

第七章 微生物生态

第一节 微生物生态系统

第二节 微生物与生物地球化学循环

第一节 微生物生态系统

生态系统

- **生态学**：研究生物与环境条件之间相互作用的规律性，包括微生物与微生物之间、微生物与其他生物之间、微生物与环境因子之间的相互作用。
- **生物圈**：生物在地球表面进行生命活动的有机圈层，具层次结构和代谢功能等特征，是环境条件的最大调节者和缓冲剂。
- **生态系统**：生物群落与其生存环境组成的整体系统，是生物圈的基本单元和功能单元。

生物群落：包括动物、植物和微生物

环境：生物环境（生物间的相互作用）和非生物环境（土壤、水、空气、温度、光照、风等）

基本功能：生物生产、能量的转换、物质的循环、信息传递等

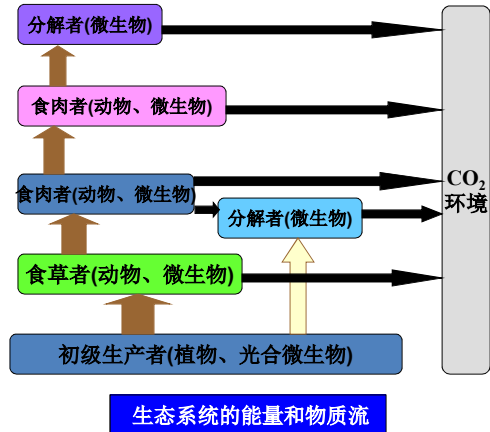
第一节 微生物生态系统

生态系统

能量流：能量以食物的形式从低营养级生物向高营养级生物的流动。

物质流：生态系统中物质元素在不同生物之间，及生物与环境之间的循环转化。

食物链：不同生物之间以食物的形式相互联系而成的具有依赖性的锁链式的食物系统。



第一节 微生物生态系统

生态系统

生物功能群：按照生物在生态系统物质循环中的作用而划分的类群。

- | | | | |
|------------|---------------|----------------|----------------|
| { | 生产者(光合生物) | { | 食腐动物：白蚁、鹰 |
| | 消费者(动物和异养微生物) | | (以动植物尸体为食) |
| | | | 食肉/食草动物 |
| | | | 原生动物 |
| 分解者(异养微生物) | | 寄生生物：蛔虫、兔丝子、菌类 | |
| | | | (寄生于生活者的体表或体内) |

第一节 微生物生态系统

生态系统

生态系统平衡维持的根本原因：**反馈机制**

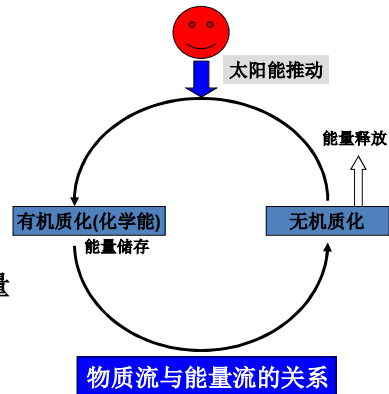
能量流与物质流的关系

相互依赖，相互联系

生态平衡：生物与环境之间形成的协调、稳定状态。

生态平衡的三个标志：

1. 生产者、消费者、分解者按一定量的比例结合；
2. 物质循环和能量流动协调畅通；
3. 总的输出和输入量平衡。



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

- **微生物生命系统层次：**个体、种群、群落、生态系统
种群：具有相似特性和生活在一定空间内的同种个体群。
群落：一定区域内或一定生境中各种微生物种群相互松散结合的一种结构单位。

- **微生物生态系统：**微生物群落与其生存环境组成的整体系统。

特点

- 1、**微环境：**与微生物的关系最为密切的、直接影响微生物生存和发展的周围环境。
- 2、**稳定性：**在微生物生态系统中，微生物种类的组成具有一定的稳定性。一般来说微生物群落结构和功能越复杂，调节能力愈强、稳定性越高。
两类：优势种群、劣势种群
- 3、**适应性：**当环境条件剧烈变化时微生物群体通过改变群体结构，以适应新的环境，形成新的生态系统。

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

一、土壤中的微生物

土壤是地球表层的岩石经过风化作用，以及在生物因素作用下形成的。

微生物对土壤的作用

- 1、微生物是土壤的重要组成成分
- 2、微生物是土壤形成的先驱生物
如自养固氮菌，蓝细菌等
- 3、将土壤有机物矿化分解成简单的无机物，推动土壤中物质转化。
如有机态氮向无机氮（氨态氮、硝态氮）的转换等

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

土壤是微生物天然培养基。

一、土壤中的微生物

土壤是微生物大本营、也是人类最丰富的“菌种资源库”。

土壤为微生物生长提供有利条件：

- 土壤中具有丰富的营养物质
- 土壤的pH值多为5.5~8.5
- 土壤渗透压多为等渗或低渗 ■
- 土壤保证氧气和水的供应（团粒结构） ■
- 土壤具有良好的保温性 ■
- 土壤最上面的表土层起到保护作用

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

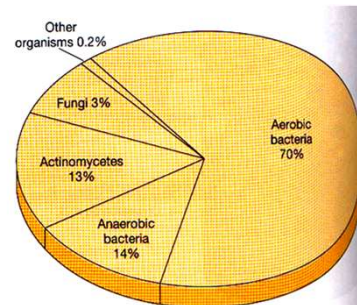
一、土壤中的微生物

土壤微生物数量：按种类递减

细菌 > 放线菌 > 真菌 > 藻类 > 原生动物

70~90%

土壤微生物的代谢活动，可改变土壤的理化性质，进行物质转化。因此，土壤微生物是构成土壤肥力的重要因素。



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

一、土壤中的微生物

土壤剖面结构与微生物垂直分布

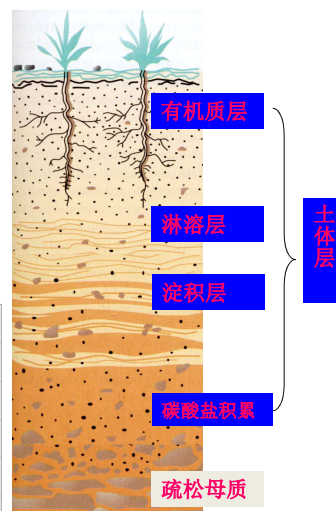
营养、水、温度、通气等环境因子影响微生物的分布

主要分布于表层30 cm以内

各种微生物的生物量基本相当。

耕作层15 cm的微生物量

类群	菌数(cfu/g)	生物量(g/m ²)
细菌	10 ⁸	160
放线菌	10 ⁵ - 10 ⁶	160
真菌	10 ⁵	200
藻类	10 ⁴ - 10 ⁵	32
原生动物	10 ⁴	38



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

不同深度典型花园土壤中的微生物数量

TABLE 27.1

Microorganisms per Gram of Typical Garden Soil at Various Depths

Depth (cm)	Bacteria	Actinomycetes*	Fungi	Algae
3-8	9,750,000	2,080,000	119,000	25,000
20-25	2,179,000	245,000	50,000	5000
35-40	570,000	49,000	14,000	500
65-75	11,000	5000	6000	100
135-145	1400	—	3000	—
3500-4500 m	100	—	—	—

*Filamentous bacteria

Sources: Adapted from M. Alexander, *Introduction to Soil Microbiology*, 2nd ed. New York: Wiley, 1991; U.S. Department of Energy, Deep Subsurface Microbiology Program.

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

一、土壤中的微生物

土壤团聚体与微生物的分布

土壤团聚体（土壤团粒）：由土壤矿物质颗粒（黏粒）、微生物、植物残体以及腐殖质构成的微团聚体经过多次复合和团聚而成的结构。

不同的团聚体
微生物的分布
不同。

同一团聚体内
外微生物的分布
不同。

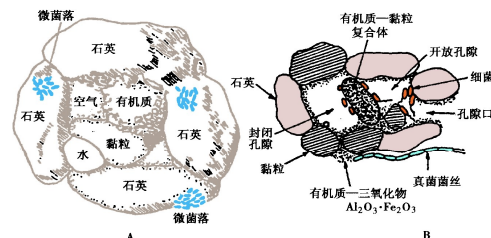


图 8-6 土壤微团聚体和细菌微菌落
A. 微菌落和矿质颗粒 (Atlas/Bartha, 1997) B. 团聚体的孔隙和微生物

第一节 微生物生态系统

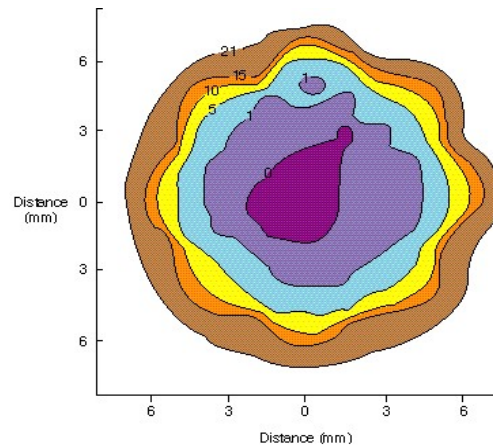
微生物生态系统

一、土壤中的微生物

土壤团聚体与微生物的分布

团聚体周围的等氧线

耕地土壤一个团聚体等氧压线，在近中心部位为一缺氧带，由此向外，氧浓度逐渐提高。



团聚体周围的等氧线

第一节 微生物生态系统

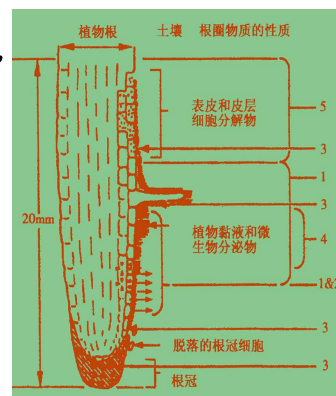
微生物生态系统

二、根际微生物

根际：生长中的植物根系直接影响的土壤区域，是植物根系有效吸收养分的范围，也是根系分泌作用旺盛的部分，因而是微生物与植物相互作用的界面。

根际效应：与根圈外土壤中微生物群落相比，生活在根际的微生物，在数量、种类和活性上表现出一定的特异性的现象。

根土比：反映根际效应的重要指标，根际土壤微生物与根圈外土壤微生物数量比值。一般为5~20。



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

二、根际微生物

数量多、种类少

类群

1、**根际细菌**：革兰氏阴性无芽孢杆菌类占绝对优势，如假单胞菌、黄杆菌、产碱杆菌、土壤杆菌等

群落稳定

2、**根际真菌**：镰孢霉属、腐霉属、丝核菌属等（分解高分子化合物）

3、**根际原生动物**：波多虫属、尾滴属、肾形虫、小变形虫等

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

二、根际微生物

根际微生物对植物的影响

1、主要的有利作用

- (1) 改善植物的营养
- (2) 为植物提供生长调节物质
- (3) 增强了植物的抵抗土著病原菌的能力

2、主要的不利作用

- (1) 引起作物病害
- (2) 产生有毒物质
- (3) 竞争有限的养分

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

无固定微生物种群

三、大气中的微生物

1、存在形式：孢子、芽孢等休眠体

2、来源：尘埃等漂浮物

3、常见种类：

霉菌：曲霉、青霉、木霉、根霉、毛霉、白地霉

细菌：枯草芽孢杆菌、八叠球菌等

病原菌：结核杆菌、白喉杆菌、肺炎双球菌、流感病毒

4、大气微生物（数量、种类等）分布的影响因子：

(1) 温度、湿度

(2) 地区性质（人类活动）

(3) 季节的演替等

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

三、大气中的微生物

不同室内环境的微生物总数及致病微生物的种类和数量 (cfu m⁻³)

场所	总微生物数	微生物种类	微生物数量
住房	180	—	—
办公室	1400	口腔链球菌	11
		涎链球菌	1.4
教室	2500	链球菌	36
		草绿色链球菌	18
		涎链球菌	11
		肠球菌	7
		乙型溶血性链球菌	1.1
实验室	200	—	—
医院	1100	金黄色葡萄球菌	7
	700	革兰氏阴性杆菌	110
	700	魏氏产气荚膜杆菌	3.5

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

四、水圈中的微生物

淡水微生物

1、来源：

土壤、空气、污水等

2、种类：

土著性、主要为自养微生物，如光能自养、化能自养菌等

3、影响微生物在淡水中分布的因子：

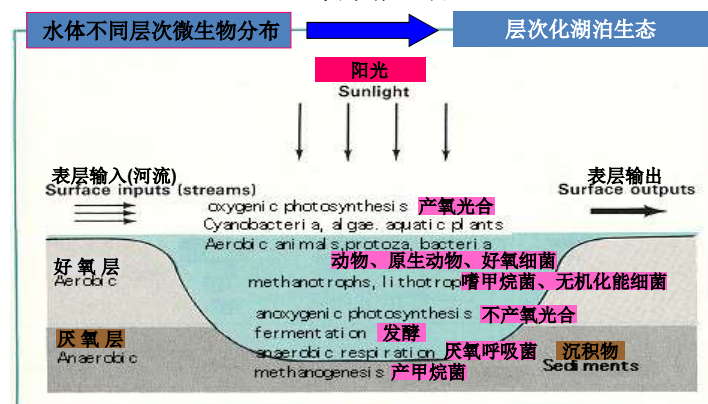
营养物质、光线、溶解氧等。

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

四、水圈中的微生物

淡水微生物



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

四、水圈中的微生物

海洋微生物

1、种类：耐压、嗜冷和适应低营养的微生物

2、分布：

(1) 平面分布：近海、海底淤泥表层，数量很高

(2) 垂直分布：

表层：好氧性微生物

中层：紫硫细菌

底层：厌氧菌及硫酸还原菌

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

五、极端环境中的微生物

能在特殊的环境中生存，例如高温、低温、高盐、高碱、高酸、高压、高辐射等环境。由于适应特殊环境，形成独特的代谢机能、结构和遗传基因。

类型

嗜热微生物

嗜冷微生物

嗜盐微生物

嗜压微生物

嗜碱微生物

嗜酸微生物

抗辐射的微生物



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

五、极端环境中的微生物

嗜热微生物

- 1、发现（地热泉、热水系统、制糖厂）
- 2、生存机制

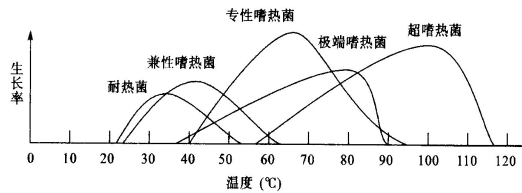
细胞膜中高熔点脂肪、热稳定蛋白、GC含量高、高碱基堆积力、核酸保护蛋白

- 3、应用

嗜热脂肪酶、淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶、木聚糖酶应用于食品，造纸、环保等工业。PCR反应中的DNA聚合酶



线状物为自养细菌



第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

五、极端环境中的微生物

嗜冷微生物

- 1、发现（红雪现象）

- 2、生存机制

特殊的酶

细胞膜含特殊的脂肪

- 3、应用

环保：降解低温环境下的污染物

食品：嗜冷淀粉酶、蛋白酶和木糖酶缩短生面发酵时间

制造业：纤维素酶用于生物抛光，石洗工艺中可节约能源

医疗：不饱和脂肪酸的来源



极地雪藻最适宜温度为0°C~10°C

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

五、生物体内外的微生物

1、动物体内正常微生物区系

➤ **正常菌群**：生活在健康动物各部位，数量大、种类较稳定且一般是有益无害的微生物，称为正常菌群。

➤ **正常菌群与动物体的关系**：一般能维持平衡，菌群内部的各种微生物之间，也是相互制约而维持相对稳定。

➤ **变化情况**：正常菌群是相对的、可变的、有条件的。

➤ 机体防御机能减弱时，一部分正常菌群会成为病原微生物；

➤ 正常菌群在非正常部位时也可引起疾病；

➤ 由于外界因素的影响，破坏了各种微生物之间的相互制约关系，正常菌群也会引起疾病（菌群失调症）。

第一节 微生物生态系统

微生物生态系统

五、生物体内外的微生物

2、植物体内外微生物

➤ **植物内生菌**：一定阶段或全部阶段生活于健康植物的组织和器官内部的真菌或细菌。

➤ **附生菌群**：指生活在植物体表面，主要借其外渗物质或分泌物为营养的微生物。叶面微生物是主要的附生微生物。

种类丰富、代谢途径多样，是优良天然产物菌种资源

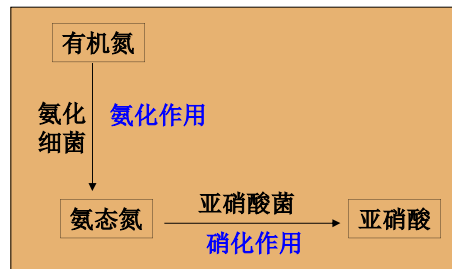
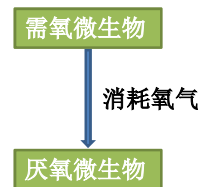
第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

互生关系

1、偏利共栖：

两个生物群落生活在一起时，其中一个生物群落的生命活动对另一个生物群落产生有利影响，而本身不受害，也不得利。



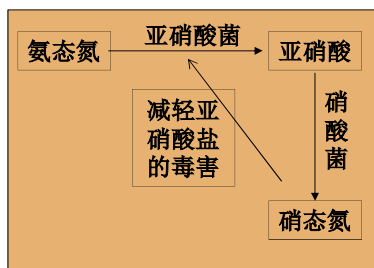
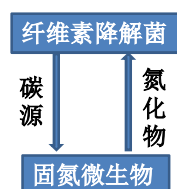
第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

互生关系

2、协同共栖：

两个生物群落生活在一起时，形成协作关系，互相获利。



第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

3、共生/互利共栖:

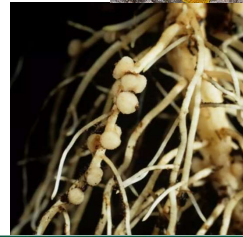
两种生物群体紧密生活在一起，互相依存，互换生命活动产物。
形成特殊的共生结构

地衣：由真菌与藻类或蓝细菌形成的共生体。

↓
运输矿质营养

↓
光合作用

根瘤： 根瘤菌与豆科植物的共生体。

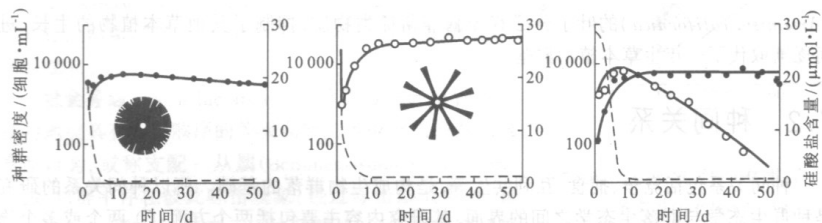


第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

4、竞争:

两种生物之间的竞争包括对营养和生存空间的竞争，竞争的结果对两个群体均产生不利影响，使两个群体的密度下降，生长速度减缓。
需氧微生物进行呼吸作用会争夺氧气。



第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

5、拮抗：

一种微生物在其生命活动中，产生某种代谢产物或改变环境条件，从而对其他微生物产生抑制和毒害的作用。

泡菜与酸奶
抗生素产生菌

6、寄生：

一种微生物寄生在另一种微生物细胞中或细胞表面，从寄主中取得养料，并引起寄主病害或死亡。

噬菌体与细菌

蛭弧菌寄生于G⁻菌（蛭弧菌被噬菌体寄生——超寄生现象）

粘细菌对细菌的寄生：依靠胞外酶溶解敏感菌群，释放出营养物

第一节 微生物生态系统

微生物群体间的相互作用

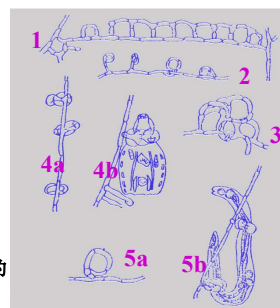
7、捕食：

一种微生物直接吞食另一种微生物的现象。

原动物对细菌的捕食

藻类对细菌和其它藻的捕食

- 1 梯状捕捉网 2 环状捕捉网
- 3 环状捕捉网 4a 三环菌丝网
- 4b 绞环和被勒死的昆虫
- 5a 环状网 5b 被两个环状网勒死的线虫和侵入虫体的菌丝



各种捕食线虫的真菌和捕捉器

第一节 微生物生态系统

微生物与动植物间的相互作用

共生/共栖

肠道菌群/瘤胃微生物与宿主动物

发光细菌与宿主动物（鱿鱼等）

菌根真菌与宿主植物



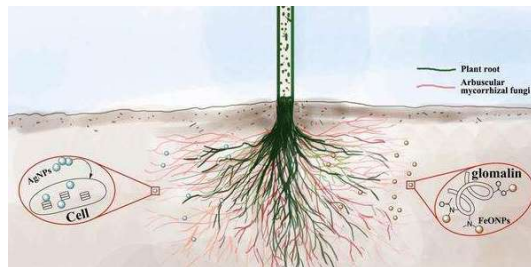
寄生

动植物病毒、寄生性病

原菌等

捕食

捕虫菌目捕捉小型原生
动物或无脊椎动物



第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

生态学：群体生态学、个体生态学

群体生态学：研究微生物多样性及微生物群落与环境的相互关系。

个体生态学：研究一种生物与环境的相互关系，包括其在环境中的数量变化、迁移规律即同其他生物之间的相互关系。

第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

微生物生物量

微生物活体的总量 = 细胞数*体积*比重

微生物生物量的测定（生理或生化方法）

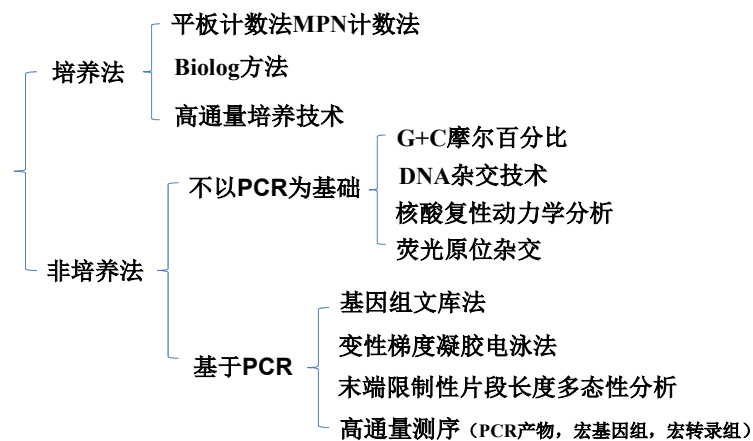
- 1) 酶法（脱氢酶、氧化酶、纤维素酶等）
- 2) 稀释平板法和直接计数法
- 3) 土壤熏蒸法
- 4) ATP、DNA含量测定

用氯仿熏蒸土壤，杀死所有微生物，再接种少量土样，培养后测定接入的微生物分解矿化被杀死的微生物所释放出来的 CO_2 ，与对照相比

第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

微生物多样性研究技术



第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

聚合酶链式反应 (Polymerase Chain Reaction)

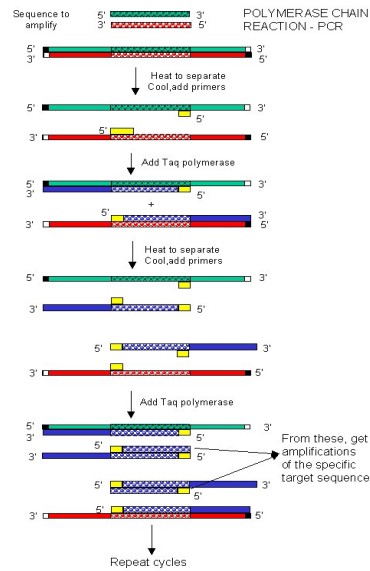
系统：模板，引物 dNTP，
Taq酶，缓冲液， Mg^{2+}

反应条件

变性 (94-95 °C)

退火 (35-65 °C)

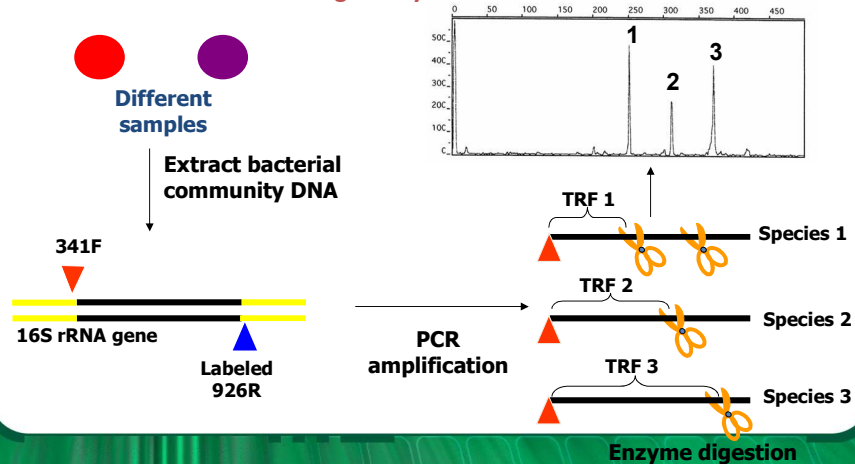
延伸 (72°C)



第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

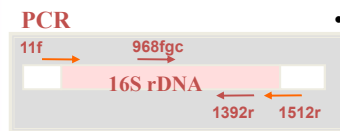
末端限制性片段长度多态性 (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)



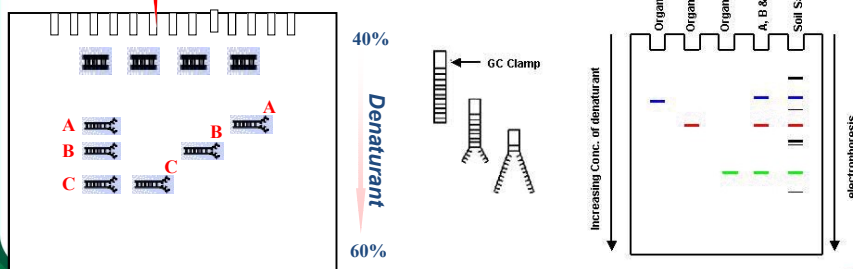
第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

变性梯度凝胶电泳 (Denatured Gradient Gel Electrophoresis)



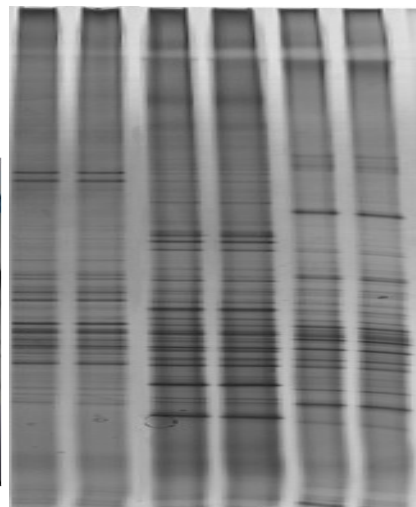
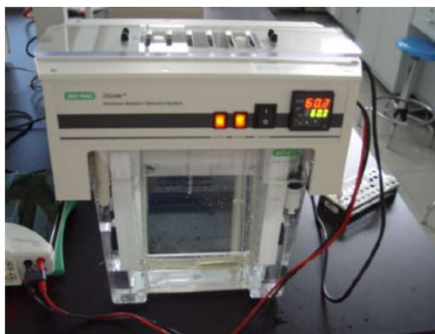
- 1993年Muyzer等人首次将其应用于微生物群落结构研究，是研究微生物群落结构的主要分子生物学方法之一（2000年左右）



第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

变性梯度凝胶电泳



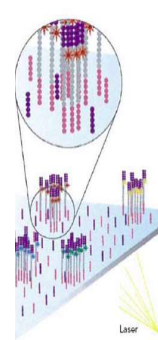
第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

高通量测序技术

一次能对几十万到几百万条DNA分子进行测序，使得对一个物种的转录组测序或基因组深度测序或环境样品测序变得方便易行。

- 将片段化的基因组DNA两侧连上接头；
- 用不同方法产生几百万个空间固定的PCR克隆阵列，测序可大规模平行进行；
- 引物杂交和酶延伸反应，所掺入的荧光标记同时通过成像检测获得测序数据。
- 计算机分析获得完整的DNA序列信息。

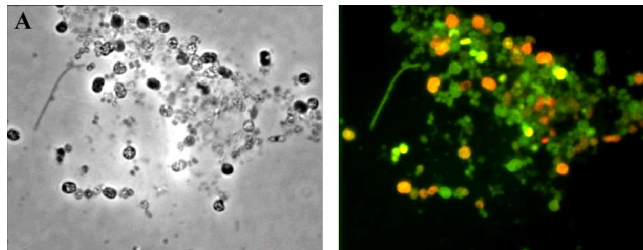


第一节 微生物生态系统

微生物生态学研究方法

荧光原位杂交（FISH）

- 将DNA探针用同位素或荧光染料标记，按碱基互补配对原则，与固定在玻片上的染色体DNA杂交后，在荧光显微镜下呈现不同颜色。可在原位探测特定细胞，并可提供部分形态、空间分布的信息
- 缺点：受到环境样品微生物的生理状态的影响，芽孢、放线菌及休眠时期的细胞通透性低，使部分种属丰度的错误估计；要根据已知种属设计探针，不能检测出未知种属



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

生物地球化学循环：生物圈中的各种化学元素，经生物化学作用在生物圈中的转化和运动，是推动地球向更有利于生物生存繁衍方向演化的巨大动力，是地球化学循环的重要组成部分，对于保持生态平衡意义重大。

过程：无机物的有机质化（合成）、有机物质的无机质化（矿化或分解）

循环速率：主要组成元素（C、H、O、N、P、S）循环很快

少量或微量元素（Mg、K、Na、Al、Mo等）循环较慢

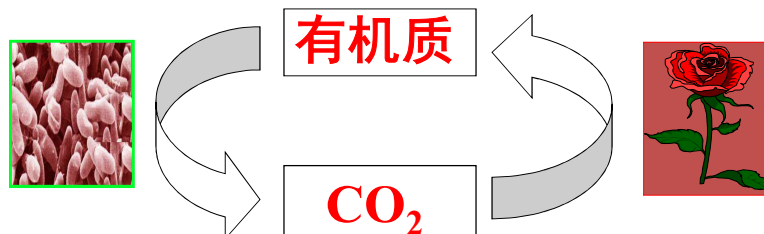
Fe、Mn（氧化还原）、Ca、Si（细胞结构）也循环很快

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环

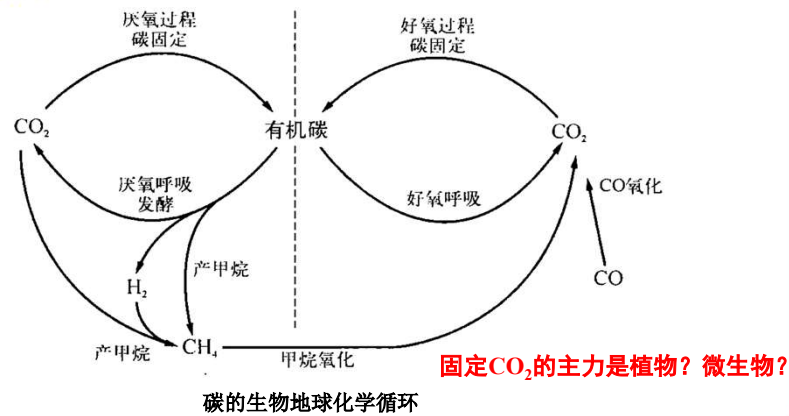
- 碳是构成生命体的基本元素，占细胞干物质的40%~50%
- 空气中的CO₂是生物碳素的来源
- 生物每年吸收 $1.2 \times 10^{11} \sim 1.8 \times 10^{11}$ 吨CO₂



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环



第二节 微生物与生物地球化学循环

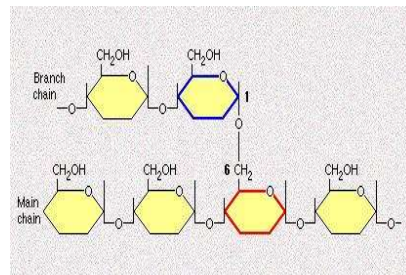
生物地球化学循环

碳循环

碳水化合物是微生物赖以生存的主要碳源和能源物质。

单糖、双糖可被微生物很好利用。

自然界中，多糖普遍存在，如纤维素、半纤维素、木质素、淀粉、果胶等。



淀粉

由D-吡喃葡萄糖基借 α -(1,4)糖苷键连接的线性可具有分支(α -1,6-糖苷键)的同多糖

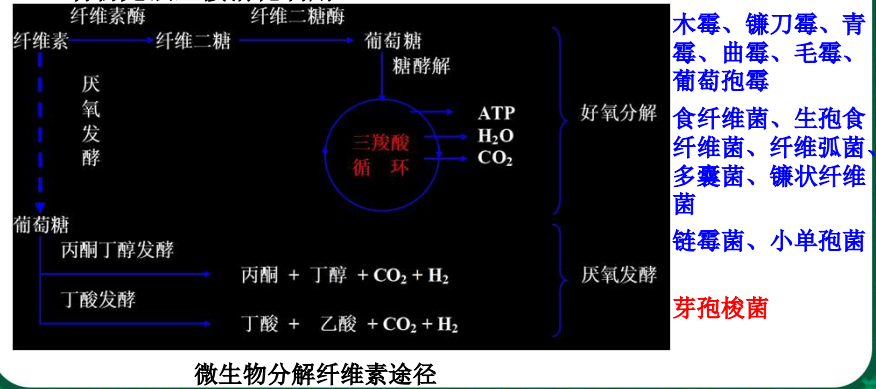
动物微生物可产生各种淀粉酶，水解利用淀粉

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-纤维素分解

纤维素是植物内含量最高的有机物，也是地球上数量最多的有机物。
动物无法直接消化利用

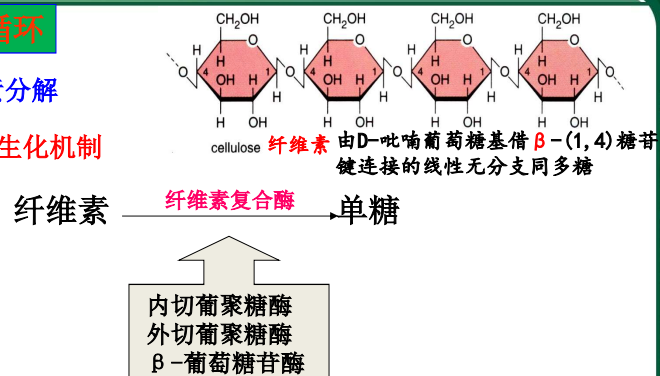


第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-纤维素分解

分解纤维素的生化机制



按作用场所分:

表面酶: 分布于细胞表面, 不能在其细胞培养液中起作用的酶 (食纤维菌)。

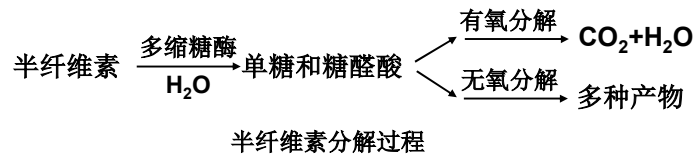
胞外酶: 分泌到胞外, 在细胞生活环境中起作用的酶 (真菌形成的纤维素酶)。

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-半纤维素分解

在植物中，半纤维素含量仅次于纤维素。



大多数能分解纤维素的微生物都可以分解半纤维素

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

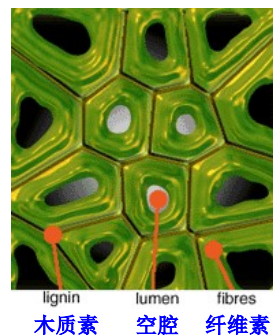
碳循环-木质素分解

最难分解的植物组分！

在植物内，木质素含量仅次于纤维素和半纤维素。通常，木质素与纤维素紧密结合，当木质素含量>40%，可包裹纤维素而使纤维素难以分解。

分解木质素的微生物：真菌为主。担子菌中的**黄孢原毛平革菌**、糙皮侧耳、彩绒革盖菌，子囊菌中的炭角菌属、盘针孢菌属。放线菌中的链霉菌和诺卡氏菌。

胞外酶：木质素过氧化物酶、锰过氧化物酶、漆酶



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-木质素分解

根据腐烂物质的颜色：

白腐：分解木材中的木质素和纤维素，**残留物以纤维素**为主而呈白色。

如黄孢原平毛革菌(*Phanerochaete chrysosporium*)是白腐真菌的一种，隶属于担子菌纲、同担子菌亚纲、非褶菌目、丝核菌科。培养温度高、无性繁殖快、木质素酶分泌强。

褐腐：分解木材中的纤维素，产生黄褐色色素，**残留物以木质素**为主，如卧孔菌属、黏褶菌属。



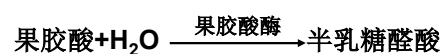
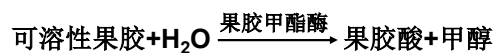
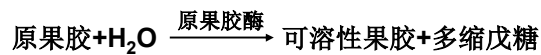
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-果胶质分解

果胶质：由半乳糖醛酸以 α -(1,4)糖苷键连成的高分子化合物，存在于所有植物组织的细胞壁及细胞间层中。

分解过程：



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

碳循环-果胶质分解

分解果胶质的微生物：以细菌和真菌为主

细菌：好氧—枯草芽孢杆菌、多黏芽孢杆菌、软腐欧氏杆菌

厌氧—费新尼亚浸麻梭菌

真菌：青霉、曲霉、木霉、毛霉等

果胶质分解的应用——麻类脱胶

水浸法：把麻类物质浸入水中，利用厌氧微生物分解其中的果胶。

露浸法：把麻类物质堆置并保持一定的湿度，利用好氧微生物分解果胶。■

第二节 微生物与生物地球化学循环

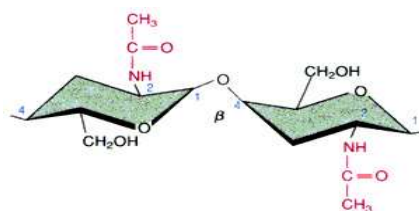
生物地球化学循环

碳循环-几丁质分解

几丁质：俗称甲壳素，广泛存在于自然界的一种含氮多糖类物质，主要的来源为虾、蟹、昆虫等甲壳类动物的外壳。

分解几丁质的微生物：少数细菌和放线菌

分解机制：分泌几丁质酶

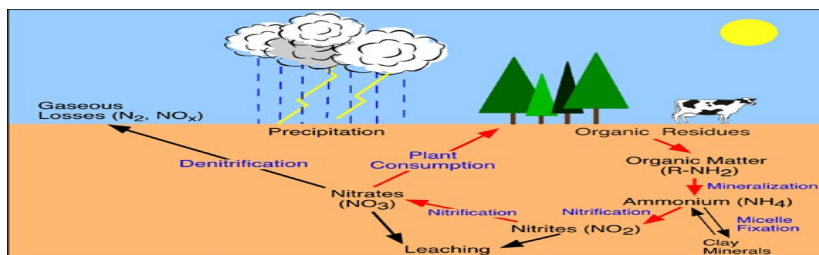


第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环 生物有机体的重要组成元素
限制植物生长的主要营养元素

氮素形态 { 分子氮 \rightarrow N_2
无机氮 \rightarrow NH_4^+ 、 NO_3^- 等
有机氮 \rightarrow 蛋白质等



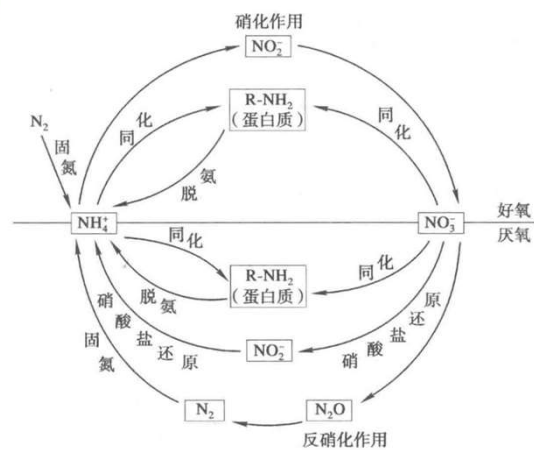
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环

氮循环组成:

- 脱氨 (氨化)
- 固氮
- 同化作用
- 硝化作用
- 反硝化作用
- 硝酸盐还原



氮的生物地球化学循环

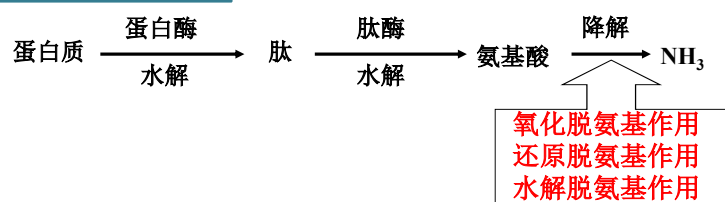
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-氨化作用

氨化：有机态N（蛋白质、尿素、尿酸、核酸、几丁质等）被微生物降解形成 NH_3 的过程。

蛋白质的氨化作用过程

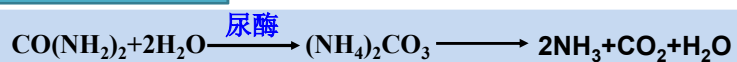


第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-氨化作用

尿素的氨化作用过程



尿素细菌：球菌：尿素生孢八叠球菌、尿小球菌

芽孢杆菌：巴斯德尿素芽孢杆菌（唯一N源）

喜碱性条件、以尿素、铵盐为N源，以有机C为C源、能源

农业实践对策

施尿素注意**深施**；尿素不要与**碱性**物质同时施入

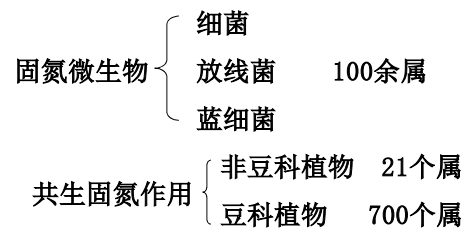
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-固氮

固氮：分子氮被还原成氨和其他氮化物的过程。

*生物固氮量： 2.40×10^8 吨/年



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-固氮

生物固氮作用的机理

1、固N酶的结构：钼铁蛋白和铁蛋白

2、固N酶固氮的基本反应



3、固N酶作用的基本条件

- 1、能量（28ATP）
- 2、电子供体
- 3、电子载体（铁氧还蛋白和黄素氧还蛋白）
- 4、无氧环境（保护固氮酶的免氧失活机制）

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-固氮

生物固氮种类

- 1、自生固氮：微生物独立生活时进行固氮的现象。
- 2、共生固氮：微生物与植物形成具有特殊结构与功能的器官而进行固氮的现象。
- 3、内生固氮：定植在植物内部与植物联合固氮的现象。
- 4、联合固氮：固氮微生物与植物根系联合，进行固氮作用的现象。

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-固氮

影响生物固氮作用的因素

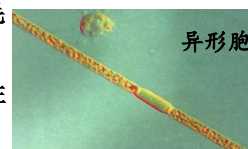
- 1、土壤化合态氮对自生和共生固氮作用的影响

丰富的化合态氮抑制固氮作用

- (1) 对自生固氮的影响：抑制固氮酶活性—破坏电子传递
- (2) 对共生固氮的影响：妨碍根瘤菌进入根毛
影响根瘤的长大
降低根瘤的固氮活性

- 2、氧气对固氮作用的影响

好氧固氮菌固氮的防氧保护：**蓝细菌的异形胞**
豆血红蛋白（根瘤内皮层细胞）
加强呼吸作用、改变固氮酶构象



壁厚阻氧
无核不固定CO₂

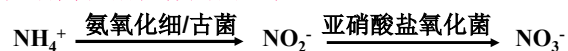
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-硝化 硝化：将铵氧化形成硝酸的微生物学过程。

硝化作用 { 自养型硝化（好氧）
异养型硝化（厌氧、耐酸）

1、硝化细菌和硝化作用的过程



2、影响硝化作用的环境因素

- (1) pH值：喜欢微碱性环境；
- (2) 温度：4-40°C，最适：25-35°C；
- (3) 通气：需要氧、CO₂；
- (4) 湿度：过量-影响通气，不足-引起细胞缺水。

3、硝化作用的农业意义

淋溶（降低氮肥利用率） 硝化作用抑制剂

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-反硝化

在无氧条件下，微生物将硝酸盐还原为N₂的过程。

1、反硝化作用的过程

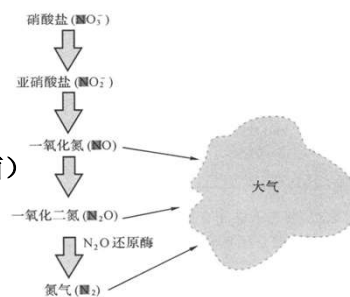
2、反硝化作用微生物

大多数：异养、兼性厌氧
极少数：化能自养型（脱氮硫杆菌）

3、环境对反硝化作用的影响

- ① 通气状况——厌氧环境
- ② pH值——微碱性
- ③ 有机质与NO₃⁻含量——丰富

*水稻干湿交替的栽培方式非常有利于反硝化形式脱氮。

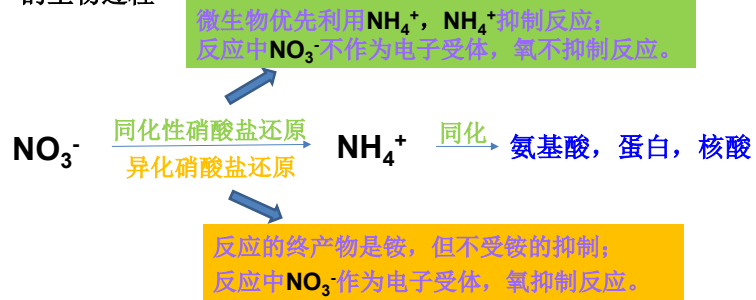


第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-同化/异化硝酸盐还原

铵的同化：以铵盐作为营养，合成细胞物质(氨基酸，蛋白，核酸)的生物过程



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

氮循环-其他路径

完全氨氧化：将氨直接氧化成硝酸盐的过程。硝基螺旋体

作用机制：氨单加氧酶基因。可能比其他氨氧化菌更具竞争优势。

影响因素：底物可利用性、pH。

厌氧氨氧化：以亚硝酸盐作为电子受体将氨氧化成氮气的生物反应。

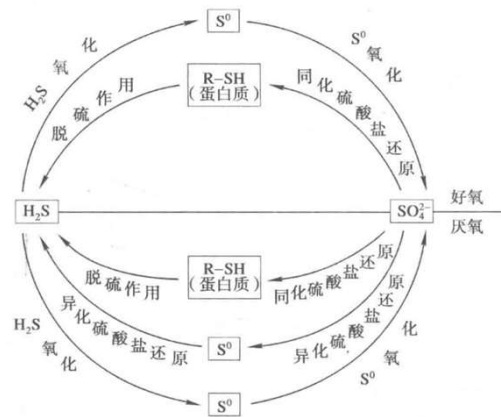
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

硫循环

硫循环组成：

- 脱硫过程
- 硫化作用（无机硫氧化）
- 反硫化作用（硫酸盐还原）
- 同化作用



硫的生物地球化学循环

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

硫循环-脱硫过程

脱硫过程： 蛋白质或其他含硫有机物被分解而释放硫化氢的生物过程。

脱硫微生物： 能够引起含硫有机物分解的微生物。

含硫有机物分解不彻底，会产生硫醇，毒害植物根系。

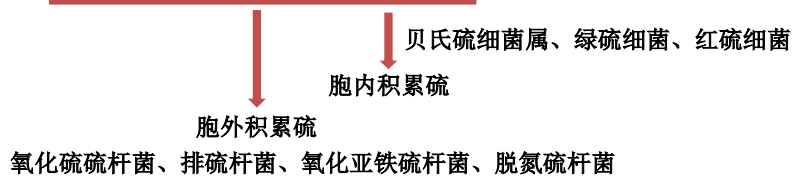
第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

硫循环-硫化作用

硫化作用：有氧条件下，通过硫细菌的作用将硫化氢转化成单质硫，再进而氧化成硫酸的过程。

硫化微生物：硫化细菌和硫磺细菌。



第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

硫循环-反硫化作用

反硫化作用：缺氧条件下，硫酸盐、亚硫酸盐、硫代硫酸盐和次亚硫酸盐在微生物的作用下还原成硫化氢的过程，也称硫酸盐还原作用。

反硫化微生物：脱硫弧菌属、脱硫肠状菌属、脱硫单胞菌属；脱硫球菌属、脱硫线菌属。

- 硫化氢积累过多，也会含毒害植物根系。
- 水稻秧田有机肥料施用不均匀，常引起硫化氢毒害而发生水稻阳面烂根现象。

第二节 微生物与生物地球化学循环

生物地球化学循环

硫循环-同化作用

同化作用：生物吸收硫酸盐转变为还原态硫化物（也称为同化硫酸盐还原作用），然后固定到蛋白质等成分中。

第二节 微生物与生物地球化学循环

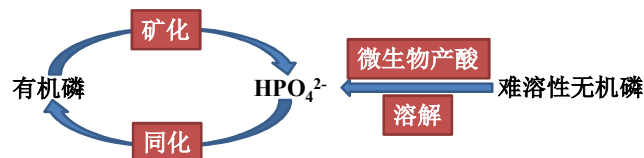
生物地球化学循环

磷循环

磷循环中，磷的价态未发生改变！

磷的存在形式：有机磷、难溶性无机磷、可溶性无机磷。

磷的循环过程：有机磷矿化、难溶性无机磷、可溶性无机磷。



C:P比对磷同化和矿化的影响：<200，有机物释放磷酸盐；200~300，有机磷全部被微生物同化；>300，需要从环境中吸收磷酸盐。