

и *Candida tropicalis* при оптимальных режимах обработки увеличивает количество клеток на 15...47%, прирост биомассы на 11...22% и продуктивность на 24...29 %. Анализ статистического комплекса подтвердил влияние действующего фактора - количества электричества и температуры, на изменение роста биомассы дрожжевого гриба с достоверностью 99%.

Энергоёмкость процесса составляет 2 ... 3 кВт·ч на тонну питательной среды. Дополнительные затраты энергии не превышают 10 кДж/кг питательной среды.

Экономическая оценка способов культивации кормовых дрожжей показывает значительную прибыль от реализации дополнительной продукции по новому, разработанному способу.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ**

Заяц Е.М., Николаенок М.М. (БГАТУ) г. Минск

Различные продукты сельскохозяйственного производства растительного и животного происхождения (влажные и увлажненные корма, овощные и фруктовые соки, питательные растворы для выращивания микроорганизмов, молочные сыворотки, отходы пищевой промышленности и др.) с целью повышения эффективности использования их питательного потенциала подвергают обработке, в основе которой лежат гетерогенные реакции ионного обмена на уровне макромолекул клеточного вещества мембраны дисперсной частицы и катионами и анионами жидкой фазы. Скорость протекания подобных реакций зависит от концентраций активных ионов на поверхности мембраны клетки и в объеме раствора, температуры, удельной площади реакционной поверхности. Существующие способы физической, термической, химической или комплексной обработки интенсифицируют процесс дополнительным измельчением, увеличивая площадь реакционной поверхности повышением температуры, сообщая тем самым нуклефилам энергию активации, достаточную для преодоления двойного электрического слоя, увеличивая концентрацию ионов, внесением в раствор химреагента. Степень измельчения и увеличение концентрации химреагентов имеют допустимый предел, устанавливаемый зоотехническими нормами, а повышение температуры сопряжено с возрастанием энергоёмкости процесса.

Одним из направлений углубления процесса обработки и снижения

энергетических затрат, на наш взгляд, является изменение свойств подобных органических дисперсных гидросистем (ОГДС) путем обработки их в двухкамерном электролизере, представляющем собой униполярную электродную систему, разделенную ионопроницаемой мембраной. В этом случае концентрация активных ионов в жидкой фазе зависит от количества электричества через протекающего через гидросистему:

$$C^o = C^{нач} \pm \frac{g}{F}(\eta_a + \eta_k), \quad (1)$$

где  $C^{нач}$  – начальная концентрация активных ионов в жидкой фазе;  $g$  – удельное количество электричества, протекающее через ОДГС;  $F$  – число Фарадея;  $\eta_a, \eta_k$  – выход по току анионов и катионов.

В формуле (1) знак (+) соответствует концентрации анионов и катионов соответственно в анодной и катодной камерах электролизера, а знак (-) – концентрации анионов и катионов соответственно в его катодной и анодной камерах.

Помещение дисперсной частицы в раствор и пропускание электрического тока через среду приводит также к изменению концентрации ионов на поверхности клеточной мембраны в зависимости от силы тока и стороны клеточной мембраны, обращенной к аноду или катоду

$$C^m = C^o \pm \frac{g\delta^2 \Delta n}{zFD\tau}, \quad (2)$$

где  $C^o$  – концентрация активных ионов в жидкой фазе;  $\delta$  – толщина диффузного слоя на границе «клеточная мембрана – раствор»;  $\Delta n$  – разность чисел переноса ионов в мембране и растворе;  $z$  – заряд ионов;  $D$  – коэффициент диффузии ионов в растворе;  $\tau$  – время обработки.

В формуле (2) знак (+) соответствует концентрации анионов на анодной и катионов на катодной сторонах клеточной мембраны, а знак (-) – концентрации анионов на катодной и катионов на анодной сторонах клеточной мембраны.

Основными активными ионами при обработке ОДГС являются ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , которые создают на поверхности мембраны клетки группы кислых или основных зарядов. Суммарная плотность электрического заряда на поверхности

$$\rho_n = \frac{\rho_n C_n^2 + K_a(\rho_n - \rho_a) C_{n^+} - \frac{K_w K_a}{K_b} \rho_a}{C_n^2 + \left(\frac{K_w}{K_b} + K_a\right) C_{n^+} + \frac{K_w K_a}{K_b}}, \quad \text{мембраны клетки} \quad (3)$$

где  $\rho_a, \rho_b$  – плотность поверхностного заряда кислотных и основных групп соответственно;  $C_n$  – концентрация ионов  $H^+$ ;  $K_a, K_b, K_w$  – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды соответственно.

Поверхностный заряд влияет на ряд свойств живых и неживых клеток. Для первых это диффузия ионов из питательной среды в клетку и обратно, для вторых – физическое взаимодействие с макрочастицами окружающей среды, например коагуляция, фильтрация, дегазация и другое.

В большинстве случаев максимальный технологический эффект достигается при плотности заряда на поверхности мембраны клетки равной нулю. Этому условию соответствует некоторая концентрация ионов в дисперсной среде, ее  $pH_{opt}$  и количество электричества  $Q_{opt}$ , протекающего через среду, которые можно назвать оптимальными:

$$pH_{opt} = -\lg K_a - \lg \left[ \frac{\rho_a - \rho_b}{2\rho_a} + \sqrt{\frac{(\rho_a - \rho_b)^2}{4\rho_a^2} + \frac{K_w \rho_a}{K_a K_b \rho_a}} \right]; \quad (4)$$

$$Q_{opt} = \frac{\left( \sqrt{\frac{K_a K_w}{K_b}} (\pm) C_n^{\Lambda_0(K_a)} \right) E \tau}{\int_0^{\tau} n_{kr}(a) dt}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время обработки;  $n_{kr}(a_j)$  – число переноса ионов в катодной и анодной зонах.

Из приведенных зависимостей видно, что электрохимическим регулированием концентрации ионов путем дозированного пропускания электричества через среду можно изменять ее свойства. Проведенная в БГАТУ и других учреждениях экспериментальная проверка показала, что электрохимическая обработка повышает усвояемость фуражного зерна до 85...87%; выделение белков из картофельного сока до 93...98%, а из молочной сыворотки до 65...80%; продуктивность кормовых дрожжей на 24...29% при снижении энергетических затрат на обработку в 1,3...1,5 раза.

Таким образом, электрохимическое изменение свойств материалов растительного и животного происхождения является новым эффективным направлением использования электрической энергии в технологических процессах.

# 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, комплекс витаминов, 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