

Chapter 7 Biological Oxidation

—Electron Transport and Oxidative Phosphorylation

【教学目的】

通过本章教学，使学生掌握生物氧化的概念；呼吸链的概念、组成成分和排列顺序；氧化磷酸化的概念及偶联部位。熟悉电子传递的抑制；标准自由能变化的计算；线粒体外 NADH 的氧化磷酸化。了解化学渗透假说；ATP 合成酶的结构及 ATP 合成的机制；能量的储存和利用。

【重点难点】

重点：呼吸链递氢递电子的原理；两条呼吸链的排列顺序；氧化磷酸化的概念和偶联部位；影响氧化磷酸化的因素；胞液中 NADH 的氧化。

难点：氧化磷酸化的机制

【教学内容】

第一节 概述(Generalization)

一、生物氧化的定义(The Definition of Biological Oxidation)

有机分子在细胞内氧化分解成二氧化碳和水并释放出能量形成 ATP 的过程统称为生物氧化。

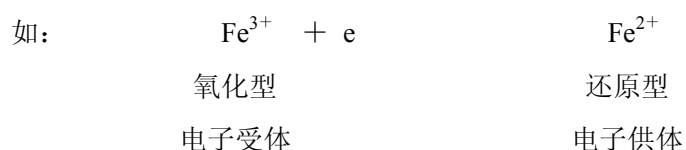
其实质是需氧细胞在呼吸作用中发生的一系列氧化还原反应，即细胞氧化或细胞呼吸

二、生物氧化的特点(Characteristics of Biological Oxidation)

- 1、体温条件下进行。
- 2、酶促反应。
- 3、逐步氧化并释放能量。
- 4、在氧化过程中产生的能量一般都储存在 ATP 中。

三、氧化还原电势

氧化还原反应——凡是反应中有电子从一种物质转移到另一种物质的化学反应称为氧化还原反应。即电子转移反应就是氧化还原反应。



氧化还原电势——还原剂失掉电子或氧化剂得到电子的倾向称氧化还原电势。

四、生物主要是通过氧化还原反应的电子转移获得生物能

1. 生物细胞中氧化还原反应电子转移方式：
 - (1) 以电子的形式传递：呼吸链中细胞色素之间的氧化还原反应。
 - (2) 以氢原子的形式传递：以 FMN 或 FAD 为氢受体的脱氢反应。

2. 生物化学反应的自由能变化与电池电动势：

The energy made available to do work by this spontaneous electron flow (the free-energy change for the oxidation-reduction reaction) is proportional to ΔE :

$$\Delta G = -nF\Delta E$$

$$\text{or } \Delta G^\circ = -nF\Delta E^\circ$$

第二节 呼吸链(Respiratory Chain)

一、呼吸链的概念 (The Concept of Respiratory Chain)

细胞内的线粒体是生物氧化的主要场所，主要功能是将代谢物脱下的氢通过多种酶及辅酶所组成的传递体系的传递，最终与氧结合生成水。

由一系列递氢体和递电子体所组成的链式反应，并与细胞利用氧有关，称之。由四个蛋白复合组分：Complex I、Complex II、Complex III、Complex IV组成。

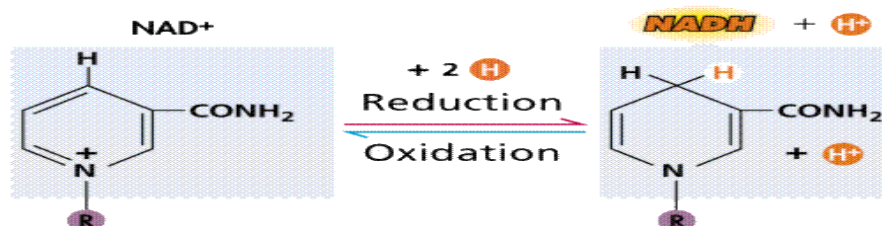
电子传递链存在于真核细胞的线粒体内膜上，存在于原核细胞的质膜上。

二、呼吸链中的电子传递体(Electron Transport from NADH、 Electron Transport from FADH₂)

1. NADH Dehydrogenase(complex I)

Also named as NADH:ubiquinone oxidoreductase or NADH-Q reductase.

它是由 NAD⁺接受多种代谢产物脱氢得到的产物。NADH 所携带的高能电子是线粒体呼吸链主要电子供体之一。



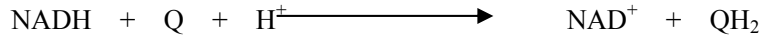
NADH-Q 还原酶是线粒体内膜上最大的一个蛋白质复合物。最少含有 16 个多肽亚基。它的活性部分含有辅基 FMN 和铁硫蛋白。

FMN 的作用是接受脱氢酶脱下来的电子和质子，形成还原型 FMNH₂。还原型 FMNH₂ 可以进一步将电子转移给 Q。

2. Ubiquinone (Q)

It accepts electrons from both NADH and FADH₂ in the respiratory chain.

NADH Dehydrogenase

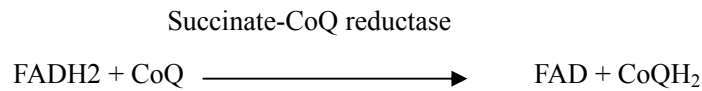


它既是一种脱氢酶，也是一种还原酶。作用是催化 NADH 的氧化脱氢以及 Q 的还原。所以它是电子传递链中唯一的非蛋白电子载体。为一种脂溶性醌类化合物。辅酶 Q 在线粒体中有两种存在形式：膜结合型、游离型。

3. Succinate-CoQ reductase(complex II)

琥珀酸是生物代谢过程（三羧酸循环）中产生的中间产物，它在琥珀酸-Q 还原酶（复合体 II）催化下，将两个高能电子传递给 Q。再通过 QH₂-cyt. c 还原酶、cyt. c 和 cyt. c 氧化酶将电子传递到 O₂。

琥珀酸-Q 还原酶也是存在于线粒体内膜上的蛋白复合物，它比 NADH-Q 还原酶的结构简单，由 4 个不同的多肽亚基组成。其活性部分含有辅基 FAD 和铁硫蛋白。



4. Cytochrome bc1 complex (complex III)

简称为 QH₂-cyt.c 还原酶，即复合体 III，它是线粒体内膜上的一种跨膜蛋白复合物，其作用是催化还原型 QH₂ 的氧化和细胞色素 c (cyt.c) 的还原。

在电子传递过程中，cyt.c 通过 Fe³⁺ ↔ Fe²⁺ 的互变起电子传递中间体作用。

Electrons of Cyt c are transferred to O₂ on cytochrome oxidase (complex IV)

5. Cytochrome oxidase (complex IV)

简称为 cyt.c 氧化酶，即复合体 IV，它是位于线粒体呼吸链末端的蛋白复合物，由 12 个多肽亚基组成。

活性部分主要包括 cyt. a 和 a₃。Cyt. a 和 a₃ 组成一个复合体，除了含有铁卟啉外，还含有铜原子。Cyt. a a₃ 可以直接以 O₂ 为电子受体。

在电子传递过程中，分子中的铜离子可以发生 Cu⁺ ↔ Cu²⁺ 的互变，将 cyt.c 所携带的电子传递给 O₂。

三、呼吸链的电子传递顺序(Electron Transport Sequence)

1. 呼吸链顺序的实验证据 (The order of the many electron carriers on the respiratory chain have been elucidated via various studies)

Measurement of the standard reduction potential (ΔE°): Electrons tend to transfer from low ΔE° carriers to high ΔE° carriers (but may deviate from this in real cells).

2. Two important respiratory chain:

(1) NADH Respiratory Chain


The chemiosmotic model: First proposed in 1961 by Peter Michell (a British).

这一学说认为氧化呼吸链存在于线粒体内膜上，当氧化反应进行时， H^+ 通过氢泵作用被泵到线粒体内膜外侧（膜间腔），从而形成跨膜 pH 梯度和跨膜电位差。这种形式的“势能”，可以被存在于线粒体内膜上的 ATP 合成酶利用，生成高能磷酸基团，并与 ADP 结合而合成 ATP。

ATP synthase comprises a proton channel (Fo) and a ATPase (F1)

ATP 合酶：含有 F0 和 F1 单位，质子流回基质通过 F0 通道，而 ATP 的合成部位在 F1。

当质子从膜间腔返回基质中时，这种“势能”可被位于线粒体内膜上的 ATP 合酶利用以合成 ATP。




The Nobel Prize in Chemistry

1978

"for his contribution to the understanding of biological energy transfer through the formulation of the chemiosmotic theory"

Press release

Peter D. Mitchell
Great Britain
Glynn Research Laboratories
Bodmin, Great Britain
1920 - 1992



Biography

• Copyright© 1999 The Nobel Foundation
• For help, info, credits or comments, see "[About this project](#)"
• Last updated by Webmaster@www.nobel.se / June 18, 1998

三、氧化磷酸化的解偶联和抑制(Uncoupling and Inhibition of Oxidative

1. 解偶联剂:

不抑制呼吸链的递氢或递电子过程，但能使氧化产生的能量不能用于 ADP 磷酸化的药物或毒物称为解偶联剂。

2,4-dinitrophenol (DNP) is the most important uncoupling agent.

DNP is lipid-soluble small molecule that can bind H^+ ions and transport them across membrane.

2. 氧化磷酸化的抑制剂:

对电子传递和 ADP 磷酸化均有抑制作用的药物和毒物称为氧化磷酸化的抑制剂，如寡霉素。

3. 离子载体抑制剂: 能与某些除质子以外的 1 价阳离子结合并作为它们的载体来增加线粒体内膜对 1 价阳离子的通透性而破坏氧化磷酸化过程。如缬氨霉素。

4. 电子传递的抑制剂:

能够抑制呼吸链递氢或递电子过程的药物或毒物称为电子传递的抑制剂, 如鱼藤酮、氰化物、一氧化碳等。

【思考题】

1、 Clearly define the following terms:

Biological oxidation; Respiratory chain; Oxidative phosphorylation; P/O

2、 试比较物质在体内氧化与体外氧化有哪些主要异同点?

3、 说明生物体内 H_2O 、 CO_2 和ATP是怎样生成的?

4、 电子传递链抑制剂鱼藤酮、抗霉素 A、氰化物是怎样阻断电子传递链的?

5、 呼吸链中, NAD^+ 、FAD、CoQ及细胞色素类物质是如何行使传递氢和电子功能?

6、 试叙述化学渗透假说的内容。

7、 Which of the following reactions could be driven by coupling to the hydrolysis of ATP?(The $\Delta G_o'$ value in kcal/mole for each reaction is indicated in parentheses)

