

ВПЛИВ СПОЛУК СИЛІЦІЮ НА ВМІСТ МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ТКАНИНАХ ОРГАНІЗМУ КРОЛІВ

А. І. Іваницька, Я. В. Лесик, Г. Г. Денис
nastya_ivanitska@ukr.net

Інститут біології тварин НААН,
вул. В. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна

У статті наведено результати дослідження впливу випоювання з 52- до 110-ї доби життя кролів силіцію цитрату, отриманого методом з використанням нанотехнології, з розрахунку, відповідно, 25; 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла та метасилікату натрію в кількості 2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла на вміст мінеральних елементів у тканинах їхнього організму. Встановлено вірогідні міжгрупові різниці вмісту Кальцію (Ca), Кобальту (Co), Цинку (Zn), Феруму (Fe), Купруму (Cu) і Мангану (Mn) у тканинах печінки, м'язів, трубчастої кістки, шкіри, шерсті та крові кролів залежно від кількості та сполуки силіцію у раціоні кролів. Випоювання силіцію цитрату в найменшій досліджуваній кількості (25 мкг Si) позначилося вірогідним підвищенням ($P < 0,05-0,01$) Силіцію у тканинах шкіри та шерсті, Zn у шкірі, Ca і Fe у крові та Cu у печінці кролів. Застосування силіцію цитрату з розрахунку 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла зумовлювало однонаправлені зміни у досліджуваних тканинах організму кролів з вірогідним підвищенням ($P < 0,05-0,001$) вмісту Ca, Si, Co, Zn, Fe і Cu у крові кролів. Це може свідчити про синергічний вплив застосованої кількості органічної сполуки силіцію, оскільки, попри істотні коливання в кількості Силіцію, який надходить в організм, вміст його у крові залишається стабільним. Відзначено вірогідне ($P < 0,05-0,01$) збільшення вмісту Ca, Si, Co, Zn, Fe, Cu у тканинах печінки кролів, Si, Zn, Fe у тканині найдовшого м'яза спини, Si і Zn у шкірі, Si у шерсті, встановлено вищий рівень Co у тканині трубчастої кістки порівняно з контрольною групою. Вміст мікроелементів у тканинах кролів за випоювання метасилікату натрію в кількості 2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла зберігав значно менший вплив вірогідних різниць порівняно з контрольною групою з більш вираженим впливом меншої кількості, зокрема: Ca, Si, Fe у крові, Co у печінці, Si у тканинах м'яза, Ca, Si і Zn у шерсті та шкірі. Встановлені зміни вмісту макро- і мікроелементів у тканинах організму кролів відзначають тканинну специфічність і залежать від застосованої сполуки силіцію та їх кількості у раціоні. Синергічний вплив застосування сполук силіцію був більш виражений за впливу силіцію цитрату у кількості 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла, що може вказувати про стимулювальну дію силіцію на корекцію мінерального обміну в їхньому організмі.

Ключові слова: КРОЛІ, СИЛІЦІЮ ЦИТРАТ, МЕТАСИЛІКАТ НАТРІЮ, ТКАНИНИ, МІНЕРАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

INFLUENCE OF SILICON COMPOUNDS ON THE MINERAL ELEMENTS CONTENT IN TISSUES OF RABBITS' ORGANISM

A. I. Ivanitskaya, Y. V. Lesyk, H. H. Denys
nastya_ivanitska@ukr.net

Institute of Animal Biology NAAS,
38 Vasyl Stus str., Lviv 79034, Ukraine

The article presents the effect of drinking rabbits from 52 to 110 days of life silicon citrate obtained by the method using nanotechnology at the rate of 25; 50 and 75 μg Si/kg body weight and sodium metasilicate in the amount of 2.5 and 5.0 mg Si/kg body weight on the mineral elements content in the tissues of the organism. Significant differences between Calcium, Cobalt, Zinc, Ferum, Cuprum, and Manganese content in liver, muscle, tubular bone, skin, wool, and blood of rabbits were determined depending on the amount and compound of silicon in the rabbit diet. Feeding silicon citrate in the smallest (25 μg Si) of the studied quantity was indicated by a significant increase ($P < 0.05-0.01$) of Si in skin and wool tissues, Zn in skin, Ca and Fe in blood and Cu in rabbit liver. The use of silicon citrate at the rate of 50 and 75 μg Si/kg body weight caused unidirectional changes in the studied tissues of rabbits with a likely increase ($P < 0.05-0.001$) content of Ca, Si, Co, Zn, Fe and Cu in the blood rabbits. This may indicate the synergistic effect of the amount of organic compound applied to silicon, since despite significant fluctuations in the amount of silicon entering the body, its content in the blood remains stable. A significant ($P < 0.05-0.01$) increase in the content of Ca, Si, Co, Zn, Fe, Cu in the liver tissues, Si, Zn, Fe in the

tissue of the longest muscle of the back, Si and Zn in skin, Si in wool, and higher Co level in the tubular bone tissue compared to the control group was found. The content of trace elements in rabbit tissues for the absorption of sodium metasilicate in the amount of 2.5 and 5.0 mg Si/kg body weight retained significantly less influence of the probable differences compared to the control group with more pronounced influence of lower amount, in particular: Ca, Si, Fe in blood, Co in liver, Si in muscle tissues, Ca, Si and Zn in wool and skin. The established changes in the content of macro- and microelements in the tissues of the rabbit organism mark tissue specificity and depend on the compound of silicon used and their amount in the diet. The synergistic effect of the use of silicon compounds was more pronounced than the effect of silicon citrate in the amount of 50 and 75 μg Si/kg body weight, which may indicate a stimulating effect of silicon on the correction of mineral metabolism in their body.

Keywords: RABBITS, SILICON OF CITRATE, SODIUM METASYLICATE, TISSUE, MINERAL ELEMENTS

Силіцій (Si) — необхідний елемент живлення тварин [20]. Встановлено позитивний вплив цього елемента на механізми метаболізму в кістковій та сполучній тканині, оскільки дефіцит Si у молодих тварин позначився змінами росту кісткової та сполучної тканин [14]. У людини засвоюваність Si залежить від біоестрогенного статусу організму [17, 18]. Механізми впливу Si в організмі не з'ясовані повністю, хоча деякими дослідженнями встановлено його участь у синтезі ДНК та підвищенні засвоюваності мінеральних речовин у метаболізмі кісткової та сполучної тканин [7, 15]. Відомо, що гени, які регулюють засвоюваність Si в організмі, були встановлені у нирках щурів за його дефіциту [24]. Si має унікальну спорідненість до Алюмінію (Al) [8, 16], він може зв'язувати токсичні іони Al, запобігаючи негативному впливу на кісткову тканину в організмі тварин і людини [25].

Дослідженнями встановлено безпосередній вплив Si на синтез колагену, який є одним з основних структурних протеїнів сполучної тканин. Вищі рівні Si відзначено у сполучній тканині аорти, трахеї, сухожилів, печінки, нирок, селезінки, кісток [6]. Дослідженнями [1, 4] з використанням ін'єкції мічених ізотопів Si встановлено, що приблизно 80 % уведеного Si виводиться нирками, незначна частина депонується у паренхіматозних органах і майже 15 % є у шкірі та кістках. Концентрація Si в організмі людини знижується з віком, з вищими рівнями у новонароджених і дітей молодшого віку та нижчими — у дорослих [13]. Концентрація Si у крові може бути індикатором його вмісту в тканинах організму.

Si в оптимальних кількостях у крові є головним елементом зв'язку між всіма макро-

і мікроелементами організму, сприяє формуванню кісткової тканини незалежно від вмісту вітаміну D, активує ріст і розвиток тварин, бере участь в обміні ліпідів, вуглеводів та вітамінів [12]. Незважаючи на широке поширення Si у природі, його засвоюваність в організмі становить близько 4 % від загальної кількості, яка надходить до травного каналу [23]. З літературних джерел відомо, що мікроелементи є в ензимах, каталізують біохімічні реакції в організмі людини і тварин. Найважливішим є не тільки контроль кількості мінеральних елементів у раціоні, але і їх біодоступність [3]. Зважаючи на вищевказане, значний науковий інтерес мають органічні комплекси Si [2]. Тому метою дослідження було вивчити вплив вживання цитрату силіцію, отриманого методом нанотехнології, та метасилікату натрію на вміст мінеральних речовин у тканинах їхнього організму на 110-у добу життя.

Матеріали і методи

Дослідження проводили на молодяку кролів породи *Hyla* у ТзОВ «Горлиця» с. Добряни Городоцького р-ну Львівської обл., поділених на шість груп — контрольну і п'ять дослідних по шість тварин (три самці і три самиці) у кожній, підібраних за принципом аналогів у віці 41 доби. Тварини утримувалися в приміщеннях з регульованим мікрокліматом та освітленням у сітчастих клітках розміром 50×120×30 см. Кролям контрольної групи згодовували без обмеження збалансований гранульований комбікорм з вільним доступом до води. Тваринам I, II і III дослідних груп згодовували корми раціону контрольної групи і впродовж доби вживали наносиліцію

цитрат з розрахунку, відповідно, 25; 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла. Молодняку IV і V дослідних груп згодовували корми раціону контрольної групи і з водою задавали метасилікат натрію ($\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) в кількості, відповідно, 2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла. Дослід тривав 68 діб, в тому числі підготовчий період — 10 діб, дослідний — 58 діб. На 58-у добу від початку експерименту тварин забивали із врахуванням загальноприйнятих біоетичних норм міжнародних положень стосовно проведення експериментальних робіт із хребетними тваринами [21]. Для дослідження відбирали кров, тканини печінки, найдовшого м'яза спини, стегнової кістки, шкіри та шерсті. Для визначення макро- та мікроелементів зразки попередньо мінералізували методом сухого озолення. Після озолення проводили кислотну екстракцію. У підготовлених зразках визначали елементи методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії за допомогою ААС-115 С. Цифрові дані опрацьовували статистично з використанням *t*-критерію Стьюдента. Розраховували середні арифметичні величини (*M*) та похибки середніх арифметичних величин ($\pm m$). Зміни вважали вірогідними за $P < 0,05$. Для розрахунків використано комп'ютерну програму *Microsoft Excel*.

Результати й обговорення

Мінеральний склад кормів залежить від наявності рухомих форм мікроелементів у ґрунті. Хоча Силіцій займає друге місце серед інших хімічних елементів за поширеністю в земній корі, засвоюваність його сполук залежить від їх біодоступності в організмі. Аналіз результатів дослідження вмісту макро- і мікроелементів у тканинах і окремих органах кролів свідчить про зміни його рівня залежно від застосованих сполук та кількостей Силіцію, а також структурних і функціональних особливостей досліджуваних тканин (табл.). Зокрема, випоювання наносиліцію цитрату в кількості 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла і метасилікату натрію з розрахунку 2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла позначилося вірогідним ($P < 0,05$ – $0,01$) збільшенням вмісту Силіцію у крові та тканинах найдовшого м'яза спини кролів порівняно з контролем.

Незважаючи на істотні коливання в кількості Силіцію, який надходить в організм, вміст його у крові залишається стабільним, тоді як у паренхіматозних органах є істотно нижчим [22]. Ці літературні дані підтверджуються отриманими результатами дослідження, зокрема невірогідним збільшенням рівня Силіцію у тканинах печінки і трубчастої кістки кролів порівняно з контрольною групою. Відомо, що Силіцій у найбільших концентраціях міститься у сполучній тканині — стінках аорти, трахеї, зв'язках, шкірі (особливо в епідермісі), волоссі й лімфовузлах [26]. Випоювання кролям органічної та неорганічної сполук силіцію позначилося вірогідним ($P < 0,05$ – $0,01$) збільшенням вмісту Силіцію у шкірі та шерсті кролів усіх дослідних груп порівняно з контролем, що підтверджують дані літератури про важливу роль Силіцію як структурного елемента сполучної тканини. Необхідно зазначити дозозалежний вплив сполук силіцію на організм кролів, зокрема випоювання найменшої кількості (2,5 мг Si/кг маси тіла) цитрату силіцію позначилося вірогідним збільшенням його вмісту лише у шкірі та шерсті кролів за тенденції до підвищення в інших досліджуваних тканинах порівняно з контролем.

Кобальт входить до складу молекули ціанокобаламіну. У моногастричних тварин синтез вітаміну B_{12} проходить у товстому кишечнику за участю мікрофлори. Однак утворення неактивних аналогів ціанокобаламіну з низьким рівнем абсорбції та зв'язування з мікрофлорою, цей синтез є недостатнім для потреби тварин у вітаміні B_{12} , який повинен надходити аліментарно [5]. Очевидно, застосування сполук силіцію вплинуло на процеси метаболізму і засвоєння Кобальту в організмі кролів. Так, у крові тварин II, III і IV дослідних груп вміст Co був вищим, відповідно, на 65 % ($P < 0,001$), 75 % ($P < 0,01$) і 70 % ($P < 0,001$) за тенденції до більшого рівня у I і V групах порівняно з контролем. Відомо, що Co підвищує засвоєння Феруму в організмі, бере участь у синтезі гемоглобіну і стимулює еритропоез. Процес кровотворення у людини і тварин може здійснюватися лише за взаємодії трьох біоелементів — Кобальту, Купруму та Феруму. Необхідно зазначити, що механізм

впливу Кобальту на гемопоез не є з'ясованим. Проведеними дослідженнями встановлено синергічний вплив цих елементів, який був більш вираженим за дії органічної сполуки силіцію. Так, вміст Феруму у крові кролів I, II, III і V дослідних груп був вищим, відповідно, на 33,4; 34,8; 35,8 і 27,4 % ($P < 0,05$), а рівень Купруму в крові тварин II і III дослідних груп збільшився у 3,7 і 3,3 рази ($P < 0,05$) порівняно з контрольною групою. Збільшення у крові вмісту Кобальту, Купруму і Феруму корелює з показниками кількості еритроцитів та концентрації гемоглобіну, отриманих у попередніх дослідженнях [9], що може свідчити про активаційний вплив фізіологічно обґрунтованих кількостей наносиліцію цитрату на метаболізм вказаних мікроелементів та активацію процесів еритропоезу в крові кролів. Слід також зазначити, що вміст Со у тканинах печінки II–V дослідних груп був вірогідно вищим, а трубчасті кістки — перевищував ($P < 0,05–0,01$) контрольну в II і III дослідних групах за тенденції до вищого його вмісту в інших досліджуваних тканинах організму кролів.

Характерно, що випоювання сполук силіцію вплинуло на рівень Цинку в досліджуваних тканинах організму кролів. Так, вміст Цинку в крові тварин II і III дослідних груп був вищим, відповідно, на 49,2 і 50 % ($P < 0,05$) за тенденції до більшого його рівня в інших групах порівняно з контролем. Для оцінки вмісту Цинку в організмі визначають його рівень у крові, який залежить від його наявності в раціоні. Очевидно, застосовані у раціоні кількості сполук силіцію позитивно вплинули на засвоєння Цинку в організмі кролів. Випоювання кролям цитрату силіцію в кількості 50 і 75 мкг та метасилікату натрію з розрахунку 2,5 мг Si/кг маси тіла сприяло вищому ($P < 0,05$) рівню Цинку в тканинах печінки та найдовшого м'яза спини тварин II, III і IV дослідних груп порівняно з контрольною групою. Це може свідчити про дозозалежний вплив як органічної, так і неорганічної сполук силіцію в організмі кролів, що вплинуло на процеси метаболізму швидко обмінного Цинку, який з крові активно засвоюється печінкою та м'язовою тканиною [5].

Концентрація Цинку в шкірі кролів I, II, III, IV і V дослідних груп була вищою,

відповідно, на 43,7; 27,6; 36,1 % ($P < 0,05$) і 31,8 % ($P < 0,01$) порівняно з контролем. У шкірі Силіцій хімічно зв'язаний разом з Сульфуром, з'єднує мікромолекули цього протеїну поперечними містками і сконцентрований передусім в еластині та колагені, підвищуючи його хімічну та механічну стійкість [8]. Цинк є кофактором великої групи ензимів, які беруть участь у синтезі протеїну та колагену; можливо, застосовані сполуки силіцію активували процеси метаболізму Цинку, що більшою мірою позначилося у тканинах шкіри і підтверджується проведеними гістологічними дослідженнями шарів шкіри кролів [10].

Випоювання молодняку цитрату силіцію у кількості 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла позначилося вірогідним підвищенням концентрації Феруму в тканинах печінки ($P < 0,01$) та найдовшого м'яза спини ($P < 0,05$) порівняно з контролем. Застосування неорганічної сполуки силіцію у кількості 2,5 мг Si/кг маси тіла сприяло підвищенню на 13,7 % ($P < 0,05$) вмісту Fe тільки у тканинах печінки порівняно з контрольною групою тварин.

Застосування сполук силіцію у раціоні кролів позначилося вірогідними змінами вмісту Купруму, крім крові, тільки у печінці. Зокрема, в тканинах печінки кролів I, II, III і IV дослідних груп концентрація Купруму була вищою, відповідно, в 1,2; 2,3; 2,1 ($P < 0,05$) і 2,5 ($P < 0,01$) рази порівняно з контрольною групою. Це вказує на значний антагоністичний вплив як цитрату силіцію, так і метасилікату натрію у меншій кількості на рівень Купруму в тканинах організму кролів. Очевидно, цитрат силіцію у застосованих кількостях більшою мірою вплинув на процеси активації синтезу церулоплазміну в печінці, що підтверджується попередніми дослідженнями його вмісту в крові [11]; це зумовлювалося вищим його засвоєнням в травному каналі з кормів раціону, що позначилося вірогідними різницями його вмісту в крові та печінці кролів. Оскільки з літературних джерел відомо, що головним органом метаболізму Купруму є печінка, у ній синтезується протеїн церулоплазмін, який є основним транспортним протеїном Cu у крові, володіє ензимною активністю, бере участь у регуляції гомеостазу Cu в організмі [26].

Вміст мінеральних речовин у тканинах кролів за випоювання сполук Силіцію, мг/кг сирої маси (M±m, n=6)
The content of minerals in the tissues of rabbits for the feeding of compounds of silicon, mg / kg wet weight (M±m, n=6)

Орган / тканина Organ / tissue	Група Group	Ca	Si	Co	Zn	Fe	Cu	Mg	Mn
Кров, мг/л Blood, mg/l	К	76,1±3,83	1,02±0,12	0,020±0,001	2,72±0,32	354,5±32,9	0,29±0,06	25,2±2,54	0,13±0,02
	Д-I	100,8±9,90*	1,66±0,34	0,021±0,002	3,47±0,26	473,1±18,3*	0,50±0,11	32,0±2,32	0,12±0,04
	Д-II	114,9±11,9**	3,09±0,82*	0,033±0,001***	4,06±0,43*	478,1±24,8*	1,09±0,19*	32,7±2,74	0,18±0,03
	Д-III	115,6±13,8**	3,02±0,44**	0,035±0,004**	4,08±0,49*	481,6±32,6*	0,97±0,21*	31,9±3,33	0,12±0,02
	Д-IV	108,6±12,6*	3,10±0,73**	0,034±0,001***	3,71±0,62	450,6±39,9	0,49±0,19	29,9±3,66	0,18±0,04
	Д-V	101,1±10,0*	1,73±0,28*	0,026±0,003	3,61±0,36	451,8±23,3*	0,32±0,08	32,4±3,16	0,14±0,02
Печінка Liver	К	20,3±1,94	5,5±0,25	0,024±0,003	32,6±5,55	58,7±1,89	3,64±0,64	0,80±0,13	1,54±0,24
	Д-I	24,8±3,43	5,6±0,31	0,027±0,002	37,3±4,14	63,4±2,07	8,13±1,41*	0,89±0,07	1,24±0,15
	Д-II	22,2±2,45	6,4±0,36	0,033±0,001*	47,6±2,98*	69,0±2,47**	8,61±1,56*	0,77±0,07	1,67±0,12
	Д-III	30,1±2,88*	7,0±0,49*	0,040±0,003**	54,3±7,81*	68,2±1,97**	7,87±1,74*	1,19±0,20	1,19±0,32
	Д-IV	32,1±3,59*	6,3±0,53	0,043±0,007*	52,1±5,67*	66,8±2,19*	9,24±1,58**	0,99±0,04	1,87±0,27
	Д-V	23,8±3,24	6,0±0,26	0,039±0,004*	42,6±4,65	61,5±1,09	4,07±0,52	1,10±0,13	1,72±0,28
Найдовший м'яз спини The longest muscle of the back	К	0,10±0,01	10,5±0,74	0,011±0,001	11,0±0,68	6,78±0,43	0,44±0,04	0,20±0,01	0,31±0,01
	Д-I	0,11±0,01	11,2±0,88	0,013±0,001	11,7±1,02	6,74±0,55	0,47±0,04	0,22±0,02	0,33±0,01
	Д-II	0,10±0,01	13,1±0,61*	0,012±0,001	14,8±1,42*	8,02±0,31*	0,51±0,05	0,18±0,02	0,36±0,02
	Д-III	0,12±0,01	13,2±0,31**	0,013±0,001	15,3±1,13*	8,31±0,35*	0,53±0,03	0,20±0,05	0,38±0,01**
	Д-IV	0,11±0,01	14,4±0,56**	0,014±0,003	14,3±1,27*	7,65±0,41	0,55±0,02	0,17±0,04	0,31±0,02
	Д-V	0,12±0,01	13,0±0,75*	0,015±0,001	12,8±1,29	7,51±0,21	0,45±0,03	0,16±0,04	0,30±0,03
Трубчаста кістка Tubular bone	К	31750±573,7	2,07±0,21	0,022±0,001	5,3±0,41	46,9±1,59	0,20±0,013	9,88±0,32	1,20±0,02
	Д-I	32586±824,1	2,12±0,18	0,023±0,004	5,5±0,51	47,7±3,04	0,24±0,019	10,2±0,57	1,22±0,02
	Д-II	34856±892,4*	2,13±0,10	0,027±0,001**	6,2±0,48	50,4±2,30	0,27±0,023	10,1±0,73	1,32±0,03
	Д-III	33808±700,6*	2,11±0,08	0,029±0,002*	6,1±0,47	48,5±1,92	0,29±0,027	9,44±0,67	1,31±0,03*
	Д-IV	35061±1345,6*	2,19±0,09	0,025±0,003	6,0±0,32	50,4±1,70	0,21±0,040	10,3±0,40	1,34±0,02**
	Д-V	32668±919,4	2,21±0,10	0,023±0,001	5,9±0,53	48,8±2,18	0,23±0,032	10,5±0,82	1,31±0,03*
Шкіра Skin	К	11,3±1,14	30,1±1,72	0,040±0,003	22,4±2,16	14,9±0,90	4,02±0,94	7,34±0,93	0,84±0,21
	Д-I	12,8±1,27	35,9±1,55*	0,038±0,001	32,2±2,71*	15,0±1,09	4,83±1,83	7,91±0,67	0,83±0,19
	Д-II	15,1±1,15*	42,1±3,82*	0,044±0,003	28,6±1,60*	14,5±0,53	3,67±0,59	8,84±0,66	0,48±0,09
	Д-III	16,5±0,74**	42,3±2,74**	0,042±0,002	30,5±2,39*	16,9±1,77	3,78±1,09	7,62±0,68	0,41±0,02
	Д-IV	15,9±0,93**	37,6±1,97*	0,041±0,001	31,6±3,21*	15,8±1,0	2,56±0,46	9,60±0,78	0,82±0,08
	Д-V	13,6±1,29	38,6±1,53**	0,038±0,006	31,8±1,42**	16,8±1,25	3,04±1,01	7,39±0,42	0,46±0,09
Шерсть Wool	К	130,5±4,90	20,0±1,29	0,049±0,009	23,1±0,66	13,4±1,83	9,92±0,48	5,90±0,42	0,56±0,06
	Д-I	135,4±5,12	23,0±0,20*	0,065±0,008	24,0±0,49	12,2±1,72	7,51±1,29	6,73±0,60	0,49±0,11
	Д-II	154,5±5,57**	23,1±0,48*	0,050±0,003	23,9±0,79	12,1±2,46	8,47±0,61	7,53±0,89	0,52±0,05
	Д-III	152,1±3,72**	23,4±0,26*	0,049±0,003	24,1±0,10	15,7±1,55	10,82±1,41	7,39±0,61	0,83±0,08*
	Д-IV	145,3±6,82***	23,6±0,56*	0,057±0,005	23,2±0,13	15,9±1,01	10,22±0,87	7,05±0,64	0,91±0,09**
	Д-V	134,1±7,67	24,0±0,53**	0,066±0,009	24,4±0,12	12,7±2,45	9,08±0,51	7,86±0,89	0,74±0,14

Манган — есенціальний елемент для людини і тварин, його концентрація в організмі є меншою майже у 10 разів, ніж Купруму. Випоювання тваринам III дослідної групи цитрату силіцію у кількості 75 мкг Si/кг маси тіла відзначилося у тканинах найдовшого м'яза спини вищим на 22,5 % ($P<0,05$) вмістом Mn порівняно з контролем. Аналіз показників абсолютного вмісту Мангану показав, що найбільше вірогідних змін його концентрації відзначено у трубчастій кістці кролів та шерсті, особливо за дії неорганічної та найбільшої досліджуваної кількості органічної сполуки силіцію. Так, у тканинах трубчастої кістки тварин III, IV і V дослідних груп концентрація Mn була вищою, відповідно, на 9,1 % ($P<0,05$); 11,6 % ($P<0,01$) і 9,1 % ($P<0,05$) % порівняно з контрольною групою. Встановлені зміни можуть бути пов'язані з підвищеною абсорбцією цього елемента у травному каналі більшими кількостями Силіцію або вищим їх метаболічним впливом у тканинах трубчастої кістки кролів. Відомо, що дія Mn на кісткову тканину обумовлена, очевидно, його активуючою дією на лужну фосфатазу і синтез кислих мукополісахаридів у матриці кістки [19]. Дослідженнями встановлено вірогідно вищий вміст Mn у шерсті кролів IV і V дослідних груп, що може свідчити про більш виражений вплив неорганічної сполуки силіцію на рівень депонування цього елемента в організмі кролів, зокрема у тканинах шкіри.

Застосування у живленні кролів після відлучення органічної та неорганічної сполук Si позначилося невірогідними змінами вмісту Mn у досліджуваних тканинах, що може свідчити про незначний антагоністичний вплив Si на засвоєння та метаболізм цього елемента в організмі кролів.

Висновки

1. Випоювання кролям різних кількостей силіцію цитрату, отриманого з використанням нанотехнології (25; 50 і 75 мкг Si/кг маси тіла), та метасилікату натрію (2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла) зумовлювало вірогідні відмінності вмісту Ca, Co, Zn, Fe, Cu і Mn у тканинах печінки, м'язів, трубчастої кістки, шкіри, шерсті

та крові кролів, що залежало від кількості застосованої сполуки силіцію в їхньому раціоні.

2. Вплив силіцію цитрату в найменшій кількості (25 мкг) позначився вірогідним підвищенням вмісту Si у тканинах шкіри та шерсті, Zn у шкірі, Ca і Fe у крові та Cu у печінці кролів.

3. Вищі кількості силіцію цитрату (50 і 75 мкг) характеризувались підвищенням вмісту порівняно з контрольною групою, зокрема: Ca, Si, Co, Zn, Fe і Cu у крові, Ca, Si, Co, Zn, Fe, Cu у печінці, Si, Zn, Fe у тканині найдовшого м'яза спини, Si і Zn у шкірі, Si у шерсті, Co у тканині трубчастої кістки.

4. Застосування неорганічної сполуки силіцію (метасилікат натрію в кількості 2,5 і 5,0 мг Si/кг маси тіла) позначилося меншим вірогідним впливом на вміст досліджуваних мінеральних елементів порівняно з контрольною групою з більш вираженим впливом нижчої кількості, зокрема Ca, Si, Fe у крові, Co у печінці, Si у тканинах м'яза, Ca, Si і Zn у шерсті та шкірі.

Перспективи подальших досліджень.

Доцільним є вивчення органо-тканинного розподілу більшого спектру макро- і мікроелементів у кролів за впливу тривалості та кількості силіцію цитрату.

1. Adler A. J., Etzion Z., Berlyne G. M. Uptake, distribution, and excretion of ^{31}Si in normal rats. *American Journal of Physiology*, 1986, vol. 251, issue 6, pp. E670–E673. DOI: 10.1152/ajpendo.1986.251.6.E670.
2. Afolabi K. D., Akinsoyinu A. O., Olajide R., Akinleye, S. B. Haematological parameters of the Nigerian local grower chickens fed varying dietary levels of palm kernel cake. *Proceedings of 35th Annual Conference of Nigerian Society for Animal Production*, Ibadan, 2010, p. 247.
3. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Storchkova L. S. *Human microelementoses: etiology, classification, organopathology*. Moscow, Medicina, 1991, 496 p. (in Russian)
4. Berlyne G. M., Shaikin-Kestenbaum R., Yagil R., Alfassi Z., Kushelevsky A., Etzion Z. Distribution of ^{31}Si -labeled silicic acid in the rat. *Biological Trace Element Research*, 1986, vol. 10, pp. 159–162. DOI: 10.1007/BF02795569.
5. Blas C. de, Wiseman J. *Nutrition of the Rabbit*. 2nd ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2010, 325 p. DOI: 10.1079/9781845936693.0000.

6. Carlisle E. M. Silicon as an essential trace element in animal nutrition. *Silicon Biochemistry*, Ciba Foundation Symposium 121, Chichester, John Wiley and Sons Ltd., 1986, pp. 123–139. DOI: 10.1002/9780470513323.ch8.
7. Domingo J. L., Gómez M., Colomina M. T. Oral silicon supplementation: an effective therapy for preventing oral aluminium absorption and retention in mammals. *Nutrition Reviews*, 2010, vol. 69, issue 1, pp. 41–51. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00360.x.
8. Genyk S. M. Silicon is the natural key to health. *Galician Medical Bulletin*, Ivano-Frankivsk, 2014, vol. 21, issue. 4, pp. 116–118. (in Ukrainian)
9. Ivanytska A. I., Lesyk Ya. V. The effect of silicon compounds on hematological indicators and content of lipids in blood of rabbits. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018, vol. 20, issue 92, pp. 190–196. DOI: 10.32718/nvlvet9240. (in Ukrainian)
10. Ivanytska A. I., Lesyk Ya. V., Kropyvka S. Y., Hoivanovych N. K. Growth and development of the organism rabbits for the feeding of the silicon connection. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2017, vol. 19, issue 82, pp. 82–87. DOI: 10.15421/nvlvet8217. (in Ukrainian)
11. Ivanytska A. I., Lesyk Ya. V., Tsap M. M. The effect of silicon compounds on immunophysiological reactivity of rabbits, *The Animal Biology*, 2017, vol. 19, issue 3, pp. 42–49. DOI: 10.15407/animbiol19.03.042. (in Ukrainian)
12. Jugdaohsingh R. Silicon and bone health. *The journal of nutrition, health & aging*, 2007, vol. 11, issue 2, pp. 99–110.
13. Jugdaohsingh R., Anderson S. H. C., Lakasing L., Sripanyakorn S., Ratcliffe S., Powell J. J. Serum silicon concentrations in pregnant women and newborn babies. *British Journal of Nutrition*, 2013, vol. 110, issue 11, pp. 2004–2010. DOI: 10.1017/S0007114513001578.
14. Jugdaohsingh R., Calomme M. R., Robinson K., Nielsen F., Anderson S. H. C., D'Haese P., Geusens P., Loveridge N., Thompson R. P. H., Powell J. J. Increased longitudinal growth in rats on a silicon-depleted diet. *Bone*, 2008, vol. 43, issue 3, pp. 596–606. DOI: 10.1016/j.bone.2008.04.014.
15. Jugdaohsingh R., Kinrade S. D., Powell J. J. Is there a biochemical role for silicon? *Metal Ions in Biology and Medicine*, 2008, vol. 10, pp. 45–55.
16. Jugdaohsingh R., Reffitt D. M., Oldham C., Day J. P., Fifield L. K., Thompson R. P. H., Powell J. J. Oligomeric but not monomeric silica prevents aluminium absorption in man. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, vol. 71, issue 4, pp. 944–949. DOI: 10.1093/ajcn/71.4.944.
17. Jugdaohsingh R., Tucker K. L., Qiao N., Cupples L. A., Kiel D. P., Powell J. J. Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring cohort. *Journal of Bone and Mineral Research*, 2004, vol. 19, issue 2, pp. 297–307. DOI: 10.1359/JBMR.0301225.
18. Macdonald H. M., Hardcastle A. E., Jugdaohsingh R., Reid D. M., Fraser W. D., Powell J. J. Dietary silicon interacts with oestrogen to influence bone health: evidence from the Aberdeen Prospective Osteoporosis Screening Study. *Bone*, 2012, vol. 50, issue 3, pp. 681–687. DOI: 10.1016/j.bone.2011.11.020.
19. Mazurkevych A. Y., Karpovsky V. I., Kambur M. D., Trokoz V. O., Bublyk V. M., Golovach P. I., Gryban V. G., Derevyanko I. D., Zhurenko O. V., Zamazyi A. A. *The Animal Physiology*. A textbook. Vinnytsya, Nova Knyga, 2008, 418 p. (in Ukrainian)
20. Nielsen F. H. Update on the possible nutritional importance of silicon. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2014, vol. 28, issue 4, pp. 379–382. DOI: 10.1016/j.jtemb.2014.06.024.
21. Official Journal of the European Union L276/33, 2010. Directive 2010/63/EU of The European Parliament and of The Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. 86/609/EC. 20.10.2010.
22. Pogoryelov M. V., Bumeyster V. I., Tkach G. F., Bonchev S. D., Sikora V. Z., Sukhodub L. F., Danylchenko S. M. *Macro- and microelements (exchange, pathology and methods of determination)*. A monograph. Sumy, SumDU, 2010, 147 p. (in Ukrainian)
23. Powell J. J., McNaughton S. A., Jugdaohsingh R., Anderson S. H. C., Dear J., Khot F., Mowatt L., Gleason K. L., Sykes M., Thompson R. P. H., Bolton-Smith C., Hodson M. J. A provisional database for the silicon content of foods in the United Kingdom. *British Journal of Nutrition*, 2005, vol. 94, issue 5, pp. 804–812. DOI: 10.1079/BJN20051542.
24. Ratcliffe S. Identification of a silicon-responsive gene in the mammalian genome. PhD Thesis. University of Cambridge, 2011.
25. Reffitt D. M., Ogston N., Jugdaohsingh R., Cheung H. F. J., Evans B. A. J., Thompson R. P. H., Powell J. J., Hampson G. N. Orthosilicic acid stimulates collagen type 1 synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-like cells *in vitro*. *Bone*, 2003, vol. 32, issue 2, pp. 127–135. DOI: 10.1016/S8756-3282(02)00950-X.
26. Skalny A. V., Rudakov I. A. *Bioelements in medicine*. Moscow, ONIKS 21 vek, Mir, 2004, 272 p. (in Russian)