Карев В. И., Юрина О. А.

К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА НА ОСНОВЕ МЕЛАССНОЙ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Иванова О. О.

ТГТУ, Кафедра «Технологическое оборудование и пищевые технологии»

Интерес к использованию биогаза, как одного из перспективных альтернативных источников энергии, в последние годы не только не убывает, но и продолжает возрастать. Направления использования биогаза обширны – от непосредственного сжигания в тепловых установках различной производительности до совместной выработки тепловой и электрической энергии или подпитки биогазом сетей природного газа. [4] В связи с этим работы по исследованию процесса образования, разработке решений по утилизации биогаза чрезвычайно важны.

Исследование процессов образования биогаза требует проведения многочисленных экспериментов, что в свою очередь требует больших материальных затрат и времени. В данной области удобным способом исследования является математическое моделирование.

Модель кинетики процесса ферментации должна отражать закономерности изменения скорости роста микроорганизмов и биосинтеза целевого продукта метаболизма в зависимости от текущих концентраций субстрата, биомассы, продуктов метаболизма, температуры и pH.[3]

В общем виде модель можно представить как систему из n дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dc_1}{dt} = f(c_1 ... c_2) \\ .... \\ \dfrac{dc_n}{dt} = f(c_1 ... c_n) \end{cases}$$

где $c_1(t),\dots,c_n(t)$ – неизвестные функции времени, описывающие переменные системы (например концентрации веществ); $\dfrac{dc_i}{dt}$ – скорости изменения этих переменных; f – функция, зависящая от внешних и внутренних параметров системы. [1] Наиболее часто в качестве такой функции используется удельная скорость роста микроорганизмов. [5]

Из всего вышесказанного следует, что построение модели можно свести к определению зависимости скорости роста микроорганизмов от внешних и внутренних параметров системы.

В силу сложности процессов в экологической системе необходимо выделить главные факторы, взаимодействие которых качественно определяет судьбу системы. Фактически все модели, включающие описание роста популяций или сообществ, основываются либо на "принципе лимитирующих факторов" либо на "законе совокупного действия факторов". Наиболее часто в качестве лимитирующего фактора выбирается концентрация субстрата. [5]

Из всех субстратзависимых моделей наиболее часто используется модель Моно:

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_S + S}$$

Согласно этой модели скорость роста растет пропорционально концентрации субстрата, а при избытке субстрата выходит на постоянную величину (рис. 1), однако довольно часто повышенные концентрации субстрата оказывают ингибирующее действие [2].

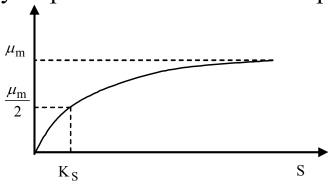

Рис.1. Зависимость удельной скорости роста от концентрации субстрата по модели Моно

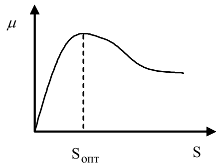

Рис.2. Зависимость $\mu(S)$ с ингибированием повышенными концентрациями субстрата по модели Андрюса

Ингибирование повышенными концентрациями субстрата учитывает модель Андрюса:

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_S + S + S^2 / K_i}$$

Это уравнение отличается от уравнения Моно наличием в знаменателе квадратичного члена S^2 с новым кинетическим параметром K_i.

Из рис. 2 видно, что зависимость $\mu(S)$ по Андрюсу имеет явный экстремум. Следует отметить, что ингибирующее действие может оказывать так же продукт метаболизма. Зависимость удельной скорости роста от концентрации продуктов метаболизма описывается уравнением Иерусалимского:

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot P}{K_p + P},$$

где K_p – константа ингибирования.

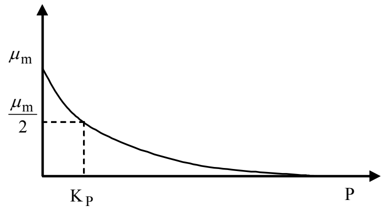

Рис.3. Зависимость $\mu(P)$ по модели Иерусалимского

До сих пор рассматривались кинетические уравнения, в которых на скорость роста влиял только один фактор, но в реальности часто на процесс влияет не один, а несколько факторов. Чаще всего приходится учитывать влияние нескольких субстратов.

Такие уравнения бывают четырех основных типов:

1. Мультипликативные уравнения.
2. Аддитивные уравнения.
3. Альтернативные уравнения.
4. Уравнения с неразделяющимися переменными.

Из перечисленного наиболее часто встречающимися являются мультипликативные уравнения.

Мультипликативные уравнения – функция является произведением однофакторных зависимостей:

$$\mu = f_1(S_1) \cdot \ldots \cdot f_n(S_n)$$

Здесь каждый фактор автономен и может иметь свою собственную зависимость. Например, один субстрат имеет зависимость по Моно, а второй - с ингибированием по Андрюсу:

$$\mu = \mu_m \frac{S_1}{K_{S_1} + S_1} \frac{\cdot S_2}{K_{S_2} + S_2 + S_2^2 / K_i}$$

Однако едва ли не чаще встречаются неоднородные многофакторные уравнения, в которых участвуют субстрат и продукт.

Среди них наиболее распространено уравнение Моно-Иерусалимского:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_S + S} \cdot \frac{P}{1 + P/K_P}$$

Все рассмотренные ранее зависимости, касались собственно роста популяции микроорганизмов. Реально же наряду с ростом популяции происходит и её отмирание (диссимиляция):

$$\mu = \mu_{\text{роста}} - \mu_{\text{дис}}$$

Связь между удельной скоростью диссимиляции и концентрацией субстрата описывает уравнение Колпикова:

$$\tilde{\mu} = \tilde{\mu}_m \frac{1}{1 + S / K_d},$$

где $\tilde{\mu}_m$ - максимальная удельная скорость диссимиляции при нулевой концентрации субстрата; K_d – константа субстратного ингибирования процесса диссимиляции.[3]

Все вышеописанные модели были использованы при составлении общей модели процесса образования биогаза на основе мелассной послеспиртовой барды.

Список литературы

1. Рубин А.Б. Биофизика. www.library.biophys.msu.ru/rubin/
2. Баснакьян И.А., Бирюков В.В., Крылов Ю.М. Математическое описание основных кинетических закономерностей процесса культивирования микроорганизмов // В кн.: Итоги науки и техники. Микробиология. Т. 5. Управляемое и непрерывное культивирование микроорганизмов.– М. – 1976.– с. 5-75.
3. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: Колосс, 2004. – 296 с.
4. www.esco-ecosys.narod.ru
5. www.dmb.biophys.msu.ru