

Модель процесса электротермохимической коагуляции белков в органических гидросистемах

Заяц Е. М., докт. техн. наук, доцент, Николаенко М. М., канд. техн. наук, доцент, Кривовязенко Д. И., БГАТУ, г. Минск

Некоторые органические гидросистемы (молочная сыворотка, картофельный сок и др.) с целью выделения белка подвергают коагуляции. Механизм коагуляции зависит от взаимодействия коллоидных частиц с раствором. Белки, имеющие в своем составе функциональные группы $-\text{COO}^-$ и $-\text{NH}_3^+$ и гидрофобный радикал $-\text{R}$, способны в водных растворах образовывать макроионы, имеющие либо положительный (в кислой среде), либо отрицательный (в щелочной среде) заряд. В изоэлектрическая точка (ИЭТ), когда электрокинетический потенциал ξ равен нулю молекулы белка сворачиваются в клубки, коагулируют. Достичь ИЭТ можно путем изменения электрохимическим способом рН среды пропуская через нее электрический ток:

в анодной зоне

$$pH_A = \lg(10^{-pH_A^{нач}} + \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_\tau^A} n_{H^+} dD_\tau^A); \quad (1)$$

в катодной зоне

$$pH_K = 14 + \lg(10^{-pH_K^{нач}} + \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_\tau^K} n_{OH^-} dD_\tau^K), \quad (2)$$

где $pH_A^{нач}$, $pH_K^{нач}$ - начальное значение рН среды в анодной и катодной зоне; F - число Фарадея; $dD_\tau^{A(K)}$ - количество электричества, вводимое в единицу объема среды в анодной (катодной) зоне; n_{OH^-} , n_{H^+} - число переноса ионов OH^- и H^+ мембраной.

Количество электричества, протекающее через единицу объема среды

$$D_\tau^{A(K)} = \frac{E}{l_{A(K)}} \int_0^\tau \gamma^{A(K)}(T, C_i) d\tau, \quad (3)$$

где E - напряженность электрического поля; $l_{A(K)}$ - толщина слоя в анодной (катодной) зоне; $\gamma^{A(K)}(T, C_i)$ - проводимость раствора, зависящая от температуры и концентрации ионов в соответствующей зоне; τ - время.

Проводимость раствора в анодной (катодной) зоне

$$\gamma^{A(K)}(T, C_i) = \frac{C_{K(A)}^{нач} - K_{K(A)}}{C_{K(A)}^{нач}} [\gamma_0^{A(K)} + A_1^{A(K)}(T - 273)], \quad (4)$$

где $C_{K(A)}^{нач}$ - начальная концентрация ионов в катодной (анодной) зоне; $K_{K(A)}$ - накопление кислотности (щелочности) в анодной зоне (катодной зоне); $\gamma_0^{A(K)}$ - проводимость раствора в анодной зоне (катодной зоне) при температуре 273К; $A_1^{A(K)}$ - температурный коэффициент проводимости раствора в анодной зоне (катодной зоне).

Кинетика изменения температуры для однолинейного случая (в соответствующей зоне) описывается уравнением

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho C} \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\gamma(T, C_i)E^2}{\rho C}, \quad (5)$$

с начальными условиями

$$T|_{\tau=0} = T_0 \quad (6)$$

и граничными условиями, при $x = 0$; $x = l_A + l_K$

$$\lambda \frac{dT}{dx} = \alpha(\tilde{T} - T|_x), \quad (7)$$

где λ, ρ, C - теплопроводность, плотность, теплоемкость материала; α - коэффициент теплоотдачи от материала к окружающей среде; \tilde{T} - температура окружающей среды.

С другой стороны, в соответствии с теорией устойчивости Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО), коагуляция возможна в случае, когда энергия молекулярного и диполь-дипольного притяжения частиц

($W_{ii} + W_{\phi}$) превышает энергию их электростатического отталкивания

W_s , которую можно выразить, приняв с некоторым допущением, что полный потенциал ϕ_0 равен экспериментально определяемому и зависящему от pH электрокинетическому потенциалу ξ , как

$$W_s = 16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F}\right)^2 th^2 \left(\frac{\xi(pH)z_i e}{4kT}\right) \frac{a}{S} \exp[-ka(S-2)], \quad (8)$$

где ϵ_0, ϵ_c - диэлектрическая проницаемость вакуума и относительная диэлектрическая проницаемость среды; R - газовая постоянная; z_i - валентность i -го иона; e - заряд электрона; k - постоянная Больцмана; a -

размер частицы; h - расстояние между частицами; κ - параметр Дебая-Гюккеля.

Скорость коагуляции, подобно химической реакции, может быть выражена реакцией 2-го порядка для глубины процесса η

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \kappa n_0 (1 - \eta)^2, \quad (9)$$

где n_0 - начальная концентрация молекул белка; κ - коэффициент скорости процесса.

Коэффициент скорости процесса определяется из уравнения Аррениуса

$$\kappa = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right), \quad (10)$$

где k_0 - константа скорости; W_a - энергия активации процесса коагуляции.

По Смолуховскому

$$k_0 = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h\right), \quad (11)$$

где D - коэффициент диффузии частиц, определяемый из формулы Эйнштейна-Стокса:

$$D = \frac{2RT}{N_A 6\pi\eta_c a}, \quad (12)$$

где N_A - число Авагадро; η_c - вязкость среды.

Приняв $W_a = W_\varepsilon$, уравнение скорости процесса коагуляции можно записать в виде

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \frac{8RT}{3N_A\eta_c a} \left(\frac{a}{2} + h\right) \exp\left(-\frac{W_\varepsilon}{RT}\right). \quad (13)$$

Таким образом, приведенные уравнения позволяют аналитически описать процесс коагуляции белка в органических водных системах.

Энергоэкономическая экспертная оценка новых отопительно-вентиляционных установок птичников

Вербило А. А., БГАТУ, г. Мінск

Создание микроклимата в птичниках занимает основную часть в структуре энергоёмкости птицеводства и оказывает существенное влияние на се-