

Стероидогенная активность яичников коров в зависимости от результативности искусственного осеменения и полиморфизма гена *DIO1*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Низкая фертильность молочных коров связана с эмбриональной смертностью, которая зависит от баланса половых стероидных гормонов, взаимодействующих с гормонами щитовидной железы. Полиморфизм гена *DIO1*, отвечающего за метаболизм тиреоидных гормонов, влияет на репродуктивную функцию.

Методы. Для изучения динамики содержания в крови прогестерона (P4) и эстрадиол-17β (E2) в связи с результативностью искусственного осеменения и полиморфизмом гена *DIO1* были использованы 30 коров черно-пестрой породы 2–4-го отела. Взятие крови проводили в день осеменения и через 7, 14, 21 и 33 дня. Концентрацию гормонов в сыворотке крови определяли методом ИФА. На 33-й день (по результатам УЗИ) коровы были разделены на группы — стельные (n = 18) и нестельные (n = 12). Методом ПЦР-РВ были определены три генотипа животных: CC (n = 13), CG (n = 10) и GG (n = 7).

Результаты. После плодотворного осеменения концентрация P4 в крови коров непрерывно возрастала (в 13,7 раза) в течение пяти недель, тогда как при безрезультативном осеменении ее повышение (в 5,9 раза) наблюдалось только между 21 и 33 днями. При этом уровень E2 в день осеменения был в 1,4 раза выше у нестельных, чем у стельных особей. Кроме того, в течение трех недель после осеменения содержание E2 в крови коров с генотипом CG в 1,5–1,9 раза превышало таковое у животных с генотипом CC. Полученные результаты будут полезны для совершенствования прогностической оценки и ранней диагностики результативности искусственного осеменения коров.

Ключевые слова: коровы черно-пестрой породы, фертильность, эмбриональная смертность, прогестерон, эстрадиол-17β, тиреоидные гормоны, полиморфизм гена *DIO1*

Для цитирования: Митяшова О.С., Лебедева И.Ю. Стероидогенная активность яичников коров в зависимости от результативности искусственного осеменения и полиморфизма гена *DIO1*. *Аграрная наука*. 2025; 400(11): 48–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>

Steroidogenic activity of bovine ovaries depending on the effectiveness of artificial insemination and *DIO1* gene polymorphism

ABSTRACT

Relevance. Low fertility of dairy cows is associated with embryonic mortality, which depends on the balance of sex steroids interacting with thyroid hormones. Polymorphism of the *DIO1* gene, responsible for the metabolism of thyroid hormones, also affects reproductive function.

Methods. To study the dynamics of the progesterone (P4) and estradiol-17β (E2) blood content in connection with the effectiveness of artificial insemination and the *DIO1* gene polymorphism, 30 black-and-white cows of the second to fourth calving were used. Blood sampling was performed on the day of insemination and after 7, 14, 21 and 33 days. The concentration of the hormones in the blood serum was determined by ELISA. On the 33rd day, based on the ultrasound results, the cows were divided into groups — pregnant (n = 18) and non-pregnant (n = 12). Using the qPCR method, three genotypes of animals were determined: CC (n = 13), CG (n = 10) and GG (n = 7).

Results. After successful insemination, the P4 concentration in the cows' blood increased continuously (13.7 times) for 5 weeks, whereas after unsuccessful insemination its increase (5.9 times) was observed only between days 21 and 33. Concurrently, the level of E2 on the day of insemination was 1.4 times higher in non-pregnant animals than in pregnant animals. Besides, within 3 weeks after insemination, the E2 content in the blood of cows with the CG genotype was 1.5–1.9 times higher than that in animals with the CC genotype. The findings will be useful for improving the prognostic assessment and early diagnostics of the artificial insemination effectiveness in cows.

Key words: cows of the black-and-white breed, fertility, embryonic mortality, progesterone, estradiol-17β, thyroid hormones, *DIO1* gene polymorphism

For citation: Mityashova O.S., Lebedeva I.Yu. Steroidogenic activity of bovine ovaries depending on the effectiveness of artificial insemination and *DIO1* gene polymorphism. *Agrarian science*. 2025; 400(11): 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-48-53>

Введение/Introduction

Низкая фертильность молочного скота представляет собой комплексную проблему, обусловленную множеством факторов. Она может быть связана с нарушениями в развитии фолликулов и сопутствующим снижением качества ооцитов, а также с неблагоприятной средой репродуктивного тракта, неспособной обеспечить нормальное развитие эмбриона, или с комбинацией этих условий [1].

В случае оплодотворения яйцеклетки все вышеперечисленные факторы будут приводить к эмбриональным потерям, большая часть которых (до 70–80%) происходит в первые три недели стельности [2]. При этом потеря беременности является одной из ключевых причин пониженного уровня воспроизводства стада и, как следствие, недостаточной экономической эффективности животноводства [3].

Как известно, успешное зачатие и сохранение стельности зависят от эндокринного статуса животного, в первую очередь от уровня половых стероидных гормонов [4]. Прогестерон (P4) играет важнейшую роль в наступлении и поддержании беременности, регулируя качество ооцитов и состояние эндометрия матки. Повышенный уровень P4 в организме в ранние сроки после оплодотворения способствует ускорению развития эмбриона, увеличению выработки интерферона-тау и повышению вероятности успешной беременности [1]. Напротив, его низкое содержание в крови и молоке коров на 10–30-й день после искусственного осеменения связано с потерей стельности [4, 5].

Эстрадиол-17 β (E2) регулирует рецептивность эндометрия, эндометриальный синтез рецепторов прогестерона и другие изменения в матке, необходимые для имплантации эмбриона у крупного рогатого скота (КРС), как и у других видов млекопитающих [6–8]. Показано, что повышенное содержание E2 в крови коров-реципиентов и введение им синтетического аналога этого гормона в преовуляторный период обуславливают возрастание вероятности имплантации при последующей пересадке эмбрионов [9]. В то же время для лучшей сохранности беременности необходимо постовуляторное снижение концентрации E2, не позднее чем на 14–17-й день после искусственного осеменения коров [4].

К настоящему времени установлено наличие у самок сложного взаимодействия между гормонами репродуктивной системы и тиреоидными гормонами, которое реализуется на разных уровнях: организменном, клеточном и молекулярном [10]. В связи с этим особую актуальность представляет вопрос участия гормонов щитовидной железы в поддержании беременности путем модуляции воздействия овариальных стероидных гормонов на репродуктивные органы. При этом на ранних стадиях беременности наиболее важен тиреоидный статус матери, поскольку до 10-й недели развития эмбрионы не синтезируют собственный

тироксин и получают его из материнского организма вплоть до 18–20-й недели гестации [11].

Ранее авторами было обнаружено повышение уровней гормонов тиреоидной оси в течение 2 недель после безрезультативного осеменения коров черно-пестрой породы, которое не наблюдалось у стельных животных [12]. Следовательно, одной из причин эмбриональной потери могло служить наблюдаемое в период имплантации возрастание активности тиреоидной системы. Кроме того, при использовании телок голштинской породы в качестве реципиентов при пересадке эмбрионов на 18-й день после овуляции выявлено более низкое содержание тиреотропного гормона и трийодтиронина в крови стельных животных по сравнению с нестельными [13]. Эти данные подтверждают, что тиреоидный статус КРС играет важную роль в сохранении беременности, по крайней мере на ее ранних стадиях.

Активность тиреоидной системы зависит от интенсивности метаболизма гормонов щитовидной железы, который регулируется дейодиназами трех типов, причем дейодиназа 1-го типа (DIO1) катализирует конверсию тироксина как в активный трийодтиронин, так и в его неактивную форму — реверсивный трийодтиронин [14].

Авторами было показано, что репродуктивная способность и тиреоидный профиль крови у коров черно-пестрой породы с полиморфными вариантами гена *DIO1* различаются. При этом результативность осеменения животных была выше в случае отсутствия аллеля G в позиции 13149 гена *DIO1* [15]. Остается неясным, влияет ли изменение тиреоидного статуса коров на сохранение стельности непосредственно или путем модуляции действия половых стероидных гормонов.

Цель настоящей работы — изучение участия овариальных стероидных гормонов в реализации влияния тиреоидной системы на фертильность КРС.

Была охарактеризована динамика содержания в крови прогестерона и эстрадиола-17 β в течение 5 недель после искусственного осеменения коров черно-пестрой породы в зависимости от наличия стельности и полиморфизма гена *DIO1*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2019 году на коровах черно-пестрой голштинизированной породы 2–4-го отёла, содержащихся в условиях экспериментального хозяйства «Клёново-Чегодаево» (г. Москва).

Уровень продуктивности животных варьировал от 5,3 до 7,5 тыс. кг молока за 305 дней лактации ($n = 30$). Все животные получали одинаковый рацион в соответствии с их продуктивностью и зоотехническими нормами. В эксперименте использовали коров без клинических признаков метаболических нарушений и послеотёльных гинекологических заболеваний, как описано ранее [12].

Необходимым условием включения животных в эксперимент служило возобновление эстрально-го цикла до 13-й недели после отёла. Все исследования проводили согласно принципам ветеринарной медицинской этики¹ и правилам по биоэтике, принятым в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Осеменение животных осуществляли после синхронизации половой охоты по схеме Ovsynch [16]. В день осеменения (0-й день), а также на 7-й, 14-й, 21-й и 33-й дни после искусственного осеменения у коров перед утренним кормлением брали кровь из хвостовой вены с использованием вакуумной системы Apexlab (Apex Laboratories, Китай). Полученную из крови сыворотку замораживали и хранили до проведения анализа при -20 °С. На 33-й день после УЗИ-диагностики с использованием сканера CTS-800 (SIUI, Китай) животных разделили на две группы: I — стельные (n = 18) и II — нестельные (n = 12) коровы.

Дополнительно у животных была взята кровь для получения ДНК с использованием коммерческого набора ДНК «Экстран-1» (ООО «Синтол», Россия). Полиморфизм гена *DIO1* в позиции 13149 анализировали методом ПЦР в режиме реального времени, как описано ранее [15]. Частота генотипов составляла для: CC — 43,3% (n = 13), CG — 33,3% (n = 10), GG — 23,3% (n = 7).

Концентрацию гормонов в сыворотке крови определяли иммуноферментным методом с использованием коммерческих наборов реагентов (ООО «Хема», Россия). Анализы проводили в двух параллельных повторах. Коэффициент вариации не превышал 18%, чувствительность метода составляла 0,25 нмоль/л для прогестерона и 0,025 нмоль/л для эстрадиола-17β.

Данные по содержанию гормонов в крови подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа с повторными измерениями с помощью программы SigmaStat 4.0 (Systat Software, Inc., США). Результаты представлены в виде средних значений ± стандартные ошибки.

Внутригрупповым фактором служил день после осеменения, а межгрупповым — принцип деления животных на две (стельные или нестельные) или три (генотипы CC, CG или GG) группы.

Статистическую значимость различий между средними значениями оценивали с помощью критерия Тьюки, считая различия достоверными при $p < 0,05$. Корреляционные отношения определяли с использованием коэффициента Пирсона.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Содержание прогестерона в крови стельных коров возрастало в 3,8 раза ($p < 0,05$) между днем осеменения и 7-м днем после осеменения (рис. 1). В дальнейшем это содержание продолжало расти вплоть до 33-го дня (в 3,6 раза, $p < 0,001$),

Рис. 1. Концентрация прогестерона (P4) в крови стельных (I) и нестельных (II) коров в различные дни после осеменения. Вертикальные отрезки показывают стандартные ошибки средних значений. Средние значения, помеченные индексами, не содержащими одинаковых букв, достоверно различаются в пределах одной группы ($p < 0,001-0,05$). Достоверность различий между группами: *** $p < 0,001$

Fig. 1. Concentration of progesterone (P4) in the blood of pregnant (I) and non-pregnant (II) cows on various days after insemination. Vertical bars show standard errors of the means. Mean values marked with indices that do not contain the same letters differ significantly within one group ($p < 0.001-0.05$). Significance of differences between groups: *** $p < 0.001$

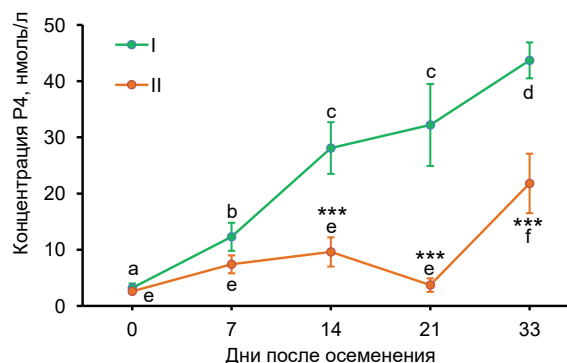
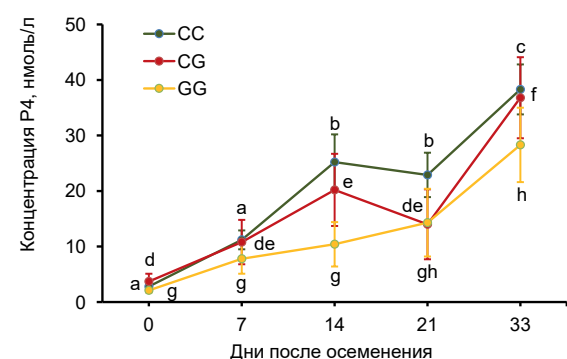


Рис. 2. Концентрация прогестерона (P4) в различные дни после осеменения в крови коров с полиморфными вариантами гена *DIO1*. Все обозначения те же, что и на рисунке 1

Fig. 2. Concentration of progesterone (P4) on different days after insemination in the blood of cows with polymorphic variants of the *DIO1* gene. All designations are the same as in Figure 1



подтверждая нормальное развитие желтого тела и сохранение беременности. Напротив, в случае безрезультативного осеменения повышение уровня прогестерона отмечали только в следующем половом цикле (то есть после 21-го дня), что свидетельствует об отсутствии эмбрионального сигнала, необходимого для поддержания функции желтого тела. При этом на 14-й и 21-й дни после осеменения концентрация прогестерона в крови была, соответственно, в 2,9 и 8,7 раза выше ($p < 0,001$) у стельных коров (I группа) по сравнению с нестельными (II группа). Эти данные в целом согласуются с результатами, полученными другими исследователями в отношении постовульторных профилей прогестерона при разной результативности осеменения КРС [4, 5].

У коров с разными полиморфными вариантами гена *DIO1* концентрация прогестерона в крови существенно не различалась (рис. 2). Однако

¹ The veterinarian-client-patient relationship (VCPR).

<https://www.avma.org/resources-tools/pet-owners/yourvet/veterinarian-client-patient-relationship-vcpr>

только у особей с генотипом СС средний уровень прогестерона на 21-й день после осеменения был достоверно выше (в 8,2 раза, $p < 0,001$), чем в день осеменения, что указывает на функциональную поддержку беременности желтым телом у большинства животных в этой группе. Полученный результат соответствует данным о том, что у черно-пестрых коров с генотипом СС частота стельности при первом осеменении в 2 раза превышала таковую у животных с генотипами СГ и GG [15]. Сохранение лютеальной активности желтого тела, очевидно, являлось следствием сохранения эмбрионального сигнала [4].

Концентрация эстрадиола-17 β в крови коров, сохранивших стельность к концу периода исследований, в день осеменения была в 1,4 раза ниже ($p < 0,05$), чем у бесплодных животных (рис. 3). Следовательно, снижение преовуляторного пика этого гормона у стельных коров происходило раньше, чем у нестельных. Кроме того, к 33-му дню после плодотворного осеменения уровень эстрадиола-17 β в крови особей постепенно уменьшался (в 1,3 раза, $p < 0,05$). В то же время при безрезультативном осеменении снижение этого уровня (в 1,3 раза, $p < 0,01$) наблюдалось на 14-й день и затем продолжалось до 33-го дня.

Необходимо подчеркнуть, что в день осеменения авторами ранее было выявлено повышенное содержание свободного тироксина в крови нестельных особей по сравнению со стельными [12]. Поскольку в обоих исследованиях использована кровь одних и тех же животных, был проведен анализ корреляции между концентрациями эстрадиола-17 β и свободного тироксина.

Установлено, что эти гормональные показатели положительно связаны в течение первых трех недель после искусственного осеменения ($r = 0,44-0,60$ при $p < 0,001-0,05$). Можно предположить, что повышенное содержание свободного тироксина в крови нестельных коров в день осеменения обуславливало замедленное снижения преовуляторного уровня эстрадиола-17 β , поскольку тиреоидные гормоны способны модулировать метаболизм эстрогенов и, таким образом, влиять на их концентрацию в крови [10].

Оказалось, что содержание эстрадиола-17 β в крови исследованных животных зависит от однонуклеотидного полиморфизма гена *DIO1* в позиции 13149 (рис. 4). В течение трех недель после осеменения это содержание у коров с генотипом СГ превышало таковое у особей с генотипом СС: в день осеменения — в 1,9 раза ($p < 0,001$), на 14-й день — в 1,7 раза ($p < 0,01$), на 21-й день — в 1,5 раза ($p < 0,05$). Кроме того, уровень эстрадиола-17 β у коров, гетерозиготных по аллелю G, в день осеменения и через 14 дней был в 1,7–1,8 раза выше ($p < 0,01-0,05$), чем у животных, гомозиготных по этому аллелю.

Важно отметить, что только у коров, гетерозиготных по аллелю С, изменялся баланс между

Рис. 3. Концентрация эстрадиола-17 β (E2) в крови стельных (I) и нестельных (II) коров в различные дни после осеменения. Достоверность различия между группами: * $p < 0,05$. Остальные обозначения те же, что и на рисунке 1

Fig. 3. Concentration of estradiol-17 β (E2) in the blood of pregnant (I) and non-pregnant (II) cows on different days after insemination. Significance of difference between groups: * $p < 0,05$. The remaining designations are the same as in Figure 1

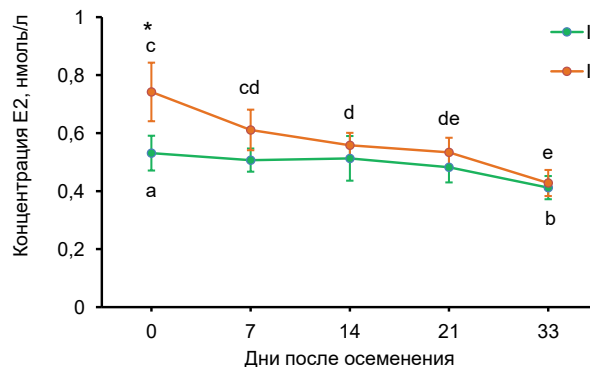
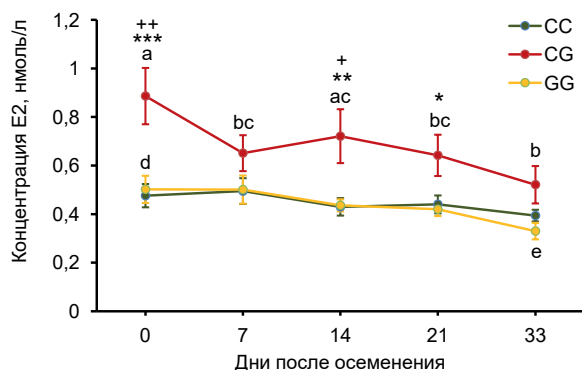


Рис. 4. Концентрация эстрадиола-17 β (E2) в различные дни после осеменения в крови коров с полиморфными вариантами гена *DIO1*. Достоверность различий между группами: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (по сравнению с группой СС); + $p < 0,05$; ++ $p < 0,01$ (по сравнению с группой GG). Остальные обозначения те же, что и на рисунке 1

Fig. 4. Concentration of estradiol-17 β (E2) on different days after insemination in the blood of cows with polymorphic variants of the *DIO1* gene. Significance of differences between groups: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (compared with the CC group); + $p < 0,05$; ++ $p < 0,01$ (compared with the GG the group). The remaining designations are the same as in Figure 1



активной и неактивной формами трийодтиронина и, следовательно, общая активность тиреоидной системы, а результативность первого осеменения была достоверно ниже по сравнению с особями, гомозиготными по аллелю С [15].

Полученные данные указывают на возможность реализации негативного влияния полиморфного варианта гена *DIO1* в позиции 13149 на фертильность коров черно-пестрой породы, по крайней мере частично, посредством модуляции уровня эстрадиола-17 β в случае генотипа СГ, но не генотипа GG. По-видимому, избыточная концентрация E2 во время оплодотворения и после зачатия может неблагоприятно сказываться на сохранности стельности, что согласуется с результатами других авторов [4].

Выводы/Conclusions

Таким образом, полиморфизм гена *DIO1*, модулирующий активность тиреоидной системы, влияет на содержание эстрадиола-17β в крови коров в течение трех недель после осеменения. При этом содержание данного гормона у животных, оставшихся бесплодными, было повышено в день осеменения.

Эти данные свидетельствуют об участии эстрадиола-17β в опосредовании воздействия тиреоидной системы на фертильность КРС, особенно в перiovуляторный период. В то же время уровень

прогестерона, являющийся надежным маркером сохранения ранней беременности, не зависит от генотипа коров с полиморфными вариантами гена *DIO1*.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение механизма влияния полиморфных вариантов гена *DIO1* на гормональный баланс и совершенствование прогностической оценки и ранней диагностики результативности искусственного осеменения коров на основе мониторинга эндокринного статуса и с учетом особенностей генотипа по гену *DIO1*.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № FGGN-2024-0014).

FUNDING

The research was performed within the framework of a state assignment (topic No. FGGN-2024-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review: Progesterone effects on early embryo development in cattle. Journal of Dairy Science.* 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
2. Teja A. *et al.* Early embryonic mortality in cattle and its preventive strategies: A Review. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry.* 2024; 9(5): 141–148. <https://doi.org/10.22271/veterinary.2024.v9.i5c.1667>
3. Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology.* 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
4. Inskeep E.K. Preovulatory, postovulatory, and postmaternal recognition effects of concentrations of progesterone on embryonic survival in the cow. *Journal of Animal Science.* 2004; 82(S13): E24–E39. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE24x
5. Nyman S., Gustafsson H., Berglund B. Extent and pattern of pregnancy losses and progesterone levels during gestation in Swedish Red and Swedish Holstein dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica.* 2018; 60: 68. <https://doi.org/10.1186/s13028-018-0420-6>
6. Bridges G.A., Mussard M.L., Pate J.L., Ott T.L., Hansen T.R., Day M.L. Impact of preovulatory estradiol concentrations on conceptus development and uterine gene expression. *Animal Reproduction Science.* 2012; 133(1–2): 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.06.013>
7. Rawy M. *et al.* Effect of exogenous estradiol Benzoate on uterine blood flow in postpartum dairy cows. *Animal Reproduction Science.* 2018; 192: 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.001>
8. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction.* 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
9. Jinks E.M. *et al.* Preovulatory estradiol and the establishment and maintenance of pregnancy in suckled beef cows. *Journal of Animal Science.* 2013; 91(3): 1176–1185. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5611>
10. Ren B., Zhu Y. A New Perspective on Thyroid Hormones: Crosstalk with Reproductive Hormones in Females. *International Journal of Molecular Sciences.* 2022; 23(5): 2708. <https://doi.org/10.3390/ijms23052708>
11. Korevaar T.I.M., Medici M., Visser T.J., Peeters R.P. Thyroid disease in pregnancy: new insights in diagnosis and clinical management. *Nature Reviews Endocrinology.* 2017; 13(10): 610–622. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.93>
12. Митяшова О.С., Алейникова О.В., Лебедева И.Ю. Активность тиреоидной системы после искусственного осеменения коров черно-пестрой породы. *Достижения науки и техники АПК.* 2024; 38(10): 97–102. <https://elibrary.ru/cszaux>

REFERENCES

1. Lonergan P., Sánchez J.M. *Symposium review: Progesterone effects on early embryo development in cattle. Journal of Dairy Science.* 2020; 103(9): 8698–8707. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18583>
2. Teja A. *et al.* Early embryonic mortality in cattle and its preventive strategies: A Review. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry.* 2024; 9(5): 141–148. <https://doi.org/10.22271/veterinary.2024.v9.i5c.1667>
3. Wiltbank M.C. *et al.* Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology.* 2016; 86(1): 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037>
4. Inskeep E.K. Preovulatory, postovulatory, and postmaternal recognition effects of concentrations of progesterone on embryonic survival in the cow. *Journal of Animal Science.* 2004; 82(S13): E24–E39. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE24x
5. Nyman S., Gustafsson H., Berglund B. Extent and pattern of pregnancy losses and progesterone levels during gestation in Swedish Red and Swedish Holstein dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica.* 2018; 60: 68. <https://doi.org/10.1186/s13028-018-0420-6>
6. Bridges G.A., Mussard M.L., Pate J.L., Ott T.L., Hansen T.R., Day M.L. Impact of preovulatory estradiol concentrations on conceptus development and uterine gene expression. *Animal Reproduction Science.* 2012; 133(1–2): 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.06.013>
7. Rawy M. *et al.* Effect of exogenous estradiol Benzoate on uterine blood flow in postpartum dairy cows. *Animal Reproduction Science.* 2018; 192: 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.001>
8. Perry G.A., Ketchum J.N., Quail L.K. Importance of preovulatory estradiol on uterine receptivity and luteal function. *Animal Reproduction.* 2023; 20(2): e20230061. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0061>
9. Jinks E.M. *et al.* Preovulatory estradiol and the establishment and maintenance of pregnancy in suckled beef cows. *Journal of Animal Science.* 2013; 91(3): 1176–1185. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5611>
10. Ren B., Zhu Y. A New Perspective on Thyroid Hormones: Crosstalk with Reproductive Hormones in Females. *International Journal of Molecular Sciences.* 2022; 23(5): 2708. <https://doi.org/10.3390/ijms23052708>
11. Korevaar T.I.M., Medici M., Visser T.J., Peeters R.P. Thyroid disease in pregnancy: new insights in diagnosis and clinical management. *Nature Reviews Endocrinology.* 2017; 13(10): 610–622. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.93>
12. Mityashova O.S., Aleynikova O.V., Lebedeva I.Yu. Activity of the thyroid system after artificial insemination of Black-and-White cows. *Achievements of science and technology in agribusiness.* 2024; 38(10): 97–102 (in Russian). <https://elibrary.ru/cszaux>

13. Meyerholz M.M. *et al.* Peripheral thyroid hormone levels and hepatic thyroid hormone deiodinase gene expression in dairy heifers on the day of ovulation and during the early peri-implantation period. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2015; 58: 52. <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0231-6>

14. Brown E.D.L., Obeng-Gyasi B., Hall J.E., Shekhar S. The Thyroid Hormone Axis and Female Reproduction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(12): 9815. <https://doi.org/10.3390/ijms24129815>

15. Kostyunina O.V., Mityashova O.S., Bardukov N.V., Aleynikova O.V., Lebedeva I.Y. *DIO1* Gene Polymorphism Is Associated with Thyroid Profiles and Reproductive Performance in Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(2): 398. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020398>

16. Христиановский П.И., Сеитов М.С., Платонов С.А., Медетов Е.С., Алдыаров Т.Б. Сравнительный анализ эффективности фронтального осеменения коров при различных схемах синхронизации половой охоты. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (6): 217–221. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221>

13. Meyerholz M.M. *et al.* Peripheral thyroid hormone levels and hepatic thyroid hormone deiodinase gene expression in dairy heifers on the day of ovulation and during the early peri-implantation period. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2015; 58: 52. <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0231-6>

14. Brown E.D.L., Obeng-Gyasi B., Hall J.E., Shekhar S. The Thyroid Hormone Axis and Female Reproduction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(12): 9815. <https://doi.org/10.3390/ijms24129815>

15. Kostyunina O.V., Mityashova O.S., Bardukov N.V., Aleynikova O.V., Lebedeva I.Y. *DIO1* Gene Polymorphism Is Associated with Thyroid Profiles and Reproductive Performance in Dairy Cows. *Agriculture*. 2023; 13(2): 398. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020398>

16. Khristianovsky P.I., Seitov M.S., Platonov S.A., Medetov E.S., Aldyarov T.B. Comparative analysis of the effectiveness of frontal insemination of cows with different schemes of synchronization of sexual heat. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (6): 217–221 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-217-221>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Сергеевна Митяшова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Ирина Юрьевна Лебедева

доктор биологических наук, главный научный сотрудник,
заведующая лабораторией биологических проблем
репродукции животных
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, 60, Подольск, Московская обл., 142132,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Sergeevna Mityashova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
mityashova_o@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0401-5088>

Irina Yurievna Lebedeva

Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher,
Head of the Laboratory of Biological Problems
of Animal Reproduction
irledv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7815-7900>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132,
Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453,
по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru

