



І.В. БОЙКО, М.С. КОБИЛЕЦЬКА, О.І. ТЕРЕК

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна  
iryna.boiko@yahoo.com

## **УЧАСТЬ ЦУКРІВ У САЛІЦИЛАТ-ІНДУКОВАНІЙ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО ДІЇ ІОНІВ КАДМІЮ**

*Ключові слова: вуглеводи, саліцилова кислота, кадмій, стреспротекція, Zea mays, Triticum aestivum*

Цукри відіграють важливу роль у метаболізмі рослин, виконуючи енергетичну, структурну, запасну та низку інших функцій. Останніми роками активно вивчаються сигнальні та регуляторні властивості вуглеводів.

Різноманітні стресори спричиняють зміни вуглеводного складу, що пов'язано насамперед зі стрес-індукованим пригніченням фотосинтетичних процесів у рослин. Відомо також, що й самі цукри (глюкоза, сахароза) можуть впливати на перебіг реакцій фотосинтезу, виконуючи регуляторну і сигнальну роль, яка реалізується шляхом контролю експресії генів [3, 11, 17]. Розчинні вуглеводи можуть здійснювати й антиоксидантну та антиденатураційну функції в межах захисту рослинних структур від токсичної дії активних форм кисню [2]. Таке нагромадження низькомолекулярних сполук може бути наслідком як посилення їхнього синтезу, так і активації деградаційних процесів за стресових умов, під час яких відбувається реорганізація різноманітних метаболітів для уможливлення виконання ними протекторних функцій.

За стресових умов можуть також нагромаджуватися нерозчинні полісахариди (целюлози, калози), які відіграють певну роль у формуванні опірності клітини до дії стресора.

До стресорів, що є великою екологічною загрозою, пов'язаною зі зростанням антропо-техноген-

ного навантаження на природу, належать важкі метали (ВМ) [4]. Рослини, які легко поглинають іони ВМ із повітря та ґрунту, володіють низкою адаптаційних механізмів для подолання стресу. Як розчинні цукри, так і полісахариди мають важливе значення при формуванні цих механізмів [13].

Як відомо, речовини зі стреспротекторними властивостями, зокрема саліцилова кислота (СК), здатні підсилювати захисні реакції рослин. Виявлено зв'язок між нагромадженням калози та СК у рослин за патогенової атаки [8]. СК розглядається як перспективний засіб для зниження токсичного впливу іонів важких металів на рослини [5], активно вивчаються фізіологічні та біохімічні аспекти цього процесу. Проте дані щодо кооперації сигналіну СК і ролі цукрів при адаптації рослин до дії іонів ВМ майже відсутні. Саме тому метою нашого дослідження стало вивчення впливу саліцилату та іонів кадмію на вміст розчинних і нерозчинних вуглеводів у рослинах.

### **Об'єкти та методи досліджень**

Об'єктами вивчення були рослини *Triticum aestivum* L. і *Zea mays* L., вирощені в теплиці. Частину насіння спочатку замочували в 0,5 мМ розчині саліцилової кислоти, іншу — в дистильованій воді (контроль) протягом 5 год і пророщували за стандартною методикою. Потім добирали однорідні проростки та висаджували їх на піщану культуру. Для вивчення дії іонів кадмію до субстрату додавали

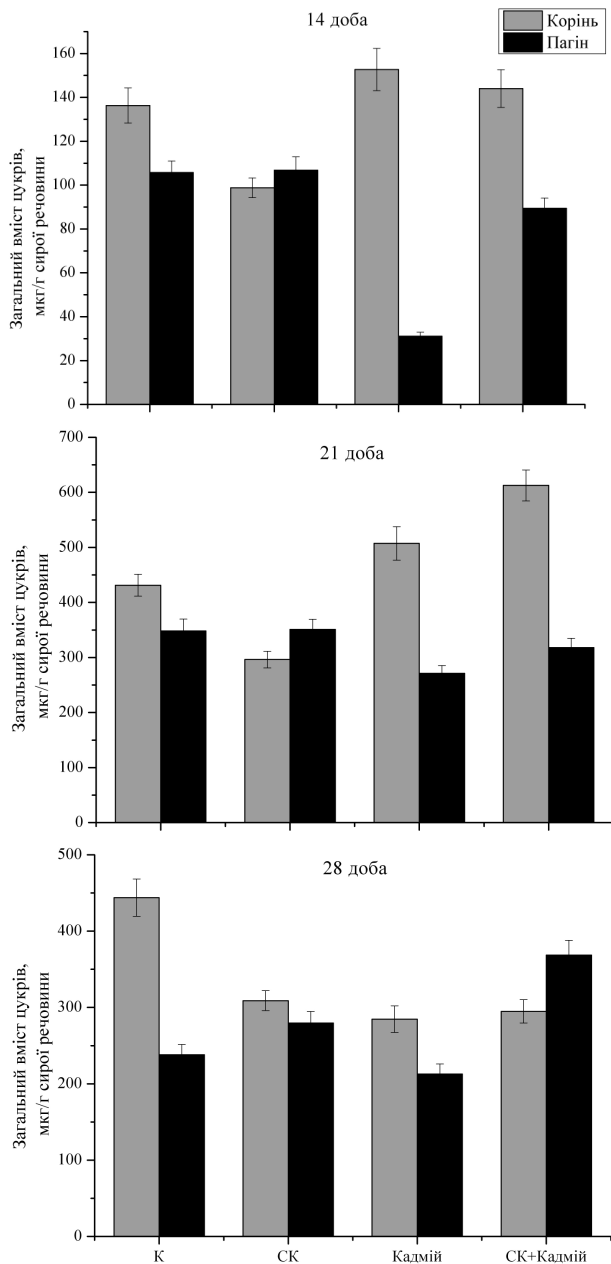


Рис. 1. Загальний вміст цукрів у коренях і пагонах рослин *Triticum aestivum* за дії іонів кадмію та саліцилової кислоти (СК)

Fig. 1. Total sugar content in roots and shoots affected by cadmium ions and salicylic acid

сіль кадмію хлориду ( $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$ ) із розрахунку 25 мг/кг. Щоб забезпечити оптимальне живлення рослин, у субстрат двічі на тиждень добавляли модифікований розчин Хогланда. На 14-ту, 21-шу та 28-му доби в рослин відбирали зразки для аналізу.

Загальний вміст цукрів визначали фенол-сульфатним методом після 3-годинного кислотного гід-

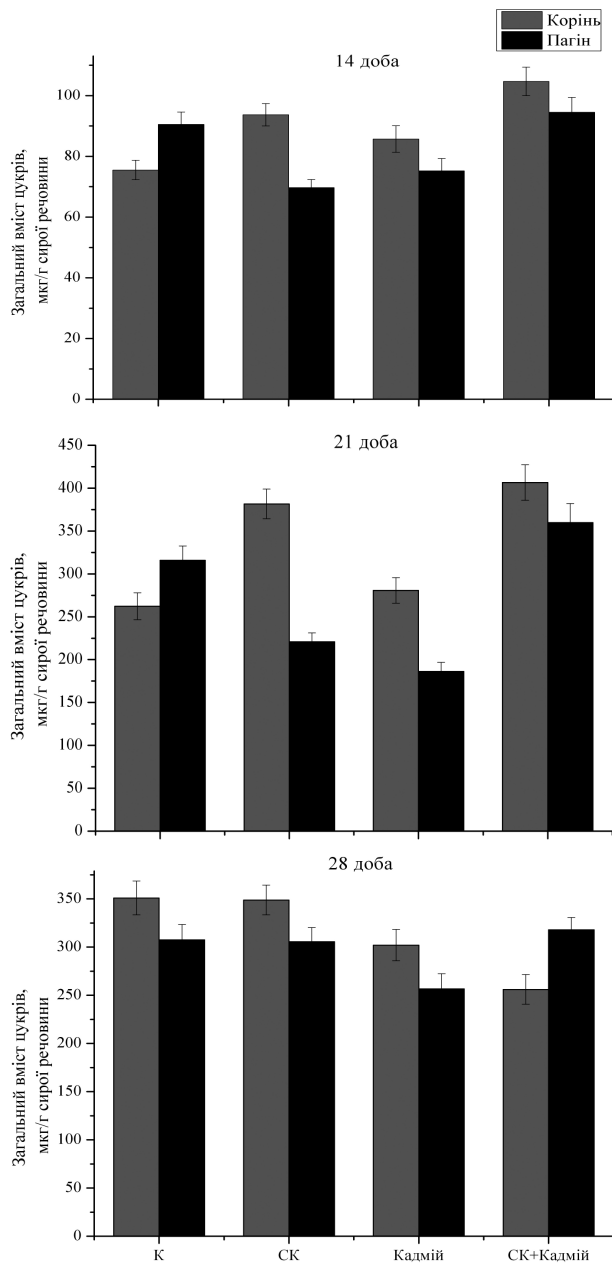


Рис. 2. Загальний вміст цукрів у коренях і пагонах рослин *Zea mays* за дії іонів кадмію та саліцилової кислоти (СК)

Fig. 2. Total sugar content in roots and shoots affected by cadmium ions and salicylic acid

ролізу екстракту [18]. Для визначення вмісту розчинних цукрів їх екстрагували дистильованою водою протягом 24 год і вимірювали спектрофотометрично за допомогою фенол-сульфатного методу.

Експерименти проводили в 3-кратній біологічній і аналітичній повторностях і опрацьовували статистично.

## Результати досліджень та їх обговорення

Вивчаючи загальний вміст вуглеводів у рослин *T. aestivum* і *Z. mays*, що зазнавали токсичного впливу кадмію, ми виявили в них однакову тенденцію, незважаючи на відмінності в типі фотосинтезу та особливостях взаємодії з іонами ВМ (рослини *Z. mays* мають здатність до гіперакумуляції іонів Cd у коренях [1]). Як з'ясувалося, за дії іонів кадмію в рослин відбувається помітне зниження вмісту вуглеводів у пагонах, що може бути наслідком зменшення вмісту хлорофілу в цих рослинах [7] та послаблення фотосинтетичної функції загалом. У коренях спостерігали початкове нагромадження цукрів за дії стресора з подальшим зниженням вмісту таких сполук (рисунки 1, 2). Щодо вмісту розчинних вуглеводів, то в органах пшениці ми виявили значне зменшення даного показника лише в коренях (рис. 3).

У рослин кукурудзи відзначена інша закономірність — зниження вмісту розчинних цукрів у пагонах рослин одночасно з його різким зростанням у коренях. Це може бути наслідком активного транспорту цукрів від фотосинтезуючих органів до коренів. Такий процес, імовірно, спрямований на формування захисних реакцій рослин у органі, який найпершим страждає від токсичного впливу іонів кадмію.

Аналіз джерел літератури свідчить про неоднозначний вплив іонів ВМ на вуглеводневий обмін рослин. За дії іонів кадмію зменшувався вміст цукрів у *Pisum sativum* L. [6] і *Wolffia arrhiza* (L.) Hork. ex. Wimm. [16]. Іони міді спричиняли зниження вмісту цукрів у коренях рослин *Helianthus annuus* L. і зростання у фотосинтезуючих органах [9]. Виявлено концентраційну залежність впливу іонів кобальту на рослини *Z. mays*, котра полягає в посиленні аку-

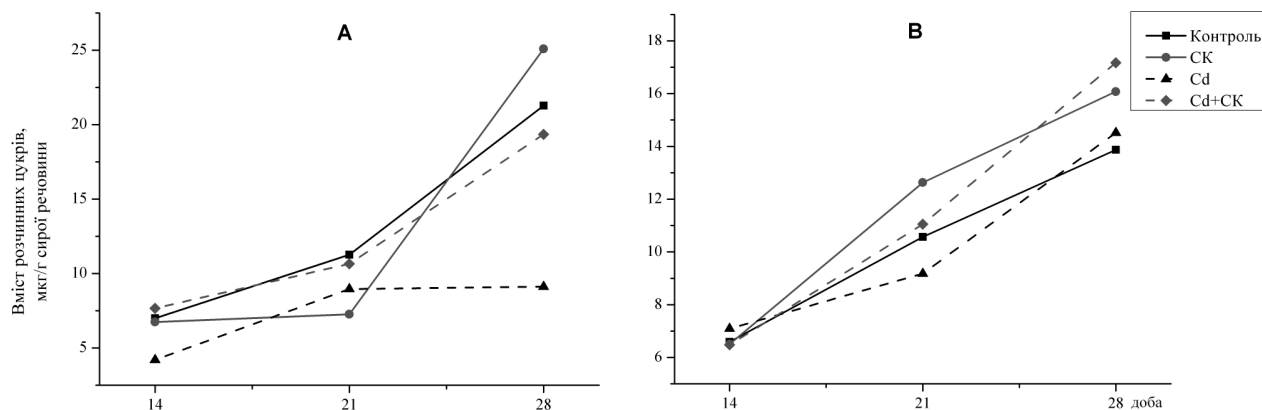


Рис. 3. Вміст розчинних цукрів у коренях (А) і пагонах (В) рослин *T. aestivum* за дії іонів кадмію та саліцилової кислоти

Fig. 3. Soluble sugars content in roots and shoots affected by cadmium ions and salicylic acid

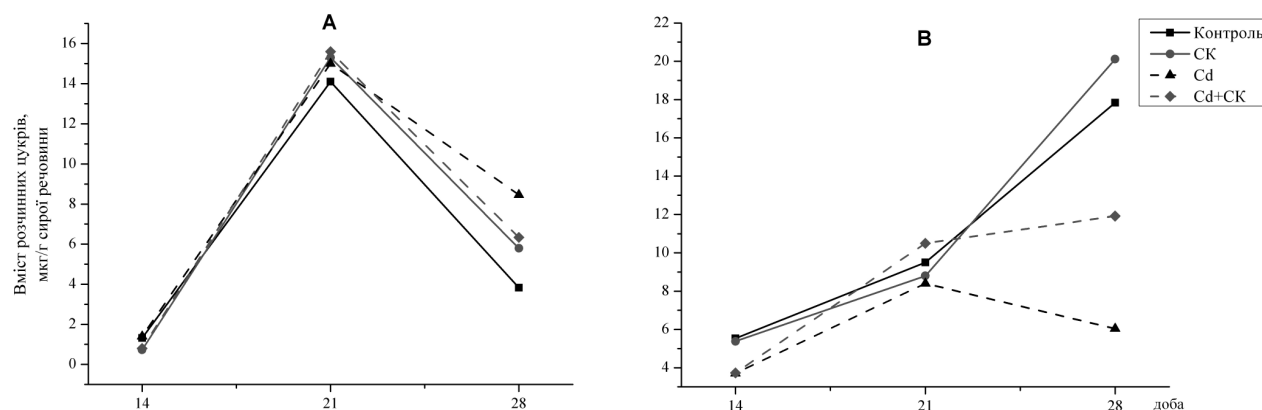


Рис. 4. Вміст розчинних цукрів у коренях (А) і пагонах (В) рослин *Z. mays* за дії іонів кадмію та саліцилової кислоти

Fig. 4. Soluble sugars content in roots and shoots affected by cadmium ions and salicylic acid

муляції цукрів за дії низьких концентрацій ВМ та її інгібуванні за високих доз політанта [12]. Іони кадмію можуть також активувати процеси дихання, в яких цукри відіграють роль основних субстратів окислювального перетворення [14]. Проте є дані, що свідчать про зростання пулу редуруючих цукрів за дії іонів Cd у рослин *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb [15]. Отже, результат впливу іонів ВМ на вуглеводневий склад залежить насамперед від концентрації стресора та генетично зумовлених аспектів стійкості рослин.

Саліцилова кислота, як показали наші експерименти, теж впливає на вміст вуглеводів у тканинах рослин за стресових і нестресових умов. Самостійний вплив СК спричиняв відтік метаболітів вуглеводневої природи від коренів до фотосинтезуючих органів у рослин пшениці (рисунки 1, 3) та нагромадження цукрів у коренях кукурудзи (рисунки 2, 4). Це узгоджується з результатами досліджень інших учених, у працях яких виявлено зміну розподілу вуглеводів між органами рослин за дії саліцилату [10].

Із літературних джерел відомо про здатність СК спричиняти збільшення вмісту цукрів у органах рослин за дії біотичних [19] і абіотичних [9] стресорів. Це може бути викликано як посиленням їхнього синтезу, так і зниженням активності окислювальних процесів, адже відомо, що СК може пригнічувати мітохондріальне дихання в рослин [20]. Наші дослідження показали, що за дії на рослини *Z. mays* СК та іонів кадмію зростає вміст нерозчинних вуглеводів як у коренях, так і в пагонах тих рослин, котрі зазнавали токсичного впливу іонів кадмію (рис. 2). Проте спостерігається зниження вмісту низькомолекулярних цукрів у коренях з одночасним збільшенням їхнього вмісту в пагонах *Z. mays*. Це може свідчити про активне нагромадження цукрів у надземній частині рослин та їхнє перетворення в нерозчинні полісахариди, що, очевидно, є проявом посилення дії захисних механізмів рослини. У пагонах рослин *T. aestivum* ми спостерігали значне нагромадження вуглеводів (рис. 1), а також їхніх розчинних форм у коренях (рис. 3). Збільшення вмісту низькомолекулярних цукрів у коренях *T. aestivum* без зростання вмісту полісахаридів може свідчити про катаболітичні зміни вуглеводневого складу, які, можливо, спрямовані на забезпечення сигнальної функції цукрів. Як відомо, *T. aestivum* не має специфічних механізмів компартменталізації іонів ВМ, тому ми припускаємо, що такі метаболічні зміни спрямовані насамперед на захист най-

уразливішої фізіологічної функції — фотосинтетичної. Отже, виявлені нами модифікації вуглеводневого балансу, спричинені впливом СК і стресора, можна вважати підтвердженням протекторної функції саліцилату. СК-індукований перерозподіл метаболітів вуглеводневої природи відрізняється в рослин із різною генетично зумовленою здатністю до детоксикації ВМ, що свідчить про властивість саліцилату посилювати характерні рослинам механізми їхньої стійкості до дії стресових факторів.

## Висновки

Уперше досліджено вміст вуглеводів у рослин *T. aestivum* і *Z. mays* за дії саліцилату та іонів кадмію. Отримані результати дозволяють стверджувати про важливе значення як розчинних, так і нерозчинних форм вуглеводів у саліцилат-індукованій стійкості рослин *T. aestivum* і *Z. mays* до токсичного впливу іонів кадмію. Аналіз рослин із різними механізмами стійкості до дії ВМ свідчить про важливе значення екзогенного саліцилату при індукції формування специфічних і неспецифічних адаптивних реакцій рослин.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Кобилецька М.С.* Адаптація рослин кукурудзи та сої до токсичної дії іонів кадмію. Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — Львів, 2003. — 20 с.
2. *Колупаєв Ю.Е., Карпец Ю.В.* Участие растворимых углеводов и низкомолекулярных соединений азота в адаптивных реакциях растений // Вісн. ХНАУ. Сер. Біол. — 2010. — **20**, № 2. — С. 36—53.
3. *Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф., Золотарьова О.К.* Цукри як ключова ланка регуляції метаболізму фотосинтезуючих клітин // Укр. ботан. журн. — 2001. — **58**, № 1. — С. 121—127.
4. *Терек О.І.* Механізми адаптації та стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля // Журн. агробіол. та екол. — 2004. — **1**, № 1—2. — С. 41—56.
5. Пат. UA 70741 У Україна, МПК А01N 25/00, А01N 25/02, А01N 37/10, А01C 1/00. Спосіб підвищення стійкості сільськогосподарських рослин до дії іонів важких металів кадмію та свинцю / Бойко І.В., Кобилецька М.С., Терек О.І.; заявник і власник Львівський національний університет імені Івана Франка. — № у 201114216; заявл. 01.12.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
6. *Al-Hakimi A.M.A.* Modification of cadmium toxicity in pea seedlings by kinetin // Plant Soil Environ. — 2007. — **53** (3). — P. 129—135.
7. *Boiko I.V., Kobyletska M. S., Terek O.I.* Salicylic acid as growth regulator for cadmium-stressed plants // Вісн. ЛНУ ім. Івана Франка. — Сер. Біол. — 2012. — **58**. — С. 244—256.
8. *Chen X.-Y., Kim J.-Y.* Callose synthesis in higher plants // Plant Signaling & Behaviour. — 2009. — **4** (6). — P. 489—492.
9. *El-Tayeb M.A., El-Enany A.E., Ahmed N.L.* Salicylic acid-induced adaptive response to copper stress in sunflower (*He-*

- lianthus annuus* L.) // Plant Growth Regul. — 2006. — **50**. — P. 191—199.
10. *Elwan M.W.M., El-Hamahmy M.A.M.* Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper // Scientia Horticulturae. — 2009. — **122**. — P. 521—526.
  11. *Gibson S.I.* Plant sugar-response pathways. Part of a complex regulatory web // Plant Physiol. — 2000. — **124**. — P. 1532—1539.
  12. *Jaleel C.A., Jayakumar K., Chang-Xing Z., Iqbal M.* Low concentration of cobalt increases growth, biochemical constituents, mineral status and yield in *Zea mays* // J. Sci. Res. — 2009. — **1** (1). — P. 128—137.
  13. *Mossor-Pietraszewska T.* Effect of aluminium on plant growth and metabolism // Acta Biochim. Polonica. — 2001. — **48** (3). — P. 673—686.
  14. *Lee K.C., Cunningham B.A., Paulsen G.M., Liang G.H., Moore R.B.* Effect of cadmium on respiration rate and activities of several enzymes in soybean seedlings // Physiol. Plant. — 1976. — **36** (1). — P. 4—6.
  15. *Nada E., Ferjani B.A., Ali R., Bechir B.R., Imed M., Makki B.* Cadmium-induced growth inhibition and alteration of biochemical parameters in almond seedlings grown in solution culture // Acta Physiol. Plant. — 2007. — **29**. — P. 57—62.
  16. *Piotrowska A., Bajguz A., Godlewska-Żylkiewicz B., Zambrzycka E.* Changes in growth, biochemical components, and antioxidant activity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (*Lemnaceae*) exposed to cadmium and lead // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 2010. — **58**. — P. 594—604.
  17. *Rolland F., Sheen J.* Sugar sensing and signaling networks in plants // Biochem. Soc. Transact. — 2005. — **33** (1). — P. 269—271.
  18. *Sadasivam S., Manickam A.* Biochemical methods. — New Age International, 2007. — 284 p.
  19. *Shabana Y.M., Abdel-Fattah G.M., Ismail A.E., Rashad Y.M.* Control of brown spot pathogen of rice (*Bipolaris oryzae*) using some phenolic antioxidants // Braz. J. Microbiol. — 2008. — **39**. — P. 438—444.
  20. *Xie Z., Chen Z.* Salicylic acid induces rapid inhibition of mitochondrial electron transport and oxidative phosphorylation in tobacco cells // Plant Physiol. — 1999. — **120** (1). — P. 217—226.

Рекомендує до друку  
О.К. Золотарьова

Надійшла 15.03.2012 р.

*И.В. Бойко, М.С. Кобылецкая, О.И. Терек*  
Львовский национальный университет  
имени Ивана Франко

#### УЧАСТИЕ САХАРОВ В САЛИЦИЛАТ-ИНДУЦИРОВАННОЙ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕЙСТВИЮ ИОНОВ КАДМИЯ

Изучали влияние ионов кадмия и салициловой кислоты на содержание сахаров (растворимых и общих) в тканях *Triticum aestivum* и *Zea mays*. Обнаружены изменения углеводного состава растений под действием исследуемых факторов. Авторами отмечено разницу в накоплении сахаров в тканях растений в зависимости от генетически детерминированных механизмов устойчивости растений к влиянию тяжелых металлов. Предполагается, что действие салицилата в стрессовых условиях направлено на усиление естественных специфических и неспецифических защитных реакций растений.

*Ключевые слова:* углеводы, салициловая кислота, кадмий, стрептопекция, *Zea mays*, *Triticum aestivum*.

*I.V. Boiko, M.S. Kobyletska, O.I. Terek*  
Ivan Franko National University of Lviv

#### THE ROLE OF SUGARS IN SALICYLATE-INDUCED ADAPTATION OF PLANTS TO CADMIUM IONS

The effect of cadmium ions and salicylic acid on sugar content (soluble and total) was studied. The changes of carbohydrate composition of plants under the influence of the investigated factors were estimated. The authors noted a difference in the accumulation of sugars in plant tissues depending on genetically determined mechanisms of plant resistance to the action of heavy metals. It is assumed that the effect of salicylate in a stressful environment is directed to increasing of the natural specific and nonspecific defense reactions of plants.

*Keywords:* carbohydrates, salicylic acid, cadmium, stress protection, *Zea mays*, *Triticum aestivum*.