

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ СУХОЙ СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ

**О.В. Кочубей-Литвиненко**

*Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина*

Перспективы использования сухой молочной сыворотки определяются ее составом, свойствами и хранимостью, поэтому важным этапом научных исследований является определение функционально-технологических свойств и стабильности качества продукта при хранении. Статья посвящена исследованию физико-химических, физико-механических и функционально-технологических свойств сухой молочной сыворотки, полученной с использованием электроискровой обработки. Результаты исследований представлены в сравнительном аспекте с показателями сухой сыворотки, изготовленной с применением различных методов обработки сырья. Установлено, что проведение объемного электроискрового диспергирования токопроводящих гранул металлов в среде молочной сыворотки способствует обогащению продукта магнием и марганцем. Отмечено, что физико-химические показатели нового продукта отвечали требованиям нормативной документации. Физико-механические свойства сухой сыворотки, обогащенной магнием и марганцем, свидетельствовали о высокой дисперсности продукта и низкой склонности к слеживанию. Исследованный продукт отличался от других опытных образцов высокой пенообразующей способностью и лучшей растворимостью. Прогнозирование стабильности качества и изучение поведения сухой сыворотки при хранении проводили с учетом разницы температур хранения ( $T$ ) и стеклования ( $T_g$ ). Наибольшее значение  $T_g$  ( $T_g = +18,5$  °C) и, соответственно, наименьшая разность температур [ $T - T_g$ ] были отмечены у сухой сыворотки, обогащенной магнием и марганцем, что свидетельствует в пользу ее стабильности при хранении. Данное предположение подтверждено результатами определения степени слеживания продукта и отсутствием признаков неферментативного потемнения при хранении. Отмечено, что при нормированных режимах хранения (от 0 до 20 °C) все образцы сухой сыворотки, за исключением продукта, изготовленного с использованием электроискровой обработки, находятся преимущественно в резиноподобном состоянии, что может негативно отразиться на стабильности продукта при хранении.

**Ключевые слова:** сухая молочная сыворотка, электроискровая обработка, функционально-технологические свойства, хранимость, слеживание, температура стеклования.

### Введение

Мировые ресурсы молочной сыворотки согласно данным Международной молочной федерации составляют около 150 млн. тонн в год [1]. Рост цен на цельное молоко, нехватка сырьевых ресурсов, вопросы экологии вынуждают производителей молочной продукции к рациональному использованию ценного вторичного молочного сырья. Поэтому на протяжении последних лет интерес предприятий молочной промышленности к переработке молочной сыворотки имеет стойкую положительную динамику.

В странах с высокоразвитой молочной промышленностью переработка сыворотки направлена, в первую очередь, на производство продуктов питания. В последние годы не-

изменно высокими остаются объемы производства сухих концентратов из молочной сыворотки, которые находят широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности, при производстве кормовых добавок и имеют спрос на мировом рынке.

Освоение мембранных процессов, в частности нанофильтрации (НФ) и электродиализа (ЭД), позволяет не только увеличить объемы переработки, но и значительно снизить затраты на транспортировку и сушку молочной сыворотки [2–4]. Мембранные технологии наиболее востребованы при производстве сухих концентратов из молочной сыворотки, поскольку с их помощью решаются такие важные технологические проблемы, свойственные молочной сыворотке, как высокая ми-

нерализация, соленый привкус и высокая кислотность (для творожной сыворотки) [2–4].

В зависимости от способа производства степень деминерализации сыворотки составляет от 25 до 90 %. Известно, что при обессоливании наиболее интенсивно удаляются одновалентные ионы ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ), обуславливающие вкусовые свойства сыворотки. С повышением уровня обессоливания удаляются анионы фосфорной и лимонной кислот, что, в свою очередь, приводит к диссоциации комплексов и удалению двухвалентных катионов кальция и магния [1, 4, 5]. При электродиализе также несколько снижается содержание марганца [1, 5].

Известно, что магний и марганец являются ценными минеральными элементами, необходимыми для функционирования организма человека. Они входят в состав многих ферментов, которые подключаются к обменным процессам [6]. Кроме того, они не только наделяют пищевые продукты функциональными свойствами, но и играют существенную технологическую роль. Например, способны активизировать и стабилизировать действие ферментов дрожжевой клетки [7], способствуют росту молочнокислой микрофлоры [8].

Исходя из вышеизложенного, сухая молочная сыворотка, обогащенная частицами магния и марганца в биодоступной форме, имеет хорошие перспективы, как ценный компонент хлебобулочных и кисломолочных продуктов, способный улучшить их качество. Поэтому наравне с удалением нежелательных, с технологической точки зрения, одновалентных ионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ), интерес представляет целевое обогащение сыворотки магнием и марганцем.

Предварительными исследованиями установлено, что пополнить содержание Mg и Mn и обогатить молочную сыворотку ценными минеральными элементами можно в процессе объемного электроискрового диспергирования токопроводящих гранул металлов в ее среде [9]. Образование органических соединений металлов с компонентами молочной сыворотки будет способствовать повышению их биологической доступности, так как именно в такой химической форме магний и марганец функционируют в организме человека.

Поскольку перспективы дальнейшего использования сухой сыворотки определяются ее составом, свойствами и хранимостспособностью, важным этапом научных исследований

является определение функционально-технологических свойств и стабильности качества в процессе хранения инновационного продукта.

**Целью данной работы** было исследование функционально-технологических свойств сухой сыворотки, выработанной с использованием электроискровой обработки (ЭИО), и изучение стабильности качества продукта в процессе хранения.

Для достижения поставленной цели решали такие задачи:

- определение физико-химических и функционально-технологических свойств сухой сыворотки, обогащенной магнием и марганцем путем объемного электроискрового диспергирования токопроводящих гранул металлов в ее среде;

- проведение сравнительного анализа полученных результатов со свойствами сухой сыворотки, выработанной из деминерализованного и недеминерализованного сырья;

- подбор характеристик, по которым можно объективно и достоверно прогнозировать стабильность показателей качества при хранении;

- изучение стабильности качества сухого продукта при хранении.

### 1. Материалы и методы

Исследовали такие виды сухой молочной сыворотки: сухую подсырную сыворотку; сухую деминерализованную сыворотку; сухую сыворотку, обогащенную частицами магния и марганца в процессе электроискровой обработки.

Сухую подсырную сыворотку изготавливали по традиционной технологии распылительной сушкой.

Сухую деминерализованную сыворотку получали путем обессоливания подсырной сыворотки на нанофильтрационной («GEA», Дания) или электродиализной («MEGA», Чехия) установках, сгущения до массовой доли сухих веществ 50–52 %, охлаждения сгущенной сыворотки и кристаллизации лактозы (10–12 часов, при температуре 15 °C) с последующей сушкой на распылительной сушилке (Vzduchotorg, Словацкая Республика). Степень деминерализации сыворотки составляла 40 %.

Сухую молочную сыворотку, обогащенную частицами магния и марганца, получали по приведенной выше схеме. Особенностью было проведение объемного электроискрового диспергирования токопроводящих гранул

магния и марганца в среде молочной сыворотки, деминерализованной нанофильтрацией. Обработку осуществляли на экспериментальном технологическом комплексе, состоящем из генератора разрядных импульсов, блока управления, проточной разрядной камеры, измерительных и вспомогательных приборов [10]. Параметры ЭИО были следующими: напряжение зарядки конденсатора –  $(75 \pm 5)$  В; емкость конденсатора – 100 мкФ; промежутки между гранулами соответствующих металлов – до 0,1 мм; частота импульсов – 0,2–2,0 кГц; экспозиция – 60 с для магниевой электродной системы и 30 с – для марганцевой.

В работе применялись стандартные и специальные методы оценки органолептических, физико-химических, физико-механических и функционально-технологических свойств сухой молочной сыворотки. Для определения различных характеристик объектов исследования использовали действующую нормативную документацию, методы математической и статистической обработки данных.

Содержание металлических элементов определяли на атомно-абсорбционном спектрометре AAS1N (Carl-Zeiss Jena, Германия), оснащенном горелкой для пламени ацетилен-воздух и лампами с полым катодом на Магний и Марганец. Регистрация атомного поглощения проводилась при длине волны резонансной линии 285,2 нм (Mg) та 279,5 нм (Mn) в пламени ацетилен-воздух. Погрешность измерения при  $P = 95$  % не превышала 5 %.

Средний размер частиц сухих продуктов определяли на анализаторе дисперсности частиц Malvern Instruments (Великобритания).

Показатель завершенности растворения сухих продуктов устанавливали по методике, предложенной А.Г. Галстяном [11] и основанной на исследовании динамики стабилизации показателя активности воды ( $A_w$ ) в восстановленном сырье. Показатель  $A_w$  измеряли на приборе Hygrolab-2 (Rotronic, Швейцария) при температуре  $(20 \pm 2)$  °С.

Степень слеживания определяли методом, описанным J. Pisecky [12]. Сначала пробы сухой сыворотки выдерживали в эксикаторах в искусственно созданных условиях повышенной влажности (более 80 %) до тех пор, пока не прекращался прирост массы. Далее пробы высушивали в сушильном шкафу при температуре  $(105 \pm 2)$  °С в течение 1 часа. После

охлаждения в эксикаторе образцы взвешивали и просеивали через металлические сита с порами 250 и 500 мкм на вибрационном приборе в течение 5 мин. Степень слеживания представляла собой долю частиц, не прошедших через сито с порами определенного размера.

Температуру стеклования ( $T_g$ ) определяли в Институте технической теплофизики НАН Украины с помощью дифференциального сканирующего микрокалориметра ДСК-2М (Россия), оснащенного компьютерной программой сбора и обработки информации ThermCap, написанной на языке программирования Delphi.

Образцы сначала охлаждали до  $-50$  °С со скоростью 16 К/мин. По ДСК-кривым, полученным при нагревании образцов со скоростью 16 К/мин с  $-50$  до  $+35$  °С, определяли температуру начала ( $T_g^s$ ) и конца ( $T_g^f$ ) стеклоперехода, а также температуру стеклования  $T_g$  (как среднее значение температурного интервала стеклоперехода).

Неферментативное потемнение сухой молочной сыворотки исследовали по изменению белизны продукта при хранении. Белизну оценивали в условных единицах на приборе Блик-РЗ (Россия).

Результаты экспериментальных исследований подвергались статистической обработке, реализованной с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Office.

### 2. Результаты исследования и их обсуждение

Под функционально-технологическими свойствами сухих продуктов подразумевали широкий комплекс физико-механических свойств, обуславливающих их поведение при переработке, транспортировке и хранении; свойств, связанных с поверхностными явлениями (пенообразующая способность) и свойств, определяющих растворимость продукта (индекс растворимости, скорость растворения и пр.).

Сравнительный анализ основных физико-химических показателей сухой молочной сыворотки, изготовленной с использованием различных способов обработки сырья, представлен в табл. 1.

Результаты исследований свидетельствуют об отсутствии негативного влияния электроискрового процесса на качественные показатели сухой сыворотки. Напротив, наравне с увеличением содержания магния и марганца наблюдалось снижение индекса растворимости.

Таблица 1

## Физико-химические показатели сухой молочной сыворотки, полученной с использованием различных способов обработки

Показатели	Сухая подсырная сыворотка	Сухая сыворотка, полученная с использованием		
		ЭД	НФ	НФ и ЭИО
Массовые доли, %: влаги	5,0	3,6	3,0	2,2
лактозы	60,0	74,0	80,0	76,0
Содержание Mg, г/кг	0,94	0,90	0,93	2,9
Содержание Mn, мг/кг	1,4	0,91	1,1	12,9
Титруемая кислотность, °Т	20,0	11,0	12,0	10,0
Индекс растворимости, см <sup>3</sup>	0,8	0,2	0,3	0,1
Показатель активности воды (Aw), усл. ед.	0,312	0,245	0,196	0,130

Установлено, что сухая молочная сыворотка, обогащенная магнием и марганцем путем электроискровой обработки, по физико-химическим показателям соответствовала требованиям действующих нормативных документов.

Значительный практический интерес имеют такие показатели, как объемная масса и насыпная плотность, поскольку от них зависят расходы на транспортировку и хранение, конструкция аппаратов для смешивания и растворения. На основании анализа физико-механических свойств опытных образцов сухой сыворотки отмечено, что объемная масса и насыпная плотность сухой сыворотки, полученной при реализации ЭИО, были сопоставимы с показателями сухой сыворотки деминерализованной нанофильтрацией (табл. 2) и свидетельствовали о высокой дисперсности частиц продукта.

Значение указанных характеристик сухой подсырной сыворотки и сыворотки, обессоленной электродиализом, указывали на признаки самоуплотнения и слеживания частиц при хранении, что в последующем было подтверждено результатами определения степени слеживания продукта.

Следует отметить, что образцы сухой сыворотки, изготовленной с использованием ЭИО, имели лучшую скорость растворения и пенообразующую способность. В пользу улучшения их растворимости свидетельствуют результаты исследования динамики стабилизации показателя Aw в растворенном сырье. Установлено, что в образцах растворенной сухой сыворотки, обогащенной магнием и

марганцем, показатель Aw достигал значения, характерного восстановленному продукту через (65 ± 5) мин. В то время как в образцах восстановленной сухой подсырной сыворотки стабилизация показателя Aw наступала вдвое дольше ((135 ± 5) мин).

Для продуктов длительного хранения, к которым относятся сухие концентраты из молочной сыворотки, важно объективно и достоверно прогнозировать скорость изменения качественных показателей в процессе хранения. Порча сухих продуктов обусловлена химическими, биохимическими и/или физическими изменениями, в том числе миграцией или потерей влаги, способной привести к слеживанию продукта; ферментативным и неферментативным реакциям, проявляющимся в потемнении продукта (потере белизны) и пр.

В последнее время наравне с понятием активности воды для прогнозирования хранимостности пищевых продуктов широко используется концепция стеклования [13]. Стабильность продукта при хранении базируется на предположении, что он поддерживается в стеклообразном состоянии. При температурах выше температуры стеклования ( $T_g$ ) вследствие увеличения молекулярной подвижности и уменьшения вязкости продукта могут проходить процессы окисления, кристаллизации и рекристаллизации, повышение адгезивных свойств, приводящее к изменениям в химическом и физическом состоянии, налипанию частиц на твердую поверхность и слеживанию продукта. Скорость этих изменений определяется разностью между температурой продукта (T) и  $T_g$  [13–15]. Известно, что

Таблица 2

**Физико-механические и функционально-технологические свойства опытных образцов сухой молочной сыворотки**

Показатели	Сухая подсырная сыворотка	Сухая сыворотка, полученная с использованием:		
		ЭД	НФ	НФ и ЭИО
Объемная насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,544 ± 0,02	0,611 ± 0,01	0,429 ± 0,024	0,376 ± 0,01
Насыпная плотность с уплотнением, г/см <sup>3</sup>	0,715 ± 0,026	0,731 ± 0,014	0,533 ± 0,018	0,499 ± 0,022
Объемная масса свободной засыпки, г/см <sup>3</sup>	0,540 ± 0,024	0,609 ± 0,022	0,389 ± 0,018	0,393 ± 0,036
Средний размер частиц, мкм	74,0	79,7	60,3	63,6
Относительная скорость растворения, %	13,0	37,0	33,0	44,0
Время стабилизации $A_w$ (показатель завершенности растворения), мин.	135 ± 5	110 ± 5	100 ± 5	65 ± 5
Пенообразующая способность, %	21,7 ± 1,1	55,1 ± 2,75	44,0 ± 2,53	90,4 ± 0,40

чем меньше разность  $[T - T_g]$ , тем лучше сохраняется продукт [14–16].

Учитывая вышеизложенное, в данной работе прогнозирование стабильности качественных показателей и изучение поведения сухой сыворотки при хранении проводили с учетом разницы температур  $[T - T_g]$ .

Для объектов исследования были получены ДСК-кривые нагревания, по которым определяли характеристические температуры стеклования (табл. 3).

Полученные результаты свидетельствовали об отличии температур стеклования исследуемых образцов. Отмечено, что при нормированных в Украине режимах хранения (от 0 до 20 °С) все образцы сухой сыворотки за исключением продукта, изготовленного с использованием ЭИО, находятся преимущественно в резиноподобном состоянии, что может негативно отразиться на стабильности продукта при хранении.

Наибольшим значением  $T_g$  и, соответственно, наименьшей разностью температур  $[T - T_g]$  характеризовалась сухая сыворотка, обогащенная магнием и марганцем (см. рисунок), что свидетельствует в пользу ее стабильности при хранении. Данное предположение подтверждено результатами определения степени слеживания продукта. Из рисунка видно, что у образцов сухой подсырной сыворотки и сухой сыворотки, деминерализован-

ной электродиализом, степень слеживания превышала 10 %, что характеризует их как продукты, склонные к слеживанию и комкованию. Степень слеживания сухой сыворотки, обессоленной нанопольтрацией, при размере пор сита 500 мкм приближалась к 10 %, а при порах сита 250 мкм превышала данный порог (см. рисунок). Образцы сухой сыворотки, обогащенной магнием и марганцем, напротив, характеризовались низкой склонностью к образованию комков (степень слеживания – 1,6 и 2,7 % в зависимости от размера пор сита).

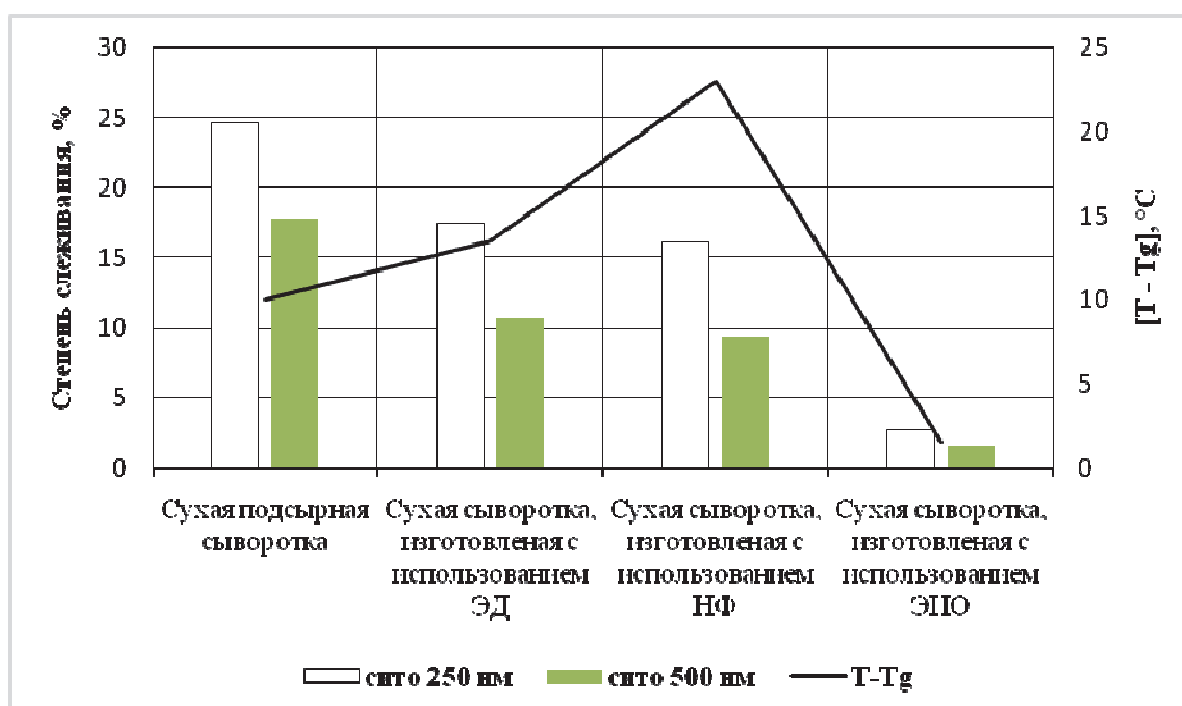
Следует отметить, что кроме стабильности к слеживанию частиц образцы сухой молочной сыворотки, изготовленной с использованием электроискровой обработки, положительно отличались от других объектов исследования отсутствием признаков неферментативного потемнения.

Они характеризовались наивысшей степенью белизны, которая практически не снижалась при хранении в течение 8 месяцев при температуре  $(18 \pm 2)$  °С и относительной влажности не более 80 %. Остальным образцам было присуще снижение показателя белизны на 10,5–13,7 усл. ед. в зависимости от вида продукта (табл. 4). Потеря белизны говорит о протекании реакции Майяра, которая, как известно, не замедляется даже при низком содержании влаги в отличие от других биохимических процессов.

Таблица 3

**Влагосодержание и температуры стеклоперехода образцов сухой молочной сыворотки**

Образец	Влагосодержание, г/г сух. в.	Температура, °С		
		$T_g^s$	$T_g^f$	$T_g$
Сухая подсырная сыворотка	0,055	0	+26,0	+13,0
Сухая сыворотка, обессоленная ЭД	0,042	-3,0	+16,0	+6,5
Сухая сыворотка, обессоленная НФ	0,044	-18,0	+12,0	-3,0
Сухая сыворотка, полученная с использованием НФ и ЭИО	0,031	+10,0	+27,0	+18,5



Степень слеживания и показатель  $[T - T_g]$  исследуемых образцов сухой молочной сыворотки

Таблица 4

**Изменение белизны опытных образцов сухой молочной сыворотки в процессе хранения**

Белизна сухой молочной сыворотки, усл. ед., при хранении	Сухая подсырная сыворотка	Сухая сыворотка, полученная с использованием		
		ЭД	НФ	НФ и ЭИО
1 месяц	85,3 ± 3,1	87,8 ± 3,5	90,6 ± 2,0	97,4 ± 1,0
6 месяцев	75,1 ± 2,7	75,6 ± 3,1	83,6 ± 2,3	95,7 ± 1,1
8 месяцев	72,8 ± 3,2	74,1 ± 2,9	80,1 ± 1,7	95,1 ± 0,8

Полученные результаты согласуются с литературными данными [14, 16], в которых указано, что скорость физико-химических изменений в продукте, в том числе реакции Майяра, снижается при уменьшении разности между температурой хранения и температурой стеклования.

### Заключение

Проведенная работа дает основание сделать вывод, что использование электроискровой обработки в технологии сухой молочной сыворотки, позволяет получить продукт, обогащенный ценными минеральными элементами и характеризующийся высокими функционально-технологическими свойствами, а также стабильностью качественных показателей при хранении.

### Литература

1. Храмов, А.Г. Феномен молочной сыворотки / А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2011. – 804 с.
2. Реальные мембранные технологии / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, А.С. Бессонов и др. // Молочная промышленность. – 2010. – № 1. – С. 49–50.
3. Обработка молочного сырья мембранными методами / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, М.В. Головкина и др. // Молочная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 34–37.
4. Евдокимов, И.А. Электродиализ – перспективный метод переработки молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, Н.Я. Дыкало // Переработка молока. – 2001. – № 2. – С. 5–7.
5. Гондар, О.П. Зміна мінерального складу сухої молочної сироватки за різних методів оброблення / О.П. Гондар, І.О. Романчук // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2015. – № 1 (89), Том 1. – С. 94–99.
6. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В. Б. Спиричев, Л. Н. Шатнюк, В.М. Позняковский; под общ. ред. В.Б. Спиричева. – 2-е изд. – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2005. – 548 с.
7. Чурилина, Н.В. О влиянии добавок минеральных солей и фосфолипазы на качество хлеба / Н.В. Чурилина, И.В. Матвеева, Т.А. Юдина // Хлебопечение России. – 2004. – № 3. – С. 24–26.
8. Кантере, В.М. Теоретические основы технологии микробиологических производств: уч. пособие / В.М. Кантере. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
9. Кочубей-Литвиненко, О.В. Способ обогащения молочной сыворотки коллоидными частицами магния и марганца / О.В. Кочубей-Литвиненко, К.Г. Лопатько // Scientific works of university of food technologies. – 2015. – Vol. 62. – P. 131–134.
10. Способ обогащения молочной сыворотки коллоидными частицами биогенных металлов Mg и Mn, перспективы ее использования / О.В. Кочубей-Литвиненко, Е.А. Билык, В.В. Олишевский и др. // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2015. – № 3 (29). – С. 36–42.
11. Патент 2410682 RU МПК G01N33/04 Способ определения окончания процесса восстановления сухих молочных продуктов / А.Г. Галстян, А.Н. Петров; заявитель ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности». – Заявл. 22.12.2006; опубл. 27.01.2011.
12. Pisecky, J. Handbook of Milk Powder Manufacture / J. Pisecky. – Copenhagen: Niro A/S, 1997 – 261 p.
13. Schwartzberg H.G., Hartel R.W. Physical chemistry of foods / H.G. Schwartzberg, R.W. Hartel. – NY: Marcel Dekker, 1992. – 747 p.
14. Roos, Y.H. Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders // Lait. – 2002. – № 82. – P. 478–484.
15. Kalichevsky-Dong, M.T. The glass transition and microbial stability / M.T. Kalichevsky-Dong. – Cambridge: Woodhead Publishing. – 2000. – P. 25–54.
16. Water activity and glass transition in dairy ingredients / P. Schuck, E. Blanchard, A. Dolivet et al. // Lait. – 2005. – № 85. – P. 295–304.

**Кочубей-Литвиненко Оксана Валерьяновна.** Кандидат технических наук, доцент, Национальный университет пищевых технологий (г. Киев, Украина), [okolit@email.ua](mailto:okolit@email.ua)

Поступила в редакцию 7 февраля 2016 г.

## STUDYING OF PROPERTIES AND STORABILITY OF DRY WHEY OBTAINED WITH THE USE OF ELECTRIC SPARK TREATMENT

**O.V. Kochubei-Lytvynenko**

*National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine*

Perspectives of dry milk whey are determined by its composition, qualities, and storability, that is why an important stage of scientific research is determination of functional and technological properties and stability of product quality while stored. The article is dedicated to research of physical and chemical, physical and mechanical, and functional and technological properties of dry milk whey obtained with the use of electric spark treatment. Results of the research are presented in comparison with dry whey indicators obtained with the use of various treatment methods. It was found out that carrying out volumetric electric spark dispersion of electroconductive metal granules in milk whey helps to enrich the product with magnesium and manganese. It is highlighted that physical and chemical properties of new product meet the requirements of regulatory documentation. Physical and mechanical properties of dry milk whey enriched with magnesium and manganese showed high dispersibility of the product and low aptitude for consolidation. The studied product differed from other test samples in terms of higher foaming ability and better dissolubility. Scientific prognostication of quality stability and study of behavior of dry milk whey while being stored were performed taking into account difference in storing temperatures (T) and glass transition (T<sub>g</sub>). Highest index of T<sub>g</sub> (T<sub>g</sub> = +18,5 °C) and subsequently the smallest difference in temperatures [T – T<sub>g</sub>] were discovered in dry whey enriched with magnesium and manganese which proves its stability while being stored. This assumption is proved by results of product consolidation index measurement, as well as by the absence of signs of non-fermentative darkening while being stored. It is mentioned that under standard storing terms (from 0 to 20 °C) all samples of dry whey except for the product obtained with the use of electric spark treatment are predominantly in rubbery state which can negatively influence stability of the product while being stored.

**Keywords:** dry whey, electric spark treatment, functional and technological properties, storability, consolidation, glass transition temperature.

### References

1. Hramtsov A.G. *Fenomen molochnoy syvorotki* [The phenomenon of whey]. St. Petersburg, Professiya, 2011. 804 p.
2. Evdokimov I.A., Volodin D.N., Bessonov A.S., Zolotareva M.S., Poverin A.P. [Real membrane technology]. *Molochnaya promyshlennost* [Dairy industry], 2010, no. 1, pp. 49–50. (in Russ.)
3. Evdokimov I.A., Volodin D.N., Golovkina M.V., Zolotaryova M.S., Topalov V.K. [Processing raw milk membrane methods]. *Molochnaya promyshlennost* [Dairy industry], 2012, no. 2, pp. 34–37. (in Russ.)
4. Evdokimov I.A., Volodin D.N., Dyikalo N.Ya. [Electrodialysis – a promising method of processing whey]. *Pererabotka moloka* [Processing of Milk], 2001, no. 2, pp. 5–7. (in Russ.)
5. Gondar O.P., Romanchuk I.O. [Change the mineral composition of dry whey by different methods of treatment]. *ZbIrnik naukovih prats VInnitskogo natslionalnogo agrarnogo unIversitetu* [Scientific works of Vinnytsia National Agrarian University], 2015, no. 1 (89), vol. 1, pp. 94–99. (in Ukr.)
6. Spirichev V.B, Shatnyuk L.N., Poznyakovskiy V.M. *Obogaschenie pischevyih produktov vitaminami i mineralnyimi veschestvami. Nauka i tehnologiya* [Food fortification with vitamins and minerals. Science and Technology]. Novosibirsk, Sib. Univer. Publ., 2005. 548 p.
7. Churilina N.V., Matveeva I.V., Yudina T.A. [The effect of supplementation of mineral salts and phospholipase on the quality of bread]. *Hlebopechenie Rossii* [Bakery Russia], 2004, no. 3, pp. 24–26. (in Russ.)
8. Cantere V.M. *Teoreticheskie osnovyi tehnologii mikrobiologicheskikh proizvodstv* [Theoretical Foundations of microbiological production technologies]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 271 p. (in Russ.)
9. Kochubei-Lytvynenko O.V., Lopatko K.G. [A method of enriching whey colloidal particles of magnesium and manganese]. *Scientific works of university of food technologies*, 2015, vol. 62, p. 131–134. (in Russ.)



10. Kochubey-Litvinenko O.V., Bilyik E.A., Olishevskiy V.V., Marinin A.I., Lopatko K.G. [Method of enrichment of whey by colloidal particles of magnesium and manganese, prospects of its use]. *Pischevaya promyshlennost: nauka i tehnologii*, 2015, no. 3 (29), pp. 36–42. (in Russ.)

11. Galstyan A.G., Petrov A.N. *Patent 2410682 RU MPK G01N33/04 Sposob opredeleniya okonchaniya protsessa vosstanovleniya suhikh molochnykh produktov* [A method of determining the end of the recovery process of dry dairy products]. *zayavl.* 22.12.2006; *opubl.* 27.01.2011.

12. Pisecky J. *Handbook of Milk Powder Manufacture*. Copenhagen, Niro A/S, 1997. 261 p.

13. Schwartzberg H.G., Hartel R.W. *Physical chemistry of foods*. New York, Marcel Dekker, 1992. 747 p.

14. Roos Y.H. Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. *Lait*, 2002, no. 82, pp. 478–484.

15. Kalichevsky-Dong M.T. *The glass transition and microbial stability*. Cambridge, Woodhead Publishing, 2000. pp. 25–54. DOI: 10.1533/9781855736580.1.23

16. Schuck P., Blanchard E., Dolivet A., Méjean S., Onillon E., Jeantet R. Water activity and glass transition in dairy ingredients. *Lait*, 2005, no. 85, pp. 295–304. DOI: 10.1051/lait:2005020

**Oksana V. Kochubei-Lytvynenko**. Cand. Sc. Engineering, Associate Professor, National University of Food Technologies (Kiev, Ukraine), [okolit@email.ua](mailto:okolit@email.ua)

*Received 7 February 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кочубей-Литвиненко, О.В. Изучение свойств и хранимостности сухой сыворотки, полученной с использованием электроискровой обработки / О.В. Кочубей-Литвиненко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 20–28. DOI: 10.14529/food160103

### FOR CITATION

Kochubei-Lytvynenko O.V. Studying of Properties and Storability of Dry Whey Obtained with the Use of Electric Spark Treatment. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 20–28. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160103