

Воспроизводство

Рубрика

<https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-3-3-10>

УДК 636.2:591.1 + 612.015.3

И. Ю. Лебедева, О. С. Митяшова, А. А. Соломахин, Е. К. Монтвила, О. В. Коновалова

Тиреоидный профиль и показатели липидного обмена в ранний послеотельный период в крови коров-первотелок с разной активностью яичников

Аннотация. Гормоны щитовидной железы могут влиять на воспроизводительную функцию коров путем регуляции метаболизма, в первую очередь жирового обмена. В настоящей работе выполняли сравнительное исследование содержания в крови тиреоидных гормонов и компонентов липидного спектра через 1 неделю после отела у коров-первотелок черно-пестрой породы с разным уровнем послеродовой депрессии овариальной активности. Оценку функционального состояния яичников проводили через 7 недель после отела на основании ректального и УЗИ исследования, а также содержания в крови прогестерона. Коров поделили на 3 группы: с активными яичниками (группа 1; $n=21$), с умеренной депрессией активности яичников (группа 2; $n=9$) и с глубокой депрессией активности яичников (группа 3; $n=10$). Концентрацию гормонов в сыворотке крови измеряли методом иммуноферментного анализа, показатели липидного обмена определяли на биохимическом анализаторе. Через 1 неделю после отела концентрация свободного и общего тироксина (T_4) и свободного и общего трийодтиронина (T_3) в крови была сходной у животных с разной активностью яичников. В то же время соотношение свободных T_4 и T_3 достигало минимального значения у коров третьей группы, у которых оно было в 1,9 раза ниже, чем у коров второй группы ($p<0,05$). Кроме того, концентрация общего холестерина и фосфолипидов в крови животных третьей группы была в 1,2–1,4 раза меньше по сравнению с таковой в первой группе ($p<0,05$). У коров второй и третьей групп эта концентрация коррелировала с концентрацией свободного тироксина (холестерин: $r=0,60$, $p<0,01$; фосфолипиды: $r=0,52$, $p<0,05$), а у животных третьей группы — также с концентрацией общего тироксина (холестерин: $r=0,52$, $p<0,05$; фосфолипиды: $r=0,51$, $p<0,05$). Полученные данные указывают на то, что сдвиг соотношения тиреоидных гормонов в сторону более активной формы (трийодтиронина) через 1 неделю после отела может быть связан с уменьшением содержания общего холестерина и фосфолипидов в крови и с последующей глубокой депрессией функциональной активности яичников у коров-первотелок.

Ключевые слова: коровы молочного типа, ранний послеотельный период, активность яичников, тиреоидные гормоны, липидный обмен.

Авторы:

Лебедева Ирина Юрьевна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией; e-mail: irladv@mail.ru;

Митяшова Ольга Сергеевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; e-mail: mityashova_o@mail.ru;

Соломахин Алексей Александрович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; e-mail: alsolomahin@yandex.ru;

Монтвила Елена Кястучо — младший научный сотрудник; e-mail: montvila94@bk.ru;

Коновалова Ольга Викторовна — младший научный сотрудник; e-mail: 68ovk@mail.ru.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60.

Введение. Реализация репродуктивного потенциала коров молочного направления продуктивности зависит от функционирования метаболической системы [1]. В ранний послеродовой период такие животные находятся в состоянии метаболического стресса, вызванного негативным

энергетическим балансом [2]. Недостаток энергии компенсируется путем мобилизации внутренних резервов, в первую очередь жировых [3]. Вследствие этого в крови животных возрастает содержание свободных жирных кислот и кетоновых тел, которые в высокой концентрации ухудшают репродуктивную функцию и снижают общий иммунитет [4, 5]. Напротив, выявлена положительная связь между содержанием холестерина в крови молочных коров в ранний послеродовой период и восстановлением половой цикличности, а также снижением продолжительности сервис-периода [6, 7]. Другим компонентом липидного обмена являются триглицериды, избыточная аккумуляция которых в ооцитах и эмбрионах негативно влияет на функцию митохондрий, что приводит к ранней эмбриональной смертности, служащей основной причиной снижения фертильности молочных коров [3].

Гормоны щитовидной железы участвуют в эндокринном контроле интенсивности и направленности метаболических процессов, в первую очередь липидного обмена [8]. Следовательно, тиреоидные гормоны могут влиять на воспроизводительную функцию коров посредством регуляции обмена веществ. У лактирующих коров установлена корреляция между содержанием тиреоидных гормонов в крови и энергетическим балансом [9, 10], отрицательное значение которого после отела является основной причиной репродуктивных нарушений [2]. Показано, что у животных голштинской породы сывороточные концентрации тироксина, а также достаточно часто и трийодтиронина, снижаются при переходе от стельности к лактации [11, 12], что замедляет обмен веществ и может быть необходимо при дефиците питательных ресурсов. Кроме того, концентрация тироксина в крови голштинских коров с дисфункцией яичников отличается от таковой у животных с нормальным эстральным циклом [13, 14]. Тем не менее роль тиреоидной системы и механизмы ее участия в регуляции репродуктивной функции коров в условиях метаболического стресса до конца не ясны.

В настоящей работе проводили сравнительное исследование содержания в крови тиреоидных гормонов (тироксина и трийодтиронина) и компонентов липидного спектра (общего холестерина, фосфолипидов и триглицеридов) через 1 неделю после отела у коров-первотелок черно-пестрой породы с разным уровнем послеродовой депрессии овариальной активности.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на базе экспериментального хозяйства «Клёново-Чегодаево» Московской области. В экспериментах использовали 40 коров-первотелок черно-пестрой породы с удоем 2346 ± 74 кг молока за 100 дней лактации. Для исследований

отбирали животных, не имевших послеотельных гинекологических заболеваний, связанных со структурными или функциональными повреждениями половой системы. Через 1 неделю после отела у коров брали кровь из хвостовой вены с помощью вакуумной системы Apexlab. После получения сыроворотки образцы замораживали и хранили при -20°C для последующего определения показателей липидного обмена и анализа прогестерона или при -70°C для определения концентрации тиреоидных гормонов.

Оценку функционального состояния яичников проводили методом ректального исследования и с помощью УЗИ сканера через 7 недель после отела. В соответствии с классификацией Wiltbank et al. [15] коров поделили на 3 группы: 1) с активными яичниками (при наличии желтых тел или крупных фолликулов у животных, восстановивших половую цикличность; $n=21$), 2) с умеренной депрессией активности яичников (при отсутствии желтых тел и фолликулов с диаметром более 8 мм; $n=9$) и 3) с глубокой депрессией активности яичников (при отсутствии желтых тел и фолликулов с диаметром более 3–4 мм; $n=10$). Дополнительным критерием служил уровень прогестерона в крови, который при восстановлении полового цикла должен составлять не менее 1 нг/мл (более 3,2 нмоль/л) [16].

Содержание общего холестерина, фосфолипидов и триглицеридов в сыворотке крови определяли на автоматическом биохимическом анализаторе ChemWell (Awareness Technology, США) с использованием реагентов фирмы «Analyticon Biotechnology AG» (Германия). Концентрацию тиреоидных гормонов и прогестерона в сыворотке крови измеряли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием планшетного спектрофотометра Униплан («Пикон», Россия) и коммерческих наборов реагентов согласно инструкции следующих фирм-производителей: «DRG Instruments GmbH», Германия (свободный тироксин и трийодтиронин), «НВО Иммунотех», Россия (прогестерон), «Алкор Био», Россия (общий тироксин и трийодтиронин). Чувствительность метода составляла: 10 нмоль/л (общий тироксин), 0,25 нмоль/л (общий трийодтиронин), 0,5 пг/мл (свободный тироксин), 0,05 пг/мл (свободный трийодтиронин), 0,4 нмоль/л (прогестерон). Все анализы проводили в двух повторностях, коэффициент вариации не превышал 15 %. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с помощью программы SigmaStat (Systat Software, Inc.). Результаты выражали как средние значения $\pm$ стандартные ошибки. Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки.

Результаты и обсуждение. Через 1 неделю после отела концентрация свободного тироксина (Т4)

и свободного трийодтиронина (ТЗ) в сыворотке крови была сходной у коров-первотелок с разной активностью яичников (табл. 1). Нами также не были обнаружены различия в содержании общего Т4 и общего ТЗ между сравниваемыми группами животных (табл. 2). В то же время соотношение свободных Т4 и ТЗ достигало минимального значения у коров третьей группы, у которых оно было в 1,9 раза ниже ($p<0,05$), чем у коров второй группы (табл. 1). Сходная тенденция ($p<0,1$) была выявлена и для соотношения общих концентраций тиреоидных гормонов (табл. 2). При этом концентрация общего Т4 в крови коров была, в целом, позитивно связана с концентрацией свободного Т4 ($r=0,72$; $p<0,001$), а концентрация общего ТЗ — с концентрацией свободного ТЗ ($r=0,44$; $p<0,01$).

Содержание общего холестерина в крови коров-первотелок с глубокой овариальной депрессией через 1 неделю после отела было в 1,2 раза меньше ($p<0,05$) по сравнению с таковым у коров, восстановивших половой цикл (табл. 3). Содержание фосфолипидов также различалось (в 1,4 раза, $p<0,01$) у коров первой и третьей групп. Вместе с тем концентрация триглицеридов в крови была одинаковой у всех животных.

При проведении корреляционного анализа было установлено, что у коров с умеренной и глубо-

кой депрессией овариальной активности концентрация свободного Т4 в крови положительно связана с концентрацией общего холестерина ($r=0,60$; $p<0,01$) и фосфолипидов ($r=0,52$; $p<0,05$). Однако только в третьей группе концентрация общего Т4 коррелировала с концентрацией общего холестерина ($r=0,52$; $p<0,05$) и фосфолипидов ($r=0,51$; $p<0,05$).

В работах разных исследователей обнаружено снижение концентрации тиреоидных гормонов, в первую очередь Т4, в крови коров молочного типа либо за 1–2 недели до отела, либо через 1–2 недели после отела [11, 12]. Это снижение может быть вызвано различными причинами: негативным энергетическим балансом, экскрецией гормонов с молоком и/или повышением активности дейодиназ, отвечающих за метаболизм тиреоидных гормонов в печени (до отела) или молочной железе (после отела) [9, 17, 18]. В то же время в ряде работ не выявлено снижения содержания в крови ТЗ в околородовой период, что, очевидно, связано с повышением скорости его образования из Т4 в периферических тканях в ответ на повышение метаболической нагрузки [19].

Ускоренная конверсия Т4 в ТЗ приводит к уменьшению соотношения Т4/ТЗ в крови, которое может служить индикатором послеотельного ожирения

Таблица 1. Концентрация свободных тиреоидных гормонов через одну неделю после отела в крови коров с разным уровнем депрессии активности яичников

Концентрации гормонов	Группы животных		
	1	2	3
Свободный тироксин (fT4), пмоль/л	3,83±0,26	3,69±0,57	2,92±0,48
Свободный трийодтиронин (fT3), пмоль/л	2,46±0,22	2,09±0,44	2,56±0,31
Соотношение fT4/ fT3	1,77±0,18	2,29±0,35 ^a	1,19±0,21 ^b

Достоверные различия между группами животных: ^{a,b} $p<0,05$.

Таблица 2. Общая концентрация тиреоидных гормонов через одну неделю после отела в крови коров с разным уровнем депрессии активности яичников

Концентрации гормонов	Группы животных		
	1	2	3
Общий тироксин (Т4), нмоль/л	63,9±3,6	68,9±5,4	57,4±6,3
Общий трийодтиронин (ТЗ), нмоль/л	2,20±0,10	2,08±0,27	2,07±0,07
Соотношение Т4/ТЗ	30,5±2,3	36,2±3,7	27,6±2,9

Таблица 3. Показатели липидного обмена через одну неделю после отела в крови коров с разным уровнем депрессии активности яичников

Показатели	Группы животных		
	1	2	3
Холестерин, ммоль/л	3,34±0,12 ^a	3,08±0,12	2,85±0,14 ^b
Фосфолипиды, ммоль/л	1,56±0,08 ^c	1,42±0,07	1,15±0,10 ^d
Триглицериды, ммоль/л	0,205±0,004	0,204±0,007	0,199±0,005

Достоверные различия между группами животных: ^{a,b} $p<0,05$; ^{c,d} $p<0,01$.

печени у коров [20]. В нашем исследовании самое низкое соотношение концентраций свободных тиреоидных гормонов (коррелирующих с общими концентрациями Т4 и Т3) наблюдалось у коров-первотелок с глубокой депрессией активности яичников. Это позволяет предположить наличие у них повышенной жировой инфильтрации печени и, следовательно, нарушение функционирования последней. В пользу такого предположения свидетельствуют особенности липидного статуса животных третьей группы — пониженное содержание в крови холестерина и фосфолипидов, синтезируемых печенью. Кроме того, это содержание коррелировало с содержанием свободного и общего Т4 в крови животных с глубокой депрессией овариальной активности. Ранее нами было показано, что повышение концентрации холестерина в крови черно-пестрых коров в начале послеродового периода связано с усилением лютеальной

активности яичников (восстановлением полового цикла) через 50–60 дней после отела [7]. Следовательно, пониженное соотношение свободных фракций тиреоидных гормонов, отражающее соотношение их общих концентраций, очевидно, обуславливает определенные изменения липидного обмена, которые негативно влияют на функциональную активность яичников коров.

Заключение. Данные настоящего исследования указывают на наличие зависимости между активностью тиреоидной системы, липидным обменом и гипофункцией яичников у коров-первотелок молочного типа. При этом сдвиг соотношения тиреоидных гормонов в сторону более активной формы (трийодтиронина) через 1 неделю после отела может быть связан с уменьшением содержания общего холестерина и фосфолипидов в крови и с последующей глубокой депрессией функциональной активности яичников.

Работа выполнена по государственному заданию (рег. ЦИТус № АААА-А18-118021990006-9)

Литература

1. Bisinotto R. S. Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows / R. S. Bisinotto, L. F. Greco, E. S. Ribeiro, N. Martinez, F. S. Lima, C. R. Staples, W. W. Thatcher, J. E. Santos // *Anim. Reprod.* — 2012. — V. 9. — P. 260–272.
2. Chagas L. M. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows / L. M. Chagas, J. J. Bass, D. Blache et. al. // *J. Dairy Sci.* — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
3. Wathes D. C. Associations between lipid metabolism and fertility in the dairy cow / D. C. Wathes, A. M. Clempson, G. E. Pollott // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2012. — V. 25. — P. 48–61.
4. González F.D. Relationship among blood indicators of lipomobilization and hepatic function during early lactation in high-yielding dairy cows / F. D. González, R. Muico, V. Pereira, R. Campos, J. L. Benedito // *J. Vet. Sci.* — 2011. — V. 12. — P. 251–255.
5. Shin E. K. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows / E. K. Shin, J. K. Jeong, I. S. Choi, H. G. Kang, T. Y. Hur, Y. H. Jung, I. H. Kim // *Theriogenology.* — 2015. — V. 84. — P. 252–260.
6. Reist M. Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows / M. Reist, D. K. Erdin, D. von Euw, K. M. Tschümperlin et. al. // *Theriogenology.* — 2003. — V. 59. — P. 1707–1723.
7. Митяшова О. С. Обмен веществ и репродуктивная функция в послеродовой период у коров-первотелок при введении им экстракта плаценты / О. С. Митяшова, И. В. Гусев, И. Ю. Лебедева // *Сельскохозяйственная биология.* — 2017. — Т. 52. — № 2. — С. 323–330.
8. Mullur R. Thyroid hormone regulation of metabolism / R. Mullur, Y. Y. Liu, G. A. Brent // *Physiol. Rev.* — 2014. — V. 94. — P. 355–382.
9. Capuco A. V. Effect of somatotropin on thyroid hormones and cytokines in lactating dairy cows during ad libitum and restricted feed intake / A. V. Capuco, D. L. Wood, T. H. Elsasser, S. Kahl, R. A. Erdman, C. P. Van Tassell, A. Lefcourt, L. S. Piperova // *J. Dairy Sci.* — 2001. — V. 84. — P. 2430–2439.
10. Mohebbi-Fani M. Thyroid hormones and their correlations with serum glucose, beta hydroxybutyrate, nonesterified fatty acids, cholesterol, and lipoproteins of high-yielding dairy cows at different stages of lactation cycle / M. Mohebbi-Fani, S. Nazifi, E. Rowghani, S. Bahrami, O. Jamshidi // *Comp. Clin. Pathol.* — 2009. — V. 18. — P. 211–216.
11. Fiore E. Serum thyroid hormone evaluation during transition periods in dairy cows / E. Fiore, G. Piccione, M. Ganesella, V. Pratici, I. Vazzana, S. Dara, M. Morgante // *Arch. Anim. Breed.* — 2015. — V. 58. — P. 403–406.
12. Piechotta M. Antepartal insulin-like growth factor concentrations indicating differences in the metabolic adaptive capacity of dairy cows / M. Piechotta, L. Holzhausen, M.G. Araujo, M. Heppelmann, A. Sipka, C. Pfarrer, H. J. Schuberth, H. Bollwein // *J. Vet. Sci.* — 2014. — V. 15. — P. 343–352.
13. Kafi M. Relationships between thyroid hormones and serum energy metabolites with different patterns of postpartum luteal activity in high-producing dairy cows / M. Kafi, A. Tamadon, M. Saeb, A. Mirzaei, M. Ansari-Lari // *Animal.* — 2012. — V. 6. — P. 1253–1260.

14. Mutinati M. Cystic ovarian follicles and thyroid activity in the dairy cow / M. Mutinati, A. Rizzo, R. L. Sciorsci // *Anim. Reprod. Sci.* — 2013. — V. 138. — P. 150–154.
15. Wiltbank M. C. Physiological classification of anovulatory conditions in cattle / M. C. Wiltbank, A. Gümen, R. Sartori // *Theriogenology*. — 2002. — V. 57. — P. 21–52.
16. Shrestha H. K. Effects of abnormal ovarian cycles during pre-service period postpartum on subsequent reproductive performance of high-producing Holstein cows / H. K. Shrestha, T. Nakao, T. Suzuki, T. Higaki, M. Akita // *Theriogenology*. — 2004. — V. 61. — P. 1559–1571.
17. Pezzi C. 5'-deiodinase activity and circulating thyronines in lactating cows / C. Pezzi, P. A. Accorsi, D. Vigo, N. Govoni, R. Gaiani // *J. Dairy Sci.* — 2003. — V. 86. — P. 152–158.
18. Akasha M. A. Concentration of thyroid hormones and prolactin in dairy cattle serum and milk at three stages of lactation / M. A. Akasha, R. R. Anderson, M. Ellersieck, D. A. Nixon // *J. Dairy Sci.* — 1987. — V. 70. — P. 271–276.
19. Cavestany D. Effect of prepartum energetic supplementation on productive and reproductive characteristics, and metabolic and hormonal profiles in dairy cows under grazing conditions / D. Cavestany, M. Kulcsár, D. Crespi, Y. Chilliard, A. La Manna, O. Balogh, M. Keresztes, C. Delavaud, G. Huszenicza, A. Meikle // *Reprod. Domest. Anim.* — 2009. — V. 44. — P. 663–671.
20. Samanc, H. Thyroid hormones concentrations during the mid-dry period: an early indicator of fatty liver in Holstein-Friesian dairy cows / H. Samanc, V. Stojić, D. Kirovski, M. Jovanović, H. Cernescu, I. Vujanac // *J. Thyroid. Res.* — 2010. — V. 2010. — ID 897602.

Lebedeva I., Mityashova O., Solomakhin A., Montvila E., Konovalova O.

Thyroid profile and indicators of lipid metabolism during the early postpartum period in the blood of primiparous cows with different ovarian activity

Abstract. *Thyroid hormones can affect the reproductive function of cows by regulating metabolism, primarily fat metabolism. In the current work, a comparative study of the blood content of thyroid hormones and components of the lipid spectrum the 1 week after calving in primiparous cows of the Black Pied breed with different levels of the postpartum depression of the ovarian activity was performed. Evaluation of the functional state of the ovaries was performed 7 weeks after calving based on rectal and ultrasound studies, as well as the progesterone level in the blood. Cows were divided into 3 groups: with active ovaries (group 1; n=21), with moderate depression of the ovarian activity (group 2; n=9) and with deep depression of the ovarian activity (group 3; n=10). The concentration of hormones in the blood serum was measured by ELISA, indicators of lipid metabolism were determined using a biochemical analyzer. One week after calving, the concentration of free and total thyroxine (T₄) and free and total triiodothyronine (T₃) in the blood was similar in animals with different ovarian activities. At the same time the ratio of free T₄ and T₃ reached a minimum value in cows of the third group, in which it was 1.9 times lower than in cows of the second group ($p<0.05$). In addition, the concentration of total cholesterol and phospholipids in the blood of animals of the third group was 1.2–1.4 times lower than that in the first group ($p<0.05$). In cows of the second and third groups, this concentration correlated with the concentration of free thyroxine (cholesterol: $r=0.60$, $p<0.01$; phospholipids: $r=0.52$, $p<0.05$), and in animals of the third group it also correlated with the concentration of total thyroxine (cholesterol: $r=0.52$, $p<0.05$; phospholipids: $r=0.51$, $p<0.05$). The data obtained indicate that a shift in the ratio of thyroid hormones towards a more active form (triiodothyronine) 1 week after calving may be associated with a decrease in the blood content of the total cholesterol and phospholipids and with a subsequent deep depression of the ovarian functional activity in primiparous cows.*

Keywords: dairy cows, early lactation period, ovarian activity, thyroid hormones, lipid metabolism.

Authors:

Lebedeva I. — Dr. Habil. (Biol. Sci.), Chief Researcher, Head the laboratory; e-mail: irledv@mail.ru;

Mityashova O. — PhD (Biol. Sci.), senior researcher; e-mail: mityashova_o@mail.ru;

Solomakhin A. — PhD (Biol. Sci.), senior researcher; e-mail: alsolomahin@yandex.ru;

Montvila E. — Junior Researcher; e-mail: montvila94@bk.ru;

Konovalova O. — Junior Researcher; e-mail: 68ovk@mail.ru.

Federal Science Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst; Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132 Russia.

References

1. Bisinotto R. S. Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows / R. S. Bisinotto, L. F. Greco, E. S. Ribeiro, N. Martinez, F. S. Lima, C. R. Staples, W. W. Thatcher, J. E. Santos // *Anim. Reprod.* — 2012. — V. 9. — P. 260–272.
2. Chagas L. M. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows / L. M. Chagas, J. J. Bass, D. Blache et. al. // *J. Dairy Sci.* — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
3. Wathes D. C. Associations between lipid metabolism and fertility in the dairy cow / D. C. Wathes, A. M. Clempson, G. E. Pollott // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2012. — V. 25. — P. 48–61.
4. González F.D. Relationship among blood indicators of lipomobilization and hepatic function during early lactation in high-yielding dairy cows / F. D. González, R. Muico, V. Pereira, R. Campos, J. L. Benedito // *J. Vet. Sci.* — 2011. — V. 12. — P. 251–255.
5. Shin E. K. Relationships among ketosis, serum metabolites, body condition, and reproductive outcomes in dairy cows / E. K. Shin, J. K. Jeong, I. S. Choi, H. G. Kang, T. Y. Hur, Y. H. Jung, I. H. Kim // *Theriogenology.* — 2015. — V. 84. — P. 252–260.
6. Reist M. Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows / M. Reist, D. K. Erdin, D. von Euw, K. M. Tschümperlin et. al. // *Theriogenology.* — 2003. — V. 59. — P. 1707–1723.
7. Mityashova O. S. Metabolism and reproductive function during the postpartum period in first-calf cows when introducing the placenta extract / O. S. Mityashova, I. V. Gusev, I. Yu. Lebedeva // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. — 2017. — V. 52. — P. 323–330.
8. Mullur R. Thyroid hormone regulation of metabolism / R. Mullur, Y. Y. Liu, G. A. Brent // *Physiol. Rev.* — 2014. — V. 94. — P. 355–382.
9. Capuco A. V. Effect of somatotropin on thyroid hormones and cytokines in lactating dairy cows during ad libitum and restricted feed intake / A. V. Capuco, D. L. Wood, T. H. Elsasser, S. Kahl, R.A. Erdman, C. P. Van Tassell, A. Lefcourt, L. S. Piperova // *J. Dairy Sci.* — 2001. — V. 84. — P. 2430–2439.
10. Mohebbi-Fani M. Thyroid hormones and their correlations with serum glucose, beta hydroxybutyrate, nonesterified fatty acids, cholesterol, and lipoproteins of high-yielding dairy cows at different stages of lactation cycle / M. Mohebbi-Fani, S. Nazifi, E. Rowghani, S. Bahrami, O. Jamshidi // *Comp. Clin. Pathol.* — 2009. — V. 18. — P. 211–216.
11. Fiore E. Serum thyroid hormone evaluation during transition periods in dairy cows / E. Fiore, G. Piccione, M. Giancesella, V. Pratict, I. Vazzana, S. Dara, M. Morgante // *Arch. Anim. Breed.* — 2015. — V. 58. — P. 403–406.
12. Piechotta M. Antepartal insulin-like growth factor concentrations indicating differences in the metabolic adaptive capacity of dairy cows / M. Piechotta, L. Holzhausen, M.G. Araujo, M. Heppelmann, A. Sipka, C. Pfarrer, H. J. Schuberth, H. Bollwein // *J. Vet. Sci.* — 2014. — V. 15. — P. 343–352.
13. Kafi M. Relationships between thyroid hormones and serum energy metabolites with different patterns of postpartum luteal activity in high-producing dairy cows / M. Kafi, A. Tamadon, M. Saeb, A. Mirzaei, M. Ansari-Lari // *Animal.* — 2012. — V. 6. — P. 1253–1260.
14. Mutinati M. Cystic ovarian follicles and thyroid activity in the dairy cow / M. Mutinati, A. Rizzo, R. L. Sciorsci // *Anim. Reprod. Sci.* — 2013. — V. 138. — P. 150–154.
15. Wiltbank M. C. Physiological classification of anovulatory conditions in cattle / M. C. Wiltbank, A. Gümen, R. Sartori // *Theriogenology.* — 2002. — V. 57. — P. 21–52.
16. Shrestha H. K. Effects of abnormal ovarian cycles during pre-service period postpartum on subsequent reproductive performance of high-producing Holstein cows / H. K. Shrestha, T. Nakao, T. Suzuki, T. Higaki, M. Akita // *Theriogenology.* — 2004. — V. 61. — P. 1559–1571.
17. Pezzi C. 5'-deiodinase activity and circulating thyronines in lactating cows / C. Pezzi, P. A. Accorsi, D. Vigo, N. Govoni, R. Gaiani // *J. Dairy Sci.* — 2003. — V. 86. — P. 152–158.
18. Akasha M. A. Concentration of thyroid hormones and prolactin in dairy cattle serum and milk at three stages of lactation / M. A. Akasha, R. R. Anderson, M. Ellersieck, D. A. Nixon // *J. Dairy Sci.* — 1987. — V. 70. — P. 271–276.
19. Cavestany D. Effect of prepartum energetic supplementation on productive and reproductive characteristics, and metabolic and hormonal profiles in dairy cows under grazing conditions / D. Cavestany, M. Kulcsár, D. Crespi, Y. Chilliard, A. La Manna, O. Balogh, M. Keresztes, C. Delavaud, G. Huszenicza, A. Meikle // *Reprod. Domest. Anim.* — 2009. — V. 44. — P. 663–671.
20. Samanc, H. Thyroid hormones concentrations during the mid-dry period: an early indicator of fatty liver in Holstein-Friesian dairy cows / H. Samanc, V. Stojić, D. Kirovski, M. Jovanović, H. Cernescu, I. Vujanac // *J. Thyroid. Res.* — 2010. — V. 2010. — ID 897602.