

УДК 637.247

И.Л. Остроухова, Ю.С. Сумеркина

ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Углич

ПАХТА – ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В статье приводится анализ физико- химических, биологических и технологических свойств пахты и ее фосфолипидов. Изложены факты положительного влияния фосфолипидов на здоровье человека, включая профилактику воспалительных и сердечно-сосудистых заболеваний, улучшение метаболизма липидов. Высокое содержание фосфолипидов в пахте делает ее использование потенциально возможным в технологиях низкожирных и мягких сыров.

Ключевые слова: *фосфолипиды, пахта, безлактозная пахта, лактоза, ферментация лактозы, заквасочная микрофлора, сыр, мягкий сыр, кисломолочные напитки*

С физико-химической точки зрения пахта – это водная фаза сливок, образующаяся при выделении масляного зерна при производстве сливочного масла. Она содержит все водорастворимые компоненты сливок, такие как молочный белок, лактоза и минеральные вещества, а также включает составные части мембран жирового шарика молочного жира (рис. 1) [1].

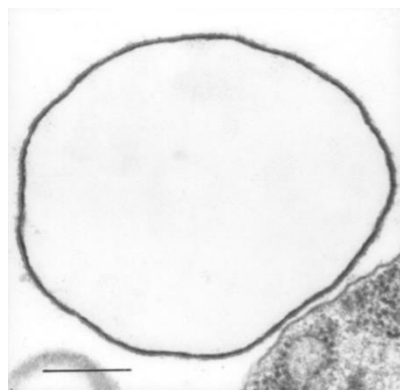


Рисунок 1. Электронная фотография шарика молочного жира, покрытого мембраной [1]

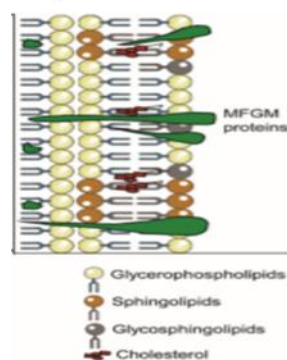


Рисунок 2. Схематическое изображение мембраны глобулы молочного жира [2]

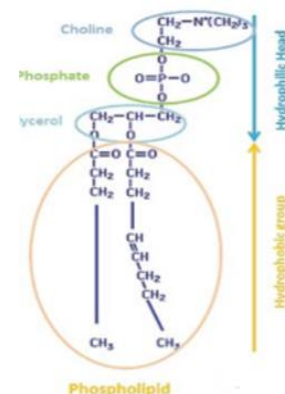


Рисунок 3. Структурная химическая формула фосфолипида [2]

Схематически мембрана состоит из трех слоев фосфолипидов и протеинов (рис. 2) [2]. Фосфолипид представляет собой молекулу триглицерида с нейтральным «хвостом» и заряженной гидрофильной «головкой», содержащей остаток фосфорной кислоты (рис. 3). Главная функция мембраны – стабилизировать эмульсию жира в воде, не допустить коалесценции капелек молочного жира. Фосфолипиды, располагаясь в мембране нейтральным «хвостом» к триглицеридам молочного жира, а гидрофильной «головкой» к водной фазе, выполняют функцию стабилизации эмульсии [3]

В процессе сбивания масла мембрана разрушается и переходит в пахту. В пахте обнаруживаются фрагменты мембран и отдельные фосфолипиды, которые отщепились от мембран во время инверсии фаз «жир–вода» (рис. 4). Представленные на рис. 4 фрагменты мембран были выделены из пахты и сконцентрированы путем ультрацентрифугирования.

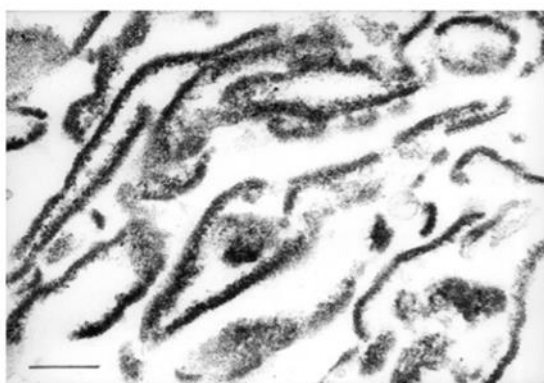


Рисунок 4. Электронная фотография частей мембран, выделенных из жировых шариков [4]

На электронной фотографии видно, что эти мембраны встречаются в основном в виде плёнок и не проявляют особой склонности к везикуляции [4].

Пахта содержит больше фосфолипидов, чем исходное молоко. Elling J. и др. [5] установили, что в пахте фосфолипидов в 7 раз больше, чем в цельном молоке, при

концентрациях, равных 0,89 мг/г и 0,12 мг/г соответственно. Christie W. и др. [6] определили увеличение содержания фосфолипидов в пахте в 4 раза по сравнению с цельным молоком при содержании фосфолипидов 0,72 мг/мл и 0,15 мг/мл соответственно.

Глицерофосфолипиды и сфинголипиды являются двумя основными группами, принадлежащими к классу фосфолипидов. На рис. 5 и 6 показаны структуры и формулы наиболее важных глицерофосфолипидов и сфинголипидов.

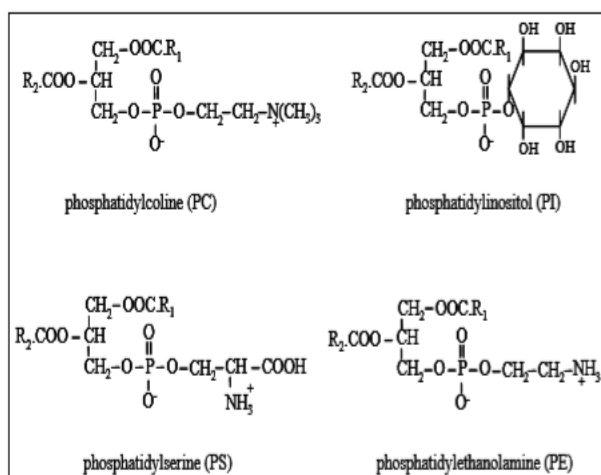


Рисунок 5. Структура глицерофосфолипидов молока [9]

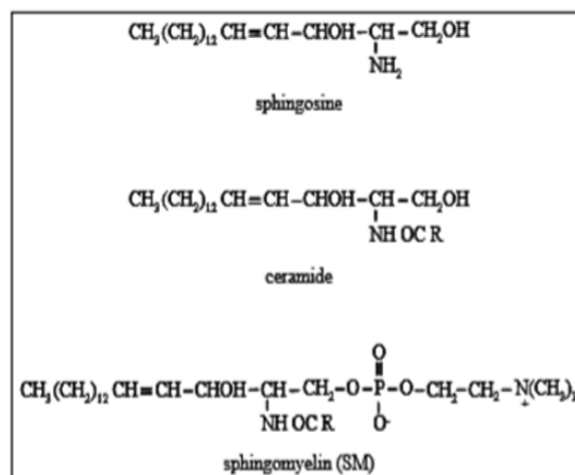


Рисунок 6. Структуры сфингомиелина и его производных [9]

На рис. 5 представлена структура наиболее важных глицерофосфолипидов, к которым относятся фосфатидилхолин (PC), фосфатидилэтаноламин (PE), фосфатидилинозитол (PI), фосфатидилсерин (PS). Глицерофосфолипиды образуются из глицерина, фосфорной кислоты, жирных кислот и гидроксисоединения (например, холина, этаноламина, серина, инозитола).

Сфинголипиды (рис. 6) – это соединения, содержащие длинноцепочечные основания, так называемые сфингоидные основания (например, сфингозин или фитосфингозин), а также жирные кислоты и сахара или фосфорную кислоту или спирты [7]. Сфингозин является основным сфингоидным основанием в сфинголипидах млекопитающих, образуя церамид, когда его аминогруппа связана (амидная связь), как правило, с насыщенной жирной кислотой. Сфингомиелин (SM) является доминирующим видом и состоит из головной группы фосфорилхолина, связанной с церамидом [8].

Таким образом, фосфолипиды пахты являются основными компонентами природных мембран. Они относятся к классу полярных липидов и определяются как «липиды, содержащие фосфор». Амфифильные свойства фосфолипидов определяют их роль, поведение и функции [9]. Эмульгирующие свойства фосфолипидов обусловлены одновременным наличием в молекуле гидрофильной «головки» и гидрофобного «хвоста». Как сообщалось выше, фосфолипиды в основном локализуются в мембране жирового шарика в сочетании с белком и другими полярными липидами.

Благодаря своей первоначальной функции эмульгирования жировых шариков в цельном молоке, материал, выделенный из пахты, считается эффективным природным поверхностно-активным материалом, высокоэффективным в снижении межфазного натяжения [10].

Интерес к молекулам фосфолипидов высок вследствие положительного влияния на здоровье человека. Благоприятное воздействие фосфолипидов на профилактику воспалительных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, по видимому, было известно еще с начала прошлого века [7, 11, 12].

Сфинголипиды в избытке присутствуют в апикальной мембране абсорбирующего эпителия кишечника, а продукты их переваривания (церамиды и сфингозин) считаются наиболее биоактивными соединениями, оказывающими важное влияние на регуляцию клеток. Эти соединения имеют решающее значение для поддержания структуры мембраны клетки, модулируя поведение рецепторов факторов роста и выступая в качестве мест связывания для некоторых микроорганизмов, микробных токсинов и вирусов [13].

Е. Wat et al. [14] исследовали влияние фосфолипидов, а именно, фосфатидилинозитола (PI) на липидный обмен плазмы и печени у мышей. Было отмечено, что дополнение диеты с высоким содержанием жиров экстрактом молочного белка, богатого фосфолипидами, вызвало значительное снижение веса печени, общего содержания липидов печени, триглицеридов печени и общего холестерина и липидов сыворотки.

Поверхность слизистой оболочки пищеварительного тракта представляет собой барьер между широким спектром потенциально вредных факторов [15], а полярные фосфолипиды эффективно защищают клеточные мембраны. В исследовании G. Veereman-Wauters et al. [16] показано, что потребление маленькими детьми молока, обогащенного оболочками жировых шариков, оказывает защитное действие против желудочно-кишечных инфекций, вызывая значительное снижение количества эпизодов лихорадки.

Воспаление – это реакция на вредный раздражитель с целью его устранения и запуска процесса заживления. Исследования G. Erő̄s et al. [17] выявили, что повышенное потребление фосфатидилхолина (PC) с пищей до развития коллаген-индуцированного артрита было связано со значительно усиленной противовоспалительной защитой. Авторы предположили, что использование продуктов, обогащенных PC, для профилактики, а не в качестве терапии, может оказывать благотворное влияние на морфологические, функциональные и микроциркуляторные характеристики течения хронического артрита.

Фосфолипиды из молока способны оказывать положительное влияние на людей, находящихся в состоянии хронического стресса [18], улучшая способность организма адаптироваться к этому состоянию, увеличивая доступность кортизола и ослабляя вызванные стрессом нарушения памяти. Установлена оптимальная доза фосфолипидов (1 %), которая может быть добавлена в рацион в виде концентрированных молочных фосфолипидов для поддержания как физического, так и психиче-

ского здоровья и защиты людей, которые постоянно подвергаются хроническому стрессу.

А. Nilsson [19] было высказано предположение, что фосфолипиды влияют на всасывание холестерина в кишечнике. А. Kamili et al. [20] получили этому подтверждение в исследовании на мышах, которые получали диету с высоким содержанием жиров. Было замечено, что фосфолипиды уменьшают накопление холестерина в печени и увеличивают его выведение.

Сфингомиелин (SM) влияет на различные аспекты транспорта и метаболизма холестерина, что позволяет предположить, что он может влиять на развитие атеросклероза. Н. Vesper et al. [13] заметили, что молочный SM является более сильным ингибитором кишечной абсорбции холестерина, чем яичный SM, и такое поведение можно объяснить более высокой степенью насыщения и большей длиной цепи жирных ацильных групп.

Таким образом, обзор проведенных исследований показывает, что потребление молочных продуктов, обогащенных фосфолипидами, связано со снижением частоты ожирения, инсулинорезистентности, дислипидемии и диабета 2 типа, которые являются факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний [21].

При высокой биологической ценности пахты в ней остается много лактозы. По общему содержанию лактозы пахта не отличается от обезжиренного молока. Для людей с лактазной недостаточностью содержание лактозы в пахте должно быть уменьшено. Получить безлактозную пахту возможно путем ферментации лактозы β -галактозидазой. Такая операция может быть проведена как в сливках, предназначенных для получения безлактозного масла, так и непосредственно в лактозной пахте.

В рамках НИР «Разработать методологические подходы к созданию продуктов маслоделия с пониженным содержанием жира, лактозы и холестерина», выполняемой по госзаданию, авторами проводятся исследования по изучению возможности использования безлактозной пахты в сыроделии.

Мониторинг научной литературы по использованию пахты в сыроделии показал, что применение пахты при производстве сыров приводит к ухудшению синергизма сырного зерна и, как следствие, получению сыра с повышенной массовой долей влаги [22–25]; увеличению времени свертывания молока молокосвертывающим ферментом [26]; изменению вкуса сыра при созревании [26, 27]. Поэтому использование пахты в сыроделии носит ограниченный характер. Тем не менее, пахта может использоваться в технологиях низкожирных сыров для получения более нежной и мягкой консистенции; сыров для пиццы в целях снижения выделения свободного жира при выпекании; сливочных и творожных сыров без созревания; сыров с плесневой микрофлорой. При использовании пахты как ингредиента для сыроделия технологический процесс выработки сыра подлежит корректировке.

Исследований по использованию безлактозной пахты в производстве сыров в настоящее время обнаружить не удалось. При этом технология мягких сыров из низколактозного молока разработана в Белоруссии [28]. В соответствии с ней сыры выработывают из молока, в котором молочный сахар частично удален мембранными методами (до 15 %) с последующей частичной ферментацией лактозы.

При переработке безлактозной пахты продукты ферментации лактозы (глюкоза и галактоза) могут представлять более доступный субстрат для роста микрофлоры (в том числе, посторонней), чем лактоза. Также можно ожидать изменение традиционного вкуса продуктов сыроделия при использовании безлактозной пахты.

В связи с этим авторами были поставлены следующие задачи для исследования:

- изучить возможность использования пахты, в том числе безлактозной, в технологиях мягких сыров с разными способами получения сгустка – кислотным, термокислотным, сычужным;
- провести сравнительный мониторинг роста заквасочной микрофлоры в безлактозной пахте.

В результате исследований будет определено направление развития ассортимента группы сыров из пахты, в том числе безлактозной, с внесением корректировки в ход технологического процесса. Будет разработана технология мягкого сыра из пахты, в том числе безлактозной, с традиционной микрофлорой и микрофлорой пробиотической направленности.

Список использованной литературы:

1. **Keenan, T.W.** Intracellular origin of milk lipid globules and the nature and structure of the milk lipid globule membrane / T.W. Keenan, D.P. Dylewski // In *Advanced Dairy Chemistry. 2: Lipids*. 2nd edn (P.F. Fox, ed.). – Chapman and Hall, London, 1995. 89–130.
2. **Laouini, A.** Preparation, Characterization and Applications of Liposomes: State of the Art /A. Laouini, C. Jaafar-Maalej, I. Limayem-Blouza, S. Sfar, C. Charcosset, and H. Fessi // *Journal of Colloid Science and Biotechnology*. 2012. Vol. 1. P. 147–168.
3. **Dewettinck, K.** Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material / K. Dewettinck, R. Rombaut, N. Thienpont, T. T. Le, K. Messens, and J. Van Camp // *International Journal of Dairy Technology*. 2008. № 18. P. 436–457. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.10.014>
4. **Wooding, F.B.P.** Ultrastructure of the milk fat globule membrane with and without triglyceride. *Cell Tissue Res* / F.B.P Wooding, P. Kemp // *Cell and Tissue Research*. 1975. № 165. P. 113–127. <https://doi.org/10.1007/BF00222804>
5. **Elling, J.L.** Composition and microscopy of reformulated creams from reduced-cholesterol butteroil / J.L. Elling, S.E. Duncan, T.W. Keenan // *Journal of Food Science*. 2006. Vol.61. P.48–53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14723>
6. **Christie, W.W.** Phospholipids in milk and dairy products/ W.W Christie, R.C. Noble, and G. Davies // *Journal of the Society of Dairy Technology*. 1987. №40. P. 10–12.
7. **Küllenberg, D.** Health effects of dietary phospholipids. *Lipids Health Dis* / D. Küllenberg, L.A. Taylor, M. Schneider, U Massing // *The reviews journal of the Biochemical Society*. 2012. 11(3). P. 1–16. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-3>
8. **Contarini, G.** Phospholipids in Milk Fat: Composition, Biological and Technological Significance, and Analytical Strategies / G. Contarini, M. Povolo // *International Journal of Molecular Science*. 2013. № 14. P. 2808–2831; <https://doi.org/10.3390/ijms14022808>
9. **Kanno, C.** Emulsifying properties of bovine milk fat globule membrane in milk fat emulsion: Conditions for the reconstitution of milk fat globules / C. Kanno // *Journal of Food Science*. 1989, № 54. P. 1534–1539.
10. **Singh, H.** The milk fat globule membrane – A biophysical system for food applications. *Curr. Opin* / H. Singh // *Colloid Interface Sci*. 2006. 11, 154–163.
11. **Spitsberg, V.L.** Bovine milk fat globule membrane as a potential nutraceutical / V.L Spitsberg // *Journal of Dairy Science*. 2005. 2289–2294. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72906-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72906-4)

12. **Dewettinck K.J.** Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material / K. Dewettinck, R. Rombaut, N. Thienpont, T.T. Le, K. Messens, Van Camp // *International Dairy Journal*. 2008. 18(5), P. 436–457. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.10.014>
13. **Vesper, H.** Sphingolipids in food and the emerging importance of sphingolipids to nutrition / H. Vesper, E.M. Schmelz, M.N. Nikolova-Karakashian, D.L. Dillehay, D.V Lynch, A.H Merrill // *Journal of Nutrition*. 1999. № 129, P. 1239–1250.
14. **Wat, E.** Dietary phospholipid-rich dairy milk extract reduces hepatomegaly, hepatic steatosis and hyperlipidemia in mice fed a high-fat diet. *Atherosclerosis* / E. Wat, S. Tandy, E. Kaper, E. Kamili, A. Chung, R.W.S, A. Brown, M. Rowney // *Atherosclerosis*. 2009. № 205(1), P. 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2008.12.004>
15. **Kuchta, A.M.** Milk fat globule membrane - A source of polar lipids for colon health? A review / A.M. Kuchta, P.M. Kelly, C. Stanton, R.A Devery // *International Journal of Dairy Technol.* 2012. 65, 315–333.
16. **Veereman-Wauters, G.** Milk fat globule membrane (INPULSE) enriched formula milk decreases febrile episodes and may improve behavioral regulation in young children / G. Veereman-Wauters, S. Staelens, R. Rombaut, K. Dewettinck, D. Deboutte, R.-J. Brummer, M. Boone, P. Le Ruyet // *Nutrition*. 2012. 28, 749–752.
17. **Erős, G.** Oral phosphatidylcholine pretreatment alleviates the signs of experimental rheumatoid arthritis / G. Erős, S. Ibrahim, N. Siebert, M. Boros, B. Vollmar // *Arthritis research therapy*. 2009. №11. P. 43.
18. **Schubert, M.** Milk-based phospholipids increase morning cortisol availability and improve memory in chronically stressed men. / M. Schubert, C. Contreras, N. Franz, J. Hellhammer // *Nutrition Research*. 2011. 31.6, 413–420.
19. **Nilsson, A.** Absorption and lipoprotein transport of sphingomyelin / A. Nilsson, R.-D. Duan // *Journal of Lipid Research*. 2006. № 47. P. 154.
20. **Kamili, A.** Hepatic accumulation of intestinal cholesterol is decreased and fecal cholesterol excretion is increased in mice fed a high-fat diet supplemented with milk phospholipids/ A. Kamili, E. Wat, R.W.S Chung, S. Tandy, J.M. Weir, P.J. Meikle, J.S Cohn // *Nutrition & Metabolism*. 2010. № 7. P. 90–101.
21. **Pereira, M.A.** Dairy consumption, obesity, and the insulin resistance syndrome in young adults / M.A. Pereira, D.R Jacobs, L. van Horn, M.L. Slattery, A.I. Kartashov, D.S. Ludwig // *The CARDIA study*, - *JAMA*, 2002. 287, 2081–2089.
22. **Mistry, V.V.** Use of ultrafiltered sweet butter milk in the manufacture of reduced fat Cheddar cheese/ V.V Mistry, L.E. Metzger, J.L. Maubois // *Journal of Dairy Science*. 1996. № 79. P. 1137–1145. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76467-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76467-6)
23. **Poduval, V.S.** Manufacture of reduced fat Mozzarella cheese using ultrafiltered sweet buttermilk and homogenized cream / V.S. Poduval, V.V. Mistry // *Journal of Dairy Science*. 1999. №82. P. 1–9. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75202-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75202-1)
24. **Govindasamy-Lucey, S.** Influence of condensed sweet cream buttermilk on the manufacture, yield, and functionality of pizza cheese / S. Govindasamy-Lucey, T. Lin, J.J. Jaeggi, M.E. Johnson, J.A. Lucey // *Journal of Dairy Science*. 2006. № 89. P. 454–467. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72109-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72109-9)
25. **Dr. Diarmuid Sheehan.** Buttermilk powder and cheese yield / Dr. Diarmuid Sheehan, Dr. Tim Guinee, Mr. Jim Kelly, Ms. Susan Maye // Dairy Levy trust. Jun, 2009. – Jun, 2011. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2011/Buttermilk-powder-and-cheese-yield> (дата обращения 14.04.2025).
26. **Hickey, M.G.** The effect of buttermilk or buttermilk powder addition on functionality, textural, sensory and volatile characteristics of Cheddar-style cheese / M.G. Hickey, O'Sullivan, J. Davis, D. Scholz, K.N. Kilcawley, M.G. Wilkinson, J.J. Sheehan // *Food Research International*. 2018. 468–477. <https://doi.org/10.1016/2017.09.081>
27. **Turcot, S.** Effet de la concentration en phospholipides de babeurre dans le lait de fromagerie sur la production et la composition de fromage à type cheddar / S. Turcot, S.L. Turgeon, D. St-Gelais // *Lait*. 2001. 81, 429–442. <https://doi.org/10.1051/2002005>
28. Технология получения безлактозного сыра. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.icct.by/rus/exh/plan/view> (дата обращения 17.04.2025).