

Стехиометрия процессов культивирования микроорганизмов

План

1. Основные принципы стехиометрии
2. Вывод «формулы» биомассы микроорганизмов
3. Расчет выхода биомассы на углеродный субстрат
4. Определение стехиометрических соотношений в реальных процессах ферментации

1.

Основные принципы стехиометрии

- В химических процессах:



Подбор стехиометрических коэффициентов в уравнении (n_A , n_B , n_C , n_D) осуществляем на основании **закона сохранения материи**

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:



Общее количество элементов, включенное в структуры клетки, равно количеству, взятому клеткой из питательной среды

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:

Субстраты

Продукты

n_C [углеродный субстрат]

n_N [азотный субстрат]

n_P [фосфорный субстрат]

n_{O₂} [O₂]

....

n_X [биомасса]

=

n_{CO₂} [CO₂]

n_{H₂O} [H₂O]

...

(n_{X+1}) [биомасса]

n_P [продукт
метаболизма]

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:

Субстраты

Продукты

n_C [углеродный субстрат]

n_N [азотный субстрат]

n_P [фосфорный субстрат]

n_{O₂} [O₂]

....

n_{CO₂} [CO₂]

n_{H₂O} [H₂O]

...

=

n_X [биомасса]

n_P [продукт
метаболизма]

2. Вывод «формулы» биомассы

■ Каков элементный состав биомассы?

Таблица 1 – Элементный состав биомассы микроорганизмов (по данным элементного анализа)

Тип микроорганизмов	Элементный состав, %						
	С	Н	О	N	P	S	Зола
Дрожжи	47,0	6,5	30,0	7,5	1,5	1,0	6,5
Бактерии	53,0	7,0	20,0	12,0	3,0	1,0	4,0
«Усредненный»	50,0	8,0	20,0	14,0	3,0	1,0	4,0

2.

Вывод «формулы» биомассы

Таблица 2 – Расчет числа грамм-атомов элементов в 100 г сухой биомассы

Тип микроорганизмов	Элементный состав, %					
	C/12	H/1	O/16	N/14	P/31	S/32
Дрожжи	3,92	6,5	1,88	0,54	0,05	0,03
Бактерии	4,42	7,0	1,25	0,86	0,1	0,03
«Усредненный»	4,17	8,0	1,25	1,0	0,1	0,03

«Формула»

дрожжи

C_{3,92} H_{6,5} O_{1,88} N_{0,54} P_{0,05} S_{0,03}

бактерии

C_{4,42} H_{7,0} O_{1,25} N_{0,86} P_{0,1} S_{0,03}

«усредненная» биомасса

C_{4,17} H_{8,0} O_{1,25} N_{1,0} P_{0,1} S_{0,03}

2.

Вывод «формулы» биомассы

С-моль - условный моль, приведенный к одному атому углерода

	«Формула»	С-моль
дрожжи	C_{3,92} H_{6,5} O_{1,88} N_{0,54} P_{0,05} S_{0,03}	CH_{1,66} O_{0,48} N_{0,14}
бактерии	C_{4,42} H_{7,0} O_{1,25} N_{0,86} P_{0,1} S_{0,03}	CH_{1,58} O_{0,28} N_{0,19}
«усредненная» биомасса	C_{4,17} H_{8,0} O_{1,25} N_{1,0} P_{0,1} S_{0,03}	CH_{1,92} O_{0,3} N_{0,24}

**Формула Стоутхаммера
С-моля биомассы**



Молекулярная масса С-моля:

$$M_r = 1 \cdot 12 + 1,8 \cdot 1 + 0,5 \cdot 16 + 0,2 \cdot 14 = 24,6$$

**С этого момента забудем о существующих мелких различиях в
составах биомассы микроорганизмов!**

3.

Расчет выхода биомассы на углеродный субстрат

- Таблица 2 – Расчет стехиометрического выхода биомассы для различных субстратов

Субстрат	Химическая формула	Молекулярная масса субстрата	Молекулярная масса С-моля субстрата	Стехиометрический выход биомассы	Фактически измеренный выход биомассы, г/г
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	180	30	0,82	0,5
Крахмал	$(C_6H_{12}O_6)_n$	180n	30	0,82	0,5
Целлюлоза	$(C_6H_{12}O_6)_n$	180n	30	0,82	0,5
Этанол	C_2H_5OH	46	23	1,07	0,75
Метанол	CH_3OH	32	32	0,77	0,5
Парафины (н-алканы)	$(CH_2)_nH_2$	$14n + 2$	~ 14	$\sim 1,76$	1,0
Метан	CH_4	16	16	1,54	0,62

4.

Определение стехиометрических соотношений в реальных процессах ферментации

Проблемы расчета реальных процессов ферментации:

- затраты субстратов на поддержание жизнедеятельности микроорганизмов (непроизводительные затраты)
- фактический выход сильно зависит от условий и скорости роста биомассы
- одновременно протекающие процессы катаболизма и анаболизма

Стехиометрические коэффициенты определяются из экспериментальных данных по потреблению субстрата и образованию продуктов биохимического взаимодействия

4.

Материальный баланс стадии ферментации

$$m_{\text{ст.ПС}} + m_{\text{пос.мат.}} + m_{\text{O}_2\text{потр.}} \pm m_{\text{вл.возд.}} + (m_{\text{долив.}}) + m_{\text{ст.пеног.}} = m_{\text{к.ж.}} + m_{\text{CO}_2} + m_{\text{брызг.}} + (m_{\text{отлив.}})$$

$m_{\text{ст.ПС}}$ - масса стерильной питательной среды, кг

$m_{\text{пос.мат.}}$ - масса посевного материала, кг

$m_{\text{O}_2\text{потр.}}$ - масса кислорода, потребленного из воздуха в процессе ферментации, кг

$m_{\text{вл.возд.}}$ - масса влаги, принесенной (унесенной) из ферментатора, кг

$m_{\text{долив.}}/m_{\text{отлив.}}$ - масса доливов (отливов), если предусмотрены технологией, кг

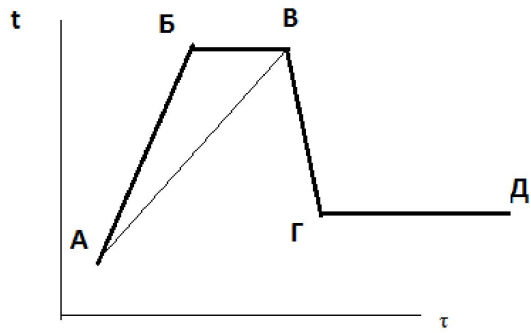
$m_{\text{ст.пеног.}}$ - масса стерильного пеногасителя, кг

$m_{\text{к.ж.}}$ - масса культуральной жидкости, кг

m_{CO_2} - масса CO₂, выделившегося в процессе ферментации, кг

$m_{\text{брызг.}}$ - масса жидкости, унесенной из ферментатора в виде брызг, кг

4.



Тепловой баланс ферментатора (на режиме ГД)

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

Q_1 - тепло, поступающее с исходными компонентами (питательная среда, посевной материал, воздух на стерилизацию), кДж

Q_2 - тепло, поступающее с теплоносителем, кДж

Q_3 - тепловой эффект биосинтеза, кДж

Q_4 - тепловой эффект перемешивания, кДж

Q_5 - тепло, уходящее с культуральной жидкостью, кДж

Q_6 - тепло, уходящее с отработанным воздухом, кДж

Q_7 - тепло, на нагрев (охлаждение) аппарата, кДж

Q_8 - тепло, затраченное на испарение влаги из воздуха, кДж

Q_9 - потери тепла в окружающую среду, кДж

4.

Тепловой эффект биосинтеза (жизнедеятельности микроорганизмов)

- $Q_3 = Q_{ж} = Q_{M_0} + Q_S - Q_M - Q_P$

Q_{M_0} – тепло, вносимое посевным материалом, кДж

Q_S – тепло, вносимое с компонентами питательной среды, кДж

Q_M – тепло, уходящее с мицелием, кДж

Q_P – тепло уходящее с продуктами биосинтеза, кДж

$$Q = m_i \cdot q_{сг.i}$$

находим либо считаем

4.

Тепловой эффект перемешивания

- $Q_4 = N \cdot \tau_{\text{пер.}} \cdot 3600$

N – мощность, затрачиваемая на перемешивание
(мощность электродвигателя), Вт

τ – время перемешивания, ч