
ANIMAL HUSBANDRY

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.4.20.7>

Yukomzan A.I. *

Buryat State Agricultural Academy Named After V.R. Filippov, Ulan-Ude, Russia

* Corresponding author (yuk.a.i[at]inbox.ru)

Received: 9.11.2021; Accepted: 18.11.2021; Published: 15.12.2021

LIPID PEROXIDATION AND THE SYSTEM OF ANTIOXIDANT PROTECTION OF COWS IN INFLAMMATORY PATHOLOGIES

Review article

Abstract

This article provides an overview of the main indicators of lipid peroxidation and the antioxidant protection system of cows in the presence of inflammatory diseases of various tissues and organs in animals. The study uses domestic and foreign literary sources. The author also establishes features of the oxidant-antioxidant status of cows with inflammations of varying severity and localization.

Keywords: lipid peroxidation, antioxidant protection, inflammation, cows.

Юкомзан А.И. *

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

* Корреспондирующий автора (yuk.a.i[at]inbox.ru)

Получена: 9.11.2021; Доработана: 18.11.2021; Опубликована: 15.12.2021

ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ И СИСТЕМА АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ КОРОВ ПРИ ВОСПАДИТЕЛЬНЫХ ПАТОЛОГИЯХ

Обзорная статья

Аннотация

В данной статье приводится обзор основных показателей перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты коров, представленных в отечественных и зарубежных литературных источниках, при наличии у животных воспалительных заболеваний различных тканей и органов. Установлены особенности оксидантно-антиоксидантного статуса коров при воспалениях различной степени тяжести и локализации.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, антиоксидантная защита, воспаление, коровы.

1. Введение

Под воспалением традиционно понимают местно протекающую сосудисто-мезенхимальную реакцию. В то же время практически всегда воспаление характеризуется генерализованным распространением патологического процесса в организме, поскольку очаг воспалительного процесса не существует изолированно, оказывая влияние на все системы. Лабильной системой, способной быстро реагировать на происходящие в организме изменения является баланс перекисного окисления липидов (ПОЛ) и звеньев антиоксидантной защиты (АОЗ) [1], [2].

По современным представлениям механизм перекисного окисления липидов реализуется при атаке активными формами кислорода двойных связей ненасыщенных жирных кислот, в результате образуются их гидроперекиси. Процесс приводит к повреждению мембран клеток, а гидроперекиси жирных кислот оказывают токсический эффект на ферменты и структурные белки, повреждают рецепторные и транспортные системы клетки. Реакции образования перекисей липидов носят цепной характер благодаря образованию свободных радикалов. Существующие представления рассматривают интенсификацию перекисного окисления липидов и активацию звеньев антиоксидантной системы в качестве естественного компенсаторного механизма адаптации. Продукция гидроперекисей липидов также является важным этапом синтеза половых гормонов [3].

Гидроперекиси жирных кислот способны усиливать продукцию простагландинов. Свободные радикалы в свою очередь ответственны за развитие воспалительного процесса, их избыток приводит к повреждению ДНК клеток и появлению патологических процессов в тканях и органах. В местах наиболее активной перекисидации мембранных

фосфолипидов образуются каналы, обладающие пассивной проницаемостью, из-за чего через них свободно проникают ионы и вода [4]. В качестве продукта окисления липидов образуется малоновый диальдегид (МДА), концентрация которого находится в прямой взаимосвязи с уровнем ПОЛ. Данный продукт ПОЛ проявляет сильную цитотоксичность и свойства мутагена. Повреждение ДНК, белковых молекул и липопротеидов вызывается диеновыми конъюгатами – первичным продуктом перекисидации липидов. Конечный продукт ПОЛ – основания Шиффа также повреждают клеточные структуры и дестабилизируют мембраны, вызывая апоптоз клеток [5]. В организме реакции ПОЛ уравниваются ферментами, к которым относится супероксиддисмутаза (СОД), глутатионпероксидаза (ГПО), глутатионредуктаза (ГР), каталаза, церулоплазмин, и неферментными веществами-антиоксидантами: гормоны, пигменты.

2. Материалы и методы

Для написания обзорной статьи использовались научные труды, представленные в рецензируемых периодических научных изданиях и сборниках трудов научных конференций, семинаров и симпозиумов. В обзоре представлена характеристика перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты при возникновении наиболее часто встречающихся в скотоводстве воспалительных заболеваний.

3. Результаты исследования

Так, хроническое воспаление соединительной ткани голеностопного сустава у крупного рогатого скота протекает на фоне усиления свободнорадикального окисления, что подтверждается рядом исследований К.А. Надеина. О связи интенсивности ПОЛ с воспалением свидетельствует достоверное увеличение в сыворотке крови больных коров более чем в 2 раза основных метаболитов перекисидации: малонового диальдегида до $3,01 \pm 0,08$ мкмоль/л при $1,42 \pm 0,071$ мкмоль/л у здоровых и оснований Шиффа до $0,21 \pm 0,02$ усл.ед/мл при аналогичном показателе, равном $0,09 \pm 0,012$ усл.ед/мл у здоровых животных. Имеет место увеличение концентрации кетодиенов и диеновых конъюгатов, однако, оно выражено в меньшей степени [6]. Высокая интенсивность реакций перекисного окисления истощает ферментативное звено АОЗ. При воспалении соединительной ткани торсального сустава падает активность СОД в 2,2 раза: у клинически здоровых коров в плазме крови ее активность составляет $6,3 \pm 0,75$ усл. ед./мг Нв, у коров с патологией – $2,9 \pm 0,55$ усл. ед./мг Нв, активность глутатионредуктазы – в 2,1 раза: $209,5 \pm 30,7$ ммоль вост. глутатиона/л \times мин. против $100,1 \pm 19,5$ ммоль вост. глутатиона/л \times мин., церулоплазмينا – на 22,3%: $335,7 \pm 12,08$ мкмоль бензохинона/л \times мин. против $260,9 \pm 13,06$ мкмоль бензохинона/л \times мин [7]. Воспалительные процессы при наличии у коров гнойных ран в области торсального сустава сопровождаются еще более выраженным накоплением продуктов ПОЛ. При отсутствии лечения уровень МДА в плазме крови равен $5,28 \pm 0,06$ ммоль/л, шиффовых оснований – $0,46 \pm 0,04$ усл.ед/мл, кетодиенов – $0,83 \pm 0,009$ ед. оп. пл./мл, диеновых конъюгатов – $0,91 \pm 0,01$ ед. оп. пл./мл. В этом случае усиление процессов перекисного окисления становится дополнительным патофизиологическим фактором, вызывающим повреждение тканей торсального сустава [8].

Хронический ламинит, сопровождающийся деформацией копытец, их разрастанием и общим вялым состоянием животных, приводит к возрастанию концентрации МДА до $8,90 \pm 1,65$ ммоль/л против $6,32 \pm 0,11$ ммоль/л в крови у здоровых коров. Процесс вызывает ответный рост активности антиоксидантных ферментов: каталазы в 2,6 раза ($89,0 \pm 8,84$ против $34,69 \pm 4,97$ мккат/л у клинически здоровых животных) и церулоплазмينا в 1,7 раза ($5,29 \pm 0,4$ против $3,13 \pm 0,14$ моль/л). Однако, активность глутатионпероксидазы снижается на в 1,8 раза ($0,53 \pm 0,03$ против $0,97 \pm 0,09$ мкмоль/мл/год) [1].

Одним из определяющих факторов в патогенезе возникающих после отела воспалительных заболеваний половых органов и вымени также является оксидативный стресс. Он может усугублять функциональную недостаточность иммунной системы, снижая резистентность к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам, которые часто присутствуют в молочной железе и половых путях в норме. Исследованиями Сафонова В.А. и соавт., Пьянова Б.В., Конопельцева И.Г. и другими авторами подтверждена достаточно сильная интенсивность ПОЛ при послеродовых патологиях репродуктивной системы воспалительного характера у коров [9], [10], [11]. Как и при других воспалительных заболеваниях у животных устанавливается высокое накопление малонового диальдегида. Острый эндометрит у коров красно-пестрой породы сопровождается повышением концентрации МДА в крови на 76% ($1,76 \pm 0,4$ мкмоль/л при патологии против $1,00 \pm 0,05$ мкмоль/л при физиологическом течении послеродового периода). Происходит активация ферментативного звена АОЗ, увеличивается активность ГПО на 65,8% ($15,8 \pm 0,44$ против $9,4 \pm 0,32$ ммоль GSH/(л \times мин.)) ГР – на 14,6% ($336,2 \pm 9,06$ против $293,1 \pm 10,88$ мкмоль G-SS-G/(л \times мин.)), СОД – на 46,0% ($1,05 \pm 0,03$ против $0,72 \pm 0,03$ усл. ед./мг гемоглобина), каталазы – на 45,7% ($37,6 \pm 0,63$ против $25,9 \pm 0,57$ ммоль H₂O₂/(л \times мин.)). Авторы указывают, что недостаточный рост активности ГР в сравнении с ГПО вероятно горит о недостаточности функционального потенциала системы глутатиона и неспособности своевременного пополнения пула восстановленного глутатиона. У заболевших коров снижается резерв неферментативного звена АОЗ, выражающийся в снижении концентрации витамина Е на 35,5% [12]. Исследование В.Е. Высокогорского и соавт. показывает, что содержание шиффовых оснований в 2,1 раза больше в плазме крови коров, больных эндометритом, у них также более высокие уровни изопренолрастворимых кетодиенов, сопряженных триенов и шиффовых оснований в эритроцитах – на 34,7% и 50,6% соответственно, чем показатели клинически здоровых животных [13].

Оксидативным стрессом сопровождается острый гнойно-катаральный эндометрит в послеотельном периоде. Подтверждением служит высокий показатель общей прооксидантной активности сыворотки крови при данной патологии – $1,77 \pm 0,11$ усл. ед. против $0,97 \pm 0,02$ усл. ед. у здоровых животных и сниженный показатель антиоксидантной активности в 2,26 раза – $3,56 \pm 0,14$ усл. ед. против $8,05 \pm 0,38$ усл. ед. [14]. Показано, что активность

супероксиддисмутазы, определяемая в гемолизатах эритроцитов коров, больных острым эндометритом, не отличается от значения у здоровых коров, а при хроническом течении патологии снижена на 34,3%. В тех же пробах активность каталазы повышена при остром течении на 19,7%, при хроническом – напротив, снижена на 22,9%. Активность глутатионпероксидазы снижена при острой форме на 18,1%, при хронической – на 10,5%. Хроническое течение патологии сопровождается значительным уменьшением запасов восстановленного глутатиона: в сравнении с показателем здоровых коров – на 34,0%, больных в острой форме – на 55,1%. Как уже говорилось, снижение количества восстановленного глутатиона при воспалительном процессе в матке отягощает проявление оксидативного стресса [15].

Маститы – часто встречающиеся патологии вымени воспалительного характера. Считается, что увеличение силы воздействия неблагоприятных факторов на организм коров приводит к усилению свободнорадикальных процессов, накоплению токсичных продуктов ПОЛ, таким образом понижая резистентность животных и делая более восприимчивыми к воспалительным заболеваниям [16], [17], [18]. Субклиническая форма мастита провоцирует достоверное повышение в сыворотке крови метаболитов перекисидации липидов. Как отмечает Н.В. Ермакова при этом у коров концентрация малонового диальдегида находится на отметке $1,01 \pm 0,04$ мкмоль/л в сыворотке крови и $1,05 \pm 0,032$ мкмоль/л в молоке, что выше на 60,3% и 64,1% аналогичных показателей здоровых коров [19]. Г.Б. Серопян и соавт. указывают на концентрацию пероксидов липидов у коров со скрытым маститом, равную $6,12 \pm 0,08$ ммоль МДА/мг белка в плазме крови, и у здоровых животных равную $3,58 \pm 0,36$ ммоль МДА/мг белка. В эритроцитах тот же показатель у больных коров составляет $11,42 \pm 0,78$ и $8,1 \pm 0,4$ ммоль МДА/мг белка соответственно. Активность супероксиддисмутазы снижается на 38,3% ($20,73$ ед./мг белка у здоровых коров, $12,8 \pm 0,22$ ед./мг белка – у больных). Падение мощности ферментативного звена АОЗ усиливает накопление токсичных пероксидов жирных кислот и развитие патологии молочной железы [20]. Увеличение накопления продуктов ПОЛ при субклиническом мастите согласуется с данными Г.В. Собко и соавт., обнаружившими повышение в плазме крови заболевших коров уровень ТБК-активных продуктов на 9,57% более высокий, чем у здоровых. Активность ГП и резерв восстановленного глутатиона достоверно не отличались у больных и здоровых животных [21].

Развитие клинического мастита проходит на фоне выраженных изменений оксидантно-антиоксидантного статуса. Данные о содержании перекисей липидов в эритроцитах демонстрируют увеличение концентрации в 4,2 раза ($4,77 \pm 0,15$ ммоль/мг Нг у больных коров против $1,13 \pm 0,04$ ммоль/мг Нг у здоровых), которое сопровождается падением активности СОД в 2,2 раза ($1,86 \pm 0,13$ ед./мг Нб против $4,04 \pm 0,14$ ед./мг Нб) и каталазы в 1,4 раза ($1,47 \pm 0,13$ ед./мг Нб против $2,13 \pm 0,06$ ед./мг Нб) [22].

Для воспалительных процессов у крупного рогатого скота, не зависимо от их локализации, характерно повышение риска развития оксидативного стресса ввиду более активно протекающих реакций ПОЛ. На этом основании в дополнение к основному лечению противовоспалительными и антимикробными препаратами рекомендуется использование кормов и добавок, содержащих антиоксиданты, микроэлементы и витамины, формирующие резервы системы антиоксидантной защиты [23], [24].

Таким образом, общим для воспалительных заболеваний крупного рогатого скота становится усиление интенсивности реакций перекисного окисления липидов, которое приводит к накоплению его токсичных продуктов. В то же время ответная реакция системы антиоксидантной защиты во многом зависит от того, какие органы поражены воспалительным процессом, и от характера течения патологии.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Издепский А. В. Изменения некоторых показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты при хронических воспалительных процессах у крупного рогатого скота / А. В. Издепский // Вестник Донского государственного агроуниверситета. – 2016. – № 3-1(21). – С. 9-13.
2. Близначева Г. Н. Антиоксидантный статус беременных и бесплодных высокопродуктивных коров / Г. Н. Близначева, В. А. Сафонов, А. Г. Нежданов, М. И. Рецкий // Молочное и мясное скотоводство. – 2008. – № 7. – С. 39-40.
3. Нежданов А. Г. Гормональный и цитокиновый профиль крови молочных коров в ранний период гестации / А. Г. Нежданов, С. В. Шабунин, В. И. Михалев, Н. В. Пасько, В. А. Сафонов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 2. – С. 70-73.
4. Кожевников Ю. Н. О перекисном окислении липидов в норме и патологии / Ю. Н. Кожевников // Вопросы медицинской химии. – 1985. – № 5. – С. 2-6.
5. Filomeni G. Pro-apoptotic activity of novel Isatin-Schiff base copper (II) complexes depends on oxidative stress induction and organelle-selective damage / G. Filomeni, G. Cerchiaro, A. M. D. C. Ferreira, A. De Martino, J. Z. Pedersen, G. Rotilio, M. R. Ciriolo // Journal of Biological Chemistry. – 2015. – № 282 (16). – pp. 12010-12021.
6. Надеин К. А. Изменение показателей перекисного окисления липидов при хроническом воспалении соединительной ткани у коров / К. А. Надеин // Естественные науки. – 2012. – № 1 (38). – С. 144-147.
7. Надеин К. А. Антиоксидантная система защиты при хроническом воспалении соединительной ткани у коров / К. А. Надеин // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2012. – № 10 (3). – С. 53-54.
8. Надеин К. А. Влияние применения геля с трекрезаном при лечении гнойных ран на показатели перекисного окисления липидов / К. А. Надеин // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 159-162.

9. Нежданов А. Г. Изменение пероксидного и эндокринного статуса телок в процессе становления половой и физиологической зрелости / А. Г. Нежданов, М. И. Рецкий, В. А. Сафонов, Э. В. Братченко // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 3. – С. 69-70.
10. Пьянов Б. В. Процессы липопероксидации у коров при эндометритах / В. Б. Пьянов // Современные проблемы ветеринарной практики в АПК. Всероссийская научно-практическая интернет-конференция практикующих специалистов. – 2016. – С. 125-127.
11. Конопельцев И. Г. Эффективность комплексной озонотерапии при хроническом катарально-гнойном эндометрите у коров / И. Г. Конопельцев // Ветеринарный врач. – 2017. – № 2. – С. 43-48.
12. Сафонов В. Селемаг и гепатопротектор в профилактике послеродовых осложнений у коров / В. Сафонов, Е. Шишкина // Молочное и мясное скотоводство. – 2011. – № 5. – С. 25-26.
13. Высокогорский В. Е. Peroксидация липидов и окислительная модификация белков молока и крови коров, больных послеродовым эндометритом / В. Е. Высокогорский, Т. Д. Воронцова, Н. А. Погорелова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3. – С. 81-85.
14. Горб Н. Н. Про- и антиоксидантный статус у коров с послеродовым гнойно-катаральным эндометритом / Н. Н. Горб, Ю. Г. Попов // Ветеринарная патология. – 2012. – № 1. – С. 15-18.
15. Погорелова Н. А. Активность ферментов антиокислительной системы крови и молока коров при эндометрите / Н. А. Погорелова, В. Е. Высокогорский // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 4(24). – С. 71-75.
16. Барабой В. А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов / В. А. Барабой // Успехи современной биологии. – 1991. – № 111 (5). – С. 922-930.
17. Лаушкина Н. Н. Использование антиоксиданта эмицидина в комплексном лечении коров больных серозным маститом / Н. Н. Лаушкина, С. А. Скребнев, К. С. Скребнева // Химическая кинетика и цепные реакции: теория и практика. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, к 125-летию со дня рождения академика Н.Н. Семёнова. – Орел, 2020. – С. 54-57.
18. Рецкий М. И. Влияние дисбаланса активных форм кислорода и азота на развитие послеродовых осложнений у коров / М. И. Рецкий, Г. Н. Блинецова, А. Г. Нежданов, В. А. Сафонов, И. Ю. Венцова // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2011. – Т. 47. – № 2-2. – С. 102-104.
19. Ермакова Н. В. Процессы перекисного окисления липидов у коров, больных маститом / Н. В. Ермакова // Вестник научных конференций. – 2016. – № 4-4 (8). – С. 34-35.
20. Серопян Г. Б. Особенности липидного обмена у коров при мастите / Г. Б. Серопян, Ж. С. Мелконян, В. В. Хочанян, А. В. Сиреканян // Российский ветеринарный журнал. – 2007. – Спецвыпуск. – С. 29-30.
21. Собко Г. В. Влияние препарата «Антимаст» на состояние системы антиоксидантной защиты организма коров, больных субклинической формой мастита / Г. В. Собко, Н. А. Брода, О. И. Вишур, Б. М. Куртяк // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. – 2016. – Т. 18. – № 1(65). Ч. 1. – С. 159-163.
22. Mahapatra A. A study on bovine mastitis related oxidative stress along with therapeutic regimen / A. Mahapatra, S. Panigrahi, R. C. Patra, M. Rout, S. Ganguly // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 7. – №. 1. – pp. 247-256.
23. Сафонов В. А. Состояние неферментативного звена антиоксидантной защиты у коров при разном содержании в крови селена / В. А. Сафонов // В сборнике: Актуальные проблемы болезней обмена веществ у сельскохозяйственных животных в современных условиях. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ГНУ ВНИВИПФиТ. – 2010. – С. 202-204.
24. Ventsova I. The role of oxidative stress during pregnancy on obstetric pathology development in high-yielding dairy cows / I. Ventsova, V. Safonov // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2021. – Vol. 16. – No. 1. – pp. 7-14.

References in English

1. Izdepskiy A. V. Izmeneniya nekotorykh pokazateley perekisnogo okisleniya lipidov i antioksidantnoy zashchity pri khronicheskikh vospalitel'nykh protsessakh krupnogo rogatogo skota [Changes in some parameters of lipid peroxidation and antioxidant protection in large bovine cattle with inflammatory processes] / A. V. Izdepskiy // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrouniversiteta [Journal of Donskoy State Agrarian University]. – 2016. – № 3-1 (21). – P. 9-13. [in Russian]
2. Bliznetsova G. N. Antioksidantnyy status beremennykh i besplodnykh vysokoproduktivnykh korov [Antioxidant status of pregnant and infertile highly productive cows] / G. N. Bliznetsova, V. A. Safonov, A. G. Nezhdanov, M. I. Retskiy // Molochnoye i myasnoye skotovodstvo [Milk and Meat Production]. – 2008. – № 7. – P. 39-40. [in Russian]
3. Nezhdanov A. G. Gormonal'nyy i tsitokinovyy profil' krovi molochnykh korov v ranniy period gestatsii / A. G. Nezhdanov, S. V. Shabunin, V. I. Mikhalev, N. V. Pas'ko, V. A. Safonov // Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka. – 2020. № 2. – P. 70-73. [in Russian]
4. Kozhevnikov Yu. N. O perekisnom okislenii lipidov v norme i patologii [Lipid peroxidation in normal and pathological conditions] / Yu. N. Kozhevnikov // Voprosy meditsinskoy khimii [Issues of Medical Chemistry]. – 1985. – № 5. – P. 2-6. [in Russian]
5. Filomeni G. Pro-apoptotic activity of novel Isatin-Schiff base copper (II) complexes depends on oxidative stress induction and organelle-selective damage / G. Filomeni, G. Cerchiaro, A. M. D. C. Ferreira, A. De Martino, J. Z. Pedersen, G. Rotilio, M. R. Ciriolo // Journal of Biological Chemistry. – 2015. – № 282 (16). – pp. 12010-12021.
6. Nadein K. A. Izmeneniye pokazateley perekisnogo okisleniya pri khronicheskom vospalenii soyedinitel'noy tkani u korov [Changes in the parameters of lipid peroxidation in cows with chronic inflammation of connective tissue] / K. A. Nadein // Yestestvennyye nauki [Issues of KrasSAU]. – 2012. – № 1 (38). – P. 144-147. [in Russian]

7. Nadein K. A. Antioksidantnaya sistema zashchity pri vospalenii soyedinitel'noy tkani u korov [Antioxidant protection of cows in chronic inflammation of the connective tissue] / K. A. Nadein // *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii* [Reviews on Clinical Pharmacology and Pharmaceutical Therapy]. – 2012. – № 10 (3). – P. 53-54. [in Russian]
8. Nadein K. A. Vliyaniye primeneniya gelya s trekrezanom pri lechenii gnoynnykh ran na pokazateli perekisnogo okisleniya lipidov [The influence of the application of trekran gel in the treatment of purulent wounds on the parameters of lipid peroxidation] / K. A. Nadein // *Vestnik KrasGAU* [Issues of KrasSAU]. – 2015. – № 1. – P. 159-162. [in Russian]
9. Nezhdanov A. G. Izmeneniye peroksidnogo i endokrinnoogo statusa telok v protsesse stanovleniya polovoy i fiziologicheskoy zrelosti [Changes in peroxide and endocrine status of heifers during sexual and physiological maturation] / A. G. Nezhdanov, M. I. Retskiy, V. A. Safonov, E. V. Bratchenko // *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Journal of Russian Academy of Agricultural Sciences]. – 2012. – № 3. – P. 69-70. [in Russian]
10. P'yanov B. V. Protssy lipoperoksidatsii u korov pri endometritakh [Processes of lipoperoxidation in cows with endometritis. Modern issues of veterinary practice in agricultural production complex] / V. B. P'yanov // *Sovremennyye problemy veterinarnoy praktiki v APK. Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya internet-konferentsiya praktikuyushchikh spetsialistov* [Modern issues of veterinary practice in agricultural production complex. All-Russian Scientific-Practical Internet Conference of Practicing Specialists]. Modern issues of veterinary practice in agricultural production complex. All-Russian Scientific-Practical Internet Conference of Practicing Specialists – 2016. – P. 125-127. [in Russian]
11. Konopel'tsev I. G. Effektivnost' kompleksnoy ozonoterapii pri khronicheskom kataral'no-gnoynom endometrite u korov [Effectiveness of complex ozone therapy in cows with chronic catarrhal-purulent endometritis] / I. G. Konopel'tsev // *Veterinarnyy vrach* [Veterinary Doctor]. – 2017. – № 2. – P. 43-48. [in Russian]
12. Safonov V. Selemag i gepatoprotektor v profilaktike poslerodovykh oslozhneniy u korov [Selemag and hepatoprotector in the prevention of postpartum complications in cows] / V. Safonov, E. Shishkina // *Molochnoye i myasnoye skotovodstvo* [Milk and Meat Cattle Breeding]. – 2011. – № 5. – P. 25-26. [in Russian]
13. Vysokogorskiy V. E. Peroksidatsiya lipidov okislitel'naya modifikatsiya belkov moloka i krovi korov, bol'nykh poslerodovym endometritom [Lipid peroxidation and oxidative modification of milk and blood in cows with postpartum endometritis] / V. E. Vysokogorskiy, T. D. Vorontsova, N. A. Pogorelova // *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental Studies]. – 2014. – № 3. – S. 81-85. [in Russian]
14. Gorb. N. N. Pro- i antioksidantnyy status u korov s poslerodovym gnoyno-kataral'nym endometritom [Pro and antioxidant status in cows with postpartum purulent-catarrhal endometritis] / N. N. Gorb, Yu. G. Popov // *Veterinarnaya patologiya* [Veterinary Pathology]. – 2012. – № 1. – P. 15-18. [in Russian]
15. Pogorelova N. A. Aktivnost' fermentov antioksiditel'noy sistemy i moloka korov pri endometrite [Activity of enzymes of antioxidant system of blood and milk in cows with endometritis] / N. A. Pogorelova, V. E. Vysokogorskiy // *Vestnik APK Stavropol'ya* [Journal of Agricultural Production Complex in Stavropol]. – 2016. – № 4 (24). – P. 71-75. [in Russian]
16. Baraboy V. A. Mekhanizmy stressa i perekisnoye okisleniye lipidov [Mechanism of stress and lipid peroxidation] / V. A. Baraboy // *Uspekhi sovremennoy biologii* [Achievements in Modern Biology]. – 1991. – № 111 (5). – P. 922-930. [in Russian]
17. Laushkina N. N. Ispol'zovaniye antioksidanta emitsidina v kompleksnom lechenii korov bol'nykh seroznym mastitom [The application of antioxidant emicidine in the complex therapy for the treatment of cows with serous mastitis] / N. N. Laushkina, S. A. Skrebnev, K. S. Skrebneva // *Khimicheskaya kinetika i tsepnyye reaktsii: teoriya i praktika. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, k 125-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.N. Semonova* [Chemical kinetics and chain reactions: theory and practice. Materials of the all-Russian scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of academician N.N. Semenov]. – Orel, 2020. – P. 54-57. [in Russian]
18. Retskiy M. I. Vliyaniye disbalansa aktivnykh form kisloroda i azota na razvitiye poslerodovykh oslozhneniy u korov [The influence of the disbalance of active forms of oxygen and nitrogen on the development of postpartum complications in cows] / M. I. Retskiy, G. N. Bliznetsova, A. G. Nezhdanov, V. A. Safonov, I. Yu. Ventsova // *Uchenyye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny* [Scientific Notes of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine]. – 2011. – № 47 (2-2). – P. 102-104. [in Russian]
19. Ermakova N. V. Protssy perekisnogo okisleniya lipidov u korov, bol'nykh mastitom [Processes of lipid oxidation in cows with mastitis] / N. V. Ermakova // *Vestnik nauchnykh konferentsiy* [Journal of Scientific Conferences]. – 2016. – № 4-4 (8). – P. 34-35. [in Russian]
20. Seropyan G. B. Osobennosti lipidnogo obmena u korov pri mastite [Peculiarities of lipid metabolism in cows with mastitis] / G. B. Seropyan, Zh. S. Melkonyan, V. V. Khotsanyan, A. V. Sirekanyan // *Rossiyskiy veterinarnyy zhurnal* [Russian Veterinary Journal]. – 2007. – Spetsvypusk [Special edition]. – P. 29-30. [in Russian]
21. Sobko G. V. Vliyaniye preparata «Antimast» na sostoyaniye sistemy antioksidantnoy organizma korov, bol'nykh subklinicheskoy formoy mastita [The influence of “Antimast” on the condition of antioxidant system of protection in cows with a subclinical form of mastitis] / G. V. Sobko, N. A. Broda, O. I. Vishchur, B. M. Kurtyak // *Naukoviy visnik LNUVMBT imeni S.Z. Gzhits'kogo* [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies]. – 2016. – Vol. 18. – № 1 (65). part. 1. – P. 159-163. [in Ukrainian]
22. Mahapatra A. A study on bovine mastitis related oxidative stress along with therapeutic regimen / A. Mahapatra, S. Panigrahi, R. C. Patra, M. Rout, S. Ganguly // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – № 7 (1). – pp. 247-256.
23. Safonov V. A. Sostoyaniye nefermentativnogo zvena antioksidantnoy zashchity u korov pri raznom sodержanii v krovi selena [Condition of non-enzymatic link o the antioxidant protection in cows with various content of selenium in the blood] / V. A. Safonov // *V sbornike: Aktual'nyye problemy bolezney obmena veshchestv u sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh v sovremennykh usloviyakh. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu GNU VNIVIPFiT* [The collection of works: Acute issues of metabolic diseases in agricultural animals in modern conditions. Materials

of the International scientific and practical conference dedicated to the 40th anniversary of All-Russian Research and Scientific Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology, and Therapy]. – 2010. – P. 202-204. [in Russian]

24. Ventsova I. The role of oxidative stress during pregnancy on obstetric pathology development in high-yielding dairy cows / I. Ventsova, V. Safonov // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2021. – № 16 (1). – pp. 7-14.