

УДК 591.146:636.2

В. В. Цюпко, В. В. Цюпко

Институт животноводства НААН Украины

СОСТАВ МОЛОКА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИНТЕЗА ЖИРА, БЕЛКА И ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ КОРОВ

Изучены изменения содержания жира, белка и лактозы в молоке коров в зависимости от ряда факторов, на основании которых рассматриваются закономерности синтеза основных компонентов молока. Синтез лактозы и казеина не имеет достаточно тесной связи, повышенный удой в период доминанты лактации и снижение его в конце лактации сопровождается заметным изменением концентрации лактозы в молоке, а объем продуцируемого молока определяется количеством лактозы, синтезированной в молочной железе.

В. В. Цюпко, В. В. Цюпко

Институт тваринництва НААН України

СКЛАД МОЛОКА ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ СИНТЕЗУ ЖИРУ, БІЛКА ТА ЛАКТОЗИ У МОЛОЦІ КОРІВ

Вивчено зміни вмісту жиру, білка та лактози в молоці корів залежно від низки чинників, на підставі яких розглядаються закономірності синтезу основних компонентів молока. Синтез лактози та казеїну не має достатньо тісного зв'язку, підвищений удій у період домінантної лактації та зниження його в кінці лактації супроводжується помітною зміною концентрації лактози в молоці, а обсяг продукovanого молока визначається кількістю лактози, синтезованої в молочній залозі.

V. V. Tsiupko, V. V. Tsiupko

Institute of Animal Science NAAS of Ukraine

COWS' MILK COMPOSITION AND REGULARITIES OF FAT, PROTEIN AND LACTOSE SYNTHESIS

Changes in fat, protein and lactose content in cows' milk depending on several factors were studied. Common patterns of synthesis of the milk major components are under consideration on the basis of those changes. The syntheses of lactose and casein have no close connection. Increased milk yield during lactation dominant and its decrease in late lactation are accompanied by a noticeable change of lactose concentration in the milk. The volume of milk produced is determined by the amount of lactose synthesized in the mammary gland.

Введение

Изучению состава и продукции молока посвящено огромное количество работ. Однако в большей их части изучено влияние уровня кормления и состава рациона на показатели состава молока у коров разных пород и в разных условиях содержания и доения [4; 8–11; 15]. Рассмотрение синтеза составных частей молока касается главным образом рассмотрения структуры клетки альвеолярного эпителия, поглощения предшественников молока выменем [2; 5–7; 12–14]. С точки зрения физико-химической

классификации молоко можно рассматривать как высокодисперсную систему. Высокодисперсное (коллоидное) состояние молока определяется свойствами воды. Являясь полярным веществом, вода обеспечивает возможность существовать и интенсивно двигаться в броуновском движении, независимо друг от друга, частицам дисперсной фазы (прежде всего мицеллам казеина и других белков). С точки зрения химии, молоко относится к золям (точнее, к гидрозолям), то есть к системе, обеспечивающей независимое друг от друга движение частиц, интенсивно передвигающихся в среде (в дисперсной среде) в процессе броуновского движения.

Коллоидное состояние допускает размеры частиц дисперсной фазы от 10 до 200 нм. Более мелкие молекулы (лактоза – 1,0–1,5 нм) находятся в растворе, а более крупные быстро выделяются из водной фазы как не способные к независимому броуновскому движению. В молоке частицы находятся в трех формах: молекулярно-ионные (лактоза и соли), коллоидные (белки) и взвешенные (жир) [3].

Формирование дисперсной среды (представленной раствором лактозы) и дисперсной фазы (состоящей из казеина, альбуминов и глобулинов) является объектом исследований закономерностей синтеза отдельных компонентов.

В данной работе изучены изменения содержания жира, белка и лактозы в молоке коров в зависимости от ряда факторов, на основании которых рассматриваются закономерности синтеза основных компонентов молока.

Материал и методы исследований

Исследования проводили на основе определения содержания перечисленных компонентов в ежемесячных пробах молока коров опытного хозяйства «Кутузовка» Харьковского района Харьковской области. Молоко от каждой коровы отбирали во время контрольного доения. Доильные аппараты снабжены специальными приспособлениями для отбора средней пробы. В каждый цикл отбора проб в течение трех смежных дней отбирали 400–500 и более проб молока. Таким образом, ежемесячно анализировали достаточное количество проб для точной характеристики закономерностей изменения состава молока ввиду нивелирования влияния индивидуальных особенностей животных.

Анализ проб молока проводили в лаборатории экологического мониторинга и оценки качества продукции животноводства ИЖ НААНУ на приборе «Бентли» (Bentley-150 Comby). Полученные данные анализировали по следующим направлениям:

- оценка состава молока на «зимних» и «летних» рационах;
- влияние стадии лактации на состав молока;
- определение состава молока у коров с разным удоем.

Данные обработаны методами описательной статистики, проведен корреляционный анализ степени взаимосвязи отдельных показателей.

Кормление коров в опытном хозяйстве «Кутузовка» осуществлялось в соответствии с существующими нормами энергетического, протеинового и минерального питания и достаточно строго корректировалось с учетом фактической питательной ценности используемых кормов. Основу рационов в осенний и зимний периоды, а также ранней весной составляли консервированные корма (силос кукурузный, сенаж и сено). В летний период при достаточно высоком накоплении питательных веществ в зеленых растениях (зеленая масса озимых, люцерна, кукуруза) в течение июня – августа животные получали зеленую массу перечисленных кормов. Общий состав рационов корректировали концентратами в соответствии с составом основного грубого корма.

Результаты и их обсуждение

Наиболее значимы различия молока на зимних и летних рационах по содержанию жира (табл. 1). Содержание жира в молоке на летних рационах могло снизиться вследствие изменения характера брожения в преджелудках коров. На летних рационах, богатых растворимыми углеводами, уменьшается содержание кетогенных ацетата и бутирата и увеличивается продукция пропионовой кислоты. Снижение продукции ацетата и бутирата как основных предшественников синтеза жирных кислот, видимо, является причиной снижения содержания жира в молоке в летний период [1].

Таблица 1

Состав молока коров на зимних и летних рационах

Показатели		Зима, $M \pm m$ ($n = 4463$)	Лето, $M \pm m$ ($n = 1875$)	Лето/зима, %
Суточный удой, кг		$16,63 \pm 0,090$	$16,95 \pm 0,153$	101,9
Состав молока, %	жир	$3,45 \pm 0,010$	$3,26 \pm 0,013$	94,3***
	белок	$3,32 \pm 0,005$	$3,32 \pm 0,008$	99,9
	лактоза	$4,98 \pm 0,005$	$4,88 \pm 0,007$	98,1**

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

Содержание белка и жира в молоке закономерно увеличивалось к концу лактации, а содержание лактозы – снижалось (табл. 2). Таким образом, в разгар, или в период доминанты лактации, имеет место повышенный синтез лактозы, а в конце лактации, перед запуском, синтез лактозы снижается. Следовательно, состояние дисперсной среды в течение лактации изменяется, обеспечивая благоприятные условия существования всей полидисперсной системы, каковой является молоко.

Таблица 2

Состав молока ($M \pm m$) коров на разных стадиях лактации

Характеристика	Продолжительность периода после отела, дней						
	14–30 ($n = 44$)	31–80 ($n = 717$)	81–150 ($n = 1368$)	151–305 ($n = 2835$)	306–500 ($n = 1374$)	в целом ($n = 6338$)	
Возраст (в лактациях)	$3,39 \pm 0,29$	$3,15 \pm 0,07$	$3,09 \pm 0,05$	$2,97 \pm 0,03$	$2,53 \pm 0,05$	$2,92 \pm 0,02$	
Суточный удой, кг	$21,69 \pm 1,09$	$20,80 \pm 0,25$	$19,33 \pm 0,17$	$16,05 \pm 0,10$	$13,23 \pm 0,13$	$16,72 \pm 0,78$	
Содержание в молоке, %	жира	$3,12 \pm 0,09$	$3,28 \pm 0,02$	$3,27 \pm 0,02$	$3,40 \pm 0,01$	$3,58 \pm 0,02$	$3,40 \pm 0,01$
	белка	$3,04 \pm 0,05$	$3,05 \pm 0,01$	$3,19 \pm 0,01$	$3,36 \pm 0,01$	$3,53 \pm 0,01$	$3,32 \pm 0,01$
	лактозы	$5,08 \pm 0,04$	$5,05 \pm 0,01$	$4,99 \pm 0,01$	$4,92 \pm 0,01$	$4,90 \pm 0,01$	$4,95 \pm 0,01$
Продукция в суточном удое, г	жира	$661,0 \pm 30,5$	$671,0 \pm 8,1$	$622,7 \pm 5,5$	$535,3 \pm 3,5$	$467,0 \pm 4,6$	$555,6 \pm 2,5$
	белка	$654,3 \pm 32,6$	$630,3 \pm 7,5$	$611,6 \pm 5,3$	$534,1 \pm 3,3$	$463,6 \pm 4,4$	$547,3 \pm 2,4$
	лактозы	$1101,9 \pm 56,8$	$1051,9 \pm 12,7$	$967,7 \pm 8,7$	$793,1 \pm 5,3$	$652,1 \pm 6,7$	$831,6 \pm 4,0$

Анализ состава молока коров различной продуктивности (табл. 3) свидетельствует о том, что с увеличением удоя концентрация жира и белка в молоке закономерно снижается, а содержание лактозы – увеличивается. Наиболее интересными являются изменения в содержании лактозы. Эти изменения в общем невелики (4,79–5,05 %) и мало отражаются на суммарной продукции.

Существует прямая связь между содержанием лактозы и удоем (рис.). Таким образом, в молочной железе достаточно точно подготавливается дисперсная среда для выделения и существования в ней и дисперсионной фазы подвижных белков (казеин, альбумины, глобулины), и нерастворенных глобул жира. Можно считать, что количество продуцированного молока определяется количеством синтезированной в эпителиальных клетках альвеол лактозы.

Таблица 3

Состав молока, продукция жира, белка и лактозы ($M \pm m$) у коров с разным удоем

Характеристика	Суточный удой, кг						
	5–10 (n = 1077)	11–15 (n = 1723)	16–22 (n = 24545)	23–27 (n = 746)	28–35 (n = 312)	36–42 (n = 26)	
Возраст (в отелах)	3,4 ± 0,05	2,9 ± 0,04	2,7 ± 0,04	2,8 ± 0,06	3,2 ± 0,09	3,2 ± 0,26	
Дней лактации	274,2 ± 3,4	248,1 ± 2,7	199,3 ± 2,0	150,6 ± 3,2	111,2 ± 3,7	96,3 ± 14,7	
Содержание в молоке, %	жира	3,70 ± 0,02	3,52 ± 0,02	3,30 ± 0,01	3,17 ± 0,02	3,01 ± 0,03	2,85 ± 0,05
	белка	3,49 ± 0,01	3,41 ± 0,01	3,27 ± 0,01	3,15 ± 0,01	3,07 ± 0,02	3,00 ± 0,05
	лактозы	4,79 ± 0,01	4,94 ± 0,01	4,99 ± 0,01	5,00 ± 0,01	5,02 ± 0,01	5,05 ± 0,04
Продукция в суточном удое, г	жира	296,3 ± 2,34	461,1 ± 2,17	618,4 ± 2,43	776,8 ± 5,08	906,8 ± 8,70	1070,8 ± 21,0
	белка	280,2 ± 1,94	446,6 ± 1,51	613,0 ± 1,61	771,3 ± 3,08	923,4 ± 5,88	1128,7 ± 21,2
	лактозы	386,2 ± 2,63	649,0 ± 2,00	937,4 ± 2,23	1226,9 ± 3,37	1510,9 ± 6,21	1896,1 ± 21,1

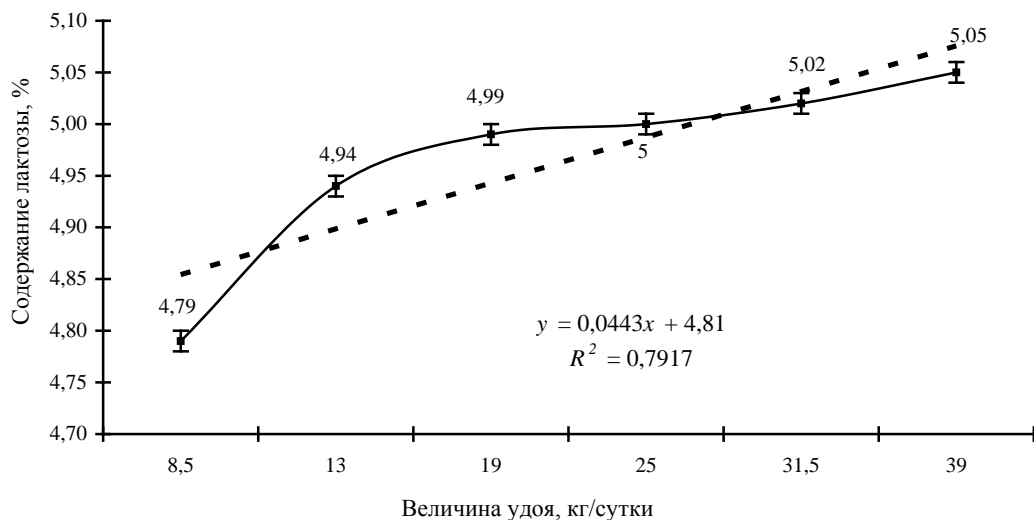


Рис. Связь между величиной удоя и содержанием лактозы

Коррелятивные связи между основными компонентами и удоем выражены слабо или являются недостоверными (табл. 4). Для жира и белка во всех случаях корреляции с удоем были отрицательными, для лактозы – положительными. Не только направленность, но и величины связи близки как в среднем по всему массиву данных, так и по данным, полученным по молоку от коров на зимних (кормление консервированными кормами – силос, сенаж, сено) и летних рационах (зеленая масса ранних озимых, люцерна, зеленая кукуруза). Таким образом, данные корреляционного анализа указывают на прямую связь между удоем и концентрацией лактозы в молоке.

Таблица 4

Коррелятивные связи между содержанием основных компонентов молока и величиной удоя

Характеристики	По всему массиву	На зимних рационах	На летних рационах
Удой – жир	-0,32	-0,34	-0,35
Удой – белок	-0,35	-0,32	-0,40
Удой – лактоза	0,22	0,27	0,28
Жир – белок	0,27	0,31	0,28
Жир – лактоза	-0,07	-0,11	-0,12
Белок – лактоза	-0,19	-0,22	-0,16

Синтез белка в альвеолярном эпителии производится рибосомами с последующим насыщением казеина кальцием и фосфором в аппарате Гольджи. Синтез лактозы (как преобразование глюкозы в галактозу, так и конденсация глюкозы и галактозы) полностью происходит в аппарате Гольджи. Молекула лактозы выходит через мембранный аппарат в содержимое клетки и через клеточную мембрану поступает в содержимое альвеолы. Мицеллы казеина выходят из систем аппарата Гольджи, окруженные плазматической мембраной, и попадают в альвеолярную полость через апикальный конец клетки секреторного эпителия [2].

Концентрация жира в молоке у низкопродуктивных животных повышена, однако общая продукция жира ниже, чем у коров с высоким удоем. Видимо, изменения продукции жира при этом в наибольшей степени связаны со скоростью кровотока и доставкой жира. Известно, что одним из основных регуляторов лактации является гормон гипофиза пролактин, действующий на уровне изменений кровотока и проницаемости мембран для глюкозы. Исходя из этого можно считать, что пролактин является гормоном, регулирующим поступление глюкозы и жирных кислот в молочную железу.

Интересные данные получены нами при изучении состава молока разных порций удоя [5]. В цистернальной порции молока, выделяемой в начале доения, содержание лактозы составляет $4,30 \pm 0,11$ %, жира – $1,84 \pm 0,12$ %, а белка – $3,06 \pm 0,05$ %. В альвеолярной порции, полученной после стимуляции вымени по окончании обычного доения, содержание лактозы осталось практически тем же, содержание жира достигло $6,97 \pm 0,27$ %, а белка снизилось до $2,85 \pm 0,03$ %. Содержание лактозы в общем было близким к величинам, полученным по всему удою. Это говорит о непрерывной «работе» лактозосинтезирующей системы, находящейся в аппарате Гольджи секреторной клетки. Содержание белка в молоке в данном исследовании было низким во всех порциях удоя и мало различалось в разных порциях. Как отмечалось, синтез молекулы казеина производится рибосомами (полисомами) с последующим включением ионов кальция и фосфора также в аппарате Гольджи. Низкое содержание белка при обычном содержании лактозы указывает на разное место воздействия на синтез в клетке и разные пути регуляции синтеза лактозы и казеина.

Сравнительно высокое содержание в молоке лактозы как основного элемента дисперсионной среды коллоида происходит независимо от того, какое количество элементов дисперсной фазы (казеин, альбумины, глобулины) будет выделено в молоко. Удой (количество продуцированного молока) таким образом зависит от продукции лактозы, независимо от количества дисперсной фазы – белков, поступающих из эпителиальной клетки. Из приведенных данных можно заключить, что синтез лактозы является, во-первых, относительно независимым от синтеза белка и жира, и во-вторых, количество синтезированной лактозы определяет величину удоя. Содержание жира, не входящего в коллоидную систему, в большей степени зависит от поступления жирных кислот из крови и синтеза их в самой молочной железе.

Выводы

Синтез основных специфических компонентов молока – лактозы и казеина – не имеет достаточно тесной связи.

Регуляция уровня молочной продуктивности (повышенный удой в период доминанты лактации и снижение его в конце лактации) сопровождается заметным изменением концентрации лактозы в молоке: повышенной концентрацией в период максимальных удоев и пониженной в конце лактации.

Объем продуцируемого молока определяется количеством лактозы, синтезированной в молочной железе.

Библиографические ссылки

1. **Вудмаска І. В.** Метаболізм у рубці та його вплив на жирнокислотний склад ліпідів молока корів за різного вуглеводного і ліпідного складу раціону: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. – Львів : Ін-т біології тварин, 2008. – 38 с.
2. **Грачев І. І.** Цитофизиология секреции молока / И. И. Грачев, С. М. Попов, В. П. Скопичев. – Л. : Наука, 1976. – 24 с.
3. **Инихов Г. С.** Биохимия молока и молочных продуктов. – М. : Пищ. пром-сть, 1970. – 317 с.
4. **Крейлис М. Л.** Физиология молокоотдачи и практика доения коров: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – Харьков, 1987. – 32 с.
5. **Янович В. Г.** Біологічні основи трансформації поживних речовин у жуйних тварин / В. Г. Янович, Л. І. Сологуб. – Львів : Триада плюс, 2000. – 384 с.
6. **Bauman D. E.** Nutritional regulation of milk fat synthesis / D. E. Bauman, J. M. Griinari // *Ann. Rev. Nutr.* – 2003. – Vol. 23. – P. 203–227.
7. **Bauman D. E.** Nutrigenomics, rumen-derived bioactive fatty acids, and the regulation of milk fat synthesis / D. E. Bauman, K. J. Harvatine, A. L. Lock // *Annual Review of Nutrition.* – 2011. – Vol. 31. – P. 299–319.
8. **Early** lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival / F. Toni, L. Vincenti, L. Grigoletto et al. // *J. Dairy Sci.* – Vol. 94, N 4. – P. 1772–1783.
9. **Effect** of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behavior, and dry matter intake / E. Kennedy, M. McEvoy, J. P. Murphy, M. O'Donovan // *J. Dairy Sci.* – 2009. – Vol. 92. – P. 168–176.
10. **Lefevre C. M.** Evolution of lactation: Ancient origin and extreme adaptations of the lactation system / C. M. Lefevre, J. A. Sharp, K. R. Nicholas // *Annual Review of Genomics and Human Genetics.* – 2010. – N 11. – P. 219–238.
11. **Prediction** of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: Model development and precision / C. Heuer, W. M. van Straalen, Y. H. Schukken et al. // *Livest. Prod. Sci.* – 2000. – Vol. 65. – P. 91–105.
12. **Relationship** of early lactation and bovine somatotropin on nutrient uptake by cow mammary glands / P. S. Miller, B. L. Reis, C. C. Calvert et al. // *J. Dairy Sci.* – 1991. – Vol. 74, N 11. – P. 3800–3806.
13. **Seasonal** variation in the Dutch bovine raw milk composition / J. M. L. Heck, H. J. F. van Valenberg, J. Dijkstra, A. C. M. van Hooijdonk // *J. Dairy Sci.* – 2009. – Vol. 92, N 10. – P. 4745–4755.
14. **The effect** of supplementary protein on *in vivo* metabolism of the mammary gland in lactating dairy cows / J. A. Metcalf, J. D. Sutton, D. Wray-Cahen et al. // *J. Dairy Sci.* – 1994. – Vol. 77, N 7. – P. 2081–2090.
15. **Weiss W. P.** Use of a corn milling product in diets for dairy cows to alleviate milk fat depression // *J. Dairy Sci.* – 2012. – Vol. 95. – P. 2081–2090.

Надійшла до редколегії 14.07.2012