рослини суниці садової *Fragaria ananassa* Duch. ранньостиглих сортів Ольвія та Розана кївська. Обидва сорти селекції Інституту садівництва Національної академії аграрних наук України. Характеристику сортів наводимо нижче.

Ольвія. Відрізняється високою врожайністю, доброю товарністю досить одномірних, великих плодів, підвищеною транспортабельністю, стійкістю до грибних хвороб і суничного кліща, зимостійкістю і посухостійкістю. Плоди великі, одномірні в зборі (перші масою 32–40 г, середні в зборі 11–11,8 г), правильної тупоконічної форми, з шийкою, інтенсивно червоні, блискучі, дуже ефектні в тарі. М'якуш яскраво-червоний, щільний, ніжний, ароматний, гармонійного кислосолодкого смаку (4,25–4,5 бала). Містить сухих речовин – 11–12,4 %, цукрів – 7,74–9,06 %, органічних кислот – 0,79–0,88 %, вітаміну С – 64,55–86,92 мг на 100 г сирі маси. Потенційна продуктивність сорту – 18 т/га. Фактична врожайність – 14 т/га.

Розана кївська. Ранній сорт (достигає одночасно з Ольвією). Кущі середньорослі, напіврозлогі, з темно-зеленим листям,

утворюють багато розсади. Сувіття розташовані на рівні листя. Ягоди: середня маса – 12, максимальна – 38 г, тупоконічні, з шийкою, рівномірного інтенсивно червоного забарвлення, з блиском, зернівки заглиблені в поверхню, ароматні, смачні. М'якоть помірно тверда, світло-червона. Ягоди великі та смачні, десертного напрямку використання. Період дозрівання дружний, починається пізніше сорту Ольвія на 1–2 і раніше Зенги Зенгани на 11–12 днів. Зимостійкість і стійкість до сірої гнилі ягід і плямистостей листя високі. Характеризується високим потенціалом біологічної продуктивності, який повною мірою реалізується за достатнього зволоження та поживного режиму ґрунту. Врожайність висока (до 17 т/га).

Дослідження проводили впродовж 2018–2020 рр. на базі Миколаївської державної сільськогосподарської станції ІЗЗ НААН в умовах краплинного зрошення, ґрунт дослідного поля – чорнозем південний. До початку вирощування на ділянці три роки поспіль розміщувалася картопля рання, насадження якої підлягали інтенсивному пестицидному навантаженню. Унаслідок цього попереднє обстеження ділянки восени показало, що в ґрунті досліджуваної екосистеми вміст деяких важких металів перевищував гранично допустимі концентрації (ГДК). Зокрема, ми встановили переважне забруднення ґрунтового покриву міддю та цинком – за ГДК 3,00, 23,00 та 0,70 мг/кг відповідно, вміст цих елементів був у 21,6, 2,2 та 1,3 раза вищим від нормативу. Варто наперед додати, що в кінці вегетації під впливом адсорбуючої дії меліоранта, краплинного зрошення, вимивання у більш глибокі шари ґрунтового профілю, переходу у рухомі форми, поглинання рослинами вміст вищезазначених ВМ зменшився у 2–6 разів.

Агротехніка вирощування суниці садової була загальноприйнятою, окрім технологічних прийомів, що були взяті до вивчення. З початку вегетації й до кінця плодоношення вологість ґрунту в шарі ґрунту 30–40 см підтримували на рівні 70–80–70 % НВ. Схема досліду також передбачала дози та способи внесення добрив – без добрив (контроль); $N_{90}P_{60}K_{30}$ врозкид; Greenodin gray (250 кг/га врозкид); Greenodin gray (500 кг/га врозкид) + $N_{45}P_{30}K_{15}$ з поливною водою (фертигація). Мінеральні добрива та меліорант-сорбент Greenodin gray (органомінеральна суміш на основі сапропелю і кремнієвісних мінералів) вносили перед посадкою згідно зі схемою досліду. Фертигацію $N_{45}P_{30}K_{15}$ здійснювали у фазу цвітіння рослин.

Збір урожаю проводили окремо за варіантами досліду вручну з усієї облікової ділянки. Облік урожаю проводили згідно з

методикою проведення агрономічних дослідів з ягідними культурами. Для оцінки ефективності агрозаходів, що знижують надходження важких металів у рослини, відбиралися зразки для аналізу вмісту ВМ у ґрунті та плодах суниці за всіма варіантах дослідів. Ґрунтові і рослинні зразки доставляли в лабораторію Миколаївської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», що має атестат акредитації іспитової лабораторії № 2Н830. Біохімічний аналіз свіжих ягід включав визначення вмісту сухої розчинної речовини – рефрактометричним методом за ДСТУ 28562-90; суми цукрів – фотоколориметричним методом (ДСТУ 4954:2008); вітаміну С – йодометричним методом за ГОСТ 24556; титровану кислотність – титруванням лугом за ДСТУ 4957; нітратів – іонометричним методом (ДСТУ 4948:2008); солей важких металів – атомно-адсорбційним методом.

3. Ефективність використання зрошення і добрив на акумуляцію важких металів ґрунтом і сортами суниці садової

Щорічне навантаження добривами на поля України становить 4,5 млн т і пестицидами 90 тис. т. Під час вирощування плодівих і ягідних культур є проблема й щодо накопичення важких металів (ВМ) у ґрунтах, саме тому завданням наших досліджень була оцінка вмісту важких металів у ґрунті під час вирощування суниці садової, що передбачало здійснити аналіз ступеня забрудненості ґрунтів дослідної ділянки залежно від рівня внесення під насадження суниці мінеральних та органічних добрив. У результаті проведених досліджень визначено, що перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) у відібраних зразках ґрунту за більшістю елементів, окрім міді та цинку, не спостерігали (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст рухомих форм міді та цинку в орному шарі ґрунту під час вирощування суниці садової, мг/кг

Дози та способи внесення добрив	Початок вегетації		Кінець вегетації	
	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
1. Контроль (без добрив)	51,84	40,80	16,23	13,71
2. Рекомендована доза N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀ врозкид	52,77	41,21	23,30	17,84
3. Greenodin gray, 250 кг/га врозкид	51,30	41,00	8,80	9,60
4. Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + N ₄₅ P ₃₀ K ₁₅ з поливною водою	48,10	41,30	17,60	16,00
<i>ГДК, мг/кг</i>	<i>3,00</i>	<i>23,00</i>	<i>3,00</i>	<i>23,00</i>

За міддю та цинком спостерігали перевищення фонових значень у всіх варіантах досліджу. Зокрема, на початку вегетації перевищення фонових значень за *Cu* були більшими у 16–17 разів, найбільшу концентрацію спостерігали у варіанті із застосуванням максимальної дози мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{30}$). Вміст *Zn* у ґрунті був майже вдвічі вищим за ГДК, причому як в удобрених варіантах, так і на неудобреному контролі.

У кінці вегетації встановлено, що під впливом краплинного зрошення вміст в орному шарі *Cu* і *Zn* зменшується у два-чотири рази внаслідок міграції в більш глибокі шари чорноземного ґрунту. Порівняння кількості *Zn*, *Pb*, *Cd*, *Hg*, *Co* у ґрунті досліджуваної екосистеми з ГДК показало, що вміст цих елементів був меншим за ГДК. Перевищення ГДК було зафіксоване лише за міддю. Внесення мінеральних добрив призводило до збільшення вмісту у ґрунті *Zn* та *Cu* в 1,1–1,2 рази порівняно з неудобреним контролем. Застосування ж одного лише органічного добрива Greenodin gray, 250 кг/га врозкид зменшувало вміст *Cu* і *Zn* у чорноземному ґрунті за підвищеного техногенного навантаження у 1,8–2,6 та 1,3–1,9 рази відповідно. У варіантах із застосуванням фертигації та добрива Greenodin gray вміст *Cu* і *Zn* був меншим відповідно у 1,1–1,3 та 1,1–1,5 рази порівняно із внесенням рекомендованої дози добрива.

Отже, можна зробити висновок про переважне забруднення ґрунтового покриву дослідної ділянки міддю та цинком, вміст яких у кореневмісному шарі становив відповідно 8,80–52,77 та 9,60–41,30 мг/кг залежно від часу визначення та варіантів досліджу. Концентрація інших ВМ не перевищувала ГДК.

Використання добрив під час вирощування суниці садової за краплинного зрошення впливало на вміст поживних речовин у ґрунті (табл. 2).

Таблиця 2

**Вміст поживних речовин у ґрунті в насадженнях суниці,
мг/кг сухого ґрунту**

Дози та способи внесення добрив	Початок вегетації			Кінець вегетації		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без добрив)	11	13	163	5	6	82
2. Рекомендована доза $N_{90}P_{60}K_{30}$ врозкид	34	22	167	13	11	108
3. Greenodin gray, 250 кг/га врозкид	18	16	164	7	8	118
5. Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + $N_{45}P_{30}K_{15}$ з поливною водою	29	15	164	12	8	101

Так, на початку вегетації внесення добрив збільшувало вміст азоту в ґрунті на 7–23, рухомого фосфору – на 2–9 мг/кг, за обмінним калієм певних закономірностей зазначено не було. Найбільшу кількість легкогідролізованого азоту, фосфору і калію в період сходів зафіксовано у варіантах із внесенням рекомендованої дози $N_{60}P_{60}K_{30}$ врозкид.

На кінець вегетації вміст поживних речовин зменшувався. Так, вміст легкогідролізованого азоту був у 2,2–2,6 раза нижчим порівняно із його весняним визначенням, вміст рухомого фосфору – у 1,8–2,1 раза, навіть за обмінним калієм спостерігалася тенденція до значного зменшення (у 1,4–2,0 раза порівняно з початком вегетації). Отримані результати свідчать про інтенсивне споживання поживних речовин суницею для формування вегетативної маси та ягід.

Основним критерієм оцінки ефективності застосування того чи іншого агротехнічного заходу є врожайність культури. Для підвищення продуктивності суниці садової потрібно мати чітке уявлення про взаємодію всіх факторів, які істотно впливають на її урожайність. Аналіз урожайних даних показав, що внесення добрив підвищувало урожайність сортів у 1,5–2,6 раза порівняно з контролем (табл. 3).

У розрізі сортів сорт Розана київська переважав за врожайністю сорт Ольвія: у варіанті «без добрив» – на 2,2 ц/га або 8 %, в удобрених варіантах – на 9,0–11,7 ц/га або 2–18 %. У середньому по досліді сорт суниці Розана київська забезпечив урожай ягід 53,0 ц/га, що на 6,7 ц/га або 14 % більше у порівнянні з сортом Ольвія. За розмахом варіації можна зробити висновок про майже однакову ступінь стабільності сортів, які вивчаються, під час вирощування їх в умовах краплинного зрошення Півдня України. Згідно розрахованому коефіцієнту варіації обидва сорти характеризувалися сильною мінливістю врожайності (від 34,7 до 37,3 %).

Наші дослідження також засвідчили, що добрива значно впливають на рівень урожайності ягід суниці садової. Так, у середньому по сортах максимальний урожай ягід (72,3 ц/га) було отримано при застосуванні Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + $N_{45}P_{30}K_{15}$ з поливною водою. Приріст урожайності при цьому склав 21,1–43,5 ц/га порівняно з неудобреним контролем та іншими варіантами удобрення.

Таблиця 3

Урожайність плодів суниці садової залежно від сорту та удобрення, ц/га (середнє за 2018–2020 рр.)

Внесення добрив (А)	Сорт (В)		Середнє по фактору В
	Ольвія'	Розана кївська	
1. Контроль (без добрив)	27,7	29,9	28,8
2. Рекомендована доза N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	42,1	50,2	46,2
3. Greenodin gray, 250 кг/га	48,9	53,6	51,3
4. Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + N ₄₅ P ₃₀ K ₁₅ з поливною водою	66,4	78,1	72,3
<i>Середнє по фактору А</i>	46,3	53,0	-
<i>S</i>	16,1	19,8	-
<i>X±S_x</i>	46,3±8,0	52,9±9,9	-
<i>V, %</i>	34,7	37,3	-
<i>НІР₀₅ по фактору А</i>	4,9	4,9	-
<i>НІР₀₅ по фактору В</i>	4,0	4,0	-

З метою оцінки перспективних варіантів вирощування суниці садової на краплинному зрошенні проводили аналізи із виявленням вмісту основних компонентів біохімічного складу ягід. Так, під впливом факторів, що вивчалися, вміст сухої речовини у досліджуваних нами сортах суниці був вищим за середній та змінювався від 8,10 до 10,12 %. Аналіз показав, що використання добрив обумовлює збільшення кількості сухої речовини в ягодах проти контролю на 0,45–1,38 %, більший її вміст відмічався у варіантах з внесенням рекомендованої дози мінеральних добрив врозкид (варіант 2). Найвищий вміст сухої речовини було відмічено при вирощуванні сорту Ольвія, що забезпечує добрий рівень транспортабельності ягід даного сорто типу. Вміст цукру в ягодах сорту Ольвія також був більший на 0,15–1,32 % проти сорту Розана кївська. У розрізі варіантів живлення у неудобреному варіанті була вироблена сировина з найменшим вмістом цукрів – 5,05 %, внесення інших доз добрив сприяло підвищенню цього показника на 0,65–2,43 % порівняно з контролем. Вміст аскорбінової кислоти у плодах суниці коливався від 58 до 78 мг/100 г. Дещо більше її містилося у плодах сорту Розана кївська – 68,9 мг/100 г у середньому по варіантам дослідження, тоді як в плодах сорту Ольвія її було 60,3 мг/100 г. Під час оцінки варіантів удобрення жодних закономірностей накопичення цієї речовини виявлено не було.

Про якість плодів суниці також свідчить нагромадження в них іонів важких металів, зокрема, міді й цинку (табл. 4).

Таблиця 4

**Вміст токсичних елементів
у плодах суниці садової, мг/кг сухої речовини**

Дози внесення добрив	Cu	Zn	NO ₃
Сорт Ольвія			
1. Контроль (без добрив)	0,59	1,39	26,66
2. Рекомендована доза N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	0,67	2,81	41,65
3. Greenodin gray, 250 кг/га	0,61	1,66	26,95
4. Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + N ₄₅ P ₃₀ K ₁₅ з поливною водою	0,62	1,72	31,07
Сорт Розана київська			
1. Контроль (без добрив)	1,64	2,60	26,85
2. Рекомендована доза N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	2,77	3,70	42,73
3. Greenodin gray, 250 кг/га	1,62	2,36	30,87
4. Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + N ₄₅ P ₃₀ K ₁₅ з поливною водою	1,66	2,52	33,03
<i>ГДК, мг/кг</i>			
	5,00	10,00	60,00

Биогенний елемент мідь в екологічних умовах нашого досліджуваного об'єкта є пріоритетним забруднювачем (вміст в ґрунті вище ГДК). За обома сортами суниці найменший вміст Cu був у коренях (за сортом Ольвія – 0,60–2,24, за сортом Розана київська – 0,89–1,02 мг/кг сухої речовини), у листях накопичувалося від 0,36 до 1,69 мг/кг, найбільше міді зафіксовано у плодах. Так, залежно від удобрення вміст Cu у плодах становив, мг/кг сухої речовини: за сортом Ольвія – 0,59–0,67, за сортом Розана київська – 1,64–2,77. Найбільш високий рівень накопичення Cu у ягодах був у сорту Розана київська: він становив 1,92 мг/кг сухої речовини (середнє за фонами удобрення). Крім того, сорт Розана київська відрізнявся більш високим накопиченням елемента в коренях.

Середній по сортам вміст Cu у плодах суниці на неудобреному контролі був нижчим у 1,03–1,54 раза, ніж під час внесення добрив. Причому під час внесення рекомендованої дози N₉₀P₆₀K₃₀ вміст Cu у ягодах посилювався, а за використання рекультивату Greenodin gray – знижувався.

Щодо цинку, то в досліджуваних нами сортах суниці плоди містили істотно (у 5–15 разів) більше цинку, ніж листя і коріння.

Так, вміст Zn у коренях був у межах: по сорту Ольвія – 0,15–0,58, по сорту Розана київська – 0,45–0,89 мг/кг сухої речовини), у листях накопичувалося: по сорту Ольвія – 0,19–0,29, по сорту Розана київська – 0,18–0,32 мг/кг сухої речовини. Вміст Zn у плодах залежно удобрення становив, мг/кг сухої речовини: по сорту Ольвія – 1,39–2,81, по сорту Розана київська – 2,52–3,70.

Найбільш високий рівень накопичення Zn у ягодах був у сорту Розана київська. Крім того, по цьому сорту фіксували більш високе накопичення елементу в коренях та листях. Середній вміст Zn у плодах суниці на неудобреному контролі був нижчим у 1,01–1,63 раза, ніж під час внесення добрив. Причому, як і з міддю, під час внесення рекомендованої дози $N_{90}P_{60}K_{30}$ вміст Zn у ягодах посилювався, а за використання рекультивату Greenodin grau – знижувався.

Визначення вмісту нітратів у плодах суниці свідчить, що технологічні прийоми, які вивчали, не призводили накопичення їх у такій кількості, яка б перевищувала ГДК. Найменше їх визначено за вирощування культури на неудобреному фоні. Визначені й сортові відмінності щодо накопичення NO_3 в ягодах: так, найбільше нітратів зафіксовано при вирощуванні сорту Розана київська – 33,4 мг/кг у середньому по фонах удобрення, використання сорту Ольвія дозволяє знизити вміст нітратів на 5,7 %.

ВИСНОВКИ

За результатами власного дослідження у насадженнях сорту ‘Розана київська’ із підтриманням рівня зволоження 70–80–70 % НВ на фоні внесення Greenodin grau, 500 кг/га врозкид + $N_{45}P_{30}K_{15}$ з поливною водою спостерігали максимальний врожай ягід суниці (78,1 ц/га). Однак за біохімічними показниками сорт Ольвія переважав сорт Розана київська. Так, вміст цукру та сухої речовини у ягодах суниці сорту Ольвія були вищими на 0,15–1,32 та 0,16–1,08 % відповідно порівняно із сортом Розана київська.

Виявлено можливість отримання екологічно безпечної продукції суниці садової за вирощування її на техногенно забруднених ґрунтах. Підбір сортів поєднується з елементами агротехніки, що знижують потік важких металів з навколишнього середовища в рослини. Зокрема, вміст пріоритетних забруднювачів міді та цинку, а також нітратів у отриманих ягодах не перевищував ГДК. Внесення меліоранту-сорбенту Greenodin grau дозволяє знизити вміст Cu і Zn у ягодах суниці на 52 та 57 % відповідно. Плоди сорту Розана київська містили Cu та Zn відповідно у 3,1 та 1,5 раза більше, ніж у сорту Ольвія.

АНОТАЦІЯ

Порівняно з іншими ягідними культурами, суниця садова більш чутлива до забруднення ґрунтів важкими металами, оскільки має неглибоку кореневу систему, а основну кількість токсикантів акумулюють верхні горизонти ґрунту. У зв'язку з цим розроблення прийомів з отримання екологічно якісної продукції суниці садової, безсумнівно, актуальне і являє істотну виробничу значущість. Метою досліджень було виявлення можливості формування екологічно безпечної продукції суниці садової за вирощування культури на техногенно забруднених ґрунтах. Урожайність ранньостиглих сортів суниці Ольвія та Розана київська протягом трьох років використання плантації становила від 27,7 до 78,1 ц/га, вміст нітратів та важких металів у ягодах не перевищував гранично допустиму концентрацію. У насадженнях сорту Розана київська із підтриманням рівня зволоження 70–80–70 % НВ на фоні внесення Greenodin gray, 500 кг/га врозкид + $N_{45}P_{30}K_{15}$ з поливною водою спостерігали максимальний врожай ягід суниці (78,1 ц/га). Однак за біохімічними показниками сорт Ольвія переважав сорт Розана київська. Доведені сортові розходження за вмістом у плодах важких металів, що дозволяє вважати підбір сорту потенційно ефективним прийомом одержання екологічно безпечної продукції. Для обох досліджуваних сортів суниці була характерна інтенсивна транслокація Cu і Zn у плоди. Однак у сорту Розана київська плоди містили Cu відповідно утричі більше, ніж у сорту Ольвія. Вищий вміст Zn у плодах також зазначений за сортом Розана київська (у 1,5 раза). Найбільше Cu і Zn у плодах зафіксовано за внесення рекомендованої дози добрив ($N_{90}P_{60}K_{30}$ врозкид), внесення меліоранту-сорбенту Greenodin gray дозволяє знизити вміст Cu і Zn у ягодах суниці на 39 та 59 % відповідно.

Література

1. Raymond A. W. & Felix E. O. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*. 2011. Vol. 2011. P. 1-20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>
2. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем. Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2013. 101 с.
3. Vetrova O. A., Kuznetsov M. N., Leonicheva E. V., Motyleva S. M., & Mertvisheva M. E. Accumulation of heavy metals in the strawberry plants grown in conditions of anthropogenic pollution. *Agricultural biology*. 2014. № 5. P. 113–119.
4. Grembecka M., & Szefer P. Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical

origins. *Environmental monitoring and assessment*. 2013. № 185 (11). P. 9139–9160. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3242-z>

5. Grembecka M. Metals and metalloids in foods: essentiality, toxicity, applicability. *Food quality: control, analysis and consumer concerns: monograph/* M. Grembecka, P. Szefer. Hauppauge, 2011. Nova Science Publishers, P. 1–60.

6. Elbagermi M. A., Edwards H. G. M., & Alajtal A. I. Monitoring of Heavy Metal Content in Fruits and Vegetables Collected from Production and Market Sites in the Misurata Area of Libya. *International Scholarly Research Network*. 2012. Vol. 2012. P. 1-20. <https://doi.org/10.5402/2012/827645>

7. Hua M., Zhang S., Pan B., Zhang W., Lv L., & Zhang Q. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2012. № 211. P. 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.016>

8. Кармазиненко С. П. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти): монографія / С. П. Кармазиненко, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, Ю. Ю. Войтюк, В. Й. Манічев. Київ, 2014. 168 с.

9. Холод Н. А. Защита земляники от вредных организмов. Оптимизация фитосанитарного состояния садов в условиях погодных стрессов. Краснодар, 2005. С. 299-300.

10.Кашин В. И., Попеско И. Г. Проблема техногенного загрязнения в садоводстве. *Садоводство и виноградарство*. 1997. № 3. С. 2-4.

11.Лозовицька Т. Нагромадження свинцю і кадмію рослинами суниці ананасної (*Fragaria ananassa* Duch.) та вплив цих металів на якість плодів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2004. Вип. 6 (9). С. 99-101.

12.Мотылева С. М., Соснина М. В. Накопление никеля некоторыми плодово-ягодными культурами. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. Орел : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 1996. С. 227-228.

13.Dziubanek G., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., & Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015. № 118. P. 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>.

14.Савицкене Н., Вайчюнене Я., Пясецкене А., Риспелис С. Содержание тяжёлых металлов в лекарственных растениях из разных придорожных зон в Литве. *Растительные ресурсы*. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 23-30.

15.Куян В. Г., Овезмирадова О. Б. Сучасний радіологічний стан насаджень ягідних культур в умовах зони безумовного

(обов'язкового) відселення Житомирщини. *Карантин і захист рослин*. 2013. № 1 (198). С. 9–11.

16. Врадій О. І., Куян В. Г., Марцинівський М. В. Ефективність вирощування екологічно безпечних врожаїв суниць в умовах осушуваних дернових ґрунтів Полісся України. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2013. № 1 (36), Т. 1. С. 13-21.

17. Лозовицька Т. М. Ріст і продуктивність суниці ананасної (*Fragaria ananassa*) в умовах забруднення ґрунту свинцем і кадмієм. *Екологічні дослідження у промислових регіонах України: мат. Всеукр. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 8-9 листопада 2005 р.): Дніпропетровськ, 2005. С. 54-55.*

18. Boros E., Waćmaga M., Kucharski J. & Wyzkowska J. The usefulness of organic substances and plant growth in neutralizing the effects of zinc on the biochemical properties of soil. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2011. № 20(12). P. 3101–3109.

19. Karniba M., Kabbanib A., Holaila H., & Olama Z. Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia*. 2014. № 50. P. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>

20. Kim Y. H., Khan A. L. & Kim D. H. (2014). Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biol*. 2014. № 14. P. 1-13. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-13>

Information about the authors:

Kachanova Tetiana Volodymyrivna,

Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Agriculture,
Geodesy and Land Management
Mykolaiv National Agrarian University
9, George Gongadze str., Mykolaiv, 54020, Ukraine

Manushkina Tetiana Mykolaivna,

Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Agriculture,
Geodesy and Land Management
Mykolaiv National Agrarian University
9, George Gongadze str., Mykolaiv, 54020, Ukraine