

23. Santamaría L. Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment / L. Santamaría // *Acta Oecologica*. – 2002. – 23. – P. 137–154.
24. Siegal-Willott J. L. Proximate nutrient analyses of four species of submerged aquatic vegetation consumed by Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) compared to romaine lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) / Siegal-Willott J. L., Harr K., Hayek L. A., Scott K. C., Gerlach T. // *J. Zoo Wildl. Med.* – 2010. – Vol. 41, N 4. – P. 594–602.
25. Sood A. Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, Azolla / Sood A., Uniyal P. L., Prasanna R., Ahluwalia A. S. // *Ambio*. – 2012. – Vol. 41, N 2. – P. 122–137.
26. Todorovics C. The use of the reed (*Phragmites australis*) in wastewater treatment on constructed wetlands / Todorovics C., Garay T. M., Bratek Z. // *Acta Biologica Szegediensis*. – 2005. – Vol. 49 (1–2). – P. 81–83.
27. Vymazal J. Vegetation development in subsurface flow constructed wetlands in the Czech Republic / J. Vymazal // *Ecological Engineering*. – 2013. – Vol. 61, Pt. B. – P. 575 – 581.
28. Wiegleb G. An account of the species of *Potamogeton* L. / Wiegleb G., Kaplan Z. // *Folia Geobotanica*. – 1998. – Vol. 33. – P. 241–316.
29. Xie W. Y. Cadmium accumulation in the rootless macrophyte *Wolffia globosa* and its potential for phytoremediation / Xie W. Y., Huang Q., Li G., Rensing C., Zhu Y. G. // *Int. J. Phytoremediation*. – 2013. – Vol. 15, N 4. – P. 385–397.
30. Zhao L. C. A review on the taxonomy and evolution of *Ruppia* / Zhao L. C., Wu Z. Y. // *J. Syst. Evolut.* – 2008. – Vol. 46. – P. 467–478.

Стаття надійшла до редакції 7.04.2015

УДК 614.449:546.76.

Буцяк А. А., к.с.-г.н., доцент, **Буцяк В. І.**, д.с.-г.н., професор ©
Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С. З. Гжицького, Львів, Україна

КОМБІНОВАНИЙ ВПЛИВ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ У КРОВІ ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН

У статті висвітлюються питання щодо впливу важких металів на обмін вуглеводів у крові щурів. Встановлено, що важкі метали пригнічують метаболізм вуглеводів. Токсична дія яких залежить не тільки від токсичності окремого елемента, але й від їх комбінацій. Йони Cd^{2+} та Pb^{2+} супроводжуються синергічною взаємодією, а йони Cu^{2+} і Zn^{2+} , навпаки, хоча антагонізм між Cd^{2+} і Zn^{2+} більш виражений, порівняно з Cd^{2+} і Cu^{2+} .

Ключові слова: важкі метали, сумісний вплив, техногенне навантаження, обмін вуглеводів, лабораторні тварини.

УДК 614.449:546.76.

Буцяк А., Буцяк В.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького

КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОБМЕН УГЛЕВОДОВ В КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

В статье освещаются вопросы влияния тяжелых металлов на обмен углеводов в крови крыс. Установлено, что тяжелые металлы подавляют метаболизм углеводов. Токсическое действие которых зависит не только от

© Буцяк А. А., Буцяк В. І., 2015

токсичности отдельного элемента, но и от их комбинаций. Ионы Cd^{2+} и Pb^{2+} сопровождаются синергическим взаимодействием, а ионы Cu^{2+} и Zn^{2+} , наоборот, проявляют антагонизм между Cd^{2+} и Zn^{2+} более выраженный по сравнению с Cd^{2+} и Cu^{2+} .

Ключевые слова: тяжелые металлы, совместное влияние, техногенная нагрузка, обмен углеводов, лабораторные животные.

UDC 614.449:546.76.

Butsyak A., Butsyak V.

*Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies
named after S.Z. Gzhytskyj*

THE COMBINED EFFECTS OF HEAVY METALS ON THE EXCHANGE BLOOD CARBOHYDRATES IN LABORATORY ANIMALS

The article highlights the issue of the impact of heavy metals on carbohydrate metabolism in rat blood. Established that heavy metals inhibit the metabolism of carbohydrates. The toxic effect which depends not only on the toxicity of a particular item, but also on their combinations. Ion Cd^{2+} and Pb^{2+} accompanied by a synergistic interaction and ions Cu^{2+} and Zn^{2+} , on the contrary, although the antagonism between Cd^{2+} and Zn^{2+} more pronounced compared with Cd^{2+} and Cu^{2+} .

Key words: heavy metals, the joint impact, human impacts, carbohydrate, laboratory animals.

Вступ. Важкі метали, які надходять в організм тварин та людей з їжею, водою та повітрям, нагромаджуються в ньому, створюючи передумови для розвитку токсикозів, стадійного, схильного до прогресування і генерації патологічного процесу, зумовленого нагромадженням у кровоносній системі речовин ендо- і екзогенного походження, які здійснюють негативний вплив на функціональний стан органів та систем [1]. Швидкість і спрямованість синтетичних процесів у значній мірі визначається як генетичним потенціалом, надходженням і ефективним використанням поживних речовин корму, так й факторами зовнішнього середовища [2]. Важкі метали пригнічують активність ферментних систем, у тому числі метаболізму вуглеводів, який характеризується певним хімізмом шляхів його здійснення і спрямований на енергетичне і пластичне забезпечення потреб організму.

Шкідливі викиди і відходи промисловості та сільського господарства можуть пригнічувати швидкість біохімічних процесів або повністю їх блокувати. До них, в першу чергу, належать як окремі важкі метали, так і їх комбінації, які діють специфічно як отрути окремих функціональних груп, так і проявляють політропну дію, інгібуючи різноманітні біологічно важливі угруповання [3]. Сумісна дія токсичних агентів різної природи та модифікації з іншими чинниками зовнішнього середовища залишається постійно зростаючим техногенним пресом на організм тварин і людей та довкілля в цілому.

Розкриття механізмів комбінованого впливу важких металів на організм, а також на окремі біохімічні процеси є актуальною проблемою, вивчення якої вимагає комплексних досліджень на лабораторних тваринах, що дасть можливість розробити профілактичні заходи, спрямовані на покращення і збереження здоров'я тварин та людей в умовах зростаючого техногенного навантаження.

Матеріал і методи. Експериментальні дослідження впливу солей важких металів на організм лабораторних тварин проводили на щурах лінії Wistar, з

початковою живою масою 170–200 г, які знаходились на повноцінному раціоні віварію з вільним доступом до води. Тварин утримували за сталої температури (20 ± 2 °C) та вологості (відносна вологість 50 ± 5 %) із світловим режимом 12 годин, для підстилки використовували стружку листяних порід дерев [4]. Формували одну контрольну та сім дослідних груп по 7 голів у кожній.

Солі важких металів вводили в шлунок щурів через зонд інтрагастрально впродовж 45 днів за схемою: контрольна група одержувала суміш солей: CdCl_2 ; $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$; CuCl_2 та $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ в перерахунку на катіони металів 1,17 мг, 3,14 мг, 5,30 та 425 мг відповідно; дослідні групи: 1 – CdCl_2 ; 2 – CdCl_2 + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$; 3 – CdCl_2 + $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$; 4 – CdCl_2 + CuCl_2 ; 5 – CdCl_2 + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ + $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$; 6 – CdCl_2 + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ + CuCl_2 ; 7 – CdCl_2 + $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ + $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ + CuCl_2 у зазначених дозах. Щоб попередити аліментарні зміни концентрації метаболітів крові, проби забирали прижиттєво із хвостової вени зранку до годівлі тварин, у скляні пробірки з насиченим розчином оксалату калію. Масу еритроцитів одержували шляхом центрифугування 15 хв за 700 g після 3-кратного промивання ізотонічним розчином натрію хлориду. Суспензію відмитих еритроцитів гемолізували внесенням рівного об'єму дистильованої води.

Для визначення гліколітичного перетворення фруктозо-1,6-дифосфату готували інкубаційну пробу, яка містила 14 мкмоль/л тріс-НCl буфер, pH – 7,4, концентрація Ф-1,6-ДФ – 2,42 мкмоль/л. Інкубація тривала 60 хв за температури $38,5^\circ\text{C}$. Гемоліз еритроцитів здійснювали додаванням дистильованої води у співвідношенні 1,0:1,0. Осадження білків крові проводили 10 % трихлорацетатною кислотою. У нейтралізованих екстрактах концентрації глюкози визначали ферментним методом за допомогою біотесту Lachema (1985), фруктозу, пентози за І. Головацьким [5]. Неорганічний фосфат визначали за методом С. Fiske, Y Subborow (1925) з використанням, як відновника, аскорбінової кислоти.

Одержані дані опрацьовані математично за загальноновизнаними методами варіаційної статистики [6]. Вірогідність відмінностей між показниками дослідної і контрольної груп оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

Результати досліджень. Дослідженнями встановлено, що в крові токсикованих лабораторних тварин солями кадмію, порівняно з контролем (табл. 1), концентрація глюкози, фруктози і пірувату відповідно зросла на 67,9, 26,9 та 25,1 % з одночасним зниженням рівня пентоз та лактату на 26,5 та 25,1 %.

Таблиця 1

Концентрація метаболітів вуглеводного обміну у крові щурів за сумісної дії важких металів, ммоль/л, $M \pm m$, n = 7

Суміш металів	Метаболіти				
	Глюкоза	Фруктоза	Пентози	Лактат	Піруват
Контроль	3,96±0,29	0,52±0,07	1,32±0,18	1,81±0,22	0,20±0,03
Cd^{2+}	6,65±0,48*	0,66±0,05	0,97±0,11*	1,29±0,17*	0,25±0,02
$\text{Cd}^{2+}, \text{Pb}^{2+}$	6,91±0,52*	0,69±0,05*	0,91±0,12*	1,28±0,13*	0,28±0,02*
$\text{Cd}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	5,82±0,41*	0,56±0,04	1,26±0,16	1,61±0,18	0,23±0,01*
$\text{Cd}^{2+}, \text{Cu}^{2+}$	6,12±0,68*	0,62±0,04	1,02±0,14	1,40±0,13*	0,25±0,02
$\text{Cd}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	6,38±0,64*	0,60±0,03	1,16±0,09	1,56±0,12	0,24±0,02
$\text{Cd}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Cu}^{2+}$	6,52±0,81*	0,64±0,04*	0,99±0,10*	1,42±0,11*	0,26±0,02*
$\text{Cd}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Cu}^{2+}$	6,06±0,48*	0,64±0,05	1,14±0,11	1,63±0,12	0,22±0,01

Примітка: * - в таблицях $P \leq 0,05$

За хронічної інтоксикації солями кадмію, високий рівень глюкози може бути зумовлений збільшенням рівня кортикостероїдів у крові та зв'язуванням інсуліну рецепторами плазматичних мембран клітин, що обмежує транспорт глюкози і блокує її трансформацію. Крім того, кадмій може конкурувати з йонами Na^+ і порушувати Na^+ - залежну транспортну систему, яка забезпечує транспорт d-глюкози та інших метаболітів у клітини (Ahn D.W. et al., 2005), а також стимулювати розвиток гіперглікемії за рахунок розщеплення глікогену з метою синтезу глюкози та інших сполук, які беруть участь в утворенні та функціонуванні компенсаторних захисних механізмів в організмі (Засекін Д. А., 2002).

Підвищений рівень фруктози та зниження концентрації лактату вказує на пригнічення альдолазної та лактатдегідрогеназної реакцій, а підвищений вміст пірувату та зменшення кількості пентоз – на інгібування процесів метаболізму вуглеводів на стадії окиснення пірувату та ферментів оксидативної частини пентозофосфатного шляху (Головацький І. Д., 1961).

Із сумішей солей кадмію і свинцю з цинком та міддю, важкі метали можуть діяти на живі організми як незалежно один від одного, так і вступати в різну взаємодію, впливаючи на ступінь токсичного ефекту окремих речовин. За сумісного згодовування щуром солей Cd та Pb достовірно на 6,3, 5,5 і 5,1% збільшується кількість глюкози, фруктози та пірувату та зменшується концентрація на 4,6 і 0,8% пентоз та лактату, проявляючи синергічний вплив. Йони Zn^{2+} та Cu^{2+} , навпаки, проявляють антагонізм як у дво-, три-, так і в чотири-компонентних змодельованих системах. Сумісна токсична дія солей важких металів залежить від наявної між ними взаємодії, яка призводить до змін порогових значень, а тому важливим є не тільки токсичність кожного елемента системи, але й їх комбінація.

Так, у III дослідній групі, де згодовували солі кадмію і цинку порівняно до II групи, де згодовували солі кадмію і свинцю на 11,0 та 10,1% зменшується концентрація глюкози та пірувату відповідно. У 4 і 5 дослідних групах (навантаження солями Cd + Cu і Cd + Pb + Zn) знизилась концентрація глюкози на 13,4 і 6,7% та зріс лактат на 6,5% (4 дослідна група). У 6 дослідній групі (експозиція солями кадмію, свинцю та міді) достовірно зменшилась концентрація глюкози, фруктози та зросла кількість пентоз і лактату на 3,3, 7,7 та 1,6, 3,5%. Враховуючи вищенаведене, можна констатувати, що суміш солей кадмію і свинцю найбільш виражено інгібують гліколітичні процеси, а суміш солей кадмію і цинку – найменш. У нижчих організмах спостерігається синергічна взаємодія між йонами Cd^{2+} та йонами Zn^{2+} - важливого біогенного елемента, яка зумовлена подібністю їх хімічних властивостей. Однак існує думка про біологічну конкуренцію кадмію та цинку, яка визначає характер багатьох змін в організмі, а також протекторну дію цинку за кадмієвої інтоксикації.

Антагонізм дії Zn і Cd та іншими солями (Cu і Ag) досліджений у багатьох живих організмах, яким пояснюється конкуренцією цих елементів за один і той же центр зв'язування. Зниження акумуляції рухомих форм кадмію спостерігається також під впливом використання комбінації трьох важких металів (свинцю, кадмію та цинку), яка супроводжується антагонізмом між йонами Zn^{2+} та $\text{Cd}^{2+} + \text{Pb}^{2+}$. Під впливом йонів кадмію та його комбінації з іншими важкими металами спостерігаються істотні зміни в активності гліколітичних перетворень і зменшення рівня метаболітів гліколізу. За таких умов значно пригнічується перетворення фруктозо-1,6-дифосфату еритроцитами крові щурів (табл. 2). Так, під впливом солей кадмію, зменшується використання фруктозо-1,6-дифосфату та пентоз на 48,3 і 38,5 % і приріст лактату, неорганічного фосфату та глюкози на 47,6, 51,4 і

53,9 % відповідно. Зниження приросту глюкози та неорганічного фосфату вказує на інгібування ферментних систем глюконеогенезу, а зменшення використання пентоз – на гальмування неоксидативної частини пентозофосфатного шляху.

Таблиця 2

**Сумісний вплив важких металів на гліколітичне перетворення
Ф-1,6-ДФ еритроцитами крові щурів, мкмоль/л еритроцитів, $M \pm m$, $n = 7$**

Суміш металів	Витрати		Приріст		
	Ф-1,6-ДФ	Пентоз	Лактату	Н.фосфату	Глюкози
Контроль	1,12±0,12	0,13±0,03	0,61±0,05	0,37±0,04	0,39±0,03
Cd ²⁺	0,58±0,06*	0,08±0,01*	0,32±0,04*	0,18±0,02*	0,18±0,02*
Cd ²⁺ , Pb ²⁺	0,49±0,05*	0,07±0,01*	0,30±0,03*	0,16±0,02*	0,18±0,02*
Cd ²⁺ , Zn ²⁺	0,96±0,05*	0,11±0,01	0,45±0,03*	0,29±0,02*	0,30±0,04
Cd ²⁺ , Cu ²⁺	0,64±0,06*	0,09±0,01*	0,36±0,04*	0,28±0,02*	0,26±0,04
Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺	0,80±0,08*	0,10±0,01*	0,44±0,04*	0,28±0,02*	0,29±0,03*
Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Cu ²⁺	0,70±0,07*	0,09±0,01*	0,34±0,03*	0,22±0,03*	0,26±0,04
Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺	0,84±0,07*	0,10±0,01*	0,45±0,03*	0,30±0,03	0,30±0,03*

Сумісний вплив йонів Cd²⁺+Pb²⁺ проявляє синергізм, який зводиться до зменшення витрат фруктозо-1,6-дифосфату і пентоз відповідно на 15,6 і 12,5 % та приросту лактату і неорганічного фосфату відповідно на 6,3 і 11,2 % порівняно з I дослідною групою, де експозицію здійснювали хлоридом кадмію. Аналогічно до змін концентрацій метаболітів вуглеводного обміну в крові щурів під впливом комбінацій солей міді і цинку з кадмієм та кадмієм разом із свинцем проявляється антагонізм, який призводить до значного відновлення витрат фруктози і пентоз (5,2-34,0%, 7,7-15,4%) та збільшення концентрації лактату, неорганічного фосфату та глюкози (на 3,3-21,3%, 10,8-32,3%, 20,6-30,8% відповідно).

Висновок. Встановлено, що сумісна дія рухомих форм важких металів (Cd, Pb, Zn і Cu) пригнічують метаболізм вуглеводів, що призводить до розвитку дефіциту в енергетичному та пластичному забезпеченні клітин та організму в цілому. Сумісна токсична дія важких металів залежить не тільки від токсичності окремого елемента, але й від їх комбінацій. Йони Cd²⁺ та Pb²⁺ супроводжуються синергічною взаємодією, що посилює негативний вплив йонів Cd²⁺, а йони Cu²⁺ і Zn²⁺, навпаки, пригнічують його, хоча антагонізм між Cd²⁺ і Zn²⁺ більш виражений, ніж між Cd²⁺ і Cu²⁺.

Література

1. Буцяк В. І. Дослідження комбінованого впливу важких металів на процеси трансформації йонів кадмію // Науковий вісник ЛДАВМ ім. С. З. Гжицького. – Львів. – 2002. – Т. 4 (№ 2). – ч. 4 – С. 3–6.
2. Іскра Р. І. Функціональний стан антиоксидантної системи і вуглеводний обмін у крові щурів за дії неорганічної та органічної сполук хрому // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2011. Випуск 57. С. 47–52.
3. Ткаченко Т. А. Біохімічні показники крові щурів за умов отруєння ацетатом свинцю // Современные проблемы токсикологии. – 2008. – № 2. – С. 25–27.
4. Западнюк М. П., Западнюк В. И., Захария Е. А. Лабораторные животные: разведение, содержание, использование в эксперименте.-К.: Вища школа, 1983.-197–218.
5. Головацький І. Д. Обмін вуглеводів у сільськогосподарських тварин. – К., 1961. – 210 с.

6. Кокунин В. А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов//Укр. біохім. журн. – 1975. – Т.47, № 6. – С. 776–791.

Стаття надійшла до редакції 7.04.2015

УДК 502.3/.7

Буцяк В. І¹, д.с.-г.н., професор, **Буцяк А. А¹**, к.с.-г.н., доцент,
Клименко О. М², к.т.н, доцент, **Клименко Л. В²**, к.с.-г.н, доцент ©

¹- Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів

²- Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ОЦІНКА РОЗВИТКУ ЕКОСИТУАЦІЇ У БАСЕЙНІ РІЧКИ ГОРИНЬ

Здійснено оцінювання екологічної ситуації у басейні р. Горинь за показниками стану атмосферного повітря, використання водних ресурсів, поводження з відходами, стану ґрунтового покриву та агроландшафтів.

У лісостепових районах стан екологічної підсистеми децю гірший у порівнянні з районами зони Полісся і оцінюються також трьома категоріями станів: загрозливого (0,23-0,39) – 7 районів (Красилівський (0,36), Старосинявський (0,39), Теофіпольський (0,39), Любарський (0,36), Чуднівський (0,36), Здолбунівський (0,23), Рівненський (0,37)), задовільного стану – 10 районів (з коливаннями інтегрованого показника розвитку екологічної підсистеми від 0,41 до 0,49) та сприятливого – 1 район

Ключові слова: басейн річки, екоситуація, інтегрований показник екологічного розвитку, зонування.

УДК 502.3/.7

Буцяк В. І¹, д.с.-х.н., професор, **Буцяк А. А¹**, к.с.-х.н., доцент,
Клименко А. М², к.т.н., доцент, **Клименко Л. В²**, к.с.-х.н, доцент

¹ Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, г. Львів

² Національний університет водного господарства та природопольовання, г. Ровно

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ЭКОСИТУАЦИИ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ГОРЫНЬ

Осуществлено оцінювання екологічної ситуації в басейні р. Горинь за показателями стану атмосферного повітря, використання водних ресурсів, поводження з відходами, стану ґрунтового покриву та агроландшафтів.

В лісостепових районах стан екологічної підсистеми децю гірший у порівнянні з районами зони Полісся і оцінюються також трьома категоріями станів: загрозливого (0,23-0,39) – 7 районів (Красилівський (0,36), Старосинявський (0,39), Теофіпольський (0,39), Любарський (0,36), Чуднівський (0,36), Здолбунівський (0,23), Рівненський (0,37)), задовільного стану – 10 районів (з коливаннями інтегрованого показника розвитку екологічної підсистеми від 0,41 до 0,49) та сприятливого – 1 район

Ключевые слова: басейн річки, екоситуація, інтегрований показник екологічного розвитку, зонирование.