

А. А. Соломахин, О. С. Митяшова, Р. А. Рыков, А. А. Смекалова, И. Ю. Лебедева

Динамика изменения показателей белково-углеводного обмена в первый триместр лактации у коров черно-пестрой породы в связи репродуктивным потенциалом

Аннотация. В представленной работе изучали изменения показателей белково-углеводного обмена в течение первого триместра лактации у черно-пестрых коров-первотелок с разным репродуктивным потенциалом. За 2 недели до отела и с 1-й по 13-ю недели после отела у коров брали кровь для определения концентрации альбуминов и глюкозы, а также активности ферментов аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ). Через 12 месяцев лактации животных разделили на 3 группы: с сервис-периодом менее 100 дней (группа 1), с сервис-периодом более 100 дней (группа 2) и животные, остававшиеся бесплодными более 365 дней (группа 3). Концентрация альбуминов в крови была пониженной в 1,1–1,2 раза ($p < 0,05$) с 1-й по 5-ю неделю после отела у коров с коротким сервис-периодом, но существенно не изменялась у животных двух других групп. Концентрация глюкозы снижалась в 1,5–1,7 раза (по крайней мере, $p < 0,05$) через 1 неделю после отела во всех группах. Активность АЛТ в крови была самой низкой через 1–3 недели лактации и возрастала в 1,9 раза ($p < 0,01$) между 3-й и 7-й неделями у коров с коротким сервис-периодом и в 1,5 раза ($p < 0,05$) между 1-й и 13-й неделями у длительно бесплодных животных. При этом активность АЛТ позитивно коррелировала с содержанием альбуминов в крови животных всех сравниваемых групп. Активность АСТ была повышена в 1,4–1,5 раза ($p < 0,05$) в крови коров 1-й и 2-й групп через 1–5 недель после отела. Кроме того, эта активность была отрицательно связана с концентрацией глюкозы у животных с коротким и длинным сервис-периодом и положительно связана с концентрацией альбуминов у длительно бесплодных животных. Анализ полученных временных профилей для показателей белково-углеводного обмена в динамике первого триместра лактации свидетельствует о реализации определенной последовательности изменений баланса катаболических и анаболических процессов в организме черно-пестрых коров-первотелок с высоким репродуктивным потенциалом. Нарушение такой последовательности приводит к ослаблению воспроизводительной функции животных, связанному с удлинением сервис-периода или с длительным бесплодием.

Ключевые слова: коровы черно-пестрой породы, послеотельный период, первый триместр лактации, воспроизводительная способность, белково-углеводный обмен.

Авторы:

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

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

Рыков Роман Анатольевич — старший научный сотрудник; e-mail: Brukw@bk.ru;

Смекалова Араксия Ашотовна — младший научный сотрудник; e-mail: araksia86@mail.ru;

Лебедева Ирина Юрьевна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией; e-mail: irladv@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. Переход от беременности к лактации характеризуется высокой метаболической нагрузкой на организм коров молочного направления продуктивности [1]. Способность животных адаптироваться к транзитному периоду критически важна для нормального функционирования всех физио-

логических систем, включая репродуктивную. Для поддержания лактации организму требуются дополнительные ресурсы, которые не могут быть получены путем резкого роста потребления корма сразу после отела. Как следствие, энергетический баланс животных становится отрицательным, что

приводит к сдвигу обмена веществ в сторону катаболизма. Для ликвидации энергетического дефицита организм мобилизует внутренние резервы, главным образом жировые [2]. Мышечный белок также может служить источником энергетических и пластических ресурсов [3]. При этом организм направляет большую часть метаболических потоков на нужды лактации, что негативно сказывается на других функциях, таких как репродуктивная и иммунная [4].

Общепризнанно, что негативный энергетический баланс и модифицированный обмен веществ на ранних стадиях лактации лежат в основе нарушений воспроизводительной функции молочных коров [1, 5]. К таким нарушениям относят удлинение послеотельного анэструса, послеродовые воспалительные заболевания репродуктивных органов, раннюю эмбриональную смертность, различные типы дисфункции яичников. Все эти расстройства обуславливают ухудшение фертильности коров и в конечном итоге вызывают снижение показателей воспроизводства молочного стада.

Концентрация глюкозы в крови, наряду с концентрацией свободных жирных кислот и кетоновых тел, рассматривается в качестве индикатора энергетического статуса коров в транзитный период [1, 6]. Большинство исследований сосредоточено на изучении влияния модифицированного метаболизма липидов на воспроизводительную способность коров молочного типа [7, 8], тогда как имеется недостаточно информации о роли белково-углеводного обмена в снижении фертильности таких животных. Как известно, для продукции молока требуется большое количество глюкозы (около 70 г на 1 л) [6]. В то же время она служит основным энергетическим источником для репродуктивных органов, модулирует секрецию таких важных регуляторов репродукции как лютеинизирующий гормон и инсулиноподобный фактор роста 1, а также играет ключевую роль в приобретении ооцитом способности к эмбриональному развитию [6, 9, 10]. Концентрация глюкозы в крови коров зависит от интенсивности ее эндогенного синтеза путем глюконеогенеза, при этом в качестве дополнительного субстрата могут быть использованы аминокислоты, поступающие в результате мобилизации мышечного белка [11]. Следовательно, интеграция белкового и углеводного метаболизма в условиях резкого дефицита глюкозы, очевидно, важна для поддержания воспроизводительной способности молочных коров.

Цель исследований — изучение изменения показателей белково-углеводного обмена в течение первого триместра лактации у черно-пестрых коров-первотелок с разным репродуктивным потенциалом.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служили 26 коров-первотелок чёрно-пёстрой голштинизированной породы со средним удоем 6336 ± 160 кг молока за 305 дней лактации. Эксперименты выполняли в весенне-летний период в ЭХ «Кленово-Чегодаево» Московской области. Коровы находились в условиях привязного содержания, рацион кормления соответствовал продуктивности животных. За 2 недели до отела и через 1, 3, 5, 7 и 13 недель после отела у коров брали кровь для определения биохимических показателей. Отбор крови проводили из хвостовой вены с помощью вакуумной системы Apexlab в один и тот же интервал времени перед утренним кормлением. После получения сыворотки образцы замораживали и хранили при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В пробах сыворотки крови определяли содержание альбуминов и глюкозы, а также активность ферментов аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ) на автоматическом биохимическом анализаторе Chem-Well (Awareness Technology, США) с использованием реагентов фирмы «Analyticon Biotechnology AG» (Германия).

Исследование функционального состояния половой системы коров проводили на 45–90-е сутки после отела. Для эксперимента отбирали особей, восстановивших овариальный цикл, что подтверждало проявление половой охоты и наличие доминантных фолликулов и/или жёлтых тел в яичниках. Животных, имевших гинекологические заболевания, связанные со структурными или функциональными повреждениями половой системы (эндометриты, миометриты, сальпингоофориты, спайки, разрывы наружных половых органов), исключали из эксперимента. Состояние полового аппарата оценивали методом ректального исследования и с помощью УЗИ-сканера WED 300W с линейным датчиком 7,5 МГц.

Первое осеменение коров-первотелок осуществляли после гинекологического обследования, но не ранее 60-го дня после отела строго по выявлению признаков охоты. При выявлении половой охоты в последующий период животных осеменяли повторно. Коров, не проявлявших после осеменения признаков охоты, обследовали через 60–90 дней на стельность ректальным методом. Через 12 месяцев после отёла животных разделили на 3 группы в соответствии с их репродуктивным состоянием: коровы с сервис-периодом менее 100 дней (группа 1, $n=10$), коровы с сервис-периодом более 100 дней (группа 2, $n=8$) и коровы, остававшиеся бесплодными более 365 дней (группа 3, $n=8$).

Полученные результаты обрабатывали методом однофакторного и двухфакторного диспер-

сионного анализа при помощи программы Sigma-Stat (Systat Software, Inc.) и выражали как средние значения $\pm$ стандартные ошибки. Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки.

Результаты и обсуждение. Молочная продуктивность коров за первые 100 дней лактации была одинаковой в сравниваемых группах и составляла в среднем 2257 ± 120 кг (группа 1), 2511 ± 173 кг (группа 2) и 2543 ± 121 кг (группа 3).

У коров с коротким сервис-периодом сывороочная концентрация альбуминов с 1-й по 5-ю неделю после отела была пониженной в 1,1–1,2 раза ($p < 0,05$) по сравнению с таковой до отела, достигая минимального значения через 3 недели, и возвращалась к исходному уровню через 7 недель (рис. 1, а). В то же время у животных с ослабленной репродуктивной способностью (группы 2 и 3) содержание альбуминов в крови оставалось постоянным на протяжении всего исследованного периода.

Концентрация глюкозы в крови коров в целом изменялась однонаправленно в сравниваемых группах, снижаясь в 1,5–1,7 раза (по крайней мере, $p < 0,05$) через 1 неделю после отела и слегка повышаясь (в 1,2–1,3 раза) к 7–13-й неделям (рис. 1, б). При этом через 7 недель лактации данный показатель был выше у животных с длинным, чем с коротким сервис-периодом ($p < 0,05$). Характер изменения активности АЛТ, участвующей во взаимном превращении аланина и пирувата, у коров в послеродовой период был в целом сходен с характером изменения сывoroточной концентрации альбуминов (рис. 2, А). Активность АЛТ в крови животных с коротким сервис-периодом была самой низкой через 3 недели после отела и затем возрастала в 1,9 ($p < 0,01$) и 2,3 раза ($p < 0,001$) к 7-й и 13-й неделе, соответственно. У коров с длинным сервис-периодом изменение активности АЛТ в динамике послеродового периода было менее выраженным. У длительно бесплодных животных минимальная активность АЛТ, наблюдавшаяся через 1 неделю после отела, была в 1,5 раза ниже этой ак-

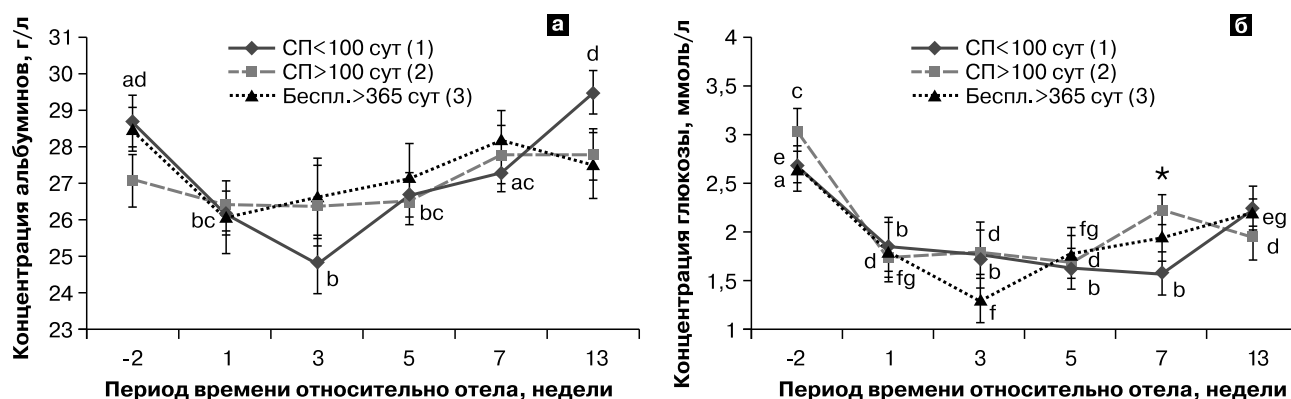


Рис. 1. Концентрация альбуминов (А) и глюкозы (Б) в различные периоды после отела в крови коров-первотелок с разной воспроизводительной способностью.

Средние значения, помеченные разными буквами, показывают достоверные различия между временными периодами для одной группы ($p < 0,05$ — $p < 0,001$). Достоверные различия между группами 1 и 2: * $p < 0,05$

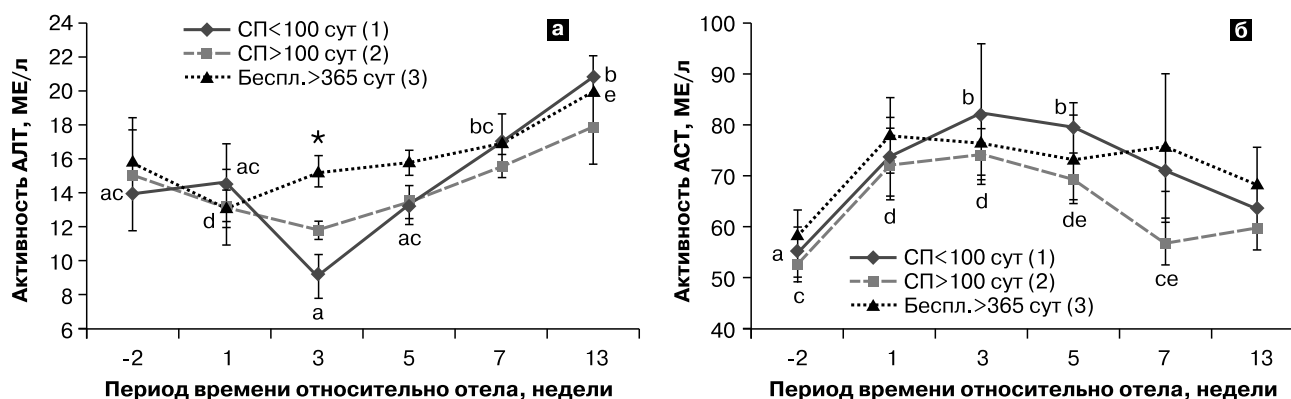


Рис. 2. Активность АЛТ (А) и АСТ (Б) в различные периоды после отела в крови коров-первотелок с разной воспроизводительной способностью.

Средние значения, помеченные разными буквами, показывают достоверные различия между временными периодами для одной группы ($p < 0,05$ — $p < 0,001$). Достоверные различия между группами 1 и 3: * $p < 0,05$

тивности через 13 недель ($p < 0,05$). Кроме того, через 3 недели лактации активность данного фермента у коров группы 3 была в 1,7 раза выше ($p < 0,05$), чем в группе 1.

Направленность изменений активности АСТ, катализирующей обратимую реакцию перехода аспартата в оксалоацетат, в динамике послеотельного периода была аналогичной в крови коров с разной репродуктивной способностью, однако их интенсивность различалась (рис. 2, Б). У коров 1-й группы активность АСТ возрастала в 1,5 раза ($p < 0,05$) через 3 недели после отела и затем незначительно уменьшалась к 7-13-й неделе. У коров 2-й группы существенное повышение активности этого фермента (в 1,4 раза, $p < 0,05$) было выявлено уже через 1 неделю лактации и сопровождалось значительным снижением этой активности к 7-й неделе (в 1,3 раза, $p < 0,01$). Изменение активности АСТ у животных 3-й группы имело сходную тенденцию, однако оно было более вариабельно и слабее выражено.

Ассоциативные исследования показали наличие позитивной связи между концентрацией альбуминов и активностью АЛТ в крови животных всех сравниваемых групп (табл. 1), что согласуется со сходным характером изменения этих показателей в динамике первого триместра лактации. Кроме того, у коров с коротким и длинным сервис-периодом была выявлена отрицательная корреляция сывороточной концентрации глюкозы и активности АСТ (по крайней мере, $p < 0,05$). Напротив, у длительно бесплодных животных активность АСТ в крови была положительно связана с содержанием альбуминов ($p < 0,01$).

Понижение содержания глюкозы в крови через 1 неделю после отела во всех группах предполагает наличие негативного энергетического баланса у обследованных нами коров-первотелок [6], по крайней мере до 7-й недели лактации. В этих условиях снижение концентрации альбуминов с 1-й по 5-ю неделю после отела у коров с коротким сервис-периодом, вероятно, имело компенсаторный характер, поскольку белки крови могут служить резервом аминокислот, используемых после дезаминирования в цикле Кребса [3]. В пользу этого

предположения свидетельствует ряд полученных нами данных. Отсутствие различий в молочной продуктивности животных разных групп за первые 100 дней лактации указывает на одинаковые потребности в синтезе молочного белка. Активность АЛТ в крови в первый триместр лактации позитивно коррелировала с содержанием альбуминов независимо от репродуктивного потенциала коров. При этом она была низкой у животных группы 1 вплоть до 5-й недели после отела, что говорит о низкой активности глюкозо-аланинового цикла, сопряженного с глюконеогенезом. Напротив, активность АСТ, катализирующей образование оксалоацетата, необходимого для работы цикла Кребса, отрицательно коррелировала с концентрацией глюкозы в крови и была повышенной до 5-й недели лактации у коров с коротким сервис-периодом. К 7-й неделе после отела у животных с высоким репродуктивным потенциалом, очевидно, происходил сдвиг метаболических процессов в сторону анаболизма с усилением глюконеогенеза. Это подтверждается параллельным ростом содержания альбуминов и активности АЛТ в крови, а также постепенным снижением активности АСТ. Следует отметить, что выявленный нами тренд изменения концентрации глюкозы и активности АСТ в послеотельный период в целом согласуется с данными, полученными ранее другими авторами [8, 11, 12].

В то же время у коров с низкой воспроизводительной способностью на ранней стадии лактации была частично нарушена катаболическая направленность метаболизма, что было обусловлено отсутствием выраженного снижения содержания альбуминов и активности АЛТ в крови. Кроме того, у длительно бесплодных животных не была выявлена отрицательная корреляция между концентрацией глюкозы в крови и активностью АСТ, которая была, в свою очередь, положительно связана с концентрацией альбуминов.

Заключение. Анализ полученных временных профилей для показателей белково-углеводного обмена в динамике первого триместра лактации свидетельствует о реализации определенной последовательности изменений баланса катаболических

Таблица 1. Взаимосвязь между показателями белково-углеводного обмена в крови коров с разной воспроизводительной способностью в первый триместр лактации

Сравниваемые показатели		Коэффициент корреляции r		
		1 группа	2 группа	3 группа
Альбумины	АЛТ	0,403**	0,404*	0,541***
Глюкоза	АСТ	-0,526***	-0,404*	-0,103
Альбумины	АСТ	-0,208	0,203	0,455**

Достоверность значения r : * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

и анаболических процессов в организме черно-пестрых коров-первотелок с высоким репродуктивным потенциалом. Нарушение такой последовательно-

сти приводит к ослаблению воспроизводительной функции животных, связанному с удлинением сервис-периода или с длительным бесплодием.

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

Литература

1. Roche J. R. Fertility and the transition dairy cow / J. R. Roche, C. R. Burke, M. A. Crookenden, A. Heiser, J. L. Looor, S. Meier, M. D. Mitchell, C.V.C. Phyn, S. A. Turner // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2018. — V. 30. — P. 85–100.
2. 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.
3. Van Kneegsel A. T. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle / A. T. van Kneegsel, H. van den Brand, J. Dijkstra, S. Tamminga, B. Kemp // *Reprod. Nutr. Dev.* — 2005. — V. 45. — P. 665–688.
4. 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, C. R. Burke, J. K. Kay, D. R. Lindsay, M. C. Lucy, G. B. Martin, S. Meier, F. M. Rhodes, J. R. Roche, W. W. Thatcher, R. Webb // *J. Dairy Sci.* — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
5. Walsh S. W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S. W. Walsh, E. J. Williams, A. C. Evans // *Anim. Reprod. Sci.* — 2011. — V. 123. — P. 127–138.
6. Lucy M. C. Endocrine and metabolic mechanisms linking postpartum glucose with early embryonic and foetal development in dairy cows / M. C. Lucy, S. T. Butler, H. A. Garverick // *Animal.* — 2014. — V. 8. — Suppl. 1. — P. 82–90.
7. 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.
8. 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.
9. Diskin M. G. Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle / M. G. Diskin, D. R. Mackey, J. F. Roche, J. M. Sreenan // *Anim. Reprod. Sci.* — 2003. — V. 78. — P. 345–370.
10. Sutton-McDowall M. L. The pivotal role of glucose metabolism in determining oocyte developmental competence / M. L. Sutton-McDowall, R.B. Gilchrist, J.G. Thompson // *Reproduction.* — 2010. — V. 139. — P. 685–695.
11. Kessel S. Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions / S. Kessel, M. Stroehl, H. H. Meyer, S. Hiss, H. Sauerwein, F. J. Schwarz, R. M. Bruckmaier // *J. Anim. Sci.* — 2008. — V. 86. — P. 2903–2912.
12. Zulu V. C. Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and postpartum ovarian function in dairy cows / V. C. Zulu, Y. Sawamukai, K. Nakada, K. Kida, M. Moriyoshi // *J. Vet. Med. Sci.* — 2002. — V. 64. — P. 879–885.

Solomakhin A. A., Mityashova O. S., Rykov R. A., Smekalova A. A., Lebedeva I. Yu.

Dynamics of changes in indicators of protein-carbohydrate metabolism in the first trimester of lactation in cows of the Black Pied breed in relation to different reproductive potentials

Abstract. *In the present work, changes in indicators of protein-carbohydrate metabolism during the first trimester of lactation in Black Pied primiparous cows with different reproductive potentials were studied. Two weeks before calving and from the 1st to the 13th weeks after calving, cows were bled to determine the concentration of albumin and glucose, as well as the activity of the enzymes alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST). After twelve months of lactation, the animals were divided into 3 groups: with an open days period of less than 100 days (group 1), with an open days period of more than 100 days (group 2), and animals that remained infertile for more than 365 days (group 3). The albumin concentration in the blood was reduced 1.1–1.2 times ($p<0.05$) from the 1st to the 5th week after calving in cows with the short open days*

period, but did not change significantly in animals of the other two groups. The glucose concentration decreased 1.5–1.7-fold (at least $p < 0.05$) 1 week after calving in all groups. The blood ALT activity was the lowest after 1–3 weeks of lactation and increased 1.9 times ($p < 0.01$) between the 3rd and 7th week in cows with the short open days period and 1.5 times ($p < 0.05$) between the 1st and 13th week in long-term infertile animals. Concurrently, the ALT activity positively correlated with the albumin content in the blood of animals of all compared groups. The ALT activity was increased 1.4–1.5 times ($p < 0.05$) in the blood of cows of the 1st and 2nd groups 1–5 weeks after calving. In addition, this activity was negatively associated with the glucose concentration in animals with the short and long open days period and positively associated with the albumin concentration in long-term infertile animals. An analysis of the obtained time profiles for indicators of protein-carbohydrate metabolism in the dynamics of the first trimester of lactation points to the implementation of a certain sequence of changes in the balance of catabolic and anabolic processes in Black Pied primiparous cows with a high reproductive potential. Disturbance of this sequence leads to an attenuation of the reproductive function of animals associated with a prolongation of the open days period or with prolonged infertility.

Keywords: cows of the Black Pied breed, postpartum period, first trimester of lactation, reproductive ability, protein-carbohydrate metabolism.

Authors:

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

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

Rykov R. A. — senior researcher; e-mail: Brukw@bk.ru;

Smekalova A. A. — junior researcher; e-mail: araksia86@mail.ru;

Lebedeva I. Yu. — Dr. Habil. (Biol. Sci.), head of laboratory; e-mail: irledv@mail.ru.

L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia; e-mail: alsolomahin@yandex.ru.

References

1. Roche J. R. Fertility and the transition dairy cow / J. R. Roche, C. R. Burke, M. A. Crookenden, A. Heiser, J. L. Looor, S. Meier, M. D. Mitchell, C.V.C. Phyn, S. A. Turner // *Reprod. Fertil. Dev.* — 2018. — V. 30. — P. 85–100.
2. 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.
3. Van Knegsel A. T. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle / A. T. van Knegsel, H. van den Brand, J. Dijkstra, S. Tamminga, B. Kemp // *Reprod. Nutr. Dev.* — 2005. — V. 45. — P. 665–688.
4. 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, C. R. Burke, J. K. Kay, D. R. Lindsay, M. C. Lucy, G. B. Martin, S. Meier, F. M. Rhodes, J. R. Roche, W. W. Thatcher, R. Webb // *J. Dairy Sci.* — 2007. — V. 90. — P. 4022–4032.
5. Walsh S. W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S. W. Walsh, E. J. Williams, A. C. Evans // *Anim. Reprod. Sci.* — 2011. — V. 123. — P. 127–138.
6. Lucy M. C. Endocrine and metabolic mechanisms linking postpartum glucose with early embryonic and foetal development in dairy cows / M. C. Lucy, S. T. Butler, H. A. Garverick // *Animal.* — 2014. — V. 8. — Suppl. 1. — P. 82–90.
7. 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.
8. 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.
9. Diskin M. G. Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle / M. G. Diskin, D. R. Mackey, J. F. Roche, J. M. Sreenan // *Anim. Reprod. Sci.* — 2003. — V. 78. — P. 345–370.
10. Sutton-McDowall M. L. The pivotal role of glucose metabolism in determining oocyte developmental competence / M. L. Sutton-McDowall, R.B. Gilchrist, J.G. Thompson // *Reproduction.* — 2010. — V. 139. — P. 685–695.
11. Kessel S. Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions / S. Kessel, M. Stroehl, H. H. Meyer, S. Hiss, H. Sauerwein, F. J. Schwarz, R. M. Bruckmaier // *J. Anim. Sci.* — 2008. — V. 86. — P. 2903–2912.
12. Zulu V. C. Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and postpartum ovarian function in dairy cows / V. C. Zulu, Y. Sawamukai, K. Nakada, K. Kida, M. Moriyoshi // *J. Vet. Med. Sci.* — 2002. — V. 64. — P. 879–885.