

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

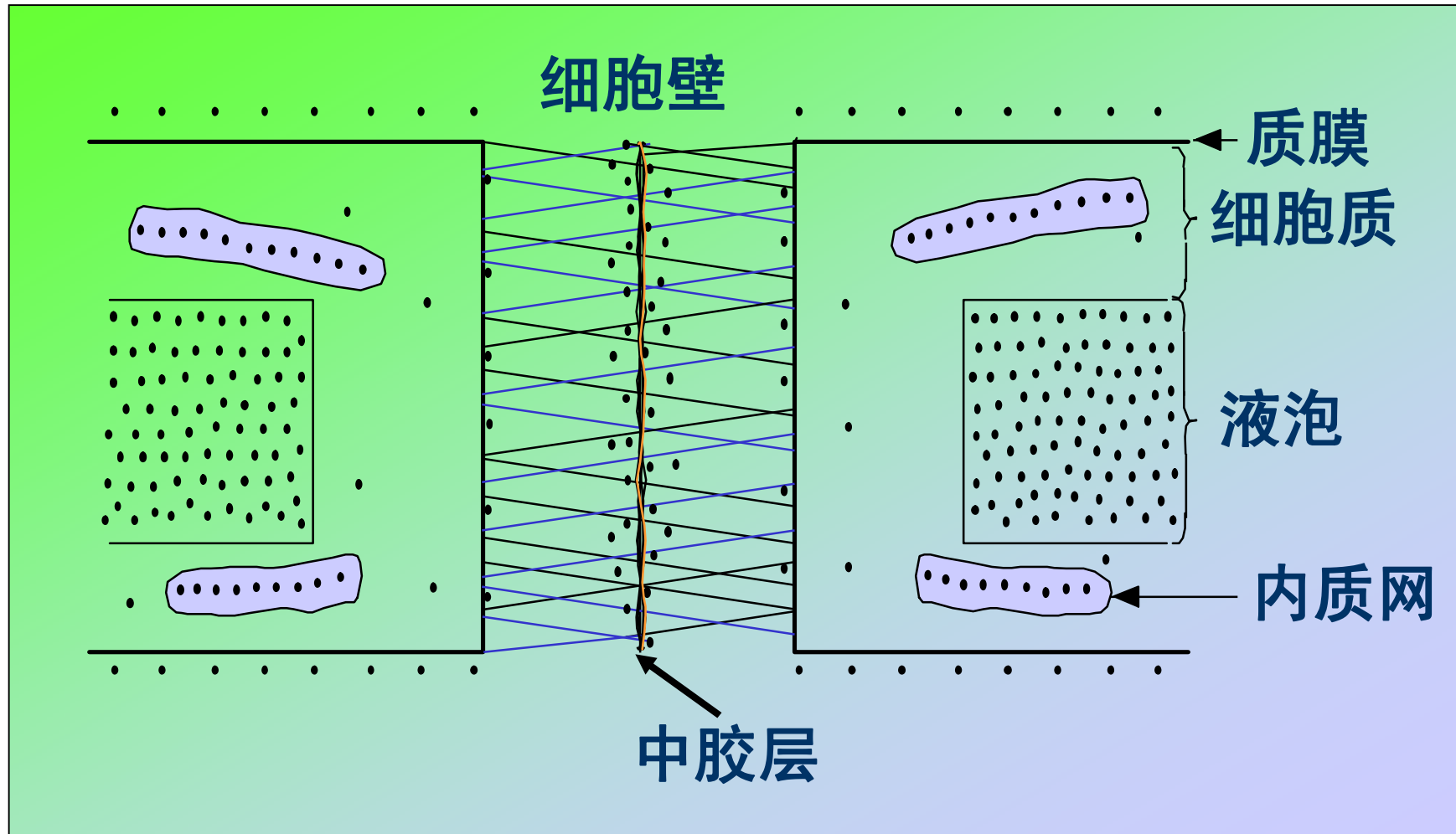
植物体含钙量一般在0.1%-5%之间

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。



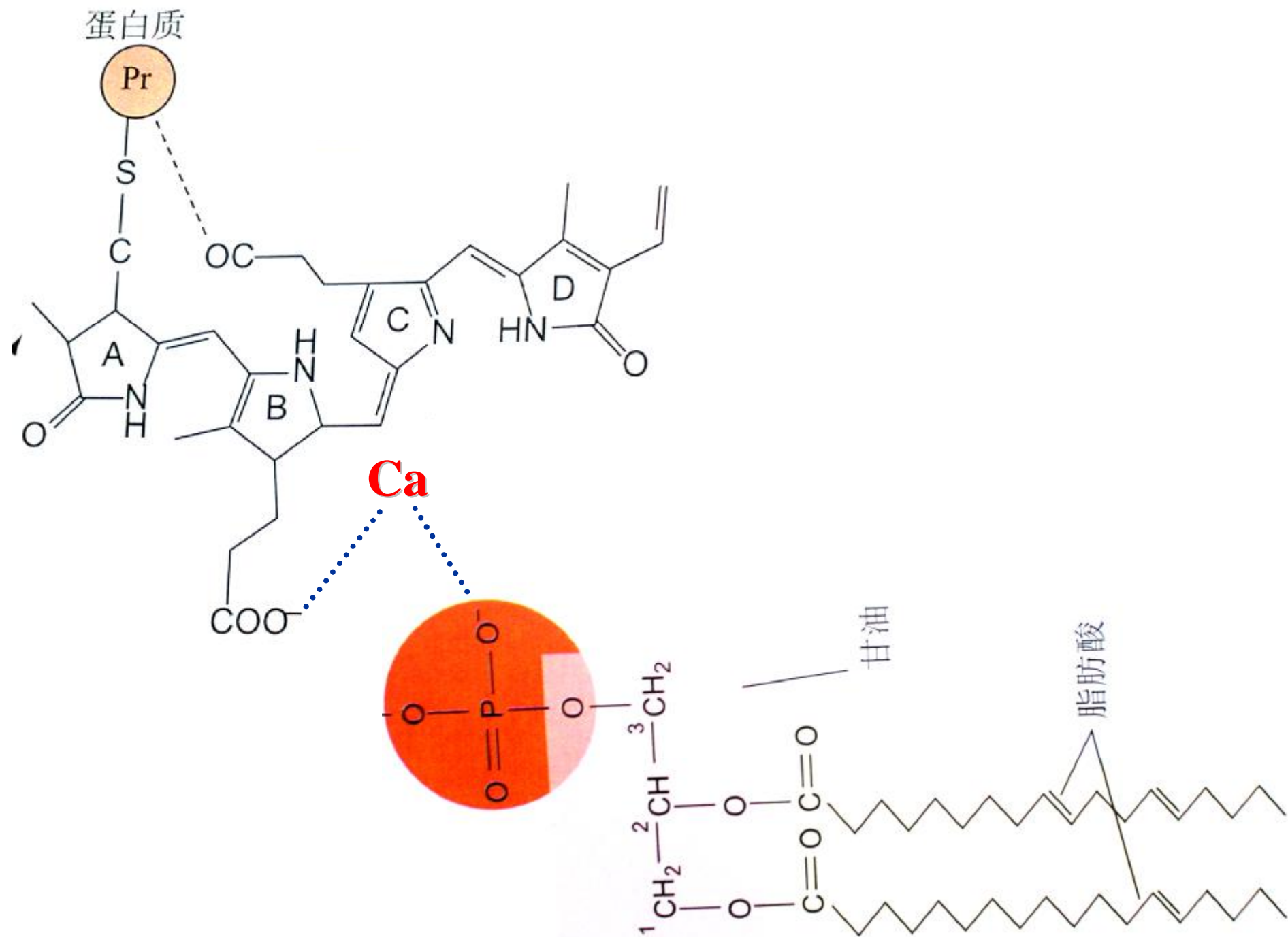
两个相邻细胞和细胞内 Ca^{2+} (·) 的分布图

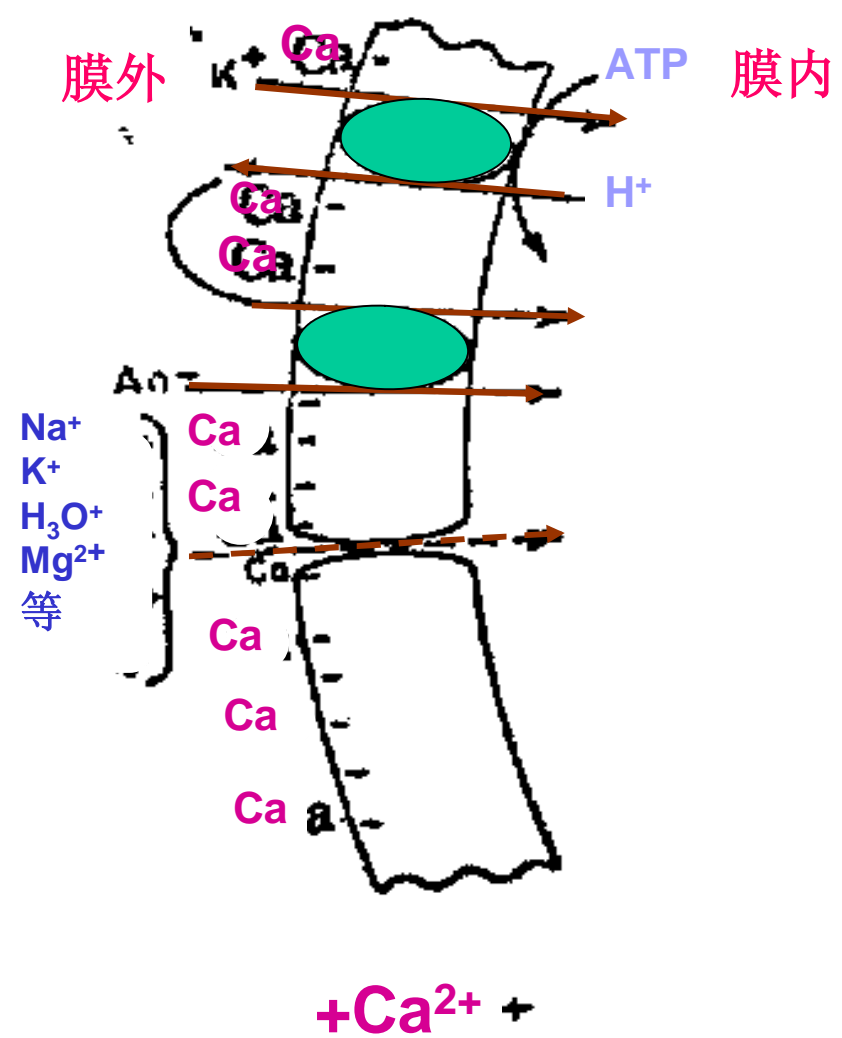
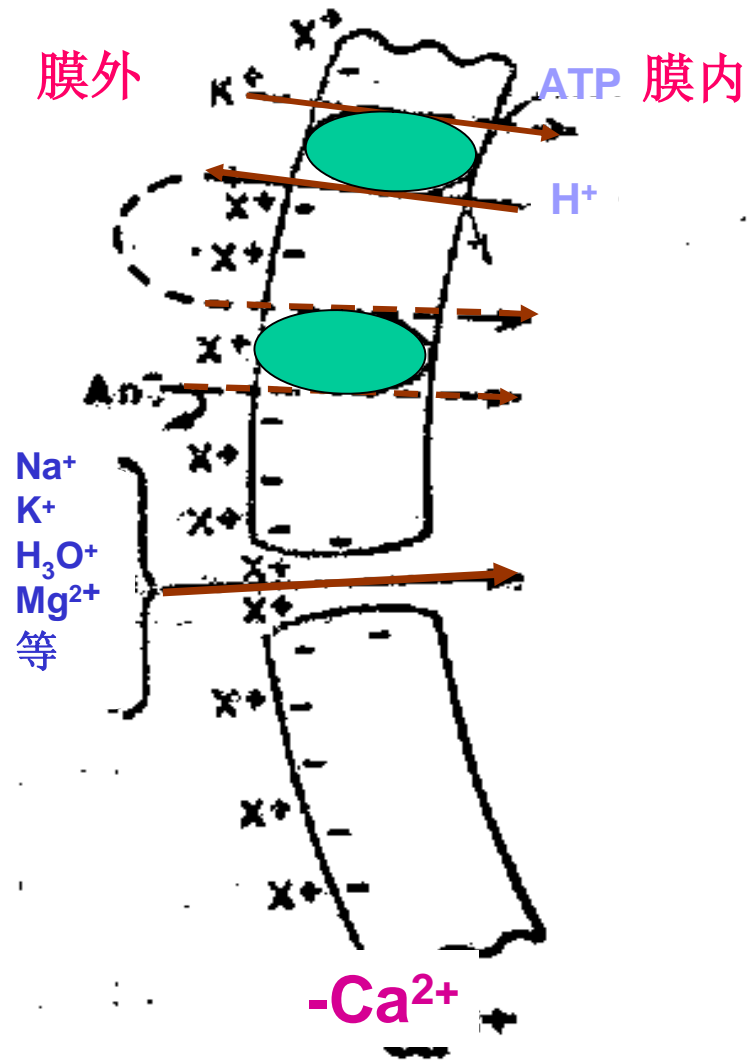
二、钙的营养功能

- **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

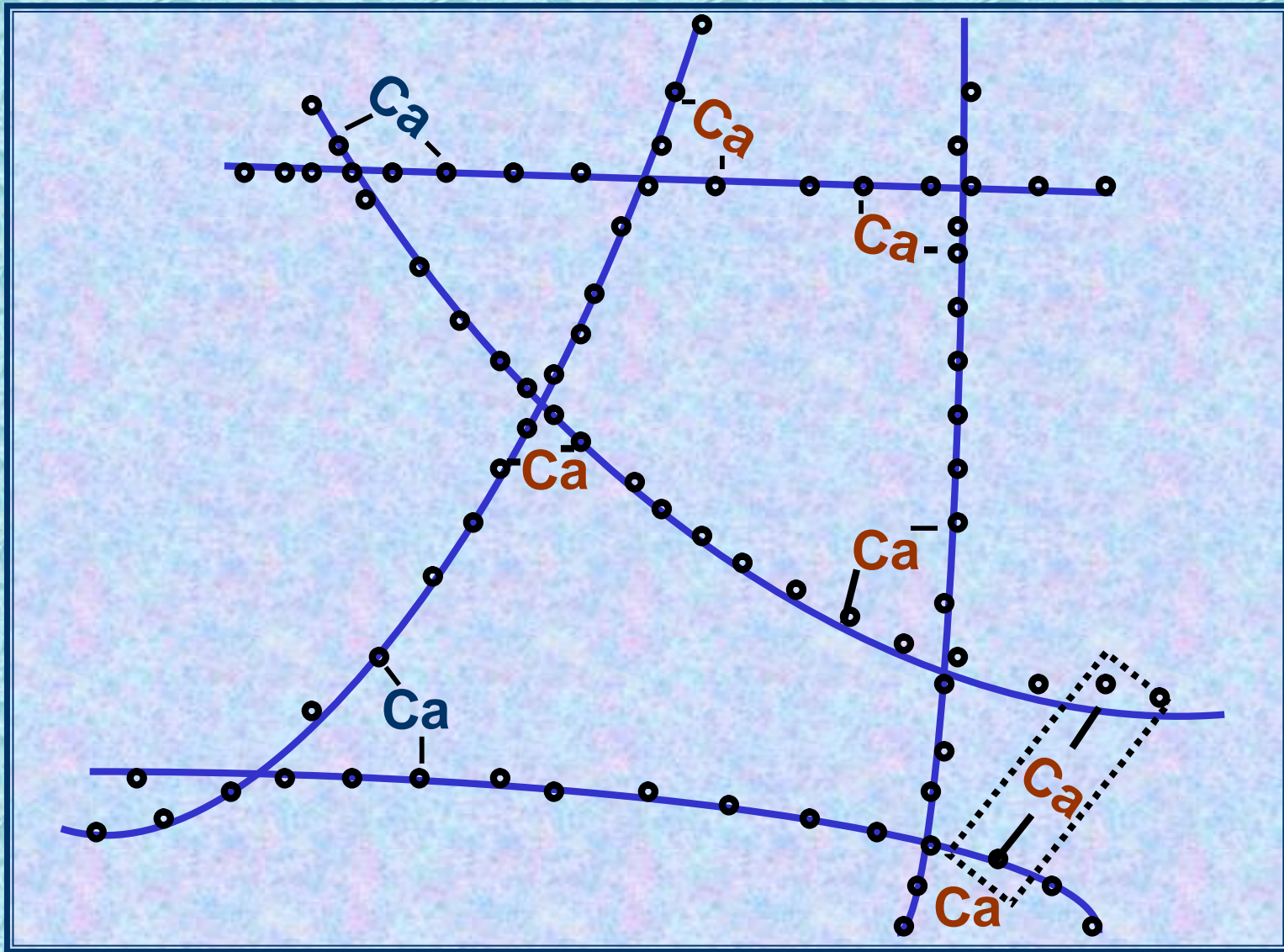
(二) 稳定细胞壁

- 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。

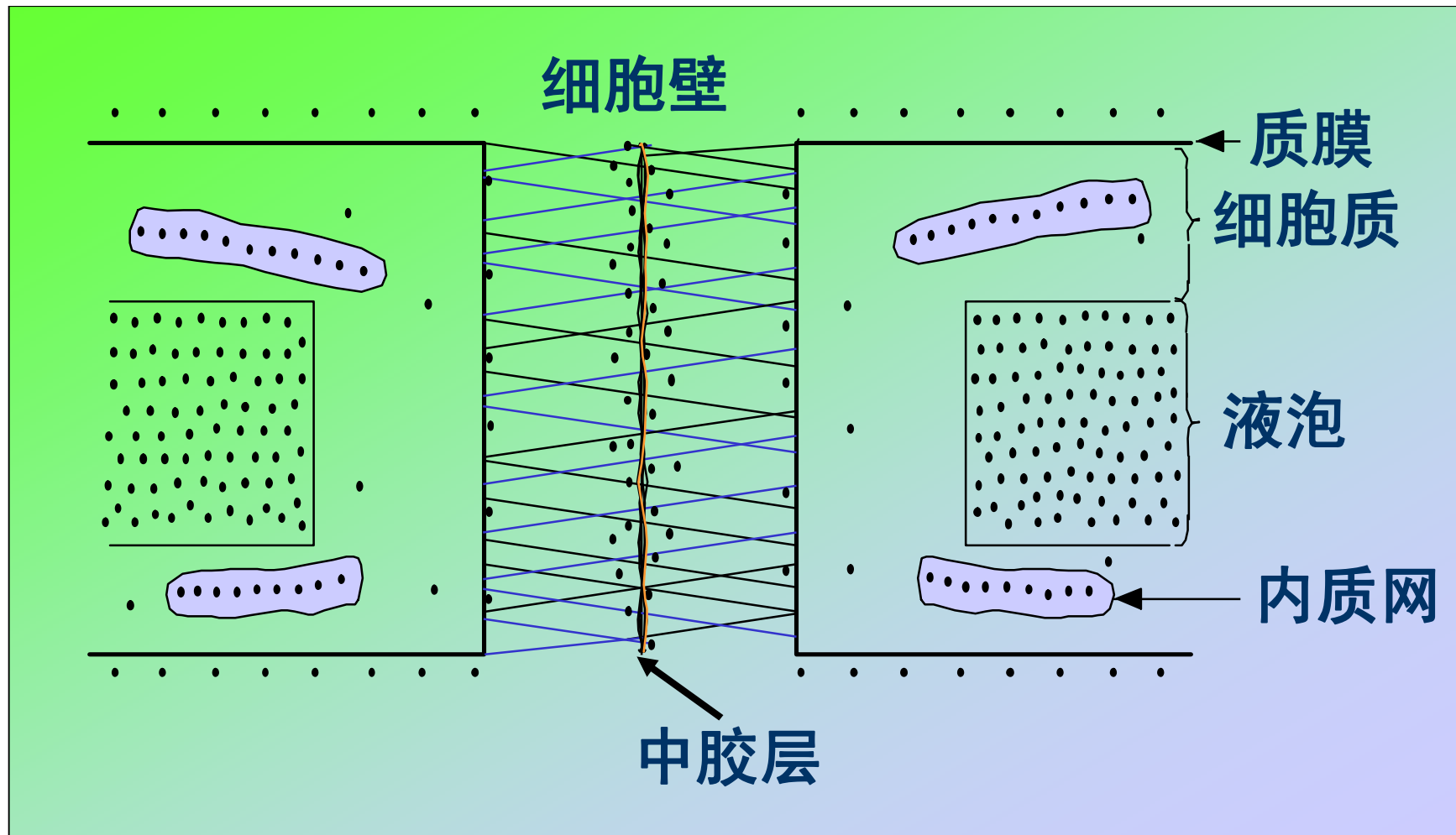
结合在细胞壁上的钙占总钙的90%

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

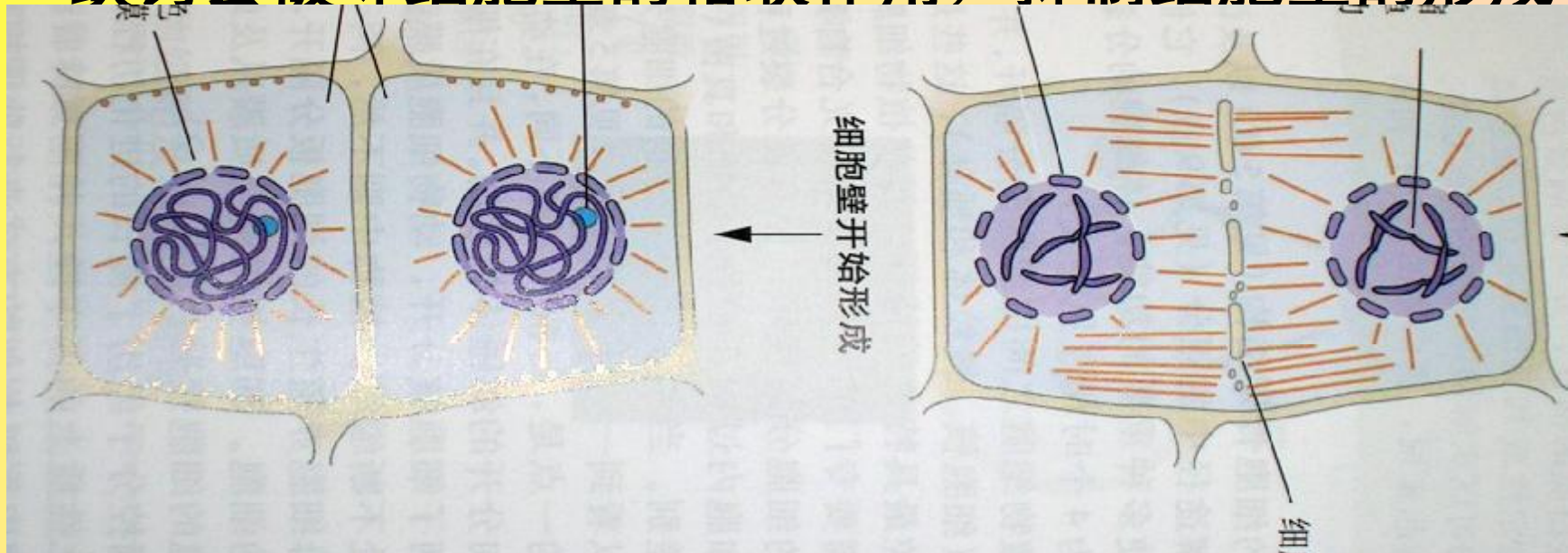


水心病和腐心病



(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

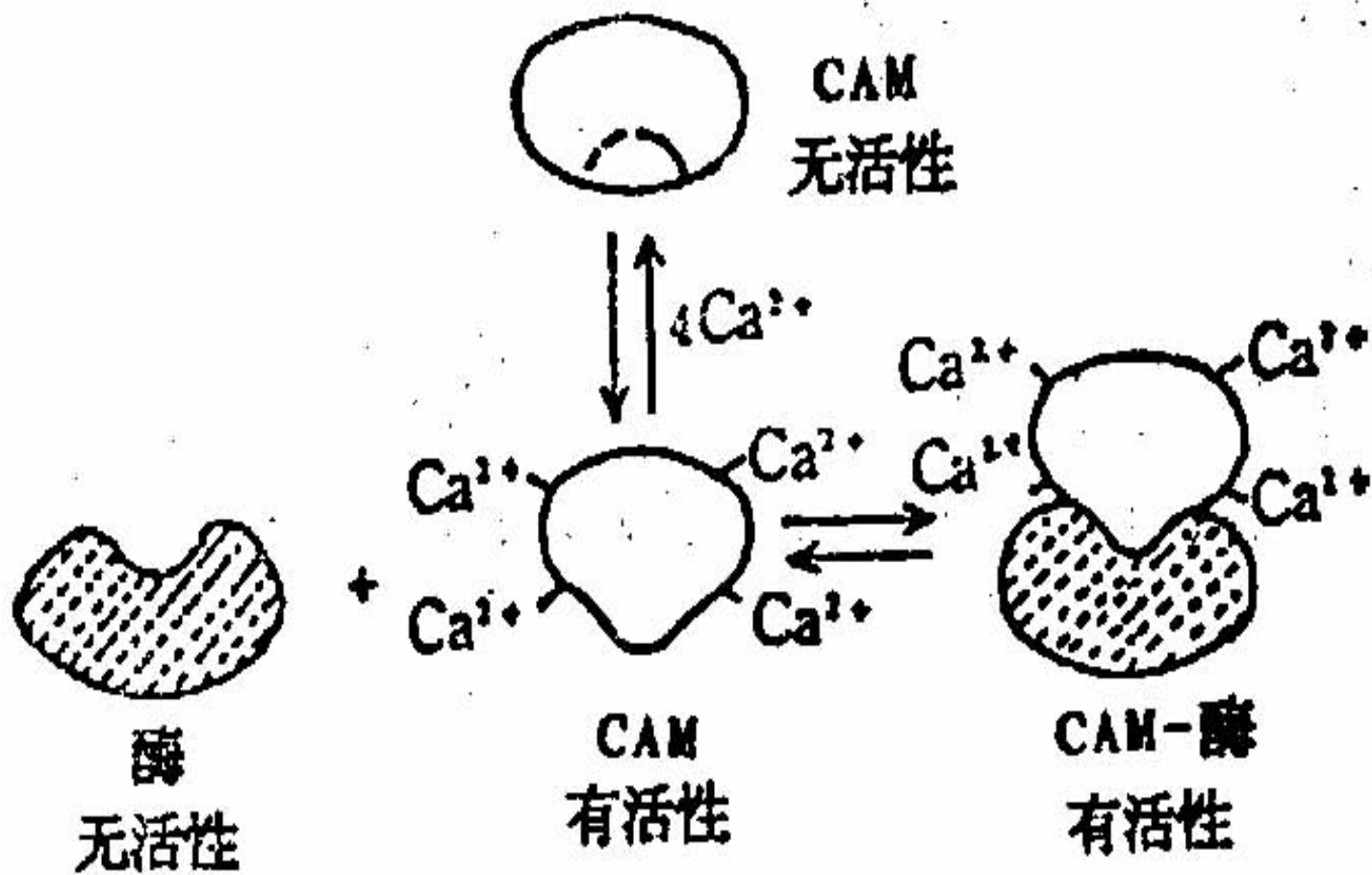
以Ca-CAM的形式调控第二信使传递信息

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。

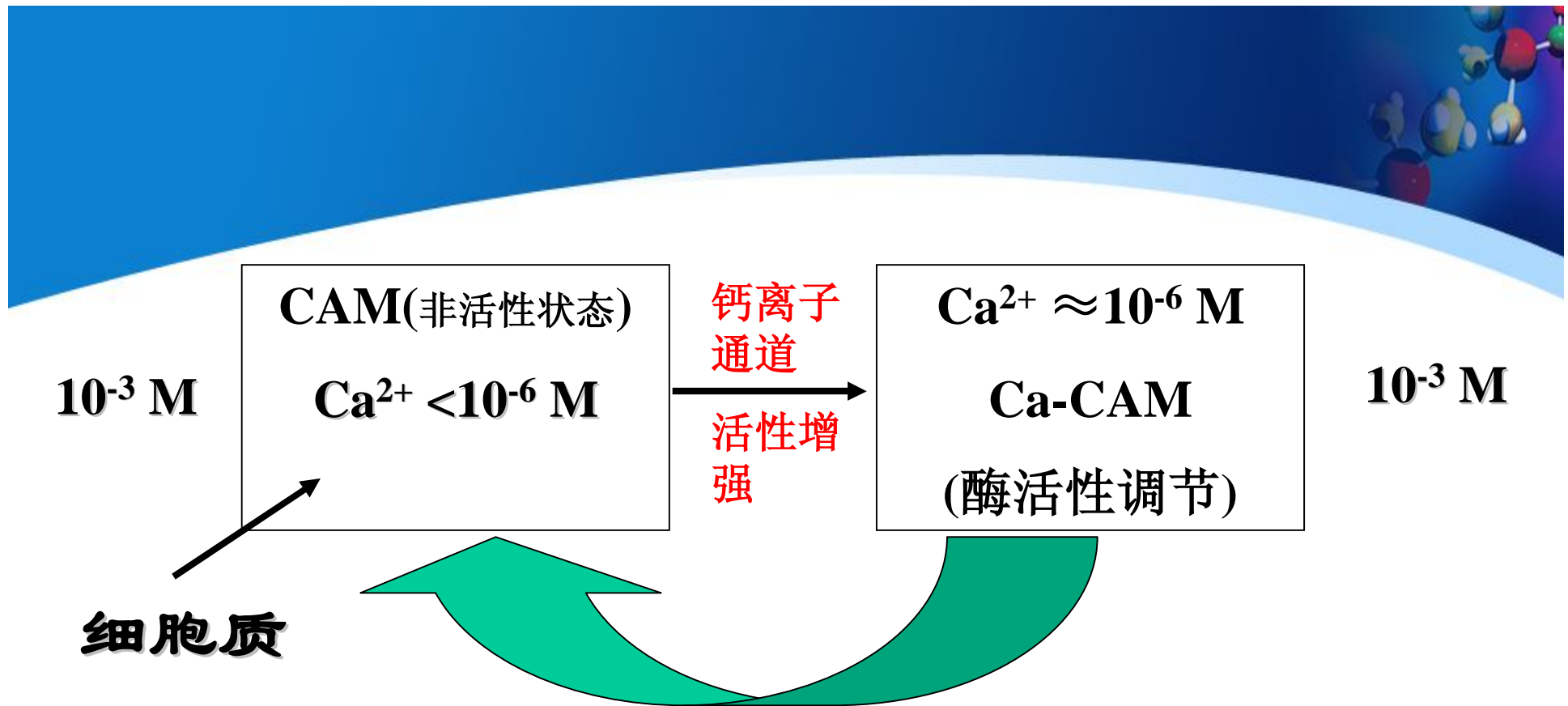
钙调蛋白是一种由148个氨基酸组成的低分子量多肽（MW约为20000），对Ca²⁺有很强的选择性亲合能力，并能同四个Ca²⁺结合。

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 Ca^{2+} -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

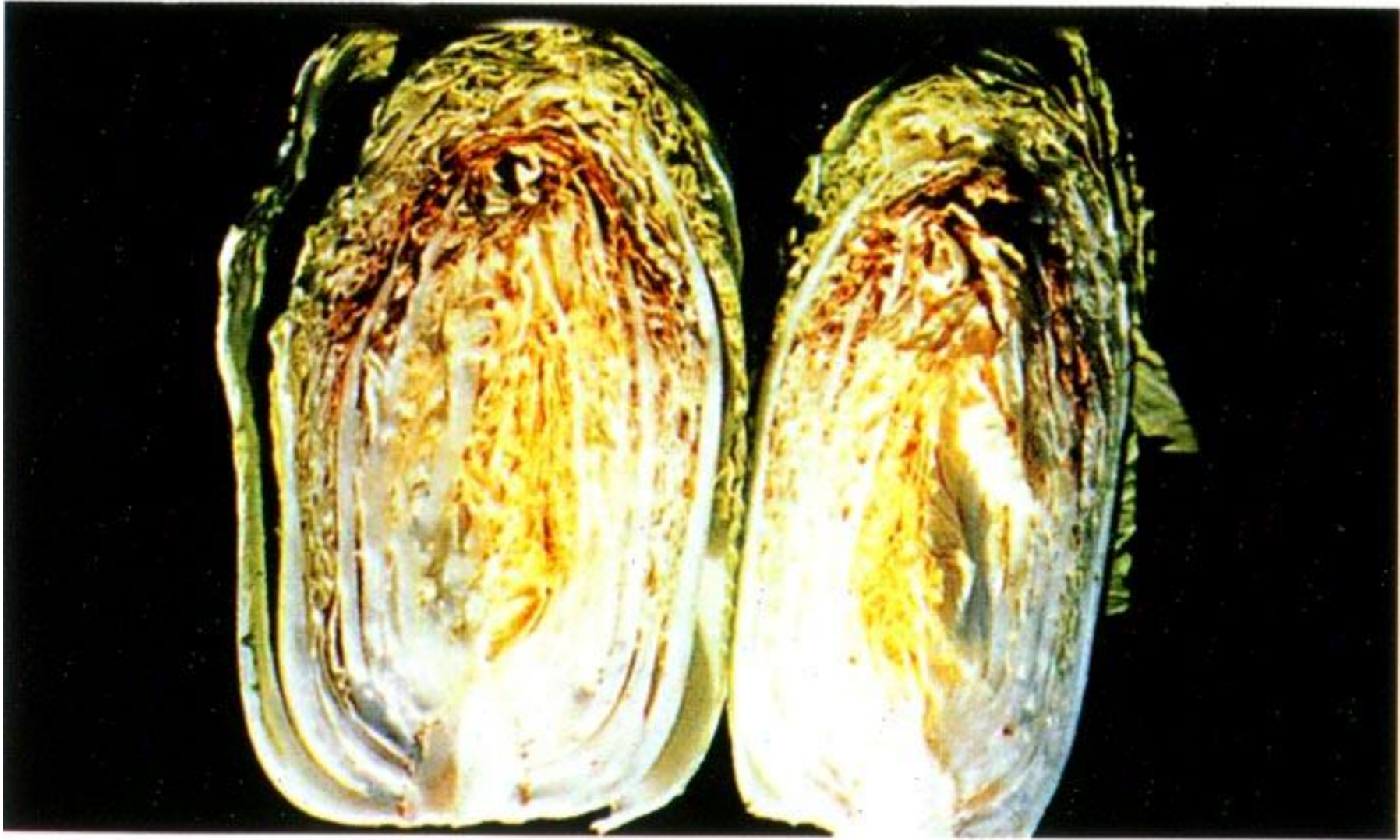
黑麦草最佳生长时期植株含钙量为 0.7 mg/g,

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



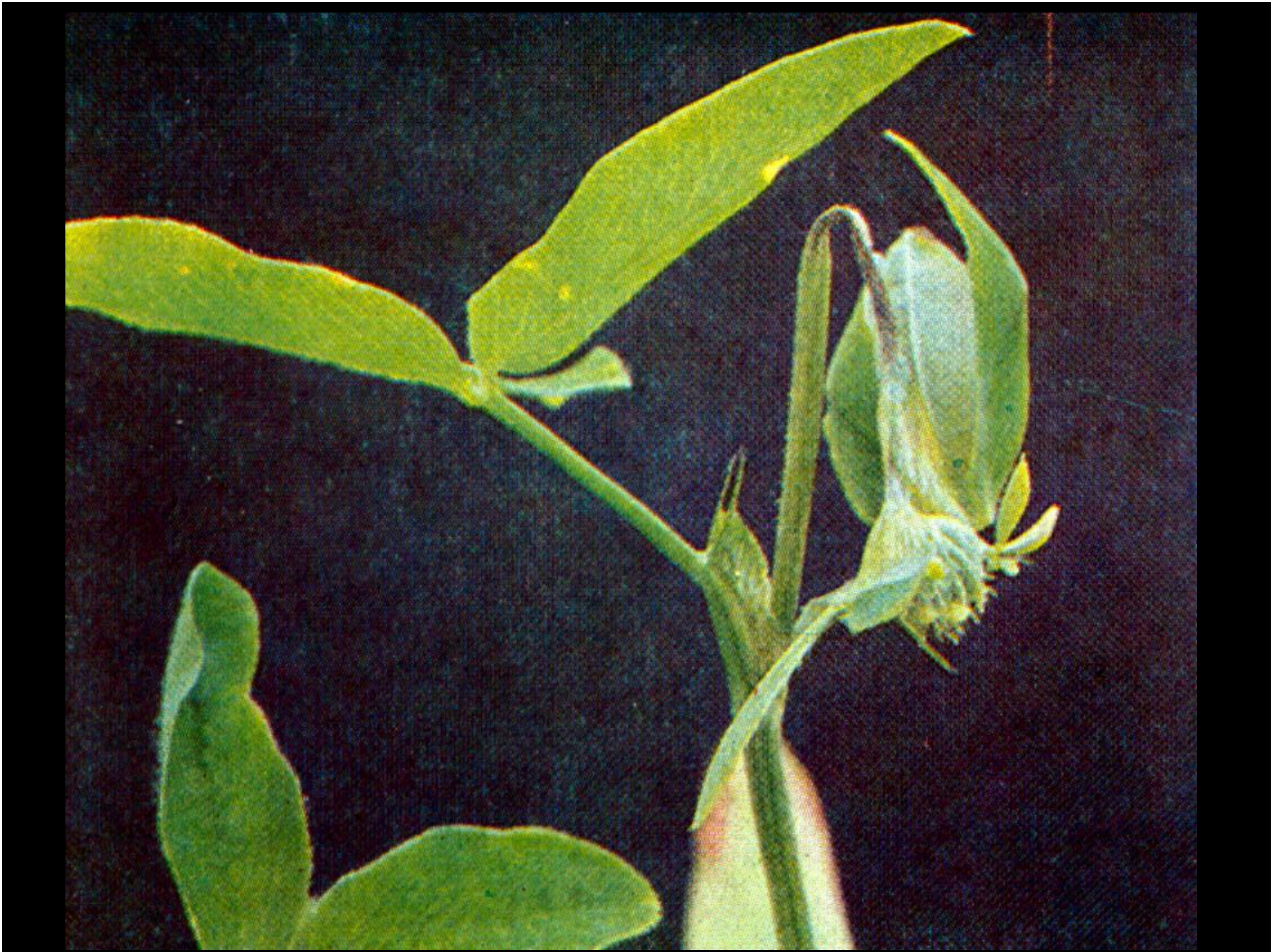
























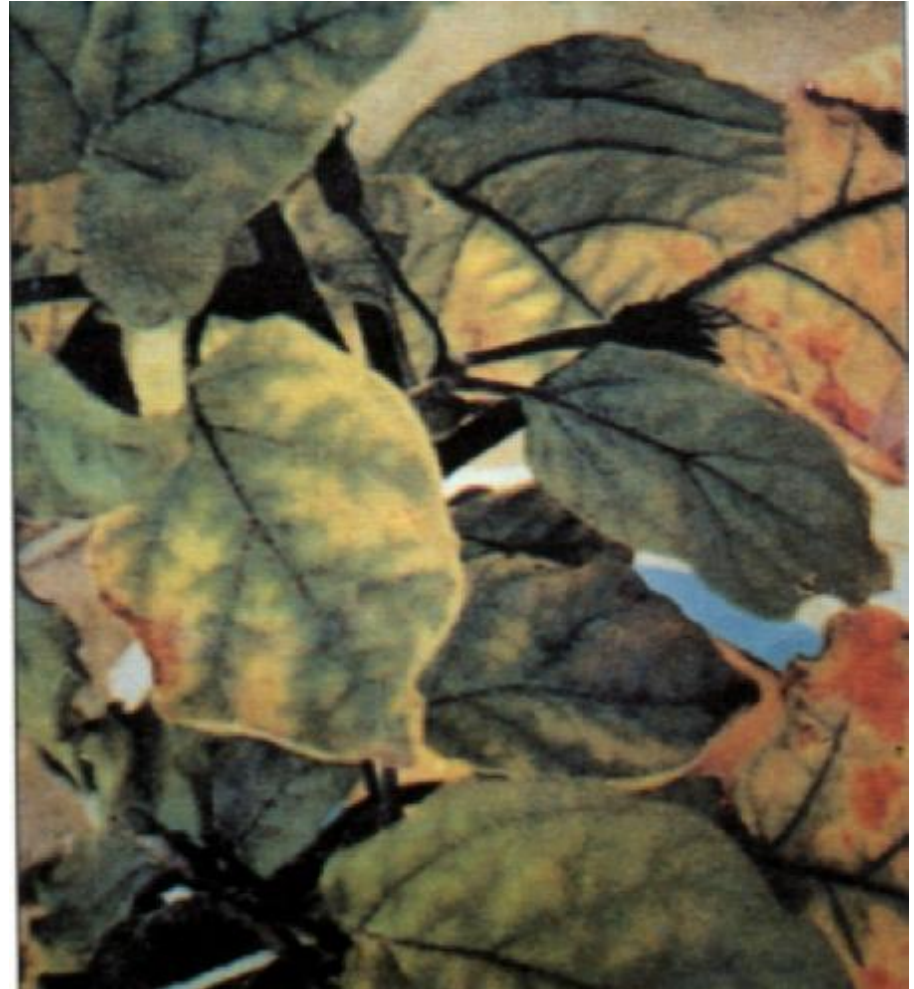


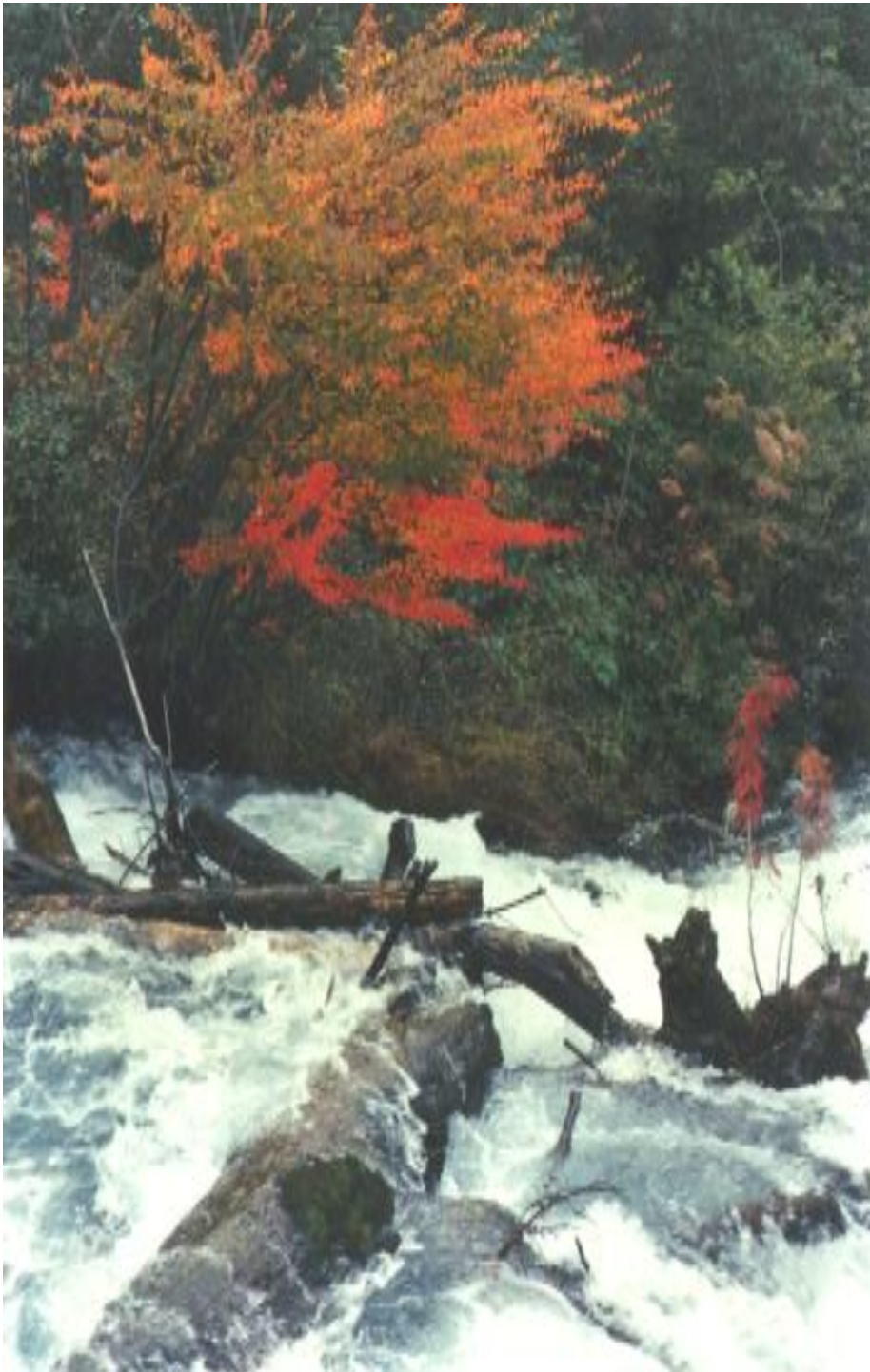




茄子缺钙果实出现顶腐病

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



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），

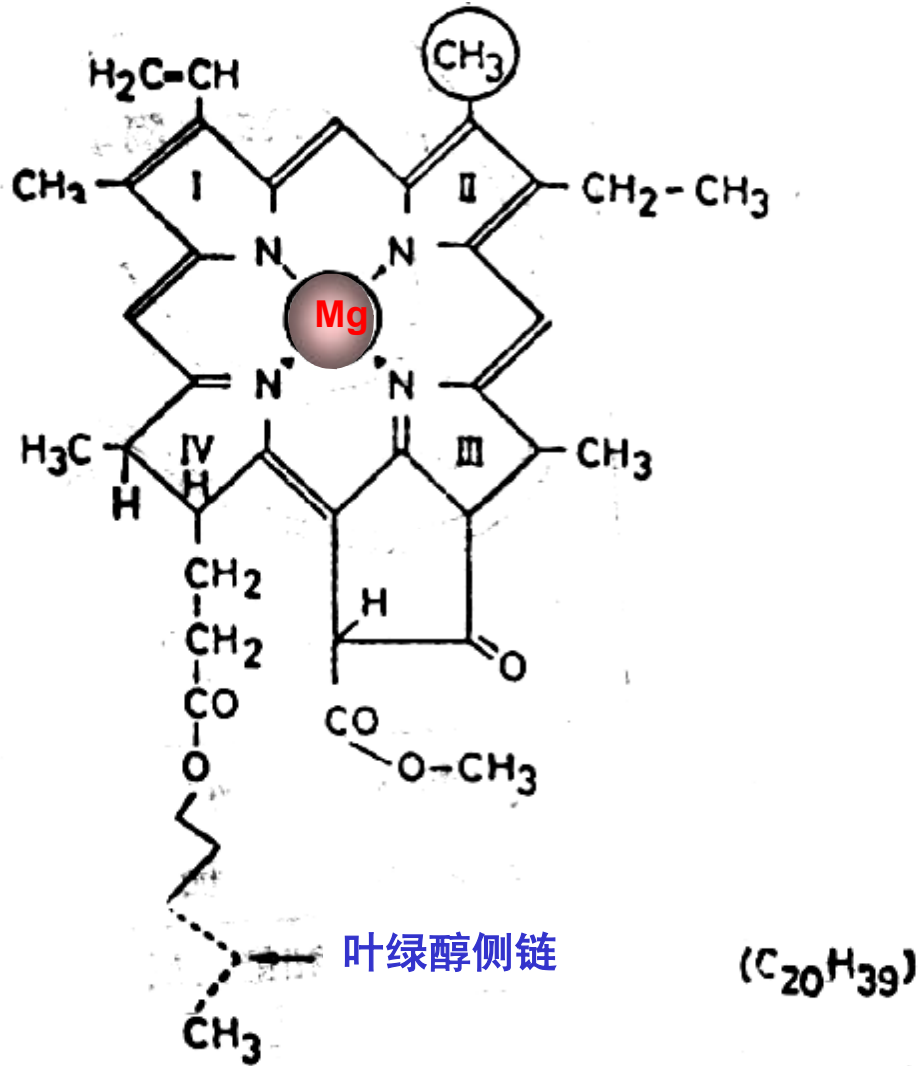
而RuBP羧化酶的活性完全取决于pH值和Mg²⁺的浓度。

∅光合磷酸化

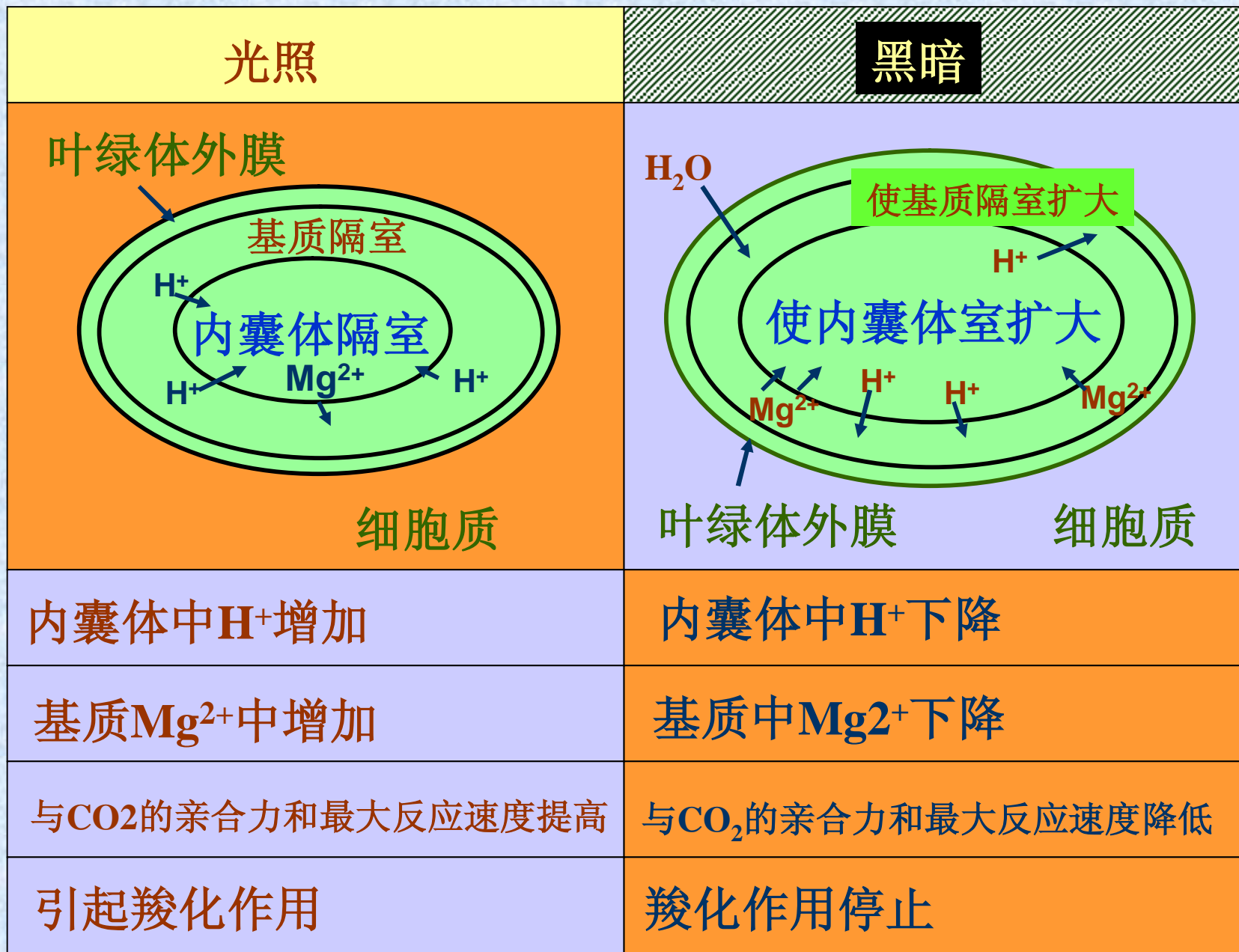
二、镁的营养功能

在叶绿素b中

CHO



叶绿素的结构



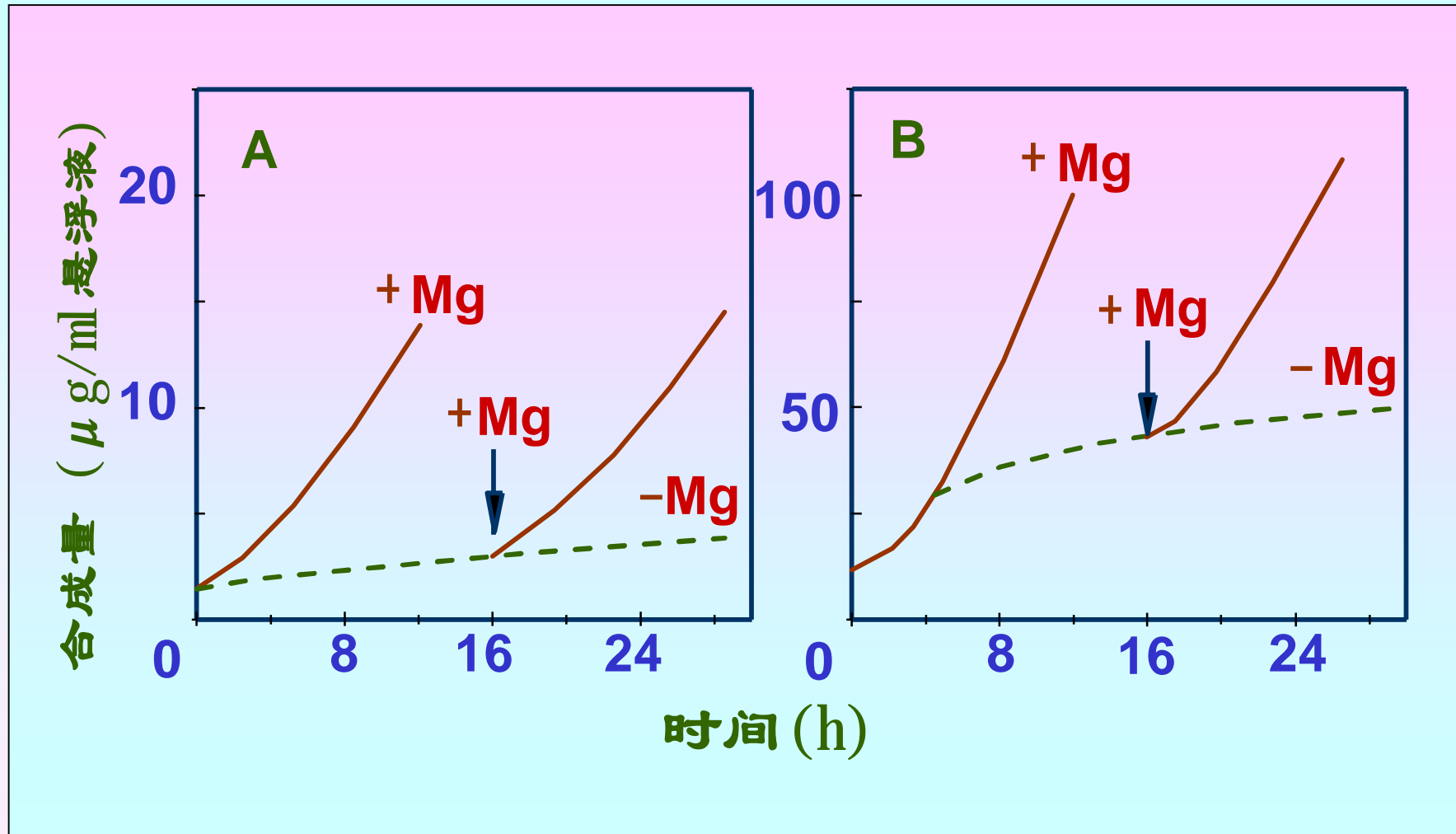
Mg^{2+} 在光照条件下活化二磷酸核酮糖羧化酶的示意图

(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:

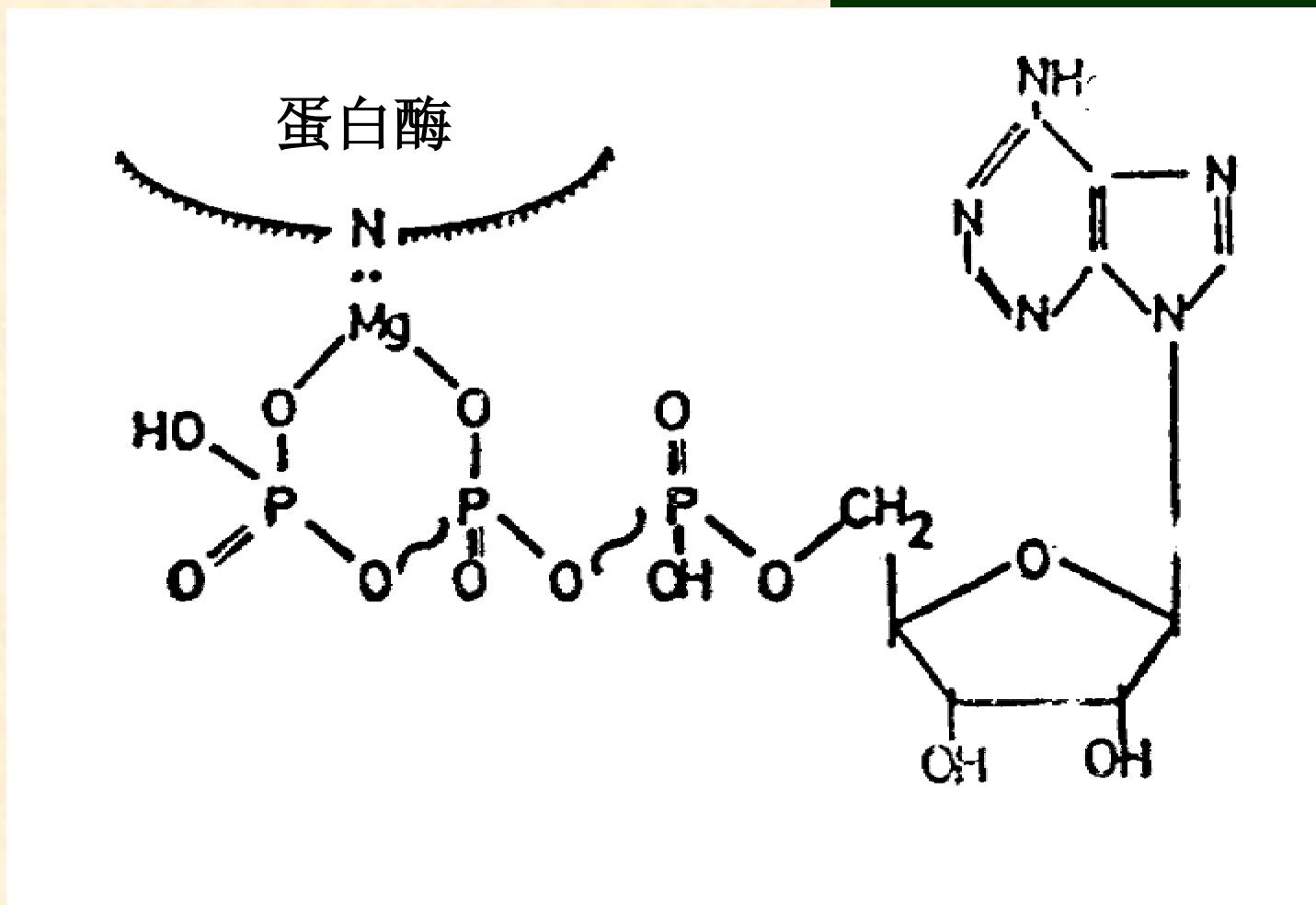
1、镁在ATP(ADP)结构和酶分子之间形成一个桥梁

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。**

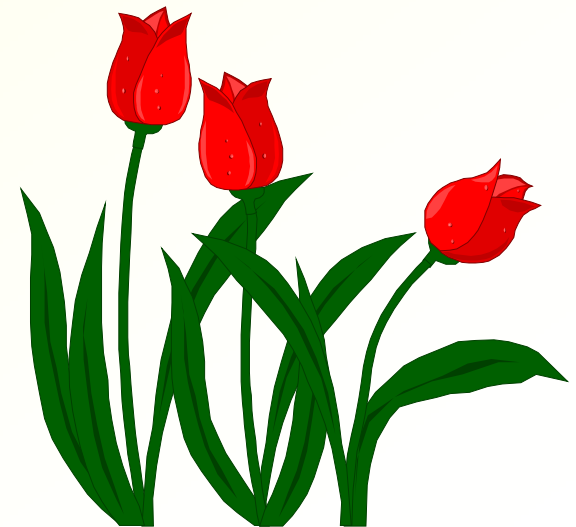
缺镁症状首先出现在老叶上（中下部叶片）

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

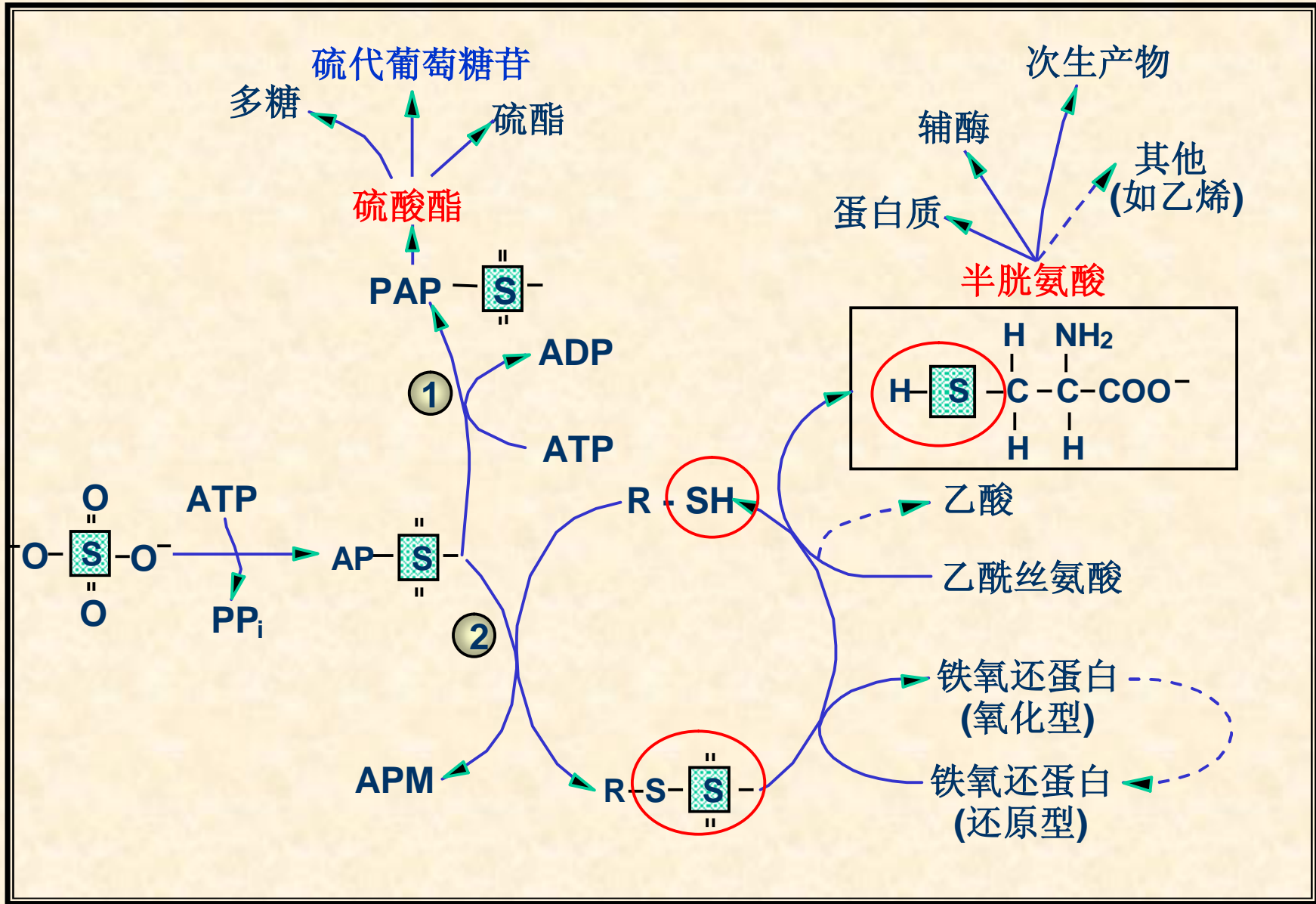
有机硫化合物主要分布在细胞质中



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

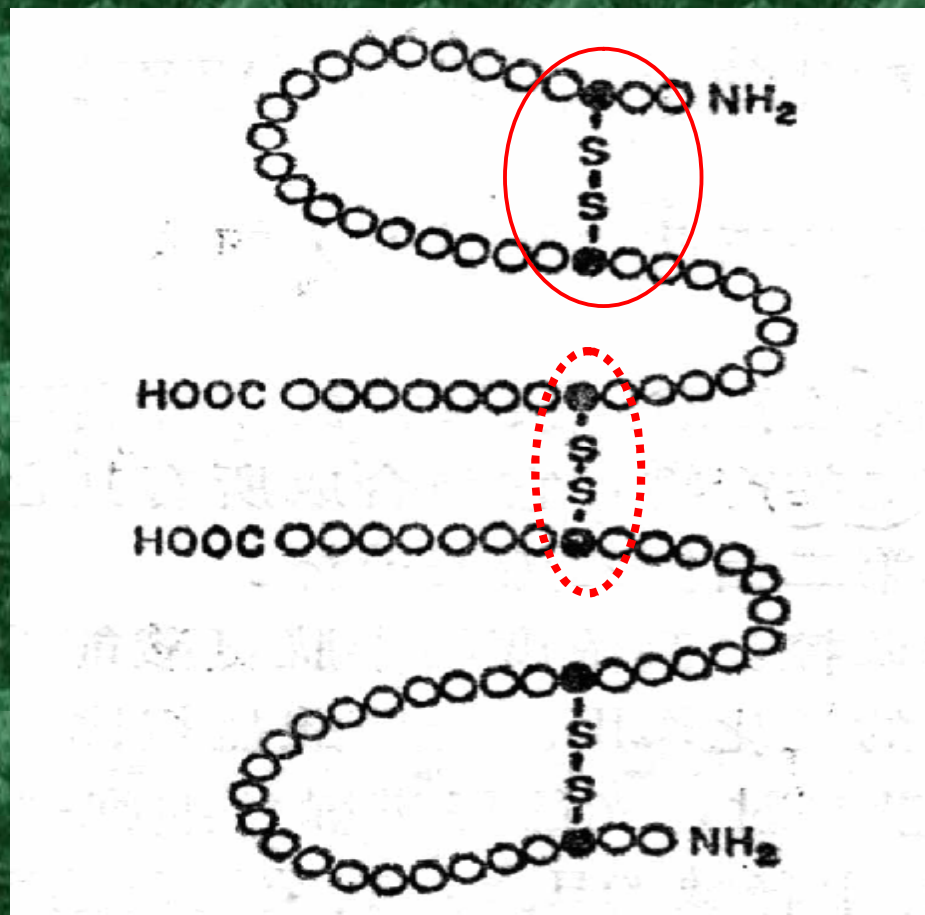
三、硫的营养功能

(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。

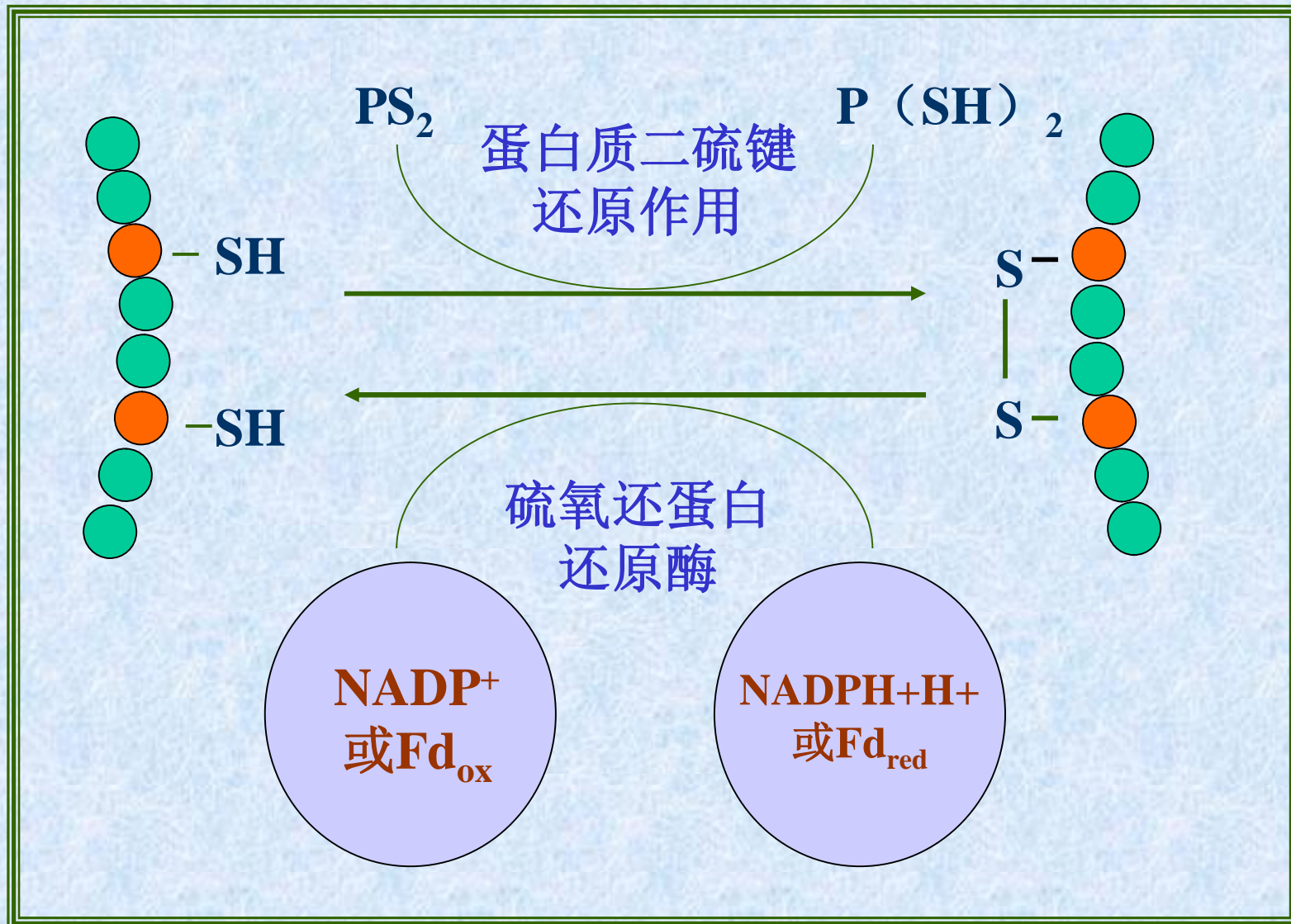


多肽链的二硫键示意图

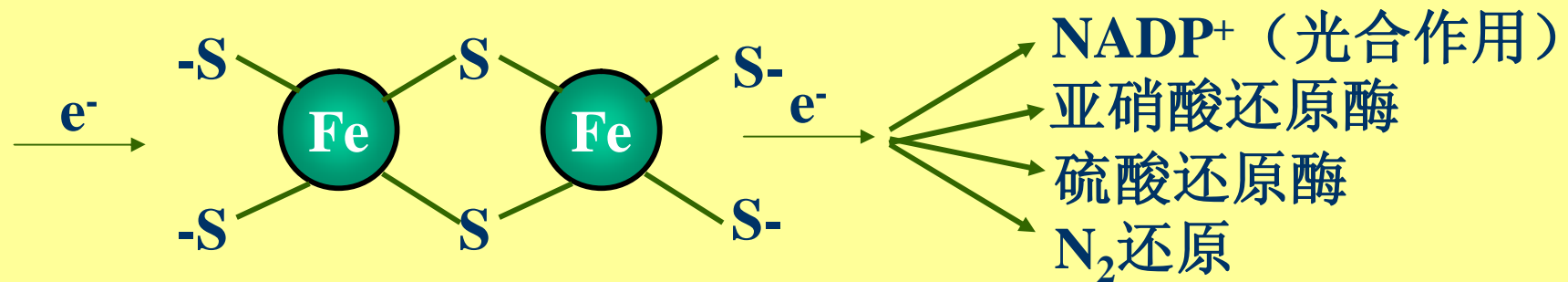
三、硫的营养功能

(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。

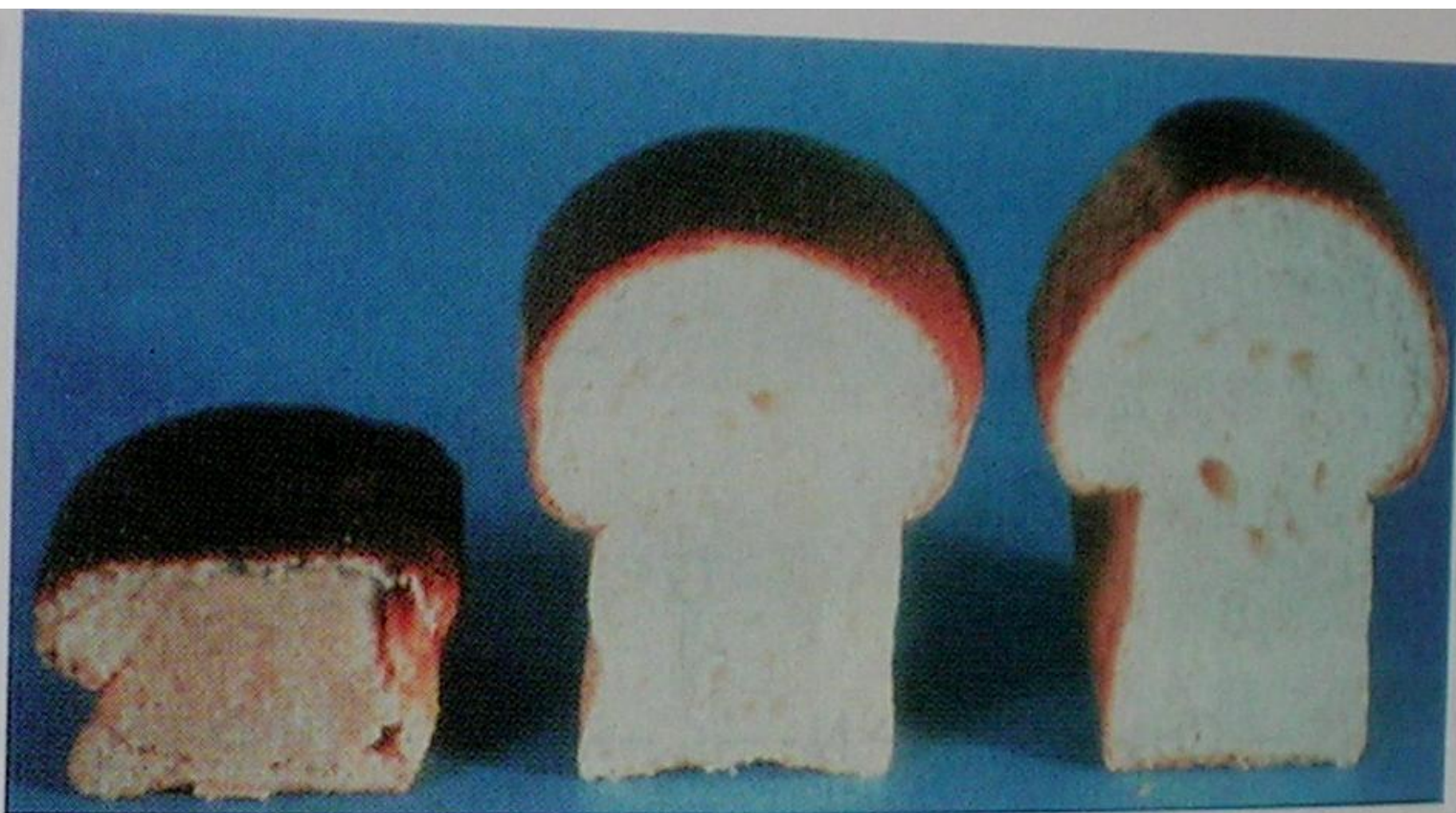


图 16.53 从左至右分别是含低硫、高硫和过量硫的小麦面粉烤的面包片。有效硫的不足会使小麦种子中贮藏蛋白





小麦-有硫和无硫

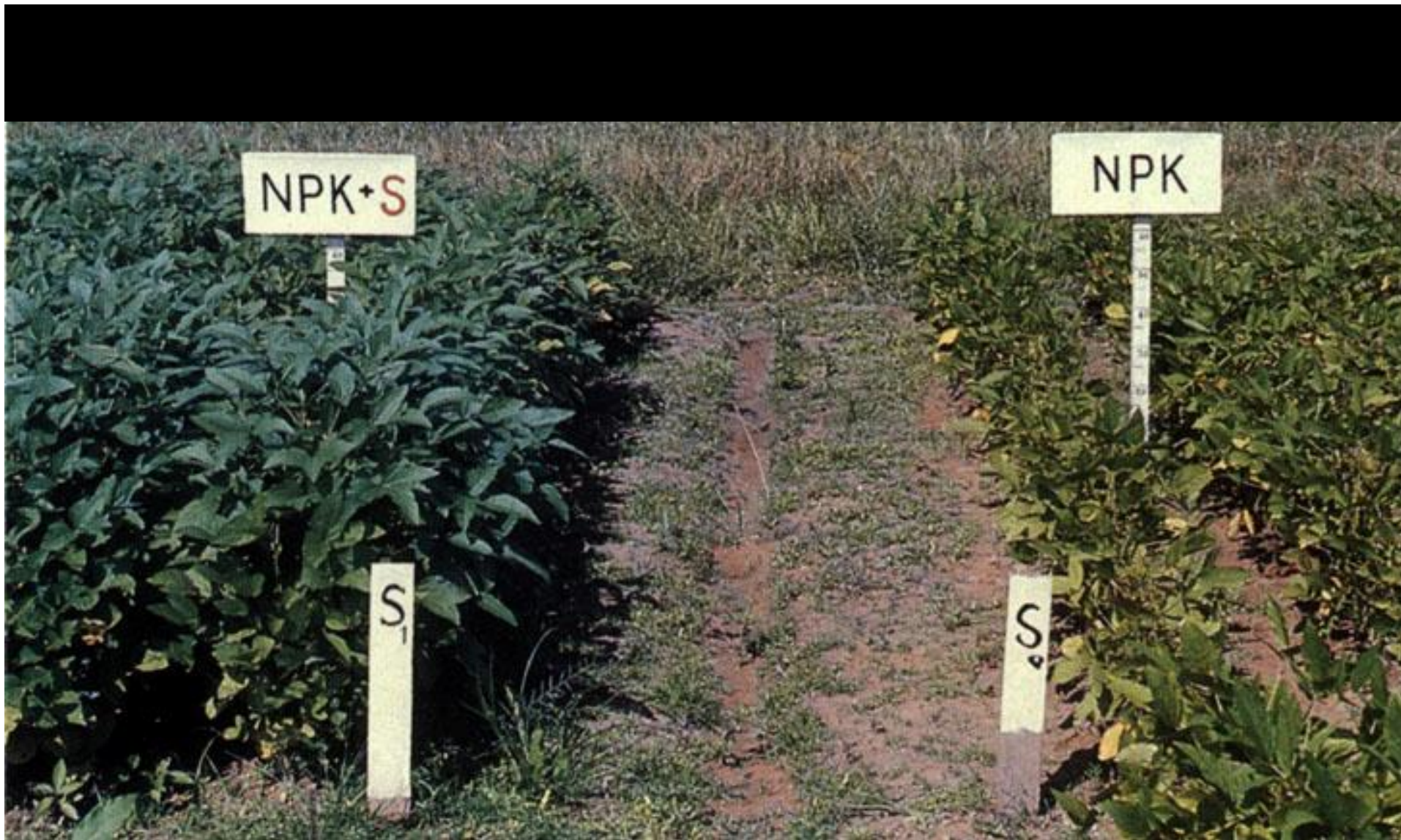
S



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