УДК 547:372.854:637.14.04/.07

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МОЛОКОМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

EXPERIMENTS WITH MILK IN THE STUDY OF CHEMICAL DISCIPLINES

Яковишин Леонид Александрович
доктор химических наук, доцент,
профессор кафедры «Химия и химические технологии»,
Севастопольский государственный университет
chemsevntu@rambler.ru

Аннотация. Данная статья посвящена применению в учебном процессе химических экспериментов с коровьим молоком. Они могут использоваться на уроках химии и биологии в школе, а также в вузовских курсах органической, биоорганической и биологической химии.

Ключевые слова: молоко, белок, лактоза, жир, химический эксперимент, методика преподавания.

Yakovishin Leonid Aleksandrovich
D. Sci., Professor of chemistry and chemical technologies department,
Sevastopol State University
chemsevntu@rambler.ru

Annotation. This article is devoted to the use in the educational process of cow's milk chemical experiments. They can be used in chemistry and biology lessons at school, as well as in university courses in organic, bioorganic and biological chemistry.

Keywords: milk, protein, lactose, fat, chemical experiment, teaching methodology.

Молоко – ценный пищевой продукт, в котором содержится более 250 различных веществ [1, 2]. Основным компонентом коровьего молока является вода (в среднем 87,5 %). На долю сухого вещества, соответственно, приходится 12,5 %. Состав молока подвержен сезонным колебаниям. При этом меняется содержания жира, белков и лактозы [2].

Молоко – это эмульсия, т.е. дисперсная система, в которой частицы одной жидкости распределены в другой жидкости. В случае молока жир (дисперсная фаза) находится в воде (дисперсионной среде). Содержание жира в коровьем молоке составляет 2,7–6 % [3]. Жировая фракция молока в основном представлена триглицеридами. В жирнокислотном составе коровьего молока доминируют насыщенные карбоновые кислоты (около 70 %). Ненасыщенных жирных кислот меньше – 30 % [4].

Белков в коровьем молоке в среднем 3,2 % [3]. Основной белковый комплекс молока казеин (от лат. *caseus* – сыр) представляет собой смесь нескольких фосфопротеидов сходного строения (рис. 1). Они несколько отличаются аминокислотным составом. Казеин богат пролином и содержит все незаменимые для человека аминокислоты. В молекулах казеинов сложноэфирные связи с фосфорной кислотой дает в основном серин. На одну белковую молекулу приходится 5–8 остатков фосфорной кислоты. Остатки фосфорной кислоты образуют кальциевую соль. Содержание казеина около 2,7 % [4] (примерно 80 % от всех белков коровьего молока). В молоке в меньшем количестве присутствуют молочные глобулин (β-лактоглобулин) и альбумин (α-лактальбумин).

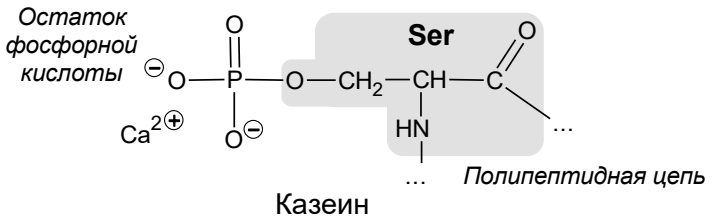
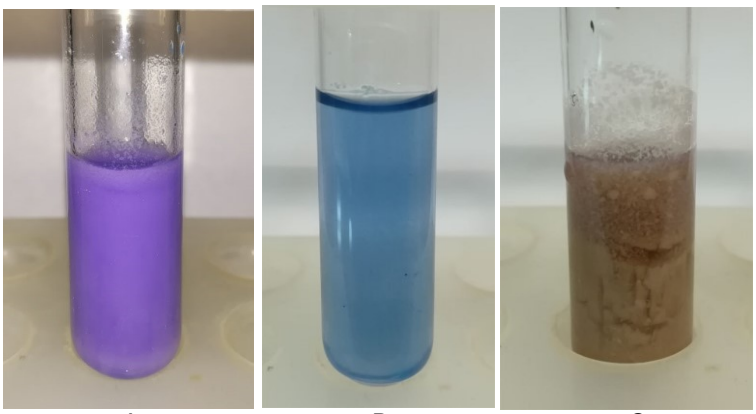


Рисунок 1 – Казеин молока

Главным углеводом коровьего молока является лактоза (молочный сахар). Ее содержание доходит до 4,8 % [3]. Лактоза относится к восстанавливающим дисахаридам. Кроме нее в молоке присутствуют и другие углеводы, но их содержание значительно меньше. Это моносахариды глюкоза (около 0,02 %) и галактоза (0,016 %), их производные, а также несколько олигосахаридов.

При проведении биуретовой реакции на белки непосредственно с молоком появляется характерное фиолетовое окрашивание (рис. 2А). Качественная реакция на углеводы как многоатомные спирты (со свежеосажденным $Cu(OH)_2$) также происходит в аналогичных условиях. Однако синее окрашивание комплексов меди(II), образующихся при этом, не наблюдается (рис. 2В), т.к. оно маскируется продуктами биуретовой реакции. При нагревании полученного фиолетового раствора появляется бурое окрашивание (рис. 2С). Наблюдается проба Троммера. Реакцию дают углеводы, обладающие восстановительной активностью (лактоза, глюкоза и др.). Поэтому требуется предварительное удаление белков из молока для исключения их мешающего действия на обнаружение углеводов.



A B C

Рисунок 2 – Биуретовая реакции с молоком (A), качественная реакция на углеводы как многоатомные спирты (B) и проба Троммера с молоком (C)

Казеин молока легко осадить добавлением кислоты. Для этого к 2–3 мл молока добавляют 1 мл 1 М раствора соляной кислоты или 10 % раствора уксусной кислоты. Наблюдается выпадение белого осадка казеина. Для осаждения оставшихся белков (альбумина и глобулина) пробирку дополнительно нагревают 2–3 мин в стакане с горячей водой (90–95 °С). Затем фильтруют через фильтровальную бумагу или ватный диск. В фильтрате можно обнаружить углеводы (качественная реакция на многоатомные спирты и проба Троммера) (рис. 3, 4), а осажденный белок использовать для биуретовой реакции (рис. 5).

Опыт 1. Обнаружение углеводов. Проба Троммера. К 1 мл раствора, полученного после удаления белков из молока, добавляют по каплям 2 М раствор NaOH до щелочной реакции (контроль по универсальной индикаторной бумаге) и 1–2 капли 10 % раствора $CuSO_4$. Образуется осадок $Cu(OH)_2$. Встряхивают содержимое пробирки. Осадок растворяется и наблюдается синий раствор комплексного соединения меди(II) (рис. 3).

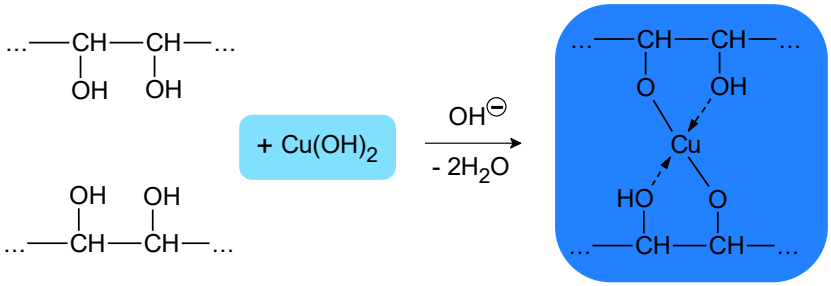


Рисунок 3 – Качественная реакция на углеводы как многоатомные спирты

Полученный раствор нагревают в стакане с горячей водой (90–95 °С). Сначала появляется оранжевый осадок, который потом становится красно-бурым. Наблюдают пробу Троммера (рис. 4). Реакцию дают восстанавливающие сахара (лактоза, глюкоза и др.).

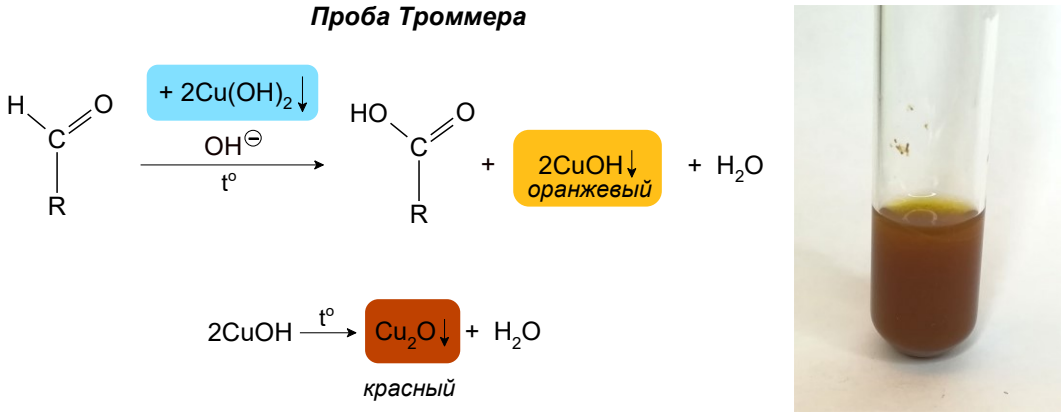


Рисунок 4 – Проба Троммера с восстанавливающими сахарами молока

Опыт 2. *Биуретовая реакция*. Переносят немного осажденного белка в пробирку так, чтобы он покрыл ее дно. Приливают к нему 2 мл 2 М раствора NaOH (реакция среды должна быть щелочной; контроль по универсальной индикаторной бумаге). Перемешивают содержимое стеклянной палочкой и добавляют 1–2 капли 10 % раствора $CuSO_4$. Наблюдают образование осадка $Cu(OH)_2$. Пробирку осторожно встряхивают. Появляется сине-фиолетовое окрашивание, характерное для биуретовой реакции (рис. 5).

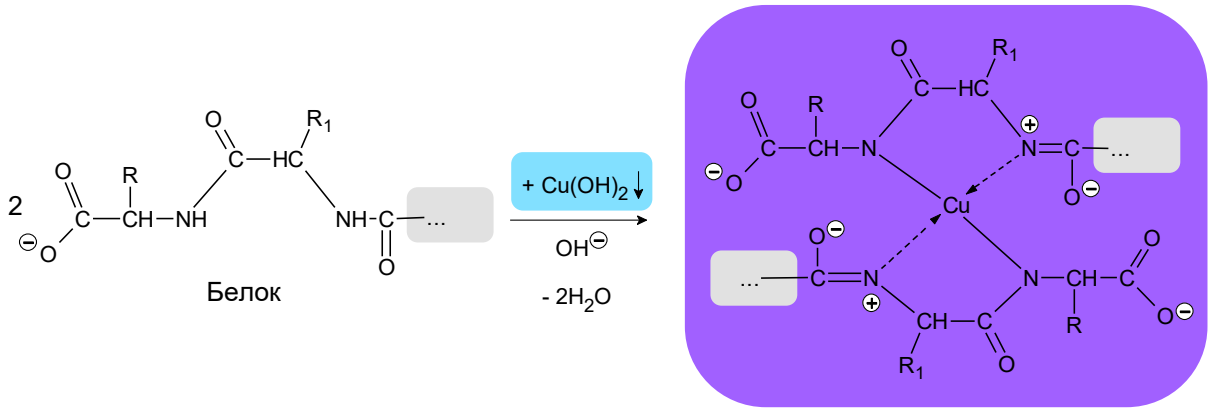


Рисунок 5 – Биуретовая реакция

Опыт 3. *Выделение и анализ казеина молока.* В химический стакан наливают 20 мл молока и добавляют к нему 5 мл 10 % раствора уксусной кислоты. Образуется осадок белка. Фильтруют смесь через марлю или медицинский бинт. Отжимают отфильтрованную массу и оставляют ее для последующих опытов.

2а. *Ксантопротеиновая реакция*. Переносят казеин в пробирку так, чтобы он покрыл ее дно. Приливают к нему, соблюдая осторожность, 2–3 капли концентрированной азотной кислоты. Наблюдают желтое окрашивание, характерное для ксантопротеиновой реакции (рис. 6).

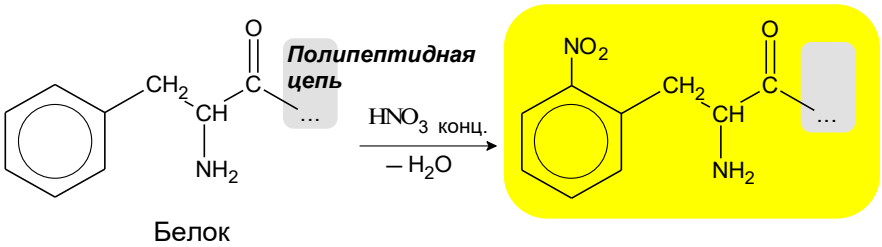


Рисунок 6 – Ксантопротеиновая реакция

2б. *Гидролиз казеина. Обнаружение ионов* PO_4^{3-}. Переносят оставшийся казеин в химический стакан и добавляют к нему 10 мл 1 М раствора H_2SO_4. Нагревают смесь на электроплитке до кипения (используют асбестовую сетку) и кипятят около 20–25 мин при перемешивании. Смесь охлаждают.

В пробирку наливают 1–2 мл полученного гидролизата и добавляют к нему столько же молибденового реактива (раствора молибдата аммония $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ в азотной кислоте). Смесь нагревают и наблюдают появление желтого мелкокристаллического осадка (рис. 7).

$$\text{Фосфопротеид} + nH_2O \xrightarrow[t^o]{H_2SO_4} \text{Аминокислоты} + mH_3PO_4$$

$$PO_4^{3-} \xrightarrow[HNO_3,\ t^o]{+\ (NH_4)_6Mo_7O_{24}} (NH_4)_3H_4[P(Mo_2O_7)_6]\downarrow$$

Рисунок 7 – Обнаружение ионов PO_4^{3-} молибденовым реактивом

Опыт 4. *Определение pH молока*. Каплю молока помещают на универсальную индикаторную бумагу. По изменению ее окраски судят о кислотности среды. В норме она слабокислая (6,5–6,8). В процессе хранения молоко становится более кислым (скисает) и его pH снижается.

Опыт 5. *Обнаружение жиров*. Полоску фильтровальной бумаги окунают в молоко. Затем носят на нее несколько капель 0,1 н. раствора $KMnO_4$. Через некоторое время наблюдают бурое окрашивание из-за образования MnO_2 в ходе окислительно-восстановительной реакции $KMnO_4$ с остатками ненасыщенных жирных кислот (рис. 8).

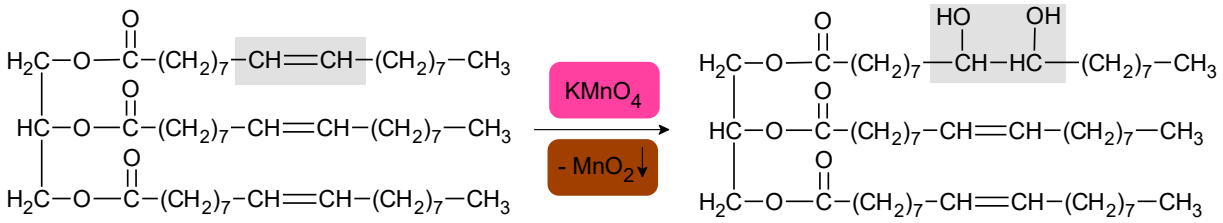


Рисунок 8 – Взаимодействие $KMnO_4$ с остатками ненасыщенных кислот

Описанные опыты можно использовать в средней школе на уроках химии и биологии при знакомстве с углеводами, белками и жирами, том числе в проектной и исследовательской деятельности школьников, при подготовке к олимпиадам, на занятиях химического кружка. Кроме того, они могут найти применение в вузовских курсах органической, биоорганической и биологической химии.

Список литературы:

1. Pereira P.C. Milk nutritional composition and its role in human health // Nutrition. – 2014. – Vol. 30. – № 6. – P. 619–627. – DOI: 10.1016/j.nut.2013.10.011.
2. Портной А.И., Другакова В.А. Дисперсный состав молочного жира в зависимости от уровня содержания соматических клеток в молоке коров // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2012. – № 4. – С. 18–23.
3. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Всё о пище с точки зрения химика. – М. : Высш. шк., 1991. – 288 с.
4. Моргунова Е.М., Федоренко Е.В., Журня А.А. Химический состав и пищевая ценность молока и молочных продуктов, представленных на рынке Республики Беларусь // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2018. – Т. 11. – № 4 (42). – С. 6–20.

List of references:

1. Pereira P.C. Milk nutritional composition and its role in human health // Nutrition. – 2014. – Vol. 30. – № 6. – P. 619–627. – DOI: 10.1016/j.nut.2013.10.011.
2. Portnoy A.I., Drugakova V.A. The dispersed composition of milk fat depending on the level of somatic cells in cow's milk // Animal agriculture and veterinary medicine. – 2012. – № 4. – P. 18–23.
3. Skurikhin I.M., Nechaev A.P. Everything about food from a chemist’s point of view. – M. : Vyssh. shk., 1991. – 288 p.
4. Morgunova H.M., Fedorenko E.V., Zhurnia H.A. Chemical composition and food value of milk and dairy products, presented in the market of the Republic of Belarus // Food industry: science and technology. – 2018. – Vol. 11. – № 4 (42). – P. 6–20.