

**РЕЗИСТЕНТНІСТЬ ОРГАНІЗМУ КРОЛІВ ЗА ДІЇ СПОЛУК СУЛЬФУРУ**

А. З. Дичок, Я. В. Лесик, М. М. Цап  
anna1990vet@ukr.net

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

*У статті представлено результати дослідження впливу випоювання з 60 до 118 доби життя кролів різних кількостей цитрату сульфору, отриманого методом з використанням нанотехнології, та сульфату натрію на показники клітинного і гуморального імунітету в організмі. Дослідженнями встановлено вірогідні різниці між дослідними та контрольною групами за відносним вмістом фагоцитарної активності нейтрофілів у крові кролів, яким випоювали S цитрат з розрахунку 4 і 8 мг S/кг маси тіла, що свідчить про стимулювальний вплив органічної сполуки сульфору на клітинну ланку неспецифічної резистентності їхнього організму.*

*Випоювання тваринам дослідних груп цитрату сульфору, порівняно з сульфатом натрію та контрольною групою, більше вплинуло на показники неспецифічної резистентності організму гуморального типу, що відзначилося вищим ( $P < 0,05$ ) відносним вмістом лізоцимної і бактерицидної активності сироватки крові кролів III дослідної групи впродовж дослідження та II групи на 58 добу експерименту. Це може свідчити про позитивний вплив застосованої кількості цитрату сульфору на перебіг метаболічних процесів, задіяних у формуванні гуморальних механізмів захисту організму. Встановлено вищий ( $P < 0,05-0,01$ ) вміст гексоз, зв'язаних з протеїнами, та сіалових кислот у крові тварин I–III дослідних груп, яким випоювали цитрат сульфору, що більше було виражено на 58 добу експерименту. Збільшення вмісту глікопротеїнів та їх вуглеводних компонентів у крові в межах фізіологічних величин свідчить про підвищення резистентності організму за впливу окремих кількостей цитрату сульфору.*

*Випоювання органічної добавки сульфору у раціоні кролів виявляло стимулювальний вплив на функціонування імунної системи їхнього організму, що зумовило вірогідне підвищення вмісту імуноглобулінів у крові кролів II дослідної групи на 58 добу дослідження та II і III груп на 31 добу експерименту порівняно з контрольною групою. Це свідчить про активацію імунної реакції організму на дію застосованих кількостей цитрату сульфору.*

**Ключові слова:** КРОЛІ, ЦИТРАТ СУЛЬФУРУ, СУЛЬФАТ НАТРІЮ, ІМУНОФІЗІОЛОГІЧНА РЕАКТИВНІСТЬ, РЕЗИСТЕНТНІСТЬ, ІМУНОГЛОБУЛІНИ, ГЛІКОПРОТЕЇНИ

**THE RESISTANCE OF RABBIT ORGANISM FOR THE EFFECT OF SULFUR COMPLEX**

A. Z. Dychok, Ya. V. Lesyk, M. M. Tsap  
anna1990vet@ukr.net

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

*The article presents the results of the study of the influence of the production of rabbits from different periods of 60 to 118 days of various amounts of sulfur citrate, obtained by the method using nanotechnology and sodium sulfate, on the parameters of cellular and humoral immunity in the body. The research has established the probable differences between the experimental and control groups based on the relative content of phagocytic activity of neutrophils in the blood of rabbits, which were given silicate citrate at the rate of 4 and 8 S/kg body weight, indicating the stimulatory effect of the organic compound sulfur on the cellular level of non-specific resistance of their organism.*

*The expression of animals of experimental groups of sulfur citrate, in comparison with sodium sulfate and control group, more strongly influenced the indices of non-specific resistance of the organism of humoral type, which was higher ( $P < 0.05$ ) relative content of lysozyme and bactericidal activity of serum of rabbits of the III experimental group during the study and the second group on the 58<sup>th</sup> day of the experiment, which may indicate a positive effect of a separate amount of sulfur citrate on the course of metabolic processes involved in the formation of humoral mechanisms for body. The highest ( $P < 0.05-0.01$ ) content of hexoses bound to proteins and sialic acids in the blood of animals of the I–III experimental groups was obtained, which was expressed as sulfate citrate, which was more expressed on the 58<sup>th</sup> day of the experiment. An increase in the*

content of glycoproteins and their carbohydrate components in the blood within the limits of physiological values indicates an increase in the body's resistance to the effects of individual amounts of sulfur citrate.

The release of an organic sulfur additive in the rabbit diet has a stimulating effect on the functioning of the immune system of their organism, which led to a possible increase in the content of immunoglobulins in the blood of rabbits II experimental group on 58<sup>th</sup> day of the study and II and III groups in the 31<sup>st</sup> day of the experiment compared with the control group, indicating activation of the immune response of the organism to the action of the applied amounts of citrate sulfur.

**Keywords:** RABBITS, SULFUR CITRATE, SATELLITE SULFATE, IMMUNOPHYSIOLOGICAL REACTIVITY, RESISTANCE, IMMUNOGLOBULINS, GLUCOPROTEINS

## РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА КРОЛИКОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОЕДИНЕНИЙ СУЛЬFUРА

А. З. Дичок, Я. В. Лесик, М. М. Цан  
anna1990vet@ukr.net

Институт биологии животных НААН,  
ул. В. Стуса, 38, г. Львов, 79034, Украина

В статье представлены результаты исследования влияния выпойки с 60 до 118 суток жизни кроликов различных количеств цитрата сульфур, полученного методом с использованием нанотехнологии, и сульфата натрия на показатели клеточного и гуморального иммунитета в организме. Исследованиями установлено достоверное различие между опытными и контрольной группами по относительному содержанию фагоцитарной активности нейтрофилов в крови кроликов, которым выпаивали цитрат сульфур из расчета 4 и 8 мг S/кг массы тела, что свидетельствует о стимулирующем влиянии органического соединения сульфур на клеточное звено неспецифической резистентности их организма.

Выпаивание животным опытных групп цитрата серы, по сравнению с сульфатом натрия и контрольной группой, в большей степени влияло на показатели неспецифической резистентности организма гуморального типа. Отмечено высшее ( $P < 0,05$ ) относительное содержание лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови кроликов III опытной группы в течение опыта и II группы на 58 сутки эксперимента. Это свидетельствует о положительном влиянии данного количества цитрата сульфур на течение метаболических процессов, задействованных в формировании гуморальных механизмов иммунитета организма. Установлено высшее ( $P < 0,05-0,01$ ) содержание гексоз, связанных с белками, и сиаловых кислот в крови животных I-III опытных групп, которым выпаивали цитрат сульфур, что больше было выражено на 58 сутки эксперимента. Увеличение содержания гликопротеинов и их углеводных компонентов в крови в пределах физиологических параметров свидетельствует о повышении резистентности организма при воздействии отдельных количеств цитрата сульфур.

Выпаивание различных количеств органической добавки серы в рационе кроликов проявляло стимулирующее влияние на функционирование иммунной системы их организма, что обусловило достоверно высшее содержание иммуноглобулинов в крови кроликов II опытной группы на 58 сутки исследования и II и III групп на 31 сутки эксперимента по сравнению с контрольной группой. Это свидетельствует об активации иммунной реакции организма на действие примененных количеств цитрата серы.

**Ключевые слова:** КРОЛИКИ, ЦИТРАТ СЕРЫ, СУЛЬФАТ НАТРИЯ, ИМУННАЯ РЕАКТИВНОСТЬ, РЕЗИСТЕНТНОСТЬ, ИММУНОГЛОБУЛИНЫ, ГЛИКОПРОТЕИНЫ

Забезпечення інтенсивного обміну речовин високопродуктивних порід кролів на сучасному технологічному рівні передбачає збалансоване живлення та постійне надходження поживних речовин до організму [4]. За умов інтенсивного відтворення кролів підсилюється вплив несприятливих чинників утримання, годівлі, але потреба у макро- і мікроелементах зростає [9]. Тому навіть збалансований

раціон для кролів не може забезпечити фізіологічну потребу у мінеральних речовинах без їх додаткового введення [4]. Проблема нестачі макро- і мікроелементів є важливою, оскільки за їх дефіциту клінічні прояви захворювань та імунодефіциту можуть тривалий час не проявлятися, а пізніше виявлення їх призводить до незворотності патології в організмі [18]. Однак на сьогодні фізіологічні кількості окремих есен-

ціальних елементів у раціоні кролів фізіологічно не обґрунтовані, а їхній вплив на функціонування системи захисту організму повністю не вивчений. Майже відсутні експериментальні дані стосовно механізмів фізіологічного впливу на організм кролів Сульфуру. У вітчизняній літературі обмежена інформація стосовно потреби кролів у Сульфурі, хоча такі дослідження проводили на інших видах тварин, зокрема ВРХ [11], вівцях [21] та птиці [17]. Проведеними дослідженнями встановлено, що згодовування цим тваринам сульфату натрію як джерела Сульфуру сприяло процесам травлення і засвоєння поживних речовин корму в їхньому організмі, поліпшувало якість волоссяного покриву та підвищувало продуктивність.

З літературних джерел відомо, що Сульфур є важливим елементом S-вмісних амінокислот протеїнів, у тому числі тих, які входять до низки гормонів та ензимів [12, 13, 19]. Сульфур має значний вплив на засвоєння азоту в організмі та обмін багатьох мінеральних елементів. Дослідженнями встановлено вищу потребу Сульфуру для молодняку в період його інтенсивного росту, суцільних і лактуючих кролематок. Нестача Сульфуру в раціоні тварин викликає втрату маси тіла, слабкість, підвищену саливацію [27]. Сульфурвмісні амінокислоти (метіонін і цистин) відіграють важливе значення у формуванні шкірного та волоссяного покриву кроленят і суттєво впливають на час проходження процесів линяння. У кролів при вільній копрофагії у травному каналі відбувається відновлення мікроорганізмами сульфатів і сульфітів до сульфідів і включення сульфідного сульфуру в амінокислоти. Це свідчить про високу трансформацію мінерального сульфуру в їхньому організмі [4].

Необхідно зазначити, що, крім загального вмісту мінеральних речовин у раціонах кролів, важливу роль відіграє їх біодоступність [14]. Відомо, що органічні сполуки солей біогенних елементів характеризуються більшою біологічною доступністю, ніж неорганічні аналоги. Інтенсивний розвиток нанотехнологій дав змогу створити наносполуки біогенних елементів з карбоновими кислотами, у тому числі цитратів з високим ступенем чистоти [3, 22]. Окремими дослідженнями встановлено, що цитрати

металів каталізують обмін протеїнів, ліпідів та мінеральних речовин в організмі [5, 7].

Враховуючи вищенаведене, необхідно зазначити, що нормування Сульфуру у раціонах кролів в Україні повністю не розроблене, проведені дослідження мають фрагментарний характер і стосуються здебільшого вивчення впливу мінеральних солей S на окремі показники метаболізму в організмі. Дослідження оптимальної кількості цитрату сульфуру в раціоні може сприяти профілактиці імунodefіцитів та підвищенню резистентності організму кролів. Тому метою дослідження було вивчити вплив випоювання різних кількостей наносульфуру цитрату, отриманого методом нанотехнології, та сульфату натрію на показники клітинного і гуморального імунітету кролів у період з 60 до 118 доби життя.

### Матеріали та методи

Дослідження проводили на молодняку кролів породи *Hyla* у ТЗОВ «Горлиця», с. Добряни Городоцького р-ну Львівської обл., поділених на шість груп — контрольну і п'ять дослідних по 6 тварин у кожній, підібраних за принципом аналогів у віці 50 діб. Кролям контрольної групи згодовували без обмежень повнораціонний гранульований комбікорм з вільним доступом до води. Тваринам першої (I), другої (II), третьої (III) і четвертої (IV) дослідних груп згодовували корми раціону контрольної групи і впродовж доби випоювали наноаквацитрат сульфуру з розрахунку, відповідно, 2; 4; 8 і 12 мг S/кг маси тіла. Розчин наносульфуру цитрату (1,0 г/дм<sup>3</sup>, рН 1,38) отримано від ТЗОВ «Наноматеріали і нанотехнології», м. Київ. Молодняку п'ятої (V) дослідної групи згодовували корми раціону контрольної групи і з водою задавали сульфат натрію (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) в кількості 40 мг S/кг маси тіла. Дослід тривав 68 діб: підготовчий період — 10 діб, дослідний — 58 діб. У підготовчому періоді на 60 добу і в дослідному на 91 та 118 доби життя (31 та 58 доби випоювання добавок) відбирали зразки крові з крайової вушної вени кролів. У крові визначали фагоцитарну активність нейтрофілів (ФА) за методом завершеного фагоцитозу з мікробною тест-культурою, фагоцитарний індекс (ФІ), фагоцитарне число

(ФЧ), лізоцимну активність (ЛА), бактерицидну активність сироватки крові (БАСК), а також вміст імуноглобулінів (Ig) нефелометричним методом, молекул середньої маси (МСМ), циркулюючих імунних комплексів (ЦІК), гексоз, зв'язаних з протеїнами, сіалових кислот і церулоплазмину за прийнятими в біології методами, описаними у довіднику [27]. Усі маніпуляції з тваринами проводили відповідно до «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних і наукових цілей» [16].

Цифрові дані отриманих результатів досліджень опрацьовували методами варіаційної статистики з використанням *t*-критерію Стюдента. Розраховували середні арифметичні величини (*M*) та похибки середніх арифметичних величин ( $\pm m$ ). Зміни вважали вірогідними за рівня довірчої ймовірності ( $P \leq 0,05$ ). Опрацювання результатів дослідження виконували за допомогою програмного продукту *Statistica for Windows 5.0* (StatSoft, США).

### Результати й обговорення

Аналіз результатів неспецифічної резистентності організму кролів свідчить, що показники клітинних і гуморальних факторів крові були в межах фізіологічних величин зі змінами залежно від застосованої сполуки та кількості Сульфору. Зокрема, фагоцитарна активність нейтрофілів у крові кролів II дослідної групи була вищою, відповідно, на 19,7 і 9,9 % ( $P < 0,05$ ) впродовж дослідження та вірогідно підвищувалася у III групі на 15,3 % ( $P < 0,05$ ) на 31 добу експерименту порівняно з контролем (табл. 1). Застосування інших кількостей органічної та неорганічної сполук S не проявилось вірогідними змінами у крові кролів дослідних груп порівняно з контрольною. Показники фагоцитарного індексу та фагоцитарного числа, що відображають завершеність фагоцитозу, корелювали з величинами фагоцитарної активності у крові тварин контрольної та дослідних груп, хоча їхні зміни не були вірогідними.

Важливим чинником неспецифічної резистентності організму гуморального типу є лізоцим, який здатний активувати бета-лізини та систему комплементу [2]. Випоювання цитрату

сульфуру тваринам III дослідної групи з розрахунку 8 мг S/кг маси тіла відзначилося вірогідним підвищенням на 16,3 і 14,5 % ( $P < 0,05$ ) вмісту лізоцимної активності сироватки крові кролів, відповідно, на 31 і 58 доби випоювання добавок порівняно з контролем. Застосування цитрату сульфору та сульфату натрію в інших кількостях не викликало суттєвих змін активності лізоциму впродовж дослідження, що може вказувати на незначний вплив цих кількостей сульфору на цю ланку імунітету.

Більш виражений вплив застосованих добавок на організм кролів було відзначено за змінами бактерицидної активності сироватки крові. Так, у крові тварин III дослідної групи БАСК зростала на 12,9 і 15,4 % ( $P < 0,05$ ) відповідно на 31 і 58 доби дослідження, а в II групі — на 13,6 % ( $P < 0,05$ ) на завершальному періоді експерименту порівняно з контрольною групою. БАСК є важливим інтегральним показником резистентності організму, який залежить від наявності лізоциму [2, 10, 25], що підтверджується у наших дослідженнях, зокрема у тварин III дослідної групи. Це може свідчити про позитивний вплив окремої кількості цитрату сульфору на перебіг метаболічних процесів, залучених у формуванні гуморальних механізмів захисту організму кролів.

Літературні дані свідчать, що резистентність організму людини і тварин суттєво залежить від зміни вуглеводної частини глікопротеїнів і за різних патологічних процесів у їхньому організмі призводить до порушення процесів глікозилювання і, як результат, — зміни імунної відповіді [23]. Результати проведених досліджень показали, що застосування органічної сполуки сульфору сприяло вірогідному підвищенню вмісту моноцукрів вуглеводних компонентів глікопротеїнів у крові кролів дослідних груп (табл. 2). Так, вміст гексоз, зв'язаних з білками, у крові тварин III дослідної групи був вищим, відповідно, на 14,4 % ( $P < 0,05$ ) на 31-у добу дослідження порівняно з контролем. Більш виражений вплив застосування добавки було відзначено впродовж її тривалішого застосування. Зокрема, вміст гексоз, зв'язаних з білками, у крові кролів I, II і III дослідних груп, яким випоювали цитрат сульфору, підвищувався, відповідно, на 20,9; 13,8 % ( $P < 0,05$ )



Таблиця 1

**Показники неспецифічної резистентності організму кролів за випоювання сполук сульфуру ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**  
**Indicators of nonspecific resistance in rabbits for the watering sulfur compounds ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**

Показник / Indicator	Група / Group	Періоди досліджень / Research periods		
		Підготовчий, 60 доба життя / Preparatory, 60 <sup>th</sup> day of life	Дослідний (вік/період згодовування добавок, доба) / Research (age/period of feeding supplements, day)	
			91/31	118/58
Фагоцитарна активність нейтрофілів, % Phagocytic activity of neutrophils, %	К	30,75 $\pm$ 0,47	34,25 $\pm$ 1,65	40,01 $\pm$ 1,08
	Д-I	29,5 $\pm$ 0,64	39,01 $\pm$ 1,47	43,00 $\pm$ 0,91
	Д-II	29,25 $\pm$ 1,10	41,0 $\pm$ 1,29*	44,00 $\pm$ 0,70*
	Д-III	30,01 $\pm$ 0,40	39,5 $\pm$ 0,64 *	43,51 $\pm$ 1,55
	Д-IV	29,01 $\pm$ 0,91	35,75 $\pm$ 1,49	41,75 $\pm$ 1,75
	Д-V	29,75 $\pm$ 0,85	37,75 $\pm$ 0,85	40,75 $\pm$ 1,79
Фагоцитарний індекс, од. Phagocytic index, un.	К	10,42 $\pm$ 0,17	9,33 $\pm$ 0,32	9,85 $\pm$ 0,20
	Д-I	10,75 $\pm$ 0,60	8,58 $\pm$ 0,37	8,83 $\pm$ 0,29
	Д-II	10,41 $\pm$ 0,58	8,92 $\pm$ 0,28	8,60 $\pm$ 0,18
	Д-III	10,54 $\pm$ 0,56	8,89 $\pm$ 0,19	8,63 $\pm$ 0,30
	Д-IV	10,75 $\pm$ 0,45	8,90 $\pm$ 0,31	8,66 $\pm$ 0,23
	Д-V	10,36 $\pm$ 0,59	8,94 $\pm$ 0,34	8,87 $\pm$ 0,23
Фагоцитарне число, од. Phagocytic number, un.	К	3,20 $\pm$ 0,10	3,37 $\pm$ 0,16	3,52 $\pm$ 0,15
	Д-I	3,10 $\pm$ 0,14	3,40 $\pm$ 0,10	3,72 $\pm$ 0,18
	Д-II	3,15 $\pm$ 0,13	3,57 $\pm$ 0,14	3,85 $\pm$ 0,10
	Д-III	3,10 $\pm$ 0,15	3,52 $\pm$ 0,17	3,80 $\pm$ 0,15
	Д-IV	2,95 $\pm$ 0,064	3,45 $\pm$ 0,17	3,67 $\pm$ 0,13
	Д-V	3,07 $\pm$ 0,14	3,40 $\pm$ 0,10	3,62 $\pm$ 0,11
Лізоцимна активність сироватки крові, % Lisocymic activity of blood serum, %	К	28,2 $\pm$ 0,85	36,7 $\pm$ 1,70	37,7 $\pm$ 1,31
	Д-I	30,5 $\pm$ 0,64	37,2 $\pm$ 1,10	41,0 $\pm$ 0,91
	Д-II	30,0 $\pm$ 0,40	40,7 $\pm$ 1,93	41,7 $\pm$ 1,31
	Д-III	29,7 $\pm$ 1,10	42,7 $\pm$ 1,60*	43,2 $\pm$ 1,60*
	Д-IV	30,0 $\pm$ 0,91	37,5 $\pm$ 1,70	38,2 $\pm$ 1,37
	Д-V	29,2 $\pm$ 1,10	36,7 $\pm$ 1,65	37,0 $\pm$ 2,04
Бактерицидна активність сироватки крові, % bactericidal activity of blood serum, %	К	29,6 $\pm$ 0,65	39,5 $\pm$ 1,23	44,7 $\pm$ 1,79
	Д-I	31,2 $\pm$ 0,91	39,7 $\pm$ 0,85	48,2 $\pm$ 1,80
	Д-II	30,3 $\pm$ 0,86	41,0 $\pm$ 1,90	50,8 $\pm$ 1,45*
	Д-III	28,4 $\pm$ 0,60	44,6 $\pm$ 1,23*	51,6 $\pm$ 1,50*
	Д-IV	29,1 $\pm$ 0,38	40,1 $\pm$ 0,70	46,0 $\pm$ 1,51
	Д-V	27,5 $\pm$ 1,42	40,6 $\pm$ 1,55	44,1 $\pm$ 1,68

Примітка: у цій та наступних таблицях статистично вірогідні різниці враховували порівняно з контрольною групою: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $P < 0,01$

Note: in this and subsequent tables, statistically significant differences were taken into account compared with the control group: \* —  $P < 0.05$ ; \*\* —  $P < 0.01$

і 27,6 % ( $P < 0,01$ ) на 58 добу експерименту порівняно з контрольною групою. Це може свідчити про специфічну здатність цієї органічної сполуки сульфуру, залежно від кількості, впливати на вміст глікопротеїнів організму та підвищувати вміст моноцукрів їхніх вуглеводних компонентів у крові кролів.

Глікопротеїни є важливими складовими частинами клітинних мембран. Вуглеводна частина глікопротеїнів може становити від 1 % до понад 80 % його загального вмісту. Розміри

вуглеводного ланцюга містять більше 18 моноцукрів. Олігосахаридні ланцюги тваринного походження мають обмежений набір моноцукрів. Найчастіше у вуглеводній частині цукрів є сіалова кислота, яка займає прикінцеве положення на бічних олігосахаридних ланцюгах макромолекул, завдяки чому зв'язує антигени [24]. Випоювання органічної сполуки сульфуру тваринам дослідних груп суттєво вплинуло на рівень сіалових кислот у їхній крові. Так, вміст сіалових кислот у крові кролів I, II і III дослідних

Таблиця 2

**Вміст глікопротеїнів та їх вуглеводних компонентів у крові кролів за випоювання сполук сульфуру ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**  
**The content of glycoproteins and their carbohydrate components in rabbits for the release of sulfur compounds ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**

Показник / Indicator	Група Group	Періоди досліджень / Research periods		
		Підготовчий, 60 доба життя Preparatory, 60 <sup>th</sup> day of life	Дослідний (вік/період згодовування добавок, доба) Research (age/period of feeding supplements, day)	
			91/31	118/58
Гексози, зв'язані з протеїнами, г/л Hexoses bound with protein, g/l	К	0,83±0,11	1,25±0,06	1,81±0,08
	Д-I	1,12±0,10	1,33±0,04	2,19 ±0,06*
	Д-II	1,28±0,29	1,27±0,04	2,16±0,04*
	Д-III	1,18±0,09	1,43±0,01*	2,31±0,08**
	Д-IV	1,38±0,30	1,31±0,04	1,89±0,02
	Д-V	0,98±0,14	1,29±0,04	1,84±0,04
Сіалові кислоти, ум. од. Sialic acid, con. un.	К	166,0±2,79	131,0±0,81	135,5±1,84
	Д-I	163,2±2,01	141,5±2,84*	141,5±2,39
	Д-II	160,7±2,01	136,7±0,85*	145,7±2,13*
	Д-III	165,7±1,43	138,0±1,08*	148,5±1,32*
	Д-IV	164,7±2,80	130,7±0,85	142,2±1,93*
	Д-V	168,2±2,46	132,5±0,95	136,2±2,17
Церулоплазмін, ум. од. Ceruleplasmin, con. un.	К	0,277±0,12	0,307±0,06	0,355±0,08
	Д-I	0,274±0,022	0,333±0,10	0,442±0,14
	Д-II	0,272±0,031	0,329±0,078	0,436±0,08
	Д-III	0,320±0,021	0,313±0,11	0,432±0,06*
	Д-IV	0,275±0,025	0,351±0,08	0,377±0,01
	Д-V	0,283±0,095	0,392±0,04	0,405±0,02

груп був вищим, відповідно, на 8,0; 4,3 і 5,3 % ( $P<0,05$ ) на першому етапі дослідження та у II; III і IV групах — відповідно, на 7,5; 9,5 і 4,9 % ( $P<0,05$ ) на завершальному періоді експерименту порівняно з контролем. З літературних джерел відомо, що між вмістом сіалопротеїнів у крові та реактивністю організму існує пряма залежність. Після відщеплення від білково-вуглеводних комплексів тканин вільні сіалові кислоти інактивують бактеріальні та вірусні патогенні агенти. Тому збільшення їх вмісту в крові у межах фізіологічних величин свідчить про підвищення резистентності організму за впливу окремих кількостей цитрату сульфуру [20]. Отримані результати дослідження свідчать про підвищення резистентності організму за впливу окремих кількостей цитрату сульфуру.

Церулоплазмін як протеїн плазми крові також впливає на резистентність організму, оскільки його вуглеводна частина містить на кінцях ланцюгів сіалову кислоту [1]. Вміст церулоплазміну у крові кролів дослідних груп впродовж дослідження збільшувався порівняно з контролем, однак різниці величин не були вірогідними за винятком III групи, де рівень

цього показника був вищим на 21,6 % ( $P<0,05$ ) на 58 добу дослідження. Відомо, що основна біохімічна роль церулоплазміну визначається його участю в окисно-відновних реакціях. Діючи як фероксидаза, церулоплазмін виконує найважливішу роль у регуляції іонного стану Феруму — окисненні  $Fe^{2+}$  [8].

Отримані результати дослідження свідчать про посилення резистентності організму кролів дослідних груп за впливу цитрату сульфуру, оскільки вуглеводна частина глікопротеїнів бере участь у регуляції його імунобіологічних властивостей.

Результати дослідження імунних комплексів (табл. 3) вказують на вірогідне збільшення рівня імунних глобулінів у крові кролів II дослідної групи на 60,8 % на 58 добу експерименту за тенденції до вищого його вмісту у тварин I–III дослідних груп впродовж дослідження порівняно з контролем. Вищий вміст імунних глобулінів у крові кролів у межах фізіологічних параметрів свідчить про вищу імунобіологічну реактивність організму кролів на дію цитрату сульфуру порівняно з неорганічною його сполукою та контролем.

Таблиця 3

**Вміст імунних комплексів у крові кролів за випоювання сполук сульфуру ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**  
**The content of immune complexes in the blood of rabbits for the release of sulfur compounds ( $M \pm m$ ,  $n=4$ )**

Показник Indicator	Група Group	Періоди досліджень / Research periods		
		Підготовчий, 60 доба життя Preparatory, 60 <sup>th</sup> day of life	Дослідний (вік/період згодовування добавок, доба) Research (age/period of feeding supplements, day)	
			91/31	118/58
Імунні глобуліни, г/л Immune globulins, g/l	К	6,32±0,31	9,86±1,04	11,25±1,47
	Д-I	6,13±0,87	10,07±0,66	13,2±1,18
	Д-II	6,89±0,12	10,18±1,76	18,1±1,84*
	Д-III	6,41±0,61	10,38±0,30	15,89±2,00
	Д-IV	6,13±0,23	7,23±0,92	11,80±0,47
	Д-V	6,15±0,44	8,03±0,53	11,65±1,06
Циркулюючі імунні комплекси, ммоль/л Circulating immune complexes, mmol/l	К	55,2±2,49	54,0±3,76	57,0±2,04
	Д-I	53,7±2,52	56,2±2,95	56,5±2,66
	Д-II	52,5±2,95	64,75±1,84*	60,75±1,88
	Д-III	58,0±2,12	64,0±1,22*	60,0±1,82
	Д-IV	54,2±3,01	60,5±3,22	62,7±1,03
	Д-V	51,2±1,65	61,0±2,16	58,2±1,31
Молекули середньої маси, ум. од. Average molecular weight, con. un.	К	0,254±0,002	0,357±0,003	0,321±0,003
	Д-I	0,255±0,003	0,356±0,002	0,327±0,003
	Д-II	0,255±0,002	0,355±0,002	0,334±0,007
	Д-III	0,259±0,003	0,362±0,002	0,329±0,004
	Д-IV	0,252±0,002	0,360±0,003	0,323±0,004
	Д-V	0,257±0,002	0,354±0,002	0,328±0,002

Вміст циркулюючих імунних комплексів зростає у всіх дослідних групах впродовж дослідження з вірогідними різницями у крові тварин II і III дослідних, відповідно, на 19,9 і 18,5 % ( $P < 0,05$ ) на 31 добу експерименту порівняно з контрольною групою. Одним з основних показників неспецифічного імунологічного захисту організму є циркулюючі імунні комплекси, здатні впливати на функцію Т- і В-лімфоцитів, макрофагів і таким чином брати участь в регуляції імунної відповіді. Літературні дані вказують, що поява імунних комплексів у межах фізіологічних величин не є свідченням участі комплексу в патогенезі захворювання, це показник активації імунної реакції організму [15], що підтверджується нашими результатами дослідження, особливо за випоювання кроликам органічної сполуки сульфуру.

У крові кролів дослідних груп рівень молекул середньої маси суттєво не змінювався порівняно з контролем як на 31, так і 58 доби випоювання сполук сульфуру. З літературних джерел відомо, що в організмі тварин молекули середньої маси присутні у невеликих кількостях, цей показник використовується

як маркер інтоксикації різного генезу для визначення ступеня інтоксикації [26]. Отримані результати концентрації молекул середньої маси у крові тварин в межах фізіологічних параметрів, яким випоювали сполуки сульфуру, можна пояснити їхнім нетоксичним впливом на їхній організм.

### Висновки

1. Випоювання кролям після відлучення цитрату сульфуру позначилося вірогідним підвищенням ФА, ЛА та БАСК на 31 і 58-му доби дослідження порівняно з контролем, що було більше виражено у крові тварин II і III дослідних груп, яким застосовували добавку в кількостях 4 і 8 мг S/kg маси тіла.

2. Встановлено вірогідно вищу концентрацію глікопротеїнів і їх вуглеводних компонентів, що більше було виражено за вмістом гексоз, зв'язаних з протеїнами, та сіалових кислот у крові тварин, які споживали органічну сполуку сульфуру, що вказує на активацію процесів, які впливають на формування імунофізіологічної реактивності організму.

3. Відзначено вищий ( $P < 0,05$ ) вміст імунних глобулінів у крові кролів II дослідної групи на 58 добу та ЦІК — у II і III групах на 31 добу дослідження, що свідчить про стимулювальний вплив цитрату сульфуру на резистентність організму залежно від періоду застосування та кількості добавки.

#### Перспективи подальших досліджень.

Актуальним є вивчення впливу випоювання цитрату сульфуру у раціоні кролематок на резистентність їхнього організму в період лактації.

1. Ashwell C., Harpord J. Carbohydrate-Specific Receptors of the Liver. *Annual Review of Biochemistry*, 1982, vol. 51, pp. 531–554. DOI: 0.1146/annurev.bi.51.070182.002531.

2. Azarenjuk L. S., Generalov I. Y. *New functions of antibodies: Review*. Teron. archiv, 1990, no. 5, pp. 149–153. (in Ukrainian).

3. Borysevykh V. B., Kaplunenko V. G., Kosinov M. V. *Nanomaterials in biology. Fundamentals of nanoveterinary*. A textbook for veterinary students and for veterinary and medical specialists. Kyiv, Avicenna Publ., 2010, p. 416. (in Ukrainian)

4. Carlos de Blas, Wiseman J. *Nutrition of the Rabbit*. 2<sup>nd</sup> Ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2010, p. 325.

5. Chekman I. S., Ulberg Z. R., Malanchuk V. O. *Nanoscience, nanobiology, nanopharmaceutics*. Kyiv, Poligraphplus, 2012, p. 328. (in Ukrainian)

6. Eliseev A. A., Lukashin A. V. *Functional Nanomaterials*. Moscow, Fizmatlit, 2010, p. 456. (in Russian)

7. Fortina P., Kricka L. J., Surrey S., Grodzinski P. Nanobiotechnology the promise and reality of new approaches to molecular recognition. *Trends in Biotechnology*, 2005, vol. 23, issue 4, pp. 168–173. DOI: 10.1016/j.tibtech.2005.02.007. (in Ukrainian)

8. Kazimirko V. Antioxidant system and its functioning in the human body. *Health of Ukraine*, 2004, no. 98, pp. 155–175. (in Ukrainian)

9. Klitsenko H. T., Kulyk M. F., Kosenko M. V., Lisovenko V. T. *Mineral nutrition of animals*. Kyiv, Svit, 2001, 575 p. (in Ukrainian)

10. Knopp D., Tang D., Niessner R. A review: Bioanalytical applications of biomolecule-functionalized nanometer-sized doped silica particles. *Analytica Chimica Acta*, 2009, vol. 647, issue 1, pp. 14–30. DOI: 10.1016/j.aca.2009.05.037.

11. Lagoduk P. Z., Gren R. J. Growth, development and protein metabolism in the body of repair young animals with sodium sulfate added to feed. *Agricultural Biology*, 1988, no. 4, pp. 124–130. (in Ukrainian)

12. Logan H. M., Cathala N., Grignon C., Davidian J. C. Cloning of a cDNA encoded by a member of the *Arabidopsis thaliana* ATP sulfurylase multigene family. Expres-

sion studies in yeast. *J. Biol. Chem.*, 1996, vol. 271, no. 21, pp. 12227–12233. DOI: 10.1074/jbc.271.21.12227.

13. Mueller J. W., Shafqat N. Adenosine-5'-phosphosulfate — a multifaceted modulator of bifunctional 3'-phospho-adenosine-5'-phosphosulfate synthases and related enzymes. *FEBS J.*, vol. 280, issue 13, pp. 3050–3057. DOI: 10.1111/febs.12252.

14. Murthy S. K. Nanoparticles in modern medicine: state of the art and future challenges. *Int. J. Nanomed.*, 2007, vol. 2, issue 2, pp. 129–141.

15. Nagoyev B. S. *Reference book on immunology*. Nolchik, Elbrus, 2002, p. 192.

16. Official Journal of the European Union L276/33. 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.

17. Ratych I. B. *Biological role of sulfur and metabolism of sulfate in poultry*. Lviv, 1992, p. 170.

18. Skalny A. V., Rudakov I. A. *Bioelements in medicine*. Publishing House, World, 2004, p. 272. (in Russian)

19. Schwartz N. B., Lyle S., Ozeran J. D., Li H., Deyrup A., Ng K., Westley J. Sulfate activation and transport in mammals: system components and mechanisms. *Chem. Biol. Interact.*, 1998, vol. 109, issue 1–3, pp. 143–151. DOI: 10.1016/S0009-2797(97)00129-4.

20. Shimoike T., Inoguchi T., Umeda F., Nawata H., Kawano K., Ochi H. The meaning of serum levels of advanced glycosylation end products in diabetic nephropathy *Metabolism*, 2000, vol. 49, issue 8, pp. 1030–1035. DOI: 10.1053/meta.2000.7738.

21. Sedilo G. M., Makar I. A., Gavrylyak V. V., Gumenyuk V. V. A monograph. Lviv, PAIS, 2009, p. 148. (in Ukrainian)

22. Trachtenberg I. M., Chekman I. S., Linnik V. O., Kaplunenko V. G. Interaction micronutrients, biological, medical and social aspects. *Bulletin of the National Academy of Sciences*, 2013, vol. 6, pp. 11–20. (in Ukrainian)

23. Tsuboi S., Fukuda M. *Mammary gland. biol. neoplasia*, 2001, vol. 6, no. 3, pp. 355–364.

24. Varki A., Freeze H. *Subcellular biochemistry*. Membrane Biogenesis, 1994, pp. 71–100.

25. Voronin E. S., Petrov A. M. *Immunology*. Koloss-press, 2002, p. 230.

26. Volchegorsky I. A., Tyshevskaya N. V., Kuznetsov D. A. Effect of “medium molecules” isolated from blood plasma of intact and burned animals, on cellular composition of cultures of erythroblastic islets of bone marrow. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2002, no. 2, pp. 134–147.

27. Vlizlo V. V. (ed.), Fedoruk R. S., Ratych I. B. *Laboratory methods of investigation in biology, stock-breeding and veterinary medicine*. A reference book. Lviv, Spolom, 2012, 764 p. (in Ukrainian)

28. Yanovych V. H., Solohub L. I. *Biological bases of transformation of nutrients in ruminants*. 2002, 384 p. (in Ukrainian)