

УДК 599.735.51:577.115

**И. В. Котович<sup>1</sup>, О. П. Позывайло<sup>2</sup>, В. П. Баран<sup>3</sup>, Т. М. Ярошевич<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биолого-химического образования, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина», г. Мозырь, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Кандидат ветеринарных наук, доцент, декан технолого-биологического факультета, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина», г. Мозырь, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, УО «Витебская ордена “Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>4</sup>Магистр биологических наук

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРОКСИДНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ КРОВИ КОРОВ-ПЕРВОТЕЛОК В ЛАКТАЦИОННЫЙ И СУХОСТОЙНЫЙ ПЕРИОДЫ**

*Проведенные исследования по определению показателей пероксидного окисления липидов и антиоксидантной системы и их динамики в течение лактационного и в сухостойный периоды в крови коров-первотелок ГСХУ «Мозырская сортоиспытательная станция» Мозырского района Гомельской области показали, что между данными системами отмечался разновекторный характер изменений. К середине лактационного периода отмечается повышение уровня первичных (диеновых конъюгатов), вторичных (кетодиенов и триенкетонов) и конечных (оснований Шиффа) продуктов ПОЛ. На фоне дисбаланса между содержанием меди, железа, кобальта и гемоглобина выявлен низкий уровень антиоксидантов в сыворотке крови исследованных животных, который свидетельствует о слабой активности АОС в течение лактационного и в сухостойный периоды.*

*Ключевые слова: диеновые конъюгаты, кетодиены, триенкетоны, ТБК-активные продукты, основания Шиффа, церулоплазмин, аскорбиновая кислота, гемоглобин, железо, кобальт, медь, сыворотка крови, коровы-первотелки.*

#### **Введение**

Одной из приоритетных задач, стоящих перед агропромышленным комплексом Республики Беларусь, является максимальная реализация потенциала продуктивности сельскохозяйственных животных [1]. Повышение продуктивности в животноводстве возможно только на основе глубоких знаний взаимоотношений организма с окружающей средой и внедрения в производство биологически обоснованной системы содержания и кормления животных, обеспечивающей интенсификацию отрасли с применением передовых технологических процессов [2].

В настоящее время доказано, что процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) являются одной из важнейших сторон метаболизма и играют существенную роль в обеспечении процессов жизнедеятельности животных [3]. Стационарный уровень интенсивности перекисного окисления липидов характерен для всех нормальных клеток и тканей и является одним из основных биологических инструментов модификации свойств биомембран и мембранозависимых процессов. С одной стороны, интенсивность этого класса биохимических реакций в организме определяется деятельностью систем, генерирующих свободные радикалы и, прежде всего, активные формы кислорода, а, с другой, многоуровневой системой антиоксидантной защиты [4]–[6].

Будучи универсальным неспецифическим механизмом, перекисное окисление липидов и антиоксидантная система контролируют состояние клеточных мембран как в норме, так и при патологических состояниях. Равновесие этих систем обеспечивает нормальную проницаемость мембран и ионный транспорт, регулирует биоэнергетические реакции митохондрий, а также оказывает влияние на естественную репарацию клеточных мембран животных [7].

В организме в результате окислительно-восстановительных реакций постоянно происходит генерация активных форм кислорода (АФК), которые обладают высокой реакционной способностью, вызывая, в частности, окислительную модификацию биополимеров, таких как белки, липиды, нуклеиновые кислоты и углеводы [8]. Радикалы кислорода, несмотря на свою реакционность и потенциальную токсичность, в малых концентрациях являются нормальными метаболитами множества биохимических реакций в клетке. В физиологических условиях свободнорадикальные реакции протекают на низком уровне. Процессы, протекающие с участием радикалов кислорода,

свидетельствуют о важной роли этих соединений в поддержании гомеостаза, формировании резистентности организма против инфекций, обеспечении регенерации тканей и органов. Если процесс генерации АФК усиливается, это может явиться и является пусковым фактором развития целого перечня разнообразных патологических процессов [9]–[11].

Адекватность защиты от избыточного образования активных форм кислорода обеспечивается согласованностью действий всех звеньев антиоксидантной системы (АОС), а каждый ее компонент функционирует в строго очерченных границах на различных этапах свободнорадикального окисления липидов [12]. Многочисленные исследования подтверждают важную роль дисбаланса в цепи «перекисное окисление липидов – антиоксидантная система» на различных этапах развития организма животных. Сбой в согласованности работы этих систем ведет к неконтролируемой активации и накоплению в организме токсических продуктов ПОЛ, которые подавляют клеточные механизмы энергообеспечения, ингибируют большое число мембранозависимых ферментов, биосинтез белка и нуклеиновых кислот, нарушают процессы клеточного деления, дифференцировки, проницаемости, транспорта веществ через мембраны и т. д. Поэтому повреждающему действию перекисного окисления липидов препятствует именно многокомпонентная антиоксидантная система, которая обеспечивает связывание радикалов, предупреждает образование или инактивирует перекиси [5], [6], [9], [12].

В таких условиях одной из наиболее актуальных задач является объективный мониторинг метаболического статуса организма крупного рогатого скота на разных этапах его развития. Определенный теоретический и практический интерес представляет исследование системы ПОЛ-АОС для определения референтных величин, характеризующих состояние организма лактирующих коров разной продуктивности. Благодаря этому возможно своевременное выявление нарушения протекания обменных процессов, проведение необходимых лечебных и профилактических мероприятий, а также корректировка кормления и содержания животных в различные периоды их промышленной эксплуатации [7].

*Целью работы* явилось исследование показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы сыворотки крови у коров-первотелок в течение лактационного и в сухостойный периоды и их сравнительная оценка.

**Методы исследования.** Работа проведена на базе молочного комплекса государственного сельскохозяйственного учреждения «Мозырская сортоиспытательная станция» Мозырского района Гомельской области (д. Прудок). При выполнении работы изучались показатели прооксидантного статуса коров-первотелок на 5–6-м месяцах лактации и в сухостойном периоде, а неферментативного звена антиоксидантной системы – в сухостойный период. Полученные результаты сравнивались с исследованными ранее показателями прооксидантно-антиоксидантной системы крови коров [13], [14].

Для этого в начальный период лактации в ГСХУ «Мозырская сортоиспытательная станция» комплекс-600 было отобрано по 10 коров-первотелок черно-пестрой породы живой массой 480–500 кг и суточным удоем 14–18 кг молока. Животные находились в одной секции с беспривязным содержанием. Кровь от животных брали из яремной вены утром до кормления в стерильные пробирки с соблюдением правил асептики и антисептики.

В сыворотке крови определяли уровень общих липидов, показатели прооксидантной системы – уровень диеновых конъюгатов, кетодиенов, триенкетонов, ТБК-активных продуктов, оснований Шиффа и неферментативного звена антиоксидантной системы – содержание аскорбиновой кислоты и активность церулоплазмينا.

Для более полной характеристики состояния перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы первотелок исследовали уровень гемоглобина, меди и кобальта в цельной крови, железа – в сыворотке крови.

Продукты перекисного окисления липидов в сыворотке крови экстрагировали гептан-изопропанольной смесью (соотношение 2:1). Оптическую плотность гептанового экстракта регистрировали на спектрофотометре РВ 2201 (Республика Беларусь). Показания абсорбции при 232 нм ( $A_{232}$ ) соответствовали содержанию диеновых конъюгатов, при 278 нм ( $A_{278}$ ) – суммарному уровню кетодиенов и триенкетонов, а при 400 нм ( $A_{400}$ ) – содержанию оснований Шиффа [11], [15]. Уровень ТБК-активных продуктов определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой. Оптическую плотность буганольного экстракта регистрировали при 535 нм (специфическое поглощение) и при 580 нм (неспецифическое поглощение) [16].

Значения абсорбции  $A_{232}$ ,  $A_{278}$  и  $A_{400}$  рассчитывали на мл сыворотки крови и на мг липидов сыворотки крови, а содержание ТБК-активных продуктов – на л сыворотки и на мг липидов. Содержание общих липидов в сыворотке крови определяли с использованием набора НТПК «Анализ-Х».

Показатели АОС определяли с использованием фотометрического метода: активность церулоплазмينا (ферроксидаза; КФ 1.16.3.1) по реакции окисления парафенилендиамина, а содержание аскорбиновой кислоты – по реакции с  $\alpha, \alpha'$ -дипиридиллом [17].

Концентрацию гемоглобина в цельной крови определяли гемиглобинцианидным методом с использованием набора НТПК «Анализ-Х», железа – фотометрическим методом (по образованию комплекса  $Fe^{2+}$  с хромогеном) с применением набора «Витал Диагностикс СПб», а кобальта и меди – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Nova 300.

Обработка экспериментальных данных осуществлена с использованием пакета статистического анализа для «MSExcel».

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ проведенных нами исследований показал (таблица 1), что содержание диеновых конъюгатов, являющихся первичными продуктами ПОЛ, в сыворотке крови коров-первотелок на начальном этапе лактации незначительно превышает верхнюю границу нормативных критериев.

Таблица 1. – Показатели пероксидного окисления липидов сыворотки крови коров-первотелок на разных этапах лактационного и в сухостойный периоды

| Исследованные показатели        | Min–Max     | M±m           | Норма       |
|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| <i>2–3-й месяц лактации</i>     |             |               |             |
| ОЛ, г/л сыворотки               | 2,850–7,010 | 3,806 ± 0,384 | 2,80–6,00   |
| ДК, $A_{232}$ /мл сыворотки     | 0,990–1,550 | 1,193 ± 0,049 | –           |
| ДК, $A_{232}$ /мг липидов       | 0,152–0,417 | 0,332 ± 0,024 | 0,100–0,300 |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мл сыворотки | 0,110–0,410 | 0,208 ± 0,026 | –           |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мг липидов   | 0,037–0,100 | 0,058 ± 0,007 | 0,050–0,100 |
| ТБК-АП, мкмоль/л                | 2,440–9,960 | 6,690 ± 0,700 | 0,25–1,00   |
| ТБК-АП, мкмоль/мг липидов       | 0,680–3,210 | 1,850 ± 0,230 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ /мл сыворотки     | 0,050–0,335 | 0,136 ± 0,025 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ / мг липидов      | 0,017–0,082 | 0,037 ± 0,006 | –           |
| <i>5–6-й месяц лактации</i>     |             |               |             |
| ОЛ, г/л сыворотки               | 2,840–7,240 | 4,904 ± 0,516 | 2,80–6,00   |
| ДК, $A_{232}$ /мл сыворотки     | 1,200–2,550 | 1,840 ± 0,133 | –           |
| ДК, $A_{232}$ /мг липидов       | 0,166–0,555 | 0,410 ± 0,042 | 0,100–0,300 |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мл сыворотки | 0,210–1,005 | 0,493 ± 0,087 | –           |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мг липидов   | 0,040–0,242 | 0,116 ± 0,019 | 0,050–0,100 |
| ТБК-АП, мкмоль/л                | 2,070–5,830 | 3,554 ± 0,439 | 0,25–1,00   |
| ТБК-АП, мкмоль/мг липидов       | 0,340–1,940 | 0,924 ± 0,183 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ /мл сыворотки     | 0,160–0,465 | 0,249 ± 0,029 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ / мг липидов      | 0,026–0,118 | 0,058 ± 0,010 | –           |
| <i>Сухостойный период</i>       |             |               |             |
| ОЛ, г/л сыворотки               | 3,510–8,790 | 5,542 ± 0,466 | 2,80–6,00   |
| ДК, $A_{232}$ /мл сыворотки     | 1,360–2,235 | 1,818 ± 0,146 | –           |
| ДК, $A_{232}$ /мг липидов       | 0,183–0,545 | 0,347 ± 0,037 | 0,100–0,300 |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мл сыворотки | 0,205–1,000 | 0,539 ± 0,080 | –           |
| КД+ТК, $A_{278}$ / мг липидов   | 0,035–0,192 | 0,102 ± 0,016 | 0,050–0,100 |
| ТБК-АП, мкмоль/л                | 2,26–7,33   | 4,324 ± 0,460 | 0,25–1,00   |
| ТБК-АП, мкмоль/мг липидов       | 0,41–1,70   | 0,821 ± 0,115 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ /мл сыворотки     | 0,155–0,470 | 0,256 ± 0,034 | –           |
| ОШ, $A_{400}$ / мг липидов      | 0,026–0,090 | 0,048 ± 0,007 | –           |

На 5–6-м месяце лактации практически у всех первотелок (80 %) содержание ДК превышало норму (0,100–0,300 ед. опт. пл. / мг липидов) и по отношению к начальному периоду лактации увеличилось на 23,49 % ( $P > 0,05$ ) [10], [17]. В сухостойный период данный показатель соответствовал физиологической норме только у 40 % исследованных животных. В сравнении с 5–6-м месяцем лактации он снизился на 15,37 %, по отношению к началу лактации незначительно повысился (на 4,52 %). Однако данные изменения являлись недостоверными. Также отмечалась высокая вариабельность содержания ДК в сыворотке крови первотелок в течение лактационного периода ( $C_v = 32–33$  %).

Суммарный уровень кетодиенов и триенкетонов (вторичные продукты ПОЛ) в сыворотке крови на 2–3-м месяце лактации не превысил нормативных критериев, а в середине лактации и в сухо-

стойный период оказался незначительно выше нормы. Необходимо также отметить, что данный показатель на 5–6-м месяце лактации увеличился по отношению к начальному периоду исследований в 2 раза ( $P < 0,01$ ). Это свидетельствует об усилении процессов свободнорадикального окисления и накоплении вторичных продуктов липопероксидации к середине лактации, когда уровень молочной продуктивности достигает максимума. Повышение интенсивности ПОЛ в определенной степени может быть связано с избыточным количеством жиров и органических кислот в рационе, так как ненасыщенные жирные кислоты фосфолипидов клеточных мембран являются субстратами для активных форм кислорода.

В сухостойный период содержание кетодиенов и триенкетонов за счет более высокого уровня общих липидов в сыворотке крови снизилось на 12,07 % ( $P > 0,05$ ) по сравнению с серединой лактации [10], [17]. Отмечался высокий уровень вариабельности значений по содержанию кетодиенов и триенкетонов в сыворотке крови исследованных коров на 5–6-м месяце лактации ( $C_V = 50\%$ ) и в сухостойный период ( $C_V = 55\%$ ).

Уровень ТБК-активных продуктов (вторичные продукты ПОЛ), основным компонентом которых является малоновый диальдегид, на протяжении лактации у всех исследованных коров оказался значительно выше нормативных показателей (0,25–1,00 мкмоль/л) и имел волнообразный характер изменения. Так, к середине лактации содержание ТБК-АП в расчете на л сыворотки крови снизилось на 46,88 % ( $P < 0,01$ ) по отношению к начальному периоду исследований, а в сухостойный период имело место увеличение указанного показателя (на 21,67 %,  $P > 0,05$ ). В то же время при расчете на мг липидов имеет место снижение уровня ТБК-АП как к середине лактации (на 50,05 %,  $P < 0,01$ ), так и к сухостойному периоду (на 11,15 %,  $P > 0,05$ ).

Основания Шиффа представляют собой конечные продукты ПОЛ. Они обладают высокой реакционной способностью и токсичностью. Увеличение их уровня в организме указывает на изменения в структуре клеточных мембран, связанные с образованием полимерных сшивок белков, а также с нарушением функционирования ферментов и других биомолекул [11], [17]. В то же время необходимо отметить, что в литературе не указаны нормативы по данному показателю для крупного рогатого скота с использованием спектрофотометрических методов. Учитывая тот факт, что мы исследовали клинически здоровых животных, полученные нами результаты можно использовать в качестве ориентировочных для оценки состояния ПОЛ у коров-первотелок.

Изменение содержания оснований Шиффа как конечных продуктов ПОЛ в течение лактации имело волнообразную картину и по тенденции изменения сходную с динамикой диенкетонов, кетодиенов и триенкетонов. Так, к середине лактации зарегистрировано увеличение содержания ОШ (более существенное в расчете на мл сыворотки – 83,09 %,  $P < 0,01$ ). К сухостойному периоду за счет повышения содержания общих липидов наблюдается снижение уровня ОШ (на 17,24 %,  $P > 0,05$ ).

Для более полной характеристики состояния пероксидного окисления липидов и антиоксидантной системы первотелок исследовали уровень гемоглобина, меди, железа и кобальта (таблица 2).

Таблица 2. – Содержание гемоглобина, железа, кобальта, меди и показатели антиоксидантной системы крови коров-первотелок на разных этапах лактационного периода

| Исследованные показатели    | Min–Max       | M±m             | Норма         |
|-----------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| <i>2–3-й месяц лактации</i> |               |                 |               |
| Медь, мкмоль/л              | 10,79–20,83   | 16,30±1,15      | 14,17–17,31   |
| Железо, мкмоль/л            | 9,60–103,20   | 41,04±10,84     | 17,85–28,57   |
| Кобальт, нмоль/л            | 223,73–955,93 | 544,07±72,88    | 510,00–850,00 |
| Гемоглобин, г/л             | 108,00–179,00 | 144,89±8,10     | 99,00–129,00  |
| ЦП, мкмоль/л                | 33,88–99,53   | 74,48±6,67      | 150,00–550,00 |
| АК, мкмоль/л                | 7,85–36,49    | 23,68±2,88      | 34,09–85,23   |
| <i>5–6-й месяц лактации</i> |               |                 |               |
| Медь, мкмоль/л              | 15,44–19,04   | 17,22±0,41      | 12,50–18,75   |
| Железо, мкмоль/л            | 27,27–114,55  | 61,09±7,53      | 17,85–28,57   |
| Кобальт, нмоль/л            | 657,12–909,32 | 770,97±27,81**  | 510,00–850,00 |
| Гемоглобин, г/л             | 84,32–191,72  | 145,81±9,94     | 99,00–129,00  |
| ЦП, мкмоль/л                | 56,47–89,65   | 67,06±3,85      | 150,00–550,00 |
| <i>Сухостойный период</i>   |               |                 |               |
| Медь, мкмоль/л              | 10,99–19,93   | 14,37±0,75      | 14,17–17,31   |
| Железо, мкмоль/л            | 16,80–79,20   | 46,57±6,02      | 17,85–28,57   |
| Кобальт, нмоль/л            | 256,05–392,76 | 328,37±16,89*** | 510,00–850,00 |
| Гемоглобин, г/л             | 116,00–185,94 | 142,61±7,29     | 99,00–129,00  |

Продолжение таблицы 2

|   |             |               |               |
|---|-------------|---------------|---------------|
| ЦП, мкмоль/л  | 6,35–14,82  | 10,45±1,10*** | 150,00–550,00 |
| АК, мкмоль/л  | 10,99–39,43 | 27,41±3,20    | 34,09–85,23   |
| **P < 0,01 по отношению к начальному периоду лактации;<br>***P < 0,001 по отношению к 5–6-му месяцу лактации. |             |               |               |

Примечание – Содержание гемоглобина и кобальта приведено в цельной крови, остальных показателей – в сыворотке крови.

Железо, кобальт и медь являются компонентами ряда ферментов и необходимы для процессов жизнедеятельности организма (кроветворение, окислительное фосфорилирование и др.). В то же время ионы  $Fe^{2+}$  и  $Cu^{+}$  могут вовлекаться в процессы ПОЛ. Вступая с пероксидом водорода в реакцию Фентона, они являются источниками наиболее реакционной из активных форм кислорода – радикала  $OH^{\bullet}$ , что приводит к нарушениям в функционировании клеточных структур и к их гибели [18].

Проведенные нами исследования показали, что уровень железа в сыворотке крови первотелок в начале лактации имел очень высокую вариабельность ( $C_v = 84\%$ ) и, в целом, превышал нормативные величины [17]. На 5–6-м месяце лактации концентрация железа увеличилась на 48,85% ( $P > 0,05$ ) по отношению к начальному периоду лактации и практически у всех исследованных первотелок (90%) была выше необходимой нормы и имела большую вариабельность ( $C_v = 39\%$ ). Уровень железа в сухостойный период в сыворотке крови исследованных животных по отношению к начальному периоду лактации увеличился на 13,47% ( $P > 0,05$ ), а в отношении 5–6-го месяца лактации – снизился на 23,77% ( $P > 0,05$ ). При этом в данный период концентрация железа в сыворотке крови коров была выше физиологической нормы в 2,6 раза [17]. Высокое содержание данного элемента в первую очередь может оказывать токсическое действие на печень и селезенку, а также приводит к подавлению многих функций иммунитета, особенно клеточного [19]. Данная проблема осложняется еще и тем, что ионы железа являются индуктором ПОЛ, а следовательно, стимулируют возникновение свободных радикалов, которые могут вызвать повреждения ДНК и даже гибель клеток. Поэтому особенно опасны высокие дозы железа на фоне стрессовых ситуаций и дефицита антиоксидантов [10].

Анализ содержания меди в крови коров-первотелок показал, что он в среднем соответствовал нормативным величинам на протяжении всего срока исследования.

Уровень кобальта в крови первотелок имел большую вариабельность ( $C_v = 32\%$ ) и был, в целом, близок к нижней границе нормы. При этом у 40% исследованных первотелок были зарегистрированы низкие значения [17]. На 5–6-м месяце лактации содержание кобальта в цельной крови соответствовало физиологической норме и по отношению к начальному периоду исследований увеличилось на 41,70% ( $P < 0,01$ ). В сухостойный период содержание кобальта в цельной крови находилось ниже нормативных критериев у 100% коров. При этом уровень данного микроэлемента в крови снизился по отношению к начальному периоду исследований на 39,61% ( $P < 0,01$ ), а по отношению к 5–6-му месяцу лактации – на 57,41% ( $P < 0,001$ ).

На фоне высокого уровня железа в сыворотке крови первотелок отмечалось повышенное содержание гемоглобина в цельной крови на протяжении всего срока исследований. Высокие уровни гемоглобина и железа создают предпосылки для интенсификации окислительных процессов в клетке и усиления ПОЛ.

Для поддержания в организме животных физиологического гомеостаза и нормального функционирования органов и тканей необходим баланс между функционированием прооксидантной и антиоксидантной систем. Переход биологической системы на более напряженный уровень деятельности сопряжен с повышенной потребностью в веществах, обладающих антиоксидантной активностью. Одним из основных антиоксидантов плазмы крови является белок церулоплазмин. Он нейтрализует радикалы  $O_2^{\bullet-}$ , связывает ионы  $Fe^{2+}$  и  $Cu^{+}$ , обладая ферроксидазным и купроксидазным свойствами, проявляя таким образом специфическую и неспецифическую антиоксидантную активность [10], [18], [20].

На фоне дисбаланса между содержанием меди, железа, кобальта и гемоглобина выявлен низкий уровень антиоксидантов в сыворотке крови коров-первотелок на протяжении всего срока исследований. Так, активность церулоплазмينا в сыворотке крови коров-первотелок на 5–6-м месяце лактации оказалась ниже физиологической нормы в 2,24 раза, а содержание аскорбиновой кислоты – в 1,34 раза. При этом по отношению к начальному периоду исследований активность церулоплазмينا снизилась на 9,96% ( $P > 0,05$ ), а уровень аскорбиновой кислоты незначительно увеличился (на 7,05%,  $P > 0,05$ ) и имел большую вариабельность значений ( $C_v = 55\%$ ). В сухостойный период было отмечено незначительное повышение уровня аскорбиновой кислоты – на 8,13%, в сравнении с серединой лактации, и на 15,75% – по отношению к начальному периоду исследований. В то же время у 60% обследованных коров сухостойного периода содержание данного антиоксиданта находилось ниже

нормативных величин [17]. По отношению к начальному периоду лактации активность церулоплазмينا снизилась на 85,97 % ( $P < 0,001$ ), а в сравнении с 5–6-м месяцами лактации – на 84,42 % ( $P < 0,001$ ).

Таким образом, низкий уровень церулоплазмينا и аскорбиновой кислоты в сыворотке крови свидетельствует о слабой активности антиоксидантной системы у первотелок в разные периоды лактации, когда организм коров характеризуется высокой напряженностью обменных процессов и подвержен воздействию различных стресс-факторов.

Расчет корреляций между показателями ПОЛ и АОС не показал синхронизации в работе данных систем. В начале лактации наиболее высокая степень зависимости была установлена между уровнем диеновых конъюгатов и аскорбиновой кислотой ( $r = 0,431$ ). Определенная стабильность этой зависимости сохранилась в середине лактации и в сухостойный период ( $r = 0,216$  и  $0,301$  соответственно).

Обратная корреляционная зависимость средней силы в начальный период лактации была зарегистрирована между содержанием диеновых конъюгатов и активностью церулоплазмينا ( $r = -0,624$ ), а также между уровнем оснований Шиффа и активностью церулоплазмينا ( $r = 0,-475$ ). В середине лактации между большинством показателей ПОЛ и АОС установлена положительная корреляция средней и малой силы. Наиболее высокие показатели при этом были выявлены между содержанием ТБК-активных продуктов и аскорбиновой кислотой ( $r = 0,578$ ), а также между содержанием оснований Шиффа и аскорбиновой кислотой ( $r = 0,540$ ). Наиболее низкая корреляция отмечена между уровнем диеновых конъюгатов и активностью церулоплазмينا ( $r = 0,-475$ ). В сухостойный период показатели взаимосвязи систем ПОЛ и АОС имели, в целом, положительную корреляционную зависимость средней и малой силы. Наиболее высокий уровень зависимости был установлен между уровнем ТБК-активных продуктов и аскорбиновой кислотой ( $r = 0,452$ ).

#### Выводы

1. Сравнительный анализ показателей пероксидного окисления липидов и неферментативной антиоксидантной системы сыворотки крови в лактационный и сухостойный периоды коров-первотелок и их динамика имеют разновекторный характер изменений.

1.1. Отмечается повышение уровня первичных (диеновых конъюгатов), вторичных (кетодиенов и триенкетонов) и конечных (оснований Шиффа) продуктов ПОЛ к середине лактационного периода с незначительным снижением к сухостойному периоду. Содержание ТБК-активных продуктов, являющихся вторичными продуктами ПОЛ, на протяжении лактации у всех исследованных коров превышает нормативные критерии.

1.2. Содержание аскорбиновой кислоты и уровень церулоплазмينا в сыворотке крови коров имеют низкие величины, что на фоне высокого содержания гемоглобина в цельной крови и железа в сыворотке создают условия для усиления процессов пероксидного окисления липидов.

1.3. Среди показателей АОС наибольшую корреляционную зависимость с динамикой ПОЛ имеет аскорбиновая кислота.

2. Полученные результаты исследований могут быть использованы в качестве ориентировочных величин в оценке состояния липидного обмена и прооксидантно-антиоксидантного статуса организма коров-первотелок, а в комплексе с другими биохимическими показателями плазмы крови – для мониторинга физиологического состояния данных животных на разных этапах лактационного периода.

#### СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mshp.gov.by>. – Дата доступа: 01.06.2018.

2. Ярован, Н. И. Биохимические аспекты оценки, диагностики и профилактики технологического стресса у сельскохозяйственных животных : автореф. ... дис. д-ра биол. наук : 03.00.04 / Н. И. Ярован ; Моск. гос. акад. ветеринар. медицины и биотехнологии. – М., 2008. – 39 с.

3. Каширина, Л. Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита организма у молочных коров разной продуктивности / Л. Г. Каширина, А. В. Антонов, И. А. Плющик // Вестн. Рязан. гос. агротехнол. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 8–12.

4. Никанов, А. Ю. Биохимические и экологические аспекты формирования продуктивного здоровья первотелок и получения молока с высокими биологическими и гигиеническими свойствами : автореф. ... дис. канд. биол. наук : 03.01.04 / А. Ю. Никанов ; Всерос. науч.-исслед. ин-т жив-ва. – Дубровицы, 2015. – 22 с.

5. Высокогорский, В. Е. Перекисадация липидов и окислительная модификация белков молока и крови коров, больных эндометритом / В. Е. Высокогорский, Т. Д. Воронова, Н. А. Погорелова // Успехи совр. естествознания. – 2014. – № 3. – С. 81–85.

6. Копылов, С. Е. Перекисное окисление липидов у коров / С. Е. Копылов, Е. В. Пименов // Ветеринар. медицина. – 2012. – № 1. – С. 45–47.

7. Воскобойник, В. Ф. Ветеринарное обеспечение высокой продуктивности коров / В. Ф. Воскобойник. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 287 с.
8. Новиков, В. Е. Роль активных форм кислорода в физиологии и патологии клетки и их фармакологическая регуляция / В. Е. Новиков, О. С. Левченкова, Е. В. Пожилова // Вестн. Смолен. гос. мед. академии. – 2015. – Т. 14, № 2. – С. 13–21.
9. Кузьмич, Р. Г. Перекисное окисление липидов и система антиоксидантной защиты организма животных : учеб.-метод. пособие / Р. Г. Кузьмич, Д. И. Бобрик, А. В. Саватеев. – Минск, 2004. – 58 с.
10. Перекисное окисление липидов и эндогенная интоксикация у животных (значение в патогенезе внутренних болезней животных, пути коррекции) : монография / С. С. Абрамов [и др.]. – Витебск : УО ВГАВМ, 2007. – 208 с.
11. Перекисное окисление липидов при неврологической патологии у детей / Е. М. Васильева [и др.] // Клинич. лаборатор. диагностика. – 2005. – № 2. – С. 8–12.
12. Искусных, О. Ю. Перекисное окисление липидов и система антиоксидантной защиты у животных при парентеральном применении озонированного физиологического раствора : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04 / О. Ю. Искусных. – Воронеж, 2001. – 145 л.
13. Показатели липидного обмена, перекисного окисления липидов и антиоксидантной системы крови у коров-первотелок на начальном этапе лактации / И. В. Котович [и др.] // Весн. Мазыр. дзярж. пед. ун-та. – 2019. – № 2 (52). – С. 33–59.
14. Позывайло, О. П. Содержание меди, железа, кобальта, гемоглобина и показатели антиоксидантной системы крови коров-первотелок в середине лактационного периода / О. П. Позывайло, И. В. Котович, Т. М. Ярошевич // Эколого-биологические аспекты состояния и развития Полесского региона : материалы VIII Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Мозырь : УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2018. – С. 179–183.
15. Гаврилов, В. Б. Измерение диеновых конъюгатов в плазме крови по УФ-поглощению гептановых и изопропанольных экстрактов / В. Б. Гаврилов, А. Р. Гаврилова, Н. Ф. Хмара // Лаборатор. дело. – 1988. – № 2. – С. 60–64.
16. Гаврилов, В. Б. Анализ методов определения продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови по тесту с тиобарбитуровой кислотой / В. Б. Гаврилов, А. Р. Гаврилова, Л. М. Мажуль // Вопросы мед. химии. – 1987. – № 1. – С. 118–122.
17. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики : Справочник / И. П. Кондрахин [и др.] ; под ред. проф. И. П. Кондрахина. – М. : КолосС, 2004. – 520 с.
18. Gutteridge, J. M. Inhibition of the Fenton reaction by the protein caeruloplasmin and other copper complexes. Assessment of ferroxidase and radical scavenging activities / J. M. Gutteridge // Chem. Biol. Interact. – 1985. – V. 56. – P. 113–120.
19. Орлов, Ю. П. Метаболизм железа в биологических системах (биохимические, патофизиологические и клинические аспекты) / Ю. П. Орлов, В. Т. Долгих // Биомед. химия. – 2007. – Т. 53, Вып. 1. – С. 25–38.
20. Мжельская, Г. И. Биологические функции церулоплазмينا и их дифференциация при мутации генов, регулирующих обмен меди и железа / Т. И. Мжельская // Бюлл. эксперимент. биологии и медицины. – 2000. – Т. 130, № 8. – С. 124–133.

Поступила в редакцию: 20.01.2020

E-mail: oppozyvailo@mail.ru; ivkotovich@mail.ru

I. V. Kotovich, O. P. Pozvyvailo, V. P. Baran, T. M. Yaroshevich

COMPARATIVE EVALUATION OF PEROXIDE OXIDATION INDICATORS OF LIPIDS  
AND ANTIOXIDANT SYSTEM OF COWS' BLOOD  
IN LACTATION AND DRY PERIODS

The research was conducted to determine the indicators of lipid peroxidation and antioxidant system and the dynamics during lactation and in the dry periods in the blood of first-calf cows of the Mozyr Variety Testing Station in Mozyr district (Gomel region). The results showed that there was a multi-directional nature of changes between these systems. There is an increase in the level of primary (diene conjugates), secondary (ketodienes and trienketones) and final (Schiff bases) LPO products by the middle of the lactation period. A low level of antioxidants in the blood serum of the animals was revealed against the background of the imbalance between the contents of copper, iron, cobalt and hemoglobin. It indicates a weak AOS activity during lactation and dry periods.

Keywords: diene conjugates, ketodienes, trienketones, TBA-active products, Schiff bases, ceruloplasmin, ascorbic acid, hemoglobin, iron, cobalt, copper, blood serum, first-born cows.