

§4 N、S、P的同化

一 氮素同化

(一)氮的循环：N以多种形态存在于自然界中，各种形式间通过物理、化学、生物等过程的转变，构成了nitrogen cycle.

- 自然界中，大气N含量为78%以上，是最大的N库，但多数高等植物不能直接利用大气N₂。
- 地球上N的固定：
 - 闪电： $<10^7$ T/year
 - 陆生生物固氮： $9\sim 14 \times 10^7$ T/year
 - 水生生物固氮： $3\sim 30 \times 10^7$ T/year
 - N化肥人工合成： 8×10^7 T/year

3. 土壤中氮化物的形态与转化

- 土壤中的N分为
 - 无机N：占1~2%，主要是NO₃⁻和NH₄⁺
 - 有机N：动植物残体和土壤腐殖质，
- 水解 hydrolysis: protein AA
- 氨化 ammonification 有机N → NH₃，如：AA → NH₄⁺
- 硝化 nitrification：NH₃或NH₄⁺在硝化细菌(好气菌)作用下氧化为NO₂⁻或NO₃⁻。
- 反硝化 denitrification：土壤中的NO₃⁻在反硝化细菌(厌气菌)的作用下被还原为NO₂⁻、NO、N₂O及N₂的过程。这样会使土壤中的N素又回到大气中，造成巨大浪费。

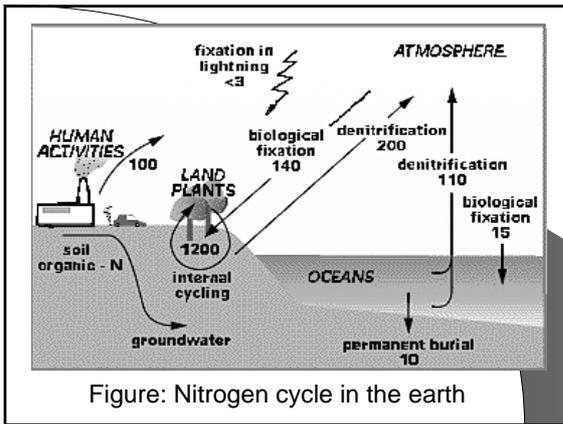


Figure: Nitrogen cycle in the earth

(二) 生物固氮 biological nitrogen fixation

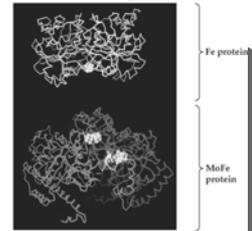
- 概念：在生物体内将大气中的N₂转变为NH₃或NH₄⁺的过程。所有能固N的生物都是原核生物
- 固N微生物的类型：1)共生固N：与豆科植物共生；与非豆科植物共生
2)非共生固N：蓝细菌、蓝藻
其它细菌：需氧菌、厌氧菌及兼性菌

3. 固N酶的性质：

1)组成：由铁蛋白和钼铁蛋白组成，二者在一起才有活性。

铁蛋白：由2个相同亚基组成，含有一个Fe₄-S₄簇

钼铁蛋白：2 2，含2个Mo(2个铁钼辅因子)，24-32个Fe和相同多的S



2)特性：氧敏感性

3)催化机理： $N_2 + 16ATP + 8e^- + 8H^+ \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16P_i$
最终电子供体：NAD(P)H

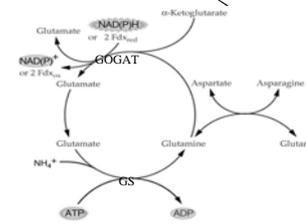
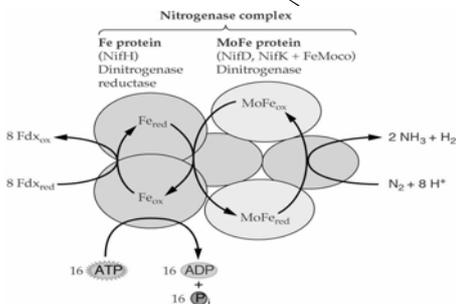


Figure: GS/GOGAT cycle in nitrogen fixation

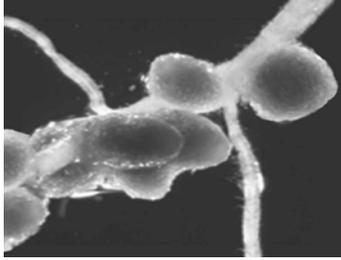
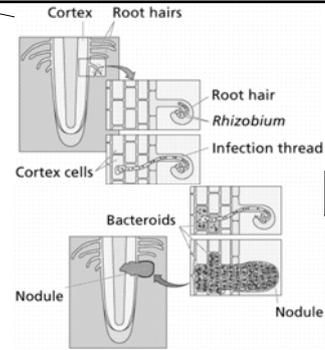


Figure: root nodules on Pea



图：根瘤的形成过程

(三) 硝酸盐的还原

- 总过程： $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$

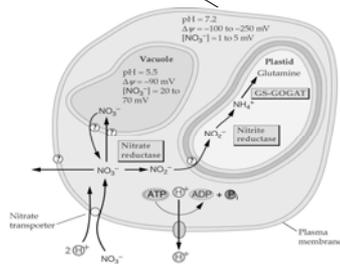


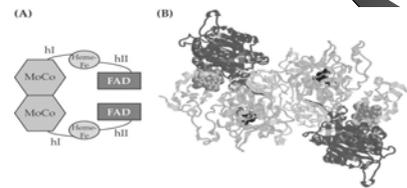
Figure: Overview of NO_3^- absorption, transport and assimilation



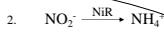
反应部位：根、叶中的细胞质

催化酶：硝酸还原酶NR， $\text{MW} 200\text{--}270\text{KD}$ ，每个单体含有3个辅基：FAD，MoCo(钼辅因子)，Heme Fe，是一种诱导酶。其合成受光、 NO_3^- 的诱导。

电子供体：NADH或NADPH



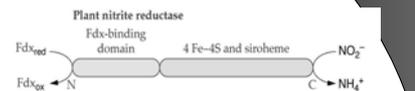
B: Ribbon diagram of NR: purple: hemoprosthetic group; black: MoCo; blue: FAD; Yellow: interface of the two monomers



反应部位：根的前质体或叶的叶绿体中。

催化酶：亚硝酸还原酶，NiR，单体，MW约60KD，含有1个Fe4S4簇和1个西罗血红素，也是一种诱导酶，受 NO_3^- 和 NO_2^- 的诱导。

电子供体：Fd(铁氧还蛋白，由叶绿体的光反应提供电子)

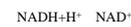


(四) 氨的同化

- 植物所吸收的氨和所还原的氨必须立即同化，游离氨太多会对植物产生毒害。

- 氨的同化方式：

- 还原氨基化作用：氨直接与呼吸代谢的中间产物-酮酸结合成AA。Eg: $\text{-KG} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Gln} + \text{H}_2\text{O}$



- 氨与AA结合成酰胺



Gln和Asn是 NH_3 在体内的临时贮存形式，以防止 NH_3 过多所产生的伤害，同时在 NH_3 不足时再释放出来。

- 氨基转移(交换)作用：一个AA的氨基转移到一个酮酸上，形成另一种AA和另一种酮酸。



- 形成C₁单位： $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{ATP} \rightarrow \text{氨甲酰磷酸} + \text{ADP}$

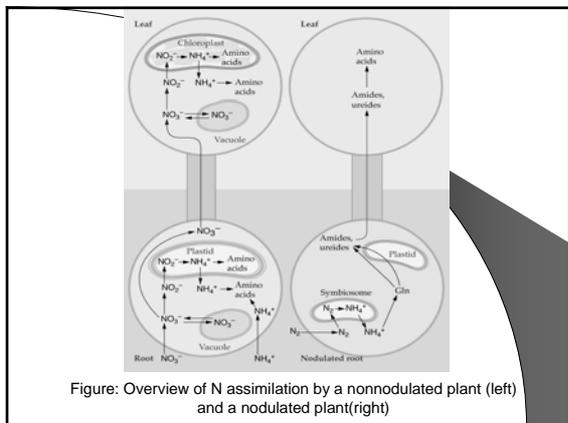
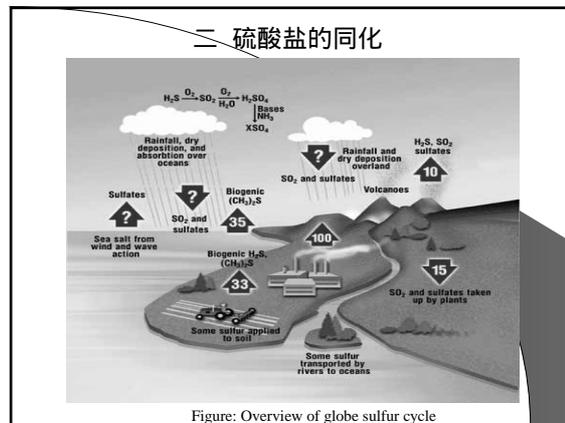


Figure: Overview of N assimilation by a nonnodulated plant (left) and a nodulated plant(right)



二 硫酸盐的同化

Figure: Overview of globe sulfur cycle

1. 硫的吸收：主要是在根部以硫酸盐的方式通过 $\text{H}^+/\text{SO}_4^{2-}$ 吸收。另外叶片也可吸收少量 SO_2 气体(超过0.5~10mg/L对植物有害)
2. 硫酸盐的同化：
 - 部位：根的前质体和叶的叶绿体均可。
 - 过程：1) SO_4^{2-} 必须先活化成APS或PAPS：
 $\text{SO}_4^{2-} + \text{ATP} \rightarrow \text{PPi} + \text{APS}$ (腺苷酰硫酸) 或进一步：
 $\text{APS} + \text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{PAPS}$ (3'-磷酸腺苷-5'-磷酸硫酸)
 - 2) SO_4^{2-} 还原成 S^{2-}
 $\text{APS} + 2\text{GSH} \rightarrow \text{GSSG} + \text{SO}_3^{2-} + \text{AMP}$
 $\text{SO}_3^{2-} + 6\text{Fd}_{\text{red}} \rightarrow \text{S}^{2-} + 6\text{Fd}_{\text{ox}}$
 - 3) S^{2-} 合成到Ser中：
 $\text{ser} + \text{乙酰CoA} \rightarrow \text{乙酰ser}$
 $\text{S}^{2-} + \text{乙酰ser} \rightarrow \text{cys} + \text{乙酸}$

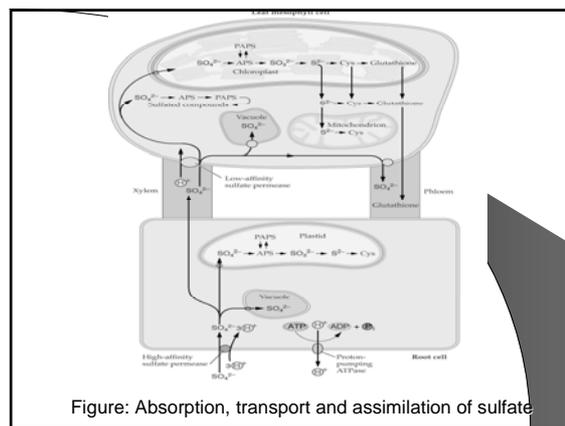


Figure: Absorption, transport and assimilation of sulfate

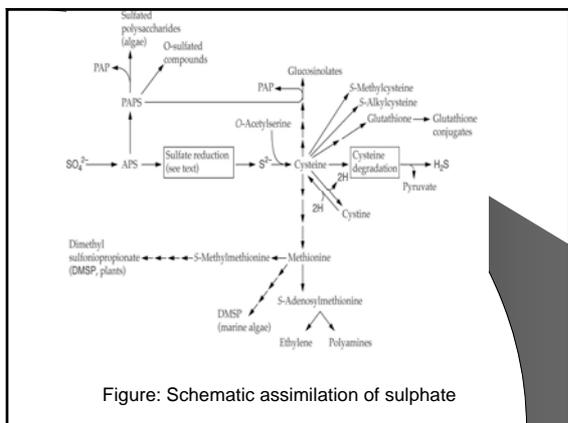


Figure: Schematic assimilation of sulphate

1. 吸收：植物主要以磷酸盐的方式从土壤中吸收P。
2. 同化：Pi通过光磷酸化，氧化磷酸化以及底物水平的磷酸化进入ATP，然后就可以进入多种物质，如磷脂、蔗糖磷酸盐、核苷酸等。

三 磷酸盐的同化