

E. A. CHERNUSHENKO, T. R. AHAIAN, D. S. KRAVCHENKO

THE ROLE OF SULFUR-CONTAINING AMINO ACIDS IN THE PREVENTIVE NUTRITION OF WORKERS IN CONTACT WITH CHROMIUM

In the world, a large number of workers are exposed to fumes, mists and dusts containing Chromium and its compounds. One of the ways to prevent chromium intoxication is the enrichment of food rations with substances that have antioxidant and complexing ability. Attention is focused on the recommendations on the use of sulfur-containing amino acids and sulfur-rich proteins in the composition of food products for the prevention of intoxication in workers who come into contact with chromium in production. The mechanism of reduction of hexavalent chromium compounds by cysteine was considered. It has been shown that the process of reduction of chromates with cysteine is accompanied by the oxidation of cysteine to cystine and subsequent complexation with trivalent chromium. The structure of chromium III cystinate was confirmed by IR and electron spectroscopy and elemental analysis. It has been established that in the formed chelate complex $[\text{Cr}(\text{SNO}_2\text{C}_3\text{H}_6)_6\text{Cr}]$, chromium (III) has a bond with cystine through the amino and carboxyl groups, LD_{50} is 2100 mg/kg and is less toxic than inorganic chromium (III) salts. The article analyzes protein raw materials rich in cysteine, which can be recommended to satisfy the daily requirement of cysteine, or to reduce chromium intoxication of workers working in a work area with a high content of chromium salts.

Keywords: food safety, hygiene control, preventive nutrition, food hygiene, cysteine, chromium toxicity

Вступ.

У всьому світі велика кількість працівників різних галузей піддаються впливу парів, туману і пилу, що містять Хром та його сполуки. Вплив сполук шестивалентного хрому може виникнути під час виробництва хроматів, зварювання, виробництва хромових пігментів, під час хромування та фарбування розпиленням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В портландцементі з дев'яти європейських країн, вміст хроматів варіювався від 1 до 83 г/кг [1]. Сполуки Хрому використовуються у виробництві ферохрому, пігментів та гальванічному виробництві. У шахтах по видобуванню хромової руди концентрація пилу, що містить сполуки Хрому може коливатися від 1,3 до 16,9 мг/м³, а при виробництві рафінованого ферохрому в повітрі робочої зони кількість Хрому може бути в пилу в діапазоні 0,03–3,2 мг/м³. В повітрі робочої зони при процесах хромування були виявлені концентрації Хрому від 1 мг/м³ до 1,4 мг/м³ [1].

При забрудненні робочої зони Хром і його сполуками можуть у підвищених кількостях надходити в організм інгаляційно та шляхом резорбції з поверхні шкіри [2]. Залежно від шляхів проникнення Хрому в організм людини та від ступеня окислення його у сполуках залежить тяжкість інтоксикації, так сполуки Хрому (VI) за токсичністю подібні Кадмію та, в додаток є сильними окисниками. Сполуки шестивалентного Хрому чинять на організм людини загальнотоксичну, кумулятивну, алергенну, канцерогенну і мутагенну дію.

Хром може утворювати ковалентні зв'язки із широким спектром молекул в живих організмах. Так, наприклад, з білками Хром може зв'язуватися за допомогою гідрокси-, аміно-, карбоксо, сульфгідрильних та інших груп. Як наслідок такої взаємодії в молекулах білків (ферментів) відбуваються розриви водневих зв'язків, заміщення металів у лігандах, зміна конформації молекул, що призводить до часткової або повної втрати активності металопротеїнів. Якщо такий білок знаходиться на поверхні клітинної мембрани і виконує транспортну функцію (регулює надходження в клітину одних речовин і виведення з неї інших), включення в

молекулу Хрому може призвести до порушення процесу транспорту [3].

При отруєнні сполуками Хрому виділяють дві форми. При легеневій формі переважно спостерігається кашель, частіше сухий. При підвищеній чутливості до Хрому може розвинути бронхіальна астма. При шлунковій формі спостерігаються болі в епігастральній ділянці, печія, нудота, блювання, підвищене слиновиділення, проноси або запори; різні ступені ураження шлунково-кишкового тракту від дискретичних функціональних розладів і ознак подразнення слизових до гастриту і виразкової хвороби дванадцятипалої кишки. Провідна роль Хрому у розвитку бронхолегеневої патології у працівників належить виробництву хромових феросплавів. Серед робітників хромових виробництв відмічена підвищена захворюваність раком легенів. Латентний період розвитку раку у робітників хромових рудників і хромового виробництва становив у середньому 13 – 14,5 років. Захворювання спостерігається під час роботи, а також через багато років після припинення контакту зі сполуками Хрому. Хромові дерматити, як правило, розвиваються на кистях рук або передпліччях. на обличчі, особливо на повіках. Захворювання шкіри й підвищення чутливості до Хрому спостерігалися у 16 % від числа обстежених. Сенсibiлізація може розвинути і після декількох років роботи [4].

Існує достатньо свідчень щодо канцерогенності сполук Хрому (VI), що зустрічаються при виробництві хроматів, хромових пігментів і при хромуванні. Канцерогенність для людини металевого хрому та сполук Хрому (III) на сьогодні не доказана, але існують докази про канцерогенність хроматів кальцію, триоксиду хрому (хромової кислоти) і біхромату натрію [5]. Робоча група IARC надала загальну оцінку токсичності сполук Хрому (VI), вони є канцерогенними для людини (група 1). Металевий Хром та сполуки Хрому (III) не належить до канцерогенів для людини (група 3) [6].

Чернушенко О.О., Агаян А.Р., Кравченко Д.С., 2023

При роботі з хромом необхідно дотримуватися низки профілактичних заходів. Всі працівники з хромом, хромовою кислотою, хроматами, біхроматами та сплавами, що містять Хром, повинні проходити медичні огляди один раз на рік, а огляд ЛОР – 1 раз на 3 місяць. До медичних оглядів необхідно запрошувати онкологів. Всі працівники з Хромом повинні отримувати лікувально-профілактичне харчування (безкоштовні гарячі сніданки, вітамінні препарати). Раціони лікувально-профілактичного харчування робітників заводу хромових сполук скеровані на обмеження повареної солі, солених, жирних продуктів та жиру, калорійність 1482 ккал [7].

Для працівників, що контактують при роботі зі сполуками Хрому раціон для робітників збагачують амінокислотами (метіоніном, цистеїном, лізином, тирозином, фенілаланіном), вживають щоденно 100 мг аскорбінової кислоти, 2 мг ретинолу, 15 мг ніацину (вітамін В3 або РР), 25 мг S-метилметіоніну (вітамін U), 100 мл мінеральної столової води Нарзан [8]. Додатково: вітаміни А, РР, Е. В раціоні 30 % повинні складати рослинні жири. Співвідношення білки, жири, вуглеводи повинно бути як 1 : 1 : 3. Цей раціон впливає на регуляторні системи організму (нервову та ендокринну). Він має забезпечувати гіпоалергенну спрямованість. До раціону включаються білки з підвищеним вмістом сірковмісних амінокислот (але низьким вмістом триптофану та гістидину) та лецитинів (м'ясо кролика, печінка, нерафіновані рослинні олії, сметана, вершки); солі Са, Mg, сірки; фосфатиди, пектини, органічні кислоти, продукти лужної орієнтації (молоко, овочі, фрукти, ягоди). Рекомендуються відварені та парові страви [8]. У раціоні обмежують вміст продуктів - багатих джерел шавлевої кислоти, хлору та натрію, а також речовин, що посилюють усмоктування алергенних речовин у кров, тобто солених та маринованих овочів, яєць, суниць, шоколаду, деяких риб (скупбрія), складних соусів, бобів, полуниці, малини, какао, гострих та екстрактивних речовин [7].

Введення аскорбінової кислоти одночасно з хромом знижує накопичення Хрому в органах і зменшує пошкодження печінки та нирок [9]. Високі дози вітаміну С, який сильним антиоксидантом, використовують при лікуванні інтоксикацій хромом [10]. Встановлено, що вітамін С захищає тканини від дії Cr (VI), пошкодження ДНК, утворюючи інертний комплекс Cr (III) з вітаміном С [11].

Використання суміші овочевих та плодових пюре з високим вмістом вітамінів С, Е, А та каротинів), що мають антиоксидантні та антиоксидантні властивості й можна рекомендувати у поєднанні з гіпербаричною оксигенацією як лікувально-профілактичний засіб для працівників з Хромом [12].

Вітамін С, цистеїн підсилюють детоксикацію хроматів шляхом його відновлення до тривалентного хрому, знижують мутаційні перетворення у робітників, які контактують з важкими металами [13,14].

Глутатіон відіграє важливу роль у внутрішньоклітинному відновленні Cr (VI) до Cr (III), за рахунок меркаптогрупи цистеїну, що входить до складу трипептиду [15].

ЕДТА та амінокислоти можуть інактивувати відновлений Хром (III) утворюючи хелатні комплексні сполуки [16].

Таким чином, не дивлячись на деякі успіхи у питаннях профілактики хромової інтоксикації, все ж таки не прослідковується єдиного комплексного методичного підходу до розв'язування цієї важливої проблеми.

Метою даної роботи є дослідження механізму відновлення шестивалентного хрому цистеїном, який можна рекомендувати як антиоксидант та комплексоутворювача для зменшення інтоксикації хроматами.

Метод дослідження.

Координаційна формула для комплексної солі хрому (III) з цистином, що утворилася, була виведена на основі даних ІЧ-спектроскопії (Specord 75 IR, таблетки KBr), електронної спектроскопії (СФ – 46, водні розчини концентрації 10^{-2} – 10^{-3} моль/л) і кондуктометричних вимірювань (місток Р – 58), водні розчини концентрацією 10^{-3} моль/л у термостатованій комірці з платиновими електродами).

При визначенні токсичності розчин солей хрому(III) вводили внутрішньочеревно у дозах, що зростають. У досвіді було 6 груп тварин. Після орієнтовного визначення дозування препарату вводили випробувану речовину 48 мишам обох статей масою 15-22 г (по 8 у кожній групі). За станом тварин вели спостереження протягом 10 днів після ін'єкції. Реєструвалися терміни загибелі тварин у кожній групі. Розрахунок LD50 проводили методом найменших квадратів (Litchfield, Wilcoxon в модифікації В.Б.Прозоровського).

Результати досліджень.

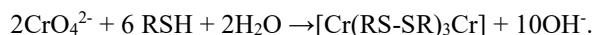
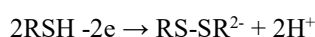
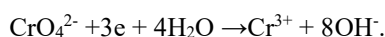
Шестивалентний Хром є встановленим канцерогенним агентом, який не входить у пряму реакцію з ДНК. Його генотоксичність включає стадію відновлення з утворенням активних форм кисню та радикалів, а також форм з нижчою валентністю, які утворюють стабільні комплекси із внутрішньоклітинними макромолекулами. Тривалентна форма Хрому може безпосередньо вступати в реакцію з генетичним матеріалом та спричиняє окислювальні пошкодження *in vitro*. Тіолові антиоксиданти глутатіон та цистеїн в лімфоцитах периферичної крові важливі у відповідь на окислювальний стрес [17].

Авторами [18] запропонований механізм відновлення шестивалентного Хромату 50 – 250-кратним надлишком цистеїну (рН = 7,0 – 7,7. Він включає наступне: утворення комплексу Cr(VI) з двома цистеїновими лігандами; його перетворення комплекс-попередник Cr (III) шляхом послідовного одноелектронного відновлення трьома молекулами цистеїну, і внутрішньомолекулярне перегрупування комплексу-попередника Cr (III), що призводить до

кінцевого продукту утворення комплексу хрому (III) з цистеїном та утворення вільного цистину.

Характерною хімічною особливістю цистеїну є наявність в його молекулі дуже реакційно здатної сульфгідрильної групи (SH); яка може окислюватися як спонтанно, так і під дією спеціальних ферментів. Цистеїн є одним із найсильніших антиоксидантів, його антиоксидантна дія посилюється при одночасному прийманні селену та вітаміну С (ефект синергізму). Як антиоксидант цистеїн використовують у харчовій промисловості для збереження вітаміну С в готових продуктах [19]. Через наявність у цистеїні трьох функціональних груп можливе утворення відповідно трьох рядів похідних з хелатною структурою.

Нами розглянули відновлення хромату калію цистеїном у водному розчині. Використовуючи спектрометричні методи встановлена будова продукту реакції цистинату хрому (III). При молярному співвідношенні хромату калію та цистеїну 1 : 3, в розчині відбуваються реакції відновлення шестивалентного Хрому до тривалентного, окислення цистеїну в цистин, далі відбувалося комплексоутворення Хрому (III) з цистином та частковий гідроліз. Розчин поступово змінював колір з жовтого на зелений на потім на фіолетовий:



В дослідженні брали 100 мл 0,1 Н розчину K_2CrO_4 (вміст Cr (VI) 1,7 г/л) додавали 1,21 г цистеїну. Ступень відновлення хромату калію контролювали за спектрами поглинання. Для підтвердження повного відновлення хрому, провели аналіз на вміст Хрому у виділених осадах. Маса отриманого комплексу цистинату хрому (III) склала 1,2360 г. Вміст Cr^{3+} в осаді 1,49 г/л, у фільтраті 0,19 г/л. Виділену з розчину фіолетову сполуку аналізували на вміст Хрому: знайдено Cr 12,11±0,12 %; розраховано Cr на формулу $[\text{Cr}(\text{SNO}_2\text{C}_3\text{H}_6)_6\text{Cr}]$ 12,62%. Будову цистинату хрому (III) можна представити, в якій цистин є містком між іонами хрому(III). В комплексній сполуці, що утворилася, підтверджено тетраденатна координація утвореного цистину. Згідно з дослідженнями методом електронної спектроскопії, вихідні сполуки хромат калію та цистеїн не мають смуг поглинання в області 500 – 600 нм. Для хромат-іона характерна інтенсивна смуга в УФ області, пов'язана з перенесенням заряду. А суміш через 24 години має дві смуги поглинання, характерні для d-d-переходів хрому (III) УФ ті видімії області (рис.1 – 3).

За даними ІЧ-спектра цистин у цистинаті хрому(III) координований за допомогою аміно- та карбоксильної групи. Донорні центри ліганду, координованого тетраденатно встановлені за

наступними даними: відсутні смуги поглинання валентних коливань протонованої карбоксильної групи COOH 1730 cm^{-1} , відмічається значна різниця ($\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-) - \nu_{\text{s}}(\text{COO}^-) = 290\text{ cm}^{-1}$) характерна для координованого карбоксилу [20]; на зв'язок металу з аміногрупою вказує смуга поглинання з максимумами при 3190 cm^{-1} та 3070 cm^{-1} в комплексі [20] та смуга валентних коливань M–N при 496 нм.

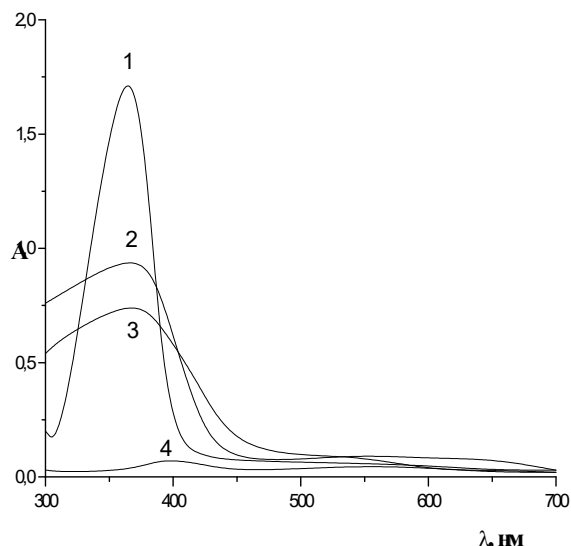


Рис. 1. Електронний спектр: 1. Хромату калію 10^{-3}M ; 2. Суміш хромату калію та цистеїну через 20 хв.; 3. Суміш хромату калію та цистеїну через 2 години; 4. Суміш хромату калію та цистеїну через 6 годин;

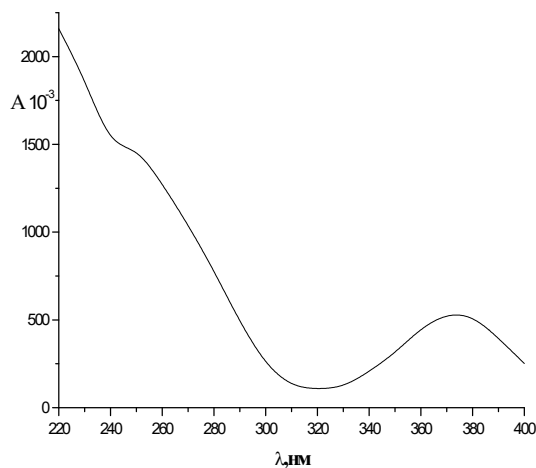


Рис.2. Електронний спектр УФ область: суміш хромату калію та цистеїну через 24 годин.

Дані про токсичність $[\text{Cr}(\text{SNO}_2\text{C}_3\text{H}_6)_6\text{Cr}]$ LD_{50} 2100 мг/кг, що значно нижче за неорганічні солі CrCl_3 $\text{LD}_{50} = 801$ мг/кг та $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ $\text{LD}_{50} = 246$ мг/кг. Таким чином доцільним є рекомендації використання в лікувально-профілактичному харчування робітників що контактують зі сполуками Хрому (VI) сировини багатой на сірковмісні амінокислоти, пептиди та білки.

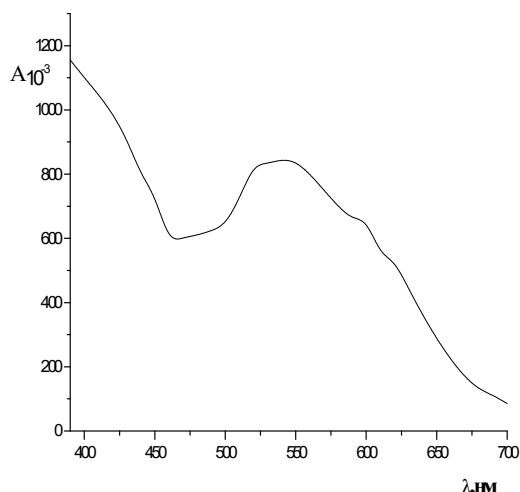


Рис. 3. Електронний спектр видима область: суміш хромату калію та цистеїну через 24 години;

В таблиці 1 наведено харчову сировину, яка містить найбільшу кількість цистеїну [21]. Багаті на цистеїн соя, насіння соняшника, горох та борошно пшениці грубого помелу.

Таблиця 1. Кількісний вміст цистеїну в харчовій сировині

Найменування сировини	Цистеїн мг/100 г продукту	Білок, %	Цистеїн г/100 г білка
Насіння соняшника	451	20,8	2,2
Горох	373	24,6	1,5
Куряче яйця	272	12,6	2,2
Куряче м'ясо (філе)	222	21,3	1,0
М'ясо індички	121	19,5	0,6
М'ясо качки	126	15,8	0,8
М'ясо гусей	122	15,2	0,8
М'ясо яловичини	259	19,0	1,4
М'ясо свинини	242	20,9	1,2
Філе червоної риби	219	20,4	1,1
Волоські горіхи	208	15,8	1,3
Кукурудзяне борошно	125	6,9	1,8
Не очищений рис	96	7,9	1,2
Молоко 3,7%	30	3,3	0,9
Соя суха	655	36,5	1,8
Пшеничне борошно грубого помелу	317	13,7	2,3
Гречане борошно	218	13,3	1,6

Також з аналізу амінокислотного складу, рекомендовано використання в профілактичному харчуванні борошняних виробів з сої, кукурудзи, гречки та пшениці грубого помелу, багатих на сірковмісні амінокислоти. В таблиці 2 наведено порівняння амінокислотного складу соєвого, гречаного та пшеничного борошна грубого помелу, та наведено значення амінокислотного скору.

Таблиця 2. Амінокислотний склад деяких видів борошна

Амінокислота	г/100 г еквалон білка (2011)	Соєве борошно		Гречане борошно		Пшеничне борошно грубого помелу	
		г/100 г	СКОР %	г/100 г	СКОР %	г/100 г	СКОР %
Вміст білка, %		47,0		13,3		13,2	
Valine	4,0	4,8	120	5,1	127	4,2	105
Isoleucine	3,0	4,6	153	3,7	125	3,4	113
Leucine	6,1	7,3	120	6,3	103	6,8	112
Lysine	4,8	6,1	127	5,1	105	2,7	56
Threonine	2,5	3,6	144	3,8	152	2,8	112
Phenylalanine	4,1	7,6	185	6,1	149	7,3	178
Tyrosine							
Methionine + Cysteine	2,3	2,8	122	3,0	130	3,8	165
Tryptophan	0,66	1,4	212	1,4	212	1,3	197

Наведені види борошна мають добре забалансований амінокислотний склад. Пшеничне борошно грубого помелу поступається борошну сої та гречки по вмісту лізину, але перевищують за вмістом сірковмісних амінокислот, що робить цього цінним при сумісному використанні з іншою білковою сировиною.

Висновки та перспективи подальшого розвитку вирішення проблеми.

Для успішного розв'язку поставлених завдань необхідно визначити питання за складовими дослідження.

1. Хоча амінокислота цистеїн, що міститься в багатьох харчових продуктах, вона має властивість руйнуватися при тепловій обробці. Тому повністю задовольнити добову норму цистеїну з їжі неможливо [21, 22].

2. Рекомендацією для робітників що працюють зі сполуками Хрому є додаткове профілактичне вживання капсульованої амінокислоти цистеїну або трипептиду глутатіону, до складу якого входить залишок цистеїну.

Список літератури

1. Порякель Л.І., Сноз С.В., Смердова Л.М., Кривенчук В.С., Бобильова О.О. Важкі метали як фактор ризику для здоров'я людини та довкілля при поводженні з відходами електричного та електронного обладнання. Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки. 2015. Т. 1–2. С. 41–48. <file:///C:/Users/User/Downloads/str41.pdf>
2. Sharma P., Singh S.P., Parakh S.K., Tong Y.W.. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*. 2022; 13(3). P. 4923 – 4938. [doi:10.1080/21655979.2022.2037273](https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273)
3. DesMarais T. L., Costa M. Mechanisms of Chromium-Induced Toxicity. *Curr Opin Toxicol*. 2019. 14. P. 1 – 7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2019.05.003>
4. Vrednye veschestva v promyshlennosti. Neorganicheskie i elementorganicheskie soedineniya. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachej / Pod obshej red. N.V. Lazareva. Tom III, L.: Khimiya. 1977. 608 p.
5. Jindal R., Handa K. Hexavalent chromium-induced toxic effects on the antioxidant levels, histopathological alterations and expression of Nrf2 and MT2 genes in the branchial tissue of *Ctenopharyngodon*

- idellus. *Chemosphere*. 2019. V. 230. P. 144 – 156. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.027>
6. IARC Monograph. Chromium and chromium compounds. 1990. Vol. 49, P. 49.
 7. Розенберг М.С., Ромова Е.Г., Помилуйко Ю.Б. К некоторым вопросам организации лечебно-профилактического питания рабочих завода хромовых соединений. Патогенез, клиника, лечение профзаболеваний: Сб. ст. Актюбинского мед. ин-та. Актюбинск, 1977. С. 84 – 87.
 8. Стефанюк В.Д. Інтоксикація хромом та його сполуками: лікування, профілактика. *Современные проблемы токсикологии*. 2001. Т. 1. http://medved.kiev.ua/arkhiv_mg/st_2001/01_1_13.htm.
 9. Susa N, Ueno S, Furukawa Y, Michiba N, Minoura S Induction of lipid peroxidation in mice by hexavalent chromium and its relation to the toxicity. *The Japanese Journal of Veterinary Science*, 1989, 51(6), P. 1103 – 1110. doi:10.1292/jvms1939.51.1103
 10. Lewalter J., Mikshe L. On the metabolism of hexavalent chromium compounds in man // Inn. Symp. Trace, Elem. Health and Disease: Joint NTES COMTOX Meet. Espoo, 5 – 8 Jule, 1990. Abstr. Helsinki, 1990. P. 32.
 11. Standeven A.M., Wetterhahn K.E. Ascorbate is the principal reductant of chromium (VI) in rat liver and Kidney ultrafiltrates. *Carcinogenesis*. 1991. 12(9). P. 1733 – 1737 doi:10.1093/carcin/12.9.1733.
 12. Синявский Ю.А. Новый специализированный продукт с направленным антигоскисеческим и антиоксидантным действием. Всес. науч.-техн. конф. «Совершенствование технологических процессов производства новых видов пищевых продуктов и добавок. Использование вторичного сырья пищевых ресурсов». К., 1991. Ч. 1. 261 с.
 13. Pavesi T., Moreira J.C. Mechanisms and individuality in chromium toxicity in humans. *Journal of Applied Toxicology*. 2020. 40(9) P. 1183 – 1197. <https://doi.org/10.1002/jat.3965>
 14. Shawahna, R., Zyoud, A., Yahia, E.H. et al. Sub-chronic treatment with high doses of ascorbic acid reduces lead levels in hen eggs intentionally exposed to a concentrated source of lead: a pilot study. *BMC Pharmacol Toxicol*. 2020. 21(17). <https://doi.org/10.1186/s40360-020-0389-4>.
 15. Debetto P., Arslan P., Antolini M. Uptake of chromate by rat thymocytes and role of glutathione in its cytoplasmic reduction. *Xenobiotica*. 2009. 18, 6. P. 657 – 664. <https://doi.org/10.3109/00498258809041704>
 16. Sugijama M. Role of physiological antioxidants in chromium (VI) — induced cellular injuri. *Free Rad. Biol. Med*. 1992. 12(5) P. 397 – 407. doi: 10.1016/0891-5849(92)90089-y.
 17. Goulart M., Batoréu M.C., Rodrigues A.S., Laires A., Rueff J. Lipoperoxidation products and thiol antioxidants in chromium exposed workers. *Mutagenesis*, 2005, 20(5), P. 311 – 315, <https://doi.org/10.1093/mutage/gei043>
 18. Peter A. Lay, Aviva Levina. Kinetics and Mechanism of Chromium (VI) Reduction to Chromium (III) by L-Cysteine in Neutral Aqueous Solutions. *Inorg. Chem*. 1996, 35(26), 7709 – 7717 <https://doi.org/10.1021/ic960663a>
 19. Huihui Dai, Hongzhou An. Effects of Cysteine on Physicochemical Properties of High-Moisture Extrudates Prepared from Plant Protein. *Foods* 2022, 11, 3109. P. 2 – 12 <https://doi.org/10.3390/foods11193109>
 20. Pinto S. M.V., Tasinato N., Barone V., Amadei A., Zanetti-Polzi L., Daidone I. Modeling amino-acid side chain infrared spectra: the case of carboxylic residues. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2020, 5. <https://doi.org/10.1039/C9CP04774C>
 21. Peng Li, Wenliang He, Guoyao Wu Composition of Amino Acids in Foodstuffs for Humans and Animals. *Adv Exp Med Biol*. 2021;1332 P.189 – 210. doi: 10.1007/978-3-030-74180-8 11.
 22. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з сучасної технології переробки плодоовочевої сировини). [текст]. 2-ге вид. доп.: ч.3. Підручник з грифом МОН. Київ «ЦНЛ»: 2022, 108.
- electronic equipment. *Current problems of toxicology, food and chemical safety*. 2015. V. 1 – 2. P. 41 – 48. <file:///C:/Users/.../Downloads/str41.pdf>
2. Sharma P., Singh S.P., Parakh S.K., Tong Y.W.. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*. 2022; 13(3). P. 4923 – 4938. doi:10.1080/21655979.2022.2037273
 3. DesMarais T. L., Costa M. Mechanisms of Chromium-Induced Toxicity. *Curr Opin Toxicol*. 2019. 14. P. 1 – 7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2019.05.003>
 4. Vrednye veschestva v promyshlennosti. Neorganicheskie i elementorganicheskie soedineniya. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachej / Pod obshej red. N.V. Lazareva. Tom III, L.: Khimiya. 1977. 608 p.
 5. Jindal R., Handa K. Hexavalent chromium-induced toxic effects on the antioxidant levels, histopathological alterations and expression of Nrf2 and MT2 genes in the branchial tissue of Ctenopharyngodon idellus. *Chemosphere*. 2019. V. 230. P. 144 – 156. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.027>
 6. IARC Monograph. Chromium and chromium compounds. 1990. Vol. 49, P. 49
 7. Rozenberg M.S., Romova E.G., Pomiluiiko Yu.B. To some questions of the organization of therapeutic and preventive nutrition of workers of the plant of chromium compounds. Pathogenesis, clinic, treatment of occupational diseases: Sat. Art. Aktobe honey. in-ta. Aktyubinsk, 1977. S. 84 - 87.
 8. Stefanyuk V.D. Intoxication with chromium and yogo half: treatment, prevention. *Modern problems of toxicology*. 2001.V. 1. http://medved.kiev.ua/arkhiv_mg/st_2001/01_1_13.htm.
 9. Susa N, Ueno S, Furukawa Y, Michiba N, Minoura S Induction of lipid peroxidation in mice by hexavalent chromium and its relation to the toxicity. *The Japanese Journal of Veterinary Science*, 1989, 51(6), P. 1103 – 1110. doi:10.1292/jvms1939.51.1103
 10. Lewalter J., Mikshe L. On the metabolism of hexavalent chromium compounds in man // Inn. Symp. Trace, Elem. Health and Disease: Joint NTES COMTOX Meet. Espoo, 5 – 8 Jule, 1990. Abstr. Helsinki, 1990. P. 32.
 11. Standeven A.M., Wetterhahn K.E. Ascorbate is the principal reductant of chromium (VI) in rat liver and Kidney ultrafiltrates. *Carcinogenesis*. 1991. 12(9). P. 1733–1737 doi:10.1093/carcin/12.9.1733.
 12. Sinyavsky Yu.A. A new specialized product with directed antitoxic and antioxidant action. Vses. sci.-tech. conf. "Improvement of technological processes for the production of new types of food products and additives. Use of secondary raw materials of food resources". K., 1991. 1. 261 p.
 13. Pavesi T., Moreira J.C. Mechanisms and individuality in chromium toxicity in humans. *Journal of Applied Toxicology*. 2020. 40(9) P. 1183 – 1197. <https://doi.org/10.1002/jat.3965>
 14. Shawahna, R., Zyoud, A., Yahia, E.H. et al. Sub-chronic treatment with high doses of ascorbic acid reduces lead levels in hen eggs intentionally exposed to a concentrated source of lead: a pilot study. *BMC Pharmacol Toxicol*. 2020. 21(17). <https://doi.org/10.1186/s40360-020-0389-4>.
 15. Debetto P., Arslan P., Antolini M. Uptake of chromate by rat thymocytes and role of glutathione in its cytoplasmic reduction. *Xenobiotica*. 2009. 18, 6. P. 657 – 664. <https://doi.org/10.3109/00498258809041704>
 16. Sugijama M. Role of physiological antioxidants in chromium (VI) — induced cellular injuri. *Free Rad. Biol. Med*. 1992. 12(5) P. 397 – 407. doi: 10.1016/0891-5849(92)90089-y.
 17. Goulart M., Batoréu M.C., Rodrigues A.S., Laires A., Rueff J. Lipoperoxidation products and thiol antioxidants in chromium exposed workers. *Mutagenesis*, 2005, 20(5), P. 311 – 315, <https://doi.org/10.1093/mutage/gei043>
 18. Peter A. Lay, Aviva Levina. Kinetics and Mechanism of Chromium (VI) Reduction to Chromium (III) by L-Cysteine in Neutral Aqueous Solutions. *Inorg. Chem*. 1996, 35(26), 7709 – 7717 <https://doi.org/10.1021/ic960663a>
 19. Huihui Dai, Hongzhou An. Effects of Cysteine on Physicochemical Properties of High-Moisture Extrudates Prepared from Plant Protein. *Foods* 2022, 11, 3109. P. 2 – 12 <https://doi.org/10.3390/foods11193109>
 20. Pinto S. M.V., Tasinato N., Barone V., Amadei A., Zanetti-Polzi L., Daidone I. Modeling amino-acid side chain infrared spectra: the case of

References (transliterated)

1. Povyakel L.I., Snoz S.V., Smerdova L.M., Krivenchuk V.C., Bobil'ova O.O. Important factors have been a risk factor for healthy people and dovkillya when caused by the inputs of electrical and

- carboxylic residues. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2020, 5. <https://doi.org/10.1039/C9CP04774C>
21. Peng Li, Wenliang He, Guoyao Wu Composition of Amino Acids in Foodstuffs for Humans and Animals. *Adv Exp Med Biol*. 2021;1332 P.189 – 210. doi: 10.1007/978-3-030-74180-8_11.
22. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z suchasnoї tehnologii pererobki plodoovochevoї sirovini). [tekst]. 2-ge vid. dop.: ch.3. Pidruchnik z grifom MON. Kiiv «CNL»: 2022, 108.

Надійшла (received) 01.07.2023

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чернушенко Олена Олександрівна (Чернушенко Елена Александровна, Chernushenko Elena Alexandrovna) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6386-7646>; e-mail: Linechern@gmail.com.

Агаян Тамара Рафіївна (Агаян Тамара Рафиевна, Aghaian Tamara Rafiyivna) – студентка кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; e-mail: tomulya.agayan@gmail.com

Кравченко Денис Сергійович (Кравченко Денис Сергеевич, Kravchenko Denis Sergeevich) – студентка кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; e-mail: denkravchstud@gmail.com

Е. А. ЧЕРНУШЕНКО, А. Р. АГАЯН, Д.С. КРАВЧЕНКО

РОЛЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТ В ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ПИТАНИИ РАБОЧИХ ЧТО КОНТАКТИРУЮТ С ХРОМОМ

В мире большое количество работников подвергаются влиянию паров, тумана и пыли, содержащей Хром и его соединения. Одним из путей профилактики интоксикации хромом является обогащение пищевых рационов веществами, что имеют антиоксидантную и комплексообразующую способность. Акцентировано внимание на рекомендации по использованию серосодержащих аминокислот и белков богатых серой в составе пищевых продуктов для профилактики интоксикаций у рабочих, что контактируют на производствах с хромом. Был рассмотрен механизм восстановления цистеином соединений шестивалентного хрома. Показано, что процесс восстановления хроматов цистеином сопровождается окислением цистеина до цистина и последующим комплексообразованием с хромом трехвалентным. Строение цистинату хрома (III) подтверждено ИК- и электронной спектроскопией, элементным анализом. Установлено, что в образованном хелатном комплексе $[Cr(SNO_2C_3H_6)_6Cr]$, хром (III) имеет связь с цистином через амино- и карбоксильную группу, LD₅₀ 2100 мг/кг и менее токсичный, чем неорганические соли хрома (III). В статье проанализировано белковое сырье богатое на цистеин, которое можно рекомендовать, чтобы удовлетворить суточную норму цистеина, или для уменьшения интоксикации хромом рабочих, работающих в рабочей зоне с высоким содержанием солей хрома.

Ключевые слова: безопасность пищевых продуктов, гигиенический контроль, лечебно-профилактическое питание, гигиена питания, цистеин, токсичность хрома

О. О. ЧЕРНУШЕНКО, А. Р. АГАЯН, Д.С. КРАВЧЕНКО

РОЛЬ СІРКОВМІСНИХ АМІНОКИСЛОТ У ПРОФІЛАКТИЧНОМУ ХАРЧУВАННІ РОБІТНИКІВ ЩО КОНТАКТУЮТЬ З ХРОМОМ

У світі велика кількість працівників піддаються впливу парів, туману і пилу, що містять Хром та його сполуки. Одним зі шляхів профілактики інтоксикації хромом є збагачення харчових раціонів речовинами, що мають антиоксидантну та комплексоутворюючу здатність. Акцентовано увагу на рекомендаціях щодо використання сірковмісних амінокислот, білків багатих на сірку в складі харчових продуктів для профілактики інтоксикації у робітників що контактують на виробництвах з хромом. Були розглянутий механізм відновлення цистеїном сполук шестивалентного хрому. Показано, що процес відновлення хроматів цистеїном супроводжується окисненням цистеїну до цистину та подальшим комплексоутворенням з хромом тривалентним. Будова цистинату хрому (III) підтверджено ІЧ- та електронною спектроскопією, елементним аналізом. Встановлено, що в утвореному хелатному комплексі $[Cr(SNO_2C_3H_6)_6Cr]$, хром (III) має зв'язок з цистином через аміно- та карбоксильну групу, LD₅₀ 2100 мг/кг і менш токсичний ніж неорганічні солі хрому (III). В статті проаналізована білкова сировина багата на цистеїн, яку можна рекомендувати, щоб задовольнити добову норму цистеїну, або для зменшення інтоксикації хромом робітників що працюють в робочій зоні з високим вмістом солей хрому.

Ключові слова: безпека харчових продуктів, гігієнічний контроль, лікувально-профілактичне харчування, гігієна харчування, цистеїн, токсичність хрому