

**Взаимосвязь уровня концентраций химических элементов в шерсти  
с количественными и качественными характеристиками семени у быков-производителей голштинской породы**

**Алексей Николаевич Фролов, Олег Александрович Завьялов, Анатолий Васильевич Харламов**

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Россия  
e-mail: forleh@mail.ru

**Аннотация.** Проведены исследования по оценке влияния концентраций 25 химических элементов в шерсти на количественные и качественные характеристики спермы в условиях АО «Невское» по племенной работе Ленинградской области на быках-производителях голштинской породы ( $n = 55$ ), возраст 3–4 года. Образцы шерсти отбирались с верхней части холки и определялись методом АЭС-ИСП. Выявлена взаимосвязь количественных и качественных характеристик семени с двумя химическими элементами: кальцием и алюминием. По мере увеличения концентрации кальция в шерсти с  $604 \pm 194,8$  до  $3690 \pm 460,3$  мг/кг увеличивается объем нативной спермы на 55,8 % ( $P \leq 0,01$ ), активность сперматозоидов – на 0,14 балла ( $P \leq 0,05$ ), выход разбавленного семени – на 95,1 % ( $P \leq 0,01$ ), количество замороженных доз – на 82,6 % ( $P \leq 0,05$ ). Увеличение концентрации алюминия в шерсти с 1,89 до 8,46 мг/кг сопровождается снижением концентрации сперматозоидов на 20,4 % ( $P \leq 0,001$ ), активности – на 0,21 балла ( $P \leq 0,05$ ), количество замороженных доз – на 55,4 % ( $P \leq 0,01$ ).

**Ключевые слова:** бык-производитель; качество семени; репродуктивные качества; элементный статус; кальций; алюминий.

**Для цитирования:** Фролов А. Н., Завьялов О. А., Харламов А. В. Взаимосвязь уровня концентраций химических элементов в шерсти с количественными и качественными характеристиками семени у быков-производителей голштинской породы // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 91–95. <http://10.28983/asj.y2022i11pp91-95>.

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

Original article

**Correlation between the concentration of chemical elements in wool and the quantitative  
and qualitative characteristics of the semen in Holstein bulls**

**Alexei N. Frolov, Oleg A. Zavyalov, Anatoly V. Kharlamov**

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia  
e-mail: forleh@mail.ru

**Abstract.** The effect of concentrations of 25 chemical elements in wool on the quantitative and qualitative characteristics of sperm was studied in Holstein sires ( $n = 55$ ), age 3–4 years, in the conditions of JSC "Nevskoye" by breeding work in Leningrad region. Wool samples were collected from the top of the withers and determined by the AES-ISP method. The interrelation of quantitative and qualitative characteristics of the sperm was revealed with two chemical elements: calcium and aluminum. Thus, as the calcium concentration in wool increases from  $604 \pm 194.8$  mg/kg to  $3690 \pm 460.3$  mg/kg, the volume of native sperm increases by 55.8 % ( $P \leq 0.01$ ), spermatozoa activity increases by 0.14 points ( $P \leq 0.05$ ), diluted semen yield – by 95.1 % ( $P \leq 0.01$ ), number of frozen doses – by 82.6 % ( $P \leq 0.05$ ). An increase in aluminum concentration from 1.89 mg/kg to 8.46 mg/kg is accompanied by a decrease in the concentration of spermatozoa by 20.4 % ( $P \leq 0.001$ ), activity – by 0.21 points ( $P \leq 0.05$ ), number of frozen doses – by 55.4 % ( $P \leq 0.01$ ).

**Keywords:** sire bull; semen quality; reproductive qualities; elemental status; calcium; aluminum.

**For citation:** Frolov A. N., Zavyalov O. A., Kharlamov A. V. Correlation between the concentration of chemical elements in wool and the quantitative and qualitative characteristics of the semen in Holstein bulls. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(11):91–95. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2022i11pp91-95>.

**Введение.** На современном этапе развития животноводства наряду с разработкой новых репродуктивных технологий ведется активный поиск информативных методов оценки естественной фертильности животных. Нарушения репродуктивного здоровья вызывают не только эндогенные причины (болезни, инфекции, наследственные заболевания), экологическая обстановка [1] и другие. Большое значение отводится дисбалансу минеральных элементов за счет прямого или косвенного воздействия на воспроизводительные качества [2–4]. Более того, даже незначительные вариации от оптимальных значений в уровнях макро- и микроэлементов могут оказывать решающее влияние на жизненно важные биологические процессы, включая репродуктивное здоровье и воспроизводство [5, 6].

Исследования на крупном рогатом скоте показали, что основные элементы (Zn, Cu, Ca, Mg, Fe, Se, Mo, I и Co) в сперме коррелируют с параметрами ее качества, включая плотность, подвижность и жизнеспособность сперматозоидов, развитие яичек, созревание сперматозоидов и синтез тестостерона. Они способствуют фертильности, меньшему количеству морфологических изменений и регуляции определенных процессов, связанных с проникновением в ооциты и оплодотворением [7–11].

Кроме использования семенной жидкости для оценки количественных и качественных характеристик спермы, перспективным не инвазивным биосубстратом может выступить волос/шерсть. Это объясняется тем, что минеральный состав шерсти как индикаторный показатель указывает на концентрацию и активность химических элементов в других органах и тканях организма и отражает элементный статус животного.





В связи с этим целью настоящего исследования являлось определение взаимосвязи концентраций макро- и микроэлементов в шерсти быков-производителей с количественными и качественными характеристиками спермы.

**Методика исследований.** Научно-хозяйственный эксперимент проводили в условиях АО «Невское» по племенной работе в Ленинградской области на быках-производителях голштинской породы ( $n = 55$ ), возраст 3–4 года. Осуществляли отбор образцов шерсти с верхней части холки – 0,4 г. Элементный состав шерсти определяли по 25 химическим элементам (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Hg, Sr, V, Zn) методами АЭС-ИСП и МС-ИСП.

На основании полученных данных по концентрации отдельных химических элементов в шерсти быков-производителей разделяли на три группы: I – до 25-го перцентиля, II – в границах 25–75-го перцентиля, III – выше 75-го перцентиля (Skalnaya MG et al., 2003). Оцениваемые показатели в сперме: объем эякулята (мл) за 2 смежные садки, концентрация сперматозоидов (млрд/мл), активность сперматозоидов (балл), количество замороженных доз (шт.) в среднем за месяц, предшествующий отбору шерсти, количество брака.

Условия кормления и содержания для всех опытных животных были идентичными. В потребляемом суточном рационе в двухмесячный период, предшествующий отбору образцов, содержалось Ca – 77,3–97,5 г, P – 54,8–68,3 г, Fe – 740–930 мг, Cu – 128–169 мг, Zn – 440–550 мг, Mn – 601–769 мг, Co – 8,6–11,9 мг, I – 8,1–12,3 мг.

Для обработки данных использовали пакет прикладных программ Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США).

**Результаты исследований.** Анализ уровня концентраций ряда химических элементов выявил тесную связь с количественными и качественными характеристиками спермы (табл. 1).

В связи с тем, что достоверная корреляция была установлена только по кальцию и алюминию именно эти элементы были выбраны для дальнейшего анализа.

**Кальций (Ca).** Известно, что Ca необходим для подвижности сперматозоидов и их гиперактивации, емкости сперматозоидов и акросомной реакции, а также для хемотаксиса сперматозоидов. В связи с этим полученные нами данные, указывающие на то, что по мере увеличения концентрации кальция в шерсти с  $604 \pm 194,8$  мг/кг в I группе до  $3690 \pm 460,3$  мг/кг в III группе (рис. 1) увеличивается объем нативной спермы на 55,8 % ( $P \leq 0,01$ ), активность сперматозоидов – на 0,14 балла ( $P \leq 0,05$ ), выход разбавленного семени – на 95,1 % ( $P \leq 0,01$ ), количество замороженных доз – на 82,6 % ( $P \leq 0,05$ ), вполне объяснимы и согласуются с ранее полученными результатами на человеке [12, 13] (табл. 2).

Элементный состав шерсти сравниваемых групп различался по концентрациям ряда химических элементов (табл. 3).

Таблица 1

**Корреляционный анализ количественных и качественных характеристик спермы с химическими элементами в шерсти**

Элемент	Объем нативной спермы, мл	Активность сперматозоидов в свежей сперме, балл	Концентрация сперматозоидов в свежей сперме, млрд	Объем разбавленного семени, мл	Количество замороженных доз, шт.
Макроэлементы					
Ca	0,69*	0,64*	0,23	0,67*	0,74*
K	0,22	0,24	0,13	0,13	0,24
Mg	0,40	0,35	0,05	0,32	0,37
Na	0,26	0,52	0,10	0,20	0,27
P	-0,18	0,58	0,32	-0,01	0,35
Эссенциальные элементы					
Co	0,13	-0,04	-0,32	-0,05	0,38
Cr	0,23	0,19	-0,18	0,10	0,31
Cu	-0,10	0,38	0,24	0,30	0,32
Fe	0,32	0,16	-0,24	0,20	0,15
I	0,59	0,13	-0,15	0,44	0,05
Se	0,16	0,32	0,13	0,18	0,06
Mn	0,56	0,21	-0,16	0,43	-0,06
Zn	-0,12	0,04	0,19	-0,21	0,15
Условно-эссенциальные элементы					
B	0,09	0,46	0,32	0,12	-0,21
Li	0,27	-0,06	-0,11	0,16	0,00
Ni	0,38	0,22	-0,23	0,22	0,21
V	0,56	0,09	-0,39	0,39	0,16
Si	0,33	-0,44	-0,33	0,12	0,44
As	0,31	0,16	-0,13	0,18	0,07
Токсичные элементы					
Al	0,23	-0,67*	-0,62*	-0,71*	-0,75*
Sr	0,29	0,30	0,12	0,23	-0,24
Cd	-0,11	0,03	-0,39	-0,29	-0,41
Hg	0,27	-0,23	-0,42	0,15	0,41
Pb	0,09	0,08	-0,11	0,01	-0,27
Sn	0,10	0,05	0,29	0,14	-0,10

\* Корреляция значима на уровне  $P \leq 0,05$ .

Повышение концентрации Ca в шерсти приводит к увеличению концентраций Mg на 391,4 % ( $P<0,01$ ) и 625,6 % ( $P<0,001$ ), Se – на 37,6 и 56,3 % ( $P<0,01$ ), Mn – на 71,0 и 167,8 % ( $P<0,05$ ), B – на 448,4 % ( $P<0,01$ ) и 498,5 % ( $P<0,001$ ) при снижении концентраций Sr – на 48,0 % ( $P<0,05$ ) и 67,7 % ( $P<0,05$ ) у животных II и III групп по сравнению с I соответственно.

**Алюминий (Al).** Среди 6 токсичных элементов (Al, Cd, Pb, Sn, Hg, Sr) самые высокие концентрации в шерсти принадлежат алюминию. Известно, что высокое поступление в организм алюминия увеличивает его концентрацию в органах и тканях (включая ткани яичек людей и животных). Доказано, что Al может вызывать мужскую репродуктивную токсичность посредством различных механизмов, таких как индукция окислительного стресса, вмешательство в сперматогенез и стероидогенез, нарушение передачи клеточных сигналов, нарушение гемато-яичкового барьера, снижение активности ацетилхолинэстеразы в яичках, влияние на эндокринную систему и др. [14–15].

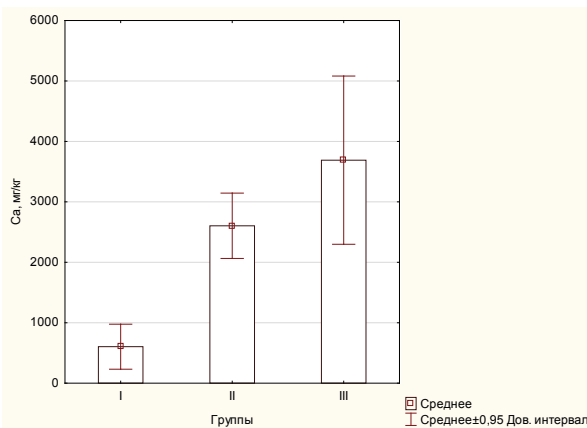


Рис. 1. Концентрация Ca в шерсти быков-производителей голштинской породы в зависимости от выбранного процентильного интервала, мг/кг

Таблица 2

Количественные и качественные характеристики спермы быков-производителей голштинской породы в зависимости от уровня кальция в шерсти

Показатель	Группа (концентрация кальция, мг/кг)		
	I ( $\leq 1088$ )	II (1089–3353)	III ( $\geq 3354$ )
Нативная сперма, мл	4,3±0,17	4,5±1,14	6,7±1,78**
Активность, балл	7,83±0,072	7,90±0,150	7,97±0,057*
Концентрация, млрд	0,96±0,107	1,10±0,152	0,95±0,156
Кол-во разбавленного семени, мл	21,51±7,85	31,73±10,90*	41,97±9,64**
Кол-во замороженных доз, шт.	833±68,8	1039±72,6*	1521±117,6*

\*  $P<0,05$ ; \*\*  $P<0,01$ ; \*\*\*  $P<0,001$  по отношению к I группе (здесь и далее).

Таблица 3

Содержание химических элементов в семенной плазме быков-производителей голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Ca, мг/кг ( $M\pm STD$ )

Элемент	Группа (процентильный интервал)		
	I ( $<25$ )	II (25–75)	III ( $>75$ )
Макроэлементы			
K	2692±1391	4333±1796	5198±1206
Na	132±54	648±269	957±111
Mg	1787±262	3607±612**	3894±694***
P	206±10	254±88	239±40
Эссенциальные элементы			
Co	0,56±0,12	0,59±0,20	1,48±1,37
Cr	0,33±0,02	0,33±0,15	0,33±0,13
Cu	13,0±1,8	11,6±2,3	12,2±2,2
Fe	552,0±108,9	493,0±52,6	590,7±229,1
I	0,92±0,47	1,86±1,07	2,98±1,21
Se	0,72±0,03	0,99±0,24	1,13±0,10**
Mn	5,50±0,76	9,41±5,49	14,74±8,41*
Zn	156,67±28,38	133,89±15,02	131,33±15,82
Условно-эссенциальные элементы			
B	1,23±1,07	6,76±2,99**	7,38±1,08***
Li	0,75±0,07	0,81±0,23	0,86±0,13
Ni	0,32±0,08	0,33±0,18	0,44±0,17
V	0,05±0,01	0,06±0,03	0,16±0,15
Si	2,75±0,55	2,74±0,82	2,95±0,34
As	0,029±0,009	0,034±0,014	0,033±0,013
Токсичные элементы			
Al	6,96±2,53	4,29±0,96	3,38±1,67
Sr	2,69±1,90	1,40±1,22*	0,87±0,23*
Cd	0,004±0,003	0,006±0,004	0,010±0,007
Hg	0,085±0,024	0,085±0,033	0,088±0,007
Pb	0,131±0,026	0,168±0,087	0,193±0,072
Sn	0,034±0,008	0,040±0,020	0,028±0,008





Сравнительный анализ данных по концентрации Al в разрезе сформированных групп показал, что в шерсти быков-производителей III группы содержалось  $8,46 \pm 4,09$  мг/кг, что соответственно в 4,5 раза ( $P \leq 0,05$ ) и в 2,3 раза ( $P \leq 0,05$ ) выше по сравнению с I и II группами (рис. 2). При этом фактический диапазон варьирования концентраций Al в шерсти быков-производителей I группы составлял от 1,66 до 2,20 мг/г, II группы – от 2,33 до 5,38 мг/г, III группы – от 5,39 до 13,11 мг/г. Нами обнаружена связь этого элемента с количественными и качественными характеристиками спермы (табл. 4).

У быков-производителей I группы с концентрацией Al в шерсти  $1,89 \pm 0,29$  мг/кг по сравнению со II и III группами была выше активность сперматозоидов на 0,03 и 0,17 балла ( $P \leq 0,05$ ), концентрация – на 12,6 и 20,8 % ( $P \leq 0,05$ ), выход разбавленного семени – на 16,2 % ( $P \leq 0,05$ ) и 27,8 % ( $P \leq 0,01$ ), количество замороженных доз – на 21,1 % ( $P \leq 0,05$ ) и 96,5 % ( $P \leq 0,01$ ) соответственно.

Элементный состав шерсти сравниваемых групп различался по содержанию ряда химических элементов (табл. 5).

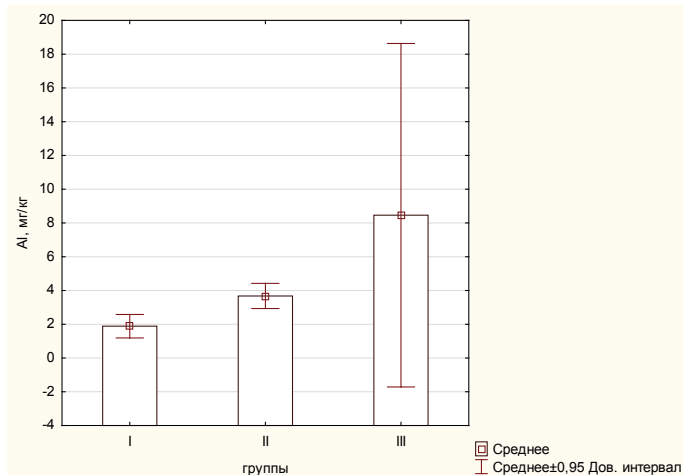


Рис. 2. Концентрация Al в шерсти быков-производителей голштинской породы в зависимости от выбранного процентильного интервала, мг/кг

Количественные и качественные характеристики спермы быков-производителей голштинской породы в зависимости от уровня алюминия в шерсти

Таблица 4

Показатель	Группа (концентрация алюминия, мг/кг)		
	I ( $\leq 2,32$ )	II (2,33–5,38)	III ( $\geq 5,39$ )
Нативная сперма, мл	$4,3 \pm 0,84$	$4,9 \pm 1,99$	$5,5 \pm 1,18$
Активность, балл	$7,93 \pm 0,074$	$7,90 \pm 0,114$	$7,76 \pm 0,067^*$
Концентрация, млрд	$1,16 \pm 0,036$	$1,03 \pm 0,161$	$0,96 \pm 0,068^*$
Кол-во разбавленного семени, мл	$38,06 \pm 7,75$	$32,75 \pm 8,87^*$	$29,77 \pm 7,43^{**}$
Кол-во замороженных доз, шт.	$1472 \pm 71,37$	$1216 \pm 88,42^*$	$749 \pm 94,36^{**}$

Таблица 5

Содержание химических элементов в семенной плазме быков-производителей голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Al, мг/кг ( $M \pm STD$ )

Элемент	Группа (процентильный интервал)		
	I ( $< 25$ )	II (25–75)	III ( $> 75$ )
Макроэлементы			
Ca	$2636 \pm 514$	$2492 \pm 422$	$1996 \pm 644$
K	$3973 \pm 1102$	$4286 \pm 782$	$4055 \pm 1006$
Na	$2769 \pm 745$	$3629 \pm 838$	$2848 \pm 1062$
Mg	$556 \pm 287$	$655 \pm 345$	$512 \pm 200$
P	$285 \pm 116$	$249 \pm 49$	$177 \pm 50$
Эссенциальные элементы			
Co	$0,49 \pm 0,27$	$0,62 \pm 0,19$	$1,04 \pm 1,08$
Cr	$0,44 \pm 0,14$	$0,34 \pm 0,10^*$	$0,19 \pm 0,03^{**}$
Cu	$12,86 \pm 1,87$	$12,28 \pm 1,15$	$9,06 \pm 0,61^{**}$
Fe	$623,0 \pm 252,3$	$582,6 \pm 175,3^*$	$251,0 \pm 56,7^{**}$
I	$1,61 \pm 0,48$	$2,21 \pm 1,31$	$1,86 \pm 0,86$
Se	$1,05 \pm 0,22$	$0,93 \pm 0,09$	$0,75 \pm 0,26$
Mn	$5,38 \pm 3,32$	$12,64 \pm 8,43$	$15,18 \pm 12,28$
Zn	$142,9 \pm 23,2$	$126,7 \pm 7,6$	$134,3 \pm 9,7$
Условно-эссенциальные элементы			
B	$6,81 \pm 3,58$	$6,16 \pm 3,04$	$3,61 \pm 4,27$
Li	$0,77 \pm 0,24$	$0,79 \pm 0,14$	$0,90 \pm 0,28$
Ni	$0,16 \pm 0,05$	$0,37 \pm 0,14^*$	$0,45 \pm 0,15^*$
V	$0,03 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,11^*$
Si	$2,26 \pm 0,18$	$2,82 \pm 0,56$	$3,20 \pm 1,11$
As	$0,021 \pm 0,003$	$0,035 \pm 0,009$	$0,038 \pm 0,021^*$
Токсичные элементы			
Sr	$3,01 \pm 1,67$	$3,30 \pm 1,96$	$3,82 \pm 4,53$
Cd	$0,003 \pm 0,002$	$0,006 \pm 0,004$	$0,009 \pm 0,007$
Hg	$0,071 \pm 0,018$	$0,082 \pm 0,023$	$0,112 \pm 0,033$
Pb	$0,172 \pm 0,097$	$0,153 \pm 0,066$	$0,197 \pm 0,100$
Sn	$0,039 \pm 0,019$	$0,033 \pm 0,014$	$0,044 \pm 0,026$

В частности, было установлено, что по мере роста содержания Al в шерсти животных II и III групп происходило статистически значимое увеличение концентраций, % : Ni – на 131,3–181,3, V – на 100,0–433,3, As – на 66,7–81,0, при снижении Cr на 22,7–56,8 %, Fe – на 6,5–59,7 % и Cu – на 4,5–29,5 %.

**Заключение.** Оценка быков-производителей голштинской породы по уровню концентраций кальция и алюминия в шерсти позволяет выявлять особей с высокими количественными и качественными характеристиками спермы.

*Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019–2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0006).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Необходимость учета региональных особенностей в моделировании процессов межэлементных взаимодействий в организме человека / С. В. Нотова [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 52. С. 59–63.
2. The relationship between semen quality and mineral composition of semen in various ram breeds / H. A. Abdel-Rahman et al. // *Small Rumin Res.* 2000 Sep;138(1):45–49. DOI: 10.1016/s0921-4488(00)00137-1.
3. Andrieu S. Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health? // *Vet J.* 2008 Apr;176(1):77–83. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.022.
4. Barth A. D., Brito L. F., Kastelic J. P. The effect of nutrition on sexual development of bulls // *Theriogenology.* 2008 Aug;70(3):485–94. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2008.05.031.
5. Xiong X., Lan D., Li J., Lin Y., Li M. Selenium supplementation during in vitro maturation enhances meiosis and developmental capacity of yak oocytes // *Anim Sci J.* 2018 Feb;89(2):298–306. DOI: 10.1111/asj.12894.
6. Study of some serum trace minerals in cyclic and non-cyclic surti buffaloes / M. Hedao et al. // *Vet. World.* 2008;(1):71.
7. Impact of Cu and Fe concentrations on oxidative damage in male infertility / B. Aydemir et al. // *Biol Trace Elem Res.* 2006;112(3):193–203. DOI: 10.1385/BTER:112:3:193.
8. Seminal plasma zinc concentration and alpha-glucosidase activity with respect to semen quality / M. Mankad et al. // *Biol Trace Elem Res.* 2006;110(2):97–106. doi: 10.1385/BTER:110:2:97.
9. Pesch S., Bergmann M., Bostedt H. Determination of some enzymes and macro- and microelements in stallion seminal plasma and their correlations to semen quality // *Theriogenology.* 2006 Jul 15;66(2):307–313. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2005.11.015.
10. Are serum zinc and copper levels related to semen quality? / L. Yuyan et al. // *Fertil Steril.* 2008;89(4):1008–1011. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2007.04.028.
11. Colagar A. H., Marzony E. T., Chaichi M. J. Zinc levels in seminal plasma are associated with sperm quality in fertile and infertile men // *Nutr Res.* 2009;29(2):82–88. DOI: 10.1016/j.nutres.2008.11.007.
12. Trace elements levels in the serum, urine, and semen of patients with infertility / H. S. Sağlam et al. // *Turk J Med Sci.* 2015;45(2):443–448. DOI: 10.3906/sag-1402-140.
13. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process / M. Mirnamniha et al. // *Rev Environ Health.* 2019;18;34(4):339–348. DOI: 10.1515/reveh-2019-0008.
14. An in vitro study on reproductive toxicity of aluminium chloride on rabbit sperm: the protective role of some antioxidants / M. I. Yousef et al. // *Toxicology.* 2007;8;239(3):213–223. DOI: 10.1016/j.tox.2007.07.011.
15. Pandey G., Jain G. C. A Review on toxic effects of aluminium exposure on male reproductive system and probable mechanisms of toxicity // *Int J Toxicol Appl Pharmacol.* 2013;3(3):48–57.

#### REFERENCES

1. The need to take into account regional features in modeling the processes of interelement interactions in the human body / S. V. Notova et al. *Bulletin of the Orenburg State University.* 2006;(52):59–63. (In Russ.).
2. The relationship between semen quality and mineral composition of semen in various ram breeds / H. A. Abdel-Rahman et al. *Small Rumin Res.* 2000;138(1):45–49. DOI: 10.1016/s0921-4488(00)00137-1.
3. Andrieu S. Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health? *Vet J.* 2008;176(1):77–83. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.022.
4. Barth A. D., Brito L. F., Kastelic J. P. The effect of nutrition on sexual development of bulls. *Theriogenology.* 2008 Aug;70(3):485–94. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2008.05.031.
5. Xiong X., Lan D., Li J., Lin Y., Li M. Selenium supplementation during in vitro maturation enhances meiosis and developmental capacity of yak oocytes. *Anim Sci J.* 2018 Feb;89(2):298–306. DOI: 10.1111/asj.12894.
6. Study of some serum trace minerals in cyclic and non-cyclic surti buffaloes / M. Hedao et al. *Vet. World.* 2008;(1):71.
7. Impact of Cu and Fe concentrations on oxidative damage in male infertility / B. Aydemir et al. *Biol Trace Elem Res.* 2006;112(3):193–203. DOI: 10.1385/BTER:112:3:193.
8. Seminal plasma zinc concentration and alpha-glucosidase activity with respect to semen quality / M. Mankad et al. *Biol Trace Elem Res.* 2006;110(2):97–106. DOI: 10.1385/BTER:110:2:97.
9. Pesch S., Bergmann M., Bostedt H. Determination of some enzymes and macro- and microelements in stallion seminal plasma and their correlations to semen quality. *Theriogenology.* 2006;15;66(2):307–313. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2005.11.015.
10. Are serum zinc and copper levels related to semen quality? / L. Yuyan et al. *Fertil Steril.* 2008;89(4):1008–1011. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2007.04.028.
11. Colagar A. H., Marzony E. T., Chaichi M. J. Zinc levels in seminal plasma are associated with sperm quality in fertile and infertile men. *Nutr Res.* 2009;29(2):82–88. DOI: 10.1016/j.nutres.2008.11.007.
12. Trace elements levels in the serum, urine, and semen of patients with infertility / H. S. Sağlam et al. *Turk J. Med Sci.* 2015;45(2):443–448. DOI: 10.3906/sag-1402-140.
13. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process / M. Mirnamniha et al. *Rev Environ Health.* 2019;18;34(4):339–348. DOI: 10.1515/reveh-2019-0008.
14. An in vitro study on reproductive toxicity of aluminium chloride on rabbit sperm: the protective role of some antioxidants / M. I. Yousef et al. *Toxicology.* 2007;8;239(3):213–223. DOI: 10.1016/j.tox.2007.07.011.
15. Pandey G., Jain G. C. A Review on toxic effects of aluminium exposure on male reproductive system and probable mechanisms of toxicity. *Int J Toxicol Appl Pharmacol.* 2013;3(3):48–57.

*Статья поступила в редакцию 05.04.2022; одобрена после рецензирования 08.04.2022; принята к публикации 25.04.2022.  
The article was submitted 05.04.2022; approved after reviewing 08.04.2022; accepted for publication 25.04.2022.*

