

Оценка значения максимального выхода биомассы при росте клеток на нафталине как источнике вещества и энергии

Минкевич И.Г.

ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН;
г. Пушкино; minkevich@ibpm.pushchino.ru

Теоретическая оценка максимального выхода биомассы из заданного субстрата, основанная на данных о его метаболизме в клетках, представляет интерес как с точки зрения физиологии и биоэнергетики роста микробной популяции, так и в аспекте биотехнологических приложений. В случае нафталина основной интерес представляет процесс его биодegradации, в ходе которого клетки штамма-деструктора используют это вещество как субстрат для роста.

Выход биомассы зависит от удельной скорости роста следующим образом [1,2]:

$Y_{X/S} = Y_{X/S}^{\max} \mu / (m_s Y_{X/S}^{\max} + \mu)$, где $Y_{X/S}$ — выход биомассы из субстрата, г/г, μ — удельная скорость роста биомассы, $Y_{X/S}^{\max}$ — максимальный выход биомассы, m_s — удельная скорость расхода субстрата на поддержание клеток. При скорости роста, значительно превышающей m_s , значение $Y_{X/S}$ приближается к $Y_{X/S}^{\max}$.

Метод теоретической оценки значения $Y_{X/S}^{\max}$ описан в работе [3]. Используются уравнения материально-энергетического баланса метаболизма и разработанный в ИБФМ пакет компьютерных программ GenMetPath (генератор метаболических путей) [3]. В данной работе этот метод применен к клеткам, метаболизирующим нафталин. Варианты метаболических путей представлены в таблице в виде значений потоков через реакции переднего обмена. Передним обменом названа совокупность биохимических реакций, преобразующих субстрат в набор узловых метаболитов — глюкоза, ацетил-КоА, α -кетоглутарат, эритрозо-4-фосфат, оксалоацетат, рибозо-5-фосфат, 3-фосфоглицерат, фосфоенолпируват, пируват [3]. Последние преобразуются в вещество биомассы в ходе стандартного конструктивного обмена, обладающего практически постоянными стехиометрическими и биоэнергетическими характеристиками [3]. Потоки, представленные в таблице, даны в условных единицах. Эти значения соответствуют потокам в ммоль/ч, если объемная скорость роста биомассы равна 3,82 г/ч. Для других скоростей роста эти потоки могут быть пропорционально пересчитаны.

Реальное значение выхода, $Y_{X/S}$, зависит от того, насколько велика скорость затрат субстрата на поддержание клеток, m_s , по сравнению с реально достижимой скоростью роста. При $\mu = m_s Y_{X/S}^{\max}$ имеет место следующее соотношение: $Y_{X/S} = 0.5 Y_{X/S}^{\max}$

Максимальный выход биомассы из нафталина, г/г	0.755	0.776	0.80	0.83
Реакции и потоки через них ↓				
Salicylaldehyde dehydrogenase	39.55	38.45	37.35	35.9
cis-1,2-dihydro-1,2-dihydroxynaphthalene dehydrogenase	39.55	38.45	37.35	35.9
Catechol 2,3-dioxygenase	39.55	38.45	37.35	35.9
1,2-dihydroxynaphthalene dioxygenase	39.55	38.45	37.35	35.9
Naphthalene 1,2-dioxygenase	39.55	38.45	37.35	35.9
Salicylate 1-monooxygenase	39.55	38.45	37.35	35.9
2-hydroxymuconate-semialdehyde hydrolase	-39.55	-38.45	0	-35.9
trans-o-hydroxybenzylidenepyruvate hydratase-aldolase	-39.55	-38.45	-37.35	-35.9
4-hydroxy-2-oxovalerate aldolase	39.55	38.45	37.35	35.9
2-oxopent-4-enoate hydratase	39.55	38.45	37.35	35.9

2-hydroxychromene-2-carboxylate isomerase	-39.55	-38.45	-37.35	-35.9
2-hydroxymuconate semialdehyde dehydrogenase	0	0	37.35	0
gamma-oxalocrotonate isomerase	0	0	37.35	0
gamma-oxalocrotonate decarboxylase	0	0	37.35	0
Formate dehydrogenase-N	39.55	38.45	0	35.9
NAD(P)+transhydrogenase (AB-specific)	-281.25	-196.2	-183	60
Glucose-6-phosphate isomerase	-172.63	-130.1	-123.5	-2
Fructose biphosphate aldolase	-61.48	-47.3	-45.1	-4.6
Triosephosphate isomerase	-61.48	-47.3	-45.1	-4.6
Glyceraldehyde phosphate dehydrogenase	-68.88	-54.7	-52.5	-12
Phosphoglycerate kinase	68.88	54.7	52.5	12
Phosphoglycerate mutase	-73.68	-59.5	-57.3	-16.8
Enolase	-73.68	-59.5	-57.3	-16.8
Pyruvate kinase	0	0	0	-28.5
Pyruvate decarboxylase	0	0	0	95.5
Pyruvate dehydrogenase complex	0	0	0	0
Pyruvate carboxylase	74.3	72.1	69.9	0
Citrate synthase	14.98	25.85	24.75	60.9
Aconitase (step 1)	14.98	25.85	24.75	60.9
Aconitase (step 2)	14.98	25.85	24.75	60.9
Isocitrate dehydrogenase (step 1)	3	25.85	24.75	3
Isocitrate dehydrogenase (step 2)	3	25.85	24.75	3
Oxoglutarate dehydrogenase	0	22.85	21.75	0
Succinate dehydrogenase	11.98	22.85	21.75	57.9
Fumarase (fumarate hydratase)	11.98	22.85	21.75	57.9
Malate dehydrogenase	23.95	22.85	21.75	115.8
Acetaldehyde dehydrogenase	39.55	38.45	37.35	131.4
Isocitrate lyase	11.98	0	0	57.9
Malate synthase	11.98	0	0	57.9
Phosphoenolpyruvate carboxykinase (ATP)	78.48	64.3	62.1	50.1
Glucose-6-phosphate dehydrogenase	170.63	128.1	121.5	0
6-phosphogluconolactonase	170.63	128.1	121.5	0
Phosphogluconate dehydrogenase (decarboxylating)	170.63	128.1	121.5	0
Ribose-5-phosphate isomerase	59.48	45.3	43.1	2.6
L-ribulose-5-phosphate 3-epimerase	111.15	82.8	78.4	-2.6
Transketolase (KEGG R01641)	57.08	42.9	40.7	0.2
Transaldolase (KEGG R08575)	57.08	42.9	40.7	0.2
Transketolase (KEGG R01067)	54.08	39.9	37.7	-2.8
Glucose 6-phosphatase	2	2	2	2
Succinyl-CoA malate CoA-transferase	0	22.85	21.75	0
Malate-CoA ligase	0	-22.85	-21.75	0
Formate dehydrogenase-N	39.55	38.45	0	35.9
Fructose 1,6-bisphosphatase	61.48	47.3	45.1	4.6
ETC (complex I)	278.88	251.5	273.45	178.2
ETC (remaining part)	330.4	312.8	295.2	272

Литература

1. Перт С. Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. М., «Мир», 1978.

2. Минкевич, И.Г. Материально-энергетический баланс и кинетика роста микроорганизмов. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2005. Москва-Ижевск. 351 с. ISBN 5-93972-504-X
3. Minkevich I. G. Estimation of maximal values of biomass growth yield based on the mass-energy balance of cell metabolism. // Computer Research and Modeling. — 2019. — Vol. 11. — No. 4. — P. 723–750.
http://crm.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2019_4/2019_04_11.pdf