

第五章

Ca

中量营养元素

Mg

S

第一节

钙

一、植物体内钙的含量和分布

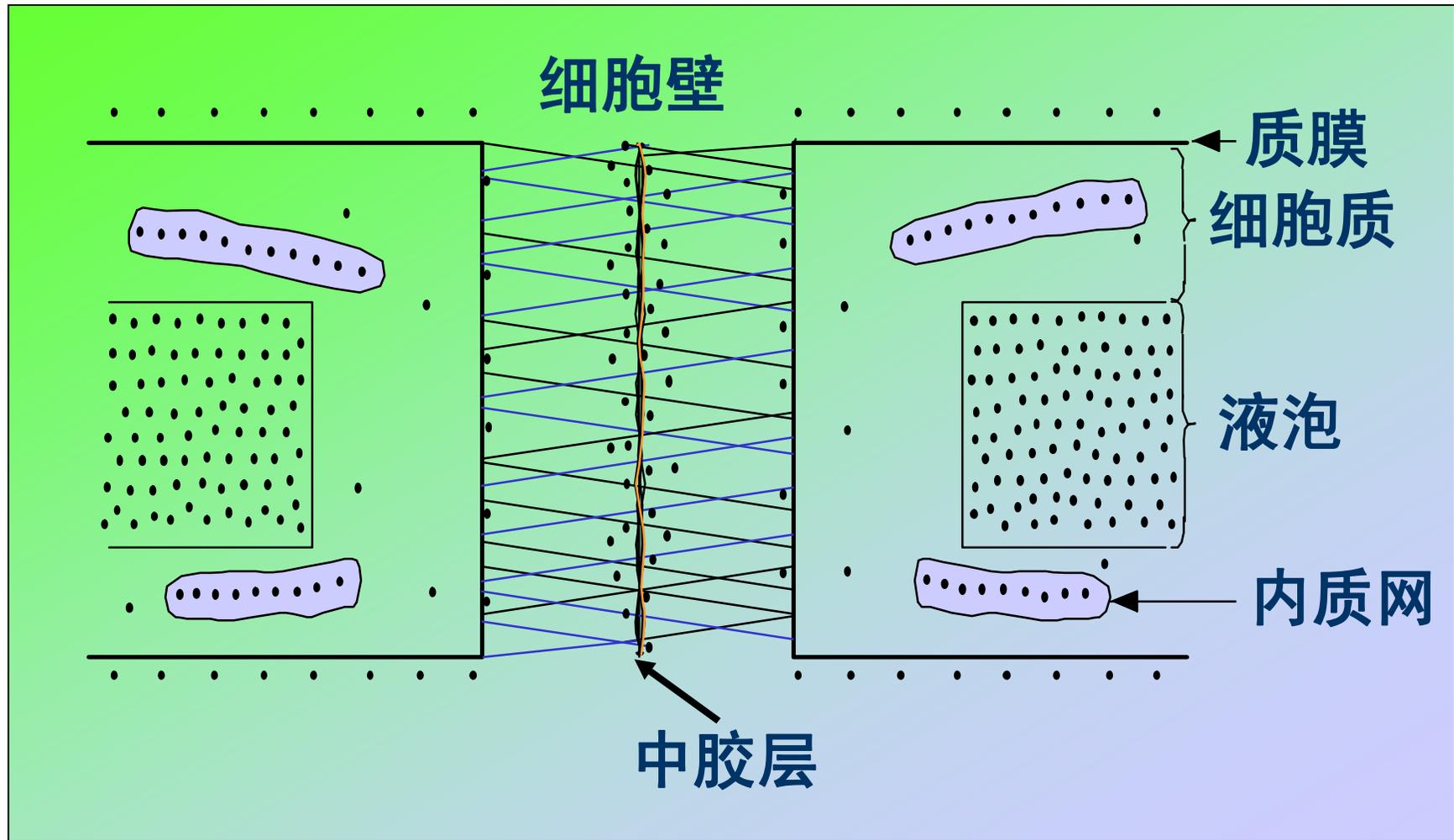
植物体含钙量一般在0.1%-5%之间

一般规律为：双子叶植物>单子叶植物；

地上部>根部；

茎叶>果实、籽粒

在植物细胞中，钙主要存在于细胞壁、质膜的外表面及液泡内。



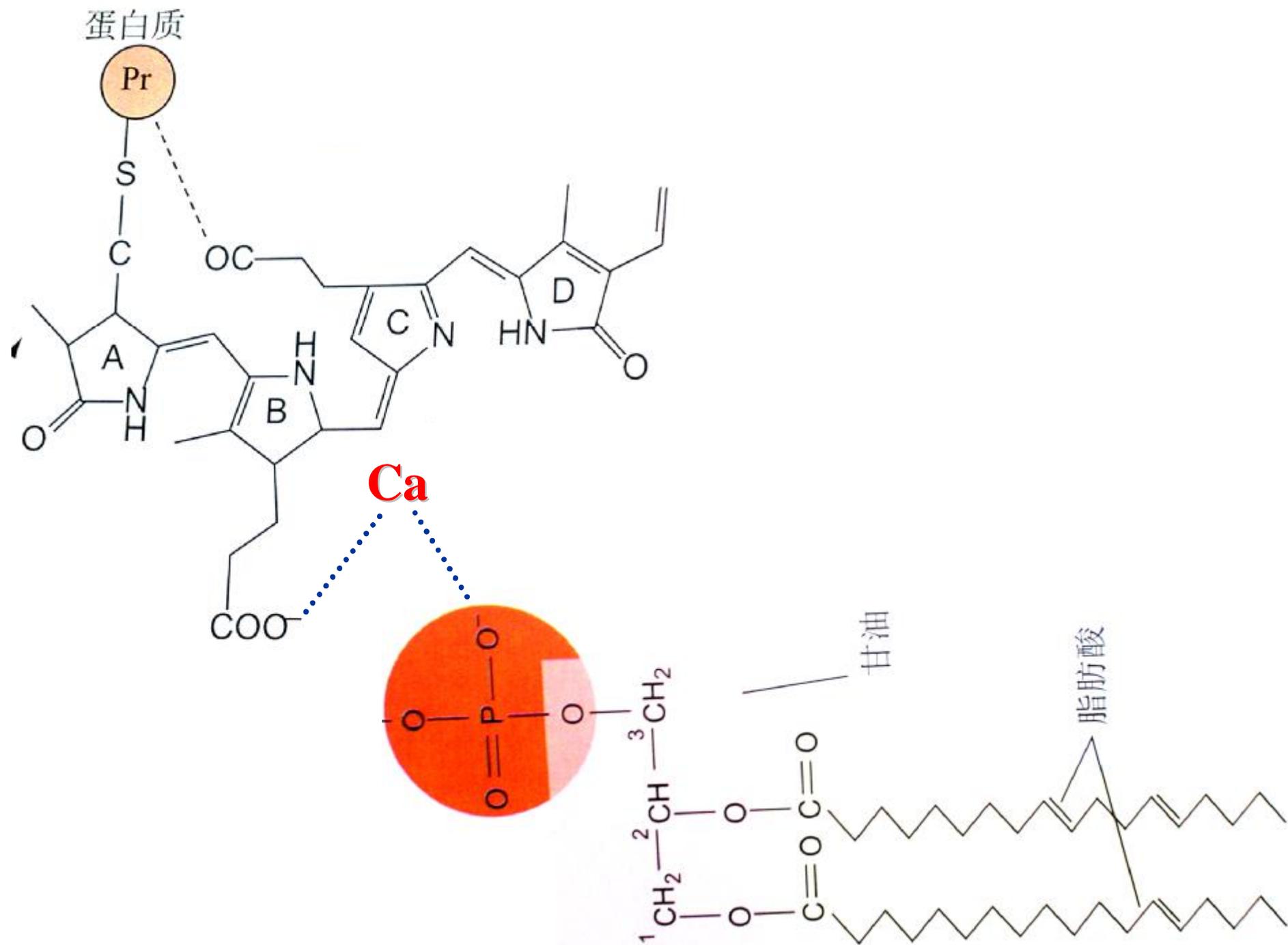
两个相邻细胞和细胞内 Ca^{2+} (·) 的分布图

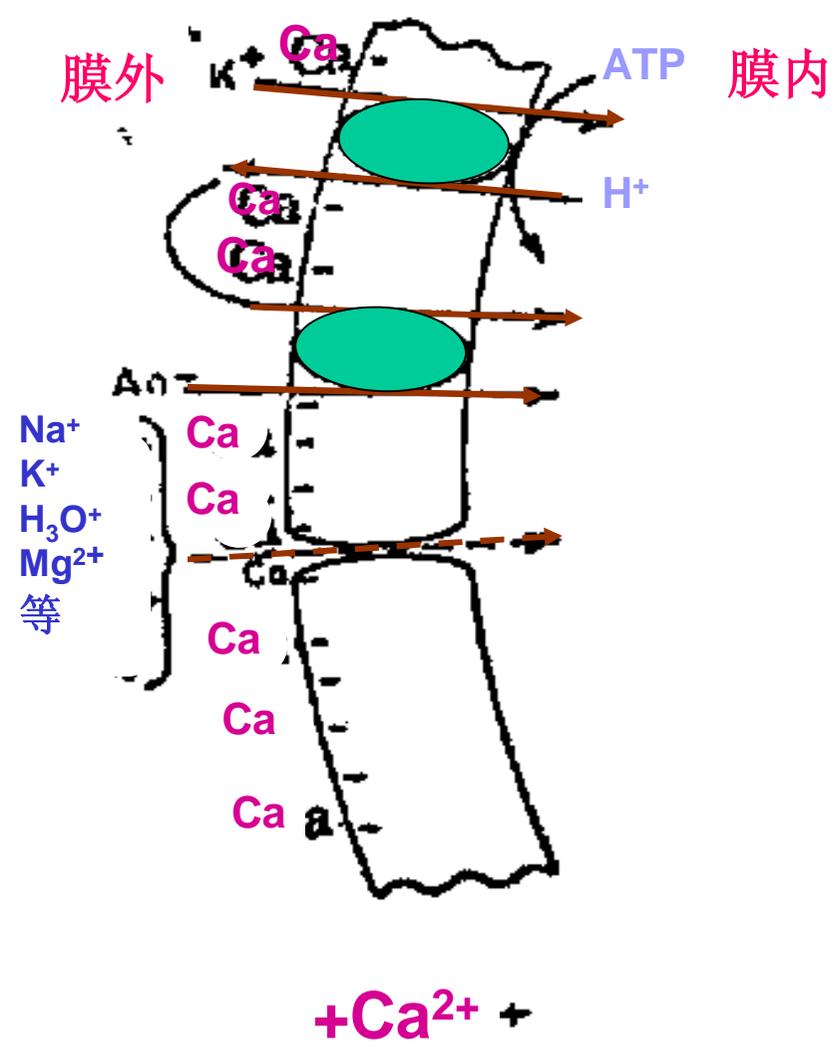
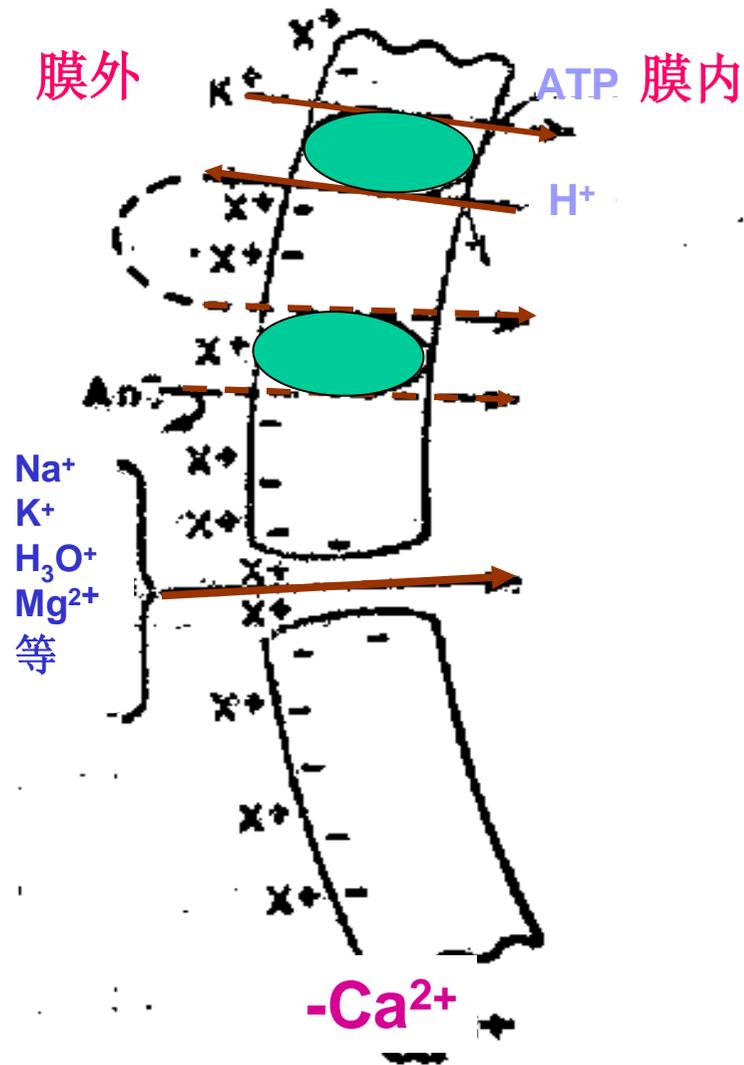
二、钙的营养功能

- **钙能稳定细胞膜结构，保持细胞的完整性**

其作用机理主要是依靠它把生物膜表面磷酸脂的**磷酸根**与蛋白质的**羧基**桥接起来

(一) 稳定细胞膜





钙对质膜稳定性的影响

(一) 稳定细胞膜

- 提高细胞膜的选择吸收能力
- 增强对环境胁迫的抵抗能力
- 防止植物早衰

减弱乙烯的生物合成

- 提高作物品质：营养品质和耐储藏品质

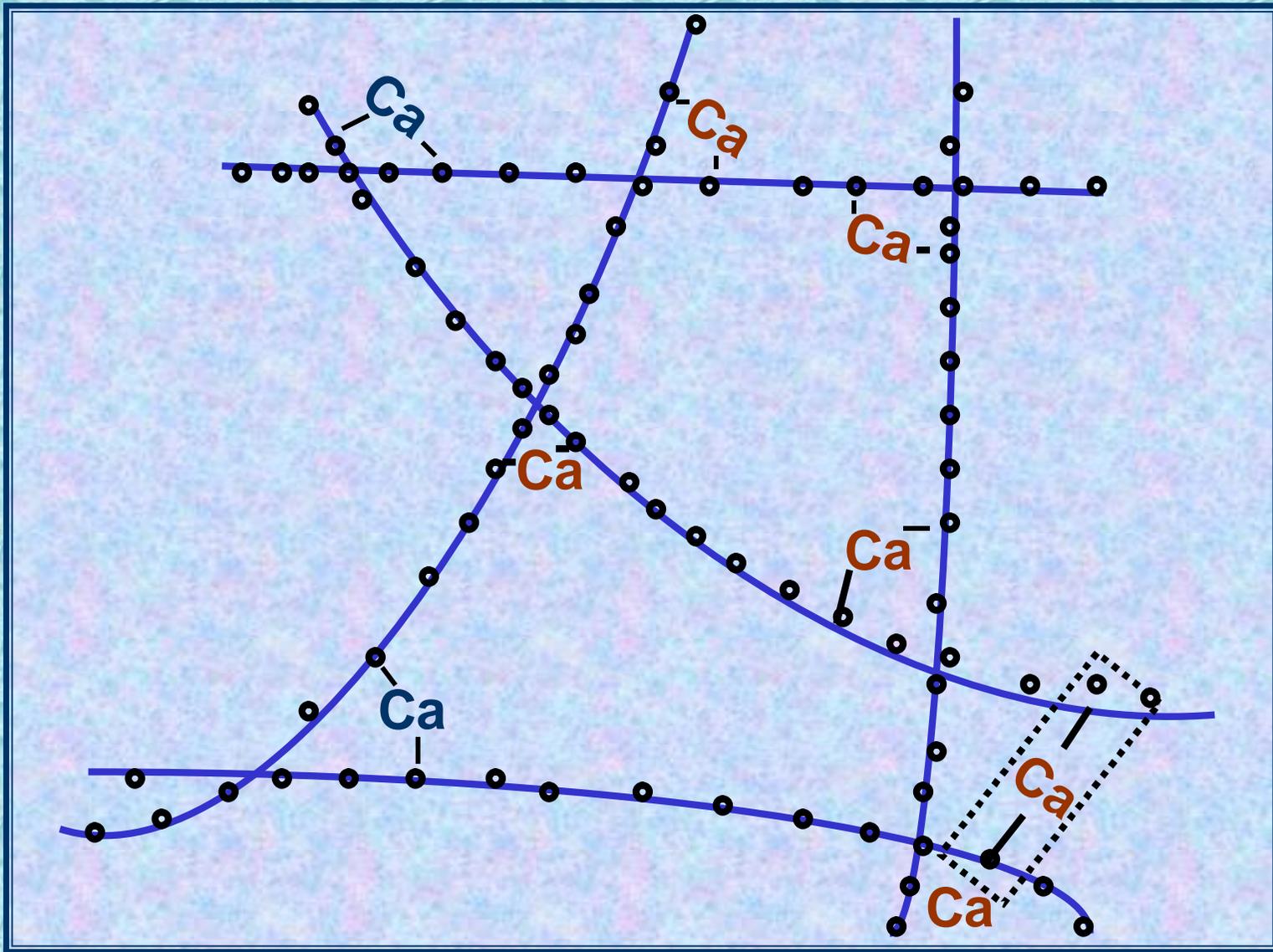
(二) 稳定细胞壁

- 植物中大多数钙以构成细胞壁果胶质的结构成分存在于细胞壁中。
结合在细胞壁上的钙占总钙的90%

细胞壁中有丰富的钙结合位点
(中胶层和质膜外表面)

其生理意义为:

- 1、增强细胞壁与细胞间的粘结作用
- 2、对膜的透性和一些生理生化过程起调节作用



钙离子连接果胶羧基的结构图示

(二) 稳定细胞壁

- 植物中大多数钙以构成细胞壁果胶质的结构成分存在于细胞壁中。

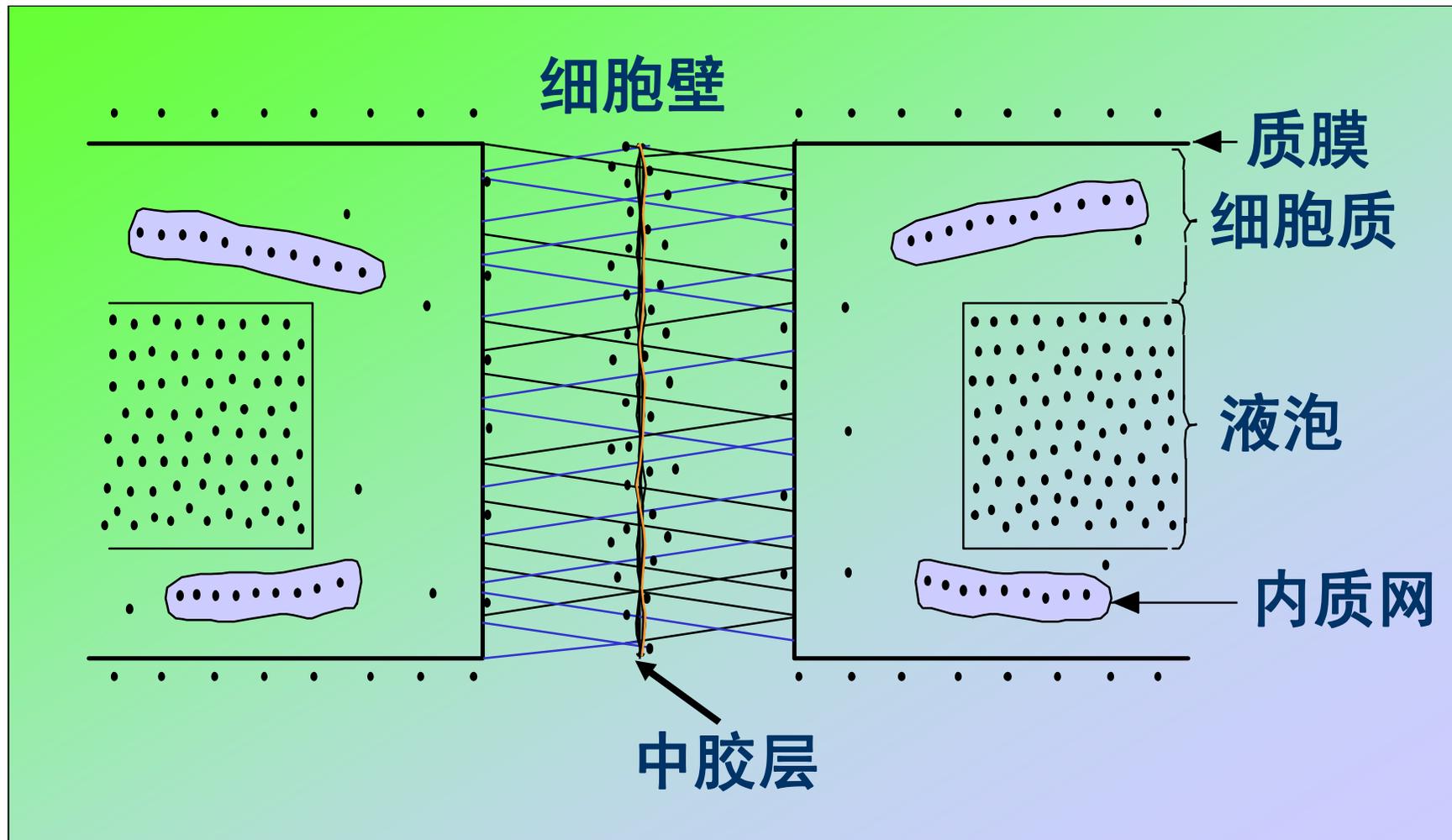
结合在细胞壁上的钙占总钙的90%

细胞壁中有丰富的钙结合位点
(中胶层和质膜外表面)

其生理意义为：

- 1、增强细胞壁与细胞膜、细胞间的粘结作用**
- 2、对膜的透性和一些生理生化过程起调节作用**

(二) 稳定细胞壁





苹果苦痘病

缺
钙

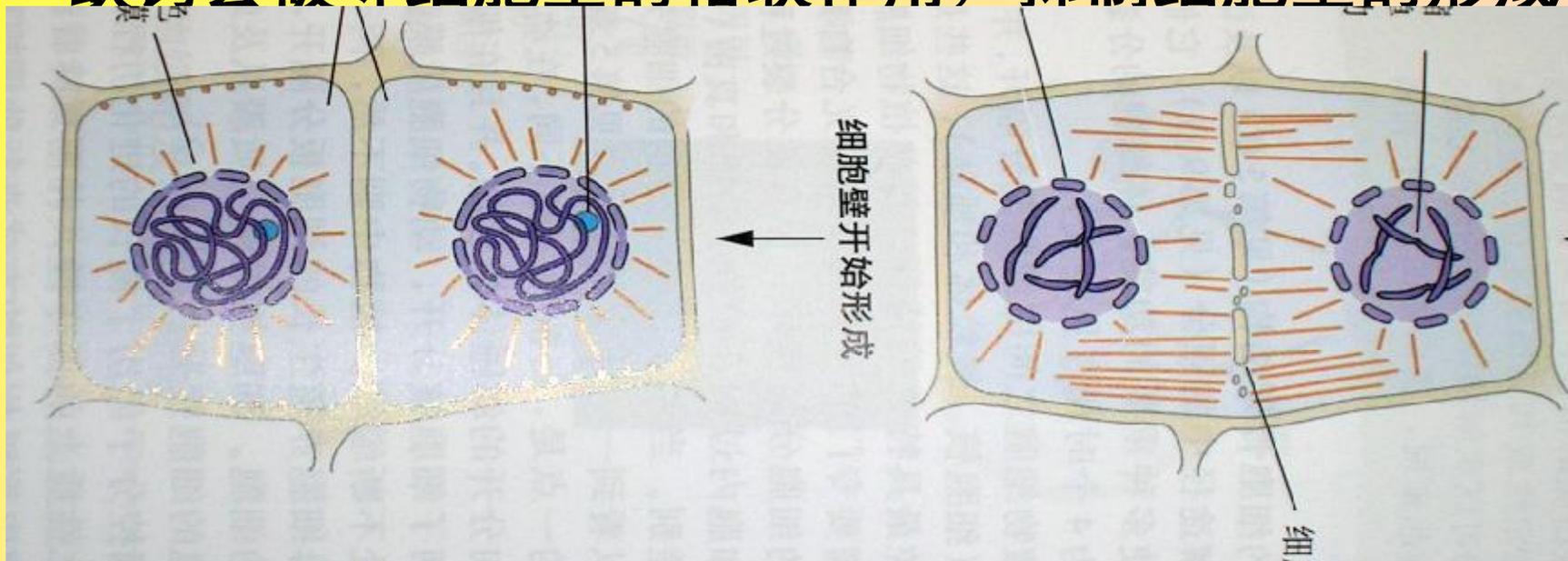


水心病和腐心病



(三) 促进细胞的伸长和分裂

- ✓ 钙可使细胞壁酸化 — 细胞壁松弛 — 促进细胞的伸长
- ✓ 缺钙会破坏细胞壁的粘联作用，抑制细胞壁的形成



缺钙不能形成细胞板 (细胞板是细胞壁中胶层的前提) —
细胞无法正常分裂 — 最终导致生长点死亡。





(四) 参与信息传递

Ca²⁺作为第二信使传递信息

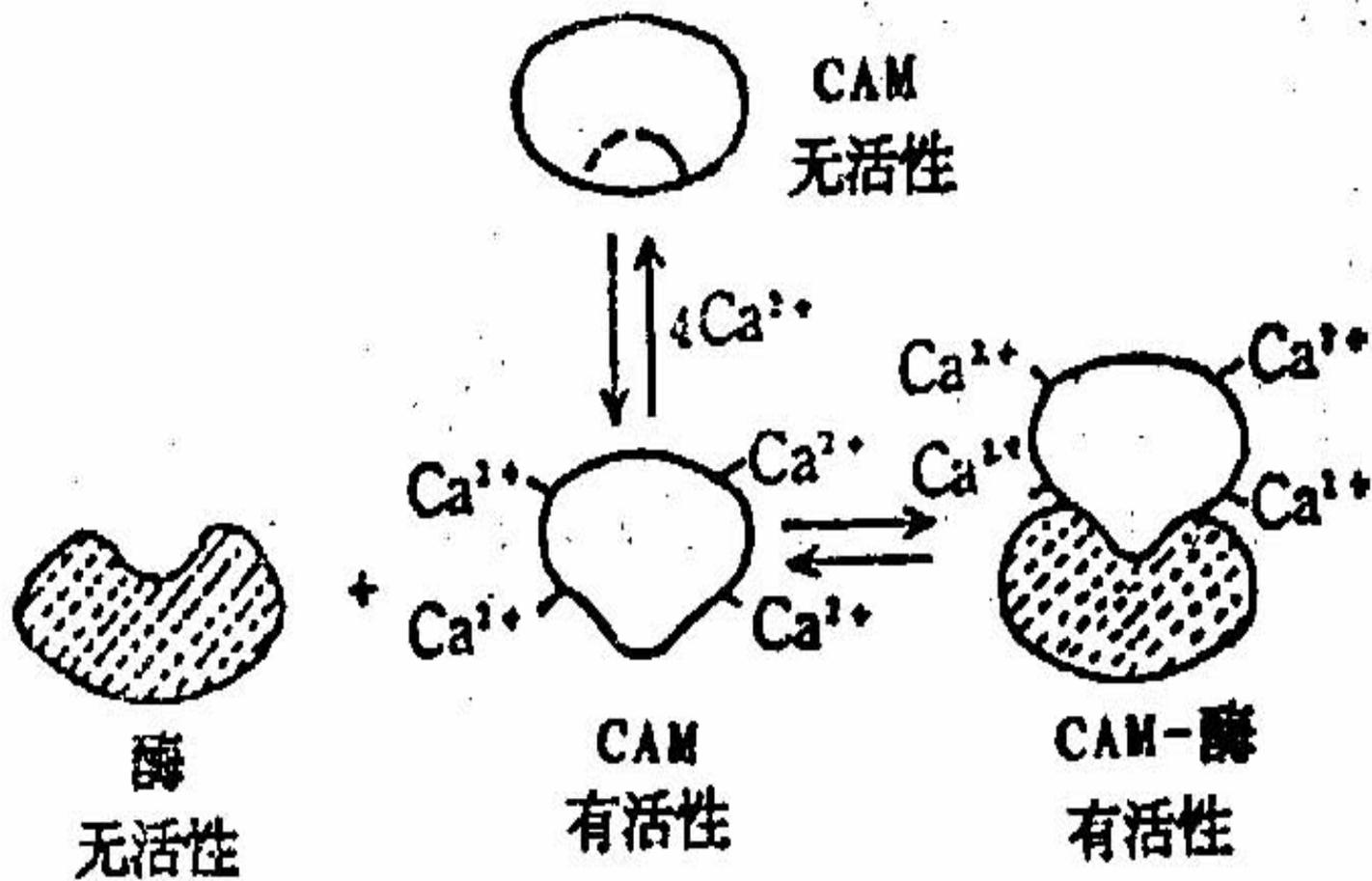
以Ca-CAM的形式调控第二信使传递信息

钙能结合在钙调蛋白（CAM）上，形成Ca-CAM复合体，该复合体对植物体内的多种酶起活化作用，参与细胞代谢、细胞分裂的调节和植物细胞的信息传递。

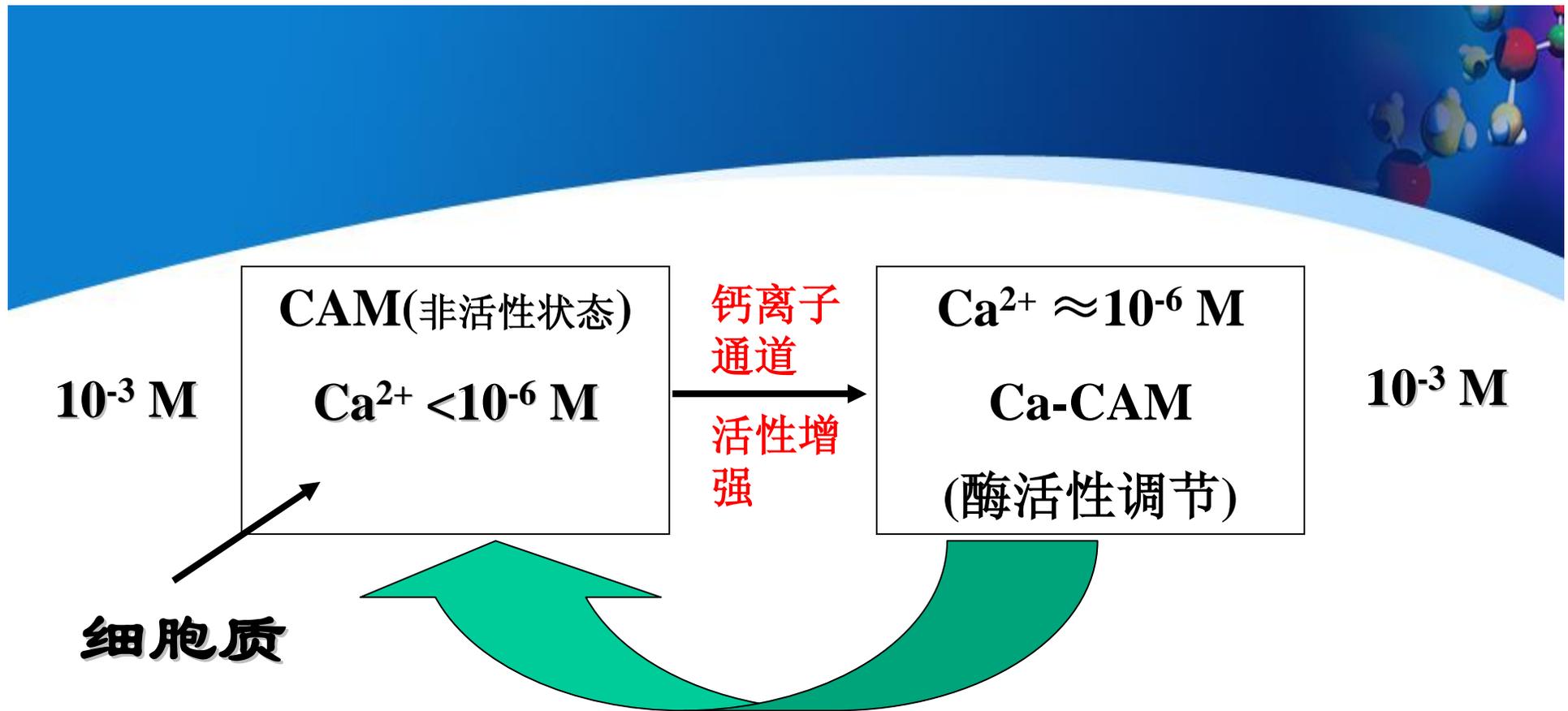
钙调蛋白是一种由148个氨基酸组成的低分子量多肽（MW约为20000），对Ca²⁺有很强的选择性亲合能力，并能同四个Ca²⁺结合。

CAM对Ca²⁺的亲合能力正是它传递信息的基本特征。

Ca-CAM的形成及植物细胞信息的传递是通过Ca²⁺在细胞质中浓度的改变来实现的。



Ca-CAM复合体的形成与酶的激活



- Ca-CAM复合体影响微管的解聚—纺锤体的伸长—**缺钙抑制细胞分裂**
- Ca-CAM复合体能激活的酶有磷脂酶、NAD和Ca²⁺-ATP酶等，从而影响植物光合作用。

（五）调节渗透作用

在有液泡的叶细胞内，大部分的 Ca^{2+} 以草酸钙的形式存在于液泡中，对液泡内阴阳离子的平衡有重要贡献。

三、植物对钙的需求与缺钙症状

植物对钙的需求量因作物种类和遗传特性的不同而有很大的差异。

黑麦草最佳生长所需介质中 Ca^{2+} 的浓度为 2.5 M,

番茄是 100 M, 二者相差 20 倍

黑麦草最佳生长时期植株含钙量为 0.7 mg/g,

番茄为 12.9 mg/g, 相差 18.4 倍

一般认为, 在土壤交换性钙的含量 $> 10 \mu\text{mol} / \text{kg}$ 时, 作物不会缺钙。

生理性缺钙

Ca²⁺的运输与蒸腾作用紧密相关，水分和钙的运输呈现明显的昼夜节律性变化，也决定了钙在植物体内的运输具有单向性，在北方富含钙的石灰性土壤上植物会出现生理性缺钙。



图为白菜缺钙的症状：其典型症状是内叶叶尖发黄，呈枯焦状，俗称“干烧心”，又称心腐病。

缺钙植株的顶芽、侧芽、根尖等分生组织首先出现缺素症，易腐烂死亡

- 幼叶卷曲畸形，叶缘变黄逐渐坏死
- 叶尖相互粘连呈弯钩状，新叶难抽出
- 幼叶变形，叶缘呈不规则的锯齿状

在缺钙时，植株生长受阻，节间较短，植株矮小，而且组织柔软。

缺钙症状

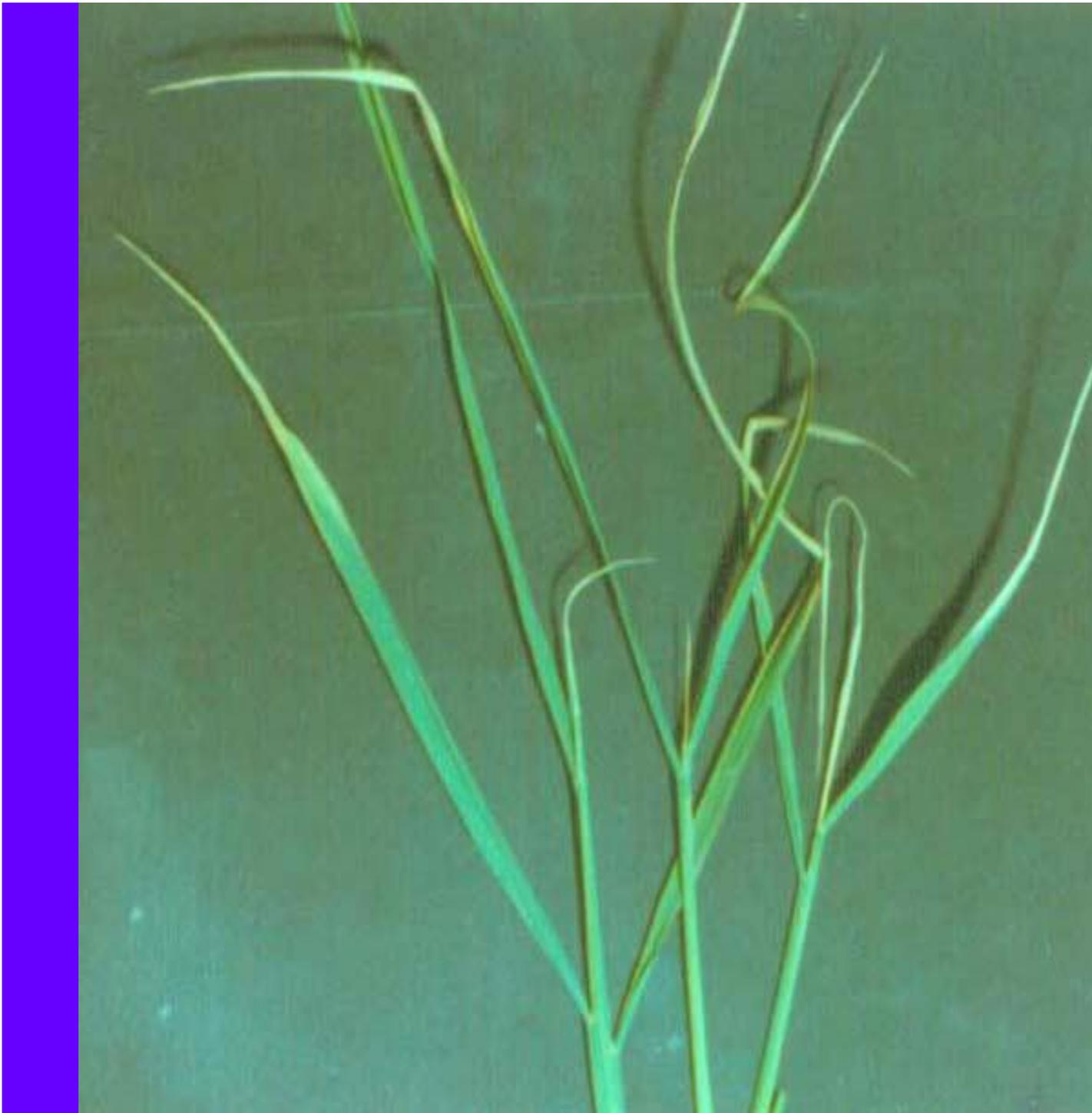








水稻缺钙



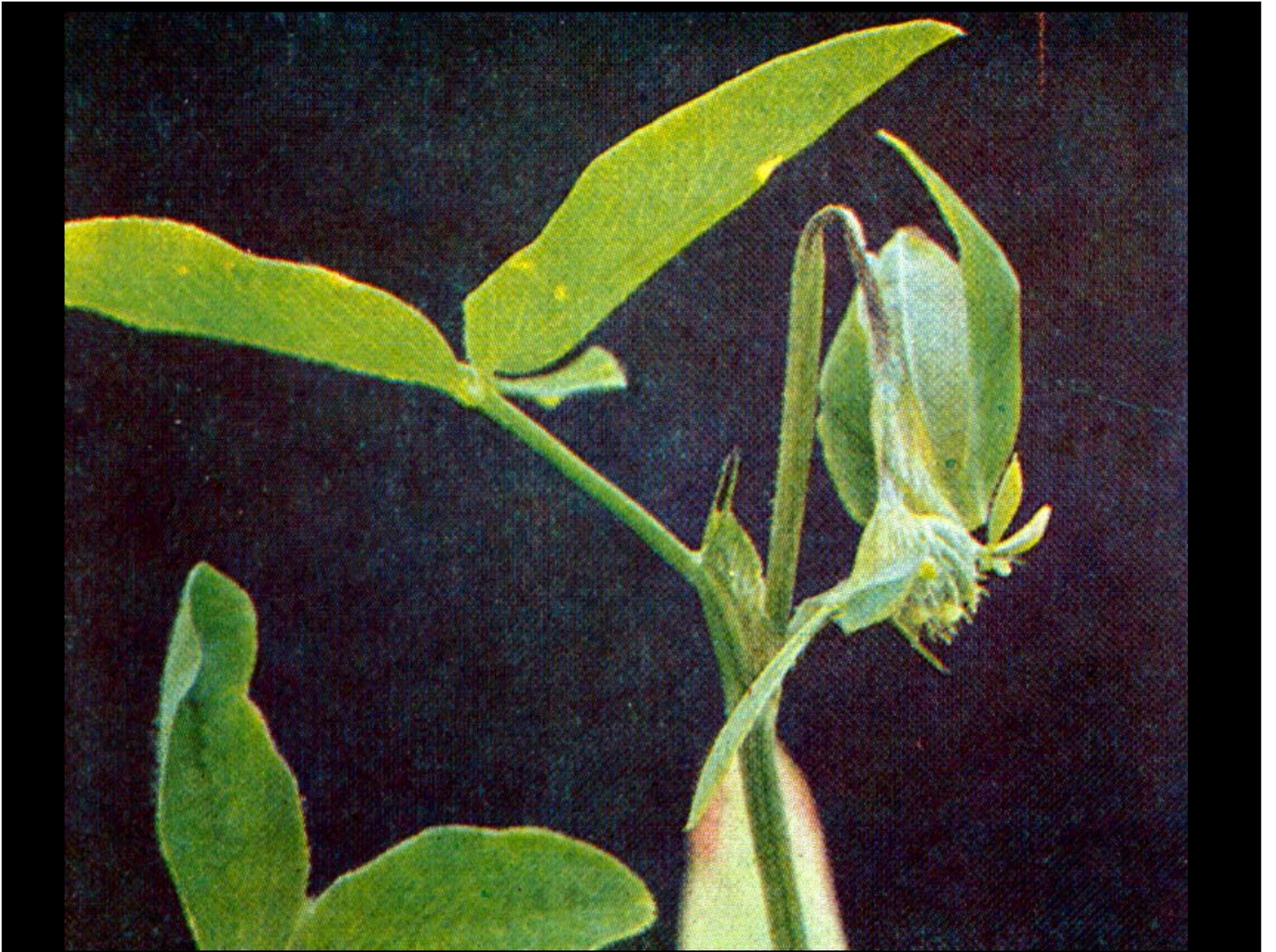
























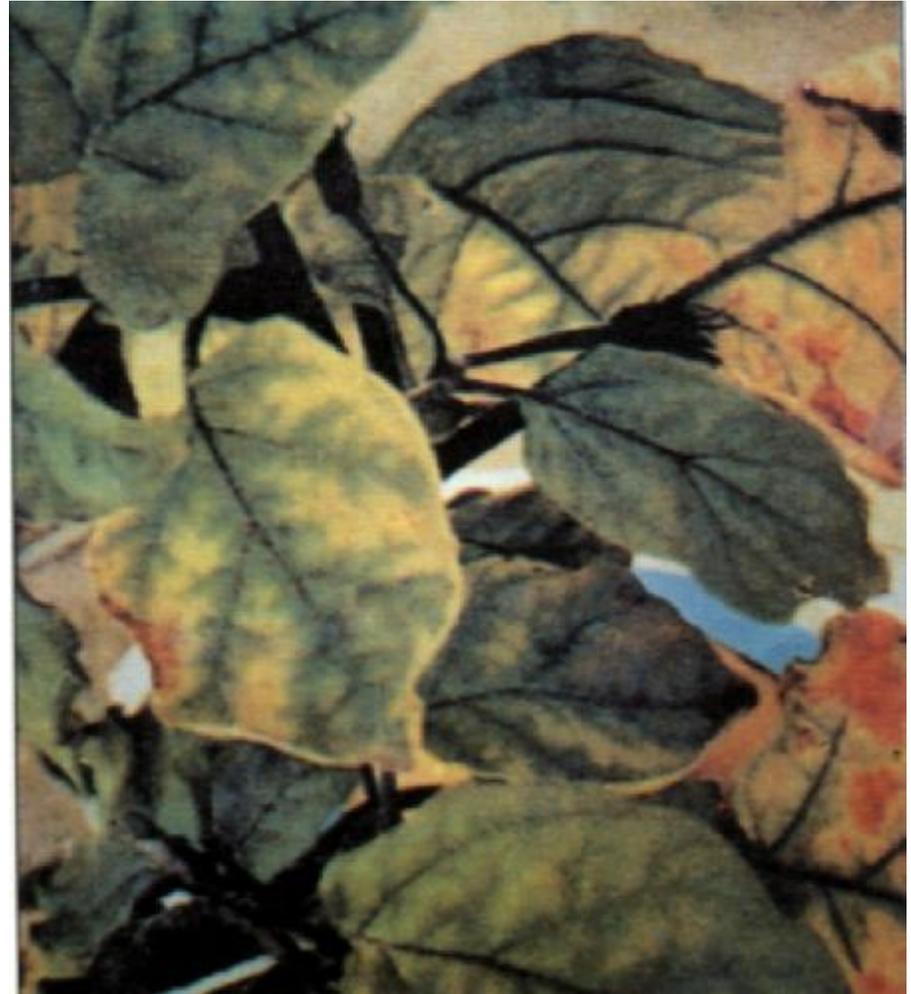


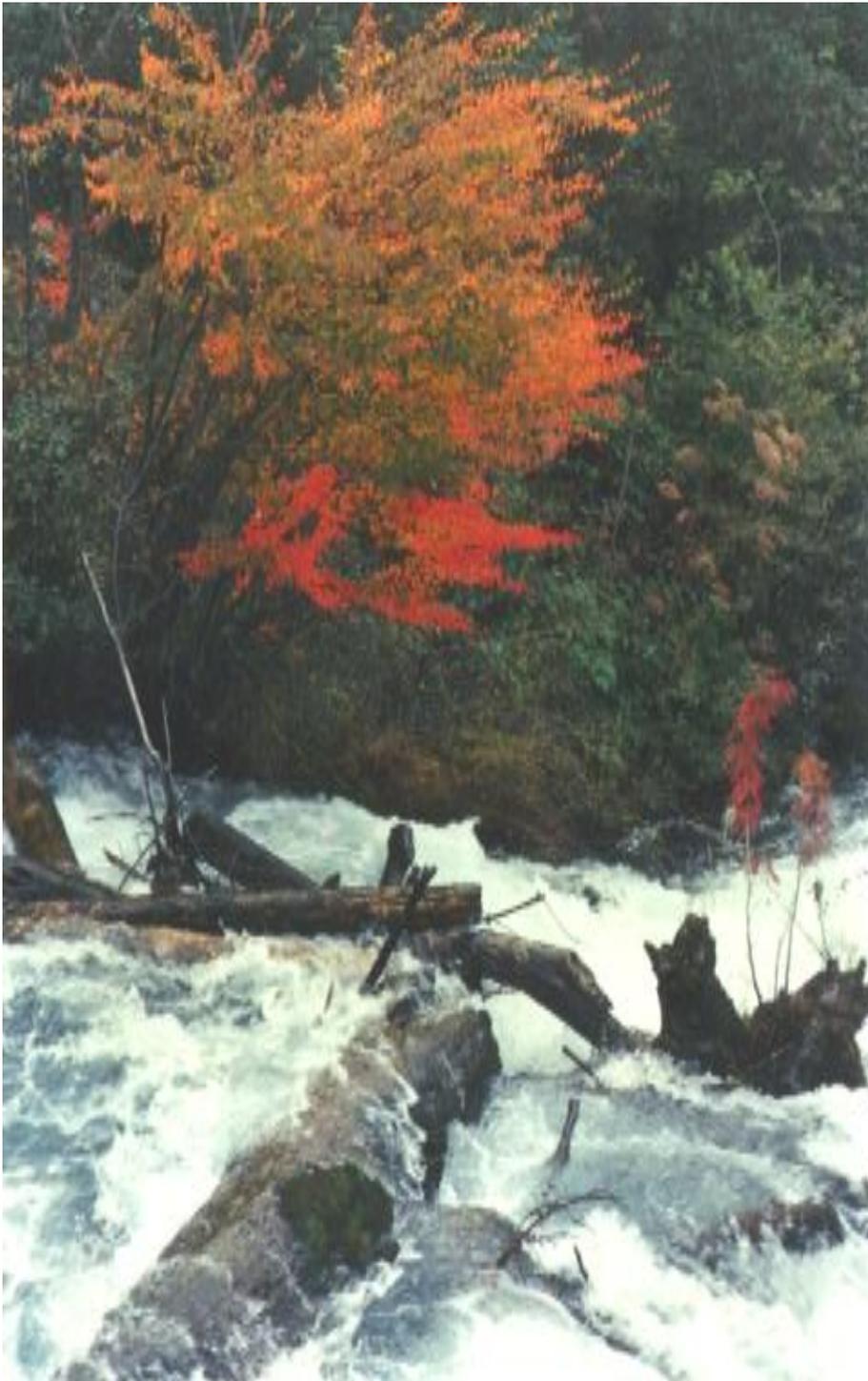




茄子缺钙果实出现顶腐病

茄子缺钙顶叶变黄褐色
茄子缺钙症主要表现在上部叶片上。顶部生长发育受阻。叶脉间变黄褐色。





第二节

钱美

一、植物体内镁的含量和分布

植物体内镁的含量约为0.05%-0.7%。其分布规律为：

- 1、豆科植物地上部分的含镁量是禾本科植物的2-3倍；
- 2、种子含镁较多，茎、叶次之，而根系很少；
- 3、生长初期，镁大多存在于叶片中，**结实期则以植酸盐的形式贮存在种子中；**

由于镁在韧皮部中的移动性很强，储存在营养体或其它器官中的镁可以被重新分配和再利用。

在正常的成熟叶片中，大约有**10%**的镁结合在叶绿素a和叶绿素b中，**75%**的镁结合在核糖体中，其余的**15%**呈游离态和结合态（结合在各种需 Mg^{2+} 激活的酶或细胞中可被 Mg^{2+} 置换的阳离子结合部位上）

（一）参与光合作用

- ✓ 镁作为叶绿素a和叶绿素b结构中卟啉环的中心原子，在叶绿素合成和光合作用中起重要作用。
- ✓ 镁参与叶绿体中CO₂的同化作用

镁对叶绿体中CO₂的羧化反应有影响

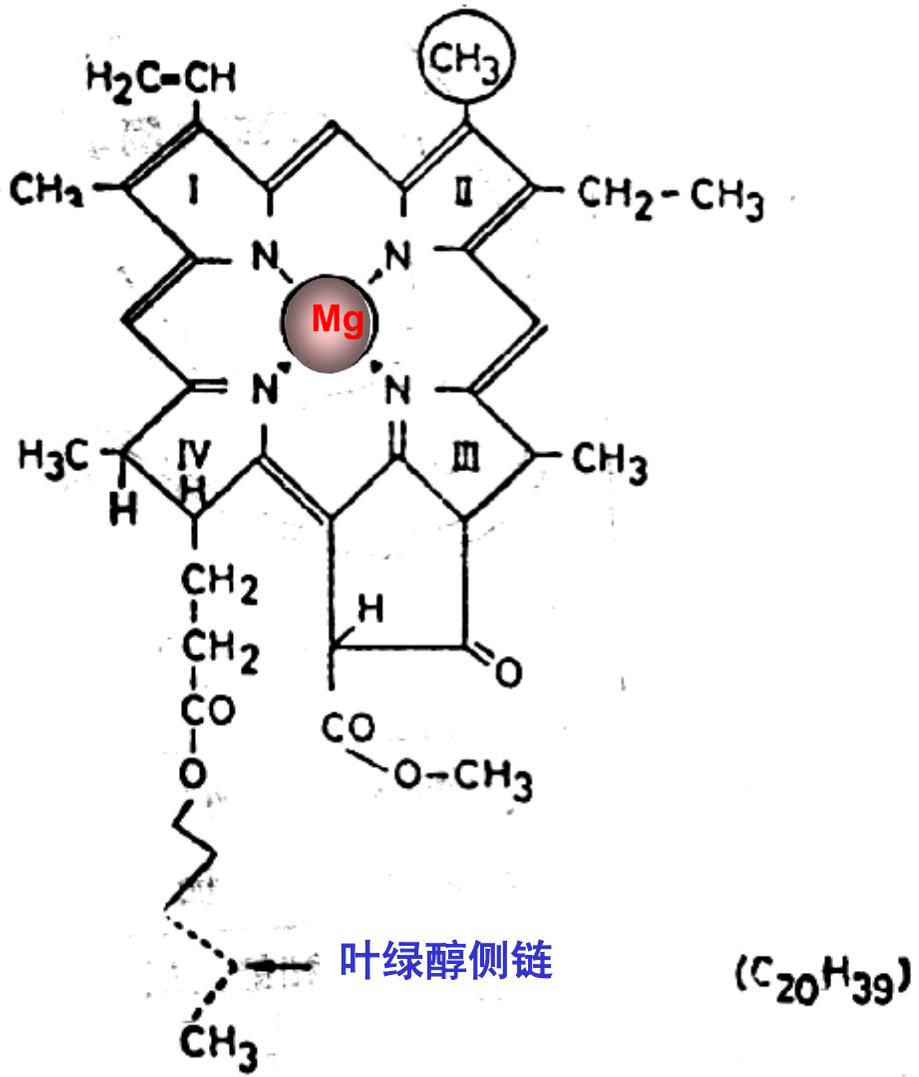
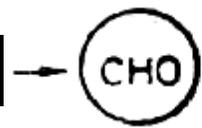
RuBP羧化酶催化的羧化反应（磷酸丙糖），

而RuBP羧化酶的活性完全取决于pH值和Mg²⁺的浓度。

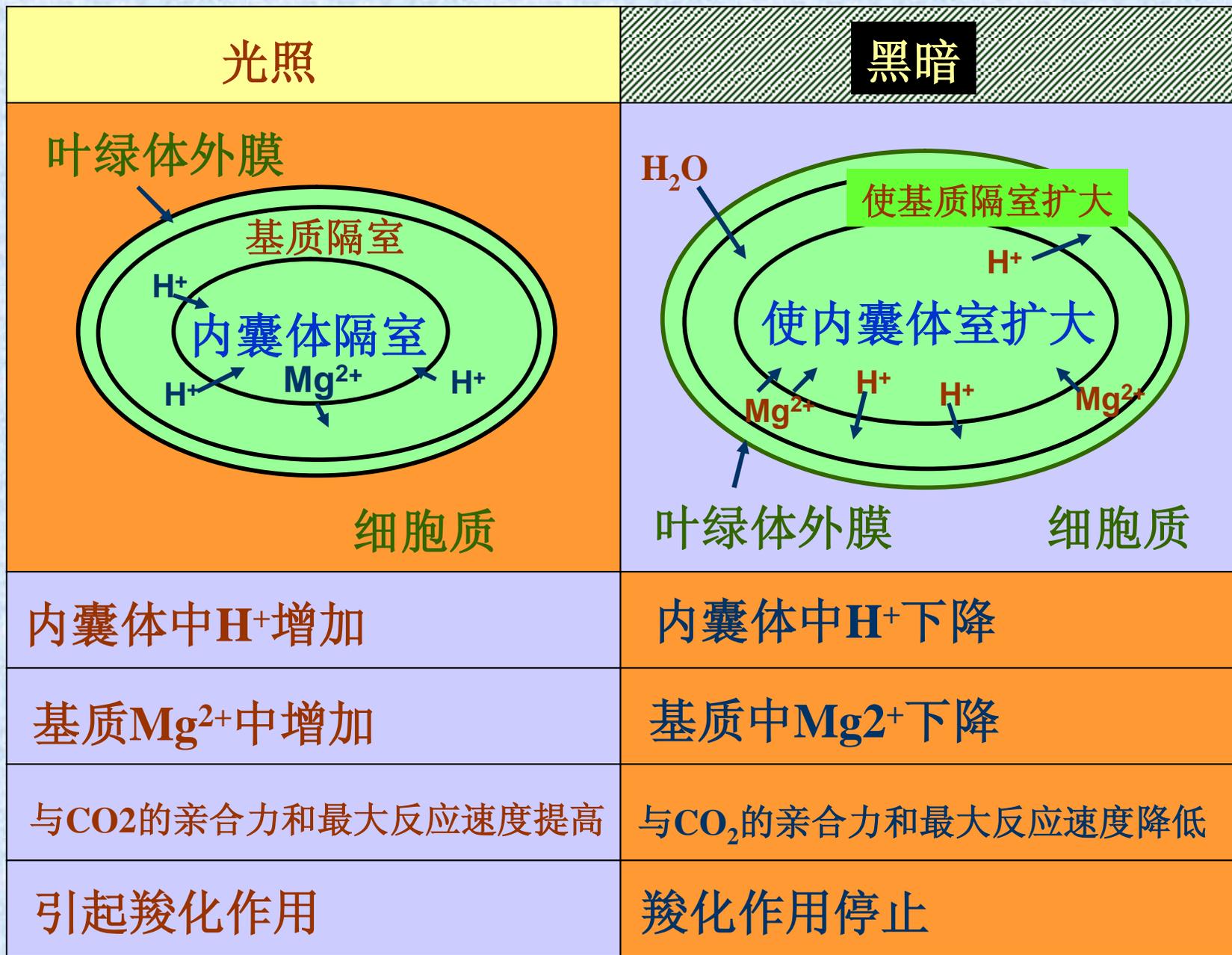
∅光合磷酸化

二、镁的营养功能

在叶绿素b中



叶绿素的结构



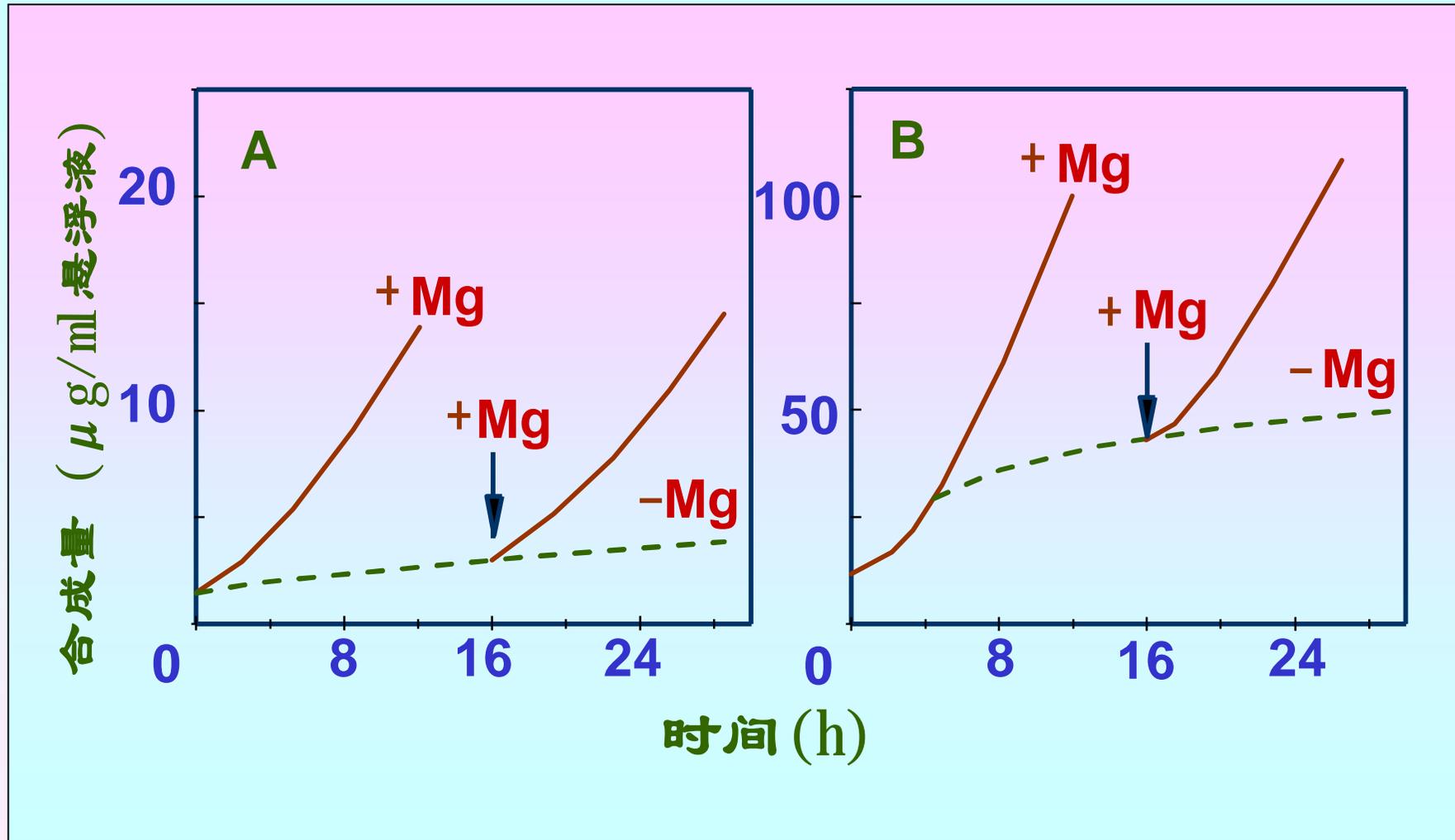
Mg^{2+} 在光照条件下活化二磷酸核酮糖羧化酶的示意图

(二) 合成蛋白质

- 镁的功能是作为核糖体亚单位联结的桥接元素，保证核糖体结构的稳定，为蛋白质合成提供场所。
- 活化RNA聚合酶也需要镁。



二、镁的营养功能



在悬液培养中供镁对(A) RNA和(B)蛋白质合成的影响

(三) 酶的活化

植物体中一系列的酶促反应都需要镁或依赖于镁进行调节:

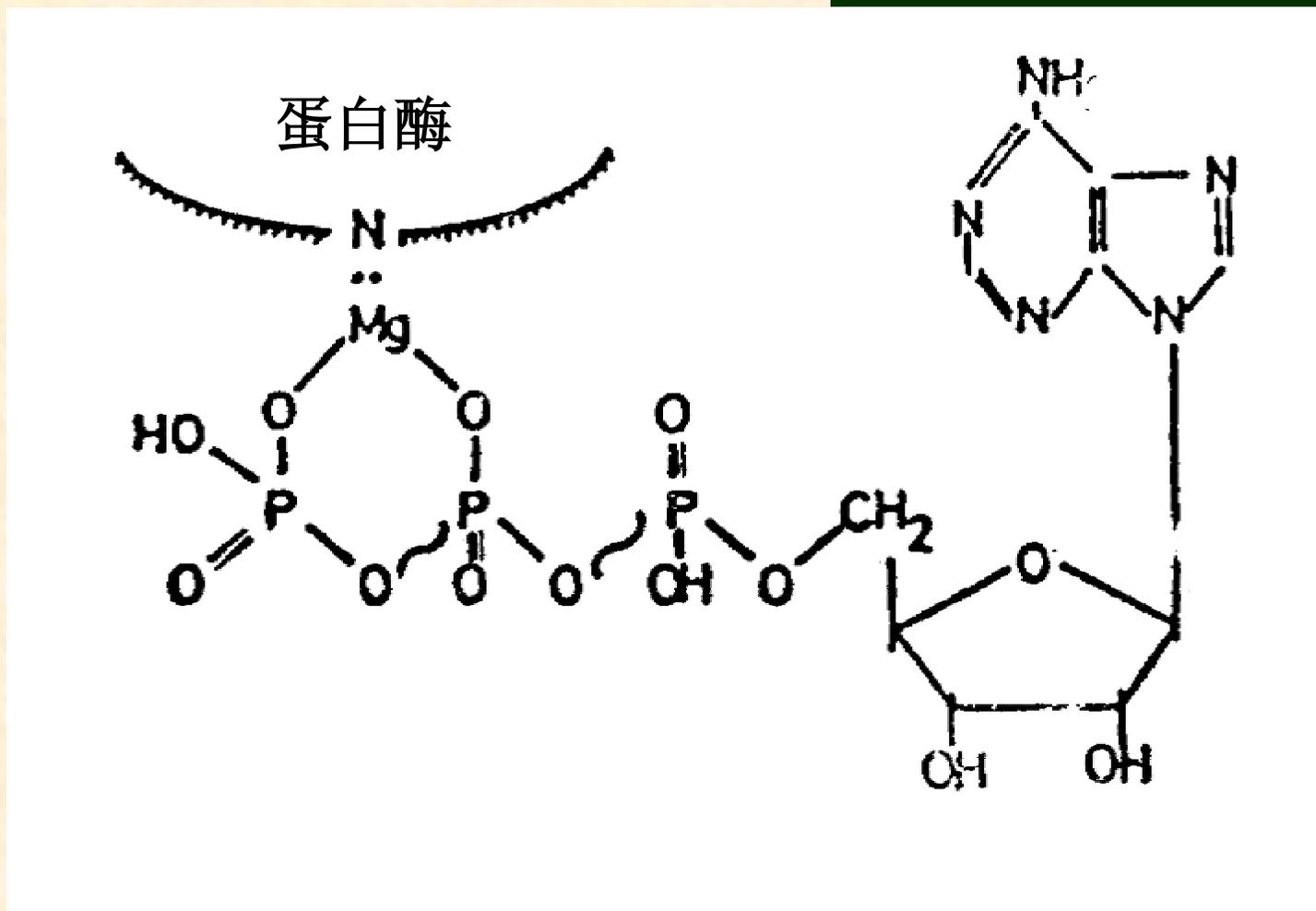
1、镁在ATP(ADP)结构和酶分子之间形成一个桥梁

2、镁在叶绿体基质中对RuBP羧化酶起调控作用

3、果糖-1,6-二磷酸酶也是一个需镁较多,而且也需要较高pH的酶类

4、镁也能激活谷氨酰胺合成酶

二、镁的营养功能



镁联结酶蛋白与ATP的图示

三、植物对镁的需求与缺镁症状

植物体镁的临界浓度因植物种类、品种、器官和发育时期不同而有很大差异。单子叶植物镁临界值比双子叶植物低。

**一般来说，当叶片含镁量大于0.4%时，
表明供镁充足**

**当植物叶片中的镁含量低于0.2%时
则可能缺镁。**

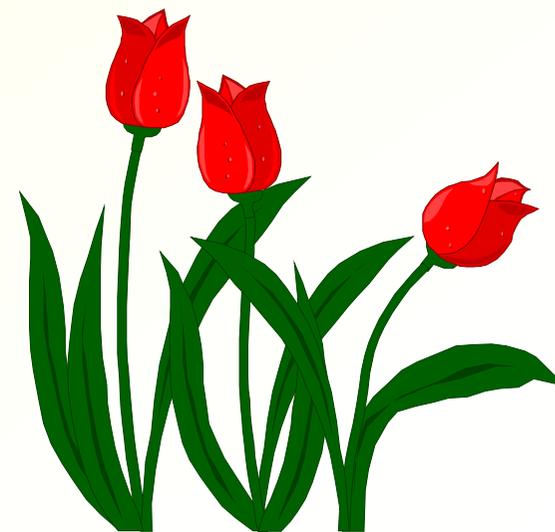
缺镁症状首先出现在老叶上（中下部叶片）

叶色褪淡，脉间失绿，
呈清晰的绿色条状或网状脉纹

当植物缺镁时，其突出表现是**叶绿素**
含量下降，并出现失绿症

植株矮小，生长缓慢

缺镁症状



双子叶植物脉间失绿，并逐渐有淡绿色转变为黄色或白色，还会出现大小不一的褐色或紫红色斑点严重时整个叶片坏死。

缺镁时，单子叶植物叶脉上有间断串珠状绿色斑点。严重缺镁时，叶尖出现坏死斑点。

水稻缺镁



玉米缺镁





大麦缺镁



葡萄缺镁



图61，缺镁的大麦叶片

脉间失绿，叶脉有似念珠状的绿色斑点相连。



柑橘缺镁

番茄缺镁叶片

番茄缺镁症状首先从中下部叶的主脉附近开始变黄出现失绿，在果实膨大盛期靠果实近的叶先发生。



番茄缺镁症植株

果实无特别症状。因缺镁严重影响叶绿素的合成，从番茄的第二穗果开始，坐果率和果实的膨大均受影响，产量降低。





番茄似缺镁的叶霉病叶片
有时番茄叶霉病也造成叶片块状失绿，与缺镁症状很相似

番茄严重缺镁叶片

一开始是叶脉间黄化并变成黄褐色，黄化先是从叶中部叶肉开始，叶脉仍保持绿色，以后慢慢扩展到整个叶片，但有时叶缘仍为绿色



第三节

砭石

一、植物体内硫的含量与分布

植物含硫量为0.1%-0.5%，其变幅明显受植物种类、品种、器官和生育期的影响。

十字花科植物需硫最多，豆科、百合科植物次之，禾本科植物较少。

植物体内的硫：**无机硫酸盐**（ SO_4^{2-} ）
和**有机硫化合物**（含硫的氨基酸和蛋白质）

一、植物体内硫的含量与分布

无机态硫酸盐主要储藏在液泡中

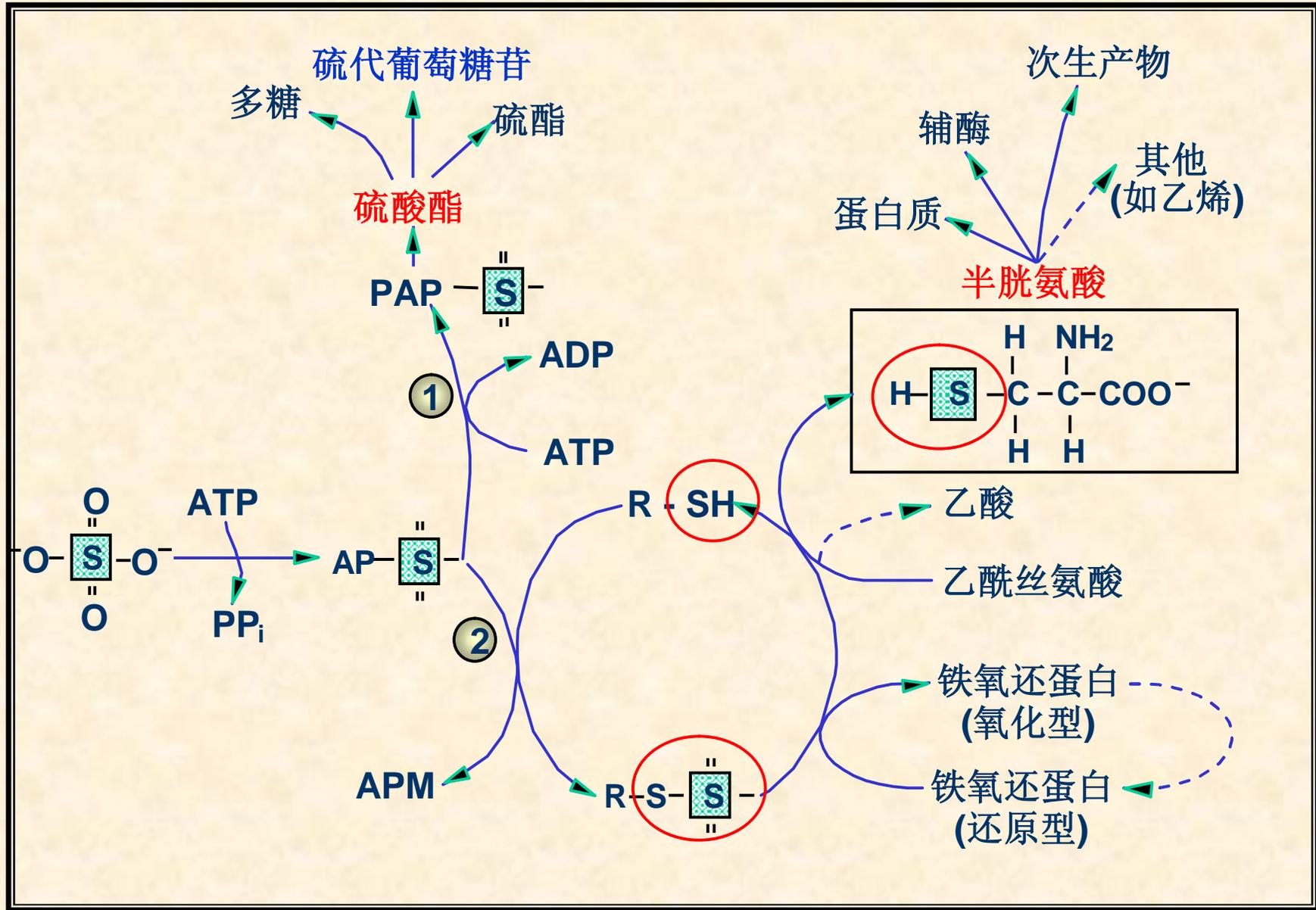
有机硫化合物主要分布在细胞质中



以含硫氨基酸及含硫多肽、蛋白的形式存在于植物体的各器官中。

有机态的硫是组成蛋白质的必需成分。缺硫时植物体S/N发生变化，可以用S/N来诊断植物的硫营养状况。

二硫的同化



高等植物体内硫酸盐同化的途径

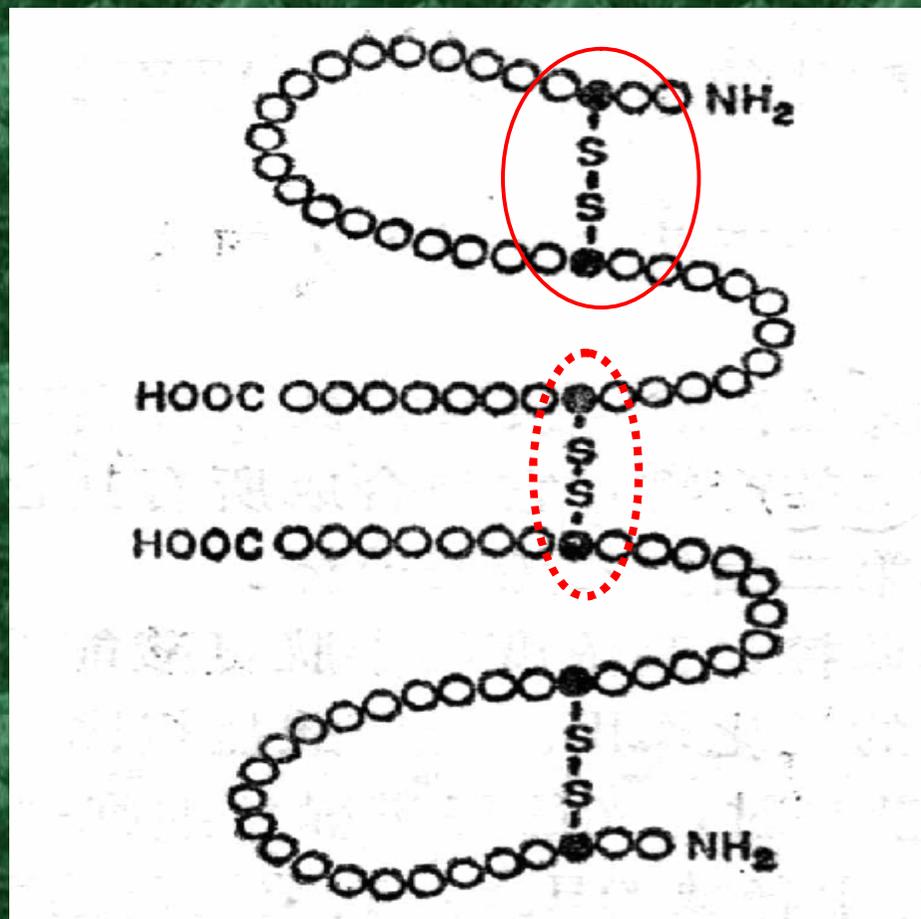
三、硫的营养功能

(一) 在蛋白质合成和代谢中的作用

硫是半胱氨酸和蛋氨酸的组分，因此也是蛋白质不可缺少的组分。

在多肽链中，两个含巯基（**-SH**）的氨基酸可形成二硫化合键（**-S-S-**，二硫键）。

正是由于二硫化合键的形成，才使蛋白质真正具有酶蛋白的功能。

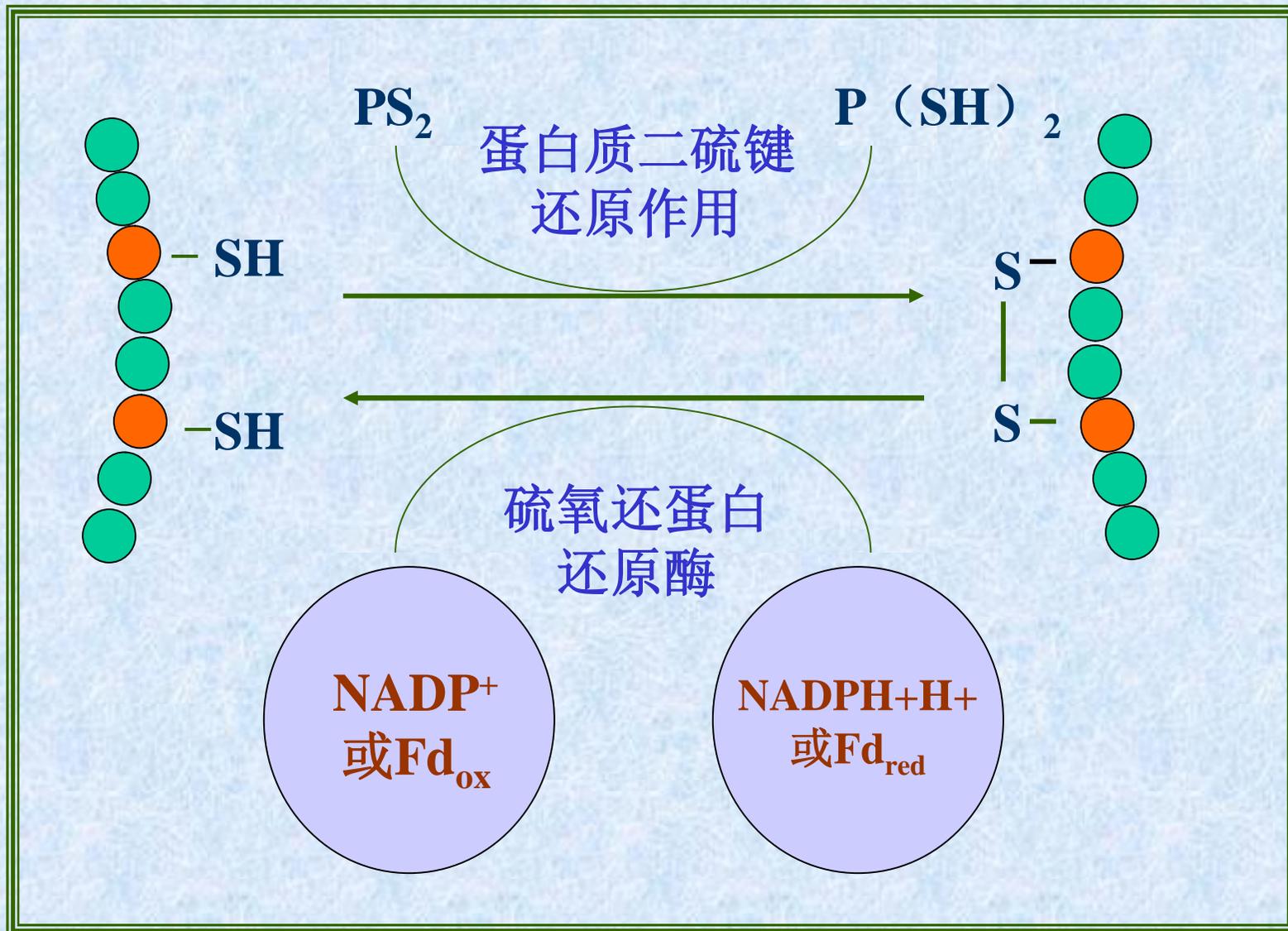


多肽链的二硫键示意图

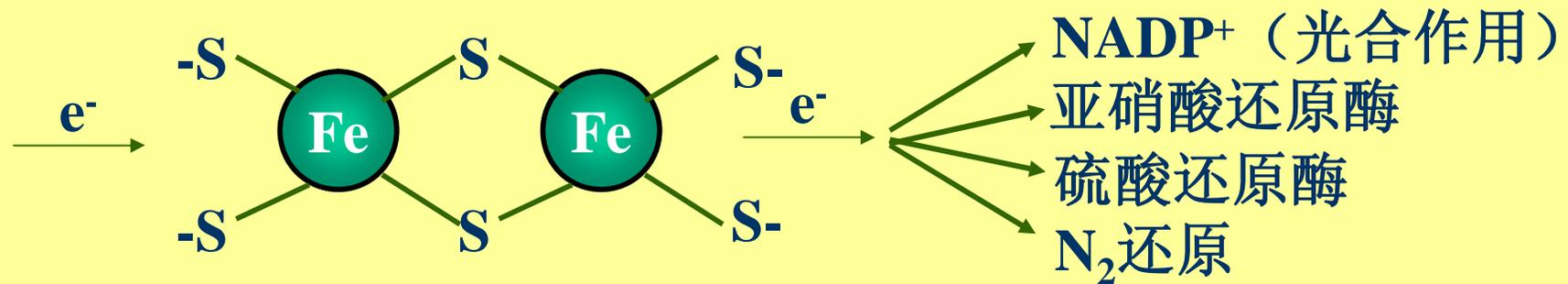
三、硫的营养功能

(二) 传递电子

- 胱氨酸-半胱氨酸氧化还原体系是植物体内重要的氧化还原体系
- 谷胱甘肽氧化-还原体系
- 硫氧还蛋白能够还原肽链间和肽链中的二硫键
- 铁氧还蛋白是一种重要的含硫化合物，
光合作用的暗反应中参与的还原，
硫酸盐还原，
氮、亚硝酸还原和谷氨酸的合成过程



硫氧还蛋白的还原与蛋白质二硫键的氧化示意图



铁氧还蛋白中Fe-S结合形式及其在其它代谢中的功能

(三) 其它作用

- 在脲酶、APS磺基转移酶和辅酶A中，-SH基起着酶反应功能团的作用。
- 硫还是许多挥发性化合物，如异硫氰酸盐和亚砷酸盐的结构成分。
这些成分使洋葱、大蒜(蒜素)、大葱和芥菜(芥子油)等植物具有特殊的气味

四、植物对硫的需求与缺硫症状

一般认为，当植物的硫含量（干重）低于**0.2%**时，植物会出现缺硫症状。

缺**硫**时蛋白质合成受阻导致失绿症，其外观症状与缺**氮**很相似，但缺硫症状往往先出现于幼叶。而在供氮不足时，缺硫症状发生在老叶（缺氮加速老叶的衰老，使硫得以再转移）。

植物缺硫的症状

新叶失绿黄化，植物发僵；

- 豆科植物对缺硫敏感，苜蓿缺硫时，叶呈淡黄绿色，小叶比正常叶更直立，茎变红，分枝少；
- 四季萝卜常作为鉴定土壤硫营养状况的指示植物；
- 玉米早期缺硫新叶和上部叶片脉间黄化，后期缺硫时，叶缘变红，然后扩展到整个叶面，茎基部也变红。

缺硫使禾谷类植物籽粒半胱氨酸的含量下降，因此降低了面粉的烘烤质量。

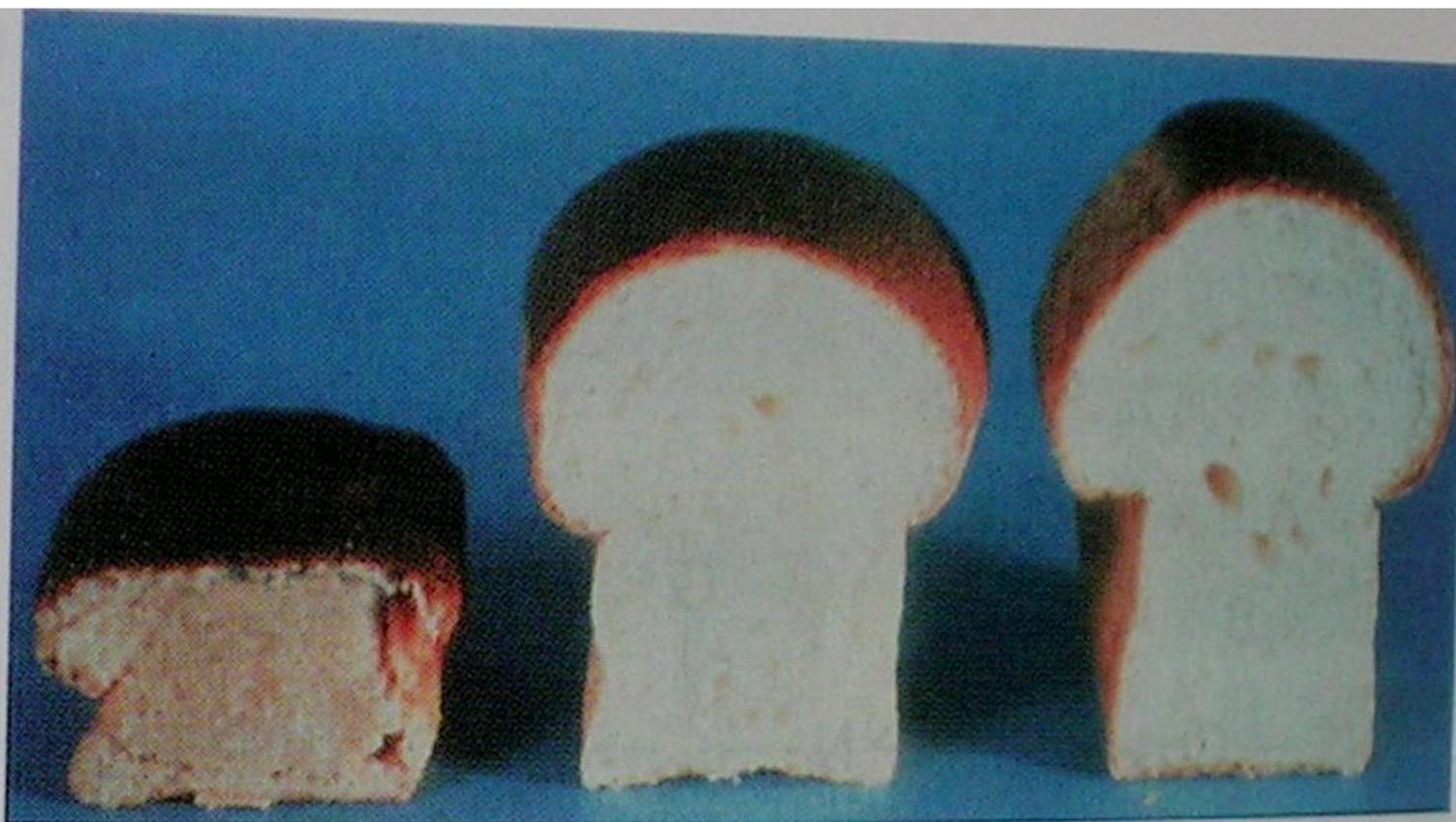


图 16.53 从左至右分别是含低硫、高硫和过量硫的小麦面粉烤的面包片。有效硫的不足会使小麦种子中贮藏蛋白





小麦-有硫和无硫

S

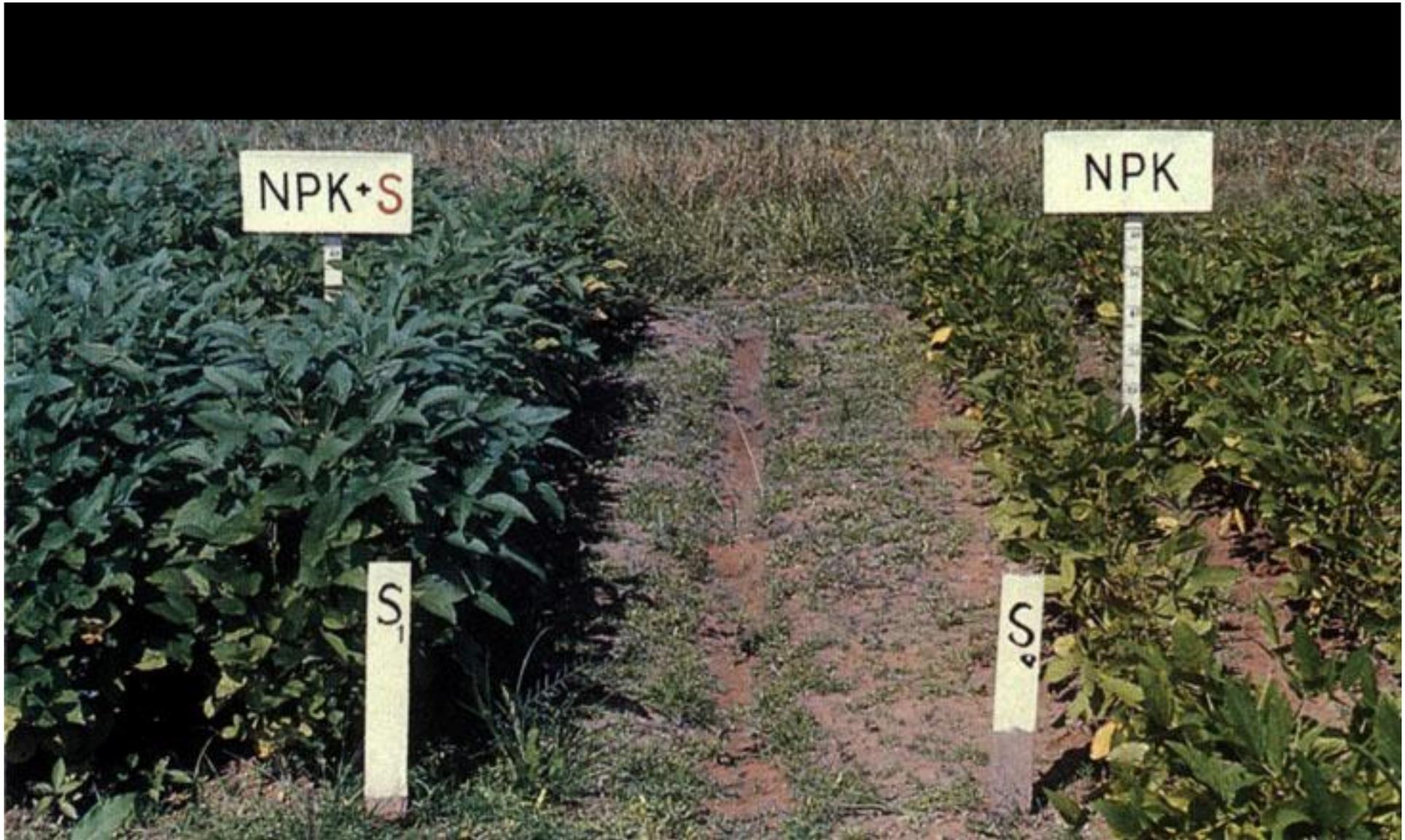


水稻缺硫



茶树缺硫

茶黄病



黄豆施硫

S



花生：左，无硫对照，右：施硫20公斤每公顷

S



苜蓿-分蘖减少，新叶呈浅黄绿色

S



高粱-叶脉间发黄，茎和叶缘变红

S



大豆-新叶持续呈淡黄色，整个植株变黄

S



烟草-新叶呈均一的浅黄绿色，叶片小，节间短

S



油菜-叶片呈怀状向内，叶背变红

S



油菜缺硫：花序小，花色退黄呈白色

S





1. Ca, Mg, S在植物细胞中的分布
2. Ca, Mg, S 的**主要**营养功能
3. 如何理解生长在富钙的石灰性土壤上的植物经常出现缺钙的症状
4. 典型植物缺乏Ca, Mg, S的典型症状
5. S为什么在十字花科和百合科的植物中含量较高