

заряды, уменьшающие электролитический потенциал белковых молекул до нуля. Белки переходя в изоэлектрическое состояние коагулируют. При этом выход белка увеличивается на 15...20 %, энергоемкость снижается в 3...4 раза.

## **ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ**

Заяц А.Е. (БГАТУ) г. Минск

Одним из перспективных источников сырья для получения биосинтетического белка, используемого на корм сельскохозяйственным животным, птице, может служить растительная масса, отходы крахмалопаточных, сахарных и спиртовых заводов.

Проблема производства кормовых дрожжей на растительном сырье состоит в неполном использовании питательного потенциала исходного сырья и биологического потенциала микроорганизмов. Одним из направлений решения этой проблемы является обработка питательной среды и микроорганизмов, расположенных между электродами, разделенными ионопроницаемой мембраной, электрическим током. Протекание постоянного электрического тока изменяет ионный состав и температуру среды в катодной и анодной областях электроореактора и тем самым активизирует или подавляет развитие микроорганизмов. Концептуально механизм электроактивации, по нашему мнению, можно предположить следующим.

Известно, что кинетика роста биомассы дрожжей зависит от ряда факторов, важнейшим из которых является диффузия ионов питательных веществ через поры мембраны клетки. Диффузия зависит от потенциала на входе в пору мембраны, а точнее от концентрации зарядов на поверхности мембраны и в среде, окружающей клетку. Концентрация ионов в среде может быть изменена различными способами, в том числе и путем пропускания электрического тока. Следовательно, дозируя количество электричества, протекающего через среду с микроорганизмами и разделяя ионы по знаку заряда можно влиять на диффузию питательных веществ в клетку и на ее развитие. Кроме того, электрический ток влияет на химический состав среды, изменяет ее температуру. В свою очередь сила электрического тока, сама зависит от электро- и теплофизических параметров среды.

Кинетика роста биомассы дрожжей в зависимости от потенциала на входе в пору клетки можно представить в следующем виде

$$\frac{K_s Y + S_0 Y + m_0}{Y S_0 + m_0} \ln \left( \frac{m \exp \left( -\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right)}{Y_0} \right) - \frac{K_s Y}{Y S_0 + m_0} \ln \left( \frac{Y S_0 + m_0 - m \exp \left( -\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right)}{Y S_0} \right) = \mu_m \tau, \quad \text{где}$$

$m$  – концентрация клеточной массы в единице объема среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m_0, S_0$  – начальная концентрация клеточной массы и субстрата в среде,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $K_s$  – субстратная константа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Y, e$  – коэффициенты;  $\varphi_n$  – потенциал на входе в пору мембраны клетки, В;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $T$  – температура, К.

$$Y = \frac{m \exp \left( -\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right) - m_0}{S_0 - S_0 \exp(-\mu_m \tau)},$$

где  $\mu_m$  – удельная скорость роста микроорганизмов,  $1/\text{с}$ ;  $\tau$  – время обработки, с.

Потенциал на входе в пору мембраны клетки

$$\varphi_n = \frac{\rho_n R_q}{2\epsilon_c} \ln \left( \frac{h + \sqrt{R_q^2 + h^2}}{R_q} \right),$$

где  $\rho_n$  – суммарная плотность поверхностного заряда клетки,  $\text{Кл}/\text{м}^2$ ;  $R_q$  – радиус поры мембраны клетки, м;  $h$  – толщина стенки мембраны клетки, м;  $\epsilon_c$  – диэлектрическая проницаемость цитоплазмы клетки,  $\Phi \cdot \text{м}^{-1}$ .

Суммарная плотность поверхностного заряда клетки

$$\rho_n = \frac{\rho_b C_{H^+}^2 + K_w (\rho_b - \rho_a) C_{H^+} - \frac{K_w K_a}{K_b} \rho_a}{C_{H^+}^2 + \left( \frac{K_w}{K_b} + K_w \right) C_{H^+} + \frac{K_w K_a}{K_b}},$$

где  $\rho_a, \rho_b$  – плотность поверхностного заряда кислотных и основных групп соответственно,  $\text{Кл} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $C_{H^+}$  – концентрация ионов  $H^+$ ,  $\text{моль} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $K_a, K_b, K_w$  – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды, соответственно

Концентрация ионов, а следовательно и плотность заряда зависят от количества электричества:

$$dC_{k_i(a_j)}^{A(K)} = \frac{1}{F} \int_0^{Q_r^{A(K)}} n_{k_i(a_j)}(\tau) dQ_r^{A(K)},$$

где  $n_{k_i(a_j)}(\tau)$  – мгновенное число переноса  $i$ -го катиона ( $j$ -го аниона) в момент времени  $d\tau$ ;  $Q_\tau^{A(K)}$  – удельное количество электричества, протекающее через анодную и катодную зоны, Кл/м<sup>3</sup>.

Удельное количество электричества зависит от проводимости среды и напряженности электрического поля:

$$Q_\tau^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^{A(K)}} = \frac{\gamma^{a(k)} E_{A(K)} \tau}{l_{a(k)}},$$

где  $E_{A(K)}$  – напряженность электрического поля в анодной (катодной) зоне, В/м;  $I(\tau)$  – мгновенная сила тока, протекающего через среду в момент времени  $d\tau$ ;  $A$ ;  $V_p^{A(K)}$  – объем обрабатываемой среды в анодной (катодной) зоне, м<sup>3</sup>;  $l_a, l_k$  – толщина слоя среды соответственно в анодной и катодной зонах, м.

Средняя напряженность электрического поля в катодной, анодной зоне и на мембране

$$E_k = \frac{U}{\gamma^k \left( \frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)}; E_A = \frac{U}{\gamma^a \left( \frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)}; E_M = \frac{U}{\gamma^m \left( \frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)},$$

где  $U$  – разность потенциалов между токоподводящими электродами, В.

Среднее значение удельной электрической проводимости среды в катодной, анодной зоне и в мембране

$$\gamma^k(\tau) = \left\{ \gamma_0^k + A_1 [T^k(\tau) - 293] \right\} \frac{C_{H^+}^k(\tau)}{C_{H^+}^{k_0}}; \quad \gamma^a(\tau) = \left\{ \gamma_0^a + A_2 [T^a(\tau) - 293] \right\} \frac{C_{OH^-}^a(\tau)}{C_{OH^-}^{a_0}};$$

$$\gamma^m(\tau) = \gamma_0^m + A_m [T^m(\tau) - 293].$$

где  $\gamma_0^a, \gamma_0^k, \gamma_0^m$  – эквивалентная удельная электрическая проводимость среды соответственно в анодной, катодной зоне и мембране при температуре 293 К, См/м;  $T^A(\tau), T^K(\tau), T^M(\tau)$  – текущая температура среды в анодной, катодной зоне и мембране, К;  $A_1, A_2, A_m$  – температурный коэффициент проводимости среды в катодной, анодной зоне и мембране, См/(м·К).

В совокупности выше приведенные уравнения представляют собой математическую модель роста биомассы. Адекватность математической модели экспериментальным данным проверена методом наименьших квадратов.

Расхождение между расчетными и экспериментальными результатами не превышает 5% (рис.1).

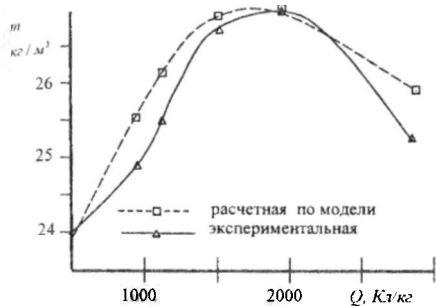


Рисунок 1- Зависимость роста биомассы кормовых дрожжей от количества электричества

микробиологических процессов.

Электроактиватор микробиологических процессов (ЭМБП) содержит электрореактор 1 и устройство питания и регулирования (УПР) 2 (рис.2).

БУР осуществляет изменение и контроль количества электричества, протекающего через среду и продолжительности обработки.

БРТ поддерживает значение температуры в требуемом диапазоне и не допускает перегрева более 35°C.

БА обеспечивает аэрацию среды.

ИП служит для изменения и контроля напряженности электрического поля и плотности тока в среде.

Результаты лабораторных и заводских испытаний подтверждают влияние электрообработки на развитие дрожжевых грибов. Можно утверждать с высокой достоверностью, что электроактивация *Trichosporon cutaneum*

Таким образом, модель электролитической активации продуцентов кормовых дрожжей с достаточной достоверностью описывает механизм влияния электрического тока на рост дрожжевого гриба. Математическим моделированием получены технологические параметры активации кормовых дрожжей и создан электроактиватор

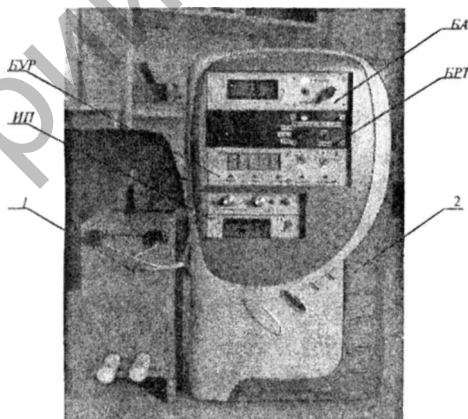


Рисунок 2. Общий вид электро-активатора роста биомассы дрожжей.

1 – электрореактор; 2 – устройство питания и регулирования; ИП- источник питания; БУР- блок управления режимом обработки; БА- блок аэрации; БРТ- блок регулирования температуры

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**

Зяц 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