

Разложение углеводородов микроорганизмами

Лекции по курсу «Физиология микроорганизмов». Лектор доцент Лысак В.В.



Углеводороды относят к группе химически стойких органических веществ.

Однако, несмотря на это, некоторые микроорганизмы способны использовать их как единственный органический субстрат.

Углеводороды входят в состав восков, смол, нефти, болотных газов, нефтяных попутных газов, природного газа и других органических веществ.

Широко распространены в природе насыщенные ациклические углеводороды – алканы (предельные углеводороды) и ароматические, или бензоидные углеводороды (арены).



Разложение алканов (парафинов) микроорганизмами

Газообразные алканы используются многими бактериями в качестве источника энергии. Бактерии, окисляющие метан называются метилотрофами. К окислению этана, пропана, бутана и углеводородов, содержащих до 8 атомов углерода, способно большее число видов бактерий, чем к окислению метана. Большинство видов бактерий, окисляющих эти углеводороды, принадлежат к родам *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* и *Nocardia*.

Многие виды бактерий способны использовать в качестве источника энергии алканы с более длинной углеродной цепью ($C_{10} - C_{18}$). Разложение таких длинноцепочечных алканов происходит, как правило, в аэробных условиях.

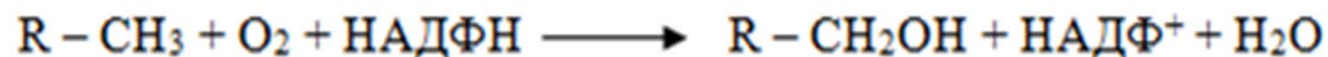


Аэробное разложение длинноцепочечных алканов осуществляют многие грамположительные бактерии с высоким содержанием ГЦ-пар в ДНК (представители родов *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Acinetobacter*), отдельные штаммы бактерий рода *Pseudomonas*, а также грибов из родов *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* и дрожжей из рода *Candida*.

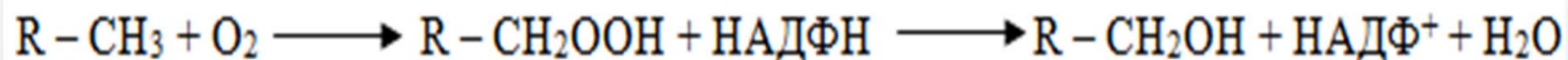
Для разложения этих алканов требуется их активация с помощью ферментов оксигеназ по одному из трех путей.



1. Наиболее распространен путь с участием монооксигеназы, окисляющей концевой атом n-алкана с образованием первичного спирта:



2. Диоксигеназы также атакуют концевой атом n-алкана с образованием гидропероксида, который далее восстанавливается до первичного спирта:



3. В редких случаях монооксигеназа осуществляет субтермальное окисление алкана, т. е. по C₂-атому с образованием вторичного спирта (R – СНОН – R').



Эти реакции гидроксилирования и последующие реакции окисления алканов происходят, как правило, в мембране.

Последующий метаболизм образовавшихся спиртов происходит различными путями.

Чаще всего первичные спирты окисляются до жирных кислот.

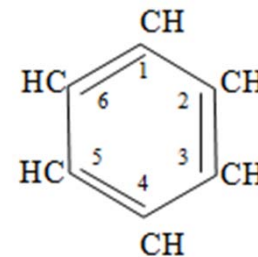
Вторичные спирты окисляются до кетонов, которые далее превращаются в ацетат и первичный спирт.

Спирт окисляется до жирной кислоты, которая претерпевает β -окисление с образованием ацетил-КоА, включающегося в ЦТК.

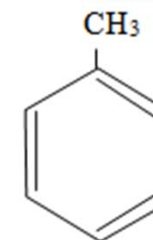


Разложение ароматических углеводородов (аренов) микроорганизмами

Ароматические углеводороды содержат в молекуле бензольное ароматическое кольцо C_6 . Примером простейшего ароматического углеводорода является бензол:

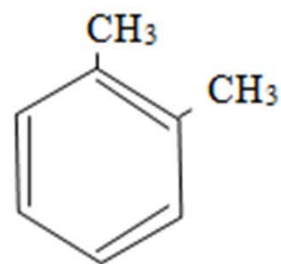


При замене атомов водорода в молекуле бензола получают его производные с одним заместителем, например:

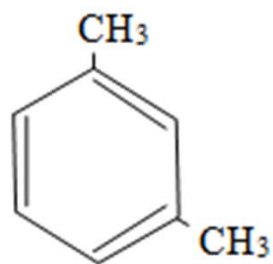


Толуол

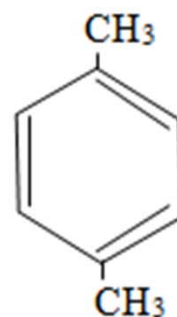
с двумя и более заместителями, например:



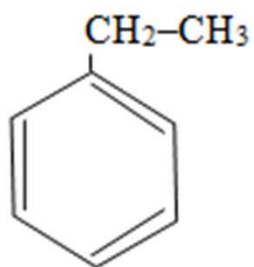
орто-Ксилол



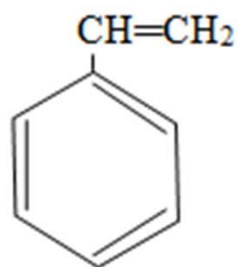
мета-Ксилол



пара-Ксилол



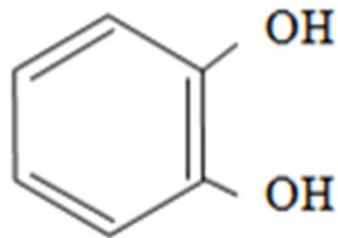
Этилбензол



Стирол

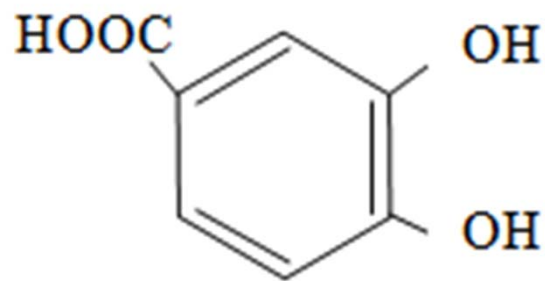
Большинство ароматических углеводородов расщепляется бактериями сначала до *катехола* или *прокатеховой кислоты*.

Как правило, ароматические углеводороды, имеющие заместители по первому и второму С-атомам (например, салициловая кислота) превращаются в катехол:



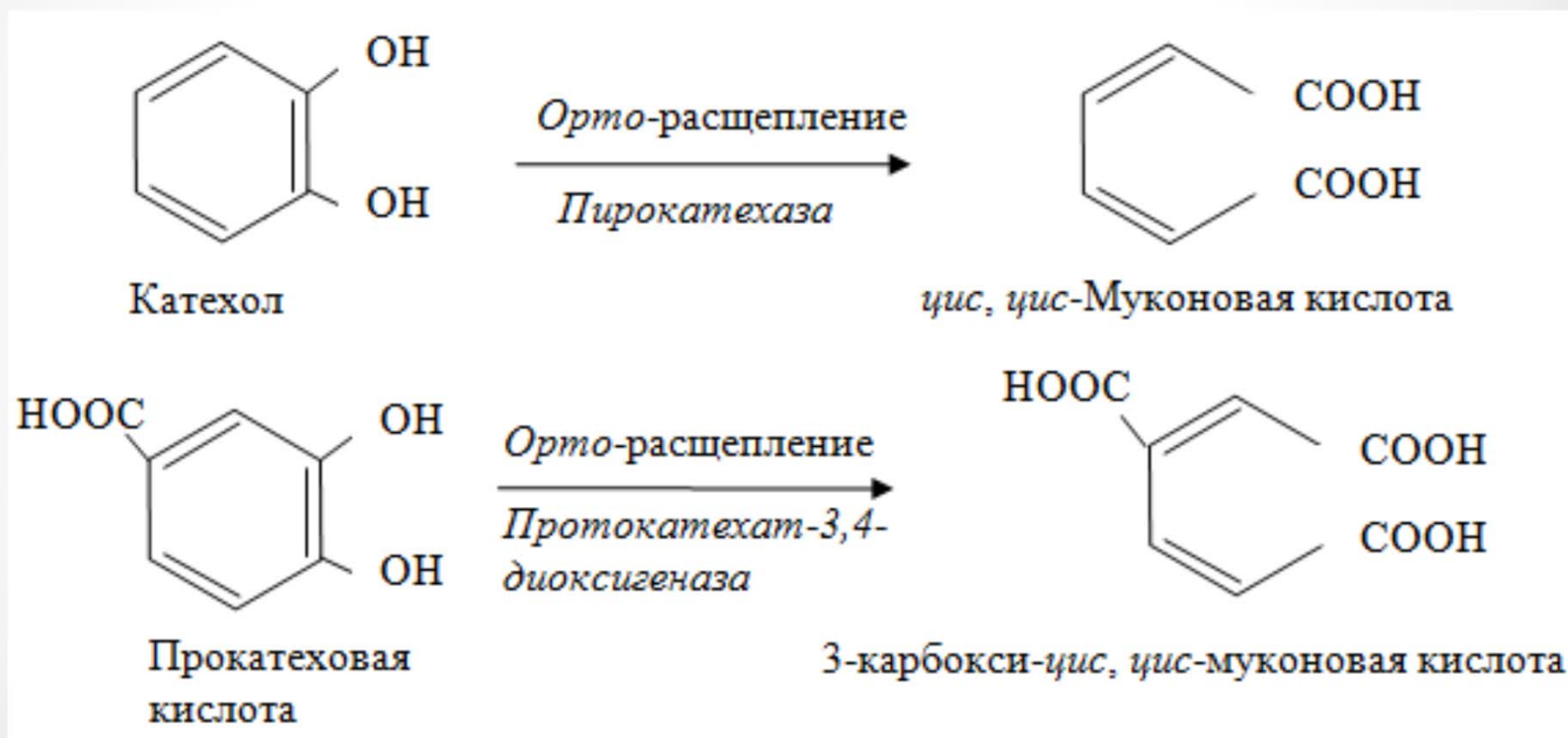
Многие незамещенные ароматические углеводороды (такие как бензол и нафталин) разлагаются через образование 1,2-дифенольных соединений также до катехола.

Ароматические углеводороды, несущие заместители в положении 1,3 или 1,4 (например, 3-гидроксибензоат и 4-гидроксибензоат), а также полузамещенные ароматические соединения метаболизируются через образование прокатеховой кислоты:



Следующим этапом расщепления ароматических углеводов является расщепление образованных молекул катехола и прокатеховой кислоты под действием диоксигеназ двух ТИПОВ.

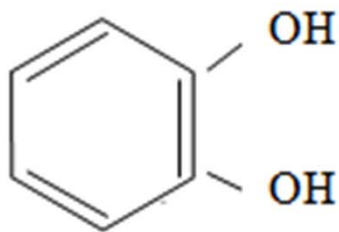
Одни диоксигеназы разрывают ароматическое кольцо между двумя гидроксильными атомами углерода (*орто*-расщепление):



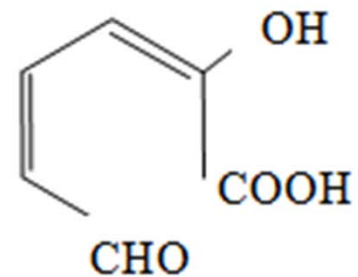
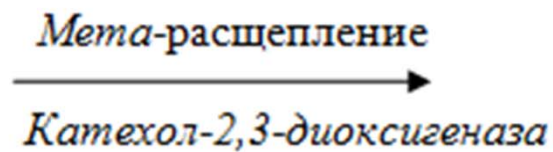
Далее образовавшиеся при *орто*-расщеплении катехола и прокатеховой кислоты промежуточные продукты – *цис*, *цис*-муконовая кислота и 3-карбокси-*цис*, *цис*-муконовая кислота – в ходе дальнейшего катаболизма проходят через этап общего для них обоих продукта – 3-оксоадипиновой кислоты. Последняя активируется КоА-трансферазой и расщепляется с образованием сукцинил-КоА и ацетил-КоА, которые подвергаются дальнейшим превращениям в ходе промежуточного метаболизма.

В более редких случаях диоксигеназы (второго типа) расщепляют ароматическое кольцо не между гидроксильрованными атомами углерода (как при *орто*-расщеплении), а между гидроксильрованным и негидроксильрованным атомами углерода (*мета*-расщепление):

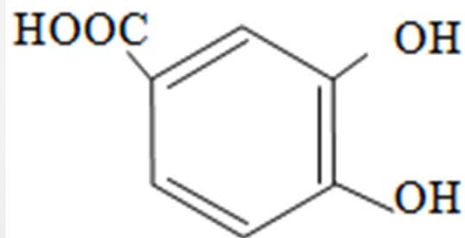




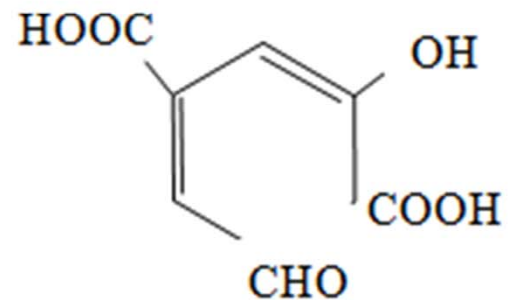
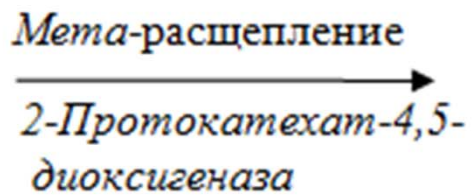
Катехол



Полуальдегид 2-гидроксимуконной кислоты



Прокатеховая кислота



Полуальдегид 2-гидрокси-4-карбоксимуконной кислоты

Образованные полуальдегиды затем превращаются в пируват, ацетальдегид, оксалоацетат, фумарат, ацетоацетат, сукцинат или иные вещества, вовлекаемые в промежуточный метаболизм.

Микроорганизмы, способные окислять углеводороды, широко распространены в почвах и водах.

Они приобрели большое практическое значение, в первую очередь, для биологической очистки почв и водоемов от загрязнений нефтью и продуктами ее переработки.



Утилизировать нефть и продукты ее переработки в качестве источников углерода и энергии способны представители родов *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, *Flavobacterium*, *Caulobacter* и др.

С участием микроорганизмов осуществляется восстановление исходного статуса (биоремедиация) загрязненных территорий.

Выращивая на нефтяных отходах дрожжи рода *Candida*, получают из непищевого сырья дешевый белково-витаминный концентрат для подкормки сельскохозяйственных животных.

