

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Заяц Е.М., Николаенок М.М., Кривовязенко Д.И., (БГАТУ) г. Минск

Побочным продуктом молочного производства является молочная сыворотка, мировое производство которой превышает 90 млн. тонн в год, в том числе в Беларуси – 0,9 млн. тонн. В состав молочной сыворотки при переработке переходит до 50% сухих веществ, в том числе до 14% тонкодиспергированного молочного жира, 20–25% легкоусвояемых белков, 88–99% молочного сахара, минеральных веществ, уникальный углевод животного происхождения – лактозу, витаминный комплекс, макро- и микроэлементы. С целью повышения эффективности этого питательного потенциала, молочную сыворотку подвергают соответствующей обработке посредством коагуляции содержащегося в коллоидном состоянии белка. Наиболее эффективным из существующих методов выделения белка является разработанный в БГАТУ электротехнологический метод, основанный на непосредственном воздействии электрического тока в униполярной электродной системе, разделенной катион-обменной мембраной. В этом случае в обрабатываемой среде изменяется концентрация анионов и катионов таким образом, что достигается ζ -потенциал на плоскости скольжения двойного слоя на границе раздела молекула белка – раствор солей равный нулю. Это предполагает сворачивание белков в клубки и выпадение их в осадок. Скорость коагуляции подобно химической реакции 2-го порядка, характеризуется изменением числа частиц за единицу времени и равна производной концентрации коагулируемых частиц n по времени t , взятой со знаком минус:

$$-\frac{dn}{dt} = Kn^2,$$

где K – коэффициент скорости процесса.

Коэффициент скорости процесса

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right), \quad (2)$$

где k_0 – константа скорости; W_a – энергия активации процесса коагуляции; R – газовая постоянная; T – температура.

Константа скорости по Смолуховскому

$$k_0 = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right), \quad (3)$$

где a – размер частицы; h – расстояние между частицами; D – коэффициент диффузии частиц, определяемый из формулы Эйнштейна-Стокса:

$$D = \frac{2RT}{N_a 6\pi\nu_c a}, \quad (4)$$

где N_a – число Авагадро; ν_c – вязкость среды.

Энергию электростатического отталкивания W_s , которая согласно теории Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека определяется из выражения:

$$W_s = 16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F} \right)^2 th^2 \left(\frac{\Phi_0 z_i e}{4kT} \right) \frac{a}{2} \exp[-\chi a(S-2)], \quad (5)$$

где ϵ_0, ϵ_c – диэлектрическая проницаемость вакуума и относительная диэлектрическая проницаемость среды; F – число Фарадея; Φ_0 – полный потенциал двойного слоя; z_i – валентность i -го иона; e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; S – относительное расстояние между частицами; χ – параметр Дебая-Гюккеля, можем уподобить энергии активации, т.е.:

$$W_a = W_s. \quad (6)$$

Так как полный потенциал двойного слоя не поддается экспериментальному определению, то его можно с определенным допуском заменить на потенциал внешней плоскости Гельмгольца (ζ – потенциал), который зависит от pH среды:

$$\Phi_0 \approx \zeta(pH). \quad (7)$$

Записав уравнение (1) для глубины процесса коагуляции

$$\eta_0 = 1 - \frac{n}{n_0}, \quad (8)$$

где n_0 – начальная концентрация молекул белка,

получим

$$\frac{dn_0}{dt} = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right) \exp \left[- \frac{16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F} \right)^2 th^2 \left[\frac{\zeta(pH)z_i e}{4kT} \right] \frac{a}{2} \exp[-\chi a(S-2)]}{RT} \right], \quad (9)$$

где D определяем по (4).

Как видно из (8) кинетика коагуляции определяется pH среды и температурой. Значение соответствующего pH среды определяется расходом тока $D_{\tau}^{A(K)}$ в анодной

и катодной зонах:

$$D_{\tau}^{A(K)} = \frac{E^{A(K)}}{l_{A(K)}} \int_0^{\tau} \gamma^{A(K)}(T, \tau) d\tau, \quad (10)$$

где $E^{A(K)}$ – напряженность электрического поля в анодной (катодной) зоне; $\gamma^{A(K)}$ – среднее значение удельной электрической проводимости раствора в анодной (катодной) зоне в момент времени τ в зависимости от температуры T ; $l_{A(K)}$ – расстояние от анода (катода) до мембраны.

При равенстве объемов анолита и католита будет происходить изменение чисел переноса ионов H^+ и OH^- :

$$n_{H^+} = \frac{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+}}{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}; \quad (11)$$

$$n_{OH^-} = \frac{\left(C_{OH^-}^K + n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}, \quad (12)$$

где $C_{H^+}^A, C_{OH^-}^K$ – концентрация катионов H^+ в анодной зоне и анионов OH^- в катодной зоне; n_{H^+}, n_{OH^-} – мгновенное число переноса ионов катион-обменной мембраной; $\lambda_{H^+}, \lambda_{OH^-}$ – подвижность ионов.

Накопление кислотности в католите и эквивалентное ему накопление щелочности в анолите:

$$K_{H^+(OH^-)}^{K(A)} = \frac{10^{-3} D_{\tau}^{K(A)}}{F} \int_0^{\tau} n_{H^+(OH^-)} dD_{\tau}^{K(A)}. \quad (13)$$

Зная исходное значение pH_0 , можно рассчитать повышение pH в катодной зоне и снижение pH в анодной зоне:

$$pH_{(K)} = -\lg \left(K_{H^+}^K + 10^{-pH_0^K} \right); \quad pH_{(A)} = 14 + \lg \left(K_{H^+}^A + 10^{-pH_0^A} \right). \quad (14)$$

Кинетика процесса нагрева при протекании тока описывается уравнением Фурье:

$$\frac{\partial T(x, y, z)}{\partial \tau} = \frac{\lambda(x, y, z)}{\rho(x, y, z)C(x, y, z)} \nabla^2 T(x, y, z) + \frac{\gamma(T, x, y, z)E^2(x, y, z)}{\rho(x, y, z)C(x, y, z)}, \quad (15)$$

с начальными и граничными условиями:

$$T = T_0 \text{ при } \tau = 0; \lambda(x, y, z)_z \Delta T = \alpha(T_{oc} - T_z), \quad (16)$$

где $\lambda(x, y, z)$, $\rho(x, y, z)$, $C(x, y, z)$ – теплопроводность, плотность и теплоемкость среды; α – коэффициент теплоотдачи; T_{oc} – температура окружающей среды; $\gamma(T, x, y, z)$ – удельная электрическая проводимость материала; $E(x, y, z)$ – напряженность электрического поля.

Таким образом, уравнения (9) и (15), представляющие собой кинетические уравнения процесса совместно с (10)...(14), начальными и граничными условиями (16) представляют математическую модель.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Кардашов П.В., Заяц Е.М., (БГАТУ) г. Минск

Клейстеризация крахмала фуражного зерна происходит под воздействием катионов H_3O^+ и анионов OH^- . Обработку можно проводить как в кислой так и в щелочной средах.

Для улучшения вкусовых качеств и увеличения электрической проводимости перед обработкой зерно плюшат и увлажняют водным раствором поваренной соли, содержащим 0,8 – 1,0 % NaCl по отношению к массе зерна.

Электролиз водного раствора NaCl, в случае использования электродов из графита, на постоянном токе протекает по следующей схеме:



Реакция на аноде



и на катоде



Реакция переноса на аноде



и на катоде



где n – число переноса катионов.

Суммарная реакция