ТВАРИННИЦТВО

DOI: 10.32636/01308521.2021-(70)-1-13

УДК 636.2:577.125

О. Б. ДЯЧЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл., 81115, e-mail: o.b.dyachenko@gmail.com

ВМІСТ НЕЕСТЕРИФІКОВАНИХ ФОРМ ЖИРНИХ КИСЛОТ В ЕРИТРОЦИТАХ КРОВІ КОРІВ РІЗНОЇ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Біологічні мембрани є головними елементами, які формують структуру клітин та підтримують у ній обмінні процеси. Крім функції бар'єра, який відокремлює внутрішній простір клітин від зовнішнього, біологічні мембрани слугують каркасом і важливим елементом у міжклітинній комунікації та ініціації внутрішньоклітинних сигналів. Мембранні ліпіди та ліпідні структури безпосередньо беруть участь у генеруванні та передачі клітинних сигналів, а білок-ліпідні структури – в локалізації сигнальних білків-партнерів у конкретних мікромедонах мембрани. Оскільки в еритроцитах крові корів ліпіди містяться тільки в мембрані, їх використовують як базову модель для досліджень та оцінки особливостей перебігу фізіологічних процесів в інших органах і тканинах. У зв'язку з цим нами проведено дослідження вмісту неестерифікованих форм жирних кислот в еритроцитах крові корів різної молочної продуктивності.

Встановлено, що концентрація неестерифікованих форм жирних кислот в організмі корів із надоем 4800–5200 кг за лактацію порівняно з тваринами, у яких надій 3850–4150 кг, є більшою. Вказана різниця обумовлена переважно насиченими (10,4%) та меншою мірою моно- (9,8%) і поліненасиченими (7,7%) жирними кислотами. Відзначено, що в корів із вищою молочною продуктивністю індекс насиченості ліпідів більший, ніж у низькопродуктивних, що свідчить про вищий відносний вміст неестерифікованих форм ненасичених жирних кислот порівняно з насиченими. Неоднаковий вміст неестерифікованих форм насичених жирних кислот в еритроцитах крові корів різної молочної продуктивності спричинений кислотами з парним числом вуглецевих атомів у ланцюгу, різниця вірогідна й обумовлена головним чином каприловою (13,6%), каприною (13,5%), лауриною (12,8%), пальмітиною (11,0%) і стеариною (9,5%) кислотами. Більша концентрація неестерифікованих форм мононенасичених жирних кислот в організмі корів із вищим надоем спричиняється переважно олеїною кислотою, однак різниця невірогідна. У корів із вищою молочною

продуктивністю порівняно з низькопродуктивними тваринами більший вміст неестерифікованих форм поліненасичених жирних кислот обумовлений переважно кислотами родини ω -3 (9,2%), менше – родини ω -6 (7,1%). Серед жирних кислот родини ω -3 встановлено вірогідну різницю за вмістом ейкозапентаєнової (13,7%) і докозатриєнової (14,7%) кислот, а серед кислот родини ω -6 – ейкозатриєнової (17,9%) і докозадієнової (14,3%).

Поліненасичені жирні кислоти родини ω -3 порівняно із жирними кислотами родини ω -6 регулюють функціональну активність організму на більш високому рівні й тим самим мають сильніший вплив на обмінні процеси в організмі та продуктивність тварин. На нашу думку, більший вміст ненасичених жирних кислот у корів із вищою молочною продуктивністю порівняно з низькопродуктивними тваринами забезпечує більшу проникність клітинних мембран і вищу інтенсивність метаболічного обміну між клітиною і зовнішнім середовищем, що є одним із факторів, які формують вищу молочну продуктивність.

Ключові слова: корова, молочна продуктивність, неестерифіковані форми жирних кислот.

Oleksandr Diachenko

Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS

The content of non-esterified forms of fatty acids in the erythrocytes of the blood of cows of different milk productivity

Biological membranes are the main elements that form the structure of cells and support metabolic processes in it. In addition to the barrier function that separates the inner space of cells from the outer, biological membranes are the framework and an important element in intercellular communication and the initiation of intracellular signals. Membrane lipids and lipid structures are directly involved in the generation and transmission of cellular signals, and protein-lipid structures are involved in the localization of signaling partner proteins in specific membrane micromedones. Because lipids in cow blood erythrocytes are contained only in the membrane, they are used as a basic model for research and evaluation of the peculiarities of physiological processes in other organs and tissues. In this regard, we studied the content of non-esterified forms of fatty acids in the red blood cells of cows of different milk productivity.

It was found that the concentration of non-esterified forms of fatty acids in the body of cows with milk yield of 4800–5200 kg per lactation, compared with animals with hopes of 3850–4150 kg, is higher. This difference is mainly due to saturated (10.4%) and to a lesser extent monounsaturated (9.8%) and polyunsaturated (7.7%) fatty acids. It is noted that in cows with higher milk productivity the lipid saturation index is higher than in low-yielding, which indicates a higher relative content of non-esterified forms of unsaturated fatty acids compared to saturated. The unequal content of non-esterified forms of saturated fatty acids in the erythrocytes of cows of different milk productivity is due to acids with an even number of carbon atoms in the chain, the difference is probable and is mainly due to

caprylic (13.6%), capric (13.5%), laurinic 12.8%), palmitic (11.0%) and stearic (9.5%) acids. The higher concentration of non-esterified forms of monounsaturated fatty acids in the body of cows with higher milk yield is mainly due to oleic acid, but the difference is unlikely. In cows with higher milk productivity, compared with low-yielding animals, the higher content of non-esterified forms of polyunsaturated fatty acids is mainly due to acids of the family ω -3 (9.2%), less – family ω -6 (7.1%). Among the fatty acids of the ω -3 family, a significant difference was found in the content of eicosapentaenoic (13.7%) and docosatrienic (14.7%) acids, and among the acids of the ω -6 family – eicosatrienic (17.9%) and docosadienoic (14.3%).

Polyunsaturated fatty acids of the family ω -3, compared with fatty acids of the family ω -6, regulate the functional activity of the body at a higher level and thus have a greater impact on metabolic processes in the body and productivity of animals. In our opinion, the higher content of unsaturated fatty acids in cows with higher milk productivity, compared with low-yielding animals, provides greater permeability of cell membranes and higher metabolic rate between the cell and the environment, which is one of the factors shaping higher milk productivity.

Key words: cow, dairy productivity, non-esterified forms of fatty acids.

Вступ. Для інтенсивного розвитку галузі молочного скотарства важливим напрямом є використання прискорених темпів селекції, спрямованої на підвищення молочної продуктивності корів. Тому важливе значення має пошук об'єктивних показників оцінки фізіологічного стану організму тварин, які ґрунтуються на інтер'єрних ознаках і виявляють високий ступінь кореляції з показниками продуктивності. Одним із показників, за якими можна об'єктивно визначати фізіологічний стан корів, слугує вміст жирних кислот в організмі як генетично детермінованих ознак, які тісно корелюють з обмінними процесами й продуктивністю [1, 10, 11, 16, 20, 25, 38, 39].

Кількість і співвідношення жирних кислот в організмі ссавців вивчають за їх вмістом у мембранах клітин [12, 17, 24, 26, 35]. У тварин та людини використовують еритроцити та їхні мембрани як базову модель для досліджень [18, 22, 34, 37], що відображає особливості перебігу фізіологічних процесів в інших органах і тканинах [14, 15, 18, 19, 30]. Встановлено, що в еритроцитах корів ліпіди містяться тільки в мембрані [17, 18, 30, 37], а їх співвідношення генетично обумовлене [1, 6, 13, 29]. Це свідчить, що жирнокислотний склад мембран клітин є об'єктивним показником і може бути використаний для оцінювання фізіологічного стану організму та продуктивності.

Мембрана діє як бар'єр проникності, а ліпіди, які є складовою клітинних структур, беруть участь у здійсненні контролю внутрішнього середовища клітини і його зв'язку із зовнішнім середовищем [2, 3, 7, 19, 27]. Зі зміною жирнокислотного складу мембран клітин організму

порушується обмінна функція фосфоліпідів [6, 9, 33], у результаті чого погіршується проникність мембран і знижується їхня здатність до зв'язування метаболітів і ферментів [1, 4, 31]. Фізичний стан ліпідного шару також регулює функціональну активність як транспортних, так і інших мембранних білків, впливаючи на їхню конфігурацію, кооперацію і латеральну рухливість [6, 15, 21, 23, 28, 32, 36], що безпосередньо позначається на продуктивності тварин.

З огляду на викладене вище, метою досліджень було вивчити вміст неестерифікованих форм жирних кислот в еритроцитах крові корів у зв'язку з рівнем їхньої молочної продуктивності.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на державному підприємстві «Дослідне господарство "Радехівське"» на двох групах корів української чорно-рябої молочної породи західного внутрішньопородного типу в сухостійний період за 1 місяць до отелення, аналогів за віком і живою масою, по 6 голів у кожній. За результатами закінченої лактації в першу групу відібрали корів із надоєм 3850–4150 кг молока за 305 діб лактації, в другу – 4800–5200 кг.

Вміст неестерифікованих форм жирних кислот в еритроцитах крові визначали методом газової хроматографії [5] з використанням газового хроматографа «Chrom-5» (Чехія).

Отриманий цифровий матеріал опрацьовано методом варіаційної статистики з використанням критерію Стюдента. Обчислювали середні арифметичні величини (M) та їхні похибки ($\pm m$). Зміни вважали вірогідними при $P < 0,05$, $P < 0,01$ і $P < 0,001$. Для розрахунків було використано комп'ютерну програму «MS Excel».

Результати та обговорення. Отримані результати досліджень свідчать, що еритроцити крові корів різного рівня молочної продуктивності характеризуються неоднаковим вмістом неестерифікованих форм жирних кислот (табл. 1).

1. Вміст неестерифікованих форм жирних кислот в еритроцитах крові корів, $\text{г}^{-3}/\text{л}$ ($M \pm m$)

Жирні кислоти	Групи корів	
	перша	друга
Насичені	76,99 $\pm$ 2,45	84,97 $\pm$ 2,26*
Мононенасичені	16,68 $\pm$ 0,57	18,32 $\pm$ 0,53
Поліненасичені	25,24 $\pm$ 0,82	27,18 $\pm$ 0,64
Разом	118,91 $\pm$ 3,72	130,47 $\pm$ 3,37*
Індекс насиченості ліпідів	1,84	1,87

Примітка. У цій та наступних таблицях: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Зокрема, у тварин другої групи, порівняно з першою, різниця вказаного показника в середньому становить $11,56 \text{ г}^{-3}/\text{л}$ (9,7%) і обумовлена здебільшого насиченими ($7,98 \text{ г}^{-3}/\text{л}$, 10,4%) та меншою мірою моно- ($1,64 \text{ г}^{-3}/\text{л}$, 9,8%) і поліненасиченими ($1,94 \text{ г}^{-3}/\text{л}$, 7,7%) жирними кислотами. Також встановлено, що в корів із вищою молочною продуктивністю індекс насиченості ліпідів більший, ніж у низькопродуктивних (1,87 проти 1,84), що свідчить про вищий відносний вміст неестерифікованих форм ненасичених жирних кислот щодо насичених.

Аналіз одержаних даних виявив, що неоднаковий вміст неестерифікованих форм насичених жирних кислот в еритроцитах крові корів із різною молочною продуктивністю обумовлений кислотами з парним числом вуглецевих атомів у ланцюгу, різниця вірогідна й становить $7,94 \text{ г}^{-3}/\text{л}$, або 10,4%. Вказана різниця ($P < 0,05 - 0,01$) спричинюється переважно каприловою (13,6%), каприною (13,5%), лауриною (12,8%), пальмітиною (11,0%) і стеариною (9,5%) кислотами (табл. 2).

2. Вміст неестерифікованих форм насичених жирних кислот в еритроцитах крові корів, $\text{г}^{-3}/\text{л}$ ($M \pm m$)

Назва та код жирної кислоти	Групи корів	
	перша	друга
Каприлова, 8:0	$0,22 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01^*$
Капринова, 10:0	$0,37 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,01^{**}$
Лауринова, 12:0	$0,47 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02^*$
Міристинова, 14:0	$0,81 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,03$
Пентадеканова, 15:0	$0,71 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,03$
Пальмітинова, 16:0	$47,83 \pm 1,50$	$53,09 \pm 1,43^*$
Стеаринова, 18:0	$26,14 \pm 0,87$	$28,62 \pm 0,74^*$
Арахідова, 20:0	$0,44 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,01$
Насичені жирні кислоти з парним числом вуглецевих атомів у ланцюгу	$76,28 \pm 2,46$	$84,22 \pm 2,24^*$
Насичені жирні кислоти з непарним числом вуглецевих атомів у ланцюгу	$0,71 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,03$

Виявлено, що вищий вміст неестерифікованих форм мононенасичених жирних кислот у корів із надоем 4800–5200 кг за лактацію порівняно з тваринами, у яких надій був 3850–4150 кг,

обумовлений головним чином олеїною кислотою (родина ω -9), хоча різниця була невірогідною (табл. 3).

3. Вміст неестерифікованих форм мононенасичених жирних кислот в еритроцитах крові корів, $\text{г}^{-3}/\text{л}$ ($M \pm m$)

Назва та код жирної кислоти	Групи корів	
	перша	друга
Пальмітоолейнова, 16:1	1,16 $\pm$ 0,05	1,28 $\pm$ 0,04
Олейнова, 18:1	15,09 $\pm$ 0,54	16,59 $\pm$ 0,53
Ейкозаєнова, 20:1	0,43 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,01
Жирні кислоти родини ω -9	15,52 $\pm$ 0,55	17,04 $\pm$ 0,53
Жирні кислоти родини ω -7	1,16 $\pm$ 0,05	1,28 $\pm$ 0,04

Встановлено, що в корів із вищою молочною продуктивністю порівняно з низькопродуктивними тваринами високий вміст неестерифікованих форм поліненасичених жирних кислот обумовлений більшою мірою кислотами родини ω -3 (9,2%), ніж родини ω -6 (7,1%). Серед жирних кислот родини ω -3 відзначено вірогідну різницю щодо вмісту ейкозапентаєнової (13,7%) і докозатриєнової (14,7%) кислот, а серед кислот родини ω -6 – ейкозатриєнової (17,9%) і докозадієнової (14,3%) (табл. 4).

4. Вміст неестерифікованих форм поліненасичених жирних кислот в еритроцитах крові корів, $\text{г}^{-3}/\text{л}$ ($M \pm m$)

Назва та код жирної кислоти	Групи корів	
	перша	друга
Лінолева, 18:2	13,49 $\pm$ 0,45	14,34 $\pm$ 0,29
Ліноленова, 18:3	5,18 $\pm$ 0,17	5,62 $\pm$ 0,20
Ейкозадієнова, 20:2	0,44 $\pm$ 0,02	0,46 $\pm$ 0,02
Ейкозатриснова, 20:3	1,40 $\pm$ 0,06	1,65 $\pm$ 0,06*
Ейкозатетраєнова, 20:4	1,67 $\pm$ 0,04	1,69 $\pm$ 0,04
Ейкозапентаєнова, 20:5	0,51 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,02*
Докозадієнова, 22:2	0,28 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,01*
Докозатриснова, 22:3	0,34 $\pm$ 0,01	0,39 $\pm$ 0,01**
Докозатетраєнова, 22:4	0,50 $\pm$ 0,02	0,57 $\pm$ 0,02
Докозапентаєнова, 22:5	0,62 $\pm$ 0,02	0,67 $\pm$ 0,02
Докозагексаєнова, 22:6	0,81 $\pm$ 0,03	0,89 $\pm$ 0,03
Жирні кислоти родини ω -6	17,78 $\pm$ 0,59	19,03 $\pm$ 0,41
Жирні кислоти родини ω -3	7,46 $\pm$ 0,24	8,15 $\pm$ 0,26

Поліненасичені жирні кислоти родини ω -3 порівняно з жирними кислотами родини ω -6 регулюють функціональну активність організму на більш високому рівні і тим самим мають більший вплив на обмінні процеси в ньому та продуктивність тварин.

На нашу думку, більший вміст ненасичених жирних кислот в організмі корів із вищою молочною продуктивністю порівняно з низькопродуктивними тваринами забезпечує більшу проникність клітинних мембран і вищу інтенсивність метаболічного обміну між клітиною і зовнішнім середовищем, що належать до факторів, які формують вищу молочну продуктивність.

Висновки. В організмі корів із надоем 4800–5200 кг молока за лактацію вміст неестерифікованих форм насичених, моно- і поліненасичених жирних кислот більший, відповідно, на 10,4; 9,8 і 7,7%, ніж у тварин із надоем 3850–4150 кг.

Встановлено, що відмінності вмісту насичених жирних кислот обумовлені здебільшого каприловою, каприноюю, лауриноюю, пальмітиноюю і стеариноюю кислотами, з мононенасичених – олеїноюю кислотою, а з поліненасичених – ейкозатриєноюю, ейкозапентаєноюю, докозатриєноюю і докозатриєноюю кислотами.

Список використаної літератури

1. Ветеринарна клінічна біохімія : підручник / за ред. В. І. Левченка і В. В. Влізла. Біла Церква, 2019. 415 с.
2. Извекова В. А. Липиды мембран и функции иммунокомпетентных клеток в норме и патологии. *Успехи современной биологии*. 1991. Т. 111. Вып. 4. С. 577–590.
3. Кагава Я. Биомембраны. Москва : Высшая школа, 1985. 304 с.
4. Квачов В. Г., Сокирко Т. О. Липідний гомеостаз мембран і імунологічна компетентність мононуклеарних фагоцитів, механізми взаємозв'язку і нові підходи до розробки імуноактивних препаратів. *Біологія тварин*. 2003. Т. 5. № 1/2. С. 83–88.
5. Кількісні хроматографічні методи визначення окремих ліпідів і жирних кислот у біологічному матеріалі : метод. посіб. / Й. Ф. Рівіс та ін. Вид. 2-ге, уточн. та доп. Львів, 2017. 160 с.
6. Ленинджер А. Биохимия. Молекулярные основы структуры и

References

1. Veterinary Clinical Biochemistry : textbook / ed. by V. I. Levchenko and V. V. Vlizlo. Bila Tserkva, 2019. 450 c.
2. Izvekova V. A. Membrane lipids and functions of immunocompetent cells in normal and pathological conditions. *Uspehi sovremennoj biologii*. 1991. Vol. 111. Issue 4. P. 577–590.
3. Kagawa Y. Biomembranes. Moskva : Vysshaja shkola, 1985. 304 p.
4. Kvachov V. H., Sokyrko T. O. Lipid membrane homeostasis and immunological competence of mononuclear phagocytes, mechanisms of interaction and new approaches to the development of immunoactive drugs. *Biologhiia tvaryn*. 2003. Vol. 5. No. 1/2. P. 83–88.
5. Quantitative chromatographic methods for the determination of individual lipids and fatty acids in biological material: metod. posib. / Y. F. Ravis ta in. Vyd. 2-he, utochn. ta dop. Lviv, 2017. 160 p.
6. Leinger A. Biochemistry. Molecular basis of cell structure and function / per. s

функции клетки / пер. с англ. под ред. А. А. Баева и Я. М. Варшавского. Москва : Мир, 1974. 955 с.

7. Лескова Г. Ф., Крыжановский Г. Н. Дисрегуляция обмена фосфолипидов нейрональных мембран в патологии нервной системы. *Журнал невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2010. Вып. 6. С. 102–106.

8. Лишко В. К., Шевченко М. И. Мембраны и жизнь клетки. Киев : Наукова думка, 1987. 101 с.

9. Транспорт монокарбоновых кислот с разной длиной углеводородной цепи через плоскую липидную мембрану / В. Ю. Евтодченко и др. *Биологические мембраны*. 1996. Т. 13. № 1. С. 79–88.

10. Acyl-CoA synthetase 3 promotes lipid droplet biogenesis in ER microdomains / A. Kassan et al. *J. Cell Biol.* 2013. Vol. 203. No. 6. P. 985–1001.

11. Barbosa A. D., Savage D. B., Siniossoglou S. Lipid droplet-organelle interactions: emerging roles in lipid metabolism. *Curr. Opin. Cell. Biol.* 2015. Vol. 35. P. 91–97.

12. Casares D., Escribá P. V., Rosselló C. A. Membrane lipid composition: effect on membrane and organelle structure, function and compartmentalization and therapeutic avenues. *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20. Issue 9. P. 2167.

13. Chanarat S., Sträßer K. Splicing and beyond: the many faces of the Prp19 complex. *Biochim. Biophys. Acta.* 2013. Vol. 1833. Issue 10. P. 2126–2134.

14. Changes in fatty acids in plasma and association with the inflammatory response in dairy cows abomasally infused with essential fatty acids and conjugated linoleic acid during late and early lactation / M. Gnott et al. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. Issue 12. P. 11889–11910.

15. Characterization of raft microdomains in bovine mammary tissue during lactation: How they are modulated by fatty acid treatments / H. Taga et al. *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. Issue 2. P. 2384–2395.

angl. pod red. A. A. Baeva i Ja. M. Varshavskogo. Moskva : Mir, 1974. 955 p.

7. Leskova G. F., Kryzhanovsky G. N. Dysregulation of phospholipid metabolism in neuronal membranes in the pathology of the nervous system. *Zhurn. nevropatologii i psichiatrii im. S. S. Korsakova*. 2010. Vyp. 6. P. 102–106.

8. Lishko V. K., Shevchenko M. I. Membranes and cell life. Kiev : Naukova dumka, 1987. 101 p.

9. Transport of monocarboxylic acids with different hydrocarbon chain lengths across a flat lipid membrane / V. Yu. Evtodienko et al. *Biologicheskie membrany*. 1996. Vol. 13. No. 1. P. 79–88.

10. Acyl-CoA synthetase 3 promotes lipid droplet biogenesis in ER microdomains / A. Kassan et al. *J. Cell Biol.* 2013. Vol. 203. No. 6. P. 985–1001.

11. Barbosa A. D., Savage D. B., Siniossoglou S. Lipid droplet-organelle interactions: emerging roles in lipid metabolism. *Curr. Opin. Cell. Biol.* 2015. Vol. 35. P. 91–97.

12. Casares D., Escribá P. V., Rosselló C. A. Membrane lipid composition: effect on membrane and organelle structure, function and compartmentalization and therapeutic avenues. *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20. Issue 9. P. 2167.

13. Chanarat S., Sträßer K. Splicing and beyond: the many faces of the Prp19 complex. *Biochim. Biophys. Acta.* 2013. Vol. 1833. Issue 10. P. 2126–2134.

14. Changes in fatty acids in plasma and association with the inflammatory response in dairy cows abomasally infused with essential fatty acids and conjugated linoleic acid during late and early lactation / M. Gnott et al. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. Issue 12. P. 11889–11910.

15. Characterization of raft microdomains in bovine mammary tissue during lactation: How they are modulated by fatty acid treatments / H. Taga et al. *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. Issue 2. P. 2384–2395.

16. Cidea is an essential transcriptional coactivator regulating mammary gland secretion of milk lipids / W. Wang et al. *Nat. Med.* 2012. Vol. 18. No. 2. P. 235–243.

17. Development and validation of a combined method for the biomonitoring of omega-3/-6 fatty acids and conjugated linoleic acids in different matrices from human and nutritional sources / C. Bocking et al. *Clin. Chem. Lab. Med.* 2010. Vol. 48. Issue 12. P. 1757–1763.

18. Dietary fatty acids affect red blood cell membrane composition and red blood cell ATP release in dairy cows / D. Revskij et al. *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20. Issue 11. P. 1–19.

19. Friedman J. R., Voeltz G. K. The ER in 3D: a multifunctional dynamic membrane network. *Trends Cell Biol.* 2011. Vol. 21. P. 709–717.

20. Heida H. W., Keenan T. W. Intracellular origin and secretion of milk fat globules. *European Journal of Cell Biology.* 2005. Vol. 84. Issue 2/3. P. 245–258.

21. Hublet W. L. Transbilayer coupling mechanism for the formation of lipid asymmetry in biological membranes. *Biophys. J.* 1990. Vol. 57. P. 98–108.

22. Hydrostatic-pressure and temperature effects on the molecular order of erythrocyte membranes from deep-, shallow-, and non-diving mammals / E. E. Williams et al. *Canadian Journal of Zoology.* 2001. Vol. 79. No. 5. P. 888–894.

23. Kiss R. S., Nilsson T. Rab proteins implicated in lipid storage and mobilization. *J. Biomed. Res.* 2014. Vol. 28. No. 3. P. 169–177.

24. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season / U. Bernabucci et al. *J. Dairy Sci.* 2002. Vol. 85. Issue 9. P. 2173–2179.

25. Mason R. R., Watt M. J. Unraveling the roles of PLIN5: linking cell biology to physiology. *Trends Endocrinol. Metab.* 2015. Vol. 26. P. 144–152.

26. Membrane lipid therapy: Modulation of the cell membrane composition and structure as a molecular base for drug

16. Cidea is an essential transcriptional coactivator regulating mammary gland secretion of milk lipids / W. Wang et al. *Nat. Med.* 2012. Vol. 18. No. 2. P. 235–243.

17. Development and validation of a combined method for the biomonitoring of omega-3/-6 fatty acids and conjugated linoleic acids in different matrices from human and nutritional sources / C. Bocking et al. *Clin. Chem. Lab. Med.* 2010. Vol. 48. Issue 12. P. 1757–1763.

18. Dietary fatty acids affect red blood cell membrane composition and red blood cell ATP release in dairy cows / D. Revskij et al. *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20. Issue 11. P. 1–19.

19. Friedman J. R., Voeltz G. K. The ER in 3D: a multifunctional dynamic membrane network. *Trends Cell Biol.* 2011. Vol. 21. P. 709–717.

20. Heida H. W., Keenan T. W. Intracellular origin and secretion of milk fat globules. *European Journal of Cell Biology.* 2005. Vol. 84. Issue 2/3. P. 245–258.

21. Hublet W. L. Transbilayer coupling mechanism for the formation of lipid asymmetry in biological membranes. *Biophys. J.* 1990. Vol. 57. P. 98–108.

22. Hydrostatic-pressure and temperature effects on the molecular order of erythrocyte membranes from deep-, shallow-, and non-diving mammals / E. E. Williams et al. *Canadian Journal of Zoology.* 2001. Vol. 79. No. 5. P. 888–894.

23. Kiss R. S., Nilsson T. Rab proteins implicated in lipid storage and mobilization. *J. Biomed. Res.* 2014. Vol. 28. No. 3. P. 169–177.

24. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season / U. Bernabucci et al. *J. Dairy Sci.* 2002. Vol. 85. Issue 9. P. 2173–2179.

25. Mason R. R., Watt M. J. Unraveling the roles of PLIN5: linking cell biology to physiology. *Trends Endocrinol. Metab.* 2015. Vol. 26. P. 144–152.

26. Membrane lipid therapy: Modulation of the cell membrane composition and structure as a molecular base for drug

discovery and new disease treatment / P. V. Escribá et al. *Progress in Lipid Research*. 2015. Vol. 59. P. 38–53.

27. Organization and function of membrane contact sites / S. C. Helle et al. *Biochim. Biophys. Acta*. 2013. Vol. 1833. Issue 11. P. 2526–2541.

28. Pol A., Gross S. P., Parton R. G. Biogenesis of the multifunctional lipid droplet: lipids, proteins, and sites: review. *J. Cell Biol.* 2014. Vol. 203. No. 5. P. 635–646.

29. Proteomic analysis of lipid raft-enriched membranes isolated from internal organelles / C. N. Poston et al. *Biochem Biophys Res Commun.* 2011. Vol. 415. No. 2. P. 355–360.

30. Species-dependent differences in the effect of ionic strength on potassium transport of erythrocytes: the role of lipid composition / I. Bernhardt et al. *Gen. Physiol. Biophys.* 1992. Vol. 11. No. 3. P. 287–299.

31. Stein W. D., Litman T. Channels, carriers, and pumps: 1. Structural basis of movement across cell membranes. *Elsevier*. 2015. DOI: 10.1016/B978-0-12-416579-3.00001-0. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012416579300010> (last accessed: 12.05.2021).

32. The adipophilin C terminus is a self-folding membrane-binding domain that is important for milk lipid secretion / B. M. Chong et al. *J. Biol. Chem.* 2011. Vol. 286. P. 23254–23265.

33. The effect of hydroxylated fatty acid-containing phospholipids in the remodeling of lipid membranes / S. Piotto et al. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2014. Vol. 1838. Issue 6. P. 1509–1517.

34. The influence of a formula supplemented with dairy lipids and plant oils on the erythrocyte membrane omega-3 fatty acid profile in healthy full-term infants: a double-blind randomized controlled trial / M. L. Gianni et al. *BMC Pediatrics*. 2012. Vol. 12. Issue 1. DOI: 10.1186/1471-2431-12-164. URL: <https://bmcpediatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2431-12-164> (last accessed: 12.05.2021).

discovery and new disease treatment / P. V. Escribá et al. *Progress in Lipid Research*. 2015. Vol. 59. P. 38–53.

27. Organization and function of membrane contact sites / S. C. Helle et al. *Biochim. Biophys. Acta*. 2013. Vol. 1833. Issue 11. P. 2526–2541.

28. Pol A., Gross S. P., Parton R. G. Biogenesis of the multifunctional lipid droplet: lipids, proteins, and sites: review. *J. Cell Biol.* 2014. Vol. 203. No. 5. P. 635–646.

29. Proteomic analysis of lipid raft-enriched membranes isolated from internal organelles / C. N. Poston et al. *Biochem Biophys Res Commun.* 2011. Vol. 415. No. 2. P. 355–360.

30. Species-dependent differences in the effect of ionic strength on potassium transport of erythrocytes: the role of lipid composition / I. Bernhardt et al. *Gen. Physiol. Biophys.* 1992. Vol. 11. No. 3. P. 287–299.

31. Stein W. D., Litman T. Channels, carriers, and pumps: 1. Structural basis of movement across cell membranes. *Elsevier*. 2015. DOI: 10.1016/B978-0-12-416579-3.00001-0. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012416579300010> (last accessed: 12.05.2021).

32. The adipophilin C terminus is a self-folding membrane-binding domain that is important for milk lipid secretion / B. M. Chong et al. *J. Biol. Chem.* 2011. Vol. 286. P. 23254–23265.

33. The effect of hydroxylated fatty acid-containing phospholipids in the remodeling of lipid membranes / S. Piotto et al. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2014. Vol. 1838. Issue 6. P. 1509–1517.

34. The influence of a formula supplemented with dairy lipids and plant oils on the erythrocyte membrane omega-3 fatty acid profile in healthy full-term infants: a double-blind randomized controlled trial / M. L. Gianni et al. *BMC Pediatrics*. 2012. Vol. 12. Issue 1. DOI: 10.1186/1471-2431-12-164. URL: <https://bmcpediatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2431-12-164> (last accessed: 12.05.2021).

35. The role of membrane fatty acid remodeling in the antitumor mechanism of action of 2-hydroxyoleic acid / M. L. Martin et al. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2013. Vol. 1828. Issue 5. P. 1405–1413.

36. The role of specific fatty acids on dairy cattle performance and fertility / J. E. P. Santos et al. *The 24th Annual Ruminant Nutrition Symposium*, Gainesville, FL, February 5–6, 2013. Florida, 2013. P. 73–89.

37. Thiele O., Plotkin J., Imre S. Lipid pattern of erythrocyte membrane of calf and adult cattle. *Zbl. Vet. Med.* 1979. Vol. 26. P. 425–431.

38. Walther T. C., Farese R. V. Jr. Lipid droplets and cellular lipid metabolism. *Annu. Rev. Biochem.* 2012. Vol. 81. P. 687–714.

39. Welte M. A. Expanding roles for lipid droplets. *Curr. Biol.* 2015. Vol. 25. No. 11. P. 470–481.

35. The role of membrane fatty acid remodeling in the antitumor mechanism of action of 2-hydroxyoleic acid / M. L. Martin et al. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2013. Vol. 1828. Issue 5. P. 1405–1413.

36. The role of specific fatty acids on dairy cattle performance and fertility / J. E. P. Santos et al. *The 24th Annual Ruminant Nutrition Symposium*, Gainesville, FL, February 5–6, 2013. Florida, 2013. P. 73–89.

37. Thiele O., Plotkin J., Imre S. Lipid pattern of erythrocyte membrane of calf and adult cattle. *Zbl. Vet. Med.* 1979. Vol. 26. P. 425–431.

38. Walther T. C., Farese R. V. Jr. Lipid droplets and cellular lipid metabolism. *Annu. Rev. Biochem.* 2012. Vol. 81. P. 687–714.

39. Welte M. A. Expanding roles for lipid droplets. *Curr. Biol.* 2015. Vol. 25. No. 11. P. 470–481.

Отримано 21.05.2021