

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

Кафедра химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Обмен липидов**

1. Сущность обмена липидов

Липиды – это группа соединений, нерастворимых в воде, но растворимых в органических растворителях.

Липиды – неоднородная в химическом отношении группа веществ биологического происхождения, общим свойством которых является гидрофобность и способность растворяться в неполярных органических растворителях. Существует несколько классификаций липидов: физико-химическая, биологическая или физиологическая и структурная. Наиболее сложной является структурная классификация, основанная на структурных особенностях этих соединений. Согласно этой классификации, все липиды делятся на омыляемые и неомыляемые. К омыляемым относят те соединения, которые при щелочном гидролизе образуют соли жирных кислот (мыла), неомыляемые же липиды щелочному гидролизу не подвергаются.

Липиды делят на две группы: неомыляемые (не содержат жирных кислот) и омыляемые. К неомыляемым относятся стероиды, каротиноиды и терпеноиды. Омыляемые липиды делятся на простые и сложные. К простым относятся жиры – триацилглицерины (резерв энергии) и воски – эфиры одноатомного спирта с жирной кислотой. Сложные липиды делят на фосфолипиды и гликолипиды. Жирные кислоты могут быть насыщенными и ненасыщенными (рис. 1).



Рис. 1. Классификация липидов.

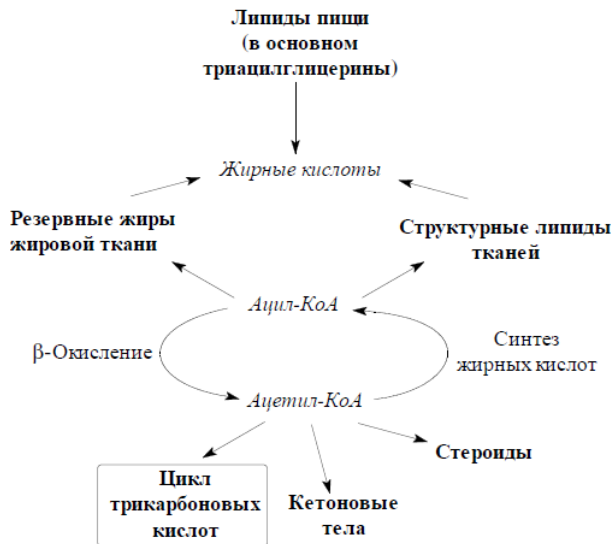
Разделение липидов по физико-химическим свойствам учитывает степень их полярности. По этому признаку липиды делятся на нейтральные или неполярные (не имеющие заряда), и полярные (не-

сущие заряд), например, фосфолипиды и жирные кислоты. По физиологическому значению липиды делятся на резервные и структурные. Резервные липиды депонируются в больших количествах и затем расходуются для энергетических нужд организма. К резервным липидам относятся триацилглицеролы (ТАГ). Все остальные липиды можно отнести к структурным. Они не имеют особой энергетической ценности, но участвуют в построении биологических мембран и защитных покровов.

Характерным структурным компонентом большинства липидов являются жирные кислоты. Это длинноцепочечные органические кислоты, состоящие из 4–24 углеродных атомов и содержащие одну карбоксильную группу и длинный неполярный углеводородный «хвост». В составе ТАГ жирные кислоты выполняют функцию депонирования энергии. В составе фосфолипидов и сфинголипидов жирные кислоты образуют внутренний гидрофобный слой мембран, определяя его свойства. В клетках и тканях жирные кислоты встречаются в ковалентно связанной форме в составе липидов различных классов. В свободном состоянии жирные кислоты в организме содержатся в небольшом количестве, например в крови, где они транспортируются в комплексе с белком альбумином. Большинство жирных кислот образуется в организме человека, однако линолевая и линоленовая не синтезируются, поэтому обязательно должны поступать с пищей. Эти кислоты называются незаменимыми или эссенциальными. К ним относят и арахидоновую кислоту, которая может синтезироваться в организме из линолевой при достаточном поступлении последней.

Функции липидов:

- 1) пластическая – липиды входят в состав мембран и определяют их свойства (проницаемость, жидкость и др.);
- 2) энергетическая – липиды служат энергетическим материалом для организма; при окислении 1 г жира выделяется 39 кДж моль энергии, что в два раза больше, чем при окислении 1 г белков или углеводов; липиды – долгосрочный резерв энергии;
- 3) защитная – липиды предохраняют тело и органы от механического повреждения и сохраняют тепло;
- 4) регуляторная (стероидные гормоны);
- 5) эмульгирование жиров (пищеварение), стабилизация липидсодержащих жидкостей (желчь).



2. Окисление жирных кислот

Окислительное превращение жирных кислот осуществляется во всех живых организмах. Известно три типа окислительных превращений: α -окисление, β -окисление, ω -окисление.

Процесс **β -окисления** жирных кислот, являющийся главным поставщиком энергии, активно протекает в печени, почках, сердечной и скелетной мышцах. Ферменты, катализирующие реакции β -окисления, локализованы в митохондриях клетки.

При β -окислении в каждом цикле жирная кислота укорачивается на два углеродных атома, образуя ацетил-КоА.

Ацетил-КоА, образующийся при β -окислении, служит субстратом для трех важнейших метаболических путей: 1) окисление в ЦТК; 2) биосинтез жирных кислот; 3) образование кетоновых тел.

Окисление жирных кислот – очень важный процесс для высших животных и растений, организм которых может запасать и хранить значительные количества нейтральных жиров в качестве резервного топлива. В норме человек запасает в виде жиров в 50 раз больше энергии, чем в виде полисахарида гликогена.

Жиры являются наиболее компактной формой запасаания энергии и могут накапливаться в организме в неограниченном количестве. Жир

характеризуется высокой калорийностью (примерно 38 кДж/г) и сохраняется в практически безводной форме в виде внутриклеточных жировых капелек, тогда как гликоген или крахмал (калорийность 17 кДж/г) слишком сильно гидратированы и поэтому не могут храниться в столь концентрированной форме. У позвоночных, по меньшей мере, половина энергии, поставляемой окислительными процессами, обеспечивается за счет окисления жирных кислот. У голодающих животных жир является по существу единственным источником энергии.

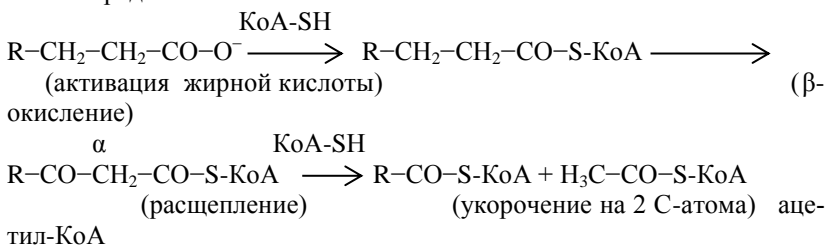
Наиболее важным процессом окисления жирных кислот является так называемое β -окисление, которое происходит при участии коэнзима А (сокращенно КоА-SH). Этот кофермент участвует в биохимических реакциях переноса ацильной группы CH_3CO и образует при биосинтезе большинства классов природных соединений интермедиат – ацетилкоэнзим А (сокращенно ацетил-КоА, или CoA-SCOCH_3), который является продуктом ацилирования коэнзима по свободной SH-группе.

Поступающий в организм жир сначала подвергается гидролизу для выделения жирных кислот, затем с помощью водорастворимых белков (сывороточного альбумина) последние доставляются кровью к клеткам. Освободившись от белка, они проходят сквозь клеточные мембраны в цитозоль. Кроме этого в самом цитозоле есть триацилглицериды, которые расщепляются под действием липаз до свободных жирных кислот и глицерина. Затем свободные жирные кислоты с помощью специальных ферментов, находящихся на поверхности клеточных мембран митохондрий, проникают внутрь митохондрий (в митохондриальный матрикс), где и осуществляется их аэробное окисление до CO_2 и H_2O . Ферменты, участвующие в переносе жирных кислот, (ацил-КоА-синтазы) катализируют реакцию, в ходе которой возникает связь между остатком жирной кислоты и атомом серы КоА-SH и образуется высокоэнергетическое производное жирной кислоты, гидролиз которого до свободной кислоты так же, как и гидролиз ацетилкоэнзима А, сопровождается выделением энергии (примерно 31 кДж/моль). Поэтому эта стадия носит название *активация жирной кислоты*.

Для превращения кислоты в активированную форму расходуется энергия аденозинтрифосфата АТФ – нуклеотида, содержащего остатки аденозина (аденин + рибоза) и трифосфатную группу, в которой имеются две высокоэнергетические связи. Реакции разрыва этих связей

сопровождаются выделением большого количества энергии (примерно 31 кДж/моль в расчете на одну связь).

В ходе процесса окисления жирные кислоты и их метаболиты находятся в активированной форме. В общем виде последовательность ферментативных реакций на первом этапе окисления жирных кислот можно представить так:

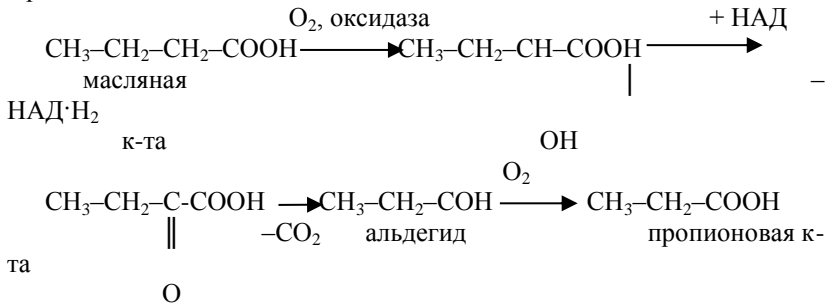


Процесс β -окисления является последовательностью ферментативных реакций: дегидрирования, гидратации и собственно окисления.

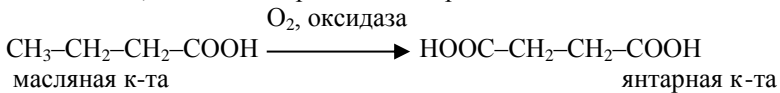
За одну стадию окисления цепь атомов углерода жирной кислоты укорачивается на две единицы (отщепляется ацетил-КоА) через промежуточное образование β -кетоацетил-КоА, именно поэтому весь процесс называется β -окислением. Когда остается четырехуглеродный остаток жирной кислоты (ацетоацетил-КоА), то из него в результате реакции расщепления образуются две молекулы ацетил-КоА. На втором этапе окисления ацетильная группа ацетил-КоА окисляется до углекислого газа и воды, а энергия активированных связей ацетил-КоА переходит в энергию активированных связей АТФ. В результате весь процесс окисления жирных кислот сопровождается образованием АТФ: при окислении одной молекулы пальмитиновой кислоты генерируется 129 богатых энергией фосфатных связей, суммарная энергия которых равна примерно 3935 кДж. Поскольку свободная энергия сгорания пальмитиновой кислоты составляет 9791 кДж/моль, то на долю энергии, запасаемой в виде фосфатных связей, приходится около 40 %. Следует однако отметить, что такое высокоэнергетическое вещество, как АТФ, не накапливается в организме в значительных количествах, поскольку быстро гидролизуется, обеспечивая его энергетические потребности.

Транспорт жирных кислот из цитоплазмы митохондрии происходит с помощью переносчика. Такую роль выполняет карнитин.

α-окисление. Окисление высокомолекулярных жирных кислот с образованием α-оксикислот представлено в микросомах мозга, а также в растительных тканях.



ω-окисление. Жирные кислоты со средней длиной углеродной цепи подвергаются ω-окислению. При этом сначала образуются жирные ω-оксикислоты, а затем дикарбоновые жирные кислоты.



Синтез глицерина: 1) гидролиз жира; 2) гликолиз; 3) пентозофосфатный цикл.

Биосинтез жирных кислот: а) в цитоплазме (синтез происходит на основе ацетил-КоА); б) митохондриальный – удаление на два атома.

Источники ацетил-КоА: 1) β-окисление жирных кислот; 2) аминокислоты; 3) брожение в преджелудках жвачных.

Источник CO₂ – декарбоксилирование.

Участие в синтезе принимает ацетилпереносящий белок (АПБ).

Транспорт жирных кислот в цитоплазме может осуществляться карнитин трансферазой-цитрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березов, Т. Т. Биологическая химия: учебник / Т. Т. Березов, Б. Ф. Коровкин. – Москва: Медицина, 1998. – 704 с.
2. Белясова, Н. А. Биохимия и молекулярная биология: учеб. пособие / Н. А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
3. Биохимия животных: учебник / А. В. Четкин [и др.]; под ред. проф. А. В. Четкина. – Москва: Высш. шк., 1982. – 511 с.
4. Зайцев, С. Ю. Биохимия животных / С. Ю. Зайцев. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004. – 382 с.
5. Кольман, Я. Наглядная биохимия / Я. Кольман, К.-Г. Рем; пер. с нем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
6. Кононский, А. И. Биохимия животных: учебник / А. И. Кононский. – Киев: Выщ. шк., 1980. – 432 с.
7. Кудряшов, Л. С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов / Л. С. Кудряшов. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 160 с.
8. Метревели, Т. В. Биохимия животных / Т. В. Метревели. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004. – 295 с.
9. Микробиологический анализ мяса, птицы и яйцопродуктов / Дж. К. Мид; под ред. Дж. К. Мида; пер. с англ. И. С. Горожанкиной. – М.: Профессия, 2009. – 384 с.
10. Николаев, А. Я. Биологическая химия: учебник / А. Я. Николаев. – М.: Мед. информ. агентство, 2004. – 566 с.
11. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов / В. И. Слесарев. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2001.
12. Хазипов, Н. З. Биохимия животных: учебник / Н. З. Хазипов, А. Н. Аскарлова. – Казань: КГАВМ, 2003. – 312 с.
13. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
14. Цыганов, А. Р. Биохимия. Практикум: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, И. В. Сучкова, И. В. Ковалёва. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 150 с.
15. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 234 с.

Составители

Поддубная Ольга Владимировна

Ковалева Ирина Владимировна

Мохова Елена Владимировна