

## 西北农林科技大学生物化学练习题（一）

### 一. 名词解释

米氏常数 (Km) 磷酸戊糖途径 调节子 酶辅助因子 cori 循环与巴斯德效应 滚动环复制

### 二. 结构式

TPCK 尼克酰胺 GC 配对 IP3

### 三. 填空

1, 蔗糖是否为还原糖-----。

2, 糖苷键的两种类型-----和-----。

3, DNA 的一条链序列为 GTCAATG, 那么另一条链的序列为-----。

4, -----常数表征酶的催化效率。

5,  $\rho$  因子的催化活性是-----和-----。

6, 常见的遗传缺陷病有-----, -----, -----, -----; 常见的放射性标记的同位素是-----

, -----,

-----, -----。

7, DNA 复制过程中动物是以-----为能源, E. Coli 以-----为能源。

8, 生物体中产能最多的生化反应过程是-----。

9, -----发现 TCA 循环, -----发现化学渗透学说。

10, 真核生物 rRNA 拼接过程中左端的拼接点顺序为-----右端为-----, 切除-----结构。

11, 生长激素是由-----产生的。

12, E. Coli DNA Pol I 经酶切, 得到大小片段, 其中大片段具有-----酶活性和-----酶活

性,

小片段具有-----酶活性。

13, 必需脂肪酸有-----和-----。

#### 四. 回答

- 1, 作动力学曲线区分酶的可逆性抑制与不可逆抑制?
- 2, 比较 ATP 与 ppi 在磷酸键及生物学功能方面的异同。
- 3, 真核生物至少需要 31 种 tRNA 才能识别 61 种密码子, 而线粒体中 tRNA 只有 22 种, 为什么?
- 4, 阐明衰减子对操纵子的调控。
- 5, 糖酵解和糖异生过程中涉及的不可逆反应和限速步骤。

#### 五. 计算

- 1, 反竞争抑制和米氏方程。
- 2, 酶活力, 比活力, 酶浓度。
- 3, DNA 半保留复制。15NDNA 在 14N 培养基上培养一代后, 14NDNA 与 14N-15NDNA 杂交分子之比是多少?
- 4, 正常 DNA 的超螺旋密度为-0.05, 在无拓扑异构酶条件下当复制超螺旋密度为 0.07 时, 由于正超螺旋的阻力而不能继续复制, 求此时的复制百分数。
- 5,  $2ADP \rightleftharpoons ATP + AMP$   
已知  $[ADP]$   $[AMP]$   $[ATP]$   
求: 1, 该反应的能荷。  
2,  $K_{eq}$  (各浓度为平衡态浓度)。  
3,  $L=T+W$ , 若  $a=-0.05$ , 则 DNA 可以复制的百分比。

#### 第一章 蛋白质

##### 一、知识要点

##### (一) 氨基酸的结构

蛋白质是重要的生物大分子, 其组成单位是氨基酸。组成蛋白质的氨基酸有 20 种, 均为  $\alpha$ -氨基

酸。每个氨基酸的 $\alpha$ -碳上连接一个羧基，一个氨基，一个氢原子和一个侧链 R 基团。20 种氨基酸结构的差别就在于它们的 R 基团结构的不同。

根据 20 种氨基酸侧链 R 基团的极性，可将其分为四大类：非极性 R 基氨基酸（8 种）；不带电荷的极性 R 基氨基酸（7 种）；带负电荷的 R 基氨基酸（2 种）；带正电荷的 R 基氨基酸（3 种）。

### （二）氨基酸的性质

氨基酸是两性电解质。由于氨基酸含有酸性的羧基和碱性的氨基，所以既是酸又是碱，是两性电解质。有些氨基酸的侧链还含有可解离的基团，其带电状况取决于它们的 pK 值。由于不同氨基酸所带的可解离基团不同，所以等电点不同。

除甘氨酸外，其它都有不对称碳原子，所以具有 D-型和 L-型 2 种构型，具有旋光性，天然蛋白质中存在的氨基酸都是 L-型的。酪氨酸、苯丙氨酸和色氨酸具有紫外吸收特性，在 280nm 处有最大吸收值，大多数蛋白质都具有这些氨基酸，所以蛋白质在 280nm 处也有特征吸收，这是紫外吸收法定量测定蛋白质的基础。

氨基酸的 $\alpha$ -羧基和 $\alpha$ -氨基具有化学反应性，另外，许多氨基酸的侧链还含有羟基、氨基、羧基等可解离基团，也具有化学反应性。较重要的化学反应有：（1）茚三酮反应，除脯氨酸外，所有的 $\alpha$ -氨基酸都能与茚三酮发生颜色反应，生成蓝紫色化合物，脯氨酸与茚三酮生成黄色化合物。

（2）Sanger 反应， $\alpha$ -NH<sub>2</sub> 与 2,4-二硝基氟苯作用产生相应的 DNB-氨基酸。（3）Edman 反应， $\alpha$ -NH<sub>2</sub> 与苯异硫氰酸酯作用产生相应的氨基酸的苯氨基硫甲酰衍生物（PIT-氨基酸）。Sanger 反应和 Edman 反应均可用于蛋白质多肽链 N 端氨基酸的测定。

氨基酸通过肽键相互连接而成的化合物称为肽，由 2 个氨基酸组成的肽称为二肽，由 3 个氨基酸组成的肽称为三肽，少于 10 个氨基酸肽称为寡肽，由 10 个以上氨基酸组成的肽称为多肽。

### （三）蛋白质的结构

蛋白质是具有特定构象的大分子，为研究方便，将蛋白质结构分为四个结构水平，包括一级结构、二级结构、三级结构和四级结构。一般将二级结构、三级结构和四级结构称为三维构象或高级结构。

一级结构指蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序。肽键是蛋白质中氨基酸之间的主要连接方式，即由一个氨基酸的 $\alpha$ -氨基和另一个氨基酸的 $\alpha$ -之间脱去一分子水相互连接。肽键具有部分双键的性质，所以整个肽单位是一个刚性的平面结构。在多肽链的含有游离氨基的一端称为肽链的氨基端或 N 端，而另一端含有一个游离羧基的一端称为肽链的羧基端或 C 端。

蛋白质的二级结构是指多肽链骨架盘绕折叠所形成的有规律性的结构。最基本的二级结构类型有 $\alpha$ -螺旋结构和 $\beta$ -折叠结构，此外还有 $\beta$ -转角和自由回转。右手 $\alpha$ -螺旋结构是在纤维蛋白和球蛋白中发现的最常见的二级结构，每圈螺旋含有 3.6 个氨基酸残基，螺距为 0.54nm，螺旋中的每个肽键均参与氢键的形成以维持螺旋的稳定。 $\beta$ -折叠结构也是一种常见的二级结构，在此结构中，多肽链以较伸展的曲折形式存在，肽链（或肽段）的排列可以有平行和反平行两种方式。氨基酸之间的轴心距为 0.35nm，相邻肽链之间借助氢键彼此连成片层结构。

结构域是介于二级结构和三级结构之间的一种结构层次，是指蛋白质亚基结构中明显分开的紧密球状结构区域。

超二级结构是指蛋白质分子中的多肽链在三维折叠中形成有规则的三级结构聚集体。

蛋白质的三级结构是整个多肽链的三维构象，它是在二级结构的基础上，多肽链进一步折叠卷曲形成复杂的球状分子结构。具有三级结构的蛋白质一般都是球蛋白，这类蛋白质的多肽链在三维空间中沿多个方向进行盘绕折叠，形成十分紧密的近似球形的结构，分子内部的空间只能容纳少数水分子，几乎所有的极性 R 基都分布在分子外表面，形成亲水的分子外壳，而非极性的基团则被埋在分子内部，不与水接触。蛋白质分子中侧链 R 基团的相互作用对稳定球状蛋白质的三级结构起着重要作用。

蛋白质的四级结构指数条具有独立的三级结构的多肽链通过非共价键相互连接而成的聚合体结构。

构。在具有四级结构的蛋白质中，每一条具有三级结构的肽链称为亚基或亚单位，缺少一个亚基或亚基单独存在都不具有活性。四级结构涉及亚基在整个分子中的空间排布以及亚基之间的相互关系。

维持蛋白质空间结构的作用力主要是氢键、离子键、疏水作用力和范德华力等非共价键，又称次级键。此外，在某些蛋白质中还有二硫键，二硫键在维持蛋白质构象方面也起着重要作用。

蛋白质的空间结构取决于它的一级结构，多肽离岸主链上的氨基酸排列顺序包含了形成复杂的三维结构（即正确的空间结构）所需要的全部信息。

#### （四）蛋白质结构与功能的关系

不同的蛋白质，由于结构不同而具有不同的生物学功能。蛋白质的生物学功能是蛋白质分子的自然构象所具有的性质，功能与结构密切相关。

##### 1. 一级结构与功能的关系

蛋白质的一级结构与蛋白质功能有相适应性和统一性，可从以下几个方面说明：

###### （1）一级结构的变异与分子病

蛋白质中的氨基酸序列与生物功能密切相关，一级结构的变化往往导致蛋白质生物功能的变化。如镰刀型细胞贫血症，其病因是血红蛋白基因中的一个核苷酸的突变导致该蛋白分子中 $\beta$ -链第6位谷氨酸被缬氨酸取代。这个一级结构上的细微差别使患者的血红蛋白分子容易发生凝聚，导致红细胞变成镰刀状，容易破裂引起贫血，即血红蛋白的功能发生了变化。

###### （2）一级结构与生物进化

研究发现，同源蛋白质中有许多位置的氨基酸是相同的，而其它氨基酸差异较大。如比较不同生物的细胞色素C的一级结构，发现与人类亲缘关系接近，其氨基酸组成的差异越小，亲缘关系越远差异越大。

###### （3）蛋白质的激活作用

在生物体内，有些蛋白质常以前体的形式合成，只有按一定方式裂解除去部分肽链之后才具有生物活性，如酶原的激活。

##### 2. 蛋白质空间结构与功能的关系

蛋白质的空间结构与功能之间有密切相关性，其特定的空间结构是行使生物功能的基础。以下两方面均可说明这种相关性。

###### （1）核糖核酸酶的变性与复性及其功能的丧失与恢复

核糖核酸酶是由124个氨基酸组成的一条多肽链，含有四对二硫键，空间构象为球状分子。将天然核糖核酸酶在8mol/L脲中用 $\beta$ -巯基乙醇处理，则分子内的四对二硫键断裂，分子变成一条松散的肽链，此时酶活性完全丧失。但用透析法除去 $\beta$ -巯基乙醇和脲后，此酶经氧化又自发地折叠成原有的天然构象，同时酶活性又恢复。

###### （2）血红蛋白的变构现象

血红蛋白是一个四聚体蛋白质，具有氧合功能，可在血液中运输氧。研究发现，脱氧血红蛋白与氧的亲合力很低，不易与氧结合。一旦血红蛋白分子中的一个亚基与 $O_2$ 结合，就会引起该亚基构象发生改变，并引起其它三个亚基的构象相继发生变化，使它们易于和氧结合，说明变化后的构象最适合与氧结合。

从以上例子可以看出，只有当蛋白质以特定的适当空间构象存在时才具有生物活性。

#### （五）蛋白质的重要性质

蛋白质是两性电解质，它的酸碱性质取决于肽链上的可解离的R基团。不同蛋白质所含有的氨基酸的种类、数目不同，所以具有不同的等电点。当蛋白质所处环境的pH大于pI时，蛋白质分子带负电荷，pH小于pI时，蛋白质带正电荷，pH等于pI时，蛋白质所带净电荷为零，此时溶解度最小。

蛋白质分子表面带有许多亲水基团，使蛋白质成为亲水的胶体溶液。蛋白质颗粒周围的水化膜（水



化层) 以及非等电状态时蛋白质颗粒所带的同性电荷的互相排斥是使蛋白质胶体系统稳定的主要因素。当这些稳定因素被破坏时, 蛋白质会产生沉淀。高浓度中性盐可使蛋白质分子脱水并中和其所带电荷, 从而降低蛋白质的溶解度并沉淀析出, 即盐析。但这种作用并不引起蛋白质的变性。这个性质可用于蛋白质的分离。

蛋白质受到某些物理或化学因素作用时, 引起生物活性的丧失, 溶解度的降低以及其它性质的改变, 这种现象称为蛋白质的变性作用。变性作用的实质是由于维持蛋白质高级结构的次级键遭到破坏而造成天然构象的解体, 但未涉及共价键的断裂。有些变性是可逆的, 有些变性是不可逆的。当变性条件不剧烈时, 变性是可逆的, 除去变性因素后, 变性蛋白又可从新回复到原有的天然构象, 恢复或部分恢复其原有的生物活性, 这种现象称为蛋白质的复性。

#### (六) 测定蛋白质分子量的方法

##### 1. 凝胶过滤法

凝胶过滤法分离蛋白质的原理是根据蛋白质分子量的大小。由于不同排阻范围的葡聚糖凝胶有一特定的蛋白质分子量范围, 在此范围内, 分子量的对数和洗脱体积之间成线性关系。因此, 用几种已知分子量的蛋白质为标准, 进行凝胶层析, 以每种蛋白质的洗脱体积对它们的分子量的对数作图, 绘制出标准洗脱曲线。未知蛋白质在同样的条件下进行凝胶层析, 根据其所用的洗脱体积, 从标准洗脱曲线上可求出此未知蛋白质对应的分子量。

##### 2. SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳法

蛋白质在普通聚丙烯酰胺凝胶中的电泳速度取决于蛋白质分子的大小、分子形状和所带电荷的多少。SDS (十二烷基磺酸钠) 是一种去污剂, 可使蛋白质变性并解离成亚基。当蛋白质样品中加入 SDS 后, SDS 与蛋白质分子结合, 使蛋白质分子带上大量的强负电荷, 并且使蛋白质分子的形状都变成短棒状, 从而消除了蛋白质分子之间原有的带电荷量和分子形状的差异。这样电泳的速度只取决于蛋白质分子量的大小, 蛋白质分子在电泳中的相对迁移率和分子质量的对数成直线关系。以标准蛋白质分子质量的对数和其相对迁移率作图, 得到标准曲线, 根据所测样品的相对迁移率, 从标准曲线上便可查出其分子质量。

##### 3. 沉降法 (超速离心法)

沉降系数 (S) 是指单位离心场强度溶质的沉降速度。S 也常用于近似地描述生物大分子的大小。蛋白质溶液经高速离心分离时, 由于比重关系, 蛋白质分子趋于下沉, 沉降速度与蛋白质颗粒大小成正比, 应用光学方法观察离心过程中蛋白质颗粒的沉降行为, 可判断出蛋白质的沉降速度。根据沉降速度可求出沉降系数, 将 S 带入公式, 即可计算出蛋白质的分子质量。

## 二、蛋白质习题

### (一) 名词解释

1. 两性离子 (dipolar ion)
2. 必需氨基酸 (essential amino acid)
3. 等电点 (isoelectric point, pI)
4. 稀有氨基酸 (rare amino acid)
5. 非蛋白质氨基酸 (nonprotein amino acid)
6. 构型 (configuration)
7. 蛋白质的一级结构 (protein primary structure)
8. 构象 (conformation)
9. 蛋白质的二级结构 (protein secondary structure)
10. 结构域 (domain)
11. 蛋白质的三级结构 (protein tertiary structure)
12. 氢键 (hydrogen bond)

13. 蛋白质的四级结构(protein quaternary structure)
14. 离子键(ionic bond)
15. 超二级结构(super-secondary structure)
16. 疏水键(hydrophobic bond)
17. 范德华力( van der Waals force)
18. 盐析(salting out)
19. 盐溶(salting in)
20. 蛋白质的变性(denaturation)
21. 蛋白质的复性(renaturation)
22. 蛋白质的沉淀作用(precipitation)
23. 凝胶电泳 (gel electrophoresis)
24. 层析 (chromatography)

## (二) 填空题

1. 蛋白质多肽链中的肽键是通过一个氨基酸的\_\_\_\_\_基和另一氨基酸的\_\_\_\_\_基连接而形成的。
2. 大多数蛋白质中氮的含量较恒定,平均为\_\_\_\_%,如测得 1 克样品含氮量为 10mg,则蛋白质含量为\_\_\_\_%。
3. 在 20 种氨基酸中,酸性氨基酸有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_2 种,具有羟基的氨基酸是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_,能形成二硫键的氨基酸是\_\_\_\_\_。
4. 蛋白质中的\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_3 种氨基酸具有紫外吸收特性,因而使蛋白质在 280nm 处有最大吸收值。
5. 精氨酸的 pI 值为 10.76,将其溶于 pH7 的缓冲液中,并置于电场中,则精氨酸应向电场的\_\_\_\_\_方向移动。
6. 组成蛋白质的 20 种氨基酸中,含有咪唑环的氨基酸是\_\_\_\_\_,含硫的氨基酸有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
7. 蛋白质的二级结构最基本的有两种类型,它们是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
8.  $\alpha$ -螺旋结构是由同一肽链的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_间的\_\_\_\_\_键维持的,螺距为\_\_\_\_\_,每圈螺旋含\_\_\_\_\_个氨基酸残基,每个氨基酸残基沿轴上升高度为\_\_\_\_\_。天然蛋白质分子中的 $\alpha$ -螺旋大都属于\_\_\_\_\_手螺旋。
9. 在蛋白质的 $\alpha$ -螺旋结构中,在环状氨基酸\_\_\_\_\_存在处局部螺旋结构中断。
10. 球状蛋白质中有\_\_\_\_\_侧链的氨基酸残基常位于分子表面而与水结合,而有\_\_\_\_\_侧链的氨基酸位于分子的内部。
11. 氨基酸与茚三酮发生氧化脱羧脱氢反应生成\_\_\_\_\_色化合物,而\_\_\_\_\_与茚三酮反应生成黄色化合物。
12. 维持蛋白质的一级结构的化学键有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_;维持二级结构靠\_\_\_\_\_键;维持三级结构和四级结构靠\_\_\_\_\_键,其中包括\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
13. 稳定蛋白质胶体的因素是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
14. GSH 的中文名称是\_\_\_\_\_,它的活性基团是\_\_\_\_\_,它的生化功能是\_\_\_\_\_。
15. 加入低浓度的中性盐可使蛋白质溶解度\_\_\_\_\_,这种现象称为\_\_\_\_\_,而加入高浓度的中性盐,当达到一定的盐饱和度时,可使蛋白质的溶解度\_\_\_\_\_并\_\_\_\_\_,这种现象称为\_\_\_\_\_,蛋白质的这种性质常用于\_\_\_\_\_。
16. 用电泳方法分离蛋白质的原理,是在一定的 pH 条件下,不同蛋白质的\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_不同,因而在电场中移动的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_不同,从而使蛋白质得到分离。
17. 氨基酸处于等电状态时,主要是以\_\_\_\_\_形式存在,此时它的溶解度最小。

18. 鉴定蛋白质多肽链氨基末端常用的方法有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
19. 测定蛋白质分子量的方法有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
20. 今有甲、乙、丙三种蛋白质，它们的等电点分别为 8.0、4.5 和 10.0, 当在 pH8.0 缓冲液中，它们在电场中电泳的情况为：甲\_\_\_\_\_, 乙\_\_\_\_\_, 丙\_\_\_\_\_。
21. 当氨基酸溶液的  $\text{pH}=\text{pI}$  时，氨基酸以\_\_\_\_\_离子形式存在，当  $\text{pH}>\text{pI}$  时，氨基酸以\_\_\_\_\_离子形式存在。
22. 谷氨酸的  $\text{pK}_1(\alpha\text{-COOH})=2.19$ ,  $\text{pK}_2(\alpha\text{-NH}_3^+)=9.67$ ,  $\text{pKR}(\text{R 基})=4.25$ , 谷氨酸的等电点为\_\_\_\_\_。
23. 天然蛋白质中的  $\alpha$ —螺旋结构，其主链上所有的羰基氧与亚氨基氢都参与了链内\_\_\_\_\_键的形成，因此构象相当稳定。
24. 将分子量分别为 a (90 000)、b (45 000)、c (110 000) 的三种蛋白质混合溶液进行凝胶过滤层析，它们被洗脱下来的先后顺序是\_\_\_\_\_。
25. 肌红蛋白的含铁量为 0.34%，其最小分子量是\_\_\_\_\_, 血红蛋白的含铁量也是 0.34%，但每分子含有 4 个铁原子，血红蛋白的分子量是\_\_\_\_\_。
26. 一个  $\alpha$ -螺旋片段含有 180 个氨基酸残基，该片段中有\_\_\_\_\_圈螺旋？该  $\alpha$ -螺旋片段的轴长为\_\_\_\_\_。

### (三) 选择题

1. 在生理 pH 条件下，下列哪种氨基酸带正电荷？  
A. 丙氨酸      B. 酪氨酸      C. 赖氨酸  
D. 蛋氨酸      E. 异亮氨酸
2. 下列氨基酸中哪一种是非必需氨基酸？  
A. 亮氨酸      B. 酪氨酸      C. 赖氨酸  
D. 蛋氨酸      E. 苏氨酸
3. 蛋白质的组成成分中，在 280nm 处有最大吸收值的最主要成分是：  
A. 酪氨酸的酚环      B. 半胱氨酸的硫原子  
C. 肽键      D. 苯丙氨酸
4. 下列 4 种氨基酸中哪个有碱性侧链？  
A. 脯氨酸      B. 苯丙氨酸      C. 异亮氨酸      D. 赖氨酸
5. 下列哪种氨基酸属于亚氨基酸？  
A. 丝氨酸      B. 脯氨酸      C. 亮氨酸      D. 组氨酸
6. 下列哪一项不是蛋白质  $\alpha$ -螺旋结构的特点？  
A. 天然蛋白质多为右手螺旋  
B. 肽链平面充分伸展  
C. 每隔 3.6 个氨基酸螺旋上升一圈。  
D. 每个氨基酸残基上升高度为 0.15nm。
7. 下列哪一项不是蛋白质的性质之一？  
A. 处于等电状态时溶解度最小      B. 加入少量中性盐溶解度增加  
C. 变性蛋白质的溶解度增加      D. 有紫外吸收特性
8. 下列氨基酸中哪一种不具有旋光性？  
A. Leu      B. Ala      C. Gly      D. Ser      E. Val
9. 在下列检测蛋白质的方法中，哪一种取决于完整的肽链？  
A. 凯氏定氮法      B. 双缩脲反应      C. 紫外吸收法      D. 茚三酮法
10. 下列哪种酶作用于由碱性氨基酸的羧基形成的肽键？  
A. 糜蛋白酶      B. 羧肽酶      C. 氨肽酶      D. 胰蛋白酶

11. 下列有关蛋白质的叙述哪项是正确的?
  - A. 蛋白质分子的净电荷为零时的 pH 值是它的等电点
  - B. 大多数蛋白质在含有中性盐的溶液中会沉淀析出
  - C. 由于蛋白质在等电点时溶解度最大, 所以沉淀蛋白质时应远离等电点
  - D. 以上各项均不正确
12. 下列关于蛋白质结构的叙述, 哪一项是错误的?
  - A. 氨基酸的疏水侧链很少埋在分子的中心部位
  - B. 电荷的氨基酸侧链常在分子的外侧, 面向水相
  - C. 蛋白质的一级结构在决定高级结构方面是重要因素之一
  - D. 蛋白质的空间结构主要靠次级键维持
13. 下列哪些因素妨碍蛋白质形成  $\alpha$ -螺旋结构?
  - A. 脯氨酸的存在
  - B. 氨基酸残基的大支链
  - C. 酸性氨基酸的相邻存在
  - D. 碱性氨基酸的相邻存在
  - E. 以上各项都是
14. 关于  $\beta$ -折叠片的叙述, 下列哪项是错误的?
  - A.  $\beta$ -折叠片的肽链处于曲折的伸展状态
  - B. 的结构是借助于链内氢键稳定的
  - C. 有的  $\beta$ -折叠片结构都是通过几段肽链平行排列而形成的
  - D. 氨基酸之间的轴距为 0.35nm
15. 维持蛋白质二级结构稳定的主要作用力是:
  - A. 盐键
  - B. 疏水键
  - C. 氢键
  - D. 二硫键
16. 维持蛋白质三级结构稳定的因素是:
  - A. 肽键
  - B. 二硫键
  - C. 离子键
  - D. 氢键
  - E. 次级键
17. 凝胶过滤法分离蛋白质时, 从层析柱上先被洗脱下来的是:
  - A. 分子量大的
  - B. 分子量小的
  - C. 电荷多的
  - D. 带电荷少的
18. 下列哪项与蛋白质的变性无关?
  - A. 肽键断裂
  - B. 氢键被破坏
  - C. 离子键被破坏
  - D. 疏水键被破坏
19. 蛋白质空间构象的特征主要取决于下列哪一项?
  - A. 多肽链中氨基酸的排列顺序
  - B. 次级键
  - C. 链内及链间的二硫键
  - D. 温度及 pH
20. 下列哪个性质是氨基酸和蛋白质所共有的?
  - A. 胶体性质
  - B. 两性性质
  - C. 沉淀反应
  - D. 变性性质
  - E. 双缩脲反应
21. 氨基酸在等电点时具有的特点是:
  - A. 不带正电荷
  - B. 不带负电荷
  - C. A 和 B
  - D. 溶解度最大
  - E. 在电场中不泳动
22. 蛋白质的一级结构是指:
  - A. 蛋白质氨基酸的种类和数目
  - B. 蛋白质中氨基酸的排列顺序
  - C. 蛋白质分子中多肽链的折叠和盘绕
  - D. 包括 A、B 和 C

(四) 是非判断题



- ( ) 1. 氨基酸与茚三酮反应都产生蓝紫色化合物。
- ( ) 2. 因为羧基碳和亚氨基氮之间的部分双键性质，所以肽键不能自由旋转。
- ( ) 3. 所有的蛋白质都有酶活性。
- ( ) 4.  $\alpha$ -碳和羧基碳之间的键不能自由旋转。
- ( ) 5. 多数氨基酸有 D-和 L-两种不同构型，而构型的改变涉及共价键的破裂。
- ( ) 6. 所有氨基酸都具有旋光性。
- ( ) 7. 构成蛋白质的 20 种氨基酸都是必需氨基酸。
- ( ) 8. 蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序在很大程度上决定了它的构象。
- ( ) 9. 一氨基一羧基氨基酸的 pI 为中性，因为  $-\text{COOH}$  和  $-\text{NH}_2$  的解离度相同。
- ( ) 10. 蛋白质的变性是蛋白质立体结构的破坏，因此涉及肽键的断裂。
- ( ) 11. 蛋白质是生物大分子，但并不都具有四级结构。
- ( ) 12. 血红蛋白和肌红蛋白都是氧的载体，前者是一个典型的变构蛋白，在与氧结合过程中呈现变构效应，而后者却不是。
- ( ) 13. 用 FDNB 法和 Edman 降解法测定蛋白质多肽链 N-端氨基酸的原理是相同的。
- ( ) 14. 并非所有构成蛋白质的 20 种氨基酸的  $\alpha$ -碳原子上都有一个自由羧基和一个自由氨基。
- ( ) 15. 蛋白质是两性电解质，它的酸碱性质主要取决于肽链上可解离的 R 基团。
- ( ) 16. 在具有四级结构的蛋白质分子中，每个具有三级结构的多肽链是一个亚基。
- ( ) 17. 所有的肽和蛋白质都能和硫酸铜的碱性溶液发生双缩尿反应。
- ( ) 18. 一个蛋白质分子中有两个半胱氨酸存在时，它们之间可以形成两个二硫键。
- ( ) 19. 盐析法可使蛋白质沉淀，但不引起变性，所以盐析法常用于蛋白质的分离制备。
- ( ) 20. 蛋白质的空间结构就是它的三级结构。
- ( ) 21. 维持蛋白质三级结构最重要的作用力是氢键。
- ( ) 22. 具有四级结构的蛋白质，它的每个亚基单独存在时仍能保存蛋白质原有的生物活性。
- ( ) 23. 变性蛋白质的溶解度降低，是由于中和了蛋白质分子表面的电荷及破坏了外层的水膜所引起的。
- ( ) 24. 蛋白质二级结构的稳定性是靠链内氢键维持的，肽链上每个肽键都参与氢键的形成。

#### (五) 问答题

- 什么是蛋白质的一级结构？为什么说蛋白质的一级结构决定其空间结构？
- 什么是蛋白质的空间结构？蛋白质的空间结构与其生物功能有何关系？
- 蛋白质的  $\alpha$ -螺旋结构有何特点？
- 蛋白质的  $\beta$ -折叠结构有何特点？
- 举例说明蛋白质的结构与其功能之间的关系。
- 什么是蛋白质的变性作用和复性作用？蛋白质变性后哪些性质会发生改变？
- 简述蛋白质变性作用的机制。
- 蛋白质有哪些重要功能
- 下列试剂和酶常用于蛋白质化学的研究中：CNBr、异硫氰酸苯酯、丹黄酰氯、脲、6mol/L HCl、 $\beta$ -巯基乙醇、水合茚三酮、过甲酸、胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶。其中哪一个最适合完成以下各项任务？
  - 测定小肽的氨基酸序列。
  - 鉴定肽的氨基末端残基。
  - 不含二硫键的蛋白质的可逆变性；如有二硫键存在时还需加什么试剂？
  - 在芳香族氨基酸残基羧基侧水解肽键。
  - 在蛋氨酸残基羧基侧水解肽键。
  - 在赖氨酸和精氨酸残基羧基侧水解肽键。
- 根据蛋白质一级氨基酸序列可以预测蛋白质的空间结构。假设有下列氨基酸序列（如图）：



低从而使蛋白质变得不稳定而沉淀的现象称为蛋白质的沉淀作用。

23. 凝胶电泳：以凝胶为介质，在电场作用下分离蛋白质或核酸等分子的分离纯化技术。

24. 层析：按照在移动相（可以是气体或液体）和固定相（可以是液体或固体）之间的分配比例将混合成分分开的技术。

## （二）填空题

1. 1. 氨基；羧基；
2. 2. 16；6.25
3. 3. 谷氨酸；天冬氨酸；丝氨酸；苏氨酸
4. 4. 苯丙氨酸；酪氨酸；色氨酸；紫外吸收
5. 5. 负极
6. 6. 组氨酸；半胱氨酸；蛋氨酸
7. 7.  $\alpha$ -螺旋结构； $\beta$ -折叠结构
8. C=O；N=H；氢；0.54nm；3.6；0.15nm；右
9. 脯氨酸；羟脯氨酸
10. 极性；疏水性
11. 蓝紫色；脯氨酸
12. 肽键；二硫键；氢键；次级键；氢键；离子键；疏水键；范德华力
13. 表面的水化膜；同性电荷
14. 谷胱甘肽；巯基
15. 增加；盐溶；减小；沉淀析出；盐析；蛋白质分离
16. 带电荷量；分子大小；分子形状；方向；速率
17. 两性离子；最小
18. FDNB法（2,4-二硝基氟苯法）；Edman降解法（苯异硫氰酸酯法）
19. 沉降法；凝胶过滤法；SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳法（SDS-PAGE法）
20. 不动；向正极移动；向负极移动；
21. 两性离子；负；
22. 3.22
23. 氢键；
24. C；a；b
25. 16 672；66 687；
26. 50圈；27nm

## （三）选择题

1. D：5种氨基酸中只有赖氨酸为碱性氨基酸，其等电点为9.74，大于生理pH值，所以带正电荷。
2. B：人（或哺乳动物）的必需氨基酸包括赖氨酸、色氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苏氨酸8种，酪氨酸不是必需氨基酸。
3. A：酪氨酸和苯丙氨酸在280nm处的克分子消光系数分别为540和120，所以酪氨酸比苯丙氨酸有较大吸收，而且大多数蛋白质中都含有酪氨酸。肽键的最大吸收在215nm，半胱氨酸的硫原子在280nm和215nm均无明显吸收。
4. D：在此4种氨基酸中，只有赖氨酸的R基团可接受氢质子，作为碱，而其它3种氨基酸均无可解离的R侧链。
5. B：氨基酸的 $\alpha$ -碳上连接的是亚氨基而不是氨基，所以实际上属于一种亚氨基酸，而其它氨基酸的 $\alpha$ -碳上都连接有氨基，是氨基酸。

6. B: 天然蛋白质的  $\alpha$ -螺旋结构的特点是, 肽链围绕中心轴旋转形成螺旋结构, 而不是充分伸展的结构。另外在每个螺旋中含有 3.6 个氨基酸残基, 螺距为 0.54nm, 每个氨基酸残基上升高度为 0.15nm, 所以 B 不是  $\alpha$ -螺旋结构的特点。
7. C: 蛋白质处于等电点时, 净电荷为零, 失去蛋白质分子表面的同性电荷互相排斥的稳定因素, 此时溶解度最小; 加入少量中性盐可增加蛋白质的溶解度, 即盐溶现象; 因为蛋白质中含有酪氨酸、苯丙氨酸和色氨酸, 所以具有紫外吸收特性; 变性蛋白质的溶解度减小而不是增加, 因为蛋白质变性后, 近似于球状的空间构象被破坏, 变成松散的结构, 原来处于分子内部的疏水性氨基酸侧链暴露于分子表面, 减小了与水分子的作用, 从而使蛋白质溶解度减小并沉淀。
8. C: 甘氨酸的  $\alpha$ -碳原子连接的 4 个原子和基团中有 2 个是氢原子, 所以不是不对称碳原子, 没有立体异构体, 所以不具有旋光性。
9. B: 双缩脲反应是指含有两个或两个以上肽键的化合物(肽及蛋白质)与稀硫酸铜的碱性溶液反应生成紫色(或青紫色)化合物的反应, 产生颜色的深浅与蛋白质的含量成正比, 所以可用于蛋白质的定量测定。茚三酮反应是氨基酸的游离的  $\alpha$ -NH 与茚三酮之间的反应; 凯氏定氮法是测定蛋白质消化后产生的氨; 紫外吸收法是通过测定蛋白质的紫外消光值定量测定蛋白质的方法, 因为大多数蛋白质都含有酪氨酸, 有些还含有色氨酸或苯丙氨酸, 这三种氨基酸具有紫外吸收特性, 所以紫外吸收值与蛋白质含量成正比。
10. D: 糜蛋白酶即胰凝乳蛋白酶作用于酪氨酸、色氨酸和苯丙氨酸的羧基参与形成的肽键; 羧肽酶是从肽链的羧基端开始水解肽键的外肽酶; 氨肽酶是从肽链的氨基端开始水解肽键的外肽酶; 胰蛋白酶可以专一地水解碱性氨基酸的羧基参与形成的肽键。
11. A: 蛋白质的等电点是指蛋白质分子内的正电荷总数与负电荷总数相等时的 pH 值。蛋白质盐析的条件是加入足量的中性盐, 如果加入少量中性盐不但不会使蛋白质沉淀析出反而会增加其溶解度, 即盐溶。在等电点时, 蛋白质的净电荷为零, 分子间的净电斥力最小, 所以溶解度最小, 在溶液中易于沉淀, 所以通常沉淀蛋白质应调 pH 至等电点。
12. A: 在蛋白质的空间结构中, 通常是疏水性氨基酸的侧链存在于分子的内部, 因为疏水性基团避开水相而聚集在一起, 而亲水侧链分布在分子的表面以充分地与水作用; 蛋白质的一级结构是多肽链中氨基酸的排列顺序, 此顺序即决定了肽链形成二级结构的类型以及更高层次的结构; 维持蛋白质空间结构的作用力主要是次级键。
13. E: 脯氨酸是亚氨基酸, 参与形成肽键后不能再与 C=O 氧形成氢键, 因此不能形成  $\alpha$ -螺旋结构; 氨基酸残基的支链大时, 空间位阻大, 妨碍螺旋结构的形成; 连续出现多个酸性氨基酸或碱性氨基酸时, 同性电荷会互相排斥, 所以不能形成稳定的螺旋结构。
14. C:  $\beta$ -折叠结构是一种常见的蛋白质二级结构的类型, 分为平行和反平行两种排列方式, 所以题中 C 项的说法是错误的。在  $\beta$ -折叠结构中肽链处于曲折的伸展状态, 氨基酸残基之间的轴心距离为 0.35nm, 相邻肽链(或同一肽链中的几个肽段)之间形成氢键而使结构稳定。
15. C: 蛋白质二级结构的两种主要类型是  $\alpha$ -螺旋结构和  $\beta$ -折叠结构。在  $\alpha$ -螺旋结构中肽链上的所有氨基酸残基均参与氢键的形成以维持螺旋结构的稳定。在  $\beta$ -折叠结构中, 相邻肽链或肽段之间形成氢键以维持结构的稳定, 所以氢键是维持蛋白质二级结构稳定的主要作用力。离子键、疏水键和范德华力在维持蛋白质的三级结构和四级结构中起重要作用, 而二硫键在稳定蛋白质的三级结构中起一定作用。
16. E: 肽键是连接氨基酸的共价键, 它是维持蛋白质一级结构的作用力; 而硫键是 2 分子半胱氨酸的巯基脱氢氧化形成的共价键, 它可以存在于 2 条肽链之间也可以由存在于同一条肽链的 2 个不相邻的半胱氨酸之间, 它在维持蛋白质三级结构中起一定作用, 但不是最主要的。离子键和氢键都是维持蛋白质三级结构稳定的因素之一, 但此项选择不全面, 也不确切。次级键包括氢键、离子键、疏水键和范德华力, 所以次项选择最全面、确切。
17. A: 用凝胶过滤柱层析分离蛋白质是根据蛋白质分子大小不同进行分离的方法, 与蛋白质分子的带电状况无关。在进行凝胶过滤柱层析过程中, 比凝胶网眼大的分子不能进入网眼内, 被排阻在凝胶颗粒之外。比凝胶网眼小的颗粒可以进入网眼内, 分子越小进入网眼的机会越多, 因此不同大小的分子通过凝胶层析



柱时所经的路程距离不同，大分子物质经过的距离短而先被洗出，小分子物质经过的距离长，后被洗脱，从而使蛋白质得到分离。

18. A: 蛋白质的变性是其空间结构被破坏，从而引起理化性质的改变以及生物活性的丧失，但其一级结构不发生改变，所以肽键没有断裂。蛋白质变性的机理是维持其空间结构稳定的作用力被破坏，氢键、离子键和疏水键都是维持蛋白质空间结构的作用力，当这些作用力被破坏时空间结构就被破坏并引起变性，所以与变性有关。

19. A: 蛋白质的一级结构即蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序决定蛋白质的空间构象，因为一级结构中包含着形成空间结构所需要的所有信息，氨基酸残基的结构和化学性质决定了所组成的蛋白质的二级结构的类型以及三级、四级结构的构象；二硫键和次级键都是维持蛋白质空间构象稳定的作用力，但不决定蛋白质的构象；温度及 pH 影响蛋白质的溶解度、解离状态、生物活性等性质，但不决定蛋白质的构象。

20. B: 氨基酸即有羧基又有氨基，可以提供氢质子也可以接受氢质子，所以即是酸又是碱，是两性电解质。由氨基酸组成的蛋白质分子上也有可解离基团，如谷氨酸和天冬氨酸侧链基团的羧基以及赖氨酸的侧链氨基，所以也是两性电解质，这是氨基酸和蛋白质所共有的性质；胶体性质是蛋白质所具有的性质，沉淀反应是蛋白质的胶体性质被破坏产生的现象；变性是蛋白质的空间结构被破坏后性质发生改变并丧失生物活性的现象，这三种现象均与氨基酸无关。

21. E: 氨基酸分子上的正电荷数和负电荷数相等时的 pH 值是其等电点，即净电荷为零，此时在电场中不泳动。由于净电荷为零，分子间的净电斥力最小，所以溶解度最小。

22. B: 蛋白质的一级结构是指蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序，蛋白质中所含氨基酸的种类和数目相同但排列顺序不同时，其一级结构以及在此基础上形成的空间结构均有很大不同。蛋白质分子中多肽链的折叠和盘绕是蛋白质二级结构的内容，所以 B 项是正确的。

#### (四) 是非判断题

1. 错：脯氨酸与茚三酮反应产生黄色化合物，其它氨基酸与茚三酮反应产生蓝色化合物。

2. 对：在肽平面中，羧基碳和亚氨基氮之间的键长为 0.132nm，介于 C—N 单键和 C=N 双键之间，具有部分双键的性质，不能自由旋转。

3. 错：蛋白质具有重要的生物功能，有些蛋白质是酶，可催化特定的生化反应，有些蛋白质则具有其它的生物功能而不具有催化活性，所以不是所有的蛋白质都具有酶的活性。

4. 错： $\alpha$ -碳和羧基碳之间的键是 C—C 单键，可以自由旋转。

5. 对：在 20 种氨基酸中，除甘氨酸外都具有不对称碳原子，所以具有 L-型和 D-型 2 种不同构型，这两种不同构型的转变涉及到共价键的断裂和重新形成。

6. 错：由于甘氨酸的  $\alpha$ -碳上连接有 2 个氢原子，所以不是不对称碳原子，没有 2 种不同的立体异构体，所以不具有旋光性。其它常见的氨基酸都具有不对称碳原子，因此具有旋光性。

7. 错：必需氨基酸是指人（或哺乳动物）自身不能合成机体又必需的氨基酸，包括 8 种氨基酸。其它氨基酸人体自身可以合成，称为非必需氨基酸。

8. 对：蛋白质的一级结构是蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序，不同氨基酸的结构和化学性质不同，因而决定了多肽链形成二级结构的类型以及不同类型之间的比例以及在此基础上形成的更高层次的空间结构。如在脯氨酸存在的地方  $\alpha$ -螺旋中断，R 侧链具有大的支链的氨基酸聚集的地方妨碍螺旋结构的形成，所以一级结构在很大程度上决定了蛋白质的空间构象。

9. 错：一氨基一羧基氨基酸为中性氨基酸，其等电点为中性或接近中性，但氨基和羧基的解离度，即 pK 值不同。

10. 错：蛋白质的变性是蛋白质空间结构的破坏，这是由于维持蛋白质构象稳定的作用力次级键被破坏所造成的，但变性不引起多肽链的降解，即肽链不断裂。

11. 对：有些蛋白质是由一条多肽链构成的，只具有三级结构，不具有四级结构，如肌红蛋白。

12. 对：血红蛋白是由 4 个亚基组成的具有 4 级结构的蛋白质，当血红蛋白的一个亚基与氧结合后可加速其它亚基与氧的结合，所以具有变构效应。肌红蛋白是仅有一条多肽链的蛋白质，具有三级结构，不具有

四级结构，所以在与氧的结合过程中不表现出变构效应。

13. 错：Edman 降解法是多肽链 N 端氨基酸残基被苯异硫氰酸酯修饰，然后从多肽链上切下修饰的残基，经层析鉴定可知 N 端氨基酸的种类，而余下的多肽链仍为一条完整的多肽链，被回收后可继续进行下一轮 Edman 反应，测定 N 末端第二个氨基酸。反应重复多次就可连续测出多肽链的氨基酸顺序。FDNB 法(Sanger 反应)是多肽链 N 末端氨基酸与 FDNB (2,4-二硝基氟苯)反应生成二硝基苯衍生物(DNP-蛋白)，然后将其进行酸水解，打断所有肽键，N 末端氨基酸与二硝基苯基结合牢固，不易被酸水解。水解产物为黄色的 N 端 DNP-氨基酸和各种游离氨基酸。将 DNP-氨基酸抽提出来并进行鉴定可知 N 端氨基酸的种类，但不能测出其后氨基酸的序列。

14. 对：大多数氨基酸的  $\alpha$ -碳原子上都有一个自由氨基和一个自由羧基，但脯氨酸和羟脯氨酸的  $\alpha$ -碳原子上连接的氨基氮与侧链的末端碳共价结合形成环式结构，所以不是自由氨基。

15. 对：蛋白质是由氨基酸组成的大分子，有些氨基酸的 R 侧链具有可解离基团，如羧基、氨基、咪唑基等等。这些基团有的可释放  $H^+$ ，有的可接受  $H^+$ ，所以使得蛋白质分子即是酸又是碱，是两性电解质。蛋白质分子中可解离 R 基团的种类和数量决定了蛋白质提供和接受  $H^+$  的能力，即决定了它的酸碱性质。

16. 对：在具有四级结构的蛋白质分子中，每个具有三级结构的多肽链是一个亚基。

17. 错：具有两个或两个以上肽键的物质才具有类似于双缩脲的结构，具有双缩脲反应，而二肽只具有一个肽键，所以不具有双缩脲反应。

18. 错：二硫键是由两个半胱氨酸的巯基脱氢氧化而形成的，所以两个半胱氨酸只能形成一个二硫键。

19. 对：盐析引起的蛋白质沉淀是由于大量的中性盐破坏了蛋白质胶体的稳定因素(蛋白质分子表面的水化膜及所带同性电荷互相排斥)，从而使蛋白质溶解度降低并沉淀，但并未破坏蛋白质的空间结构，所以不引起变性。根据不同蛋白质盐析所需的盐饱和度分段盐析可将蛋白质进行分离和纯化。

20. 错：蛋白质的空间结构包括二级结构、三级结构和四级结构三个层次，三级结构只是其中一个层次。

21. 错：维持蛋白质三级结构的作用力有氢键、离子键、疏水键、范德华力以及二硫键，其中最重要的是疏水键。

22. 错：具有四级结构的蛋白质，只有所有的亚基以特定的适当方式组装在一起时才具有生物活性，缺少一个亚基或单独一个亚基存在时都不具有生物活性。

23. 错：蛋白质变性是由于维持蛋白质构象稳定的作用力(次级键和而硫键)被破坏从而使蛋白质空间结构被破坏并产生丧失生物活性的现象。次级键被破坏以后，蛋白质结构松散，原来聚集在分子内部的疏水性氨基酸侧链伸向外部，减弱了蛋白质分子与水分子的相互作用，因而使溶解度将低。

24. 错：蛋白质二级结构的稳定性是由链内氢键维持的，如  $\alpha$ -螺旋结构和  $\beta$ -折叠结构中的氢键均起到稳定结构的作用。但并非肽链中所有的肽键都参与氢键的形成，如脯氨酸与相邻氨基酸形成的肽键，以及自由回转中的有些肽键不能形成链内氢键。

#### (五) 问答题(解题要点)

1. 答：蛋白质一级结构指蛋白质多肽链中氨基酸残基的排列顺序。因为蛋白质分子肽链的排列顺序包含了自动形成复杂的三维结构(即正确的空间构象)所需要的全部信息，所以一级结构决定其高级结构。

2. 答：蛋白质的空间结构是指蛋白质分子中原子和基团在三维空间上的排列、分布及肽链走向。蛋白质的空间结构决定蛋白质的功能。空间结构与蛋白质各自的功能是相适应的。

3. 答：(1)多肽链主链绕中心轴旋转，形成棒状螺旋结构，每个螺旋含有 3.6 个氨基酸残基，螺距为 0.54nm，氨基酸之间的轴心距为 0.15nm。

(2)  $\alpha$ -螺旋结构的稳定主要靠链内氢键，每个氨基酸的 N—H 与前面第四个氨基酸的 C=O 形成氢键。

(3)天然蛋白质的  $\alpha$ -螺旋结构大都为右手螺旋。

4. 答： $\beta$ -折叠结构又称为  $\beta$ -片层结构，它是肽链主链或某一肽段的一种相当伸展的结构，多肽链呈扇面状折叠。

(1)两条或多条几乎完全伸展的多肽链(或肽段)侧向聚集在一起，通过相邻肽链主链上的氨基和羰基之

间形成的氢键连接成片层结构并维持结构的稳定。

(2) 氨基酸之间的轴距为  $0.35\text{nm}$  (反平行式) 和  $0.325\text{nm}$  (平行式)。

(3)  $\beta$ -折叠结构有平行排列和反平行排列两种。

5. 答: 蛋白质的生物学功能从根本上来说取决于它的一级结构。蛋白质的生物学功能是蛋白质分子的自然构象所具有的属性或所表现的性质。一级结构相同的蛋白质, 其功能也相同, 二者之间有统一性和相适应性。

6. 答: 蛋白质变性作用是指在某些因素的影响下, 蛋白质分子的空间构象被破坏, 并导致其性质和生物活性改变的现象。蛋白质变性后会发生以下几方面的变化:

(1) 生物活性丧失;

(2) 理化性质的改变, 包括: 溶解度降低, 因为疏水侧链基团暴露; 结晶能力丧失; 分子形状改变, 由球状分子变成松散结构, 分子不对称性加大; 粘度增加; 光学性质发生改变, 如旋光性、紫外吸收光谱等均有所改变。

(3) 生物化学性质的改变, 分子结构伸展松散, 易被蛋白酶分解。

7. 答: 维持蛋白质空间构象稳定的作用力是次级键, 此外, 二硫键也起一定的作用。当某些因素破坏了这些作用力时, 蛋白质的空间构象即遭到破坏, 引起变性。

8. 答: 蛋白质的重要作用主要有以下几方面:

(1) 生物催化作用 酶是蛋白质, 具有催化能力, 新陈代谢的所有化学反应几乎都是在酶的催化下进行的。

(2) 结构蛋白 有些蛋白质的功能是参与细胞和组织的建成。

(3) 运输功能 如血红蛋白具有运输氧的功能。

(4) 收缩运动 收缩蛋白(如肌动蛋白和肌球蛋白)与肌肉收缩和细胞运动密切相关。

(5) 激素功能 动物体内的激素许多是蛋白质或多肽, 是调节新陈代谢的生理活性物质。

(6) 免疫保护功能 抗体是蛋白质, 能与特异抗原结合以清除抗原的作用, 具有免疫功能。

(7) 贮藏蛋白 有些蛋白质具有贮藏功能, 如植物种子的谷蛋白可供种子萌发时利用。

(8) 接受和传递信息 生物体中的受体蛋白能专一地接受和传递外界的信息。

(9) 控制生长与分化 有些蛋白参与细胞生长与分化的调控。

(10) 毒蛋白 能引起机体中毒症状和死亡的异体蛋白, 如细菌毒素、蛇毒、蝎毒、蓖麻毒素等。

9. 答: (a) 异硫氢酸苯酯; (b) 丹黄酰氯; (c) 脲、 $\beta$ -巯基乙醇; (d) 胰凝乳蛋白酶; (e) CNBr; (f) 胰蛋白酶。

10. 答: (1) 可能在 7 位和 19 位打弯, 因为脯氨酸常出现在打弯处。

(2) 13 位和 24 位的半胱氨酸可形成二硫键。

(3) 分布在外表面的为极性和带电荷的残基: Asp、Gln 和 Lys; 分布在内部的是非极性的氨基酸残基: Try、Leu 和 Val; Thr 尽管有极性, 但疏水性也很强, 因此, 它出现在外表面和内部的可能性都有。

## 第二章 第二章 核酸

### 一、知识要点

核酸分两大类: DNA 和 RNA。所有生物细胞都含有这两类核酸。但病毒不同, DNA 病毒只含有 DNA, RNA 病毒只含 RNA。

核酸的基本结构单位是核苷酸。核苷酸由一个含氮碱基(嘌呤或嘧啶), 一个戊糖(核糖或脱氧核糖)和一个或几个磷酸组成。核酸是一种多聚核苷酸, 核苷酸靠磷酸二酯键彼此连接在一起。核酸中还有少量的稀有碱基。RNA 中的核苷酸残基含有核糖, 其嘧啶碱基一般是尿嘧啶和胞嘧啶, 而 DNA 中其核苷酸含有 2'-脱氧核糖, 其嘧啶碱基一般是胸腺嘧啶和胞嘧啶。在 RNA 和 DNA 中所含的嘌呤基本上都是鸟嘌呤和腺嘌呤。核苷酸在细胞内有许多重要功能: 它们用于合成核酸以携带遗传信息; 它们还是细胞中主要的化学能



载体；是许多种酶的辅因子的结构成分，而且有些（如 cAMP、cGMP）还是细胞的第二信使。

DNA 的空间结构模型是在 1953 年由 Watson 和 Crick 两个人提出的。建立 DNA 空间结构模型的依据主要有两方面：一是由 Chargaff 发现的 DNA 中碱基的等价性，提示 A=T、G=C 间碱基互补的可能性；二是 DNA 纤维的 X-射线衍射分析资料，提示了双螺旋结构的可能性。DNA 是由两条反向直线型多核苷酸组成的双螺旋分子。单链多核苷酸中两个核苷酸之间的唯一连键是 3',5'-磷酸二酯键。按 Watson-Crick 模型，DNA 的结构特点有：两条反相平行的多核苷酸链围绕同一中心轴互绕；碱基位于结构的内侧，而亲水的糖磷酸主链位于螺旋的外侧，通过磷酸二酯键相连，形成核酸的骨架；碱基平面与轴垂直，糖环平面则与轴平行。两条链皆为右手螺旋；双螺旋的直径为 2nm，碱基堆积距离为 0.34nm，两核酸之间的夹角是 36°，每对螺旋由 10 对碱基组成；碱基按 A=T，G=C 配对互补，彼此以氢键相连系。维持 DNA 结构稳定的力量主要是碱基堆积力；双螺旋结构表面有两条螺旋凹沟，一大一小。

DNA 能够以几种不同的结构形式存在。从 B 型 DNA 转变而来的两种结构 A 型和 Z 型结构已在结晶研究中得到证实。在顺序相同的情况下 A 型螺旋较 B 型更短，具有稍大的直径。DNA 中的一些特殊顺序能引起 DNA 弯曲。带有同一条链自身互补的颠倒重复能形成发卡或十字架结构，以镜影排列的多嘧啶序列可以通过分子内折叠形成三股螺旋，被称为 H-DNA 的三链螺旋结构。由于它存在于基因调控区，因而有重要的生物学意义。

不同类型的 RNA 分子可自身回折形成发卡、局部双螺旋区，形成二级结构，并折叠产生三级结构，RNA 与蛋白质复合物则是四级结构。tRNA 的二级结构为三叶草形，三级结构为倒 L 形。mRNA 则是把遗传信息从 DNA 转移到核糖体以进行蛋白质合成的载体。

核酸的糖苷键和磷酸二酯键可被酸、碱和酶水解，产生碱基、核苷、核苷酸和寡核苷酸。酸水解时，糖苷键比磷酸酯键易于水解；嘌呤碱的糖苷键比嘧啶碱的糖苷键易于水解；嘌呤碱与脱氧核糖的糖苷键最不稳定。RNA 易被稀碱水解，产生 2'-和 3'-核苷酸，DNA 对碱比较稳定。细胞内有各种核酸酶可以分解核酸。其中限制性内切酶是基因工程的重要工具酶。

核酸的碱基和磷酸基均能解离，因此核酸具有酸碱性。碱基杂环中的氮具有结合和释放质子的能力。核苷和核苷酸的碱基与游离碱基的解离性质相近，它们是兼性离子。

核酸的碱基具有共轭双键，因而有紫外吸收的性质。各种碱基、核苷和核苷酸的吸收光谱略有区别。核酸的紫外吸收峰在 260nm 附近，可用于测定核酸。根据 260nm 与 280nm 的吸收光度 (A<sub>260</sub>) 可判断核酸纯度。

变性作用是指核酸双螺旋结构被破坏，双链解开，但共价键并未断裂。引起变性的因素很多，升高温度、过酸、过碱、纯水以及加入变性剂等都能造成核酸变性。核酸变性时，物理化学性质将发生改变，表现出增色效应。热变性一半时的温度称为熔点或变性温度，以 T<sub>m</sub> 来表示。DNA 的 G+C 含量影响 T<sub>m</sub> 值。由于 G=C 比 A=T 碱基对更稳定，因此富含 G=C 的 DNA 比富含 A=T 的 DNA 具有更高的熔解温度。根据经验公式  $xG+C = (T_m - 69.3) \times 2.44$  可以由 DNA 的 T<sub>m</sub> 值计算 G+C 含量，或由 G+C 含量计算 T<sub>m</sub> 值。

变性 DNA 在适当条件下可以复性，物化性质得到恢复，具有减色效应。用不同来源的 DNA 进行退火，可得到杂交分子。也可以由 DNA 链与互补 RNA 链得到杂交分子。杂交的程度依赖于序列同源性。分子杂交是用于研究和分离特殊基因和 RNA 的重要分子生物学技术。

染色体中的 DNA 分子是细胞内最大的大分子。许多较小的 DNA 分子，如病毒 DNA、质粒 DNA、线粒体 DNA 和叶绿体 DNA 也存在于细胞中。许多 DNA 分子，特别是细菌的染色体 DNA 和线粒体、叶绿体 DNA 是环形的。病毒和染色体 DNA 有一个共同的特点，就是它们比包装它们的病毒颗粒和细胞器要长得多，真核细胞所含的 DNA 要比细菌细胞多得多。

真核细胞染色质组织的基本单位是核小体，它由 DNA 和 8 个组蛋白分子构成的蛋白质核心颗粒组成。其中 H2A, H2B, H3, H4 各占两个分子，有一段 DNA (约 146bp) 围绕着组蛋白核心形成左手性的线圈型超螺旋。细菌染色体也被高度折叠，压缩成拟核结构，但它们比真核细胞染色体更富动态和不规则，这反映了原核生物细胞周期短和极活跃的细胞代谢。

## 二、核酸习题



### (一)名词解释

1. 单核苷酸(mononucleotide)
2. 磷酸二酯键 (phosphodiester bonds)
3. 不对称比率 (dissymmetry ratio)
4. 碱基互补规律(complementary base pairing)
5. 反密码子 (anticodon)
6. 顺反子 (cistron)
7. 核酸的变性与复性 (denaturation、renaturation)
8. 退火 (annealing)
9. 增色效应 (hyper chromic effect)
10. 减色效应 (hypo chromic effect)
11. 噬菌体 (phage)
12. 发夹结构 (hairpin structure)
13. DNA 的熔解温度 (melting temperature  $T_m$ )
14. 分子杂交 (molecular hybridization)
15. 环化核苷酸(cyclic nucleotide)

### (二) 填空题

1. DNA 双螺旋结构模型是\_\_\_\_\_于\_\_\_\_\_年提出的。
2. 核酸的基本结构单位是\_\_\_\_\_。
3. 脱氧核糖核酸在糖环\_\_\_\_\_位置不带羟基。
4. 两类核酸在细胞中的分布不同，DNA 主要位于\_\_\_\_\_中，RNA 主要位于\_\_\_\_\_中。
5. 核酸分子中的糖苷键均为\_\_\_\_\_型糖苷键。糖环与碱基之间的连键为\_\_\_\_\_键。核苷与核苷之间通过\_\_\_\_\_键连接成多聚体。
6. 核酸的特征元素\_\_\_\_\_。
7. 碱基与戊糖间是 C-C 连接的是\_\_\_\_\_核苷。
8. DNA 中的\_\_\_\_\_嘧啶碱与 RNA 中的\_\_\_\_\_嘧啶碱的氢键结合性质是相似的。
9. DNA 中的\_\_\_\_\_嘧啶碱与 RNA 中的\_\_\_\_\_嘧啶碱的氢键结合性质是相似的。
10. DNA 双螺旋的两股链的顺序是\_\_\_\_\_关系。
11. 给动物食用  $^3H$  标记的\_\_\_\_\_，可使 DNA 带有放射性，而 RNA 不带放射性。
12. B 型 DNA 双螺旋的螺距为\_\_\_\_\_，每匝螺旋有\_\_\_\_\_对碱基，每对碱基的转角是\_\_\_\_\_。
13. 在 DNA 分子中，一般来说 G-C 含量高时，比重\_\_\_\_\_， $T_m$  (熔解温度) 则\_\_\_\_\_，分子比较稳定。
14. 在\_\_\_\_\_条件下，互补的单股核苷酸序列将缔结成双链分子。
15. \_\_\_\_\_RNA 分子指导蛋白质合成，\_\_\_\_\_RNA 分子用作蛋白质合成中活化氨基酸的载体。
16. DNA 分子的沉降系数决定于\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
17. DNA 变性后，紫外吸收\_\_\_\_\_，粘度\_\_\_\_\_、浮力密度\_\_\_\_\_，生物活性将\_\_\_\_\_。
18. 因为核酸分子具有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_，所以在\_\_\_\_\_nm 处有吸收峰，可用紫外分光光度计测定。
19. 双链 DNA 热变性后，或在 pH2 以下，或在 pH12 以上时，其  $OD_{260}$ \_\_\_\_\_，同样条件下，单链 DNA 的  $OD_{260}$ \_\_\_\_\_。
20. DNA 样品的均一性愈高，其溶解过程的温度范围愈\_\_\_\_\_。
21. DNA 所在介质的离子强度越低，其溶解过程的温度范围愈\_\_\_\_\_，溶解温度愈\_\_\_\_\_，所以 DNA 应保存在较\_\_\_\_\_浓度的盐溶液中，通常为\_\_\_\_\_mol/L 的 NaCl 溶液。

22. mRNA 在细胞内的种类\_\_\_\_, 但只占 RNA 总量的\_\_\_\_, 它是以\_\_\_\_为模板合成的, 又是\_\_\_\_合成的模板。
23. 变性 DNA 的复性与许多因素有关, 包括\_\_\_\_, \_\_\_\_ , \_\_\_\_ , \_\_\_\_ , \_\_\_\_ , 等。
24. 维持 DNA 双螺旋结构稳定的主要因素是\_\_\_\_, 其次, 大量存在于 DNA 分子中的弱作用力如\_\_\_\_, \_\_\_\_和\_\_\_\_也起一定作用。
25. mRNA 的二级结构呈\_\_\_\_形, 三级结构呈\_\_\_\_形, 其 3' 末端有一共同碱基序列\_\_\_\_其功能是\_\_\_\_。
26. 常见的环化核苷酸有\_\_\_\_和\_\_\_\_。其作用是\_\_\_\_, 他们核糖上的\_\_\_\_位与\_\_\_\_位磷酸-OH 环化。
27. 真核细胞的 mRNA 帽子由\_\_\_\_组成, 其尾部由\_\_\_\_组成, 他们的功能分别是\_\_\_\_, \_\_\_\_。
28. 28. DNA 在水溶解中热变性之后, 如果将溶液迅速冷却, 则 DNA 保持\_\_\_\_状态; 若使溶液缓慢冷却, 则 DNA 重新形成\_\_\_\_。

### (三) 选择题

1. ATP 分子中各组分的连接方式是:  
A. R-A-P-P-P B. A-R-P-P-P C. P-A-R-P-P D. P-R-A-P-P
2. hnRNA 是下列哪种 RNA 的前体?  
A. tRNA B. rRNA C. mRNA D. SnRNA
3. 决定 tRNA 携带氨基酸特异性的关键部位是:  
A. -XCCA3' 末端 B. T $\psi$ C 环;  
C. DHU 环 D. 额外环 E. 反密码子环
4. 根据 Watson-Crick 模型, 求得每一微米 DNA 双螺旋含核苷酸对的平均数为: :  
A. 25400 B. 2540 C. 29411 D. 2941 E. 3505
5. 构成多核苷酸链骨架的关键是:  
A. 2' 3' -磷酸二酯键 B. 2' 4' -磷酸二酯键  
C. 2' 5' -磷酸二酯键 D. 3' 4' -磷酸二酯键 E. 3' 5' -磷酸二酯键
6. 与片段 TAGAp 互补的片段为:  
A. AGATp B. ATCTp C. TCTAp D. UAUAp
7. 含有稀有碱基比例较多的核酸是:  
A. 胞核 DNA B. 线粒体 DNA C. tRNA D. mRNA
8. 真核细胞 mRNA 帽子结构最多见的是:  
A. m7APPNmPNmP B. m7GPPNmPNmP  
C. m7UPPPNmPNmP D. m7CPPNmPNmP E. m7TPPPNmPNmP
9. 9. DNA 变性后理化性质有下述改变:  
A. 对 260nm 紫外吸收减少 B. 溶液粘度下降  
C. 磷酸二酯键断裂 D. 核苷酸断裂
10. 双链 DNA 的 Tm 较高是由于下列哪组核苷酸含量较高所致:  
A. A+G B. C+T C. A+T D. G+C E. A+C
11. 密码子 G $\psi$ A, 所识别的密码子是:  
A. CAU B. UGC C. CGU D. UAC E. 都不对
12. 真核生物 mRNA 的帽子结构中, m7G 与多核苷酸链通过三个磷酸基连接, 连接方式是:  
A. 2' -5' B. 3' -5' C. 3' -3' D. 5' -5' E. 3' -3'
13. 在 pH3.5 的缓冲液中带正电荷最多的是:  
A. AMP B. GMP C. CMP D. UMP
14. 下列对于环核苷酸的叙述, 哪一项是错误的?  
A. cAMP 与 cGMP 的生物学作用相反

B. 重要的环核苷酸有 cAMP 与 cGMP

C. cAMP 是一种第二信使

D. cAMP 分子内有环化的磷酸二酯键

15. 真核生物 DNA 缠绕在组蛋白上构成核小体，核小体含有的蛋白质是

A. H1、H2、H3、H4 各两分子 B. H1A、H1B、H2B、H2A 各两分子

C. H2A、H2B、H3A、H3B 各两分子 D. H2A、H2B、H3、H4 各两分子

E. H2A、H2B、H4A、H4B 各两分子

(四) 是非判断题

( ) 1. DNA 是生物遗传物质，RNA 则不是。

( ) 2. 脱氧核糖核苷中的糖环 3' 位没有羟基。

( ) 3. 原核生物和真核生物的染色体均为 DNA 与组蛋白的复合体。

( ) 4. 核酸的紫外吸收与溶液的 pH 值无关。

( ) 5. 生物体的不同组织中的 DNA，其碱基组成也不同。

( ) 6. 核酸中的修饰成分（也叫稀有成分）大部分是在 tRNA 中发现的。

( ) 7. DNA 的  $T_m$  值和 AT 含量有关，AT 含量高则  $T_m$  高。

( ) 8. 真核生物 mRNA 的 5' 端有一个多聚 A 的结构。

( ) 9. DNA 的  $T_m$  值随  $(A+T)/(G+C)$  比值的增加而减少。

( ) 10. B-DNA 代表细胞内 DNA 的基本构象，在某些情况下，还会呈现 A 型、Z 型和三股螺旋的局部构象。

( ) 11. DNA 复性（退火）一般在低于其  $T_m$  值约 20℃ 的温度下进行的。

( ) 12. 用碱水解核酸时，可以得到 2' 和 3' -核苷酸的混合物。

( ) 13. 生物体内，天然存在的 DNA 分子多为负超螺旋。

( ) 14. mRNA 是细胞内种类最多、含量最丰富的 RNA。

( ) 15. tRNA 的二级结构中的额外环是 tRNA 分类的重要指标。

( ) 16. 对于提纯的 DNA 样品，测得  $OD_{260}/OD_{280} < 1.8$ ，则说明样品中含有 RNA。

( ) 17. 基因表达的最终产物都是蛋白质。

( ) 18. 两个核酸样品 A 和 B，如果 A 的  $OD_{260}/OD_{280}$  大于 B 的  $OD_{260}/OD_{280}$ ，那么 A 的纯度大于 B 的纯度。

( ) 19. 毫无例外，从结构基因中 DNA 序列可以推出相应的蛋白质序列。

( ) 20. 真核生物成熟 mRNA 的两端均带有游离的 3' -OH。

(五) 简答题

1. 将核酸完全水解后可得到哪些组分？DNA 和 RNA 的水解产物有何不同？

2. 计算下列各题：

(1) T7 噬菌体 DNA，其双螺旋链的相对分子质量为  $2.5 \times 10^7$ 。计算 DNA 链的长度（设核苷酸的平均相对分子质量为 650）。

(2) 相对分子质量为  $130 \times 10^6$  的病毒 DNA 分子，每微米的质量是多少？

(3) 编码 88 个核苷酸的 tRNA 的基因有多长？

(4) 编码细胞色素 C（104 个氨基酸）的基因有多长（不考虑起始和终止序列）？

(5) 编码相对分子质量为 9.6 万的蛋白质的 mRNA，相对分子质量为多少（设每个氨基酸的平均相对分子量为 120）？

3. 对一双链 DNA 而言，若一条链中  $(A+G)/(T+C) = 0.7$ ，则：

(1) 互补链中  $(A+G)/(T+C) = ?$

- (2) 在整个 DNA 分子中  $(A+G) / (T+C) = ?$   
 (3) 若一条链中  $(A+T) / (G+C) = 0.7$ , 则互补链中  $(A+T) / (G+C) = ?$   
 (4) 在整个 DNA 分子中  $(A+T) / (G+C) = ?$
4. DNA 热变性有何特点?  $T_m$  值表示什么?
5. 在 pH7.0, 0.165mol/L NaCl 条件下, 测得某一 DNA 样品的  $T_m$  为 89.3℃。求出四种碱基百分组成。
6. 6. 述下列因素如何影响 DNA 的复性过程:  
 (1) 阳离子的存在; (2) 低于  $T_m$  的温度; (2) 高浓度的 DNA 链。
7. 核酸分子中是通过什么键连接起来的?
8. DNA 分子二级结构有哪些特点?
9. 在稳定的 DNA 双螺旋中, 哪两种力在维系分子立体结构方面起主要作用?
10. 简述 tRNA 二级结构的组成特点及其每一部分的功能。
11. 用 1mol/L 的 KOH 溶液水解核酸, 两类核酸 (DNA 及 RNA) 的水解有何不同?
12. 如何将分子量相同的单链 DNA 与单链 RNA 分开?
13. 计算下列各核酸水溶液在 pH7.0, 通过 1.0cm 光径杯时的 260nm 处的 A 值 (消光度)。已知: AMP 的摩尔消光系数  $A_{260} = 15400$   
 GMP 的摩尔消光系数  $A_{260} = 11700$   
 CMP 的摩尔消光系数  $A_{260} = 7500$   
 UMP 的摩尔消光系数  $A_{260} = 9900$   
 dTMP 的摩尔消光系数  $A_{260} = 9200$
- 求: (1) 32  $\mu$ mol/L AMP, (2) 47.5  $\mu$ mol/L CMP, (3) 6.0  $\mu$ mol/L UMP 的消光度, (4) 48  $\mu$ mol/L AMP 和 32  $\mu$ mol/L UMP 混合物的  $A_{260}$  消光度。(5)  $A_{260} = 0.325$  的 GMP 溶液的摩尔浓度(以摩尔/升表示, 溶液 pH7.0)。(6)  $A_{260} = 0.090$  的 dTMP 溶液的摩尔浓度(以摩尔/升表示, 溶液 pH7.0)。
14. 如果人体有  $10^{14}$  个细胞, 每个体细胞的 DNA 量为  $6.4 \times 10^9$  个碱基对。试计算人体 DNA 的总长度是多少? 是太阳-地球之间距离 ( $2.2 \times 10^9$  公里) 的多少倍?
15. 15. 指出在 pH2.5、pH3.5、pH6、pH8、pH11.4 时, 四种核苷酸所带的电荷数 (或所带电荷数多少的比较), 并回答下列问题:  
 (1) 电泳分离四种核苷酸时, 缓冲液应取哪个 pH 值比较合适? 此时它们是向哪一极移动? 移动的快慢顺序如何?  
 (2) 当要把上述四种核苷酸吸附于阴离子交换树脂柱上时, 应调到什么 pH 值?  
 (3) 如果用洗脱液对阴离子交换树脂上的四种核苷酸进行洗脱分离时, 洗脱液应调到什么 pH 值? 这四种核苷酸上的洗脱顺序如何? 为什么?

### 三、习题解答

#### (一) 名词解释

1. 单核苷酸(mononucleotide): 核苷与磷酸缩合生成的磷酸酯称为单核苷酸。
2. 磷酸二酯键 (phosphodiester bonds): 单核苷酸中, 核苷的戊糖与磷酸的羟基之间形成的磷酸酯键。
3. 不对称比率 (dissymmetry ratio): 不同生物的碱基组成由很大的差异, 这可用不对称比率  $(A+T) / (G+C)$  表示。
4. 碱基互补规律(complementary base pairing): 在形成双螺旋结构的过程中, 由于各种碱基的大小与结构的不同, 使得碱基之间的互补配对只能在  $G \cdots C$  (或  $C \cdots G$ ) 和  $A \cdots T$  (或  $T \cdots A$ ) 之间进行, 这种碱基配对的规律就称为碱基配对规律 (互补规律)。
5. 反密码子 (anticodon): 在 tRNA 链上有三个特定的碱基, 组成一个密码子, 由这些反密码子按碱基配对原则识别 mRNA 链上的密码子。反密码子与密码子的方向相反。



6. 6. 顺反子 (cistron): 基因功能的单位; 一段染色体, 它是一种多肽链的密码; 一种结构基因。
7. 7. 核酸的变性、复性 (denaturation、renaturation): 当呈双螺旋结构的 DNA 溶液缓慢加热时, 其中的氢键便断开, 双链 DNA 便脱解为单链, 这叫做核酸的“溶解”或变性。在适宜的温度下, 分散开的两条 DNA 链可以完全重新结合成和原来一样的双股螺旋。这个 DNA 螺旋的重组过程称为“复性”。
8. 8. 退火 (annealing): 当将双股链呈分散状态的 DNA 溶液缓慢冷却时, 它们可以发生不同程度的重新结合而形成双链螺旋结构, 这现象称为“退火”。
9. 9. 增色效应 (hyper chromic effect): 当 DNA 从双螺旋结构变为单链的无规则卷曲状态时, 它在 260nm 处的吸收便增加, 这叫“增色效应”。
10. 10. 减色效应 (hypo chromic effect): DNA 在 260nm 处的光密度比在 DNA 分子中的各个碱基在 260nm 处吸收的光密度的总和小得多 (约少 35%~40%), 这现象称为“减色效应”。
11. 11. 噬菌体 (phage): 一种病毒, 它可破坏细菌, 并在其中繁殖。也叫细菌的病毒。
12. 12. 发夹结构 (hairpin structure): RNA 是单链线形分子, 只有局部区域为双链结构。这些结构是由于 RNA 单链分子通过自身回折使得互补的碱基对相遇, 形成氢键结合而成的, 称为发夹结构。
13. 13. DNA 的溶解温度 ( $T_m$  值): 引起 DNA 发生“溶解”的温度变化范围只不过几度, 这个温度变化范围的中点称为溶解温度 ( $T_m$ )。
14. 14. 分子杂交 (molecular hybridization): 不同的 DNA 片段之间, DNA 片段与 RNA 片段之间, 如果彼此间的核苷酸排列顺序互补也可以复性, 形成新的双螺旋结构。这种按照互补碱基配对而使不完全互补的两条多核苷酸相互结合的过程称为分子杂交。
15. 15. 环化核苷酸 (cyclic nucleotide): 单核苷酸中的磷酸基分别与戊糖的 3' -OH 及 5' -OH 形成酯键, 这种磷酸内酯的结构称为环化核苷酸。

## (二) 填空题

1. 1. Watson-Crick; 1953
2. 2. 核苷酸
3. 3. 2'
4. 4. 细胞核; 细胞质
5. 5.  $\beta$ ; 糖苷; 磷酸二酯键
6. 6. 磷
7. 7. 假尿嘧啶
8. 8. 胸腺; 尿
9. 9. 胸腺; 尿
10. 10. 反向平行、互补
11. 11. 胸腺嘧啶
12. 12. 3.4nm; 10; 36°
13. 13. 大; 高
14. 14. 退火
15. 15. mRNA; tRNA
16. 16. 分子大小; 分子形状
17. 17. 增加; 下降; 升高; 丧失
18. 18. 嘌呤; 嘧啶; 260
19. 19. 增加; 不变
20. 20. 窄
21. 21. 宽; 低; 高; 1

22. 22. 多; 5%; DNA; 蛋白质
23. 23. 样品的均一度; DNA 的浓度; DNA 片段大小; 温度的影响; 溶液离子强度
24. 24. 碱基堆积力; 氢键; 离子键; 范德华力
25. 25. 三叶草; 倒 L 型; CCA; 携带活化的氨基酸
26. 26. cAMP; cGMP; 第二信使; 3'; 5'
27. 27. m7G; polyA; m7G 识别起始信号的一部分; polyA 对 mRNA 的稳定性具有一定影响
28. 28. 单链; 双链

### (三) 选择题

1. B: ATP 分子中各组分的连接方式为: 腺嘌呤-核糖-三磷酸, 既 A-R-P-P-P。
2. C: hnRNA 是核不均一 RNA, 在真核生物细胞核中, 为真核 mRNA 的前体。
3. E: tRNA 的功能是以它的反密码子区与 mRNA 的密码子碱基互补配对, 来决定携带氨基酸的特异性。
4. D: 根据 Watson-Crick 模型, 每对碱基间的距离为 0.34nm, 那么 1 μm DNA 双螺旋平均含有 1000nm/0.34nm 个核苷酸对数, 即 2941 对。
5. E: 核苷酸是通过 3'5'-磷酸二酯键连结成多核苷酸链的。
6. C: 核酸是具有极性的分子, 习惯上以 5' → 3' 的方向表示核酸片段, TAGAp 互补的片段也要按 5' → 3' 的方向书写, 即 TCTAp。
7. C: tRNA 含有稀有碱基比例较多的核酸。
8. B: 真核细胞 mRNA 帽子结构最多见的是通过 5', 5'-磷酸二酯键连接的甲基鸟嘌呤核苷酸, 即 m7GPPNmP。
9. B: 核酸的变性指核酸双螺旋区的氢键断裂, 变成单链的无规则的线团, 并不涉及共价键的断裂。一系列物化性质也随之发生改变: 粘度降低, 浮力密度升高等, 同时改变二级结构, 有时可以失去部分或全部生物活性。DNA 变性后, 由于双螺旋解体, 碱基堆积已不存在, 藏于螺旋内部的碱基暴露出来, 这样就使得变性后的 DNA 对 260nm 紫外光的吸光率比变性前明显升高(增加), 这种现象称为增色效应。因此判断只有 B 对。
10. D: 因为 G≡C 对比 A=T 对更为稳定, 故 G≡C 含量越高的 DNA 的变性是 Tm 值越高, 它们成正比关系。
11. D: ψ 为假尿苷酸, 其中的 U 可以与 A 配对, 所以反密码子 GψA, 所识别的密码子是 UAC。
12. D: 参照选择题 8。
13. C: 在 pH3.5 的缓冲液中, C 是四种碱基中获得正电荷最多的碱基。
14. A: 在生物细胞中存在的环化核苷酸, 研究得最多的是 3', 5'-环腺苷酸(cAMP) 和 3', 5'-环鸟苷酸(cGMP)。它们是由其分子内的磷酸与核糖的 3', 5' 碳原子形成双酯环化而成的。都是一种具有代谢调节作用的环化核苷酸。常被称为生物调节的第二信使。
15. D: 真核染色质主要的组蛋白有五种——H1、H2A、H2B、H3、H4。DNA 和组蛋白形成的复合物就叫核小体, 核小体是染色质的最基本结构单位, 成球状, 每个核小体含有 8 个组蛋白, 各含两个 H2A、H2B、H3、H4 分子, 球状体之间有一定间隔, 被 DNA 链连成串珠状。

### (四) 是非判断题

1. 错: RNA 也是生命的遗传物质。
2. 错: 脱氧核糖核苷中的糖环 2' 位没有羟基。
3. 错: 真核生物的染色体为 DNA 与组蛋白的复合体, 原核生物的染色体为 DNA 与碱性精胺、亚精胺结合。
4. 错: 核酸的紫外吸收与溶液的 pH 值有关。
5. 错: 生物体的不同组织中的 DNA, 其碱基组成也不同。

6. 对：核酸中的修饰成分（也叫稀有成分）大部分是在 tRNA 中发现的。
7. 错：DNA 的  $T_m$  值和 GC 含量有关，GC 含量高则  $T_m$  高。
8. 错：真核生物 mRNA 的 3' 端有一个多聚 A 的结构。
9. 对：(G+C) 含量减少，DNA 的  $T_m$  值减少，(A+T) / (G+C) 比值的增加。
10. 对：在细胞内，B-DNA 代表 DNA 的基本构象，但在不同某些情况下，也会呈现 A 型、Z 型和三股螺旋的局部构象。
11. 对：DNA 复性（退火）一般在低于其  $T_m$  值约 20~25℃ 的温度下进行的。
12. 对：用碱水解核酸时，先生成 2',3'-环核苷酸，再水解为 2' 或 3'-核苷酸。
13. 对：生物体内，负超螺旋 DNA 容易解链，便于进行复制、转录等反应。
14. 错：mRNA 是细胞内种类最多、但含量很低的 RNA。细胞中含量最丰富的 RNA 是 rRNA。
15. 对：不同 tRNA 中额外环大小差异很大，因此可以作为 tRNA 分类的重要指标。
16. 错：对于提纯的 DNA 样品，如果测得  $OD_{260}/OD_{280} < 1.8$ ，则说明样品中有蛋白质。
17. 错：基因表达的最终产物可以是蛋白质或 RNA。
18. 错：核酸样品的纯度可以根据样品的  $OD_{260}/OD_{280}$  的比值判断，纯的 DNA 样品  $OD_{260}/OD_{280} = 1.8$ ，纯的 RNA 样品  $OD_{260}/OD_{280} = 2.0$ 。
19. 错：真核生物的结构基因中包括内含子和外显子部分，经转录、加工后只有外显子部分翻译成蛋白质，与蛋白质氨基酸序列相对应。
20. 对：真核生物成熟 mRNA 的 5' 为帽子结构，即 m<sup>7</sup>G (5') PPP (5') Nm<sup>-</sup>，因此两 5' 端也是 3' -OH。

（五）问答题及计算题（解题要点）

1. 答：核酸完全水解后可得到碱基、戊糖、磷酸三种组分。DNA 和 RNA 的水解产物戊糖、嘧啶碱基不同。
2. 答：(1)  $(2.5 \times 107/650) \times 0.34 = 1.3 \times 104 \text{ nm} = 13 \mu \text{ m}$ 。  
(2)  $650/0.34 = 1.9 \times 106/\mu \text{ m}$ 。  
(3)  $88 \times 0.34 \text{ nm} = 30 \text{ nm} = 0.3 \mu \text{ m}$ 。  
(4)  $104 \times 3 \times 0.34 = 106 \text{ nm} \approx 0.11 \mu \text{ m}$ 。  
(5)  $(96000/120) \times 3 \times 320 = 76800$ 。
3. 答：(1) 设 DNA 的两条链分别为  $\alpha$  和  $\beta$ ，那么：  
 $A = \beta T$ ,  $T = \alpha A$ ,  $G = \beta C$ ,  $C = \alpha G$ ，  
因为， $(A_{\alpha} + G_{\alpha}) / (T_{\beta} + C_{\beta}) = (A_{\alpha} + G_{\alpha}) / (A_{\beta} + G_{\beta}) = 0.7$   
所以，互补链中  $(A_{\beta} + G_{\beta}) / (T_{\alpha} + C_{\alpha}) = 1/0.7 = 1.43$   
(2) 在整个 DNA 分子中，因为  $A = T$ ,  $G = C$ ，  
所以， $A + G = T + C$ ,  $(A + G) / (T + C) = 1$   
(3) 假设同 (1)，则  
 $A_{\alpha} + T_{\alpha} = T_{\beta} + A_{\beta}$ ,  $G_{\alpha} + C_{\alpha} = C_{\beta} + G_{\beta}$ ，  
所以， $(A_{\alpha} + T_{\alpha}) / (G_{\alpha} + C_{\alpha}) = (A_{\beta} + T_{\beta}) / (G_{\beta} + C_{\beta}) = 0.7$   
(4) 在整个 DNA 分子中  
 $(A_{\alpha} + T_{\alpha} + A_{\beta} + T_{\beta}) / (G_{\alpha} + C_{\alpha} + G_{\beta} + C_{\beta}) = 2(A_{\alpha} + T_{\alpha}) / 2(G_{\alpha} + C_{\alpha}) = 0.7$
4. 答：将 DNA 的稀盐溶液加热到 70~100℃ 几分钟后，双螺旋结构即发生破坏，氢键断裂，两条链彼此分开，形成无规则线团状，此过程为 DNA 的热变性，有以下特点：变性温度范围很窄，260nm 处的紫外吸收增加；粘度下降；生物活性丧失；比旋度下降；酸碱滴定曲线改变。 $T_m$  值代表核酸的变性温度（熔解温度、熔点）。在数值上等于 DNA 变性时摩尔消光值（紫外吸收）达到最大变化值半数时所对应的温度。
5. 答：为  $(G + C) \% = (T_m - 69.3) \times 2.44 \times \%$   
 $= (89.3 - 69.3) \times 2.44 \times \%$   
 $= 48.8\%$

$$G = C = 24.4\%$$

$$(A + T)\% = 1 - 48.8\% = 51.2\%$$

$$A = T = 25.6\%$$

6. 答：(1) 阳离子的存在可中和 DNA 中带负电荷的磷酸基团，减弱 DNA 链间的静电作用，促进 DNA 的复性；

(2) 低于  $T_m$  的温度可以促进 DNA 复性；

(3) DNA 链浓度增高可以加快互补链随机碰撞的速度、机会，从而促进 DNA 复性。

7. 答：核酸分子中是通过 3', 5'-磷酸二酯键连接起来的。

8. 答：按 Watson-Crick 模型，DNA 的结构特点有：两条反相平行的多核苷酸链围绕同一中心轴互绕；碱基位于结构的内侧，而亲水的糖磷酸主链位于螺旋的外侧，通过磷酸二酯键相连，形成核酸的骨架；碱基平面与轴垂直，糖环平面则与轴平行。两条链皆为右手螺旋；双螺旋的直径为 2nm，碱基堆积距离为 0.34nm，两核酸之间的夹角是  $36^\circ$ ，每对螺旋由 10 对碱基组成；碱基按  $A=T$ ， $G=C$  配对互补，彼此以氢键相联系。维持 DNA 结构稳定的力量主要是碱基堆积力；双螺旋结构表面有两条螺旋凹沟，一大一小。

9. 答：在稳定的 DNA 双螺旋中，碱基堆积力和碱基配对氢键在维系分子立体结构方面起主要作用。

10. 答：tRNA 的二级结构为三叶草结构。其结构特征为：

(1) tRNA 的二级结构由四臂、四环组成。已配对的片段称为臂，未配对的片段称为环。

(2) 叶柄是氨基酸臂。其上含有 CCA-OH<sub>3'</sub>，此结构是接受氨基酸的位置。

(3) 氨基酸臂对面是反密码子环。在它的中部含有三个相邻碱基组成的反密码子，可与 mRNA 上的密码子相互识别。

(4) 左环是二氢尿嘧啶环 (D 环)，它与氨基酰-tRNA 合成酶的结合有关。

(5) 右环是假尿嘧啶环 (T $\Psi$ C 环)，它与核糖体的结合有关。

(6) 在反密码子与假尿嘧啶环之间的是可变环，它的大小决定着 tRNA 分子大小。

11. 答：不同。RNA 可以被水解成单核苷酸，而 DNA 分子中的脱氧核糖 2' 碳原子上没有羟基，所以 DNA 不能被碱水解。

12. 答：(1) 用专一性的 RNA 酶与 DNA 酶分别对两者进行水解。

(2) 用碱水解。RNA 能够被水解，而 DNA 不被水解。

(3) 进行颜色反应。二苯胺试剂可以使 DNA 变成蓝色；苔黑酚 (地衣酚) 试剂能使 RNA 变成绿色。

(4) 用酸水解后，进行单核苷酸的分析 (层析法或电泳法)，含有 U 的是 RNA，含有 T 的是 DNA。

13. 答：已知：(1)  $32 \mu\text{mol/L}$  AMP 的  $A_{260}$  消光度

$$A_{260} = 32 \times 10^{-6} \times 15400 = 0.493$$

(2)  $47.5 \mu\text{mol/L}$  CMP 的  $A_{260}$  消光度

$$A_{260} = 47.5 \times 10^{-6} \times 7500 = 0.356$$

(3)  $6.0 \mu\text{mol/L}$  UMP 的  $A_{260}$  消光度

$$A_{260} = 6.0 \times 10^{-6} \times 9900 = 0.0594$$

(4)  $48 \mu\text{mol/L}$  AMP 和  $32 \mu\text{mol/L}$  UMP 混合物的  $A_{260}$  消光度

$$A_{260} = 32 \times 10^{-6} \times 9900 + 48 \times 10^{-6} \times 15400 = 0.493 + 0.736 = 1.229$$

$$(5) 0.325/11700 = 2.78 \times 10^{-5} \text{mol/L}$$

$$(6) 0.090/9200 = 9.78 \times 10^{-6} \text{mol/L}$$

14. 答：(1) 每个体细胞的 DNA 的总长度为：

$$6.4 \times 10^9 \times 0.34 \text{nm} = 2.176 \times 10^9 \text{nm} = 2.176 \text{m}$$

(2) 人体内所有体细胞的 DNA 的总长度为：

$$2.176 \text{m} \times 10^{14} = 2.176 \times 10^{11} \text{km}$$

(3) 这个长度与太阳-地球之间距离 ( $2.2 \times 10^9$  公里) 相比为：

$$2.176 \times 10^{11} / 2.2 \times 10^9 = 99 \text{ 倍}$$



15. 15. 答：种核苷酸带电荷情况：

	pH2.5	pH3.5	pH6	pH8	pH11.4
UMP	负电荷最多	-1	-1.5	-2	-3
GMP	负电荷较多	-0.95	-1.5	-2	-3
AMP	负电荷较少	-0.46	-1.5	-2	-2
CMP	带正电荷	-0.16	-1.5	-2	-2

(1) 电泳分离四种核苷酸时应取 pH3.5 的缓冲液，在该 pH 值时，这四种单核苷酸之间所带负电荷差异较大，它们都向正极移动，但移动的速度不同，依次为：

UMP>GMP>AMP>CMP

(2) 应取 pH8.0，这样可使核苷酸带较多负电荷，利于吸附于阴离子交换树脂柱。虽然 pH11.4 时核苷酸带有更多的负电荷，但 pH 过稿对树脂不利。

(3) 洗脱液应调到 pH2.5。当不考虑树脂的非极性吸附时洗脱顺序为 CMP>AMP>UMP>GMP（根据 pH2.5 时核苷酸负电荷的多少来决定洗脱速度），但实际上核苷酸和聚苯乙烯阴离子交换树脂之间存在着非极性吸附，嘌呤碱基的非极性吸附是嘧啶碱基的 3 倍。静电吸附与非极性吸附共同作用的结果使洗脱顺序为：

CMP>AMP>UMP>GMP。

### 第三章 酶与辅酶

#### 一、知识要点

在生物体的活细胞中每分每秒都进行着成千上万的大量生物化学反应，而这些反应却能有条不紊地进行且速度非常快，使细胞能同时进行各种降解代谢及合成代谢，以满足生命活动的需要。生物细胞之所以能在常温常压下以极高的速度和很大的专一性进行化学反应，这是由于生物细胞中存在着生物催化剂——酶。酶是生物体活细胞产生的具有特殊催化能力的蛋白质。

酶作为一种生物催化剂不同于一般的催化剂，它具有条件温和、催化效率高、高度专一性和酶活可调控性等催化特点。酶可分为氧化还原酶类、转移酶类、水解酶类、裂解酶类、异构酶类和合成酶类六大类。酶的专一性可分为相对专一性、绝对专一性和立体异构专一性，其中相对专一性又分为基团专一性和键专一性，立体异构专一性又分为旋光异构专一性、几何异构专一性和潜手性专一性。

影响酶促反应速度的因素有底物浓度 (S)、酶液浓度 (E)、反应温度 (T)、反应 pH 值、激活剂 (A) 和抑制剂 (I) 等。其中底物浓度与酶反应速度之间有一个重要的关系为米氏方程，米氏常数 (Km) 是酶的特征性常数，它的物理意义是当酶反应速度达到最大反应速度一半时的底物浓度。竞争性抑制作用、非竞争性抑制作用和反竞争性抑制作用分别对 Km 值与 Vmax 的影响是各不相同的。

酶的活性中心有两个功能部位，即结合部位和催化部位。酶的催化机理包括过渡态学说、邻近和定向效应、锁钥学说、诱导契合学说、酸碱催化和共价催化等，每个学说都有其各自的理论依据，其中过渡态学说或中间产物学说为大家所公认，诱导契合学说也为对酶的研究做了大量贡献。

胰凝乳蛋白酶是胰脏中合成的一种蛋白水解酶，其活性中心由 Asp102、His57 及 Ser195 构成一个电荷转接系统，即电荷中继网。其催化机理包括两个阶段，第一阶段为水解反应的酰化阶段，第二阶段为水解反应的脱酰阶段。

同工酶和变构酶是两种重要的酶。同工酶是指有机体内能催化相同的化学反应，但其酶蛋白本身的理化性质及生物学功能不完全相同的一组酶；变构酶是利用构象的改变来调节其催化活性的酶，是一个关键酶，催化限速步骤。

酶技术是近年来发展起来的，现在的基因工程、遗传工程、细胞工程、酶工程、生化工程和生物工程等领域都有酶技术的参与。

维生素是生物生长和生命活动中所必需的微量有机物，在天然食物中含量极少，人体自身不能合成，必须从食物中摄取。这些维生素既不是构成各种组织的主要原料，也不是体内能量的来源，它们的生理功能主

要是在物质代谢过程中起着非常重要的作用，因代谢过程离不开酶，而结合蛋白酶中的辅酶和辅基绝大多数都含有维生素成份。机体缺乏某种维生素时，代谢受阻，表现出维生素缺乏症，而植物体内能合成维生素。

## 二、习 题

### （一）名词解释

1. 米氏常数 ( $K_m$  值)
2. 底物专一性 (substrate specificity)
3. 辅基 (prosthetic group)
4. 单体酶 (monomeric enzyme)
5. 寡聚酶 (oligomeric enzyme)
6. 多酶体系 (multienzyme system)
7. 激活剂 (activator)
8. 抑制剂 (inhibitor)
9. 变构酶 (allosteric enzyme)
10. 同工酶 (isozyme)
11. 诱导酶 (induced enzyme)
12. 酶原 (zymogen)
13. 酶的比活力 (enzymatic compare energy)
14. 活性中心 (active center)

### （二）英文缩写符号

1. NAD<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide)
2. FAD (flavin adenine dinucleotide)
3. THFA (tetrahydrofolic acid)
4. NADP<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)
5. FMN (flavin mononucleotide)
6. CoA (coenzyme A)
7. ACP (acyl carrier protein)
8. BCCP (biotin carboxyl carrier protein)
9. PLP (pyridoxal phosphate)

### （三）填空题

1. 酶是            产生的，具有催化活性的           。
2. 酶具有           、          、           和            等催化特点。
3. 影响酶促反应速度的因素有           、          、          、           和           。
4. 胰凝乳蛋白酶的活性中心主要含有           、           和            基，三者构成一个氢键体系，使其中的            上的            成为强烈的亲核基团，此系统称为            系统或           。
5. 与酶催化的高效率有关的因素有           、          、          、           等。
6. 丙二酸和戊二酸都是琥珀酸脱氢酶的            抑制剂。
7. 变构酶的特点是：(1)           ，(2)           ，它不符合一般的           ，当以  $V$  对  $[S]$  作图时，它表现出            型曲线，而非            曲线。它是            酶。

8. 转氨酶的辅因子为 即维生素 。其有三种形式，分别为 、 、 ，其中 在氨基酸代谢中非常重要，是 、 和 的辅酶。
9. 叶酸以其 起辅酶的作用，它有 和 两种还原形式，后者的功能作为 载体。
10. 一条多肽链 Asn-His-Lys-Asp-Phe-Glu-Ile-Arg-Glu-Tyr-Gly-Arg 经胰蛋白酶水解可得到一个多肽。
11. 全酶由 和 组成，在催化反应时，二者所起的作用不同，其中 决定酶的专一性和高效率， 起传递电子、原子或化学基团的作用。
12. 辅助因子包括 、 和 等。其中 与酶蛋白结合紧密，需要 除去， 与酶蛋白结合疏松，可以用 除去。
13. T. R. Cech 和 S. Altman 因各自发现了 而共同获得 1989 年的诺贝尔奖（化学奖）。
14. 根据国际系统分类法，所有的酶按所催化的化学反应的性质可分为六类 、 、 、 、 、 和 。
15. 根据国际酶学委员会的规定，每一种酶都有一个唯一的编号。醇脱氢酶的编号是 EC1.1.1.1，EC 代表 ，4 个数字分别代表 、 、 和 。
16. 根据酶的专一性程度不同，酶的专一性可以分为 、 、 和 。
17. 酶的活性中心包括 和 两个功能部位，其中 直接与底物结合，决定酶的专一性， 是发生化学变化的部位，决定催化反应的性质。
18. 酶活力是指 ，一般用 表示。
19. 通常讨论酶促反应的反应速度时，指的是反应的 速度，即 时测得的反应速度。
20. 解释别构酶作用机理的假说有 模型和 模型两种。
21. 固定化酶的优点包括 ， ， 等。
22. pH 值影响酶活力的原因可能有以下几方面：影响 ，影响 ，影响 。
23. 温度对酶活力影响有以下两方面：一方面 ，另一方面 。
24. 脲酶只作用于尿素，而不作用于其他任何底物，因此它具有 专一性；甘油激酶可以催化甘油磷酸化，仅生成甘油-1-磷酸一种底物，因此它具有 专一性。
25. 酶促动力学的双倒数作图（Lineweaver-Burk 作图法），得到的直线在横轴的截距为 ，纵轴上的截距为 。
26. 磺胺类药物可以抑制 酶，从而抑制细菌生长繁殖。
27. 判断一个纯化酶的方法优劣的主要依据是酶的 和 。
28. 维生素是维持生物体正常生长所必需的一类 有机物质。主要作用是作为 的组分参与体内代谢。
29. 根据维生素的 性质，可将维生素分为两类，即 和 。
30. 维生素 B1 由 环与 环通过 相连，主要功能是以 形式，作为 和 的辅酶，转移二碳单位。
31. 维生素 B2 的化学结构可以分为二部分，即 和 ，其中 原子上可以加氢，因此有氧化型和还原型之分。
32. 维生素 B3 由 与 通过 相连而成，可以与 ， 和 共同组成辅酶 ，作为各种 反应的辅酶，传递 。
33. 维生素 B5 是 衍生物，有 ， 两种形式，其辅酶形式是 与 ，作为 酶的辅酶，起递 作用。
34. 生物素可看作由 ， ， 三部分组成，是 的辅酶，在 的固定中起重要的作用。
35. 维生素 B12 是唯一含 的维生素，由 ， 和氨基丙酸三部分组成，有多种辅酶形式。其中 是变位酶的辅酶， 是转甲基酶的辅酶。

36. 维生素 C 是\_\_\_\_\_的辅酶, 另外还具有\_\_\_\_\_作用等。

(四) 选择题

1. 酶的活性中心是指:

- A. 酶分子上含有必需基团的肽段      B. 酶分子与底物结合的部位  
C. 酶分子与辅酶结合的部位      D. 酶分子发挥催化作用的关键性结构区  
E. 酶分子有丝氨酸残基、二硫键存在的区域

2. 酶催化作用对能量的影响在于:

- A. 增加产物能量水平      B. 降低活化能      C. 降低反应物能量水平  
D. 降低反应的自由能      E. 增加活化能

3. 竞争性抑制剂作用特点是:

- A. 与酶的底物竞争激活剂      B. 与酶的底物竞争酶的活性中心  
C. 与酶的底物竞争酶的辅基      D. 与酶的底物竞争酶的必需基团;

E. 与酶的底物竞争酶的变构剂

4. 竞争性可逆抑制剂抑制程度与下列那种因素无关:

- A. 作用时间      B. 抑制剂浓度      C. 底物浓度  
D. 酶与抑制剂的亲和力的大小      E. 酶与底物的亲和力的大小

5. 哪一种情况可用增加[S]的方法减轻抑制程度:

- A. 不可逆抑制作用      B. 竞争性可逆抑制作用      C. 非竞争性可逆抑制作用  
D. 反竞争性可逆抑制作用      E. 无法确定

6. 酶的竞争性可逆抑制剂可以使:

- A.  $V_{max}$  减小,  $K_m$  减小      B.  $V_{max}$  增加,  $K_m$  增加  
C.  $V_{max}$  不变,  $K_m$  增加      D.  $V_{max}$  不变,  $K_m$  减小  
E.  $V_{max}$  减小,  $K_m$  增加

7. 下列常见抑制剂中, 除哪个外都是不可逆抑制剂:

- A. 有机磷化合物      B. 有机汞化合物      C. 有机砷化合物  
D. 氰化物      E. 磺胺类药物

8. 酶的活化和去活化循环中, 酶的磷酸化和去磷酸化位点通常在酶的哪一种氨基酸残基上:

- A. 天冬氨酸      B. 脯氨酸      C. 赖氨酸  
D. 丝氨酸      E. 甘氨酸

9. 在生理条件下, 下列哪种基团既可以作为  $H^+$  的受体, 也可以作为  $H^+$  的供体:

- A. His 的咪唑基      B. Lys 的  $\epsilon$  氨基      C. Arg 的胍基  
D. Cys 的巯基      E. Trp 的吲哚基

10. 对于下列哪种抑制作用, 抑制程度为 50% 时,  $[I]=K_i$  :

- A. 不可逆抑制作用      B. 竞争性可逆抑制作用  
C. 非竞争性可逆抑制作用      D. 反竞争性可逆抑制作用      E. 无法确定

11. 下列辅酶中的哪个不是来自于维生素:

- A. CoA      B. CoQ      C. PLP      D. FH<sub>2</sub>      E. FMN

12. 下列叙述中哪一种是正确的:

- A. 所有的辅酶都包含维生素组分  
B. 所有的维生素都可以作为辅酶或辅酶的组分  
C. 所有的 B 族维生素都可以作为辅酶或辅酶的组分  
D. 只有 B 族维生素可以作为辅酶或辅酶的组分

13. 多食糖类需补充:

- A. 维生素 B1      B. 维生素 B2      C. 维生素 B5



- D. 维生素 B6      E. 维生素 B7
14. 多食肉类，需补充：
- A. 维生素 B1      B. 维生素 B2      C. 维生素 B5  
D. 维生素 B6      E. 维生素 B7
15. 以玉米为主食，容易导致下列哪种维生素的缺乏：
- A. 维生素 B1      B. 维生素 B2      C. 维生素 B5  
D. 维生素 B6      E. 维生素 B7
16. 下列化合物中除哪个外，常作为能量合剂使用：
- A. CoA      B. ATP      C. 胰岛素      D. 生物素
17. 下列化合物中哪个不含环状结构：
- A. 叶酸      B. 泛酸      C. 烟酸      D. 生物素      E. 核黄素
18. 下列化合物中哪个不含腺苷酸组分：
- A. CoA      B. FMN      C. FAD      D. NAD<sup>+</sup>      E. NADP<sup>+</sup>
19. 需要维生素 B6 作为辅酶的氨基酸反应有：
- A. 成盐、成酯和转氨      B. 成酰氯反应      C. 烷基化反应  
D. 成酯、转氨和脱羧      E. 转氨、脱羧和消旋

(五) 是非判断题

- ( ) 1. 酶促反应的初速度与底物浓度无关。
- ( ) 2. 当底物处于饱和水平时，酶促反应的速度与酶浓度成正比。
- ( ) 3. 某些酶的  $K_m$  由于代谢产物存在而发生改变，而这些代谢产物在结构上与底物无关。
- ( ) 4. 某些调节酶的  $V-[S]$  的 S 形曲线表明，酶与少量底物的结合增加了酶对后续底物分子的亲和力。
- ( ) 5. 测定酶活力时，底物浓度不必大于酶浓度。
- ( ) 6. 测定酶活力时，一般测定产物生成量比测定底物消耗量更为准确。
- ( ) 7. 在非竞争性抑制剂存在下，加入足量的底物，酶促的反应能够达到正常  $V_{max}$ 。
- ( ) 8. 碘乙酸因可与活性中心-SH 以共价键结合而抑制巯基酶，而使糖酵解途径受阻。
- ( ) 9. 诱导酶是指当细胞加入特定诱导物后，诱导产生的酶，这种诱导物往往是该酶的产物。
- ( ) 10. 酶可以促成化学反应向正反应方向转移。
- ( ) 11. 对于可逆反应而言，酶既可以改变正反应速度，也可以改变逆反应速度。
- ( ) 12. 酶只能改变化学反应的活化能而不能改变化学反应的平衡常数。
- ( ) 13. 酶活力的测定实际上就是酶的定量测定。
- ( ) 14. 从鼠脑分离的己糖激酶可以作用于葡萄糖 ( $K_m=6 \times 10^{-6} \text{mol/L}$ ) 或果糖 ( $K_m=2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ )，则己糖激酶对果糖的亲和力更高。
- ( ) 15.  $K_m$  是酶的特征常数，只与酶的性质有关，与酶浓度无关
- ( ) 16.  $K_m$  是酶的特征常数，在任何条件下， $K_m$  是常数。
- ( ) 17.  $K_m$  是酶的特征常数，只与酶的性质有关，与酶的底物无关。
- ( ) 18. 一种酶有几种底物就有几种  $K_m$  值。
- ( ) 19. 当  $[S] \gg K_m$  时， $V$  趋向于  $V_{max}$ ，此时只有通过增加  $[E]$  来增加  $V$ 。
- ( ) 20. 酶的最适 pH 值是一个常数，每一种酶只有一个确定的最适 pH 值。
- ( ) 21. 酶的最适温度与酶的作用时间有关，作用时间长，则最适温度高，作用时间短，则最适温度低。
- ( ) 22. 金属离子作为酶的激活剂，有的可以相互取代，有的可以相互拮抗。
- ( ) 23. 增加不可逆抑制剂的浓度，可以实现酶活性的完全抑制。
- ( ) 24. 竞争性可逆抑制剂一定与酶的底物结合在酶的同部位。
- ( ) 25. 由 1g 粗酶制剂经纯化后得到 10mg 电泳纯的酶制剂，那么酶的比活较原来提高了 100 倍。

- ( ) 26. 酶反应的最适 pH 值只取决于酶蛋白本身的结构。
- ( ) 27. 所有 B 族维生素都是杂环化合物。
- ( ) 28. B 族维生素都可以作为辅酶的组分参与代谢。
- ( ) 29. 脂溶性维生素都不能作为辅酶参与代谢。
- ( ) 30. 除了动物外, 其他生物包括植物、微生物的生长也有需要维生素的现象。
- ( ) 31. 植物的某些器官可以自行合成某些维生素, 并供给植物整体生长所需。
- ( ) 32. 维生素 E 不容易被氧化, 因此可做抗氧化剂。

#### (六) 问答题及计算题

- 怎样证明酶是蛋白质?
  - 简述酶作为生物催化剂与一般化学催化剂的共性及其个性?
  - 简述 Cech 及 Altman 是如何发现具有催化活性的 RNA 的?
  - 试指出下列每种酶具有哪种类型的专一性?
    - 脲酶 (只催化尿素  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  的水解, 但不能作用于  $\text{NH}_2\text{CONHCH}_3$ );
    - $\beta$ -D-葡萄糖苷酶 (只作用于  $\beta$ -D-葡萄糖形成的各种糖苷, 但不能作用于其他的糖苷, 例如果糖苷);
    - 酯酶 (作用于  $\text{R}_1\text{COOR}_2$  的水解反应);
    - L-氨基酸氧化酶 (只作用于 L-氨基酸, 而不能作用于 D-氨基酸);
    - 反丁烯二酸水合酶 [只作用于反丁烯二酸 (延胡索酸), 而不能作用于顺丁烯二酸 (马来酸)];
    - 甘油激酶 (催化甘油磷酸化, 生成甘油-1-磷酸)。
  - 称取 25mg 蛋白酶配成 25mL 溶液, 取 2mL 溶液测得含蛋白氮 0.2mg, 另取 0.1mL 溶液测酶活力, 结果每小时可以水解酪蛋白产生 1500  $\mu\text{g}$  酪氨酸, 假定 1 个酶活力单位定义为每分钟产生 1  $\mu\text{g}$  酪氨酸的酶量, 请计算:
    - 酶溶液的蛋白浓度及比活。
    - 每克纯酶制剂的总蛋白含量及总活力。
  - $V_{\text{max}}$  与米氏常数可以通过作图法求得, 试比较  $V \sim [S]$  图, 双倒数图,  $V \sim V/[S]$  作图,  $[S]/V \sim [S]$  作图及直接线性作图法求  $V_{\text{max}}$  和  $K_m$  的优缺点?
  - (1) 为什么某些肠道寄生虫如蛔虫在体内不会被消化道内的胃蛋白酶、胰蛋白酶消化?  
(2) 为什么蚕豆必须煮熟后食用, 否则容易引起不适?
  - 使用下表数据, 作图判断抑制剂类型 (竞争性还是非竞争性可逆抑制剂)?
- | [S] mmol/L                    | 2.0 | 3.0  | 4.0  | 10.0 | 15.0 |              |
|-------------------------------|-----|------|------|------|------|--------------|
| 每小时形成产物的量 ( $\mu\text{mol}$ ) |     | 13.9 | 17.9 | 21.3 | 31.3 | 37.0 (没有抑制剂) |
| 每小时形成产物的量 ( $\mu\text{mol}$ ) | 8.8 | 12.1 | 14.9 | 25.7 | 31.3 | 31.3 (有抑制剂)  |
- 甘油醛-3-磷酸脱氢酶 ( $M_r$  150 000) 的活性位点有一个 Cys 残基, 假定为使 5mL 的 1.2mg/mL 的酶溶液完全失活, 需要  $3.0 \times 10^{-2}\text{mg}$  碘乙酰胺 ( $M_r$  185), 计算酶的催化亚基的数目?
  - 对活细胞的实验测定表明, 酶的底物浓度通常就在这种底物的  $K_m$  值附近, 请解释其生理意义? 为什么底物浓度不是大大高于  $K_m$  或大大低于  $K_m$  呢?
  - 有时别构酶的活性可以被低浓度的竞争性抑制剂激活, 请解释?
  - (1) 对于一个遵循米氏动力学的酶而言, 当  $[S]=K_m$  时, 若  $V=35 \mu\text{mol/min}$ ,  $V_{\text{max}}$  是多少  $\mu\text{mol/min}$ ?  
(2) 当  $[S]=2 \times 10^{-5}\text{mol/L}$ ,  $V=40 \mu\text{mol/min}$ , 这个酶的  $K_m$  是多少?  
(3) 若 I 表示竞争性抑制剂,  $K_I=4 \times 10^{-5}\text{mol/L}$ , 当  $[S]=3 \times 10^{-2}\text{mol/L}$  和  $[I]=3 \times 10^{-5}\text{mol/L}$  时,  $V$  是多少?  
(4) 若 I 是非竞争性抑制剂, 在  $K_I$ 、 $[S]$  和  $[I]$  条件与 (3) 中相同时,  $V$  是多少?  
(2) 计算  $[S]=1.0 \times 10^{-6}\text{mol/L}$  和  $[S]=1.0 \times 10^{-1}\text{mol/L}$  时的  $v$ ?

(3) 计算 $[S]=2.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$  或  $[S]=2.0 \times 10^{-6} \text{mol/L}$  时最初 5min 内的产物总量?

(4) 假如每一个反应体系中酶浓度增加到 4 倍时,  $K_m$ ,  $V_{max}$  是多少?

13. 在很多酶的活性中心均有 His 残基参与, 请解释?

22. 将下列化学名称与 B 族维生素及其辅酶形式相匹配?

(A) 泛酸; (B) 烟酸; (C) 叶酸; (D) 硫胺素; (E) 核黄素; (F) 吡哆素; (G) 生物素。

(1) B1 ; (2) B2 ; (3) B3 ; (4) B5 ; (5) B6 ; (6) B7 ; (7) B11; (8) B12。

(I) FMN; (II) FAD; (III) NAD<sup>+</sup>; (IV) NADP<sup>+</sup>; (V) CoA; (VI) PLP; (VII) PMP; (VIII) FH<sub>2</sub>, FH<sub>4</sub>; (IX) TPP。

三、辅酶习题解答

### (一) (一) 名词解释

1. 米氏常数 ( $K_m$  值): 用  $K_m$  值表示, 是酶的一个重要参数。 $K_m$  值是酶反应速度 ( $V$ ) 达到最大反应速度 ( $V_{max}$ ) 一半时底物的浓度 (单位 M 或 mM)。米氏常数是酶的特征常数, 只与酶的性质有关, 不受底物浓度和酶浓度的影响。

2. 底物专一性: 酶的专一性是指酶对底物及其催化反应的严格选择性。通常酶只能催化一种化学反应或一类相似的反应, 不同的酶具有不同程度的专一性, 酶的专一性可分为三种类型: 绝对专一性、相对专一性、立体专一性。

3. 辅基: 酶的辅因子或结合蛋白质的非蛋白部分, 与酶或蛋白质结合得非常紧密, 用透析法不能除去。

4. 单体酶: 只有一条多肽链的酶称为单体酶, 它们不能解离为更小的单位。分子量为 13,000—35,000。

5. 寡聚酶: 有几个或多个亚基组成的酶称为寡聚酶。寡聚酶中的亚基可以是相同的, 也可以是不同的。亚基间以非共价键结合, 容易为酸碱, 高浓度的盐或其它的变性剂分离。寡聚酶的分子量从 35 000 到几百万。

6. 多酶体系: 由几个酶彼此嵌合形成的复合体称为多酶体系。多酶复合体有利于细胞中一系列反应的连续进行, 以提高酶的催化效率, 同时便于机体对酶的调控。多酶复合体的分子量都在几百万以上。

7. 激活剂: 凡是能提高酶活性的物质, 都称激活剂, 其中大部分是离子或简单的有机化合物。

8. 抑制剂: 能使酶的必需基团或酶活性部位中的基团的化学性质改变而降低酶的催化活性甚至使酶的催化活性完全丧失的物质。

9. 变构酶: 或称别构酶, 是代谢过程中的关键酶, 它的催化活性受其三维结构中的构象变化的调节。

10. 同工酶: 是指有机体内能够催化同一种化学反应, 但其酶蛋白本身的分子结构组成却有所不同的一组酶。

11. 诱导酶: 是指当细胞中加入特定诱导物后诱导产生的酶, 它的含量在诱导物存在下显著增高, 这种诱导物往往是该酶底物的类似物或底物本身。

12. 酶原: 酶的无活性前体, 通常在有限度的蛋白质水解作用后, 转变为具有活性的酶。

13. 酶的比活力: 比活力是指每毫克蛋白质所具有的活力单位数, 可以用下式表示:

$$\text{比活力} = \frac{\text{活力单位数}}{\text{蛋白质质量 (mg)}}$$

14. 活性中心: 酶分子中直接与底物结合, 并催化底物发生化学反应的部位, 称为酶的活性中心。

### (二) (二) 英文缩写符号

1. NAD<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide): 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸; 辅酶 I。

2. FAD (flavin adenine dinucleotide): 黄素腺嘌呤二核苷酸。

3. THFA (tetrahydrofolic acid): 四氢叶酸。

4. NADP<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate): 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸; 辅酶 II。
5. FMN (flavin mononucleotide): 黄素单核苷酸。
6. CoA (coenzyme A): 辅酶 A。
7. ACP (acyl carrier protein): 酰基载体蛋白。
8. BCCP (biotin carboxyl carrier protein): 生物素羧基载体蛋白。
9. PLP (pyridoxal phosphate): 磷酸吡哆醛。

### (三) 填空题

1. 活细胞; 蛋白质
2. 高效性; 专一性; 作用条件温和; 受调控
3. [E]; [S]; pH; T (温度); I (抑制剂); A (激活剂)
4. Ser195; His57; Asp102; Ser195; 氧原子; 电荷转接; 电荷中继网
5. 邻近效应; 定向效应; 诱导应变; 共价催化; 活性中心酸碱催化
6. 竞争性
7. 由多个亚基组成; 除活性中心外还有变构中心; 米氏方程; S; 双; 寡聚酶
8. 磷酸吡哆醛; VB6; 磷酸吡哆醛; 磷酸吡哆胺; 磷酸吡哆醇; 磷酸吡哆醛; 转氨酶; 脱羧酶; 消旋酶
9. 还原性产物; DHFA; THFA; 一碳单位
10. 三
11. 酶蛋白; 辅助因子; 酶蛋白; 辅助因子
12. 辅酶; 辅基; 金属离子; 辅基; 化学方法处理; 辅酶; 透析法
13. 核酶 (具有催化能力的 RNA)
14. 氧化还原酶类; 转移酶类; 水解酶类; 裂合酶类; 异构酶类; 合成酶类
15. 酶学委员会; 氧化还原酶类; 作用-CHOH 基团的亚类; 受体 NAD<sup>+</sup> 或 NADP<sup>+</sup> 的亚亚类; 序号为 1
16. 绝对专一性; 相对专一性; 立体专一性
17. 结合部位; 催化部位; 结合部位; 催化部位
18. 酶催化化学反应的能力; 一定条件下, 酶催化某一化学反应的反应速度
19. 初; 底物消耗量 < 5%
20. 齐变; 序变
21. 稳定性好; 可反复使用; 易于与反应液分离
22. 底物分子的解离状态; 酶分子的解离状态; 中间复合物的解离状态
23. 温度升高, 可使反应速度加快; 温度太高, 会使酶蛋白变性而失活
24. 绝对; 立体
25. -1/K<sub>m</sub>; 1/V<sub>max</sub>
26. 二氢叶酸合成酶
27. 比活力; 总活力
28. 微量; 辅酶
29. 溶解; 水溶性维生素; 脂溶性维生素
30. 嘧啶; 噻唑; 亚甲基; TPP; 脱羧酶; 转酮酶
31. 二甲基异咯嗪基; 核糖醇基; 1, 10 位氮
32. 丁酸衍生物; β-丙氨酸; 酰胺键; 巯基乙胺; 焦磷酸; 3'-AMP; CoA; 酰化; 酰基
33. 吡啶; 烟酸; 烟酰胺; NAD<sup>+</sup>; NADP<sup>+</sup>; 脱氢; 氢
34. 尿素; 噻吩; 戊酸侧链; 羧化酶; CO<sub>2</sub>
35. 金属元素; 咕啉环; 核苷酸; 5'-脱氧腺苷钴胺素; 甲基钴胺素
36. 羟化; 解毒



#### (四) 选择题

1. D: 酶活性中心有一个结合部位和一个催化部位, 分别决定专一性和催化效率, 是酶分子发挥作用的一个关键性小区域。
2. B: 酶是生物催化剂, 在反应前后没有发生变化, 酶之所以能使反应快速进行, 就是它降低了反应的活化能。
3. B: 酶的竞争性抑制剂与酶作用的底物的结构基本相似, 所以它与底物竞争酶的活性中心, 从而抑制酶的活性, 阻止酶与底物反应。
4. A: 竞争性可逆抑制剂抑制程度与底物浓度、抑制剂浓度、酶与抑制剂的亲和力、酶与底物的亲和力有关, 与作用时间无关。
5. B: 竞争性可逆抑制作用可用增加[S]的方法减轻抑制程度。
6. C: 酶的竞争性可逆抑制剂可以使  $V_{max}$  不变,  $K_m$  增加。
7. E: 磺胺类药物是竞争性可逆抑制剂。
8. D: 蛋白激酶可以使 ATP 分子上的  $\gamma$ -磷酸转移到一种蛋白质的丝氨酸残基的羟基上, 在磷酸基的转移过程中, 常伴有酶蛋白活性的变化, 例如肝糖原合成酶的磷酸化与脱磷酸化两种形式对糖原合成的调控是必需的。
9. A: His 咪唑基的  $pK$  值在 6.0~7.0 之间, 在生理条件下一半解离, 一半未解离, 解离的部分可以作为  $H^+$  的受体, 未解离的部分可以作为  $H^+$  的供体。
10. C: 对于非竞争性可逆抑制作用, 抑制程度为 50% 时,  $[I]=K_i$ 。
11. B: CoQ 不属于维生素, CoA 是维生素 B3 的衍生物, PLP 是维生素 B6 的衍生物, FH2 是维生素 B11 的衍生物, FMN 是维生素 B2 的衍生物。
12. C: 很多辅酶不包含维生素组分, 如 CoQ 等; 有些维生素不可以作为辅酶或辅酶的组分, 如维生素 E 等; 所有的 B 族维生素都可以作为辅酶或辅酶的组分, 但并不是只有 B 族维生素可以作为辅酶或辅酶的组分, 如维生素 K 也可以作为  $\gamma$ -羧化酶的辅酶。
13. A: 维生素 B1 以辅酶 TPP 的形式参与代谢, TPP 是丙酮酸脱氢酶系、 $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶系、转酮酶等的辅酶, 因此与糖代谢关系密切。多食糖类食物消耗的维生素 B1 增加, 需要补充。
14. D: 维生素 B6 以辅酶 PLP, PMP 的形式参与氨基酸代谢, 是氨基酸转氨酶、脱羧酶和消旋酶的辅酶, 因此多食用蛋白质类食物消耗的维生素 B6 增加, 需要补充。
15. C: 玉米中缺少合成维生素 B5 的前体—色氨酸, 因此以玉米为主食, 容易导致维生素 B5 的缺乏。
16. D: CoA、ATP 和胰岛素常作为能量合剂使用。
17. B: 泛酸是 B 族维生素中唯一不含环状结构的化合物。
18. B: FMN 是黄素单核苷酸, 不含腺苷酸组分。
19. E: VB6 以辅酶 PLP, PMP 的形式参与氨基酸代谢, 是氨基酸转氨酶、脱羧酶和消旋酶的辅酶。

#### (五) 是非判断题

1. 错: 酶促反应的初速度与底物浓度是有关的, 当其它反应条件满足时, 酶促反应的初速度与底物浓度成正比。
2. 对: 当底物足够时, 酶浓度增加, 酶促反应速度也加快, 成正比。
3. 对:  $K_m$  是酶的特征性常数, 反应的代谢产物可能影响酶性质的改变从而影响  $K_m$  的变化, 而这些代谢产物在结构上并不与底物一致。
4. 对: 调节酶大多数为变构酶, 变构酶是利用构象的改变来调节其催化活性的酶, 是一个关键酶, 催化限速步骤, 当少量底物与酶结合后, 使酶的构象发生改变从而能结合更多的底物分子。
5. 错: 底物应该过量才能更准确的测定酶的活力。
6. 对: 产物生成量比底物消耗量更易测得且准确。

7. 错：非竞争性抑制剂只和酶与底物反应的中间产物结合，酶促反应的  $V_{\max}$  是减小的，不能通过增加底物来达到正常的  $V_{\max}$ 。而竞争性抑制剂可以通过增加底物的浓度来达到  $V_{\max}$ 。
8. 对：碘乙酸是糖酵解过程中的一个抑制剂，与半胱氨酸或蛋氨酸的-SH 结合，使糖酵解途径受阻。
9. 错：诱导物一般为酶的作用底物，可诱导细胞产生特定的诱导酶。
10. 错：对于可逆反应而言，酶既可以改变正反应速度，也可以改变逆反应速度，但不改变化学反应的平衡点。
11. 对。
12. 对：酶通过降低化学反应的活化能加快化学的反应速度，但不改变化学反应的平衡常数。
13. 对：检查酶的含量及存在，不能直接用重量或体积来表示，常用它催化某一特定反应的能力来表示，即用酶的活力来表示，因此酶活力的测定实际上就是酶的定量测定。
14. 错： $K_m$  值可以近似地反应酶与底物亲和力， $K_m$  越低，亲和力越高，因此己糖激酶对葡萄糖的亲和力更高。
15. 对： $K_m$  是酶的特征常数之一，一般只与酶的性质有关，与酶浓度无关。不同的酶， $K_m$  值不同。
16. 错： $K_m$  作为酶的特征常数，只是对一定的底物、一定的 pH 值、一定的温度条件而言。
17. 错：见上题，同一种酶有几种底物就有几种  $K_m$  值，其中  $K_m$  值最小的底物一般称为酶的最适底物。
18. 对。
19. 对：当  $[S] \gg K_m$  时， $V$  趋向于  $V_{\max}$ ，因此  $v = K_3[E]$ ，所以可以通过增加  $[E]$  来增加  $V$ 。
20. 错：酶的最适 pH 值有时因底物种类、浓度及缓冲液成分不同而不同，并不是一个常数。
21. 错：酶最适温度与酶的作用时间有关，作用时间越长，则最适温度低，作用时间短，则最适温度高。
22. 对：金属离子作为酶的激活剂，有的可以相互取代，如  $Mg^{2+}$  作为激酶等的激活剂可以被  $Mn^{2+}$  取代；有的可以相互拮抗，如  $Na^+$  抑制  $K^+$  的激活作用。
23. 对：不可逆抑制剂通常以比较牢固的共价键与酶结合，而使酶失活，不能用透析、超滤等物理方法除去抑制剂而恢复酶的活性，因此增加不可逆抑制剂的浓度，可以实现酶活性的完全抑制。
24. 错：竞争性可逆抑制剂可以与酶的底物结合在酶的同部位，也可以与酶的底物结合在酶的不同部位，由于空间位阻或构象改变的原因而不能同时结合。
25. 错：因为不知道纯化前后的比活分别是多少，因此无法计算比活的提高倍数。
36. 错：酶反应的最适 pH 值不仅取决于酶蛋白本身的结构，还与底物种类、浓度及缓冲液成分有关。
27. 错：B 族维生素中维生素 B3 不含环状结构，其余都是杂环化合物。
28. 对：所有 B 族维生素都可以作为辅酶或辅酶的组分参与代谢。
29. 错：维生素 K 可以作为  $\gamma$ -羟化酶的辅酶，促进凝血。
30. 对：如酵母的生长需要维生素 B6 等，植物的生长也有需要维生素的现象。
31. 对：如豌豆子叶可以合成维生素 C，供整体使用；去除子叶后，则豌豆子叶生长不良。
32. 错：维生素 E 极易被氧化，因此可做抗氧化剂。

#### （六）问答题及计算题（解题要点）

1. 答：（1）酶能被酸、碱及蛋白酶水解，水解的最终产物都是氨基酸，证明酶是由氨基酸组成的。
- （2）酶具有蛋白质所具有的颜色反应，如双缩脲反应、茚三酮反应、米伦反应、乙醛酸反应。
- （3）一切能使蛋白质变性的因素，如热、酸碱、紫外线等，同样可以使酶变性失活。
- （4）酶同样具有蛋白质所具有的大分子性质，如不能通过半透膜、可以电泳等。
- （5）酶同其他蛋白质一样是两性电解质，并有一定的等电点。

总之，酶是由氨基酸组成的，与其他已知的蛋白质有着相同的理化性质，所以酶的化学本质是蛋白质。

2. 答：（1）共性：用量少而催化效率高；仅能改变化学反应的速度，不改变化学反应的平衡点，酶本身在化学反应前后也不改变；可降低化学反应的活化能。

（2）个性：酶作为生物催化剂的特点是催化效率更高，具有高度的专一性，容易失活，活力受条件的调节控制，活力与辅助因子有关。

3. (1) 1982 年, 美国的 T.Cech 发现原生物四膜虫的 26S rRNA 前体能够在完全没有蛋白质的情况下, 自我加工、拼接, 得到成熟的 rRNA。
- (2) 1983 年, S.Atman 和 Pace 实验室研究 RNase P 时发现, 将 RNase P 的蛋白质与 RNA 分离, 分别测定, 发现蛋白质部分没有催化活性, 而 RNA 部分具有与全酶相同的催化活性。
- (3) 1986 年, T.Cech 发现在一定条件下, L19 RNA 可以催化 Poly C 的切割与连接。
4. 答: (1) 绝对专一性; (2) 相对专一性 (族专一性); (3) 相对专一性 (键专一性); (4) 立体专一性 (旋光异构专一性); (5) 立体专一性 (顺反异构专一性); (6) 立体专一性 (识别从化学角度看完全对称的两个基团)。
5. 答: (1) 蛋白浓度  $= 0.2 \times 6.25 \text{ mg} / 2 \text{ mL} = 0.625 \text{ mg/mL}$ ;  
(2) 比活力  $= (1500 / 60 \times 1 \text{ mL} / 0.1 \text{ mL}) \div 0.625 \text{ mg/mL} = 400 \text{ U/mg}$ ;  
(3) 总蛋白  $= 0.625 \text{ mg/mL} \times 1000 \text{ mL} = 625 \text{ mg}$ ;  
(4) 总活力  $= 625 \text{ mg} \times 400 \text{ U/mg} = 2.5 \times 10^5 \text{ U}$ 。
6. 答: (1)  $V \sim [S]$  图是双曲线的一支, 可以通过其渐近线求  $V_{\text{max}}$ ,  $V = 1/2 V_{\text{max}}$  时对应的  $[S]$  为  $K_m$ ; 优点是直观, 缺点是实际上测定时不容易达到  $V_{\text{max}}$ , 所以测不准。
- (2)  $1/V \sim 1/[S]$  图是一条直线, 它与纵轴的截距为  $1/V_{\text{max}}$ , 与横轴的截距为  $-1/K_m$ , 优点是使用方便,  $V_{\text{max}}$  和  $K_m$  都较容易求, 缺点是实验得到的点一般集中在直线的左端, 作图时直线斜率稍有偏差,  $K_m$  就不准。
- (3)  $V \sim V/[S]$  图也是一条直线, 它与纵轴的截距为  $V_{\text{max}}$ , 与横轴的截距为  $V_{\text{max}}/K_m$ , 斜率即为  $-K_m$ , 优点是求  $K_m$  比较方便, 缺点是作图前计算较繁。
- (4)  $[S]/V \sim [S]$  图也是一条直线, 它与纵轴的截距为  $K_m/V_{\text{max}}$ , 与横轴的截距为  $-K_m$ , 优缺点与  $V \sim V/[S]$  图相似。
- (5) 直接线性作图法是一组交于一点的直线, 交点的横坐标为  $K_m$ , 纵坐标为  $V_{\text{max}}$ , 是求  $V_{\text{max}}$  和  $K_m$  的最好的一种方法, 不需计算, 作图方便, 结果准确。
7. 答: (1) 一些肠道寄生虫如蛔虫等可以产生胃蛋白酶和胰蛋白酶的抑制剂, 使它在动物体内不致被消化。
- (2) 蚕豆等某些植物种子含有胰蛋白酶抑制剂, 煮熟后胰蛋白酶抑制剂被破坏, 否则食用后抑制胰蛋白酶活性, 影响消化, 引起不适。
8. 答: 作  $1/V \sim 1/[S]$  图, 可知是竞争性可逆抑制剂。
9. 答: (1) 酶量  $(\text{mmol}) = 1.2 \times 5 / 150\,000 = 4.0 \times 10^{-5} \text{ mmol}$ ;  
(2) 碘乙酰胺量  $(\text{mmol}) = 3.0 \times 10^{-2} / 185 = 1.6 \times 10^{-4} \text{ mmol}$ , 所以酶的催化亚基数为 4。
10. 答: 据  $V \sim [S]$  的米氏曲线, 当底物浓度大大低于  $K_m$  值时, 酶不能被底物饱和, 从酶的利用角度而言, 很不经济; 当底物浓度大大高于  $K_m$  值时, 酶趋于被饱和, 随底物浓度改变, 反应速度变化不大, 不利于反应速度的调节; 当底物浓度在  $K_m$  值附近时, 反应速度对底物浓度的变化较为敏感, 有利于反应速度的调节。
11. 答: 底物与别构酶的结合, 可以促进随后的底物分子与酶的结合, 同样竞争性抑制剂与酶的底物结合位点结合, 也可以促进底物分子与酶的其它亚基的进一步结合, 因此低浓度的抑制剂可以激活某些别构酶。
12. 答: (1) 当  $[S] = K_m$  时,  $V = 1/2 V_{\text{max}}$ , 则  $V_{\text{max}} = 2 \times 35 = 70 \mu \text{ mol/min}$ ;  
(2) 因为  $V = V_{\text{max}} / (1 + K_m/[s])$ , 所以  $K_m = (V_{\text{max}}/V - 1)[s] = 1.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ;  
(3) 因为  $[S] \gg K_m, [I]$ , 所以  $V = V_{\text{max}} = 70 \mu \text{ mol/min}$ ;  
(4)  $V = V_{\text{max}} / (1 + [I]/K_i) = 40 \mu \text{ mol/min}$ 。
13. 答: 酶蛋白分子中组氨酸的侧链咪唑基  $\text{pK}$  值为  $6.0 \sim 7.0$ , 在生理条件下, 一半解离, 一半不解离, 因此既可以作为质子供体 (不解离部分), 又可以作为质子受体 (解离部分), 既是酸, 又是碱, 可以作为广义酸碱共同催化反应, 因此常参与构成酶的活性中心。
14. 答: (A) — (3) — (V);  
(B) — (4) — (III), (IV);

- (C) — (7) — (VIII);  
 (D) — (1) — (IX);  
 (E) — (2) — (I), (II);  
 (F) — (5) — (VI), (VII);  
 (G) — (6)。

#### 第四章 生物氧化与氧化磷酸化

##### 一、知识要点

生物氧化的实质是脱氢、失电子或与氧结合,消耗氧生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ,与体外有机物的化学氧化(如燃烧)相同,释放总能量都相同。生物氧化的特点是:作用条件温和,通常在常温、常压、近中性 pH 及有水环境下进行;有酶、辅酶、电子传递体参与,在氧化还原过程中逐步放能;放出能量大多转换为 ATP 分子中活跃化学能,供生物体利用。体外燃烧则是在高温、干燥条件下进行的剧烈游离基反应,能量爆发释放,并且释放的能量转为光、热散失于环境中。

##### (一) 氧化还原电势和自由能变化

###### 1. 自由能

生物氧化过程中发生的生化反应的能量变化与一般化学反应一样可用热力学上的自由能变化来描述。自由能(free energy)是指一个体系的总能量中,在恒温恒压条件下能够做功的那一部分能量,又称为 Gibbs 自由能,用符号 G 表示。物质中的自由能(G)含量是不易测定的,但化学反应的自由能变化( $\Delta G$ )是可以测定的。 $\Delta G$  很有用,它表示从某反应可以得到多少有用功,也是衡量化学反应的自发性的标准。例如,物质 A 转变为物质 B 的反应:

$$\Delta G = G_B - G_A$$

当  $\Delta G$  为负值时,是放能反应,可以产生有用功,反应可自发进行;若  $\Delta G$  为正值时,是吸能反应,为非自发反应,必须供给能量反应才可进行,其逆反应是自发的。

如果  $\Delta G = 0$  时,表明反应体系处于动态平衡状态。此时,平衡常数为  $K_{eq}$ ,由已知的  $K_{eq}$  可求得  $\Delta G^\circ$ :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq}$$

###### 2. 2. 化还原电势

在氧化还原反应中,失去电子的物质称为还原剂,得到电子的物质称为氧化剂。还原剂失去电子的倾向(或氧化剂得到电子的倾向)的大小,则称为氧化还原电势。将任何一对氧化还原物质的氧化还原对连在一起,都有氧化还原电位的产生。如果将氧化还原物质与标准氢电极组成原电池,即可测出氧化还原电势。标准氧化还原电势用  $E^\circ$  表示。 $E^\circ$  值愈大,获得电子的倾向愈大; $E^\circ$  愈小,失去电子的倾向愈大。

###### 3. 氧化还原电势与自由能的关系

在一个氧化还原反应中,可从反应物的氧化电势  $E^\circ$ ,计算出这个氧化还原反应的自由能变化( $\Delta G$ )。 $\Delta G^\circ$  与氧化还原电势的关系如下:

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

n 表示转移的电子数, F 为法拉第常数(1 法拉第 = 96485 库仑 / 摩尔)。 $\Delta E^\circ$  的单位为伏特,  $\Delta G^\circ$  的单位为焦耳 / 摩尔。当  $\Delta E^\circ$  为正值时,  $\Delta G^\circ$  为负值,是放能反应,反应能自发进行。 $\Delta E^\circ$  为负值时,  $\Delta G^\circ$  为正值,是吸能反应,反应不能自发进行。

##### (二) 高能磷酸化合物



生物体内有许多磷酸化合物,其磷酸基团水解时可释放出  $20.92\text{kJ/mol}$  以上自由能的化合物称为高能磷酸化合物。按键型的特点可分为:

1. 磷氧键型: 焦磷酸化合物如腺三磷 (ATP) 是高能磷酸化合物的典型代表。ATP 磷酸酐键水解时, 释放出  $30.54\text{kJ/mol}$  能量, 它有两个高能磷酸键, 在能量转换中极为重要; 酰基磷酸化合物如 1,3 二磷酸甘油酸以及烯醇式磷酸化合物如磷酸烯醇式丙酮酸都属此类。
2. 2. 磷键型化合物如磷酸肌酸、磷酸精氨酸。
3. 3. 酯键型化合物如乙酰辅酶 A。
4. 4. 甲硫键型化合物如 S-腺苷甲硫氨酸。

此外, 脊椎动物中的磷酸肌酸和无脊椎动物中的磷酸精氨酸, 是 ATP 的能量贮存库, 作为贮能物质又称为磷酸原。

### (三) 电子传递链

电子传递链是在生物氧化中, 底物脱下的氢 ( $\text{H}^+ + \text{e}^-$ ), 经过一系列传递体传递, 最后与氧结合生成  $\text{H}_2\text{O}$  的电子传递系统, 又称呼吸链。呼吸链上电子传递载体的排列是有一定顺序和方向的, 电子传递的方向是从氧化电势较负的化合物流向氧化电势较正的化合物, 直到氧。氧是氧化还原电势最高的受体, 最后氧被还原成水。

电子传递链在原核细胞存在于质膜上, 在真核细胞存在于线粒体的内膜上。线粒体内膜上的呼吸链有 NADH 呼吸链和 FADH<sub>2</sub> 呼吸链。

#### 1. 构成电子传递链的电子传递体成员分五类:

(1) 烟酰胺核苷酸 (NAD<sup>+</sup>) 多种底物脱氢酶以 NAD<sup>+</sup> 为辅酶, 接受底物上脱下的氢成为还原态的 NADH + H<sup>+</sup>, 是氢 ( $\text{H}^+ + \text{e}^-$ ) 传递体。

(2) 黄素蛋白 黄素蛋白以 FAD 和 FMN 为辅基, 接受 NADH + H<sup>+</sup> 或底物 (如琥珀酸) 上的质子和电子, 形成 FADH<sub>2</sub> 或 FMNH<sub>2</sub>, 传递质子和电子。

(3) 铁硫蛋白或铁硫中心 也称非血红素蛋白, 是单电子传递体, 氧化态为 Fe<sup>3+</sup>, 还原态为 Fe<sup>2+</sup>。

(4) 辅酶 Q 又称泛醌, 是脂溶性化合物。它不仅能接受脱氢酶的氢, 还能接受琥珀酸脱氢酶等的氢 ( $\text{H}^+ + \text{e}^-$ )。是处于电子传递链中心地位的载氢体。

(5) 细胞色素类是含铁的单电子传递载体。铁原子处于卟啉的中心, 构成血红素。它是细胞色素类的辅基。细胞色素类是呼吸链中将电子从辅酶 Q 传递到氧的专一酶类。线粒体的电子至少含有 5 种不同的细胞色素 (即 b、c、c<sub>1</sub>、a、a<sub>3</sub>)。通过实验证明, 它们在电子传递链上电子传递的顺序是  $\text{b} \rightarrow \text{c}_1 \rightarrow \text{c} \rightarrow \text{aa}_3$ , 细胞色素 aa<sub>3</sub> 以复合物形式存在, 称为细胞色素氧化酶。是电子传递链中最末端的载体, 所以又称末端氧化酶。

#### 2. 电子传递抑制剂

能够阻断呼吸链中某一部位电子传递的物质称为电子传递抑制剂。常用的抑制剂有:

- (1) 鱼藤酮: 阻断电子由 NADH 向 CoQ 的传递。它是一种极毒的植物物质, 常用作杀虫剂。
- (2) 抗霉素 A: 能阻断电子从 Cytb 到 Cytc<sub>1</sub> 的传递。
- (3) 氰化物、硫化氢、叠氮化物、CO 能阻断电子由 Cytaa<sub>3</sub> 到氧的传递。

由于这三个部位的电子流被阻断, 因此, 也抑制了磷酸化的进行, 即不能形成 ATP。

### (四) 氧化磷酸化作用

氧化磷酸化作用是需氧细胞生命活动的基础, 是主要的能量来源。真核细胞是在线粒体内膜上进行。

#### 1. 氧化磷酸化作用

高势能电子从 NADH 或 FADH<sub>2</sub> 沿呼吸链传递给氧的过程中, 所释放的能量转移给 ADP 形成 ATP, 即 ATP 的形成与电子传递相偶联, 称为氧化磷酸化作用, 其特点是需要氧分子参与。

氧化磷酸化作用与底物水平磷酸化作用是有区别的: 底物水平磷酸化作用是指代谢底物由于脱氢

或脱水,造成其分子内部能量重新分布,产生的高能键所携带的能量转移给 ADP 生成 ATP,即 ATP 的形成直接与一个代谢中间高能磷酸化合物(如磷酸烯醇式丙酮酸、1,3-二磷酸甘油酸等)上的磷酸基团的转移相偶联,其特点是不需要分子氧参加。

## 2. P/O 比和磷酸化部位

磷氧比(P/O)是指一对电子通过呼吸链传递到氧所产生 ATP 的分子数。由 NADH 开始氧化脱氢脱电子,电子经过呼吸链传递给氧,生成 3 分子 ATP,则 P/O 比为 3。这 3 分子 ATP 是在三个部位上生成的,第一个部位是在 NADH 和 CoQ 之间,第二个部位是在 Cytb 与 Cytc1 之间;第三个部位是在 Cytaa3 和氧之间。如果从 FADH2 开始氧化脱氢脱电子,电子经过呼吸链传递给氧,只能生成 2 分子 ATP,其 P/O 比为 2。

## 3. 氧化磷酸化的解偶联作用

(1) 氧化磷酸化的解偶联作用 在完整线粒体内,电子传递与磷酸化是紧密偶联的,当使用某些试剂而导致的电子传递与 ATP 形成这两个过程分开,只进行电子传递而不能形成 ATP 的作用,称为解偶联作用。

(2) 氧化磷酸化的解偶联剂 能引起解偶联作用的试剂称为解偶联剂,解偶联作用的实质是解偶联剂消除电子传递中所产生的跨膜质子浓度或电位梯度,只有电子传递而不产生 ATP。

(3) 解偶联剂种类 典型的解偶联剂是化学物质 2,4-二硝基苯酚(DNP),DNP 具弱酸性,在不同 pH 环境可结合 H<sup>+</sup> 或释放 H<sup>+</sup>;并且 DNP 具脂溶性,能透过磷脂双分子层,使线粒体内膜外侧的 H<sup>+</sup> 转移到内侧,从而消除 H<sup>+</sup> 梯度。此外,离子载体如由链霉素产生的抗菌素——缬氨霉素,具脂溶性,能与 K<sup>+</sup> 离子配位结合,使线粒体膜外的 K<sup>+</sup> 转运到膜内而消除跨膜电位梯度。另外还有存在于某些生物细胞线粒体内膜上的天然解偶联蛋白,该蛋白构成的质子通道可以让膜外质子经其通道返回膜内而消除跨膜的质子浓度梯度,不能生成 ATP 而产生热量使体温增加。

解偶联剂与电子传递抑制剂是不同的,解偶联剂只消除内膜两侧质子或电位梯度,不抑制呼吸链的电子传递,甚至加速电子传递,促进呼吸底物和分子氧的消耗,但不形成 ATP,只产生热量。

## 4. 氧化磷酸化的作用机理

与电子传递相偶联的氧化磷酸化作用机理虽研究多年,但仍不清楚。曾有三种假说试图解释其机理。这三种假说为:化学偶联假说、构象偶联假说、化学渗透假说。

(1) 化学偶联假说 认为电子传递中所释放的自由能以一个高能共价中间物形式暂时存在,随后裂解将其能量转给 ADP 以形成 ATP。但不能从呼吸链中找到高能中间物的实例。

(2) 构象偶联假说 认为电子沿呼吸链传递释放的自由能使线粒体内膜蛋白质发生构象变化而形成一种高能形式暂时存在。这种高能形式将能量转给 F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATP 酶分子使之发生构象变化,F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATP 酶复原时将能量转给 ADP 形成 ATP。

(3) 化学渗透假说 该假说由英国生物化学家 Peter Mitchell 提出的。他认为电子传递的结果将 H<sup>+</sup> 从线粒体内膜上的内侧“泵”到内膜的外侧,于是在内膜内外两侧产生了 H<sup>+</sup> 的浓度梯度。即内膜的外侧与内膜的内侧之间含有一种势能,该势能是 H<sup>+</sup> 返回内膜内侧的一种动力。H<sup>+</sup> 通过 F<sub>0</sub>F<sub>1</sub>-ATP 酶分子上的特殊通道又流回内膜的内侧。当 H<sup>+</sup> 返回内膜内侧时,释放出自由能的反应和 ATP 的合成反应相偶联。该假说目前得到较多人的支持。

实验证明氧化磷酸化作用的进行需要完全的线粒体内膜存在。当用超声波处理线粒体时,可将线粒体内膜磨打成片段:有些片段的嵴膜又重新封闭起来形成泡状体,称为亚线粒体泡(内膜变为翻转朝外)。这些亚线粒体泡仍具有进行氧化磷酸化作用的功能。在囊泡的外面可看到 F<sub>1</sub> 球状体。用尿素或胰蛋白酶处理这些囊泡时,内膜上的球体 F<sub>1</sub> 脱下,F<sub>0</sub> 留在膜上。这种处理过的囊泡仍具有电子传递链的功能,但失去合成 ATP 的功能。当将 F<sub>1</sub> 球状体再加回到只有 F<sub>0</sub> 的囊泡时,氧化磷酸化作用又恢复。这一实验说明线粒体内膜嵴上的酶(F<sub>0</sub>)起电子传递的作用,而其上的 F<sub>1</sub> 是形成 ATP 的重要成分,F<sub>0</sub> 和 F<sub>1</sub> 是一种酶的复合体。

## 5. 能荷

细胞中存在三种腺苷酸即 AMP、ADP、ATP，称为腺苷酸库。在细胞中 ATP、ADP 和 AMP 在某一时间的相对数量控制着细胞活动。Atkinson 提出了能荷的概念。认为能荷是细胞中高能磷酸状态的一种数量上的衡量，能荷大小可以说明生物体中 ATP-ADP-AMP 系统的能量状态。

能荷 =

可看出，能荷的大小决定于 ATP 和 ADP 的多少。能荷的从 0 到 1.0，当细胞中都是 ATP 时，能荷为 1.0。此时，可利用的高能磷酸键数量最大。都为 ADP 时，能荷为 0.5，系统中有一半的高能磷酸键。都为 AMP 时，能荷为 0，此时无高能磷酸化合物存在。实验证明能荷高时可抑制 ATP 的生成，却促进 ATP 的利用。也就是说，能荷高可促进合成代谢而抑制分解代谢，相反，能荷低则促进分解代谢而抑制合成代谢。

能荷调节是通过 ATP、ADP 和 AMP 分子对某些酶分子进行变构调节来实现的。

#### 5、线粒体的穿梭系统

真核生物在细胞质中进行糖酵解时所生成的 NADH 是不能直接透过线粒体内膜被氧化的，但是  $\text{NADH} + \text{H}^+$  上的质子可以通过一个穿梭的间接途径而进入电子传递链。3-磷酸甘油的穿梭过程是最早发现的。其过程是胞质中  $\text{NADH} + \text{H}^+$  在 3-磷酸甘油脱氢酶作用下与磷酸二羟丙酮反应生成 3-磷酸甘油。3-磷酸甘油可进入线粒体，在线粒体内膜上的 3-磷酸甘油脱氢酶（辅基为 FAD）作用下，生成磷酸二羟丙酮和  $\text{FADH}_2$ 。磷酸二羟丙酮透出线粒体，继续作为氢的受体， $\text{FADH}_2$  将氢传递给 CoQ 进入呼吸链氧化，这样只能产生 2 分子 ATP。

在动物的肝、肾及心脏的线粒体存在另一种穿梭方式，即草酰乙酸-苹果酸穿梭。这种方式在胞液及线粒体内的脱氢酶辅酶都是  $\text{NAD}^+$ ，所以胞液中的  $\text{NADH} + \text{H}^+$  到达线粒体内又生成  $\text{NADH} + \text{H}^+$ 。从能量产生来看，草酰乙酸-苹果酸穿梭优于  $\alpha$ -磷酸甘油穿梭机制；但  $\alpha$ -磷酸甘油穿梭机制比草酰乙酸-苹果酸穿梭速度要快很多。

### 二、四章习题

#### （一）名词解释

1. 生物氧化 (biological oxidation)
2. 呼吸链 (respiratory chain)
3. 氧化磷酸化 (oxidative phosphorylation)
4. 磷氧比 P/O (P/O)
5. 底物水平磷酸化 (substrate level phosphorylation)
6. 能荷 (energy charge)

#### （二）填空题

1. 生物氧化有 3 种方式：\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 生物氧化是氧化还原过程，在此过程中有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_参与。
3. 原核生物的呼吸链位于\_\_\_\_\_。
4.  $\Delta G_0'$  为负值是\_\_\_\_\_反应，可以\_\_\_\_\_进行。
5.  $\Delta G_0'$  与平衡常数的关系式为\_\_\_\_\_，当  $K_{eq}=1$  时， $\Delta G_0'$  为\_\_\_\_\_。
6. 生物分子的  $E_0'$  值小，则电负性\_\_\_\_\_，供出电子的倾向\_\_\_\_\_。
7. 生物体内高能化合物有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等类。
8. 细胞色素 a 的辅基是\_\_\_\_\_与蛋白质以\_\_\_\_\_键结合。
9. 在无氧条件下，呼吸链各传递体都处于\_\_\_\_\_状态。
10. NADH 呼吸链中氧化磷酸化的偶联部位是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
11. 磷酸甘油与苹果酸经穿梭后进入呼吸链氧化，其 P/O 比分别为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
12. 举出三种氧化磷酸化解偶联剂\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

13. 举出 4 种生物体内的天然抗氧化剂\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
14. 举出两例生物细胞中氧化脱羧反应\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
15. 生物氧化是\_\_\_\_\_在细胞中\_\_\_\_\_，同时产生\_\_\_\_\_的过程。
16. 反应的自由能变化用\_\_\_\_\_表示，标准自由能变化用\_\_\_\_\_表示，生物化学中 pH 7.0 时的标准自由能变化则表示为\_\_\_\_\_。
17. 高能磷酸化合物通常指水解时\_\_\_\_\_的化合物，其中最重要的是\_\_\_\_\_，被称为能量代谢的\_\_\_\_\_。
18. 真核细胞生物氧化的主要场所是\_\_\_\_\_，呼吸链和氧化磷酸化偶联因子都定位于\_\_\_\_\_。
19. 以 NADH 为辅酶的脱氢酶类主要是参与\_\_\_\_\_作用，即参与从\_\_\_\_\_到\_\_\_\_\_电子传递作用；以 NADPH 为辅酶的脱氢酶类主要是将分解代谢中间产物上的\_\_\_\_\_转移到\_\_\_\_\_反应中需电子的中间物上。
20. 在呼吸链中，氢或电子从\_\_\_\_\_的载体依次向\_\_\_\_\_的载体传递。
21. 线粒体氧化磷酸化的重组实验证实了线粒体内膜含有\_\_\_\_\_，内膜小瘤含有\_\_\_\_\_。
22. 鱼藤酮，抗霉素 A， $\text{CN}^-$ 、 $\text{N}_3^-$ 、CO，的抑制作用分别是\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，和\_\_\_\_\_。
23. 磷酸源是指\_\_\_\_\_。脊椎动物的磷酸源是\_\_\_\_\_，无脊椎动物的磷酸源是\_\_\_\_\_。
24.  $\text{H}_2\text{S}$  使人中毒机理是\_\_\_\_\_。
25. 线粒体呼吸链中电位跨度最大的一步是在\_\_\_\_\_。
26. 典型的呼吸链包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种，这是根据接受代谢物脱下的氢的\_\_\_\_\_不同而区别的。
27. 解释氧化磷酸化作用机制被公认的学说是\_\_\_\_\_，它是英国生物化学家\_\_\_\_\_于 1961 年首先提出的。
28. 化学渗透学说主要论点认为：呼吸链组分定位于\_\_\_\_\_内膜上。其递氢体有\_\_\_\_\_作用，因而造成内膜两侧的\_\_\_\_\_差，同时被膜上\_\_\_\_\_合成酶所利用、促使  $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$
29. 每对电子从  $\text{FADH}_2$  转移到\_\_\_\_\_必然释放出 2 个  $\text{H}^+$  进入线粒体基质中。
30. 细胞色素 aa<sub>3</sub> 辅基中的铁原子有\_\_\_\_\_结合配位键，它还保留\_\_\_\_\_游离配位键，所以能和\_\_\_\_\_结合，还能和\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_结合而受到抑制。
31. 体内  $\text{CO}_2$  的生成不是碳与氧的直接结合，而是\_\_\_\_\_。
32. 线粒体内膜外侧的  $\alpha$ -磷酸甘油脱氢酶的辅酶是\_\_\_\_\_；而线粒体内膜内侧的  $\alpha$ -磷酸甘油脱氢酶的辅酶是\_\_\_\_\_。
33. 动物体内高能磷酸化合物的生成方式有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
34. 在离体的线粒体实验中测得  $\beta$ -羟丁酸的磷氧比值 (P/O) 为 2.4~2.8，说明  $\beta$ -羟丁酸氧化时脱下来的 2H 是通过\_\_\_\_\_呼吸链传递给  $\text{O}_2$  的；能生成\_\_\_\_\_分子 ATP。

### (三) 选择题

1. 如果质子不经过  $\text{F}_1 / \text{F}_0$ -ATP 合成酶回到线粒体基质，则会发生：
  - A. 氧化 B. 还原 C. 解偶联、 D. 紧密偶联
2. 离体的完整线粒体中，在有可氧化的底物存时下，加入哪一种物质可提高电子传递和氧气摄入量：
  - A. 更多的 TCA 循环的酶 B. ADP C.  $\text{FADH}_2$  D. NADH
3. 下列氧化还原系统中标准氧化还原电位最高的是：
  - A. 延胡索酸琥珀酸 B.  $\text{CoQ} / \text{CoQH}_2$
  - C. 细胞色素 a ( $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ ) D.  $\text{NAD}^+ / \text{NADH}$
4. 下列化合物中，除了哪一种以外都含有高能磷酸键：
  - A.  $\text{NAD}^+$  B. ADP C.  $\text{NADPH}$  D. FMN
5. 下列反应中哪一步伴随着底物水平的磷酸化反应：



- A. 苹果酸→草酰乙酸                      B. 甘油酸-1,3-二磷酸→甘油酸-3-磷酸  
C. 柠檬酸→ $\alpha$ -酮戊二酸                  D. 琥珀酸→延胡索酸
6. 乙酰 CoA 彻底氧化过程中的 P / O 值是：  
A. 2.0      B. 2.5      C. 3.0      D. 3.5
7. 肌肉组织中肌肉收缩所需要的大部分能量以哪种形式贮存：  
A. ADP    B. 磷酸烯醇式丙酮酸    C. ATP    D. 磷酸肌酸
8. 呼吸链中的电子传递体中，不是蛋白质而是脂质的组分为：  
A. NAD<sup>+</sup>    B. FMN    C. CoQ    D. Fe · S
9. 下述哪种物质专一性地抑制 F<sub>0</sub> 因子：  
A. 鱼藤酮    B. 抗霉素 A    C. 寡霉素    D. 缬氨霉素
10. 胞浆中 1 分子乳酸彻底氧化后，产生 ATP 的分子数：  
A. 9 或 10    B. 11 或 12    C. 15 或 16    D. 17 或 18
11. 下列不是催化底物水平磷酸化反应的酶是：  
A. 磷酸甘油酸激酶                      B. 磷酸果糖激酶  
C. 丙酮酸激酶                          D. 琥珀酸硫激酶
12. 在生物化学反应中，总能量变化符合：  
A. 受反应的能障影响                      B. 随辅因子而变  
C. 与反应物的浓度成正比                  D. 与反应途径无关
13. 在下列的氧化还原系统中，氧化还原电位最高的是：  
A. NAD<sup>+</sup> / NADH                          B. 细胞色素 a (Fe<sup>3+</sup>) / 细胞色素 a (Fe<sup>2+</sup>)  
C. 延胡索酸/琥珀酸                          D. 氧化型泛醌/还原型泛醌
14. 二硝基苯酚能抑制下列细胞功能的是：  
A. 糖酵解    B. 肝糖异生    C. 氧化磷酸化    D. 柠檬酸循环
15. 活细胞不能利用下列哪些能源来维持它们的代谢：  
A. ATP    B. 糖    C. 脂肪    D. 周围的热能
16. 如果将琥珀酸（延胡索酸/琥珀酸氧化还原电位 + 0.03V）加到硫酸铁和硫酸亚铁（高铁/亚铁氧化还原电位 + 0.077V）的平衡混合液中，可能发生的变化是：  
A. 硫酸铁的浓度将增加                      B. 硫酸铁的浓度和延胡索酸的浓度将增加    C. 高铁和亚铁的比例无变化    D. 硫酸亚铁和延胡索酸的浓度将增加
17. 下列关于化学渗透学说的叙述哪一条是不对的：  
A. 吸链各组分按特定的位置排列在线粒体内膜上  
B. 各递氢体和递电子体都有质子泵的作用  
C. H<sup>+</sup> 返回膜内时可以推动 ATP 酶合成 ATP  
D. 线粒体内膜外侧 H<sup>+</sup> 不能自由返回膜内
18. 关于有氧条件下，NADH 从胞液进入线粒体氧化的机制，下列描述中正确的是：  
A. NADH 直接穿过线粒体膜而进入  
B. 磷酸二羟丙酮被 NADH

## 第五章 糖 代 谢

### 一、知识要点

#### （一）糖酵解途径：

糖酵解途径中，葡萄糖在一系列酶的催化下，经 10 步反应降解为 2 分子丙酮酸，同时产生 2 分子 NADH+H<sup>+</sup> 和 2 分子 ATP。

主要步骤为(1)葡萄糖磷酸化形成二磷酸果糖;(2)二磷酸果糖分解成为磷酸甘油醛和磷酸二羟丙酮,二者可以互变;(3)磷酸甘油醛脱去 2H 及磷酸变成丙酮酸,脱去的 2H 被  $\text{NAD}^+$  所接受,形成  $\text{NADH}+\text{H}^+$ 。

(二) 丙酮酸的去路:

(1) 有氧条件下,丙酮酸进入线粒体氧化脱羧转变为乙酰辅酶 A,同时产生 1 分子  $\text{NADH}+\text{H}^+$ 。乙酰辅酶 A 进入三羧酸循环,最后氧化为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

(2) 在厌氧条件下,可生成乳酸和乙醇。同时  $\text{NAD}^+$  得到再生,使酵解过程持续进行。

(三) 三羧酸循环:

在线粒体基质中,丙酮酸氧化脱羧生成的乙酰辅酶 A,再与草酰乙酸缩合成柠檬酸,进入三羧酸循环。柠檬酸经脱水加水转变成异柠檬酸,异柠檬酸经连续两次脱羧和脱羧生成琥珀酰 CoA;琥珀酰 CoA 发生底物水平磷酸化产生 1 分子 GTP 和琥珀酸;琥珀酸再脱氢,加水及再脱氢作用依次变成延胡索酸,苹果酸及循环开始的草酰乙酸。三羧酸循环每循环一次放出 2 分子  $\text{CO}_2$ ,产生 3 分子  $\text{NADH}+\text{H}^+$ ,和一分子  $\text{FADH}_2$ 。

(四) 磷酸戊糖途径:

在胞质中,在磷酸戊糖途径中磷酸葡萄糖经氧化阶段和非氧化阶段被氧化分解为  $\text{CO}_2$ ,同时产生  $\text{NADPH}+\text{H}^+$ 。

其主要过程是 G-6-P 脱氢生成 6-磷酸葡萄糖酸,再脱氢,脱羧生成核酮糖-5-磷酸。6 分子核酮糖-5-磷酸经转酮反应和转醛反应生成 5 分子 6-磷酸葡萄糖。中间产物甘油醛-3-磷酸,果糖-6-磷酸与糖酵解相衔接;核糖-5-磷酸是合成核酸的原料,4-磷酸赤藓糖参与芳香族氨基酸的合成; $\text{NADPH}+\text{H}^+$  提供各种合成代谢所需要的还原力。

(五) 糖异生作用:

非糖物质如丙酮酸,草酰乙酸和乳酸等在一系列酶的作用下合成糖的过程,称为糖异生作用。糖异生作用不是糖酵解的逆反应,因为要克服糖酵解的三个不可逆反应,且反应过程是在线粒体和细胞液中进行的。2 分子乳酸经糖异生转变为 1 分子葡萄糖需消耗 4 分子 ATP 和 2 分子 GTP。

(六) 蔗糖和淀粉的生物合成

在蔗糖和多糖合成代谢中糖核苷酸起重要作用,糖核苷酸是单糖与核苷酸通过磷酸酯键结合所形成的化合物。在植物体中主要以 UDPG 为葡萄糖供体,由蔗糖磷酸合酶催化蔗糖的合成;淀粉的合成以 ADPG 或 UDPG 为葡萄糖供体,小分子寡糖引物为葡萄糖受体,淀粉合酶催化直链淀粉合成,Q 酶催化分枝淀粉合成。

糖代谢中有很多变构酶可以调节代谢的速度。酵解途径中的调控酶是己糖激酶,6-磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶,其中 6-磷酸果糖激酶是关键反应的限速酶;三羧酸反应的调控酶是柠檬酸合酶,柠檬酸脱氢酶和  $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶,柠檬酸合酶是关键的限速酶。糖异生作用的调控酶有丙酮酸羧激酶,二磷酸果糖磷酸酯酶,磷酸葡萄糖磷酸酯酶。磷酸戊糖途径的调控酶是 6-磷酸葡萄糖脱氢酶;它们受可逆共价修饰、变构调控及能荷的调控。

## 二、习 题

(一) 名词解释:

1. 糖异生 (glycogenolysis)
2. Q 酶 (Q-enzyme)
3. 乳酸循环 (lactate cycle)
4. 发酵 (fermentation)
5. 变构调节 (allosteric regulation)
6. 糖酵解途径 (glycolytic pathway)
7. 糖的有氧氧化 (aerobic oxidation)
8. 肝糖原分解 (glycogenolysis)

9. 磷酸戊糖途径 (pentose phosphate pathway)

10. D-酶 (D-enzyme)

11. 糖核苷酸 (sugar-nucleotide)

(二) 英文缩写符号:

1. UDPG (uridine diphosphate-glucose)

2. ADPG (adenosine diphosphate-glucose)

3. F-D-P (fructose-1,6-bisphosphate)

4. F-1-P (fructose-1-phosphate)

5. G-1-P (glucose-1-phosphate)

6. PEP (phosphoenolpyruvate)

(三) 填空题

1.  $\alpha$  淀粉酶和  $\beta$  - 淀粉酶只能水解淀粉的\_\_\_\_\_键, 所以不能够使支链淀粉完全水解。
2. 1 分子葡萄糖转化为 2 分子乳酸净生成\_\_\_\_\_分子 ATP
3. 糖酵解过程中有 3 个不可逆的酶促反应, 这些酶是\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 和\_\_\_\_\_。
4. 糖酵解抑制剂碘乙酸主要作用于\_\_\_\_\_酶。
5. 调节三羧酸循环最主要的酶是\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
6. 2 分子乳酸异升为葡萄糖要消耗\_\_\_\_\_ATP。
7. 丙酮酸还原为乳酸, 反应中的 NADH 来自于\_\_\_\_\_的氧化。
8. 延胡索酸在\_\_\_\_\_酶作用下, 可生成苹果酸, 该酶属于 EC 分类中的\_\_\_\_\_酶类。
9. 磷酸戊糖途径可分为\_\_\_\_\_阶段, 分别称为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_, 其中两种脱氢酶是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_, 它们的辅酶是\_\_\_\_\_。
10. \_\_\_\_\_是碳水化合物在植物体内运输的主要方式。
11. 植物体内蔗糖合成酶催化的蔗糖生物合成中葡萄糖的供体是\_\_\_\_\_, 葡萄糖基的受体是\_\_\_\_\_;
12. 糖酵解在细胞的\_\_\_\_\_中进行, 该途径是将\_\_\_\_\_转变为\_\_\_\_\_, 同时生成\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的一系列酶促反应。
13. 淀粉的磷酸解过程通过\_\_\_\_\_酶降解  $\alpha$  - 1, 4 糖苷键, 靠 \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_酶降解  $\alpha$  - 1, 6 糖苷键。
14. TCA 循环中有两次脱羧反应, 分别是由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_催化。
15. 乙醛酸循环中不同于 TCA 循环的两个关键酶是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
16. 乳酸脱氢酶在体内有 5 种同工酶, 其中肌肉中的乳酸脱氢酶对\_\_\_\_\_亲和力特别高, 主要催化\_\_\_\_\_反应。
17. 在糖酵解中提供高能磷酸基团, 使 ADP 磷酸化成 ATP 的高能化合物是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
18. 糖异生的主要原料为\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
19. 参与  $\alpha$ -酮戊二酸氧化脱羧反应的辅酶为\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
20. 在磷酸戊糖途径中催化由酮糖向醛糖转移二碳单位的酶为\_\_\_\_\_, 其辅酶为\_\_\_\_\_; 催化由酮糖向醛糖转移三碳单位的酶为\_\_\_\_\_。
21.  $\alpha$  - 酮戊二酸脱氢酶系包括 3 种酶, 它们是\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_。
22. 催化丙酮酸生成磷酸烯醇式丙酮酸的酶是\_\_\_\_\_, 它需要\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_作为辅因子。

23. 合成糖原的前体分子是\_\_\_\_\_，糖原分解的产物是\_\_\_\_\_。
24. 植物中淀粉彻底水解为葡萄糖需要多种酶协同作用，它们是\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_。
25. 将淀粉磷酸解为 G-1-P，需\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_三种酶协同作用。
26. 糖类除了作为能源之外，它还与生物大分子间\_\_\_\_\_有关，也是合成\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_，\_\_\_\_\_等的碳骨架的共体。

#### 四) 选择题

- 由己糖激酶催化的反应的逆反应所需要的酶是：
  - 果糖二磷酸酶
  - 葡萄糖-6-磷酸酶
  - 磷酸果糖激酶
  - 磷酸化酶
- 正常情况下，肝获得能量的主要途径：
  - 葡萄糖进行糖酵解氧化
  - 脂肪酸氧化
  - 葡萄糖的有氧氧化
  - 磷酸戊糖途径
  - 以上都是。
- 糖的有氧氧化的最终产物是：
  - $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$
  - 乳酸
  - 丙酮酸
  - 乙酰 CoA
- 需要引物分子参与生物合成反应的有：
  - 酮体生成
  - 脂肪合成
  - 糖异生合成葡萄糖
  - 糖原合成
  - 以上都是
- 在原核生物中，一摩尔葡萄糖经糖有氧氧化可产生 ATP 摩尔数：
  - 12
  - 24
  - 36
  - 38
- 植物合成蔗糖的主要酶是：
  - 蔗糖合酶
  - 蔗糖磷酸化酶
  - 蔗糖磷酸合酶
  - 转化酶
- 不能经糖异生合成葡萄糖的物质是：
  - $\alpha$ -磷酸甘油
  - 丙酮酸
  - 乳酸
  - 乙酰 CoA
  - 生糖氨基酸
- 丙酮酸激酶是何途径的关键酶：
  - 磷酸戊糖途径
  - 糖异生
  - 糖的有氧氧化
  - 糖原合成与分解
  - 糖酵解
- 丙酮酸羧化酶是那一个途径的关键酶：
  - 糖异生
  - 磷酸戊糖途径
  - 胆固醇合成
  - 血红素合成
  - 脂肪酸合成
- 动物饥饿后摄食，其肝细胞主要糖代谢途径：
  - 糖异生
  - 糖有氧氧化
  - 糖酵解
  - 糖原分解
  - 磷酸戊糖途径
- 下列各中间产物中，那一个是磷酸戊糖途径所特有的？
  - 丙酮酸
  - 3-磷酸甘油醛
  - 6-磷酸果糖
  - 1, 3-二磷酸甘油酸
  - 6-磷酸葡萄糖酸
- 糖蛋白中蛋白质与糖分子结合的键称：
  - 二硫键
  - 肽键
  - 脂键
  - 糖肽键
  - 糖苷键
- 三碳糖、六碳糖与七碳糖之间相互转变的糖代谢途径是：
  - 糖异生
  - 糖酵解



- C. 三羧酸循环      D. 磷酸戊糖途径      E. 糖的有氧氧化
14. 关于三羧酸循环那个是错误的
- A. 是糖、脂肪及蛋白质分解的最终途径
- B. 受 ATP/ADP 比值的调节
- C. NADH 可抑制柠檬酸合酶
- D. NADH 氧经需要线粒体穿梭系统。
15. 三羧酸循环中哪一个化合物前后各放出一个分子 CO<sub>2</sub>:
- A. 柠檬酸    B. 乙酰 CoA    C. 琥珀酸    D. α-酮戊二酸
16. 磷酸果糖激酶所催化的反应产物是:
- A. F-1-P    B. F-6-P    C. F-D-P    D. G-6-P
17. 醛缩酶的产物是:
- A. G-6-P    B. F-6-P    C. F-D-P    D. 1, 3-二磷酸甘油酸
18. TCA 循环中发生底物水平磷酸化的化合物是?
- A. α-酮戊二酸      B. 琥珀酰
- C. 琥珀酸 CoA      D. 苹果酸
19. 丙酮酸脱氢酶系催化的反应不涉及下述哪种物质?
- A. 乙酰 CoA      B. 硫辛酸
- C. TPP      D. 生物素      E. NAD<sup>+</sup>
20. 三羧酸循环的限速酶是:
- A. 丙酮酸脱氢酶      B. 顺乌头酸酶
- C. 琥珀酸脱氢酶      D. 延胡索酸酶      E. 异柠檬酸脱氢酶
21. 生物素是哪个酶的辅酶:
- A. 丙酮酸脱氢酶      B. 丙酮酸羧化酶
- C. 烯醇化酶      D. 醛缩酶      E. 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶
22. 三羧酸循环中催化琥珀酸形成延胡索酸的酶是琥珀酸脱氢酶, 此酶的辅因子是
- A. NAD<sup>+</sup>      B. CoASH
- C. FAD      D. TPP      E. NADP<sup>+</sup>
23. 下面哪种酶在糖酵解和糖异生中都起作用:
- A. 丙酮酸激酶      B. 丙酮酸羧化酶
- C. 3-磷酸甘油醛脱氢酶    D. 己糖激酶    E. 果糖 1, 6-二磷酸酯酶
24. 原核生物中, 有氧条件下, 利用 1 摩尔葡萄糖生成的净 ATP 摩尔数与在无氧条件下利用 1 摩尔生成的净 ATP 摩尔数的最近比值是:
- A. 2: 1    B. 9: 1    C. 18: 1    D. 19: 1    E. 25: 1
25. 催化直链淀粉转化为支链淀粉的酶是:
- A. R-酶      B. D-酶
- C. Q-酶      D. α-1, 6-糖苷酶    E. 淀粉磷酸化酶
26. 淀粉酶的特征是:
- A. 耐 70℃ 左右的高温      B. 不耐 70℃ 左右的高温
- C. 属巯基酶      D. 在 pH3 时稳定
27. 糖酵解时哪一对代谢物提供 P 使 ADP 生成 ATP:
- A. 3-磷酸甘油醛及磷酸烯醇式丙酮酸
- B. 1, 3-二磷酸甘油酸及磷酸烯醇式丙酮酸
- C. 1-磷酸葡萄糖及 1, 6-二磷酸果糖
- D. 6-磷酸葡萄糖及 2-磷酸甘油酸

28. 在有氧条件下，线粒体内下述反应中能产生  $FADH_2$  步骤是：

- A. 琥珀酸 $\rightarrow$ 延胡索酸    B. 异柠檬酸 $\rightarrow$  $\alpha$ -酮戊二酸  
(C)  $\alpha$ -戊二酸 $\rightarrow$ 琥珀酰 CoA    (D) 苹果酸 $\rightarrow$ 草酰乙酸

29. 丙二酸能阻断糖的有氧氧化，因为它：

- (A) 抑制柠檬酸合成酶    (B) 抑制琥珀酸脱氢酶  
(C) 阻断电子传递    (D) 抑制丙酮酸脱氢酶

30. 由葡萄糖合成糖原时，每增加一个葡萄糖单位消耗高能磷酸键数为：

- (A) 1    (B) 2    (C) 3    (D) 4    (E) 5

(五) 是非判断题

- ( ) 1.  $\alpha$ -淀粉酶和-淀粉酶的区别在于 $\alpha$ -淀粉酶水解-1, 4糖苷键， $\beta$ -淀粉酶水解 $\beta$ -1, 4糖苷键。  
( ) 2. 麦芽糖是由葡萄糖与果糖构成的双糖。  
( ) 3. ATP 是果糖磷酸激酶的变构抑制剂。  
( ) 4. 沿糖酵解途径简单逆行，可从丙酮酸等小分子前体物质合成葡萄糖。  
( ) 5. 所有来自磷酸戊糖途径的还原能都是在该循环的前三步反应中产生的。  
( ) 6. 发酵可以在活细胞外进行。  
( ) 7. 催化 ATP 分子中的磷酸基转移到受体上的酶称为激酶。  
( ) 8. 动物体内的乙酰 CoA 不能作为糖异生的物质。  
( ) 9. 柠檬酸循环是分解与合成的两用途。  
( ) 10. 在糖类物质代谢中最重要的糖核苷酸是 CDPG。  
( ) 11. 淀粉，糖原，纤维素的生物合成均需要“引物”存在。  
( ) 12. 联系糖原异生作用与三羧酸循环的酶是丙酮酸羧化酶。  
( ) 13. 糖异生作用的关键反应是草酰乙酸形成磷酸烯醇式丙酮酸的反应。  
( ) 14. 糖酵解过程在有氧无氧条件下都能进行。  
( ) 15. 在缺氧条件下，丙酮酸还原为乳酸的意义是使  $NAD^+$  再生。  
( ) 16. 在高等植物中淀粉磷酸化酶既可催化 $\alpha$ -1, 4糖苷键的形成，又可催化 $\alpha$ -1, 4糖苷键的分解。  
( ) 17. TCA 中底物水平磷酸化直接生成的是 ATP。  
( ) 18. 三羧酸循环的中间产物可以形成谷氨酸。  
( ) 19. 在植物体内，蔗糖的合成主要是通过蔗糖磷酸化酶催化的。

(六) 完成反应式：

1. 丙酮酸 + CoASH +  $NAD^+$   $\rightarrow$  乙酰 CoA +  $CO_2$  + ( )  
催化此反应的酶和其它辅因子：( ) ( ) ( ) ( )  
2.  $\alpha$ -酮戊二酸 +  $NAD^+$  + CoASH  $\rightarrow$  ( ) +  $NADH$  +  $CO_2$   
催化此反应的酶和其它辅因子：( ) ( ) ( ) ( )  
3. 7-磷酸景天庚酮糖 + 3-磷酸甘油醛  $\rightarrow$  6-磷酸-果糖 + ( )  
催化此反应的酶：( )  
4. 丙酮酸 +  $CO_2$  + ( ) +  $H_2O$   $\rightarrow$  ( ) + ADP +  $P_i$  +  $2H^+$   
催化此反应的酶：( )  
5. ( ) + F-6-P  $\rightarrow$  磷酸蔗糖 + UDP  
催化此反应的酶是：( )

(七) 问答题

1. 糖类物质在生物体内起什么作用？

2. 为什么说三羧酸循环是糖、脂和蛋白质三大物质代谢的共通路?
3. 糖代谢和脂代谢是通过那些反应联系起来的?
4. 什么是乙醛酸循环?有何意义?
5. 磷酸戊糖途径有什么生理意义?
6. 为什么糖酵解途径中产生的  $\text{NADH}$  必须被氧化成  $\text{NAD}^+$  才能被循环利用?
7. 糖分解代谢可按 EMP-TCA 途径进行,也可按磷酸戊糖途径,决定因素是什么?
8. 试说明丙氨酸的成糖过程。
9. 糖酵解的中间物在其它代谢中有何应用?
10. 琥珀酰 CoA 的代谢来源与去路有哪些?

### 三、参考答案

#### (一) 名词解释:

1. 糖异生: 非糖物质(如丙酮酸 乳酸 甘油 生糖氨基酸等)转变为葡萄糖的过程。
2. Q 酶: Q 酶是参与支链淀粉合成的酶。功能是在直链淀粉分子上催化合成 ( $\alpha$ -1, 6) 糖苷键, 形成支链淀粉。
3. 乳酸循环: 酸循环是指肌肉缺氧时产生大量乳酸, 大部分经血液运到肝脏, 通过糖异生作用肝糖原或葡萄糖补充血糖, 血糖可再被肌肉利用, 这样形成的循环称乳酸循环。
4. 发酵: 厌氧有机体把糖酵解生成  $\text{NADH}$  中的氢交给丙酮酸脱羧后的产物乙醛, 使之生成乙醇的过程称之为酒精发酵。如果将氢交给丙酮酸丙生成乳酸则叫乳酸发酵。
5. 变构调节: 变构调节是指某些调节物能与酶的调节部位结合使酶分子的构象发生改变, 从而改变酶的活性, 称酶的变构调节。
6. 糖酵解途径: 糖酵解途径指糖原或葡萄糖分子分解至生成丙酮酸的阶段, 是体内糖代谢最主要途径。
7. 糖的有氧氧化: 糖的有氧氧化指葡萄糖或糖原在有氧条件下氧化成水和二氧化碳的过程。是糖氧化的主要方式。
8. 肝糖原分解: 肝糖原分解指肝糖原分解为葡萄糖的过程。
9. 磷酸戊糖途径: 磷酸戊糖途径指机体某些组织(如肝、脂肪组织等)以 6-磷酸葡萄糖为起始物在 6-磷酸葡萄糖脱氢酶催化下形成 6-磷酸葡萄糖酸进而代谢生成磷酸戊糖为中间代谢物的过程, 又称为磷酸己糖旁路。
10. D-酶: 一种糖苷转移酶, 作用于  $\alpha$ -1, 4 糖苷键, 将一个麦芽多糖的片段转移到葡萄糖、麦芽糖或其它多糖上。
11. 糖核苷酸: 单糖与核苷酸通过磷酸酯键结合的化合物, 是双糖和多糖合成中单糖的活化形式与供体。

#### (二) 英文缩写符号:

1. 1. UDPG: 尿苷二磷酸葡萄糖, 是合成蔗糖时葡萄糖的供体。
2. 2. ADPG: 腺苷二磷酸葡萄糖, 是合成淀粉时葡萄糖的供体。
3. 3. F-D-P: 1, 6-二磷酸果糖, 由磷酸果糖激酶催化果糖-1-磷酸生成, 属于高能磷酸化合物, 在糖酵解过程生成。
4. 4. F-1-P: 果糖-1-磷酸, 由果糖激酶催化果糖生成, 不含高能磷酸键。
5. 5. G-1-P: 葡萄糖-1-磷酸。由葡萄糖激酶催化葡萄糖生成, 不含高能键。
6. 6. PEP: 磷酸烯醇式丙酮酸, 含高能磷酸键, 属于高能磷酸化合物, 在糖酵解过程生成。

#### (三) 填空题

1.  $\alpha$ -1, 4 糖苷键
2. 2 个 ATP
3. 己糖激酶; 果糖磷酸激酶; 丙酮酸激酶

4. 磷酸甘油醛脱氢酶
5. 柠檬酸合成酶；异柠檬酸脱氢酶； $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶
6. 6个ATP
7. 甘油醛 3-磷酸
8. 延胡索酸酶；氧化还原酶
9. 两个；氧化阶段；非氧化阶段；6-磷酸葡萄糖脱氢酶；6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶；NADP
10. 蔗糖
11. UDPG；果糖
12. 细胞质；葡萄糖；丙酮酸；ATP NADH
13. 淀粉磷酸化酶；转移酶； $\alpha$ -1, 6糖苷酶
14. 异柠檬酸脱氢酶； $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶
15. 异柠檬酸裂解酶；苹果酸合成酶
16. 丙酮酸；丙酮酸 $\rightarrow$ 乳酸
17. 1, 3-二磷酸甘油酸；磷酸烯醇式丙酮酸
18. 乳酸；甘油；氨基酸
19. TPP；NAD<sup>+</sup>；FAD；CoA；硫辛酸；Mg
20. 转酮醇酶；TPP；转醛醇酶
21.  $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶；琥珀酰转移酶；二氢硫辛酸脱氢酶
22. 磷酸烯醇式丙酮酸激酶；ATP；GTP
23. UDP-葡萄糖；G-1-P
24.  $\alpha$ -淀粉酶； $\beta$ -淀粉酶；R酶；麦芽糖酶
25. 淀粉磷酸化酶；转移酶；脱支酶
26. 识别；蛋白质；核酸；脂肪

#### (四) 选择题

1. B：该步骤是不可逆步骤逆反应由葡萄糖-6-磷酸酶催化。
2. B：
3. A：三羧酸循环最终消耗2个乙酰CoA释放2个CO<sub>2</sub>，产生的H<sup>+</sup>被NAD<sup>+</sup>和FAD接受生成NADH+H<sup>+</sup>和FADH<sub>2</sub>，进入电子传递链通过氧化磷酸化作用生成水和ATP
4. D：糖原，纤维素和淀粉合成反应需引物分子参与。
5. D：由葡萄糖生成丙酮酸产生8个ATP，丙酮酸生成乙酰CoA可产生3个ATP，乙酰CoA进入三羧酸循环可生成12个ATP，2个丙酮酸可15个ATP，共生成38个ATP。
6. C：
7. D：乙酰CoA只能进入三羧酸循环分解，不能经糖异生合成葡萄糖。
8. E：丙酮酸激酶是糖酵解途径的3个关键酶之一。
9. A：丙酮酸羧化酶是糖异生途径的关键酶，催化丙酮酸生成草酰乙酸的反应。
10. B：人在饥饿后摄食，肝细胞的主要糖代谢是糖的有氧氧化以产生大量的能量。
11. E：6-磷酸葡萄糖是磷酸戊糖途径所特有的其它都是糖酵解的中间产物。
12. D：糖蛋白中糖和蛋白质连接的键称糖肽键。
13. D：在磷酸戊糖途径的非氧化阶段发生三碳糖，六碳糖和九碳糖的相互转换。
14. D：
15. D：三羧酸循环共生成2个CO<sub>2</sub>，分别在生成-酮戊二酸的反应和它的下一步释放。
16. C：
17. C：醛缩酶催化的是可逆反应，可催化磷酸二羟丙酮和3-磷酸甘油醛生成果糖1, 6-二磷酸。



18. C: 三羧酸循环中只有一步底物水平磷酸化, 就是琥珀酰 CoA 生成琥珀酸的反应。
19. D: 丙酮酸脱氢酶催化丙酮酸生成乙酰 CoA, 需要的辅酶是 NAD<sup>+</sup>, CoA, TPP, FAD, 硫辛酸。
20. E: 异柠檬酸脱氢酶催化的反应是三羧酸循环过程的三个调控部位之一。
21. B: 生物素是羧化酶的辅酶, 这里只有丙酮酸羧化酶需要生物素作为辅酶。
22. C: 在三羧酸循环过程中, 发生氧化还原反应的酶中, 只有琥珀酸脱氢酶的辅因子是 FAD。
23. C: 在糖酵解和糖异生过程都发生反应的酶是在糖酵解中催化可逆反应步骤的酶, 这里只有 3-磷酸甘油醛脱氢酶。
24. D: 在有氧的情况下 1 摩尔葡萄糖氧化生成 38 个 ATP, 在无氧条件下生成 2 个 ATP, 二者比值是 19:1。
25. C: 催化直链淀粉转化为支链淀粉的酶是 Q 酶, 而催化支链淀粉脱支的酶是 R 酶。
26. A:  $\alpha$ -淀粉酶和  $\beta$ -淀粉酶的区别是前者耐 70℃ 高温, 而后者耐酸,  $\beta$ -淀粉酶是巯基酶。
27. B: 在糖酵解过程发生了两次底物水平磷酸化反应, 一次是 1, 3-二磷酸甘油酸生成 3-磷酸甘油酸的反应, 另外是磷酸烯醇式丙酮酸生成丙酮酸的反应。
28. C: 由-酮戊二酸生成琥珀酰 CoA 产生一个 NADH, 由琥珀酰 CoA 生成琥珀酸的反应产生一个 GTP
29. B: 丙二酸是琥珀酸的竞争性抑制剂, 竞争与琥珀酸脱氢酶结合。
30. B 由葡萄糖生成 6-磷酸葡萄糖消耗一个高能磷酸键。1-磷酸葡萄糖转变成 UDPG, 然后 UDP 脱落, 相当于 1 分子 UTP 转化为 UDP, 消耗一个高能磷酸键

### (三) 是非判断题

1. 错:  $\alpha$ -淀粉酶和  $\beta$ -淀粉酶的区别是  $\alpha$ -淀粉酶耐 70 度的高温,  $\beta$ -淀粉酶耐酸。
2. 错: 麦芽糖是葡萄糖与葡萄糖构成的双糖
3. 对: 磷酸果糖激酶是变构酶, 其活性被 ATP 抑制, ATP 的抑制作用可被 AMP 所逆转, 此外, 磷酸果糖激酶还被柠檬酸所抑制。
4. 错: 糖异生并不是糖酵解的简单逆行, 其中的不可逆步骤需要另外的酶催化完成。
5. 对: 戊糖磷酸途径分为氧化阶段和非氧化阶段, 氧化阶段的 3 步反应产生还原能, 非氧化阶段进行分子重排, 不产生还原能。
6. 对:
7. 对:
8. 对: 动物体内不存在乙醛酸循环途径, 不能将乙酰 CoA 转化成糖。
9. 对: 三羧酸循环中间产物可以用来合成氨基酸, 草酰乙酸可经糖异生合成葡萄糖, 糖酵解形成的丙酮酸, 脂肪酸氧化生成的乙酰 CoA 及谷氨酸和天冬氨酸脱氨氧化生成的-酮戊二酸和草酰乙酸都经三羧酸循环分解。
10. 错: 糖异生的关键反应是丙酮酸生成草酰乙酸的反应由丙酮酸羧化酶催化, 丙酮酸羧化酶是变构酶, 受乙酰 CoA 的调控。
11. 对:
12. 对: 丙酮酸羧化酶是变构酶, 受乙酰 CoA 的变构调节, 在缺乏乙酰 CoA 时没有活性, 细胞中的 ATP/ADP 的比值升高促进羧化作用。草酰乙酸既是糖异生的中间产物, 又是三羧酸循环的中间产物。高含量的乙酰 CoA 使草酰乙酸大量生成。若 ATP 含量高则三羧酸循环速度降低, 糖异生作用加强。
13. 错: 在植物体内, 蔗糖的合成主要是通过磷酸蔗糖合成酶途径。
14. 对: 糖酵解是由葡萄糖生成丙酮酸的过程, 它是葡萄糖有氧氧化和无氧发酵的共同途径。
15. 对:
16. 对: 淀粉磷酸化酶催化的反应是可逆反应, 正反应催化  $\alpha$ -1, 4 糖苷键的合成, 逆反应催化  $\alpha$ -1, 4 糖苷键的分解。
17. 错: TCA 中底物水平磷酸化直接生成的是 GTP, 相当于一个 ATP。

18. 对：三羧酸循环的中间产物-酮戊二酸经转氨作用生成谷氨酸。

19. 错：在糖代谢中最重要糖核苷酸是 UDPG。

(六) 完成反应式：

1. 丙酮酸 + CoASH + NAD<sup>+</sup> → 乙酰 CoA + CO<sub>2</sub> + (NADH + H<sup>+</sup>)

催化此反应的酶和其它辅因子：(丙酮酸脱氢酶)(TPP)(FAD)(Mg<sup>2+</sup>)

2. α-酮戊二酸 + NAD<sup>+</sup> + CoASH → (琥珀酰-S-CoA) + NADH + CO<sub>2</sub>

催化此反应的酶和其它辅因子：(α-酮戊二酸脱氢酶)(TPP)(FAD)(Mg<sup>2+</sup>)

3. 7-磷酸景天庚酮糖 + 3-磷酸甘油醛 → 6-磷酸-果糖 + (4-磷酸赤藓糖)

催化此反应的酶：(转醛酶)

4. 丙酮酸 CO<sub>2</sub> + (ATP) + H<sub>2</sub>O → (草酰乙酸) + ADP + Pi + 2H<sup>+</sup>

催化此反应的酶：(丙酮酸羧化酶)

5. (UDPG) + F-6-P → 磷酸蔗糖 + UDP

催化此反应的酶：(蔗糖磷酸合酶)

(七) 问答题(解题要点)

1. 答：(1) 糖类物质是异氧生物的主要能源之一，糖在生物体内经一系列的降解而释放大量的能量，供生命活动的需要。

(2) 糖类物质及其降解的中间产物，可以作为合成蛋白质 脂肪的碳架及机体其它碳素的来源。

(3) 在细胞中糖类物质与蛋白质 核酸 脂肪等常以结合态存在，这些复合物分子具有许多特异而重要的生物功能。

(4) 糖类物质还是生物体的重要组成成分。

2. 答：(1) 三羧酸循环是乙酰 CoA 最终氧化生成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的途径。

(2) 糖代谢产生的碳骨架最终进入三羧酸循环氧化。

(3) 脂肪分解产生的甘油可通过有氧氧化进入三羧酸循环氧化，脂肪酸经 β-氧化产生乙酰 CoA 可进入三羧酸循环氧化。

(4) 蛋白质分解产生的氨基酸经脱氨后碳骨架可进入三羧酸循环，同时，三羧酸循环的中间产物可作为氨基酸的碳骨架接受氨后合成必需氨基酸。所以，三羧酸循环是三大物质代谢共同通路。

3. 答：(1) 糖酵解过程中产生的磷酸二羟丙酮可转变为磷酸甘油，可作为脂肪合成中甘油的原料。

(2) 有氧氧化过程中产生的乙酰 CoA 是脂肪酸和酮体的合成原料。

(3) 脂肪酸分解产生的乙酰 CoA 最终进入三羧酸循环氧化。

(4) 酮体氧化产生的乙酰 CoA 最终进入三羧酸循环氧化。

(5) 甘油经磷酸甘油激酶作用后，转变为磷酸二羟丙酮进入糖代谢。

4. 答：乙醛酸循环是有机酸代谢循环，它存在于植物和微生物中，可分为五步反应，由于乙醛酸循环与三羧酸循环有一些共同的酶系和反应，将其看成是三羧酸循环的一个支路。循环每一圈消耗 2 分子乙酰 CoA，同时产生 1 分子琥珀酸。琥珀酸产生后，可进入三羧酸循环代谢，或经糖异生途径转变为葡萄糖

乙醛酸循环的意义：

(1) 乙酰 CoA 经乙醛酸循环可以和三羧酸循环相偶联，补充三羧酸循环中间产物的缺失。

(2) 乙醛酸循环是微生物利用乙酸作为碳源的途径之一。

(3) 乙醛酸循环是油料植物将脂肪转变为糖和氨基酸的途径。

5. 答：(1) 产生的 5-磷酸核糖是生成核糖，多种核苷酸，核苷酸辅酶和核酸的原料。

(2) 生成的 NADPH+H<sup>+</sup> 是脂肪酸合成等许多反应的供氢体。

(3) 此途径产生的 4-磷酸赤藓糖与 3-磷酸甘油酸可以可成莽草酸，进而转变为芳香族氨基酸。

(4) 途径产生的 NADPH+H<sup>+</sup> 可转变为 NADH+H<sup>+</sup>，进一步氧化产生 ATP，提供部分能量。

6. 答：糖分解代谢可按 EMP-TCA 途径进行，也可按磷酸戊糖途径，决定因素是能荷水平，能荷低时糖分

解按 EMP-TCA 途径进行, 能荷高时可按磷酸戊糖途径

7. 答: 丙氨酸成糖是体内很重要的糖异生过程。首先丙氨酸经转氨作用生成丙酮酸, 丙酮酸进入线粒体转变成草酰乙酸。但生成的草酰乙酸不能通过线粒体膜, 为此须转变成苹果酸或天冬氨酸, 后者到胞浆里再转变成草酰乙酸。草酰乙酸转变成磷酸烯醇式丙酮酸, 后者沿酵解路逆行而成糖。总之丙氨酸成糖须先脱掉氨基, 然后绕过“能障”及“膜障”才能成糖。

8. 答: 磷酸二羟丙酮可还原  $\alpha$ -磷酸甘油, 后者可参与合成甘油三酯和甘油磷脂。

3-磷酸甘油酸是丝氨酸的前体, 因而也是甘氨酸和半胱氨酸的前体。

磷酸烯醇式丙酮酸两次用于合成芳香族氨基酸的前体——分支酸。它也用于 ADP 磷酸化成 ATP。在细菌, 糖磷酸化反应(如葡萄糖生成 6-磷酸葡萄糖)中的磷酸基不是来自 ATP, 而是来自磷酸烯醇式丙酮酸。

丙酮酸可转变成丙氨酸; 它也能转变成羟乙基用以合成异亮氨酸和缬氨酸(在后者需与另一分子丙酮酸反应)。两分子丙酮酸生成  $\alpha$ -酮异戊酸, 进而可转变成亮氨酸。

9. 答: (1) 琥珀酰 CoA 主要来自糖代谢, 也来自长链脂肪酸的  $\omega$ -氧化。奇数碳原子脂肪酸, 通过氧化除生成乙酰 CoA, 后者进一步转变成琥珀酰 CoA。此外, 蛋氨酸, 苏氨酸以及缬氨酸和异亮氨酸在降解代谢中也生成琥珀酰 CoA。

(2) 琥珀酰 CoA 的主要代谢去路是通过柠檬酸循环彻底氧化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。琥珀酰 CoA 在肝外组织, 在琥珀酸乙酐乙酰 CoA 转移酶催化下, 可将辅酶 A 转移给乙酐乙酸, 本身成为琥珀酸。此外, 琥珀酰 CoA 与甘氨酸一起生成  $\delta$ -氨基- $\gamma$ -酮戊酸 (ALA), 参与血红素的合成。

## 第六章 脂类代谢

### 一、一、知识要点

#### (一) 脂肪的生物功能:

脂类是指一类在化学组成和结构上有很大差异, 但都有一个共同特性, 即不溶于水而易溶于乙醚、氯仿等非极性溶剂中的物质。通常脂类可按不同组成为五类, 即单纯脂、复合脂、萜类和类固醇及其衍生物、衍生脂类及结合脂类。

脂类物质具有重要的生物功能。脂肪是生物体的能量提供者。

脂肪也是组成生物体的重要成分, 如磷脂是构成生物膜的重要组分, 油脂是机体代谢所需燃料的贮存和运输形式。脂类物质也可作为动物机体提供溶解于其中的必需脂肪酸和脂溶性维生素。某些萜类及类固醇类物质如维生素 A、D、E、K、胆酸及固醇类激素具有营养、代谢及调节功能。有机体表面的脂类物质有防止机械损伤与防止热量散发等保护作用。脂类作为细胞的表面物质, 与细胞识别, 种特异性和组织免疫等有密切关系。

#### (二) 脂肪的降解

在脂肪酶的作用下, 脂肪水解成甘油和脂肪酸。甘油经磷酸化和脱氢反应, 转变成磷酸二羟丙酮, 纳入糖代谢途径。脂肪酸与 ATP 和 CoA 在脂酰 CoA 合成酶的作用下, 生成脂酰 CoA。脂酰 CoA 在线粒体内膜上肉毒碱: 脂酰 CoA 转移酶系统的帮助下进入线粒体衬质, 经  $\beta$ -氧化降解成乙酰 CoA, 在进入三羧酸循环彻底氧化。 $\beta$ -氧化过程包括脱氢、水合、再脱氢和硫解四个步骤, 每次  $\beta$ -氧化循环生成  $\text{FADH}_2$ 、 $\text{NADH}$ 、乙酰 CoA 和比原先少两个碳原子的脂酰 CoA。此外, 某些组织细胞中还存在  $\alpha$ -氧化生成  $\alpha$ -羟脂肪酸或  $\text{CO}_2$  和少一个碳原子的脂肪酸; 经  $\omega$ -氧化生成相应的二羧酸。

萌发的油料种子和某些微生物拥有乙醛酸循环途径。可利用脂肪酸 $\beta$ -氧化生成的乙酰 CoA 合成苹果酸，为糖异生和其它生物合成提供碳源。乙醛酸循环的两个关键酶是异柠檬酸裂解酶和苹果酸合成酶前者催化异柠檬酸裂解成琥珀酸和乙醛酸，后者催化乙醛酸与乙酰 CoA 生成苹果酸。

### （三）脂肪的生物合成

脂肪的生物合成包括三个方面：饱和脂肪酸的从头合成，脂肪酸碳链的延长和不饱和脂肪酸的生成。脂肪酸从头合成的场所是细胞液，需要  $\text{CO}_2$  和柠檬酸的参与， $\text{C}_2$  供体是糖代谢产生的乙酰 CoA。反应有二个酶系参与，分别是乙酰 CoA 羧化酶系和脂肪酸合成酶系。首先，乙酰 CoA 在乙酰 CoA 羧化酶催化下生成，然后在脂肪酸合成酶系的催化下，以 ACP 作酰基载体，乙酰 CoA 为  $\text{C}_2$  受体，丙二酸单酰 CoA 为  $\text{C}_2$  供体，经过缩合、还原、脱水、再还原几个反应步骤，先生成含 4 个碳原子的丁酰 ACP，每次延伸循环消耗一分子丙二酸单酰 CoA、两分子 NADPH，直至生成软脂酰 ACP。产物再活化成软脂酰 CoA，参与脂肪合成或在微粒体系统或线粒体系统延长成  $\text{C}_{18}$ 、 $\text{C}_{20}$  和少量碳链更长的脂肪酸。在真核细胞内，饱和脂肪酸在  $\text{O}_2$  的参与和专一的去饱和酶系统催化下，进一步生成各种不饱和脂肪酸。高等动物不能合成亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸，必须依赖食物供给。

3-磷酸甘油与两分子脂酰 CoA 在磷酸甘油转酰酶作用下生成磷脂酸，在经磷酸酶催化变成二酰甘油，最后经二酰甘油转酰酶催化生成脂肪。

### （四）磷脂的生成

磷脂酸是最简单的磷脂，也是其他甘油磷脂的前体。磷脂酸与 CTP 反应生成 CDP-二酰甘油，在分别与肌醇、丝氨酸、磷酸甘油反应，生成相应的磷脂。磷脂酸水解成二酰甘油，再与 CDP-胆碱或 CDP-乙醇胺反应，分别生成磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺。