

生物化学讲义

## 第五章 生物氧化与氧化磷酸化

東北農業大學
生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

東北農業大學
生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

## 第一节 生物氧化概述

東北農業大學
生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

### 一、生物氧化 ( biological oxidation) 的概念

**生物氧化 (细胞氧化、细胞呼吸) :** 指有机分子 (糖、脂、蛋白质等) 在生物细胞内氧化分解, 最终生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 并释放出能量的过程。

对异养生物, 生物体内进行生命活动所需的能量基本上来源于生物氧化。

東北農業大學
生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

### 二、生物氧化的特点

与非生物氧化 ( 燃烧 ) 相比

#### 1、共同点 :

化学本质相同, 都是失电子反应, 如脱氢、与氧结合、消耗  $\text{O}_2$ , 都生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 都是放能反应, 并且所释放的能量相同。

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$

東北農業大學
生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

#### 2、不同点 :

- ① 生物氧化是酶促反应, 反应条件 ( 如温度、pH ) 温和; 而体外燃烧则是剧烈的游离基反应, 要求在高温、高压以及干燥的条件下进行。
- ② 生物氧化分阶段逐步缓慢地氧化, 能量也逐步释放; 而体外燃烧能量是爆发式释放出来的。
- ③ 生物氧化释放的能量有相当多的转换成 ATP 中活跃的化学能, 用于各种生命活动; 体外燃烧产生的能量则转换为光和热, 散失在环境中。

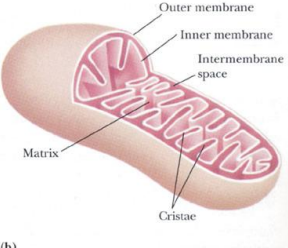
東北農業大學
生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 三、生物氧化进行的部位

在真核细胞内，线粒体是生物氧化的主要场所。

呼吸链的各组分分布在线粒体的内膜上，合成ATP的酶也结合在线粒体的内膜上。因此可以说，狭义的生物氧化就是在线粒体内膜上进行的。



没有线粒体的原核细胞，呼吸链组分与合成ATP的酶分布在细胞质膜上。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 四、生物氧化中CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O的生成

#### 1. CO<sub>2</sub>的生成

方式：糖、脂、蛋白质等有机物转变成含羧基的中间化合物，然后在酶催化下脱羧而生成CO<sub>2</sub>。

脱羧类型：直接脱羧、氧化脱羧

**直接脱羧：**

$$\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{R}}{\text{C}}\text{H}-\text{COOH} \xrightarrow{\text{氨基酸脱羧酶}} \overset{\text{R}}{\text{C}}\text{H}_2-\text{NH}_2 + \text{CO}_2$$

**氧化脱羧：**

$$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{COOH} + \text{CoASH} \xrightarrow{\text{丙酮酸脱氢酶系}} \text{CH}_3\text{COSC}o\text{A} + \text{CO}_2 + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$$

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 2. H<sub>2</sub>O的生成

方式：代谢物在脱氢酶催化下脱下的氢由相应的氢载体（NAD<sup>+</sup>、NADP<sup>+</sup>、FAD、FM等）所接受，再通过一系列递氢体或递电子体传递给氧而生成H<sub>2</sub>O。

$$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{乙醇脱氢酶}} \text{CH}_3\text{CHO} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$$

电子传递链：  

$$2\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$$
 由NADH和O<sub>2</sub>通过电子传递链完成。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 五、高能磷酸化合物

#### (一)、高能磷酸化合物的概念

**高能化合物：**在标准条件下 (pH7, 25 °C, 1mol/L) 发生水解时，可释放出大量自由能的化合物。习惯上把大量定义为20.92kJ/mol (即5kcal/mol) 以上。

**高能磷酸化合物：**分子中含磷酸基团，它被水解下来时释放出大量的自由能，这类高能化合物。

**高能键：**在高能化合物分子中，被水解断裂时释放出大量自由的活泼共价键。高能键常用符号 ~ 表示。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

#### (二)、高能化合物的类型

根据分子结构和高能键的特征，高能化合物可分为：

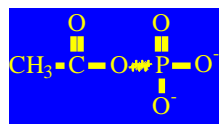
- u 磷氧键型
  - o 酰基磷酸化合物
  - o 焦磷酸化合物
  - o 烯醇式磷酸化合物
- u 氮磷键型
- u 硫酯键型
- u 甲硫键型

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

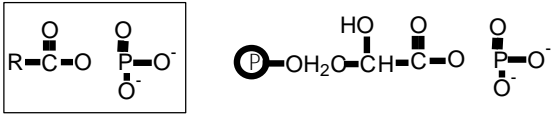
**生物化学讲义**

#### u 磷氧键型

o 酰基磷酸化合物



乙酰磷酸



1,3-二磷酸甘油酸

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

$$\text{H}_3\text{N}^+-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$$

氨甲酰磷酸

$$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}-\text{A}$$

酰基腺苷酸

$$\text{RCH}(\text{N}^+\text{H}_3)-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}-\text{A}$$

氨酰基腺苷酸

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

0 焦磷酸化合物

$$\text{O}^- - \text{P}(=\text{O})(\text{O}^-) - \text{O} - \text{P}(=\text{O})(\text{O}^-) - \text{O}^-$$

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

0 烯醇式磷酸化合物

$$\text{HOOC}-\text{C}(\text{O}^-)=\text{CH}_2$$

PEP(磷酸烯醇式丙酮酸)

$$\text{R}-\text{C}(\text{O}^-)=\text{CH}_2$$

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

u 氮磷键型

$$\text{R}-\text{C}(=\text{NH})-\text{NH}_2$$

$$\text{O}^- - \text{P}(=\text{O})(\text{O}^-) - \text{O}^-$$

$$\text{NH}_2-\text{C}(\text{O}^-)-\text{NH}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$$

磷酸精氨酸

$$\text{NH}_2-\text{C}(\text{O}^-)-\text{NH}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)-\text{O}^-$$

磷酸肌酸

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

u 硫酯键型

$$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{S}-\text{CoA}$$

酰基CoA

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

u 甲硫键型

$$\text{COO}^-$$

$$|$$

$$\text{CH}-\text{NH}_3^+$$

$$|$$

$$\text{CH}_2$$

$$|$$

$$\text{CH}_2$$

$$|$$

$$\text{H}_3\text{C}-\text{S}^+-\text{A}$$

S-腺苷甲硫氨酸

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**(三)、ATP的结构与功能**

**ATP as Energy Currency**

**生物化学讲义**

u ATP在能量转换中的作用

0 ATP为生物界的 能量货币 ，它是生命活动中最重要的能量供体。

其原因在于：ATP的  $G_0$  值介于其它高能化合物和普通化合物之间，从而使它在生物体内的能量转换过程中能够起中间载体的作用。放能反应和吸能反应往往要通过ADP和ATP的相互转变而偶联起来。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

表 20-3 一些磷酸化合物水解的标准自由能变化

化合物	$\Delta G^\circ$		磷酸基团转移势能	
	kcal/mol	kJ/mol	$\Delta G^\circ$ kcal/mol	$\Delta G^\circ$ kJ/mol
磷酸烯醇式丙酮酸 phosphoenolpyruvate	-14.8	-61.9	14.8	61.9
羧甲酰磷酸 carbamoyl phosphate	-12.3	-51.46	12.3	51.46
3-磷酸甘油酰磷酸 (3-phosphoglyceroyl phosphate)	-11.8	-49.3	11.8	49.3
磷酸肌酸 phosphocreatine	10.3	-43.1	10.3	43.1
乙酰磷酸 acetyl phosphate	-10.1	-42.3	10.1	42.3
* 焦磷酸 pyrophosphate	-8.0	-33.5	8.0	33.5
	-4.6	-19.2	4.6	19.2
磷酸精氨酸 phosphoarginine	-7.7	-32.2	7.7	32.2
腺苷三磷酸 ATP→ADP + Pi	-7.3	-30.5	7.3	30.5
* ATP→AMP + PPi	-7.7	-32.2	7.7	32.2
	-10.9	-45.6	10.9	45.6
腺苷二磷酸 ADP→AMP + Pi	-7.3	-30.5	7.3	30.5
腺苷一磷酸 AMP→腺苷 + Pi	-3.4	-14.2	3.4	14.2
葡萄糖-1-磷酸 glucose 1-phosphate	-5.0	-20.9	5.0	20.9
* 果糖-6-磷酸 fructose 6-phosphate	-3.8	-15.9	3.8	15.9
	-3.3	-13.8		
葡萄糖-6-磷酸 glucose 6-phosphate	-3.3	-13.8	3.3	13.8
甘油-3-磷酸 glycerol 1-phosphate	-2.2	-9.2	2.2	9.2

注：表中带\*号的化合物在表内列出的两个不同数据是来自不同的报道资料。

**生物化学讲义**

0 ATP的另一功能是作为磷酸基团转移反应的中间载体

这也是由于它的磷酸基团转移势能在常见的含磷酸基团化合物中处于中间位置。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

u 形成ATP的途径

形成ATP的方式有两种：生物氧化（异养细胞）和光合作用（自养细胞）。

生物体降解燃料分子的主要意义是取得供其发育所需要的能量。因此，利用生物氧化形成ATP，是生物体内ATP形成的主要方式。

生物氧化的第一阶段也能产生少量的ATP，这是以底物水平磷酸化的方式产生的；生物氧化的第二阶段是产生ATP的主要阶段，通过氧化磷酸化的方式产生。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

第二节 电子传递链（呼吸链）

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

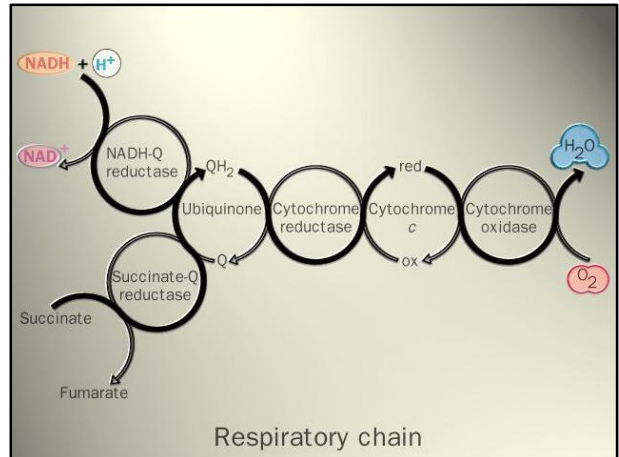
**生物化学讲义**

一、电子传递链的概念

**电子传递链**：在生物氧化过程中，代谢物脱下的氢，交给脱氢酶的辅酶（NADH FAD<sub>2</sub>），再经过一系列按一定顺序排列的氢传递体和电子传递体的传递，最终交给分子氧生成水，这种一系列的氢和电子传递体称为电子传递链，又称**呼吸链**。

电子传递链的定位：  
真核生物：线粒体的内膜；原核生物：质膜

东北农业大学 生化与分子生物学教研室



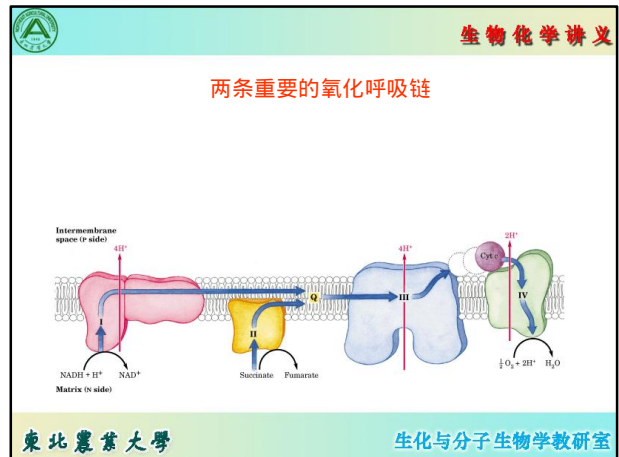
**生物化学讲义**

在生物细胞中，接受代谢物上脱下的氢（或电子）的载体有三种——NAD、NADP和FAD。其中NADP不进入呼吸链合成ATP，而是作为生物合成的还原剂；只有NAD和FAD进入呼吸链。

所以呼吸链有两条：

- NADH呼吸链 由NADH开始的呼吸链；
- FADH<sub>2</sub>呼吸链 由FADH<sub>2</sub>开始的呼吸链。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

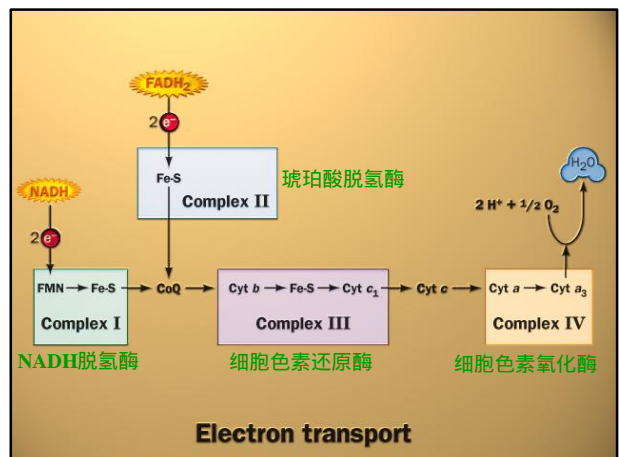


**生物化学讲义**

二、电子传递链的组成和电子传递顺序

呼吸链中的电子传递有着严格的方向和顺序，即电子从氧化还原电位较低的传递体依次通过氧化还原电位较高的传递体逐步流向氧分子。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室



**生物化学讲义**

U 复合体 (complex)

又称为**NADH脱氢酶**

作用:  $\text{NADH} \rightarrow \text{CoQ}$ ; 质子泵

组成:

- 至少34条多肽链
- FMN
- Fe-S聚簇

Complex I

Matrix (N side)      Intermembrane space (P side)

Matrix arm

NADH  $\xrightarrow{2e^-}$  NAD<sup>+</sup>

Fe-S  $\xrightarrow{2e^-}$  Q  $\xrightarrow{2e^-}$  QH<sub>2</sub>

$2\text{H}^+$  (pumped)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

0 黄素蛋白 (分别以FMN和FAD为辅基)

Flavin mononucleotide (FMN)      Semiquinone intermediate      Reduced flavin mononucleotide (FMNH<sub>2</sub>)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

0 铁硫聚簇 (Fe-S)

铁硫聚簇与蛋白质相结合称为**铁硫蛋白**。铁硫聚簇中Fe和S一般以等摩尔存在。

FeS  
2Fe-2S  
4Fe-4S

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

铁硫蛋白在呼吸链中不传递氢, 作为**单电子传递体**。

铁硫中心只有1个Fe起氧化还原反应, 在氧化型 (Fe<sup>3+</sup>) 和还原型 (Fe<sup>2+</sup>) 之间转变。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

U 辅酶Q (CoQ)

辅酶Q叫泛醌 (UQ)。是呼吸链中唯一的**非蛋白质组分**。它分子小, 有以异戊二烯为单位构成的长碳氢链, 呈**脂溶性**, 可以在线粒体内膜的磷脂双分子层的疏水区自由扩散, 往返于比较固定的蛋白质类的电子传递体之间进行电子传递。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

底物到辅酶Q的电子流动

Intermembrane space

Matrix

Succinate  $\xrightarrow{\text{ETF-Q oxidoreductase}}$  Q  $\xrightarrow{2e^-}$  QH<sub>2</sub>

Fatty acyl-CoA  $\xrightarrow{\text{acyl-CoA dehydrogenase}}$  acyl-CoA  $\xrightarrow{\text{ETF (FAD)}}$  Succinate

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

Ubiquinone (Q)  
(fully oxidized)

氧化型泛醌

Semiquinone radical  
(QH<sup>•</sup>)

半醌自由基

Ubiquinol (QH<sub>2</sub>)  
(fully reduced)

氢醌

CoQ在呼吸链中接受脱下的H，本身被还原为氢醌，再把H传递给Cyt体系被氧化，接受1e<sup>-</sup>变为半醌自由基，接受2e<sup>-</sup>变为氢醌(QH<sub>2</sub>)。

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**U 复合体**

又称**琥珀酸脱氢酶**，是嵌在线粒体内膜上的酶蛋白。

在复合体中，电子由琥珀酸流向FAD，然后通过Fe-S中心到泛醌。

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**U 复合体**

又称**细胞色素还原酶**，或称**细胞色素b<sub>1</sub>c<sub>1</sub>复合体**。

由10条多肽链组成，总的相对分子质量约250 10<sup>3</sup>，以二聚体形式存在。每个单体包括两个**细胞色素b**、一个**细胞色素c<sub>1</sub>**和一个**铁硫蛋白**。

**二聚体功能单位**

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**0 细胞色素 (Cyt)**

细胞色素是以**铁卟啉**（血红素）为辅基的蛋白质，因为有颜色，又广泛存在于生物细胞中，故称为细胞色素。

根据还原型细胞色素的吸收峰位置不同，将细胞色素分为a、b、c三类。每一类中又有不同的亚类。

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

在动物的呼吸链中，至少有5种细胞色素 b<sub>1</sub> c<sub>1</sub> c、a<sub>3</sub>，其中Cyt<sub>b</sub>和Cyt<sub>a<sub>3</sub></sub>组成复合物Cyt<sub>ba<sub>3</sub></sub>。Cyt<sub>c</sub>在复合物和之间传递电子，它是内膜外侧的外周蛋白。

Iron protoporphyrin IX  
(in b-type cytochromes)

Heme C  
(in c-type cytochromes)

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**U 细胞色素 c**

细胞色素c是一个较小的球形蛋白质，由104个氨基酸构成一条单一的多肽链。是**唯一能溶于水的细胞色素**。

细胞色素c交互地与细胞色素还原酶（复合体）的细胞色素c<sub>1</sub>和细胞色素氧化酶（复合体）接触，起到在复合体和之间传递电子的作用。

东北农业大学生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**U 复合体**

又称**细胞色素氧化酶**，相对分子质量约20万，是嵌在线粒体内膜的跨膜蛋白，由**10个亚基**构成。

4个氧化还原活性中心由两个**a型血红素 (a, a<sub>3</sub>)**和两个**Cu离子 (Cu<sub>A</sub>, Cu<sub>B</sub>)**组成。

既是电子传递体，又是质子传递体。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**三、电子传递抑制剂**

**电子传递抑制剂**：能够阻断呼吸链中某部位电子传递的物质。

图 24-15 呼吸链的比拟图解

A. 正常呼吸链正常流水在水管中畅通无阻,水面沿流向逐步降低  
B. 被阻断后,生阻断部位前面的水管被水充满,后面则即将流尽

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**常见的抑制剂有：**

- 0 鱼藤酮 (rotenone)、安密妥 (amytal)、杀粉蝶菌素 (piericidine)  
它们的作用是**阻断电子在复合体 I 内的传递**，因此阻断了电子由NADH向CoQ的传递。
- 0 抗霉素A (antimycin A)  
有干扰复合体 III 中电子的传递作用，从而抑制电子从还原型CoQ (QH<sub>2</sub>) 到细胞色素 c 的传递作用。
- 0 氰化物、叠氮化物、CO、HS  
阻断电子在细胞色素氧化酶中传递作用。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**THE MOLECULES OF OXIDATIVE PHOSPHORYLATION**

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**氧化磷酸化 (oxidative phosphorylation)**

**一、概念**

在生物氧化中，代谢物脱氢产生的**NADH + H<sup>+</sup>**或**FADH<sub>2</sub>**经呼吸链氧化生成水的时候，所释放的自由能用于**ADP磷酸化形成ATP**，这种氧化与磷酸化相偶联的作用称为**氧化磷酸化**。

(底物水平磷酸化，光合磷酸化)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室



生物化学讲义

## 二、氧化磷酸化作用机制

### 1. P/O比

**P/O比**：当一对电子经呼吸链传给  $O_2$  的过程中所产生的 ATP 的分子数。即消耗的无机磷酸的磷原子数与消耗分子氧的氧原子数之比。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

早期测定结果表明：

$NADH$  经呼吸链完全氧化时，P/O 为 3，即 1 份子的  $NADH$  通过呼吸链将电子最终传递给  $O_2$  可产生 3 个 ATP；

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

早期测定结果表明：

$FADH_2$  经呼吸链完全氧化时，P/O 为 2，即 1 份子的  $FADH_2$  通过呼吸链将电子最终传递给  $O_2$  可产生 2 个 ATP。

为什么？

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

## 2. ATP 的合成部位

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

## 3. 氧化磷酸化的能量偶联机理

呼吸链中的电子传递是如何推动 ADP 磷酸化形成 ATP 的？

- u 化学偶联假说 (chemical coupling hypothesis)
- u 构象偶联假说 (conformational coupling hypothesis)
- u 化学渗透假说 (chemiosmotic hypothesis)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

### u 化学渗透假说

1961年由英国生物化学家 Peter Mitchell 最先提出。并因此获得 1978 年诺贝尔化学奖。

该学说认为，在电子传递与 ATP 合成之间起偶联作用的是 **质子电化学梯度**。

**要点：**

- 0 电子传递体在线粒体内膜上有着不对称分布，传氢体和传电子体交替排列，催化是定向的；

Peter Mitchell, 1920-1992

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

0 复合物 I、III、IV 的传氢体起质子泵的作用，将 H<sup>+</sup> 从基质泵向内膜外侧，而将电子传向其后的电子传递体；

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

Electron transport drives H<sup>+</sup> out and creates an electrochemical gradient

0 内膜对质子不具有通透性，这样在内膜两侧形成质子浓度梯度，这就是推动 ATP 合成的原动力；

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

0 当存在足够高的跨膜质子化学梯度时，强大的质子流通过 F<sub>1</sub>-F<sub>0</sub>-ATPase 进入基质时，释放的自由能推动 ATP 合成。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 三、ATP合成机制

#### 1. 亚线粒体结构

图 7-10 亚线粒体囊泡制备示意图

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 2 ATP合酶的结构

ATP合酶 (ATP synthase)，又称为 F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATPase (F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATPase)，由两个主要的单元构成：

- F<sub>0</sub>单元：起质子通道作用；
- F<sub>1</sub>单元：起催化ATP合成的作用。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

#### 0 F<sub>1</sub>单元的结构

F<sub>1</sub>单元是球状结构，由5种不同的多肽链组成 (α<sub>3</sub>β<sub>2</sub>γδε)。球形头部伸向线粒体基质。

#### 0 F<sub>0</sub>单元的结构

横贯线粒体内膜，含有质子通道，由十多种亚基组成。位于F<sub>1</sub>与F<sub>0</sub>之间的柄含有**寡霉素敏感性蛋白**，调控F<sub>1</sub>、F<sub>0</sub>的功能。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

### 3 ATP合酶的旋转催化理论

**Paul Boyer :** (1997年诺贝尔奖)

- ATP合酶上的三个亚基存在三种不同活性状态 (O, L, T);
- 质子流通过F<sub>0</sub>通道时,引起构象协同变化(可能通过转动);
- ATP释放是限速步骤,质子驱动力的作用是促进ATP从合酶上释放下来。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

O: 空置状态; L: 松散结合状态; T: 紧密结合状态

**ATP Synthase**

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

**根据当前最新的测定:**

H<sup>+</sup>经复合体、  
从线粒体内膜基质泵出到膜外的细胞溶胶侧时,一对电子泵出的质子数依次为4、4、2。合成一个ATP分子由3个H<sup>+</sup>通过ATP合酶所驱动,多余的1个H<sup>+</sup>可能用于将ATP运往膜外细胞溶胶。

因此一对电子由NADH传至O<sub>2</sub>所产生的ATP分子数是2.5。

在细胞色素还原酶的水平进入电子传递链的电子对(如琥珀酸,或细胞溶胶中的NADH)产生的ATP分子数是1.5。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

#### 四、氧化磷酸化的解偶联和抑制

用特殊的试剂可以将氧化磷酸化的过程分解为单个的反应,这是研究氧化磷酸化中间步骤的有效方法。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

#### U 解偶联剂

作用是使电子传递和ATP形成两个过程分离,失掉它们的紧密联系。只抑制ATP的形成过程,不抑制电子传递过程,使电子传递产生的自由能都变为热能。

0 2,4-二硝基苯酚 (DNP)

**作用实质:** DNP为疏水性弱酸,易通过膜转移质子,消除跨膜质子梯度。

Oc1ccc(cc1[N+](=O)[O-])[N+](=O)[O-] <=> [O-]c1ccc(cc1[N+](=O)[O-])[N+](=O)[O-] + [H+]

2,4-Dinitrophenol (DNP)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

**生物化学讲义**

#### U 氧化磷酸化抑制剂

作用特点是抑制氧的利用又抑制ATP的形成,但不直接抑制电子传递链上载体的作用。

由于它干扰了由电子传递的高能状态形成ATP的过程,结果也间接使电子传递不能进行。

0 寡霉素 (oligomycin)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

u 离子载体抑制剂

这是一类脂溶性物质，它们与某些离子结合并作为它们的载体使这些离子能够穿过膜。

它和解偶联剂的区别是它是除H<sup>+</sup>以外其它一价阳离子的载体。

- o 缬氨霉素 (Valinomycin)
- o 短杆菌肽 (gramicidin)

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

### 五、线粒体穿梭系统

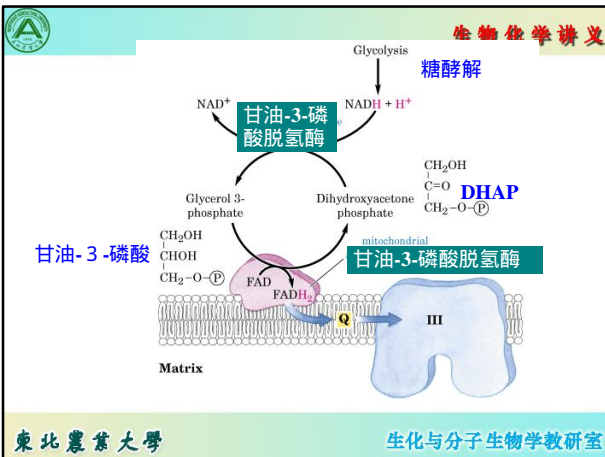
u 甘油-3-磷酸穿梭途径

通过甘油-3-磷酸与DHAP之间的转换，胞液中的NADH间接地转变为线粒体内膜上的FADH<sub>2</sub>，经由内膜上的甘油-3-磷酸脱氢酶(也是以FAD为辅基的黄素蛋白)进入FADH<sub>2</sub>呼吸链。

这种方式不通过复合体，P/O为1.5。

甘油磷酸穿梭作用的生物学意义在于它使细胞溶胶中的NADH逆浓度梯度转运到线粒体内膜进入电子传递链进行氧化。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室



生物化学讲义

### 六、能荷

能荷 (energy charge) : 在总的腺苷酸系统中 (即ATP、ADP、AMP浓度之和) 所负荷的高能磷酸基数量。能荷是细胞所处能量状态的一个指标。

$$\text{能荷} = \frac{[\text{ATP}] + 0.5[\text{ADP}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}]}$$

能荷的数值在0-1之间。大多数细胞维持的稳态能荷状态在0.8-0.9的范围内。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

某些条件下，能荷值可作为细胞产能和需能代谢过程间变构调节的信号。

高能荷时，ATP生成过程被抑制，而ATP的利用过程被激发，即促进体内的合成代谢；低能荷时，其效应相反。

所以说，能荷对代谢起着重要的调控作用。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室

生物化学讲义

### 一、名词

生物氧化、高能磷酸化合物、电子传递链、电子传递链抑制剂、氧化磷酸化、P/O比、解偶联剂、甘油-3-磷酸穿梭、能荷

### 二、简答

- 1、请画出电子传递链包括的组分及其排列的顺序。
- 2、什么是生物氧化，有哪些特点？
- 3、简述化学渗透假说的要点。

东北农业大学 生化与分子生物学教研室