

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-102-3-8

Роль наночастиц серебра при технологических стрессах у бычков

Е.А. Ажмулдинов¹, М.Г. Титов¹, М.А. Кизаев¹, И.А. Бабичева², Н.В. Соболева²

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

² Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург)

Аннотация. Исследования по изучению влияния наночастиц серебра на организм животных в период технологических стрессов проводились на бычках чёрно-пёстрой породы в ОАО Агрофирма «Нур» Стерлибашевского района Республики Башкортостан. Были сформированы 3 группы по 15 голов в каждой: контрольная и две опытные. Опытным животным внутримышечно вводили эмульсию (рН – 9,5, редокс-потенциал Eh=–450 мВ) с наночастицами серебра в дозах: I группа – 0,01 мг/кг живой массы и II – 0,05 мг/кг живой массы, один раз в день в течение семи суток до начала воздействия стресс-факторов (8 мес. – перегруппировка, 18 мес. – транспортировка на мясоперерабатывающее предприятие и предубойное содержание).

Эмульсия с наночастицами серебра в дозах 0,01 и 0,05 мг/кг живой массы способствует снижению напряжения организма при воздействии стресс-фактора. Это нашло своё отражение в показателях сывороточной активности ферментов опытных групп, которая после воздействия стресс-факторов повышалась, однако в значительно меньшей степени, чем у контрольных сверстников. После воздействия транспортного стресса активность аминотрансфераз по отношению к контрольным сверстникам была ниже: гамма-глутамилтрансфераза (ГГТ) – на 11,1 и 7,4 %; аспартатаминотрансфераза (АСТ) – на 6,6 и 5,8 %; аланинаминотрансфераза (АЛТ) – на 31,4 и 29,9 %. За период эксперимента бычки I и II групп имели преимущество по живой массе в возрасте 18 мес. на 1,9 и 1,7 % по сравнению с контрольными сверстниками, а по среднесуточному приросту массы тела – на 4,7 и 3,2 %. Они занимали более выгодное положение и по показателям мясной продуктивности: по массе парной туши – на 4,2 и 3,4 %, убойной массе – на 4,2 и 3,3 % и убойному выходу – на 0,3 и 0,2 % больше, чем аналоги базового варианта. Наивысший результат был достигнут при внутримышечном введении эмульсии с наночастицами серебра в дозе 0,01 мг/кг живой массы.

Ключевые слова: бычки, наночастицы серебра, гамма-глутамилтрансфераза, аланинаминотрансфераза, аспартатаминотрансфераза, транспортировка, живая масса, стресс, мясная продуктивность.

UDC 636.085:577.17

The role of silver nanoparticles in technological stresses of bulls

EA Azhmuldinov¹, MG Titov¹, MA Kizaev¹, IA Babicheva², NV Soboleva²

¹ Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

² Orenburg State Agrarian University (Orenburg, Russia)

Summary. Researches of the effect of silver nanoparticles on animal organism at technological stresses were carried out on Black Spotted bulls in JSC Agrofirma «Nur» in Sterlibashevsky district of the Republic of Bashkortostan. Three groups with 15 heads in each were formed: one control and two experimental groups. Experimental animals were intramuscularly injected with an emulsion (pH – 9.5, redox potential Eh=–450 mV) with silver nanoparticles in doses: group I – 0.01 mg/kg body weight and II – 0.05 mg/kg body weight, once a day for seven days prior to the action of stress factors (8 months – rearrangement, 18 months – transportation to meat processing plant and pre-slaughtering keeping).

An emulsion with silver nanoparticles in doses of 0.01 and 0.05 mg/kg helps to reduce body stress when exposed to a stress factor. It was reflected in the indicators of serum enzymatic activity of the experimental groups, it increased after the exposure of stress factors, but to a much lesser extent than that of the

control animals. After transport stress, the activity of aminotransferases in relation to control animals was lower: gamma-glutamyltransferase (GGT) – by 11.1 and 7.4 %; aspartate aminotransferase (AST) – by 6.6 and 5.8 %; alanine aminotransferase (ALT) – by 31.4 and 29.9 %. During the experiment, bulls of groups I and II advanced in live weight at the age of 18 months by 1.9 and 1.7 % compared to control animals, and by average daily weight gain – by 4.7 and 3.2 %. They occupied a more favorable position in terms of meat productivity: by weight of fresh carcass – by 4.2 and 3.4 %, slaughter mass – by 4.2 and 3.3 % and slaughter yield – by 0.3 and 0.2 % more than analogues of the basic variant. The highest result was achieved after intramuscular administration of an emulsion with silver nanoparticles at a dose of 0.01 mg/kg.

Key words: bulls, silver nanoparticles, gamma-glutamyltransferase, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, transportation, live weight, stress, beef productivity.

Введение.

Применение наночастиц представляет огромный интерес в нескольких областях науки и практики, включая биотехнологию, биомедицину и ветеринарию. Совсем недавно они использовались в качестве нутрицевтиков, биоцидов, диагностических средств для репродукции, а также для доставки лекарств и питательных веществ (Cao G and Wang Y, 2011).

Благодаря высокой антибактериальной активности наночастицы серебра встречаются во многих потребительских товарах, включая текстиль, косметику, дезодоранты, бинты, чистящие средства, спреи; используются как эффективное средство против грамотрицательных и грамположительных бактерий (Zhang XF et al., 2016; Lu Z et al., 2013), а также против вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) (Sun RWY et al., 2005; Elechiguerra JL et al., 2005); для лечения ран и ожогов (Samuel U and Guggenbichler JP, 2004). Они относятся к категории сильных противомикробных агентов (Elechiguerra JL et al., 2005; Shahverdi AR et al., 2007), которые действуют как стимулятор роста (Sarkar B et al., 2015) и иммунитета (Beck I et al., 2015) в ограниченной дозе.

Наночастицы серебра обладают способностью взаимодействовать с биологическими тканями и снижают количество образованных активных форм кислорода, которые были предложены в качестве возможного механизма стресса. Увеличение генерации данных форм происходит в результате воздействия множества различных технологических стрессов. Хорошо известно, что они играют как вредную, так и полезную роль в биологических взаимодействиях. Как правило, вредное воздействие активных форм кислорода на клетку включает повреждение ДНК, окисление полиненасыщенных жирных кислот в липидах (гидроперекисное окисление липидов), окисление аминокислот в белках и инактивацию специфических ферментов путём окисления кофакторов (Abou El-Nour KMM et al., 2010; Zhang XF et al., 2015).

Система антиоксидантной защиты, противостоящая повреждающему эффекту свободных радикалов, непрерывно образующихся в организме, представлена ферментативными (антиоксидантные ферменты) и неферментативными (жирорастворимые, в том числе токоферолы, витамин А), водорастворимые (включая, аскорбиновую кислоту), серосодержащие (а также восстановленный глутатион) и фенольные биоантиоксиданты (Владимиров Ю.А. и Арчаков А.И., 1972). Уровень глутатиона в клетке регулирует фермент гамма-глутамилтрансфераза (ГГТ), которая, кроме того, принимает и непосредственное участие в защите клеток от перекисного окисления липидов (Paolicchi A et al., 1997). Важную роль в антиоксидантной системе организма играет и структурный антиоксидант – определённым образом упорядоченная «архитектура» мембраны. Её повреждение в условиях стресса приводит к высвобождению внутриклеточных ферментов, в частности аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ), и, как следствие, к повышению их активности в крови (AL-Nashem FH et al., 2012).

Учёные-аграрии пытаются найти рациональный вариант для включения в корм биологически активных веществ, в том числе наночастиц для введения их перорально, подкожно или внутримышечно, который будет способствовать повышению иммунитета и снижению стресса у животных (Aklakur M et al., 2016). Ввиду неизученности влияния наночастиц серебра на организм животного, особенно на их продуктивные возможности при стрессовой нагрузке, подвигло нас провести настоящее исследование. В связи с этим оценка риска их применения для повышения стрессоустойчивости и снижения потерь мясной продукции при технологических стрессах имеет определённое научное и практическое значение.

Цель исследования.

Изучить особенности влияния наночастиц серебра на сокращение потерь продукции при технологических стрессах.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки чёрно-пёстрой породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводились в ОАО Агрофирма «Нур» Стерлибашевского района Республики Башкортостан. Были сформированы 3 группы бычков чёрно-пёстрой породы 8-месячного возраста по 15 голов в каждой: контрольная и две опытные.

Наночастицы серебра были размером до 100 нм (химический и фазовый состав – 99,99 % металлического серебра, адсорбированных газов до 0,01 % – CH₄, CO₂, Ar, N₂, метод получения – электрический взрыв в атмосфере аргона, удельная поверхность – S_{уд}=6.5 м²/г. Для приготовления инъекционной суспензии в центре «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» наночастицы серебра смешивали с католитом, полученным в аппарате AquaLife, и подвергали диспергированию в ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т в режиме 0.5 А, 44 кГц.

Опытным животным внутримышечно вводили эмульсию (рН – 9,5, редокс-потенциал Eh=–450 мВ, по данным В.М. Дворникова, 2004) с наночастицами серебра в дозах: I группа – 0,01 и II группа – 0,05 мг/кг живой массы один раз в день в течение семи суток до начала воздействия стресс-фактора (перегруппировка в возрасте 8 мес., транспортировка и предубойное содержание на мясоперерабатывающем предприятии в 18-месячном возрасте). Эмульсию вводили экспериментальным животным в бедренную группу мышц. Убой проведён на мясоперерабатывающем предприятии, которое находится на расстоянии 150 км от хозяйства. Рацион кормления был составлен по А.П. Калашникову (2003) и рассчитан на получение 900 г среднесуточного прироста массы тела. Он состоял из сена кострцового, силоса кукурузного, сенажа козлятника восточного и концентратов.

Мясную продуктивность изучали по ГОСТу 34120-2017. При проведении контрольного убоя учитывали массу, выход парной туши и убойную массу.

Оборудование и технические средства. Взвешивание животных проводили на весах электронных НПВ 1000 (Россия). Метод убоя животных на мясокомбинате – оглушение переменным электрическим током силой 1-1,5 А и напряжением до 125 В.

Морфологические и биохимические показатели крови определяли в центре «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» ФНЦ БСТ РАН с использованием автоматического гематологического анализатора для ветеринарии BC-2900 Vet («Mindray», Китай) и биохимического анализатора Stat Fax 1904+ («Awareness Technology», США).

Статистическая обработка. Основной материал, полученный в исследованиях, обработан с использованием пакета программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США), достоверность определяли при помощи критерия Стьюдента.

Результаты исследования.

В процессе проведённого исследования изучили влияние эмульсии с наночастицами серебра как антистрессового препарата.

Перегруппировка, транспортировка, предубойное содержание вызывают повышение активности аланинаминотрансферазы, аспаратаминотрансферазы и гамма-глутамилтрансферазы, тогда как введение эмульсии с наночастицами серебра его ограничивает. Полученные результаты свидетельствуют о стабилизации клеточных мембран под влиянием наночастиц серебра при стрессе различного происхождения (табл. 1).

Таблица 1. Динамика активности аминотрансфераз сыворотки крови бычков, ед/л
Table 1. The dynamics of aminotransferase activity of blood serum of bulls, unit/l

Показатель/ Indicator	Возраст, мес./ Age, month	Группа/Group		
		контрольная/ control	I	II
	8	До воздействия стресс-фактора/Prior to stress factor		
ГГТ/GGT		11±0,11	10±0,20	11±0,09
АСТ/AST		74,2±2,07	73,8±1,97	74,0±2,05
АЛТ/ALT		22,3±1,01	22,5±0,39	21,9±1,44
	8	После стресс-факторов/After stress factor		
ГГТ/GGT		13±0,33	11±0,28	12±0,40
АСТ/AST		89,3±1,06	81,5±0,85	82,7±1,15
АЛТ/ALT		31,2±0,65	28,3±0,43	29,1±0,63
	18	До воздействия стресс-факторов/Prior to stress factor		
ГГТ/GGT		24±0,44	23±0,37	24±0,51
АСТ/AST		123,5±2,07	122,3±2,05	123,5±1,94
АЛТ/ALT		36,7±1,35	36,8±1,44	36,1±1,04
	18	После стресс-факторов/After stress factor		
ГГТ/GGT		27±0,63	24±0,38	25±0,43
АСТ/AST		138,4±2,08	129,3±2,17	130,0±1,96
АЛТ/ALT		63,1±1,36	43,3±1,15	44,2±2,05

После перегруппировки у молодняка контрольной группы активность данных ферментов в крови повышалась: ГГТ – на 18 %, АСТ – на 20 %, а АЛТ – на 40 %. Активность данных ферментов у животных, получавших наночастицы серебра, также была подвергнута изменениям, но в меньшей степени – на 10 %; 11; 25,8 % и 9 %; 11,8 и 32,9 % соответственно.

Активность аминотрансфераз в крови (по отношению к опытным группам) была выше после воздействия перегруппировки: ГГТ – на 18,0 и 8,0 %; АСТ – на 9,5 и 8,0 %, активность АЛТ – на 10,3 и 7,2 %.

В 12-месячном возрасте данная активность в контрольной и опытных группах снижалась до нормы, но животные, которые не получали данную эмульсию, имели относительно высокие показатели за счёт воздействия более лёгких стресс-факторов (шум, взвешивание): ГГТ – на 6,7 и 6,7 %; АСТ – на 2,1 и 0,6 %, АЛТ – на 5,8 и 4,2 %.

Сывороточная активность всех ферментов опытных групп после транспортировки и предубойного содержания повышалась, однако в значительно меньшей степени, чем у контрольных сверстников. После стресса активность аминотрансфераз по отношению к контролю также была ниже: ГГТ – на 11,1 и 7,4 %; АСТ – на 6,6 и 5,8 %; АЛТ – на 31,4 и 29,9 %.

Низкая активность данных ферментов наблюдалась у животных I группы, получавших наночастицы серебра в дозировке 0,01 мг/кг живой массы, высокая же, наблюдавшаяся у контрольных особей, оказывала негативное влияние на продуктивные качества животных.

При сравнительно равной постановочной живой массе (225,7-226,0 кг) бычки опытных вариантов в процессе эксперимента превосходили сверстников из контроля по изучаемому показателю. В частности, в возрасте 14 мес. контрольные особи имели меньшую массу тела (384,5 кг) по сравнению с аналогами I и II групп на 1,3 и 0,9 %.

В конце эксперимента (18 мес.) они достигали живой массы 491,7 и 490,9 кг, что соответственно на 1,9 и 1,7 % больше, чем сверстники, которым не вводили наночастицы серебра. При этом наилучший эффект был установлен при использовании в качестве антистрессового препарата эмульсии с наночастицами серебра в дозе 0,01 мг/кг живой массы.

Лучшие показатели по среднесуточным приростам массы тела за период эксперимента отмечались у животных I и II групп (рис. 1). Причём у особей I они были на 1,5 % больше, чем у аналогов II. В среднем за опыт их превосходство над контрольными сверстниками по данному показателю составляло 4,7 ($P \leq 0,05$) и 3,2 % ($P \leq 0,05$).

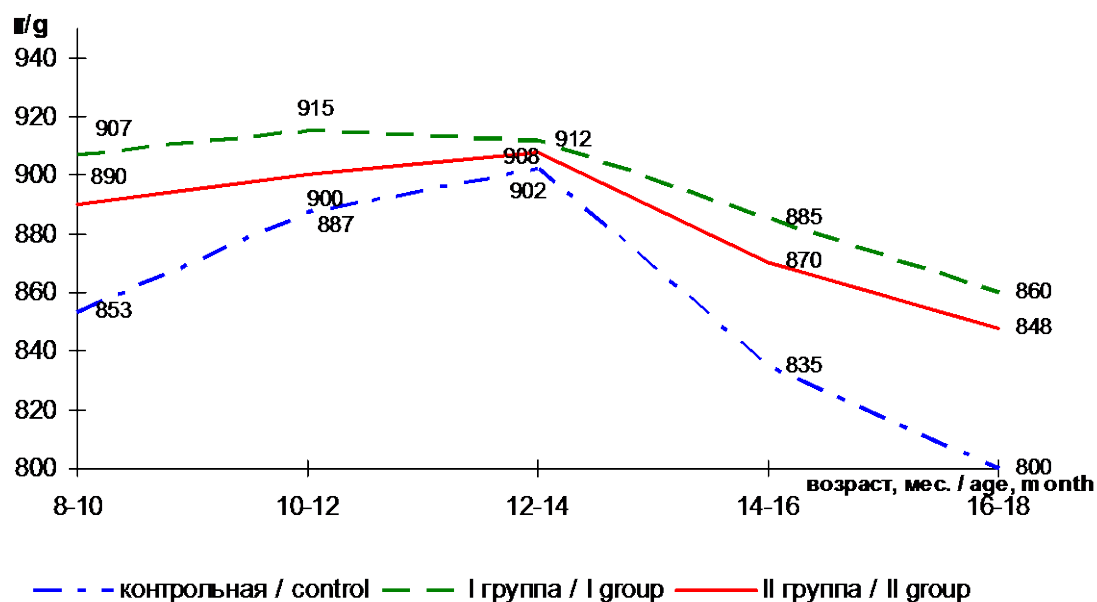


Рис. 1 – Среднесуточный прирост подопытных животных, г
Figure 1 – Average daily gain of experimental animals

Исходя из результатов, полученных в ходе проведённого эксперимента, бычки, которым внутримышечно вводили наночастицы серебра, имели преимущество по выходу продуктов уоя (табл. 2).

Таблица 2. Результаты контрольного убоя подопытных животных
Table 2. The results of the control slaughter of experimental animals

Показатель/Indicator	Группа/Group		
	контрольная/ control	I	II
Предубойная живая масса, кг/ Pre-slaughter live weight, kg	444,8±1,81	461,4±1,97*	458,3±2,08*
Масса парной туши, кг/ Fresh carcass weight, kg	241,7±1,22	251,9±1,46*	249,8±1,58*
Выход туши, %/Carcass yield, %	54,3	54,6	54,5
Масса внутреннего жира, кг/ Internal fat weight, kg	12,0±0,18	12,5±0,21	12,3±0,23
Выход внутреннего жира, %/ Internal fat yield, %	2,7	2,7	2,7
Убойная масса, кг/Slaughter weight, kg	253,7±1,27	264,4±1,40*	262,1±1,58*
Убойный выход, %/Slaughter yield, %	57,0	57,3	57,2

Примечание: * – $P \leq 0,05$ по отношению к контрольной группе
Note: * – $P \leq 0.05$ in relation to the control group

В частности, они превосходили особей базового варианта по массе парной туши соответственно на 4,2 и 3,4 %, убойной массе – на 4,2 и 3,3 %, убойному выходу – на 0,3 и 0,2 %.

Обсуждение полученных результатов.

Устойчивость животных к технологическим стрессам зависит от многих факторов, таких как порода, возраст, пол, кормление, качество кормовых ингредиентов и препаратов, обладающих антистрессовым эффектом. В нашем исследовании мы использовали эмульсию с наночастицами серебра в дозах 0,01 и 0,05 мг/кг живой массы для повышения адаптационных возможностей животных.

Перегруппировка, транспортировка и предубойное содержание приводят к образованию активных форм кислорода, вызывая окислительный стресс у животных. Большое количество свободных радикалов изменяет текучесть мембран и динамику фосфолипидного бислоя тканей, которые не могут быть детоксифицированы из напряжённого организма животного. Активные формы кислорода естественным образом синтезируются клетками и играют важную роль в поддержании клеточной активности, включая внутриклеточную передачу сигналов. Многократное увеличение их количества может привести к обширной травме клетки (Saini P et al., 2016; Zhu L et al., 2017; Ажмулдинов Е.А. и Титов М.Г., 2012).

Данные виды стрессов вызывают повышение сывороточной активности ГТТ, АСТ и АЛТ, что может свидетельствовать о преимущественном повреждении мембран клеток свободными радикалами, а усиление синтеза ГТТ является следствием освобождения его из клеточных мембран в результате детергентного действия поверхностно активных веществ, составляющих одно из звеньев «липидной триады». Её реализация лежит в основе повреждения клеточных мембран, в том числе саркоплазматического ретикула, что вызывает избыток Ca^{2+} в саркоплазме. Этот катион, в свою очередь, активизирует совокупность процессов, составляющих липидную триаду, и, таким образом, «данный круг» замыкается (Меерсон Ф.З., 1981).

Введение наночастиц серебра само по себе не влияет на активность всех изученных ферментов в крови, но предупреждает возрастание активности ГТТ, АСТ и АЛТ при технологических стрессах. Минимизация повышения активности аминотрансфераз при стрессе под влиянием наночастиц серебра может быть расценена как стабилизация под его влиянием клеточных мембран. Для того чтобы понять значение ограничения стресс-индуцированного возрастания активности ГТТ, которая, участвуя в метаболизме восстановленного глутатиона, может увеличивать устойчивость организма к стрессу, необходимо учесть, что чрезмерное повышение активности ГТТ, зарегистрированное в наших опытах, вызывает негативные последствия, поскольку одними из продуктов её деятельности являются супероксидный радикал и пероксид водорода (del Bello B et al., 1999). Это способствует прогрессированию свободнорадикальных нарушений и через модификацию сульфгидрильных групп белков-посредников влияет на передачу информации во внутриклеточных сигнальных путях (Kolesnichenko LS et al., 1994).

Многие исследователи сообщают, что при данных видах технологических стрессов происходит снижение защитных функций организма и показателей мясной продуктивности (Никулин В.Н. и др., 2018; Earley B et al., 2010, Попов В.В. и др., 2009). Это же было установлено и в нашем эксперименте. Внутримышечное введение наночастиц серебра способствовало оптимизации проявления адаптационных возможностей животных при технологических стрессах.

В частности, разница по живой массе в возрасте 14 месяцев составила 1,4 и 0,9 % в пользу опытных сверстников, которые получали эмульсию с наночастицами серебра. Среди опытных групп преимущество было у бычков, получавших данную эмульсию в дозе 0,01 мг/кг живой массы, на 0,5 % относительно других особей с дозировкой 0,05 мг/кг живой массы.

В период выращивания и реализации животные подвергаются воздействию многочисленных природно-климатических и технологических факторов, оказывающих негативное влияние на их организм. В этих условиях энергетические запасы особей значительно истощаются, что приводит к изменению их метаболического состояния, которое отрицательно сказывается на показателях убоя (Tarrant PV, 1990; Никулин В.Н. и др., 2018; Титов М.Г., 2017).

По данным контрольного убоя, преимущественное положение по массе и выходу парной туши отмечено у бычков опытных групп. Это согласуется с результатами исследований (Ажмулдинов Е.А. и др., 2018; Левахин В.И. и др., 2010) и является свидетельством того, что наночастицы серебра способствуют сглаживанию стрессовой нагрузки на организм при технологических стрессах.

Выводы.

Результаты проведённого исследования свидетельствуют о том, что при внутримышечном введении эмульсии наночастиц серебра в дозе 0,01 мг/кг живой массы за 7 суток до начала воздействия стресс-факторов, сглаживаются их последствия, что способствует активизации защитных функций организма и сохранению продуктивных качеств животных.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0006)

Литература

1. Ажмулдинов Е.А., Титов М.Г. Сравнительная оценка адаптационной способности бычков различных пород // Пути интенсификации производства и переработки сельскохозяйственной продукции в современных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. / под ред. В.Н. Храмовой. Волгоград, 2012. Ч. 1. С. 54-56. [Azmuldinov EA, Titov MG. Sravnitel'naya otsenka adaptatsionnoi sposobnosti bychkov razlichnykh porod. (Conference proceedigs) Puti intensivifikatsii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii v sovremennykh usloviyakh: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2-kh ch. pod red. Khramovoi VN. Volgograd, 2012. Ch. 1. P. 54-56. (In Russ)].
2. Весовой рост молодняка крупного рогатого скота разных пород и направлений продуктивности в условиях промышленного комплекса / В.В. Попов, В.И. Левахин, Е.П. Карабанов, М.Г. Титов // Вестник мясного скотоводства. 2009. Вып. 62(4). С. 60-61. [Popov VV, Levakhin VI, Karabanov EP, Titov MG. Vesovoi rost molodnyaka krupnogo rogatogo skota raznykh porod i napravlenii produktivnosti v usloviyakh promyshlennogo kompleksa. Herald of Beef Cattle Breeding. 2009;62(4):60-61. (In Russ)].
3. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с. [Vladimirov YuA, Archakov AI. Perekisnoe okislenie lipidov v biologicheskikh membranakh. Moscow: Nauka; 1972. 252 p. (In Russ)].
4. Влияние наночастиц хрома на потери живой массы бычков чёрно-пёстрой породы при технологических стрессах / В.Н. Никулин, И.А. Бабичева, В.В. Герасименко, Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6(74). С. 208-210. [Nikulina VN, Babicheva IA, Gerasimenko VV, Azmuldinov YeA, Kizaev MA, Titov MG. Effect of chromium nanoparticles on live weight loss of black-spotted steers exposed to technological stresses. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;6(74):208-210. (In Russ)].
5. Влияние различных стресс-факторов на организм сельскохозяйственных животных (обзор) / Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов, И.А. Бабичева // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 79-89. [Azmuldinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Influence of various stress factor on the organism of farm animals (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(2):79-89 (In Russ)].
6. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. М.: Наука, 1981. 279 с. [Meerson FZ. Adaptatsiya, stress i profilaktika. Moscow: Nauka, 1981. 279 p. (In Russ)].
7. Способ для сокращения потерь продукции молодняка крупного рогатого скота при транспортировке и предубойном содержании: пат. 2396948 Рос. Федерация / В.И. Левахин, А.В. Сало, А.С. Коровин, В.В. Попов, В.И. Швиндт, Б.Г. Рогачёв, Ю.И. Левахин, Ф.Х. Сиразетдинов, А.П. Черных, Ф.Ф. Ахметова, Г.Х. Исянгулова, Н.В. Журавлев, М.Г. Титов. Заявл. 27.02.09; опубл. 20.08.10, Бюл. № 23. [Sposob dlya sokrashcheniya poter' produktsii molodnyaka krupnogo rogatogo skota pri transpor-tirovke i preduboinom soderzhanii: pat. 2396948 RUS. Levakhin VI, Salo AV, Korovin AS, Popov VV, Shvindt VI, Rogachev BG, Levakhin YuI, Sirazetdinov FKh, Chernykh AP, Akhmetova FF, Isyangulova GK, Zhuravlev NV, Titov MG. Zayavl. 27.02.09; opubl. 20.08.10, Byul. № 23. (In Russ)].
8. Титов М.Г. Использование препарата Зигбир для снижения потерь продукции бычков в условиях промышленной технологии содержания // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 4(100). С. 124-128. [Titov MG Use of Zigbir preparation for reduction of production losses of bulls in conditions of industrial keeping technology. Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;4(100):124-128. (In Russ)].

9. Abou El-Nour KMM, Eftaiha A, Al-Warthan A, Ammar RAA. Synthesis and applications of silver nanoparticles. Arab. J. Chem. 2010;3(3):135-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.04.008>
10. Aklakur M, Rather MA, Kumar N. Nanodelivery: an emerging avenue for nutraceuticals and drug delivery. Crit Rev Food Sci Nutr. 2016. 56(14):2352-2361. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.839543>
11. AL-Hashem FH, Shatoor A, Sakr HF, et al. Co-administration of vitamins E and C protects against stress-induced hepatorenal oxidative damage and effectively improves lipid profile at both low and high altitude. African J. of Biotechn. 2012;11(45):10416-10423. doi: <https://doi.org/10.5897/AJB12.058>
12. Beck I, Hotowy A, Sawosz E, Grodzik M, Wierzbicki M, Kutwin M, Jaworski S, Chwalibog A. Effect of silver nanoparticles and hydroxyproline, administered in ovo, on the development of blood vessels and cartilage collagen structure in chicken embryos. Arch Anim Nutr. 2015;69:57-68. doi: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2014.992179>
13. Cao G, Wang Y. Nanostructures and nanomaterials: synthesis, properties, and applications. 2nd ed. World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 2. New York: World Scientific Publishing, 2011. 596 p. doi: <https://doi.org/10.1142/7885>
14. del Bello B, Paolicchi A, Comporti M et al. Hydrogen peroxide produced during gamma-glutamyl activity is involved in prevention of apoptosis and maintenance of cell proliferation in U937 cells. Faseb. J. 1999;13:69-79.
15. Earley B, Murray M, Prendiville DJ. Effect of road transport for up to 24 hours followed by twenty-four hour recovery on live weight and physiological responses of bulls. BMC Vet Res. 2010;6:Article number 38. 13 p. doi: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-6-38>
16. Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. J. Nanobiotechnol. 2005;3:Article number 6. 10 p. doi: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-3-6>
17. Kolesnichenko LS, Kulinski VI, Ias'ko MV et al. The effect of emotional-painful stress, hypoxia, and adaptation to it on the activity of enzymes for metabolizing glutathione and concentration of glutathione in rat organs. Vopr. med. khim. 1994;40(5):10-12.
18. Lu Z, Rong K, Li J, Yang H, Chen R. Size-dependent antibacterial activities of silver nanoparticles against oral anaerobic pathogenic bacteria. J. Mater. Sci. Mater. Med. 2013;24(6):1465-1471. doi: <https://doi.org/10.1007/s10856-013-4894-5>
19. Paolicchi A, Tongiani R, Tonarelli P, Comporti M, Pompella A. Gamma-glutamyl transpeptidase-dependent lipid peroxidation in isolated hepatocytes and HepG2 hepatoma cells. Free. Rad. Biol. Med. 1997;22(5):853-860. doi: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(96\)00422-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(96)00422-4)
20. Saini P, Saha SK, Roy P, Chowdhury P, Sinha Babu SP. Evidence of reactive oxygen species (ROS) mediated apoptosis in *Setaria cervi* induced by green silver nanoparticles from *Acacia auriculiformis* at a very low dose. Exp. Parasitol. 2016;160:39-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.11.004>
21. Samuel U, Guggenbichler JP. Prevention of catheter-related infections: the potential of a new nano-silver impregnated catheter. Int J Antimicrob Agents. 2004; 23(S1):75-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2003.12.004>
22. Sarkar B, Kumar M, Verma S, Rhathore RM. Effect of dietary nanosilver on gut proteases and general performance in zebrafish (*Danio rerio*). Int J Aquat Biol. 2015;3(2):60-67.
23. Shahverdi AR, Fakhimi A, Shahverdi HR, Minaian S. Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Nanomedicine: NMB. 2007;3(2):168-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2007.02.001>
24. Sun RWY, Chen R, Chung NPY, Ho CM, Lin CLS, Che CM. Silver nanoparticles fabricated in Hepes buffer exhibit cytoprotective activities toward HIV-1 infected cells. Chem. Commun. 2005; 40:5059-5061. doi: 10.1039/b510984a
25. Tarrant PV. Transportation of cattle by road. Appl Animal Beh Sci. 1990;28(1-2):153-170. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(90\)90051-E](https://doi.org/10.1016/0168-1591(90)90051-E)

26. Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *Int. J. Mol. Sci.* 2016;17(9):1534-34 p. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>
27. Zhang XF, Park JH, Choi YJ, Kang MH et al. Silver nanoparticles cause complications in pregnant mice. *Int. J. Nanomed.* 2015;10(1):7057-7071. doi: <https://doi.org/10.2147/IJN.S95694>
28. Zhu L, Guo D, Sun L, Huang Z, Zhang X, Ma W, Wu J, Xiao L, Zhao Y, Gu N. Activation of autophagy by elevated reactive oxygen species rather than released silver ions promotes cytotoxicity of polyvinylpyrrolidone-coated silver nanoparticles in hematopoietic cells. *Nanoscale.* 2017;9:5489-5498. doi: 10.1039/C6NR08188F

References

1. Azhmuldinov EA, Titov MG. A comparative assessment of adaptability of bulls of different breeds. (Conference proceedings) Ways to intensify the production and processing of agricultural products in modern conditions: international materials of scientific-practical conf.: in 2 parts. edited by Khramova VN. Volgograd, 2012. Part 1. P. 54-56.
2. Popov VV, Levakhin VI, Karabanov EP, Titov MG. Weight growth of young cattle of different breeds and productivity directions in an industrial complex conditions. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2009;62(4):60-61.
3. Vladimirov YuA, Archakov AI. Lipid peroxidation in biological membranes. Moscow: Nauka; 1972. 252 p.
4. Nikulin VN, Babicheva IA, Gerasimenko VV, Azhmuldinov YeA, Kizaev MA, Titov M.G. Effect of chromium nanoparticles on live weight loss of black-spotted steers exposed to technological stresses. *Izvestia Orenburg State Agrarian University.* 2018;6(74):208-210.
5. Azhmuldinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Influence of various stress factor on the organism of farm animals (review). *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2018;101(2):79-89.
6. Meerson FZ. Adaptation, stress and prevention. Moscow: Nauka; 1981. 279 p.
7. A method to reduce production losses of young cattle during transportation and pre-slaughter keeping: Pat. 2396948 Russian Federation. Levakhin VI, Salo AV, Korovin AS, Popov VV, Schwindt VI, Rogachev BG, Levakhin YuI, Sirazetdinov FH, Chernykh AP, Akhmetova FF, Isyangulova GK, Zhuravlev NV, Titov M.G. Application 27/02/09; publ. 20/08/10, Bull. Number 23.
8. Titov MG. Use of Zigbir preparation for reduction of production losses of bulls in conditions of industrial keeping technology. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2017;4(100):124-128.
9. Abou El-Nour KMM, Eftaiha A, Al-Warthan A, Ammar RAA. Synthesis and applications of silver nanoparticles. *Arab. J. Chem.* 2010;3(3):135-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.04.008>
10. Aklakur M, Rather MA, Kumar N. Nanodelivery: an emerging avenue for nutraceuticals and drug delivery. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016. 56(14):2352-2361. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.839543>
11. AL-Hashem FH, Shatoor A, Sakr HF, et al. Co-administration of vitamins E and C protects against stress-induced hepatorenal oxidative damage and effectively improves lipid profile at both low and high altitude. *African J. of Biotechn.* 2012;11(45):10416-10423. doi: <https://doi.org/10.5897/AJB12.058>
12. Beck I, Hotowy A, Sawosz E, Grodzik M, Wierzbicki M, Kutwin M, Jaworski S, Chwalibog A. Effect of silver nanoparticles and hydroxyproline, administered in ovo, on the development of blood vessels and cartilage collagen structure in chicken embryos. *Arch Anim Nutr.* 2015;69:57-68. doi: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2014.992179>
13. Cao G, Wang Y. Nanostructures and nanomaterials: synthesis, properties, and applications. 2nd ed. World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 2. New York: World Scientific Publishing, 2011. 596 p. doi: <https://doi.org/10.1142/7885>
14. del Bello B, Paolicchi A, Comporti M et al. Hydrogen peroxide produced during gamma-glutamyl activity is involved in prevention of apoptosis and maintenance of cell proliferation in U937 cells. *Faseb. J.* 1999;13:69-79.

15. Earley B, Murray M, Prendiville DJ. Effect of road transport for up to 24 hours followed by twenty-four hour recovery on live weight and physiological responses of bulls. BMC Vet Res. 2010;6:Article number 38. 13 p. doi: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-6-38>
16. Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. J. Nanobiotechnol. 2005;3:Article number 6. 10 p. doi: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-3-6>
17. Kolesnichenko LS, Kulinski VI, Ias'ko MV et al. The effect of emotional-painful stress, hypoxia, and adaptation to it on the activity of enzymes for metabolizing glutathione and concentration of glutathione in rat organs. Vopr. med. khim. 1994;40(5):10-12.
18. Lu Z, Rong K, Li J, Yang H, Chen R. Size-dependent antibacterial activities of silver nanoparticles against oral anaerobic pathogenic bacteria. J. Mater. Sci. Mater. Med. 2013;24(6):1465-1471. doi: <https://doi.org/10.1007/s10856-013-4894-5>
19. Paolicchi A, Tongiani R, Tonarelli P, Comporti M, Pompella A. Gamma-glutamyl transpeptidase-dependent lipid peroxidation in isolated hepatocytes and HepG2 hepatoma cells. Free. Rad. Biol. Med. 1997;22(5):853-860. doi: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(96\)00422-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(96)00422-4)
20. Saini P, Saha SK, Roy P, Chowdhury P, Sinha Babu SP. Evidence of reactive oxygen species (ROS) mediated apoptosis in *Setaria cervi* induced by green silver nanoparticles from *Acacia auriculi-formis* at a very low dose. Exp. Parasitol. 2016;160:39-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.11.004>
21. Samuel U, Guggenbichler JP. Prevention of catheter-related infections: the potential of a new nano-silver impregnated catheter. Int J Antimicrob Agents. 2004; 23(S1):75-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2003.12.004>
22. Sarkar B, Kumar M, Verma S, Rhathore RM. Effect of dietary nanosilver on gut proteases and general performance in zebrafish (*Danio rerio*). Int J Aquat Biol. 2015;3(2):60-67.
23. Shahverdi AR, Fakhimi A, Shahverdi HR, Minaian S. Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Nanomedicine: NMB. 2007;3(2):168-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2007.02.001>
24. Sun RWY, Chen R, Chung NPY, Ho CM, Lin CLS, Che CM. Silver nanoparticles fabricated in Hepes buffer exhibit cytoprotective activities toward HIV-1 infected cells. Chem. Commun. 2005; 40:5059-5061. doi: 10.1039/b510984a
25. Tarrant PV. Transportation of cattle by road. Appl Animal Beh Sci. 1990;28(1-2):153-170. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(90\)90051-E](https://doi.org/10.1016/0168-1591(90)90051-E)
26. Zhang XF, Liu ZG, Shen W, Gurunathan S. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. Int. J. Mol. Sci. 2016;17(9):1534 34 p. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>
27. Zhang XF, Park JH, Choi YJ, Kang MH et al. Silver nanoparticles cause complications in pregnant mice. Int. J. Nanomed. 2015;10(1):7057-7071. doi: <https://doi.org/10.2147/IJN.S95694>
28. Zhu L, Guo D, Sun L, Huang Z, Zhang X, Ma W, Wu J, Xiao L, Zhao Y, Gu N. Activation of autophagy by elevated reactive oxygen species rather than released silver ions promotes cytotoxicity of polyvinylpyrrolidone-coated silver nanoparticles in hematopoietic cells. Nanoscale. 2017;9:5489-5498. doi: 10.1039/C6NR08188F

Ажмулдинов Елемес Ажмулдинович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78

Титов Максим Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78, e-mail: titow.ru@mail.ru

Кизаев Михаил Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, учёный секретарь, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78; e-mail: kma.or@mail.ru

Бабичева Ирина Андреевна, доктор биологических наук, профессор, кафедра химии и биотехнологий, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, тел./факс: 8(3532)77-52-30, e-mail: babicheva74-09@mail.ru

Соболева Наталья Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, тел.: 89033676715, e-mail: natalya.soboleva12@mail.ru

Поступила в редакцию 21 августа 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 сентября 2019 г.; опубликована 30 сентября 2019 г. / Received: 21 August 2019; Accepted: 16 September 2019; Published: 30 September 2019