

артефактов. Критерий устранения избыточности (окончание) / «Приводная техника», № 6 (52), 2004, с. 2-23.

5. Миндрин А.С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции – М.: Изд-во ВНИЭТУСХ, 1997. - 187 с.

6. Хафизов К.А. Пути снижения энергетических затрат на производственных процессах в сельском хозяйстве. – Казань: Изд-во КазГУ, 2007, с. 110-121.

7. Подлевских Н. Исследование тенденций мировой энергетики // Сайт инвестиционной компании «Церих Кэпитал Менеджмент». 07.2008, 18 с. / www.zerih.com.

УДК 635.21.077: 621.365

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ

Дубодел И.Б., к.т.н., доц., Кардашов П.В., к.т.н., доц. (БГАТУ)

С ростом производства животноводческой продукции увеличивается не только использование кормовых ресурсов, но повышается потребность в кормовых белках. Белковая необеспеченность в рационах сельскохозяйственных животных составляет около 20 % и отрицательно сказывается на их здоровье, снижает воспроизводительную функцию, пагубно действует на жизнеспособность приплода. решение проблемы связано с поисками новых источников белков, которыми могут служить побочные продукты перерабатывающих предприятий. ежегодно в Республике Беларусь при производстве картофельного крахмала получают до 105 тыс. тонн сока, содержащего более 3 тыс. тонн белков. аналогичная проблема возникает и при производстве сыров, творога, казеина. получаемая при переработке 900 тыс. тонн молока сыворотка, содержит 9...10 тыс. тонн белков.

Извлечь белки можно коагуляцией. Существующие способы коагуляции (тепловые, химические, электротермические) позволяют выделить не более 85 % белков при энергоёмкости 0,15...0,40 МДж/кг. Это объясняется тем, что интенсификация процессов происходит за счет энергоёмкого термического воздействия. Главным действующим фактором выступает температура. Использование химического способа, основным действующим фактором которого является рН среды, позволяет произвести процесс без затрат энергии, но уменьшает выход белков. Снизить недостатки существующих способов возможно, заменив действие химреагентов, электрохимическим действием электрического тока, что осуществимо с помощью электрокоагуляции.

Коагуляция белковосодержащих сред под действием внешнего электрического поля зависит от баланса трех энергий – межмолекулярного притяжения  $W_m$ , электростатического отталкивания  $W_э$ , диполь-дипольного взаимодействия частиц  $W_д/1...4/$ :

$$W = W_m + W_э + W_д = 16 \varepsilon_0 \varepsilon_c \left( \frac{RT}{F} \right)^2 \operatorname{th}^2 \left( \frac{\psi_0 z_i e}{4kT} \right) \cdot a \frac{e^{-\chi \cdot a(S-2)}}{S} -$$
$$- \frac{A}{6} \left( \frac{2}{S^2 - 4} + \frac{2}{S^2} + \ln \frac{S^2 - 4}{S^2} \right) - 4 \varepsilon_0 \varepsilon_c \left[ 0,5 - 3 \frac{\operatorname{ch} \left( \frac{\psi_0 z_i e}{2kT} \right) - 1}{4 \operatorname{ch} \left( \frac{\psi_0 z_i e}{2kT} \right) + \chi a} \right] \left( \frac{a}{S} \right)^3 E^2,$$

где  $\varepsilon_0, \varepsilon_c$  – электрическая постоянная, Ф/м, и относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T$  – температура, К;  $F$  – число Фарадея, Кл/моль;  $\psi_0$  – полный потенциал (потенциал диффузной части двойного слоя), В;  $z_i$

– валентность иона;  $e$  – заряд электрона, Кл;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $a$  – размер частицы, М;  $S = h/a + 2$  – относительное расстояние между частицами;  $h$  – расстояние между

частицами, м;  $\chi = \sqrt{\frac{8\pi e \sum n_i z_i}{\epsilon_0 \epsilon_c kT}}$  – параметр Дебая-Гюккеля, м<sup>-2</sup>;  $A$  – постоянная Гамакера,

Дж;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м.

Коагуляция происходит в случае, когда энергия молекулярного притяжения и дипольного взаимодействия превосходят энергию электростатического отталкивания, т.е. при отрицательном знаке суммарной энергии. Анализ уравнения (1), проведенный на ЭВМ, показал, что суммарная энергия взаимодействия коллоидных частиц в наибольшей мере зависит от температуры  $T$  и потенциала диффузной части двойного слоя  $\psi_0$ . Напряженность электрического поля не оказывает заметное влияние на суммарную энергию взаимодействия частиц. Следовательно, возможна тепловая и химическая коагуляция белковосодержащих сред.

Тепловая коагуляция происходит при температуре выше 60<sup>0</sup>С для картофельного сока и 90<sup>0</sup>С для молочной сыворотки. Химическая коагуляция возможна при  $\psi_0 = (30...40) \cdot 10^{-3}$ В для сока и  $\psi_0 = (0,25...0,35) \cdot 10^{-3}$ В для сыворотки. Так как  $\psi_0$ -потенциал не поддается экспериментальному определению, его заменяют на электрохимический потенциал  $\zeta$  (дзета-потенциал), близкий по значению. На величину электрокинетического потенциала, особенно растворов белков, влияет рН среды, т.к. ионная атмосфера, возникающая вокруг мицеллы белка, содержит либо ОН<sup>-</sup>, либо Н<sup>+</sup> ионы. Значение  $\zeta$  – потенциала в кислой среде имеет положительный знак, а в щелочной – отрицательный. В точке  $\zeta=0$  (изоэлектрическая точка – ИЭТ) белки сворачиваются в клубки и коагулируют. Для картофельного сока ИЭТ соответствует рН  $\approx 4,8$ , для молочной сыворотки рН = 8,5...9,5 (разброс связан с несколькими видами белков, присутствующих в сыворотке, каждый из которых имеет свою ИЭТ).

Изменить рН среды можно воздействием внешнего электрического тока, регулируя вводимое количество электричества  $Q$ , при определенном значении которого белок переходит в изоэлектрическое состояние и коагулирует.

На основании данных положений получена следующая математическая зависимость процесса электрокоагуляции белков сока картофеля:

$$W = 16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F}\right)^2 th^2 \left( \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 10^{-5} Q) z_i e}{4kT} \right) \times a \frac{e^{-\chi a(s-2)}}{S} -$$

$$-\frac{A}{6} \left[ \frac{2}{S^2 - 4} + \frac{2}{S^2} + \ln \frac{S^2 - 4}{S^2} \right] - 4\epsilon_0\epsilon_c \left( 0,5 - 3 \frac{ch \left( \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 10^{-5} Q) z_i e}{2kT} \right) - 1}{4ch \left( \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 10^{-5} Q) z_i e}{2kT} \right) + \chi a} \right) \left( \frac{a}{S} \right)^3 E^2.$$

Анализ устойчивости белков картофельного сока выполнен с учетом электрофизикохимических характеристик на ЭВМ. Влияние величины  $\zeta$ -потенциала на энергию взаимодействия определено при постоянной температуре. При  $\zeta = (30...35) \cdot 10^{-3}$ В суммарная энергия отрицательна, происходит коагуляция. Процесс быстро нарастает с уменьшением потенциала.

Рост количества электричества  $Q$  уменьшает энергию электростатического

отталкивания, а молекулярного притяжения увеличивает. При  $Q = (3...3,5) \cdot 10^{-3}$  Кл/кг эти энергии равны по абсолютной величине. Дальнейшее увеличение  $Q$  приводит к коагуляции.

Напряженность электрического поля и температура в исследуемых диапазонах не оказывают воздействия на коагуляцию частиц.

Оптимальные параметры электрокоагуляции белков сока определены методом Монте-Карло [5]. Критерием оптимизации служил минимум энергии взаимодействия белковых частиц. В результате получены следующие значения факторов, степень коагуляции при которых максимальна: количество электричества –  $(6,5...7,5) \cdot 10^{-3}$  Кл/кг; рН среды – 4,6...5,0; температура обработки – 30...40<sup>0</sup>С.

Основными технологическими параметрами электрообработки белковосодержащих сред являются: количество электричества, рН среды, конечная температура, выход белков.

Критериями оценки приняты энергетические, санитарные, экономические показатели. Технологические параметры обработки картофельного сока и молочной сыворотки приведены в таблице 1. Эффективность способа обработки белковосодержащих сред подтверждена лабораторией транспорта и регуляции обмена веществ растений института экспериментальной ботаники АН РБ (таблицы 2;3).

Таблица 1 - Технологические параметры обработки некоторых белковосодержащих сред

Обрабатываемая среда	Параметры электрического поля		рН показатель	Температура обработки, <sup>0</sup> С	Выход белков, %
	количество электричества Кл/кг	напряженность, В/м			
Картофельный сок	$(6,5...7,5)10^3$	$(3...5) 10^2$	4,6...4,8	30...40	93...95
Молочная сыворотка	$(5...6) 10^3$	$20 \cdot 10^2$	8,8...9,2	25...30	93...95

Таблица 2 - Результаты сравнительных исследований способов коагуляции белков картофельного сока

Способ коагуляции	Конечная температура обработки, <sup>0</sup> С	Энергоемкость МДж/кг	Выход белков,%
Тепловой	70	0,30	78
Химический	20	-	53
Термохимический	70	0,30	85
Электротермический	70	0,15	87
Электрохимический	40	0,05	97

### 3. Сравнительная оценка способов коагуляции белков молочной сыворотки.

Способ коагуляции	Конечная температура обработки, <sup>0</sup> С	Энергоемкость МДж/кг	Выход белков,%
Тепловой	95	0,34	25...40
Химический	20	-	40...55
Термохимический	92	0,30	45...55
Электротермический	92	0,28	45...50
Электрохимический	30	0,12	93...95

### Литература

1. Эстрелла-Льонис В.Р., Духин С.С. Поляризационные взаимодействия и электрокоагуляция // Коллоидный журнал – 1981, вып.5 т.43.
2. Дерягин Б.В. Теория гетерокоагуляции, взаимодействие и влияние разнородных частиц в растворах электролитов // Коллоидный журнал – 1954, вып.16 т.6.

3. Эстрелла-Льонис В.Р. и др. Об энергии взаимодействия двух физических коллоидных частиц во внешнем электрическом поле // Коллоидный журнал 1974, вып. 6 т.36.
4. Дерягин Б.В. Устойчивость коллоидных систем // Успехи химии – 1979, № 4 т.48.
5. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. – М.: Наука, 1978.

УДК 544.6: 636.08

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ В КОРМОПРИГОТОВЛЕНИИ

*Корко В.С., к.т.н., доц., Кардашов П.В., к.т.н., доц., Дубодел И.Б., к.т.н., доц.,  
Кардашов М.В. (БГАТУ)*

Повышение эффективности животноводства неразрывно связано с разработкой новых перспективных направлений, одним из которых является использование электрохимически активированной воды и водных растворов.

Электролиз воды можно осуществить путем пропускания постоянного электрического тока через воду, расположенную между токоподводящими электродами, разделенными мембраной или пористой диафрагмой. Известно, что при разделении анодного и катодного пространства не только мембранами, но и пористыми диафрагмами [1], наряду с кислотностью и щелочностью исходного раствора, изменяются химическая и биологическая активность растворов, их физические свойства, происходит активация водных растворов.

Суть электрохимической активации заключается в том, что обычная питьевая вода, в которой растворены минеральные соли, в результате анодной или катодной обработки в диафрагменном электрохимическом электролизере переходит в активированное состояние, характеризующееся физико-химической активностью. Для процессов электрохимической активации обычно используют водные растворы хлорида натрия (поваренная соль) с концентрацией не более 5 г/л [2].

Рост живых организмов в большой степени зависит от скорости ферментативных реакций в клетках. Активированная вода, вводимая в организм животных, изменяет скорость внутриклеточных ферментативных процессов, зависящих от водородного показателя (рН), окислительно-восстановительного потенциала среды (ОВП) и других условий.

Для приготовления электрохимически активированной воды и растворов используется экспериментальная установка (рис. 1), которая состоит из источника постоянного тока 1, электрохимического реактора 2, емкости для исходного раствора хлоридов 4, емкостей для хранения приготовленных растворов – анолита 12 и католита 13, соединительной и регулирующей арматуры. Подача в камеры исходного раствора хлоридов и отбор электрохимически активированных растворов происходит через соответствующие штуцера. Реактор 2 соединен с емкостью 4 посредством трубок через тройник 6 и дозатор инъекционный 7. Распределение исходного раствора по электродным камерам реактора осуществляется с помощью регулирующего устройства 10. Приготовленные растворы поступают из верхних штуцеров реактора 2 по трубкам 11 в накопительные емкости 12 и 13. Для подачи исходного раствора хлоридов из емкости 4 и воды из водопроводной сети установка укомплектована инъекционным дозатором 7, трубкой 8 (или шлангом) с насадкой 9. При работе без водопровода рабочий раствор хлоридов (0,1.. 0,5 %) подается из емкости 4 к тройнику 6, минуя инъекционный дозатор 7. В таком случае емкость 4 устанавливают выше реактора 2 с целью создания необходимого напора.

Установка работает в следующем порядке. Из водопроводного крана по трубке емкости 4 и по трубке 3 при открытом зажиме поступает исходный раствор хлоридов в обе камеры электрохимического реактора 2 через нижние штуцера. Включается источник постоянного тока 1 и регулятором напряжения устанавливается требуемая сила тока, под действием постоянного тока на электродах протекают электрохимические реакции с образованием