

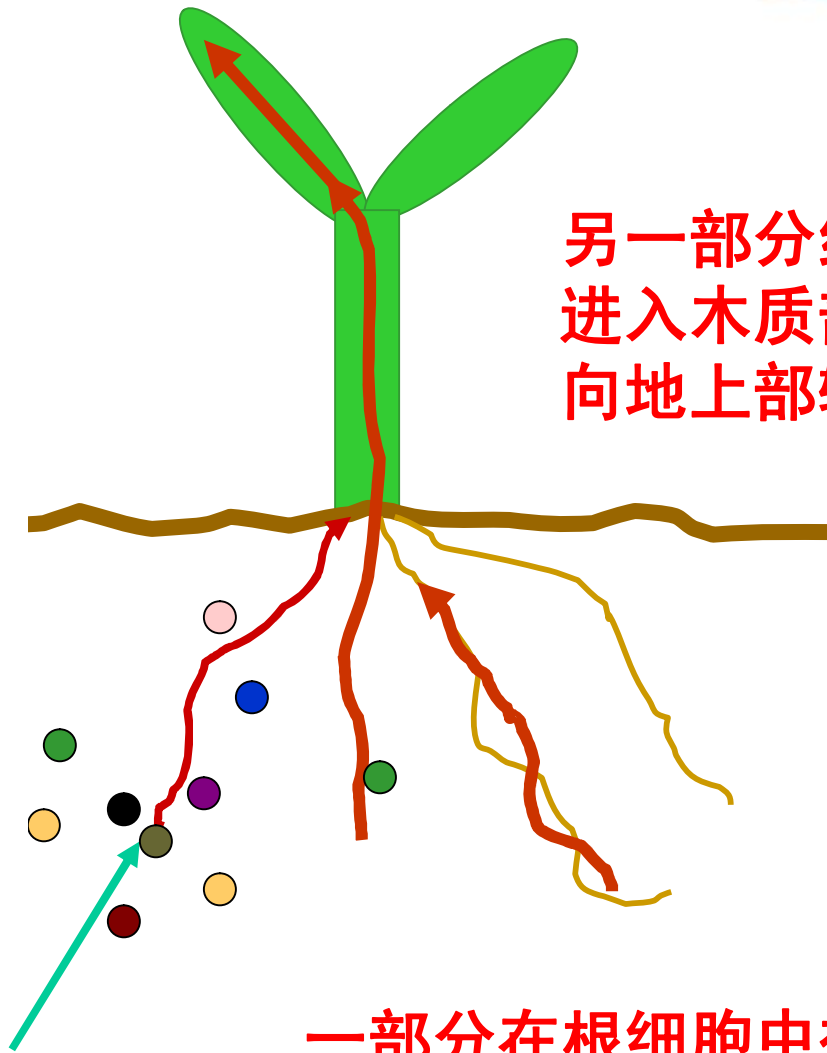
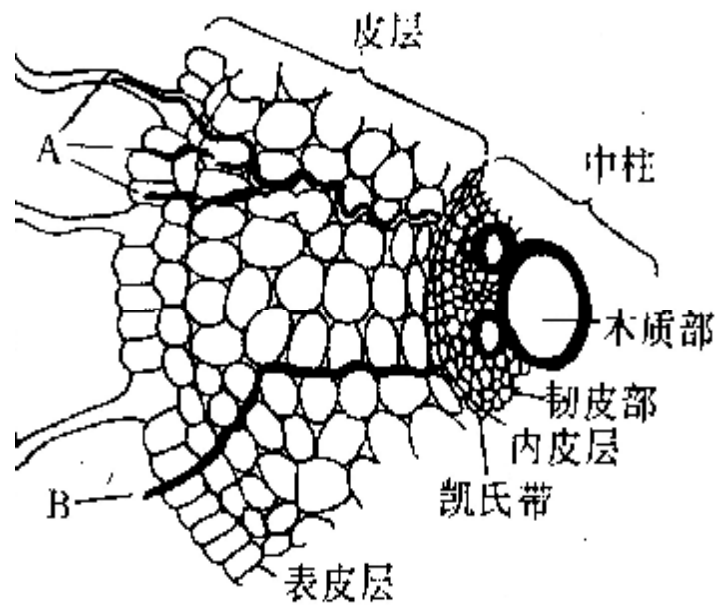


第三章



养分的运输和分配

概述



另一部分经皮层组织
进入木质部输导系统
向地上部输送

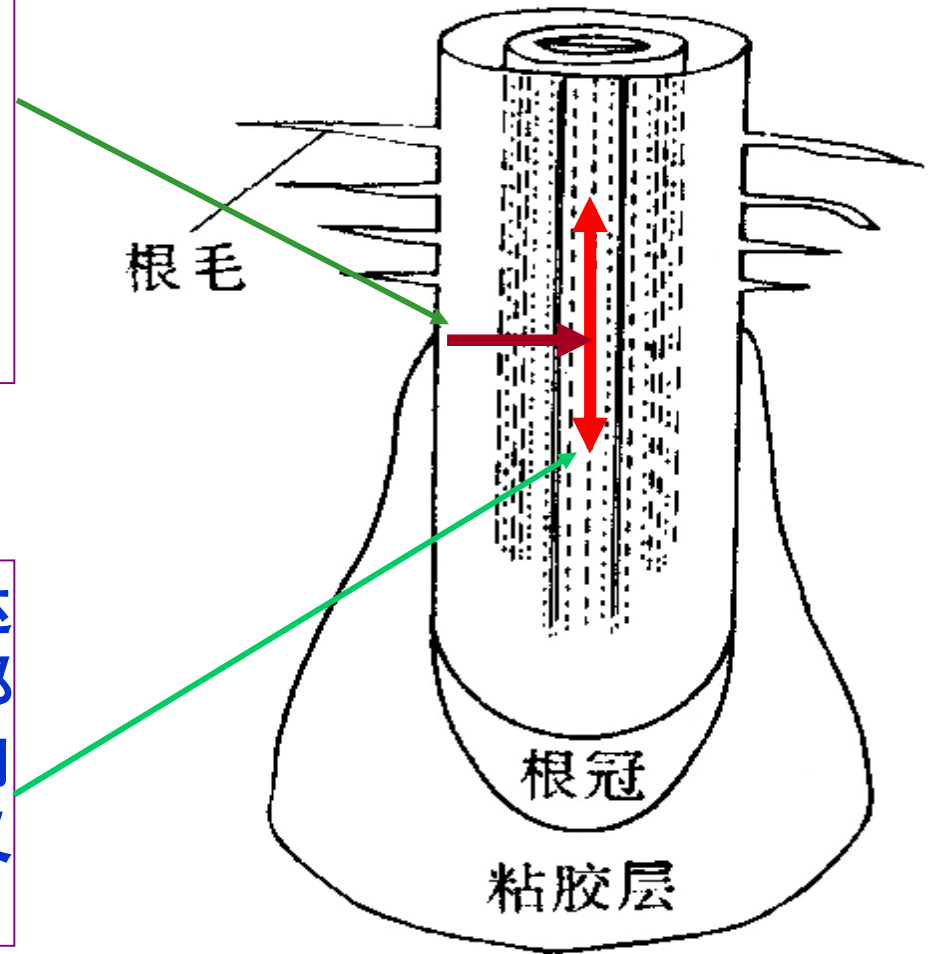
植物根系从介质中
吸收的矿质养分

一部分在根细胞中被同化利用

根系养分的运输

根外介质中的养分从根表皮细胞进入根内经皮层组织到达中柱的迁移过程叫养分的横向运输。由于养分迁移距离短，又称为短距离运输。

养分从根系经木质部或韧皮部到达地上部以及养分从地上部经韧皮部向根的运输过程，称为养分的纵向运输。由于养分迁移距离较长，又称为长距离运输。



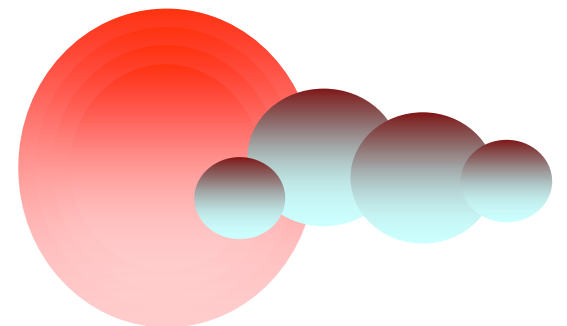
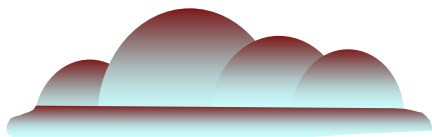
第三章 养分的运输与分配

- 第一节 养分的短距离运输
- 第二节 养分的长距离运输
- 第三节 植物体内养分的循环
- 第四节 养分的再利用



第一节 养分的短距离运输

- 运输途径
- 运输部位
- 养分进入木质部的机理



一、运输途径

质外体途径 共质体途径

质外体是指植物体内由细胞壁(微孔)、细胞间隙、细胞壁与细胞膜之间的孔隙所构成的空间或连续体。在质外体中水分和养分可以自由出入。

共质体是指通过胞间连丝把细胞与细胞之间的原生质连成的整体称为共质体。

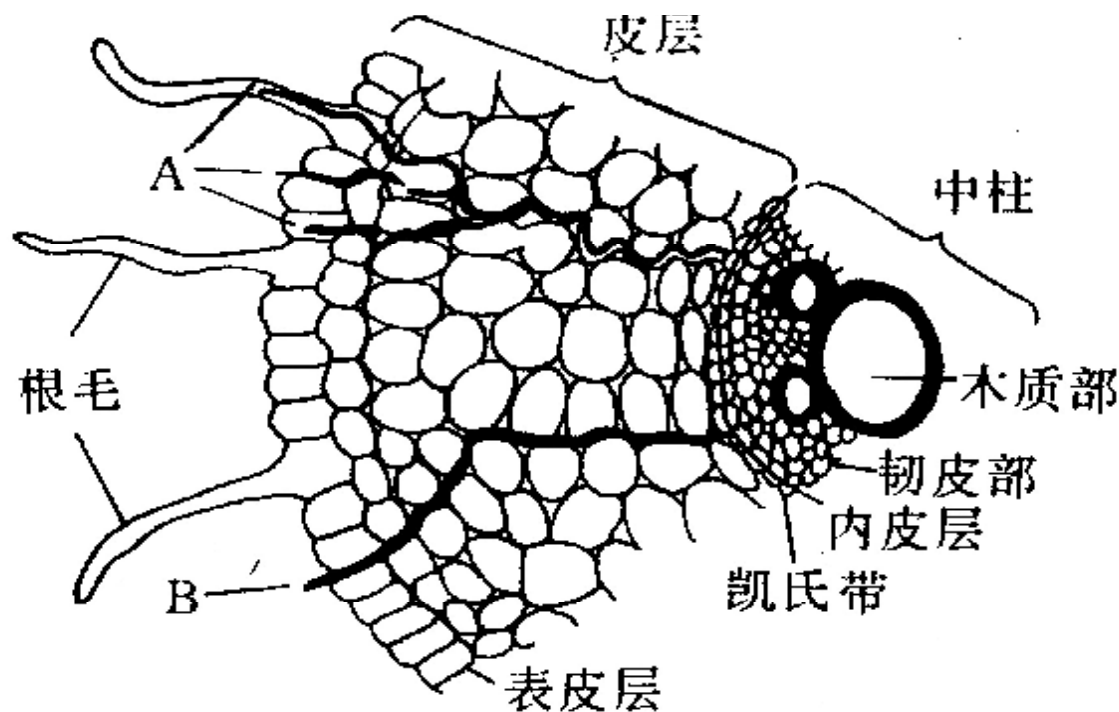


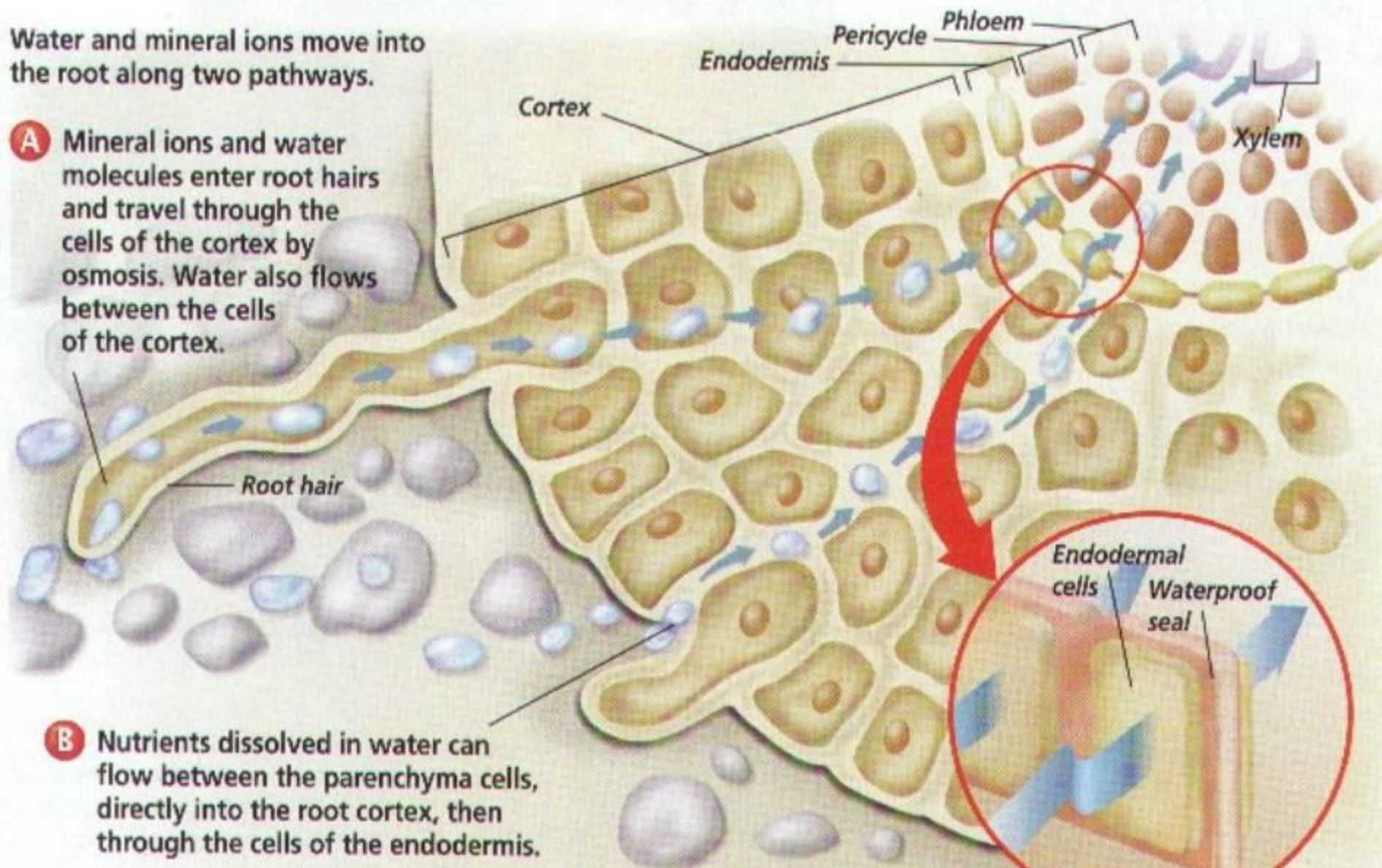
图 1—2 部分玉米根横切面示意图

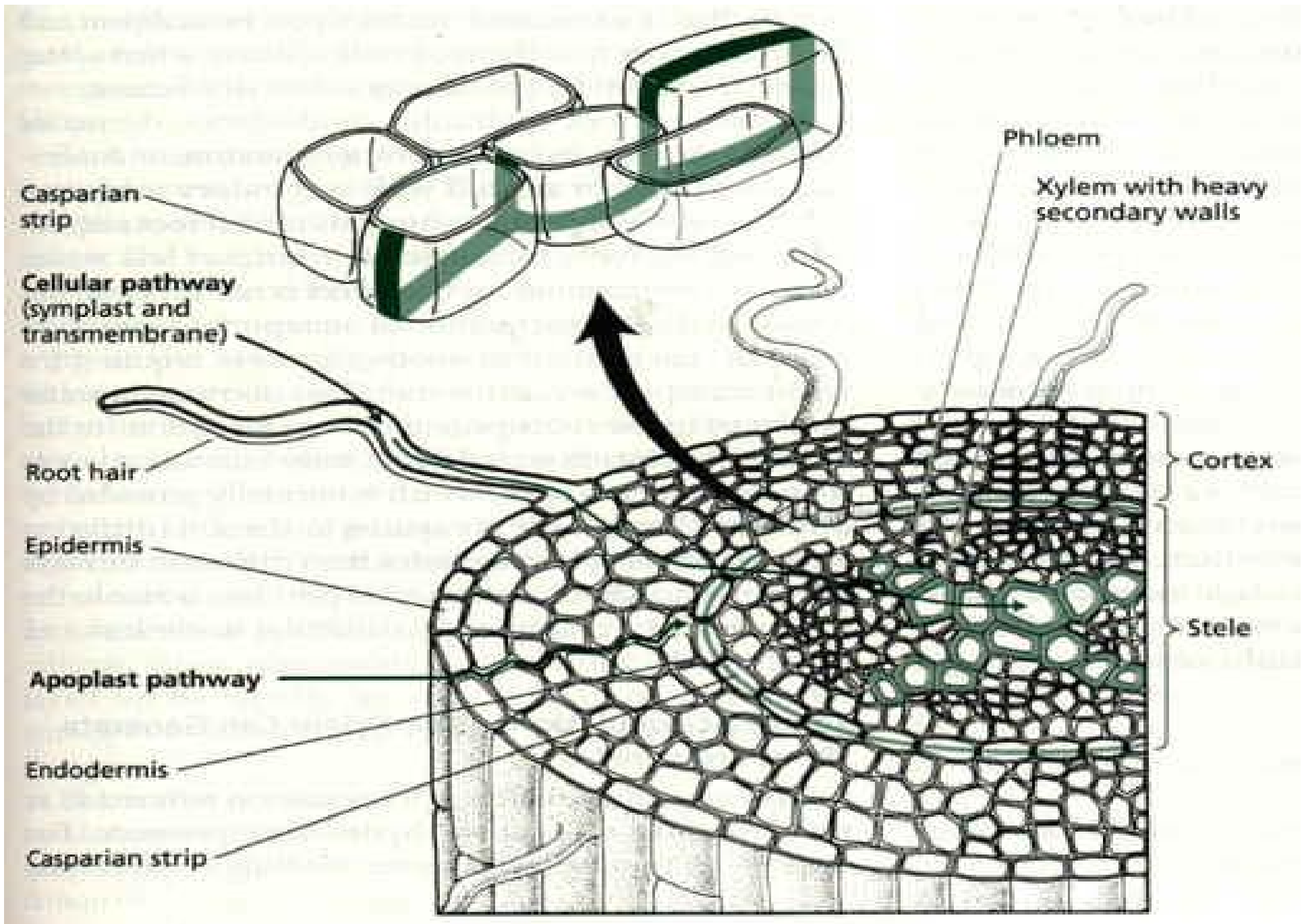
A. 共质体 B. 质外体

Water and mineral ions move into the root along two pathways.

A Mineral ions and water molecules enter root hairs and travel through the cells of the cortex by osmosis. Water also flows between the cells of the cortex.

B Nutrients dissolved in water can flow between the parenchyma cells, directly into the root cortex, then through the cells of the endodermis.







影响养分横向运输的因素

养分在横向运输过程中
是途经质外体还是共质体？

养分种类、
养分浓度、
胞间连丝的数量、
根毛密度、
菌根侵染

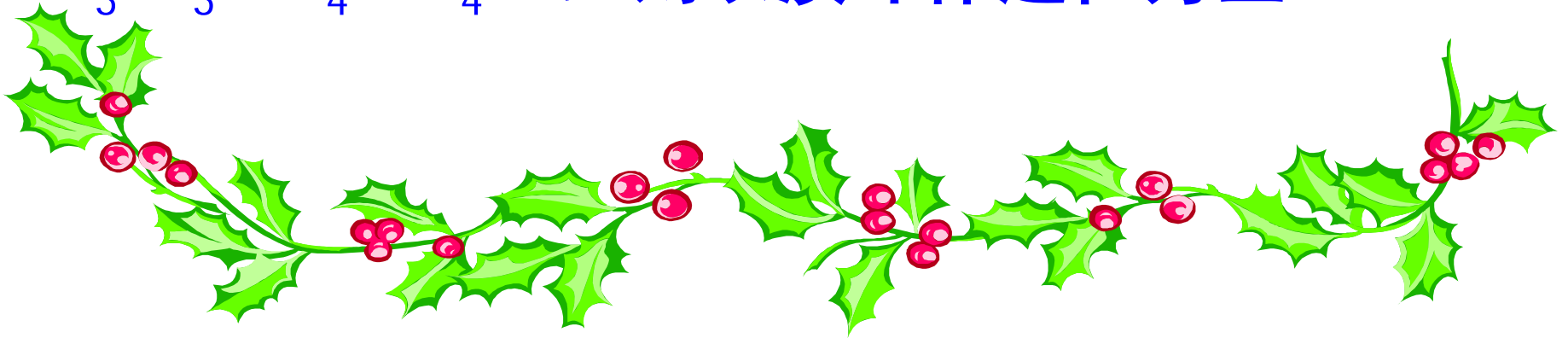




(一) 养分种类

以主动跨膜运输为主的养分（如 K^+ 、 $H_2PO_4^-$ ），
以共质体途径为主；

以被动跨膜运输为主的养分（如
 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）以及分子态被吸收的养分（如
 H_3BO_3 、 H_4SiO_4 ），则以质外体途径为主。



(二) 外界养分浓度

当介质中养分的浓度较低

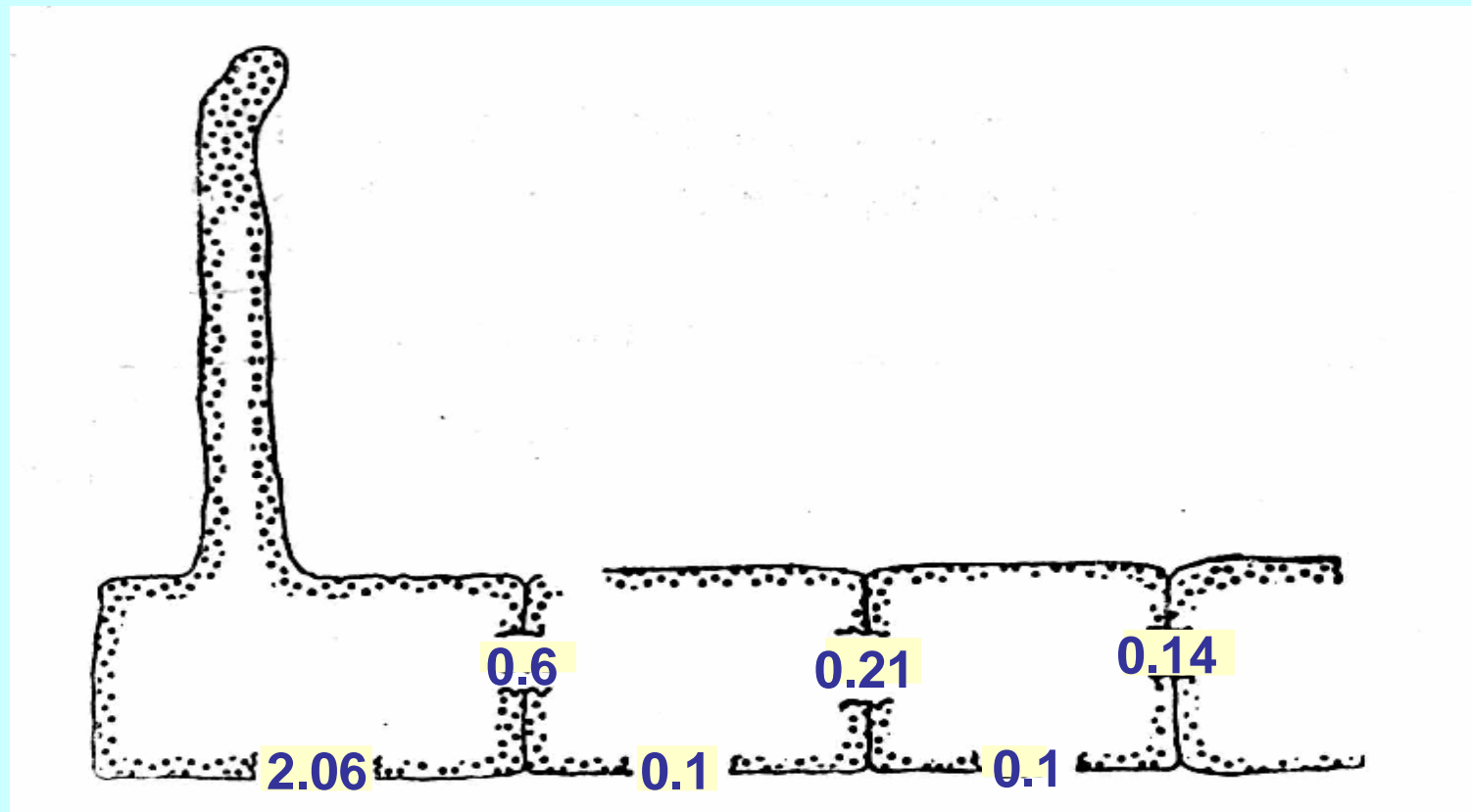
养分的供应速率 < 根表皮细胞的吸收速率，
养分主要直接被表皮细胞吸收，进入共质体途径（如磷和钾）

介质中养分浓度较高

养分供应速率大于根表皮细胞的吸收速率，
主要进入质外体途径（如钙和镁）

(三) 胞间连丝数量

胞间连丝是共质体系统连接相邻细胞的运输桥梁，其数量大小决定着共质体的运输潜力。



*Trianea bogotensis*根表皮细胞胞间连丝数目与根毛的关系
(单位: 个/ μm^2)

（四）根毛密度

根毛所吸收的养分可直接进入共质体途径。

（五）菌根侵染

V A 菌根根外菌丝从土壤中吸收的养分通过菌丝直接运输到皮层细胞内，而不需经过质外体空间。



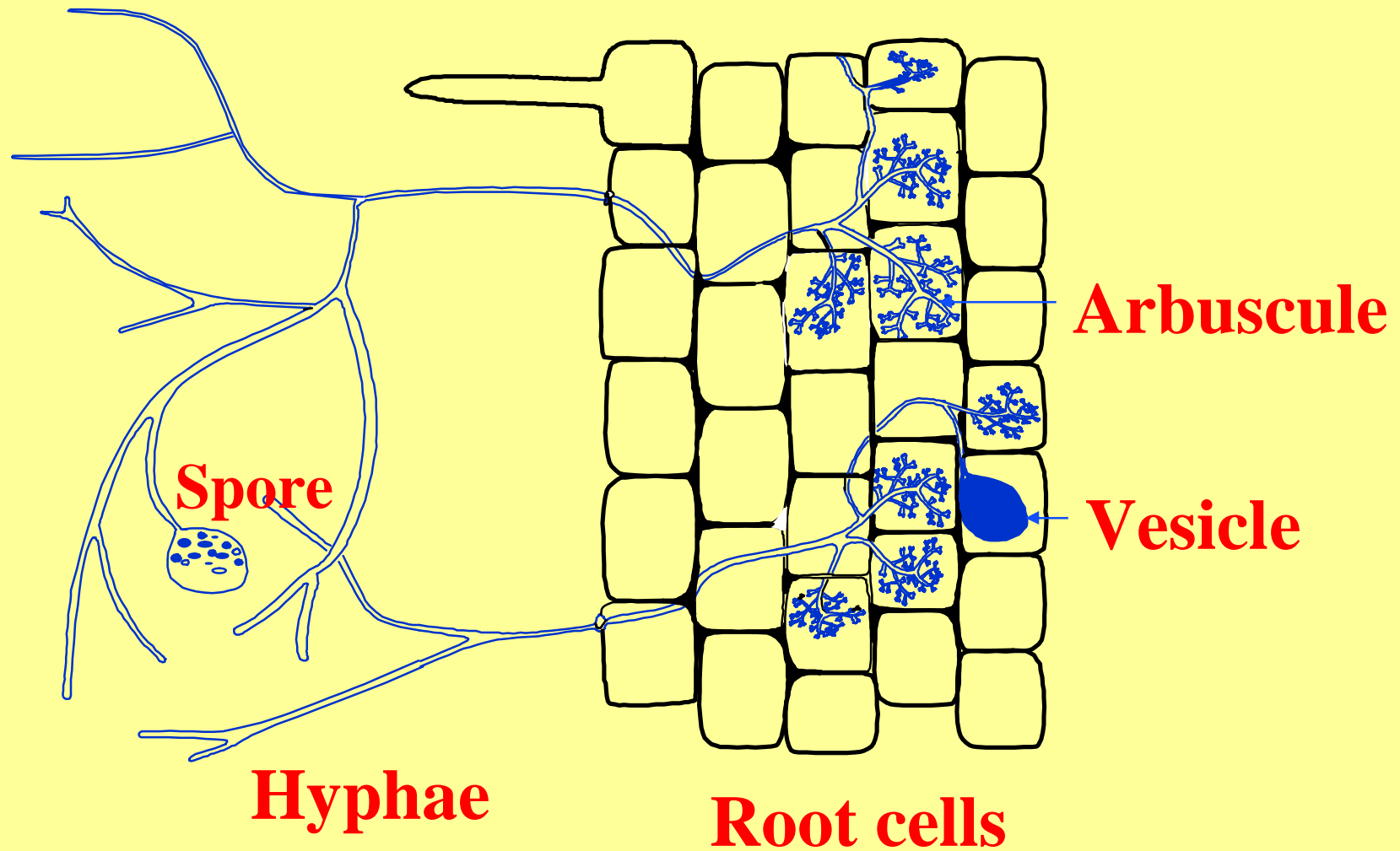


Diagram of arbuscular mycorrhiza
泡囊-丛枝菌根 (VA菌根)

二、运输部位

内皮层形成了凯氏带，
以共质体运输为主

输导系统初步形成，内皮
层尚未形成完整的凯氏
带，以质外体运输为主

根尖



生理活动旺盛，细胞
吸收养分的能力较强，
但输导系统尚未形成

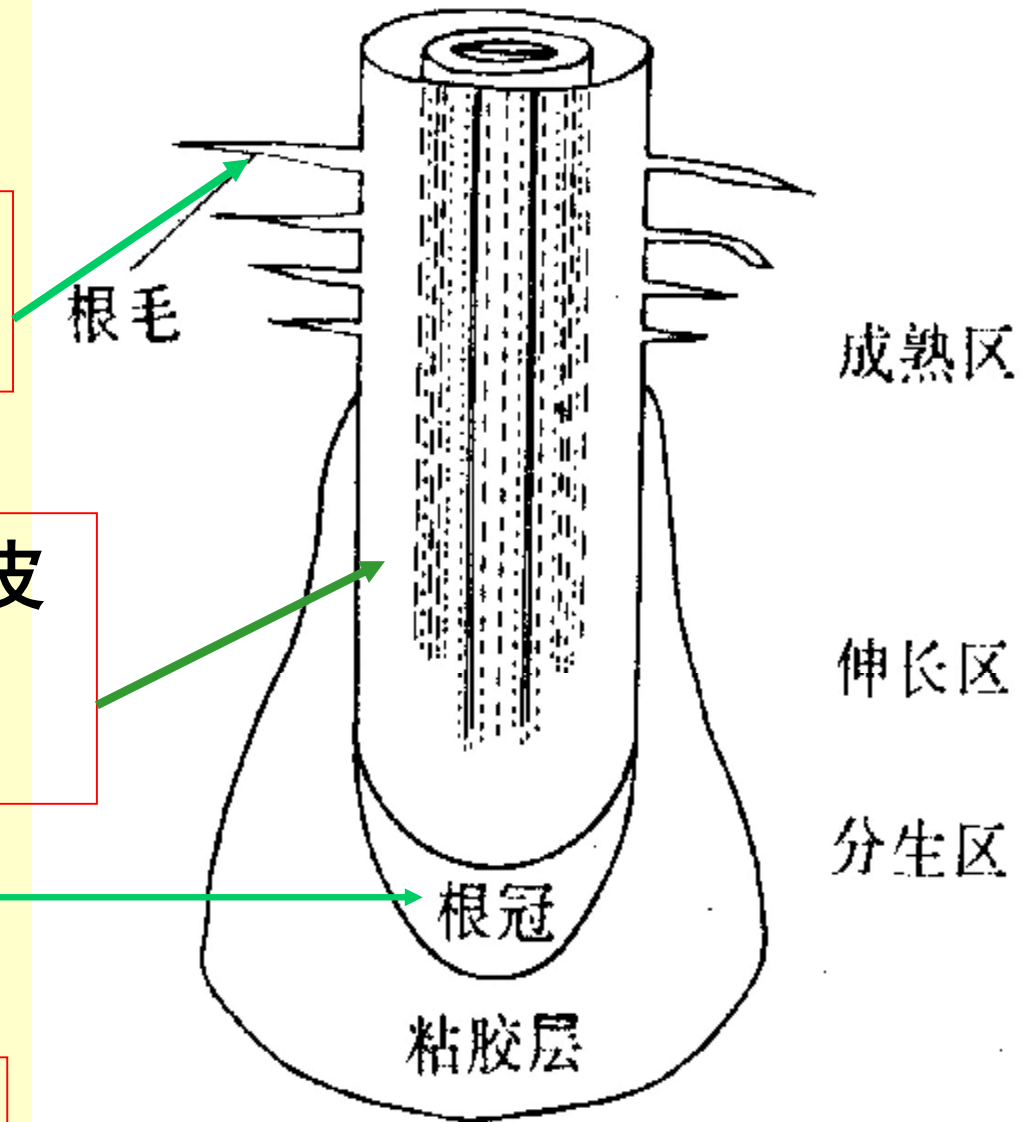
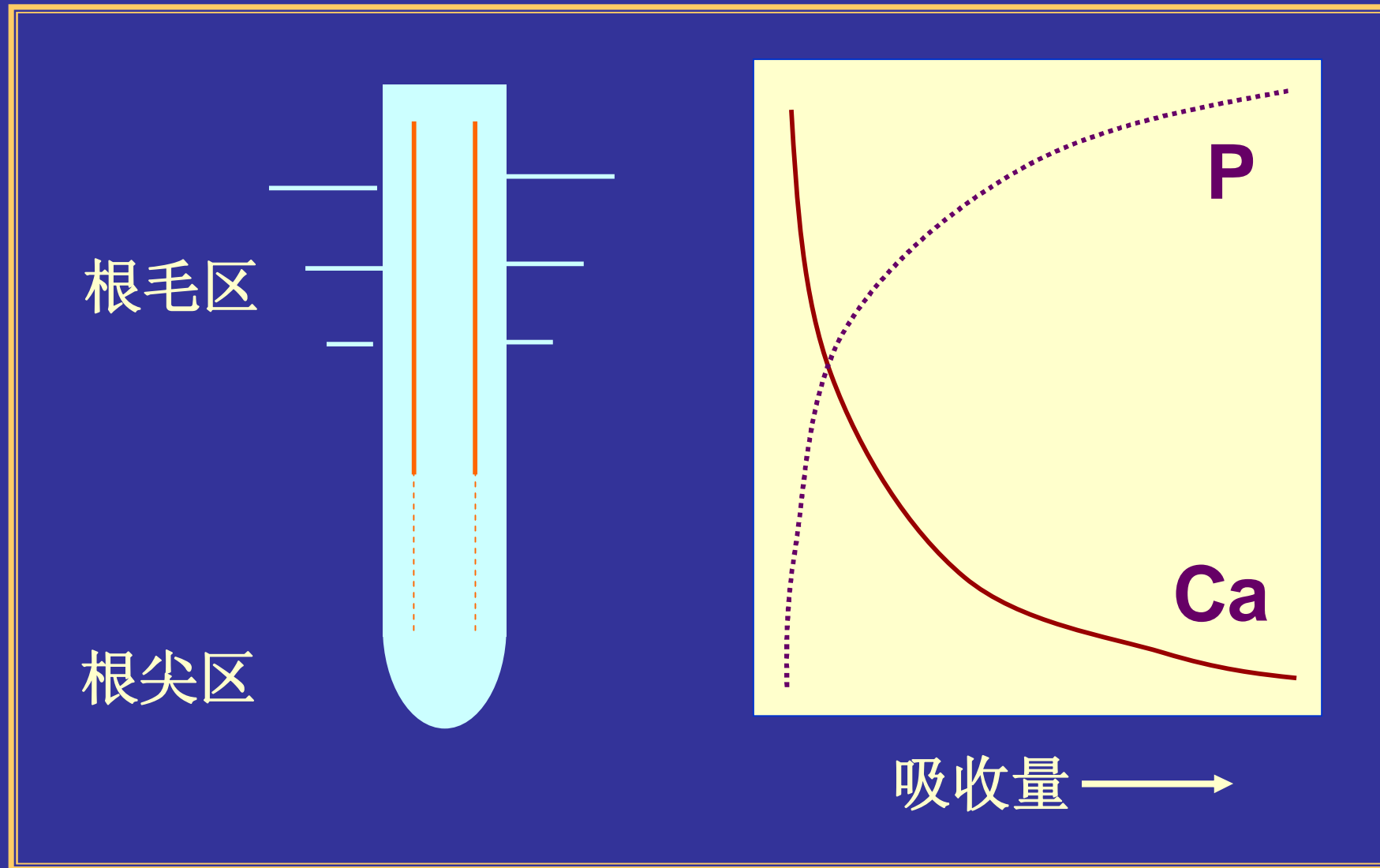


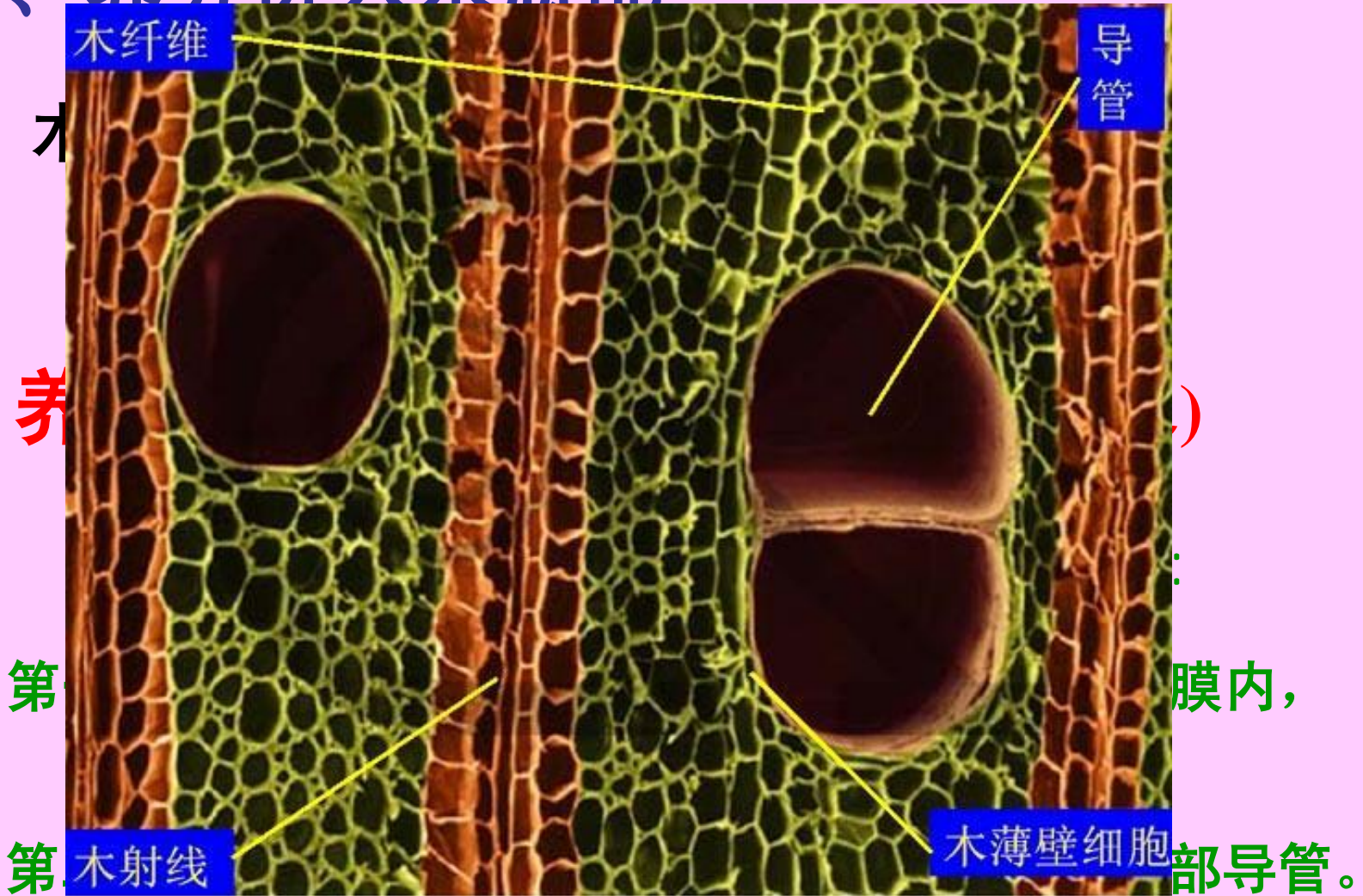
图 1—1 植物根系的纵切面图



不同根区P和Ca的吸收量示意图



三、养分进入木质部



离子进入木质部导管是主动过程。

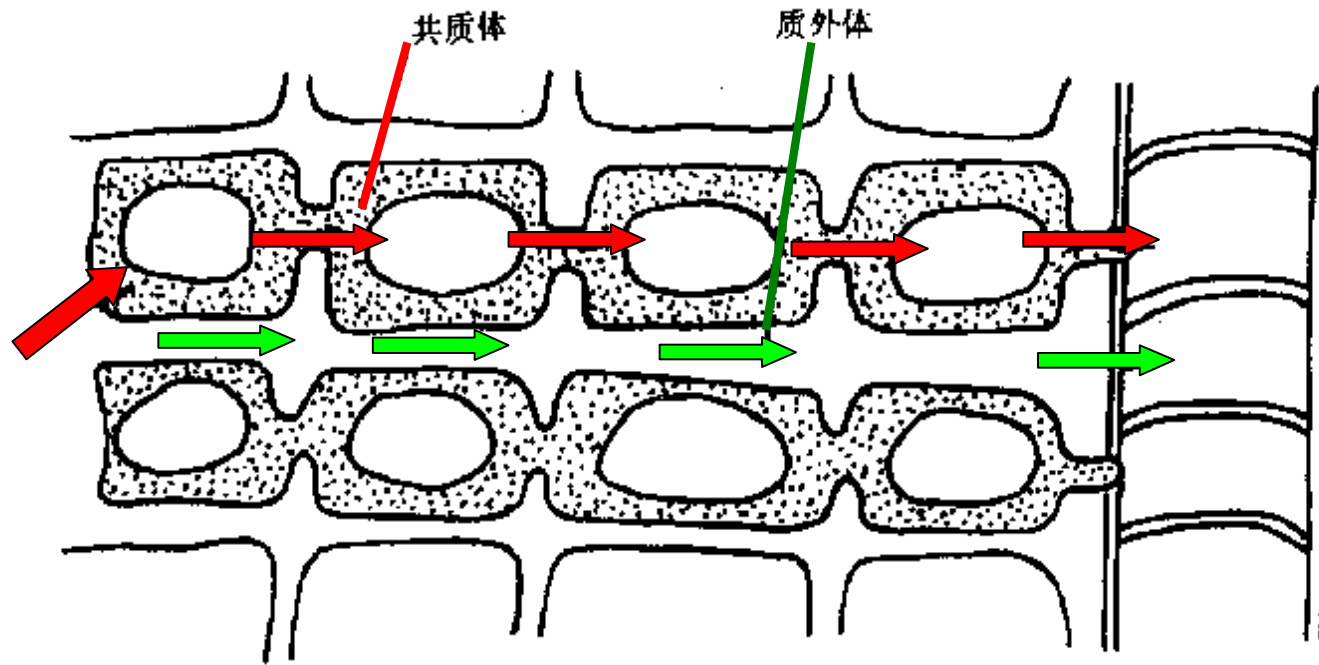


图 2-2 允许质外体和共质体运输的未木栓化的幼根

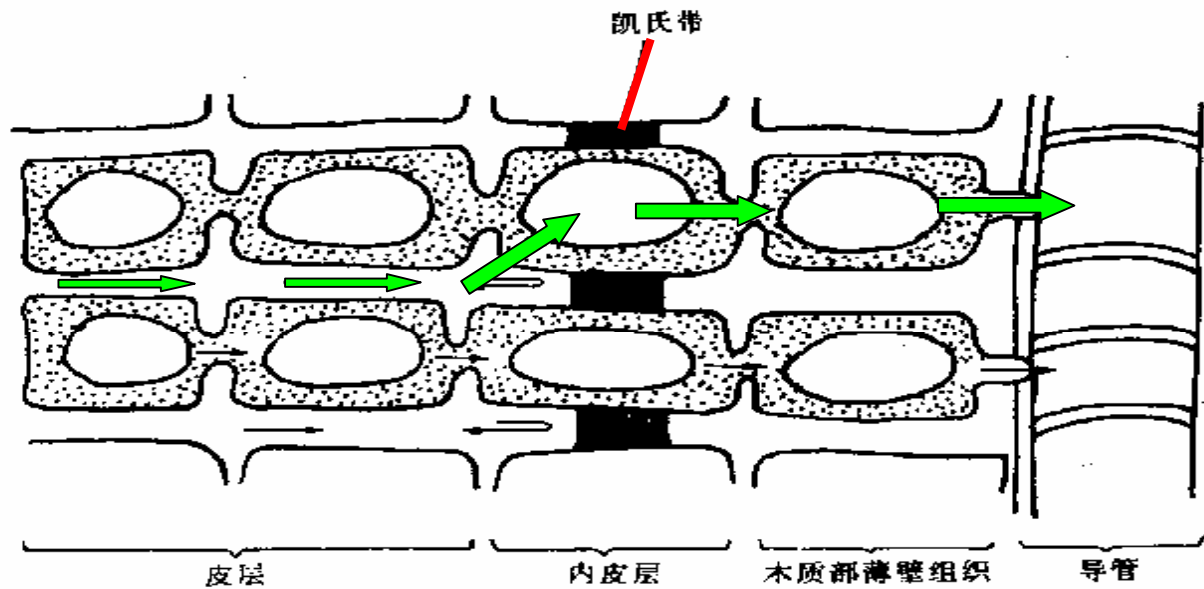
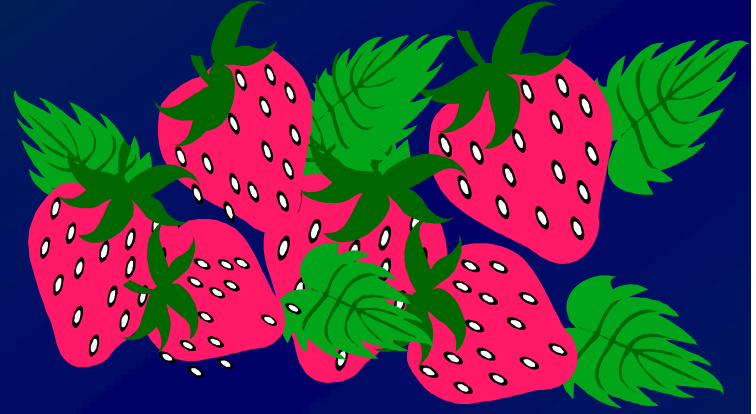


图 2-3 只允许共质体运输有凯氏带的木栓化根

几个概念——



根压: 当离子进入木质部导管后, 增加了导管汁液的浓度, 使水势下降, 引起导管周围的水分在水势差的作用下扩散进入导管, 从而产生一种使导管汁液向上移动的压力。

吐水: 由于根压的作用使水分和离子在导管中向地上部移动, 可在叶尖或叶缘泌出水珠。

伤流液: 若把幼苗茎基部切断, 可以收集到木质部汁液, 即伤流液。





第二节

养分的长距离运输

木质部运输

韧皮部运输

一、木质部运输

(一) 动力与方向

(二) 运输机理

(三) 蒸腾与木质部运输



（一）动力和方向

木质部中养分移动的驱动力是根压和蒸腾作用。

一般在蒸腾作用强的条件下，蒸腾起主导作用，在蒸腾作用微弱或停止的条件下，根压则上升为主导作用。

由于根压和蒸腾作用只能使木质部汁液向上运动，木质部中养分的移动是单向的。

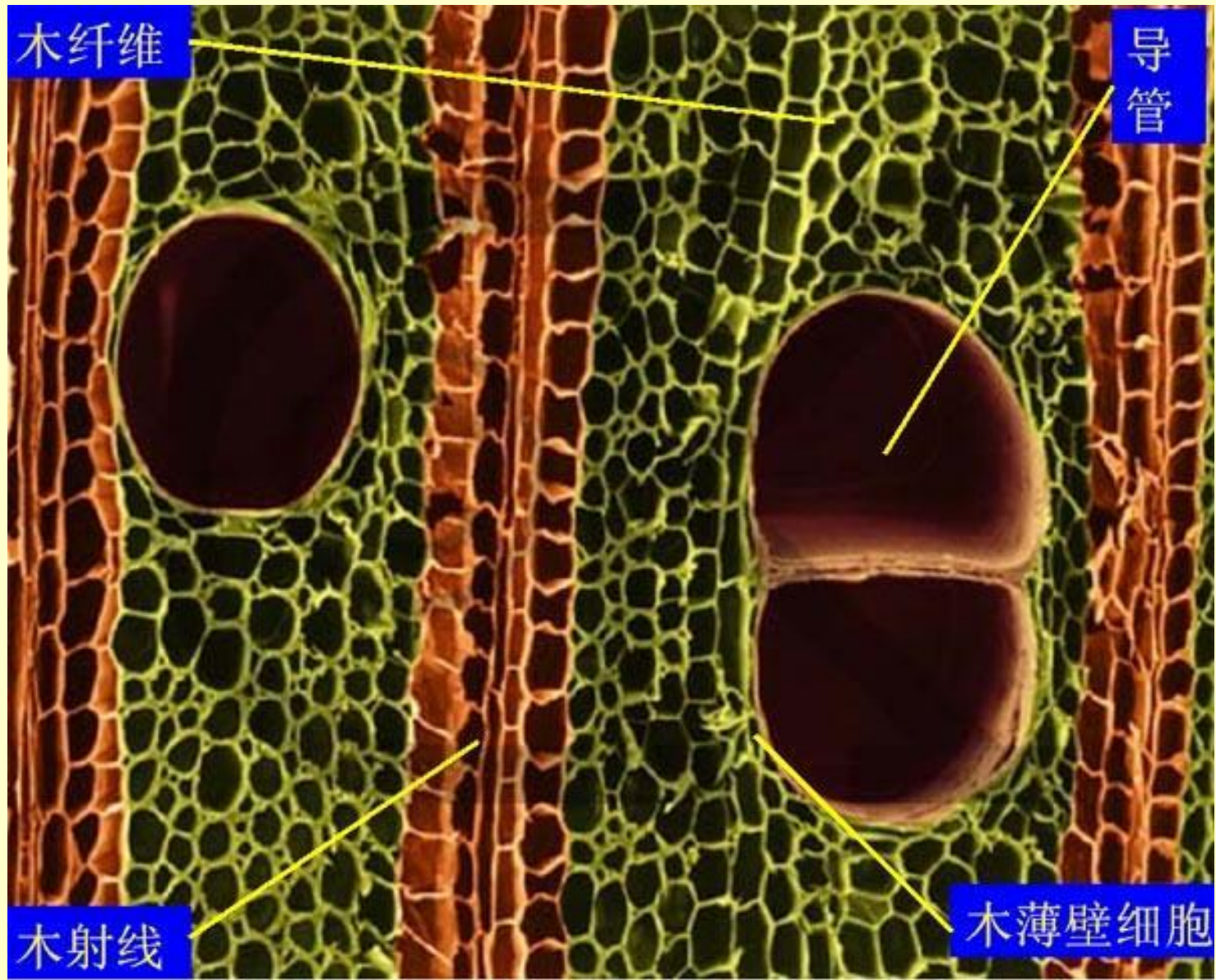


(二) 运输机理

木质部中养分的移动是在死细胞组成的导管中进行，移动的方式以质流为主的质外体运输。

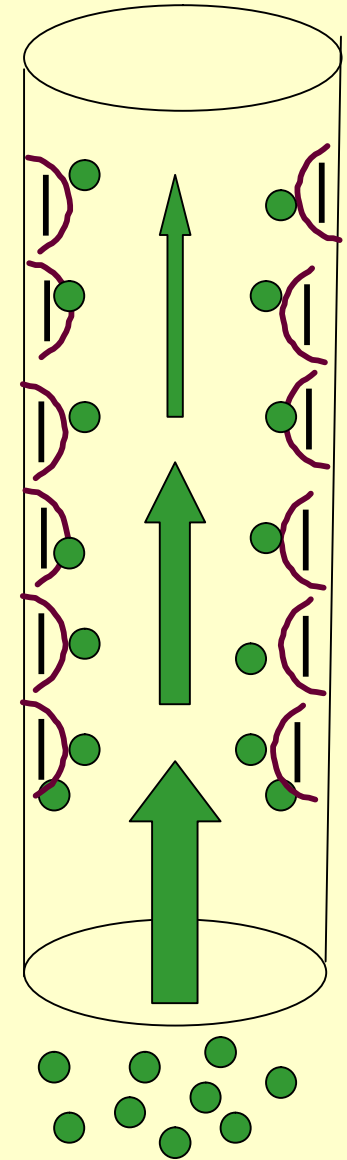
但木质部汁液在运输的过程中，还与导管壁以及导管周围薄壁细胞之间存在重要的相互作用

交换吸附、再吸收和释放



1. 交换吸附

木质部导管壁上有很多带负电荷的阴离子，它们与导管汁液中的阳离子结合，将其**吸附**在管壁上，所吸附的离子又可被其它阳离子**交换**下来，继续随汁液向上移动，这种吸附称为交换吸附。



交换吸附能导致离子运输速率降低。

交换吸附作用的强弱取决于：

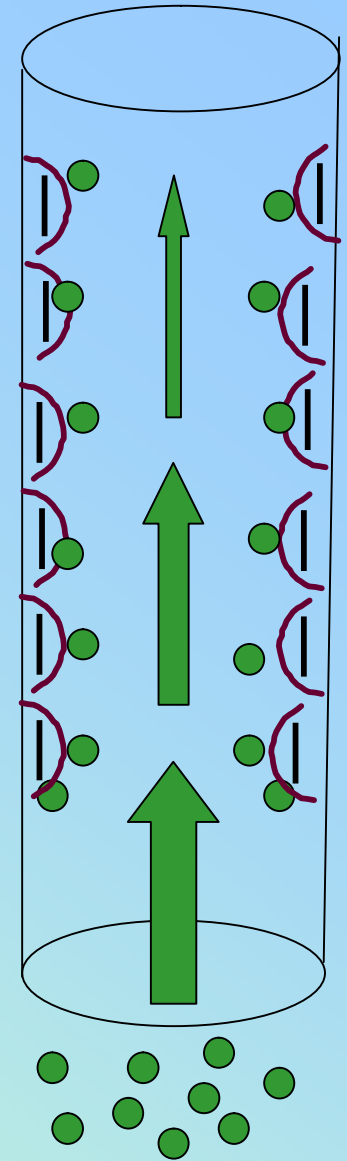
(1) 离子种类

阳离子中价数越高，静电引力越大，吸附就越牢固。导管壁对 Ca^{2+} 吸附力就大于 K^{+}

(2) 离子浓度

(3) 离子活度

导管中有机化合物的存在有利于阳离子向上运输。



竞争阳离子与根分泌物对离体菜豆茎中长距离运输的影响*

植物测定部位	处 理		
	$^{45}\text{CaCl}_2$	$^{45}\text{CaCl}_2 + \text{Ca}^{2+}$, Mg^{2+} , K^+ 和 Na^+	$^{45}\text{CaCl}_2 +$ 根 分泌物
初生叶	0.04	4.7	1.8
茎 12~18cm	7	19	11
8~12cm	28	56	40
4~8cm	84	57	61
0~4cm	159	81	81

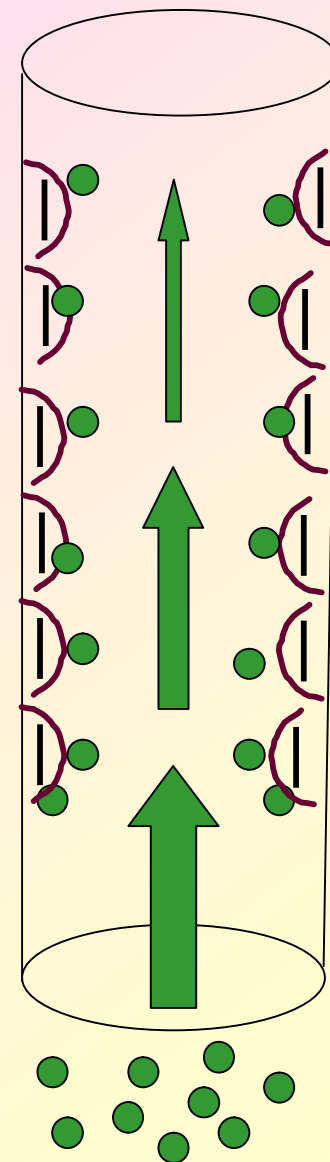
* ^{45}Ca 转移数量以 $\mu\text{mol/g}$ 干重表示。

(4) 竞争离子

竞争性离子的浓度越高，则离子的吸附阻力就越小，向地上运输的数量就越多。 (K^+, Na^+)

(5) 导管壁电荷密度

双子叶植物细胞壁中所含负电荷比单子叶植物多。基于电荷密度的不同，使离子在双子叶植物木质部中离子的交换吸附量大于单子叶植物而较难向上运输。



2、再吸收

溶质在木质部导管运输的过程中，部分离子可被导管周围薄壁细胞吸收，从而减少了溶质到达茎叶的数量，这种现象称为再吸收。

再吸收使得木质部汁液中的离子浓度从下向上的运输路途上呈递减趋势。

供钠后不同牧草中Na⁺的含量

植物种类	含Na ⁺ 量（%，干重）	
	根	地上部
黑麦草	0.05	1.16
梯牧草	0.28	0.38
三叶草属	0.77	1.99
杂交三叶草	0.77	0.22

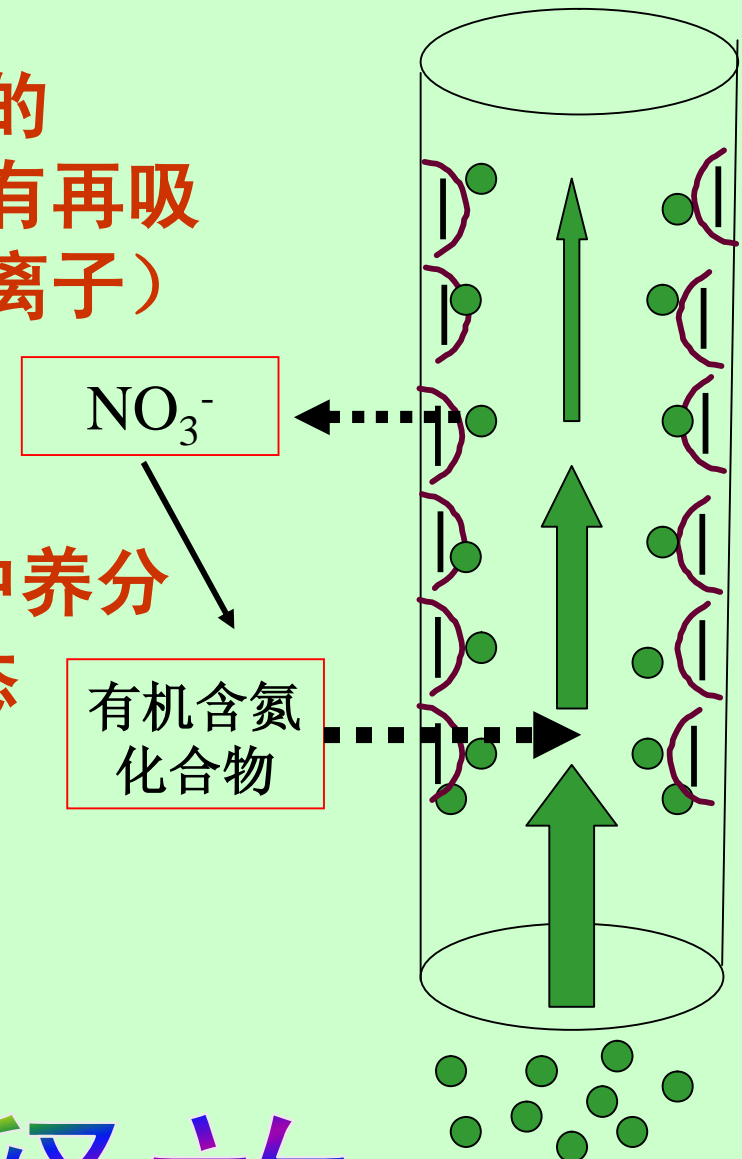
番茄和菜豆植株中钼的含量

植物部位	含 Mo 量 (mg/Kg 干重)	
	番茄	菜豆
叶片	325	85
茎	123	210
根	470	1030



木质部运输过程中导管周围的薄壁细胞不仅对养分离子具有再吸收作用，而且还能将养分（离子）再释放到导管中。

这种释放作用不仅调节导管中养分的浓度，而且还能改变其形态（如氮素）。



3. 释放



（三）蒸腾与木质部运输

木质部汁液的移动是根压和蒸腾作用驱动的共同结果，但两种力量的强度并不相同。

从力量上，蒸腾拉力远大于根压压力。
从作用的时间上，蒸腾作用在一天内有阶段性，而根压具有连续性。

蒸腾对木质部养分运输作用的大小取决于植物生育阶段、昼夜时间、离子种类和离子浓度。

1. 植物生育阶段

在幼苗期，叶面积小，根压为主

在植物生长旺盛期，蒸腾强度大，木质部养分的运输主要靠蒸腾拉力。

2. 昼夜时间

白天木质部运输主要靠蒸腾作用，驱动力较强，且运输量大。夜间主要靠根压，其动力弱，养分运输量小。

3、元素种类

一般以质外体运输的养分受蒸腾作用影响较大，而以共质体运输为主的养分则受影响较小。

高蒸腾强度对 K^+ 的木质部运输速率影响不大但能大幅度提高 Na^+ 的运输速率。

植物体内以分子态运输的养分，其木质部运输也受蒸腾作用的强烈影响，最为典型的是硅和硼。钙的木质部运输与蒸腾作用也有密切关系。

蒸腾强度对甜菜木质部运输K⁺和Na⁺的影响 ($\mu\text{mol}/\text{株}\cdot 2\text{h}$)

介质浓度 (mmol/L)	K ⁺		Na ⁺	
	低蒸腾	高蒸腾	低蒸腾	高蒸腾
1K ⁺ +1Na ⁺	2.9	3.0	2.0	3.9
10K ⁺ +10Na	6.5	7.0	3.4	8.1

燕麦植株蒸腾（耗水）与硅吸收的计算值和实测值间的关系

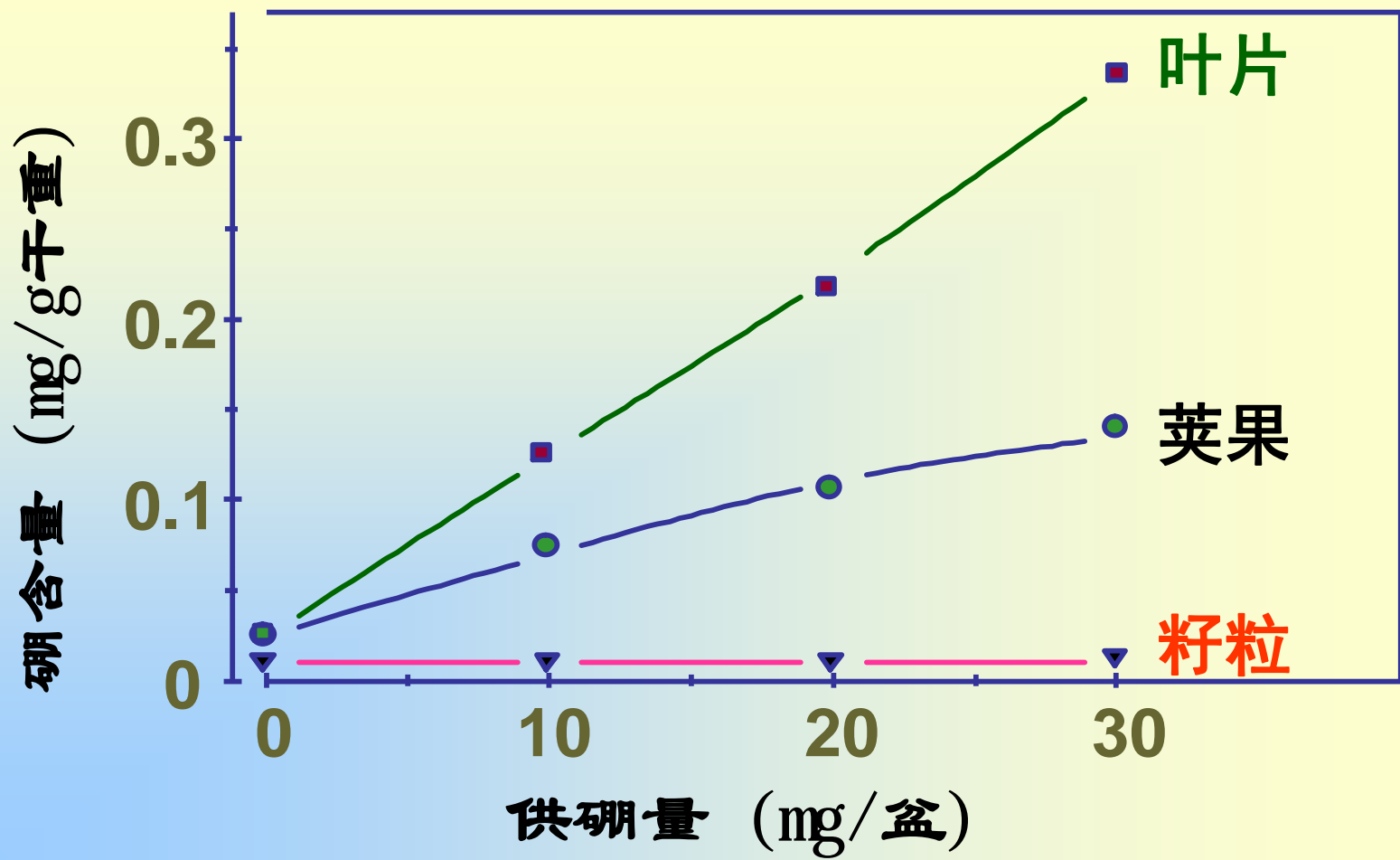
收获前的天数	蒸腾作用 (ml 株)	硅吸收实测值 (mg/株)	硅吸收的计算值 (mg/株)
44	67	3.4	3.6
58	175	9.4	9.4
82	910	50.0	49.1
100	2785	156.0	150.0

4. 离子浓度

5. 植物器官

植物各器官的蒸腾强度不同，在木质部运输的养分数目上也有差异。养分的积累量取决于蒸腾速率和蒸腾持续的时间。蒸腾强度越大和生长时间越长的植物器官，经木质部运入的养分就越多。





土壤施硼对油菜地上部各器官中硼分配的影响



红辣椒结果期地上部蒸腾率对其果实中矿质元素含量的影响

相对蒸腾率	矿质元素含量 (mg/g干重)			果实干重 (g/个)
	钾	镁	钙	
100	91.0	3.0	2.75	0.62
35	88.0	2.4	1.45	0.69

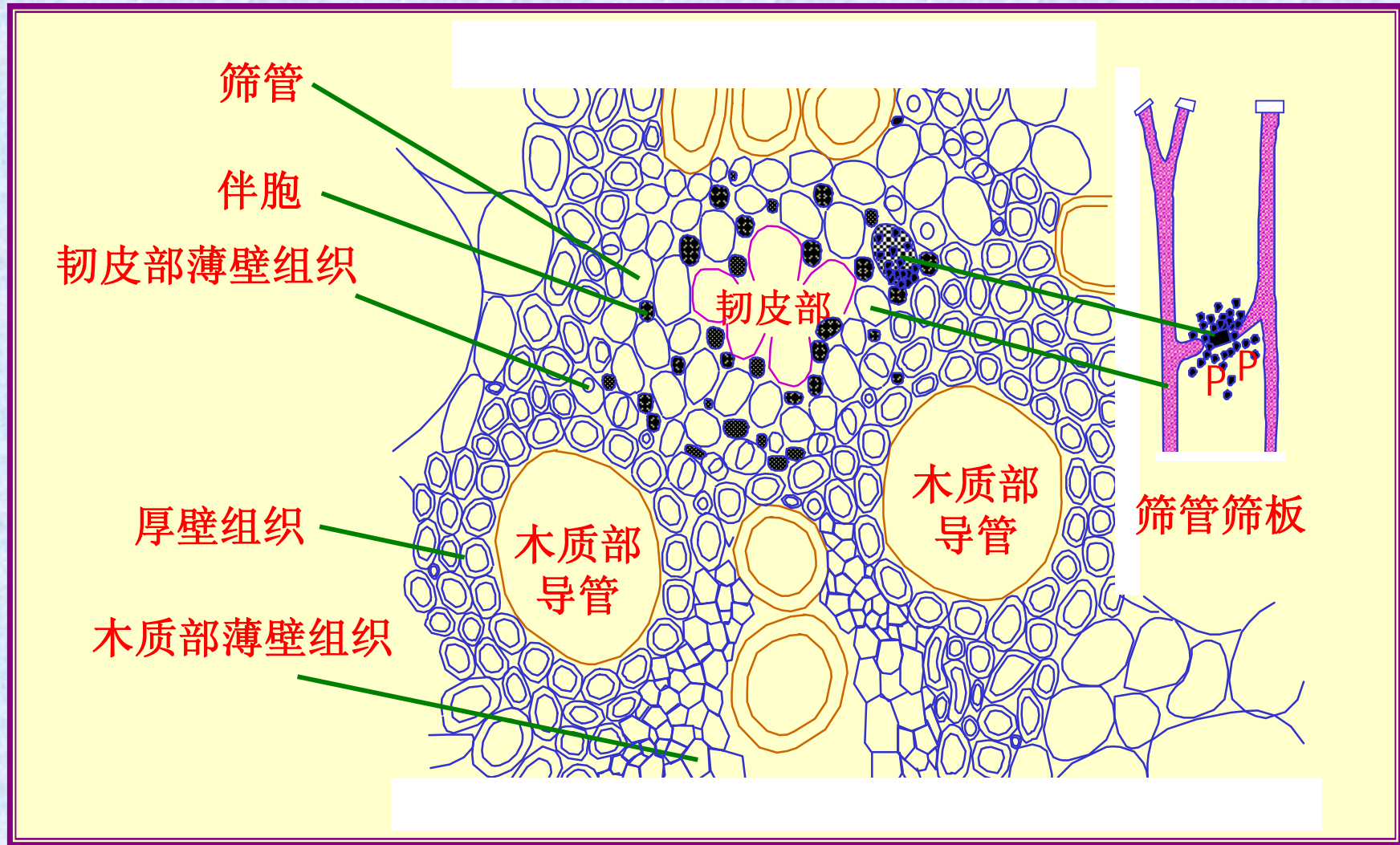




二、韧皮部运输

- (一) 韧皮部组成与结构
- (二) 韧皮部汁液组成
- (三) 韧皮部中养分移动性
- (四) 木质部和韧皮部之间的养分转移

(一) 韧皮部的结构



玉米茎维管束的横切面

（二）韧皮部汁液的组成

- n 韧皮部汁液的pH值高于木质部，前者偏碱性而后者偏酸性。韧皮部偏碱性可能是因其含有 HCO_3^- 和大量 K^+ 等阳离子所引起的；
- n 韧皮部汁液中干物质和有机化合物远高于木质部。韧皮部汁液中的C/N比值比木质部汁液宽；
- n 某些矿质元素，如钙和硼在韧皮部汁液中的含量远小于木质部，其它矿质元素的浓度高于木质部；无机态阳离子总量大大超过无机阴离子总量，过剩正电荷由有机阴离子，主要是氨基酸进行平衡。

韧皮部汁液的组成与木质部比较有显著差异:

	木质部	韧皮部
pH值	5.6-6.9	7.8-8.0
干物质 有机化合物	低	高
C/N	窄	宽
矿质元素 (钙和硼)	低	高
矿质元素形态	无机	有机

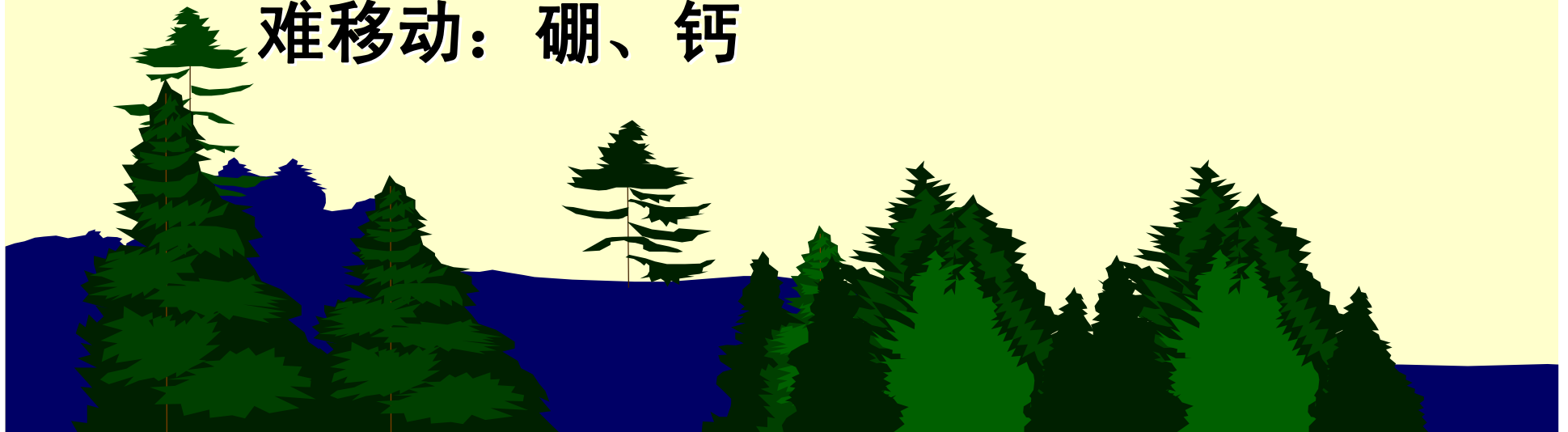
(三) 韧皮部中养分的移动性

不同营养元素在韧皮部中的移动性不同。

移动性大：氮、磷、钾、镁、**氯、钼**

移动性小：铁、锰、铜、锌、**硫、镍**

难移动：硼、钙



钙在韧皮部中难以移动：一方面是由于钙向韧皮部筛管装载时受到限制，使钙难以进入韧皮部中；另一方面，即使有少量钙进入了韧皮部，也很快被韧皮部汁液中高浓度的磷酸盐所沉淀而不能移动。

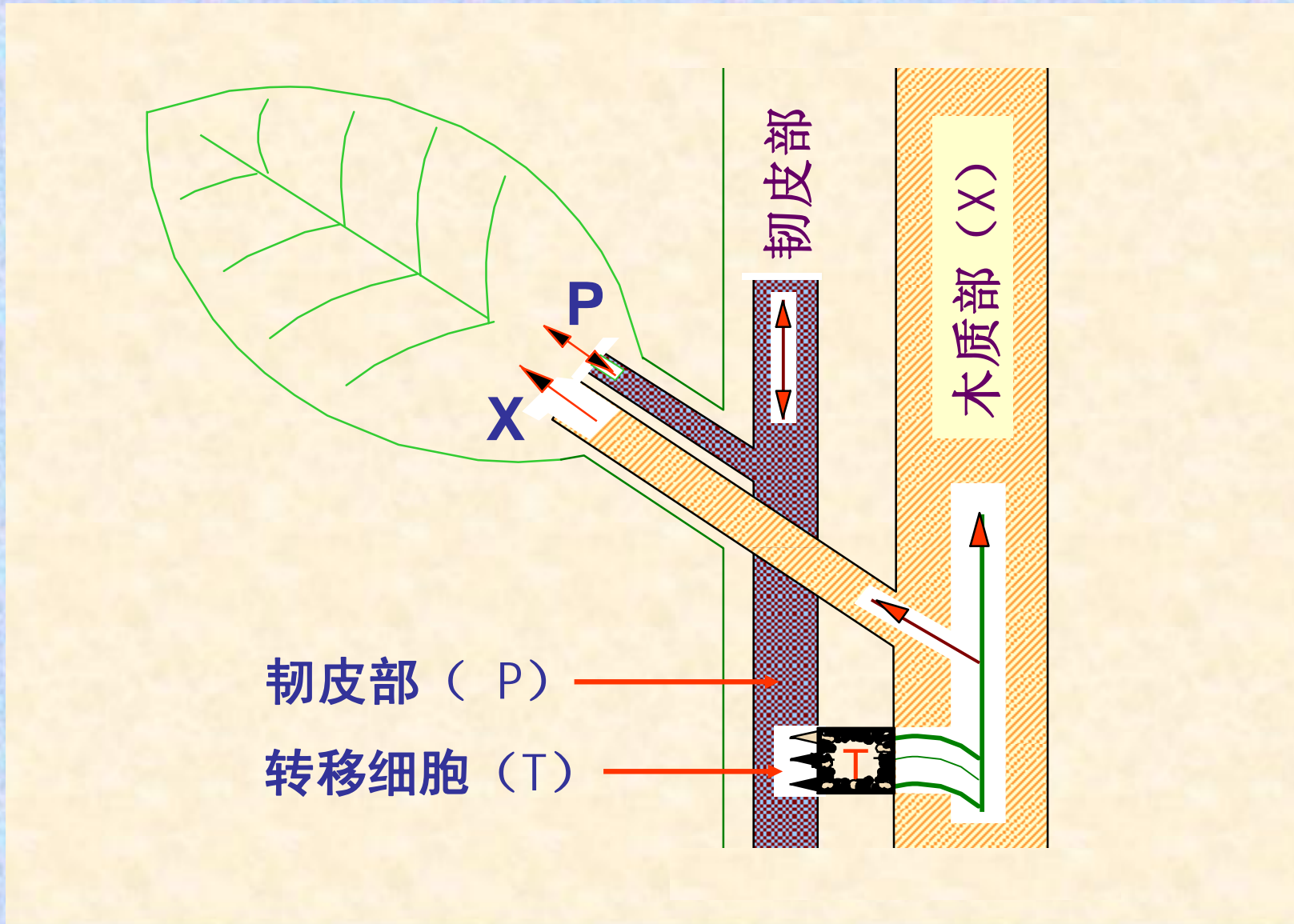
硼是另一个在韧皮部难以移动的营养元素。

（四）木质部与韧皮部之间养分的转移

养分从韧皮部向木质部的转移为顺浓度梯度，可以通过筛管原生质膜的渗漏作用来实现。

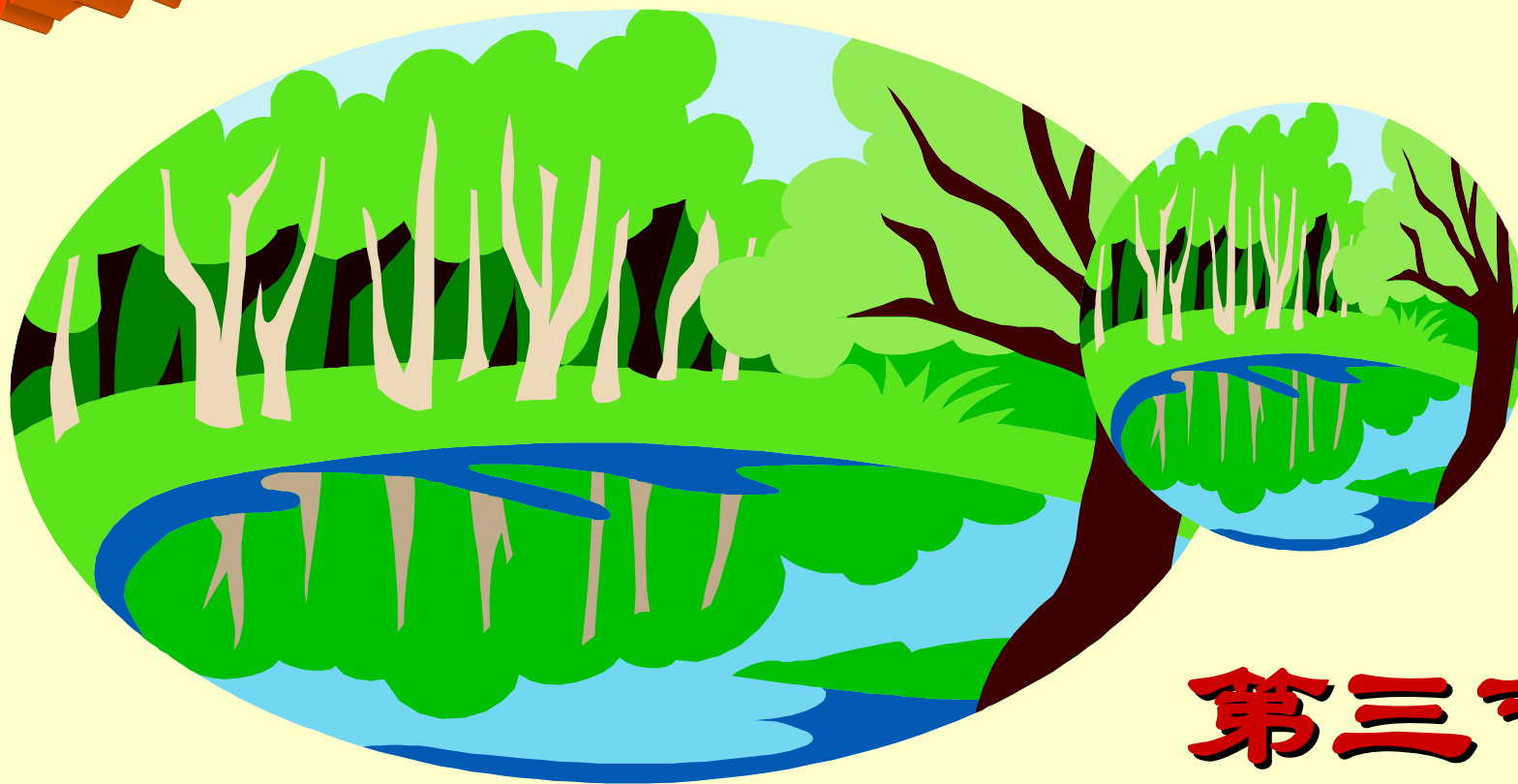
养分从木质部向韧皮部的转移是逆浓度梯度、需要能量的主动运输过程。

这种转移主要需经转移细胞进行。



木质部与韧皮部之间养分转移示意图

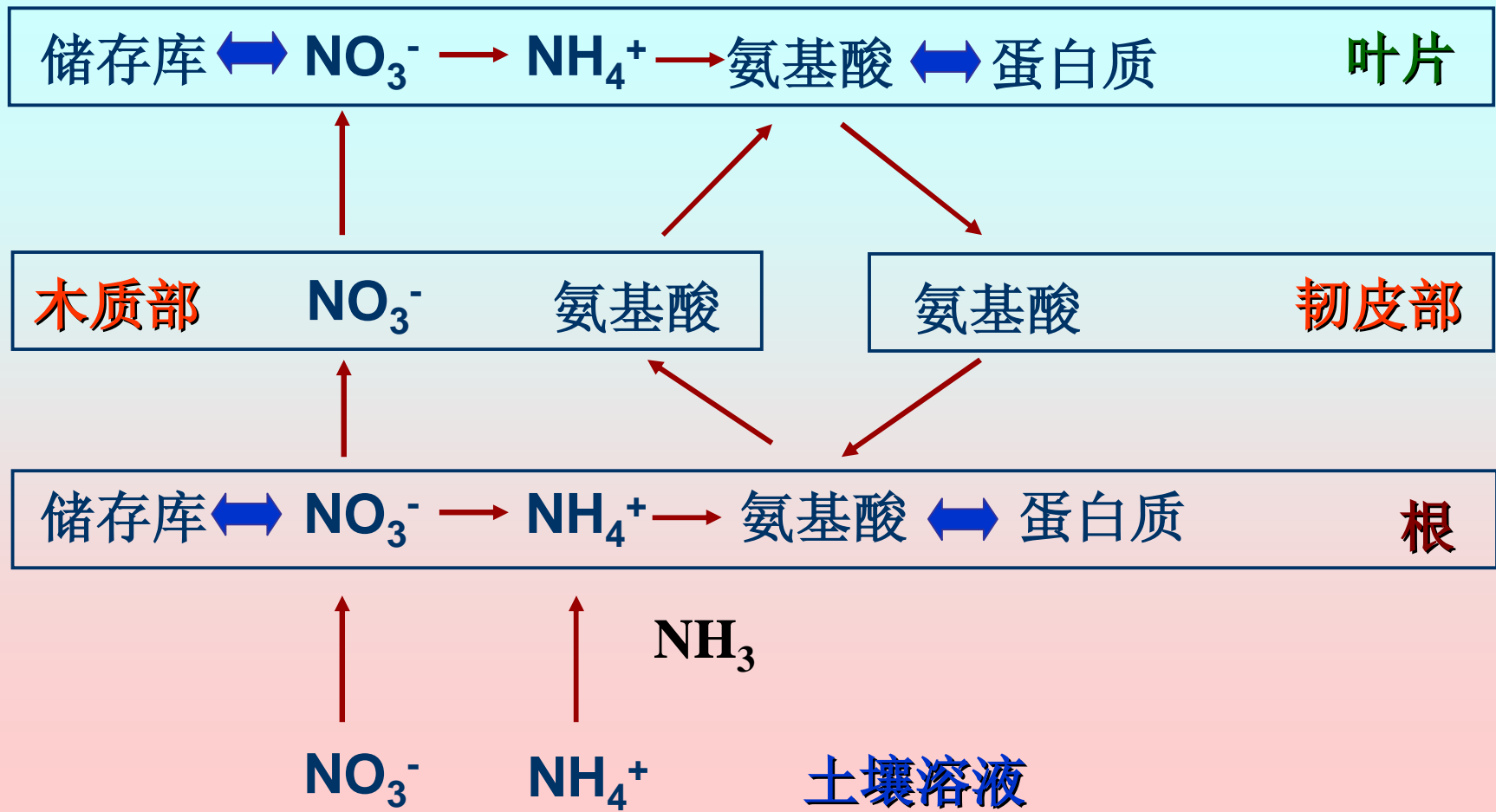
植物体内养分的循环



第三节

在韧皮部中移动性较强的矿质养分，从根的木质部中运输到地上部后，又有一部分通过韧皮部再运回到根中，而后再转入木质部继续向上运输，从而形成养分自根至地上部之间的循环流动。

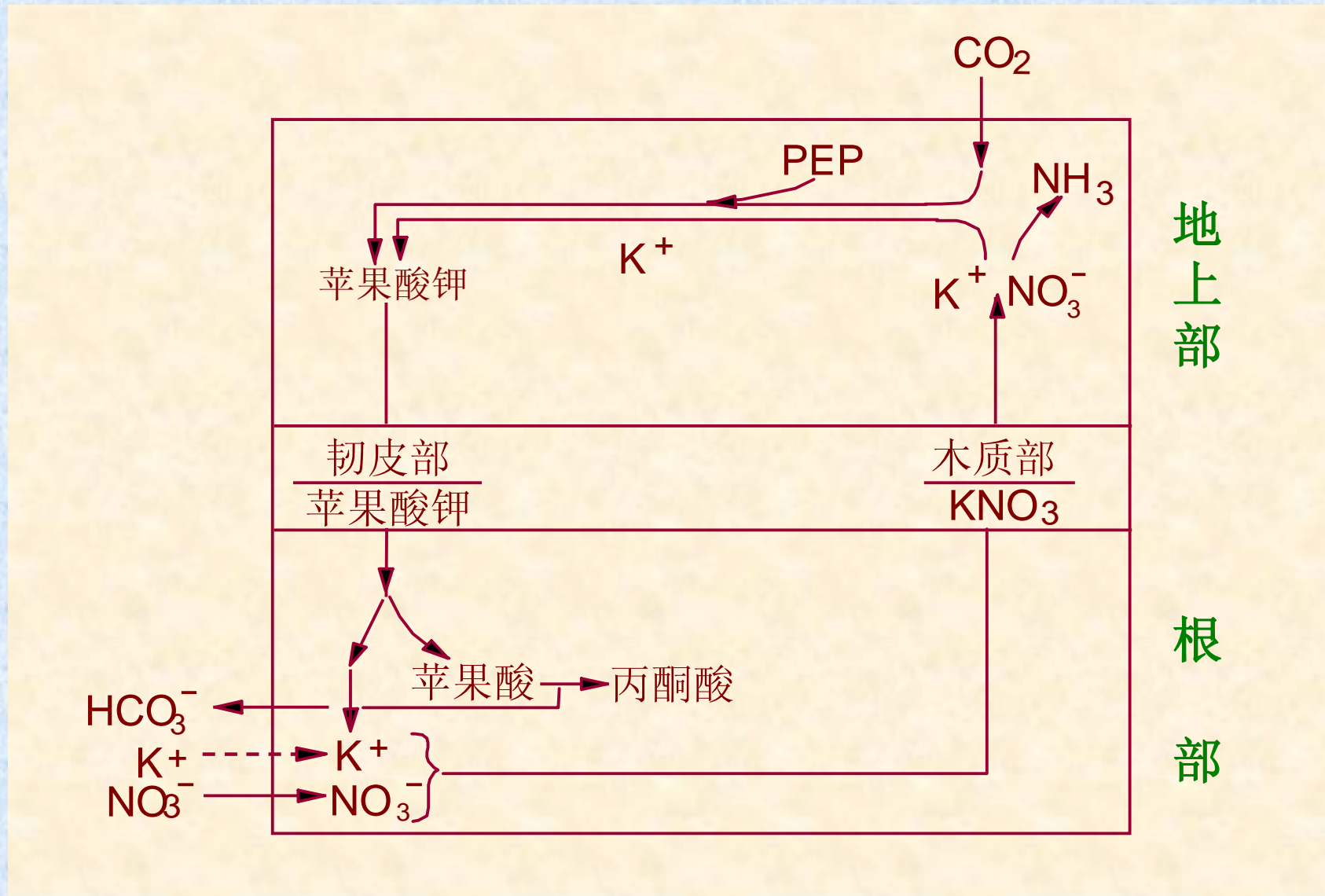
体内养分的循环是植物正常生长所必不可少的一种生命活动。以氮和钾的循环最为典型。



植物体内氮的循环模式

经木质部运输到茎叶的氮素，其中79%以还原态的形式再由韧皮部运回根中，其中的21%被根系所利用，其余部分再由木质部运向地上部。

植物体内发生氮素的大规模循环，可能是由于根部硝态氮的还原能力有限，而必须经地上部还原后再运回根系，满足其合成蛋白质等代谢活动的需要。



硝酸与苹果酸的运输与地上、地下部之间钾循环模式

参加体内往复循环的钾可占到地上部总钾量的20%以上。



养分的再利用

第四节

植物某一器官或部位中的矿质养分可通过韧皮部运往其它器官或部位，而被再度利用，这种现象叫做**矿质养分的再利用**。

矿质养分再利用的程度取决于养分在韧皮部中移动性的大小，韧皮部中移动性大的养分元素，如氮、磷、钾等，其再利用程度高。而钙、硼的再利用程度低。

一、养分再利用的过程



第一步，养分的激活

养分离子在细胞中被转化为可运输的形态，这一过程可能是通过第二信使来实现的。

第二步，进入韧皮部

被激活的养分转移到细胞外的质外体后，再通过原生质膜的主动运输进入韧皮部筛管中。

第三步，进入新器官

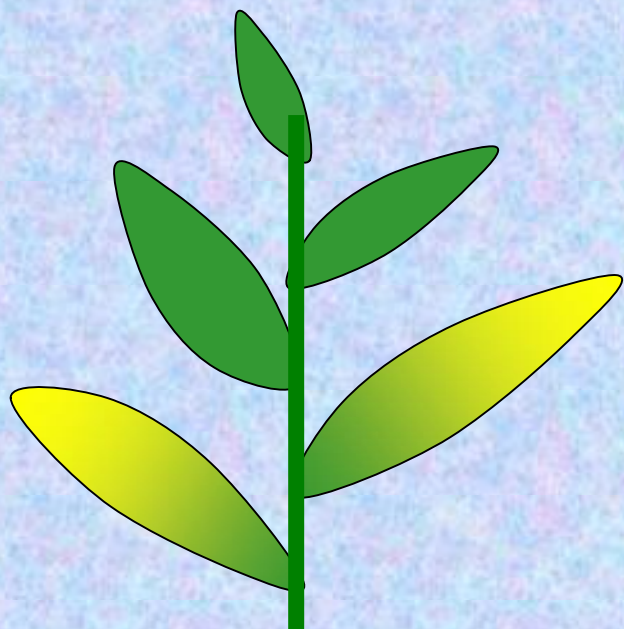
养分通过韧皮部或木质部先运至靠近新器官的部位，再经过跨质膜的主动运输过程卸入需要养分的新器官细胞内。

养分再利用的过程是漫长的,需经历共质体(老器官细胞内激活) → 质外体(装入韧皮部之前) → 共质体(韧皮部) → 质外体(卸入新器官之前) → 共质体(新器官细胞内)。因此,只有移动能力强的养分元素才能被再度利用。

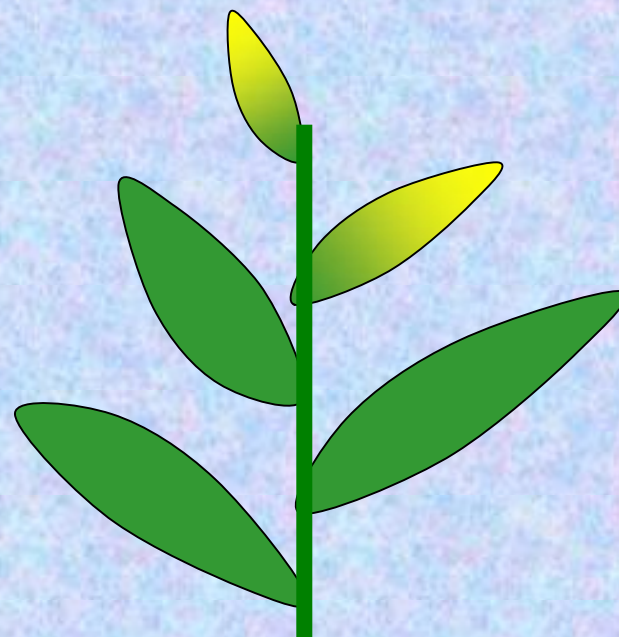
养分再利用



二、养分再利用与缺素部位



**再利用程度大的元素，
养分的缺乏症状首先
出现在老的部位**



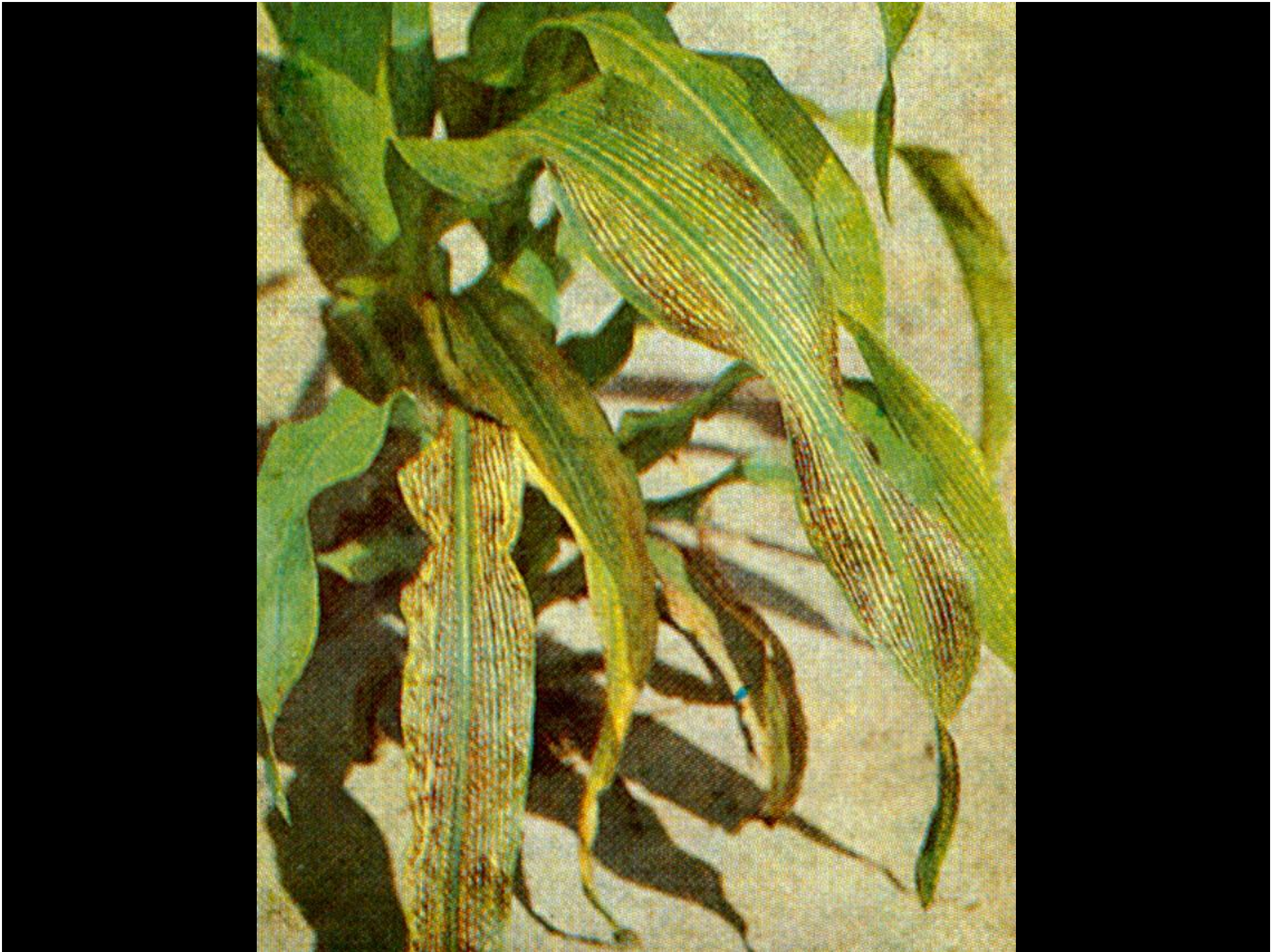
**不能再利用的养分，
在缺乏时由于不能
从老部位运向新部位，
使缺素症状首先表现
在幼嫩器官**

缺素症状表现部位与养分再利用程度之间的关系

矿质养分种类	缺素症出现的主要部位	再利用程度
氮、磷、钾、镁	老叶	高
硫	新叶	较低
铁、锌、铜、钼	新叶	低
硼和钙	新叶顶端分生组织	很低

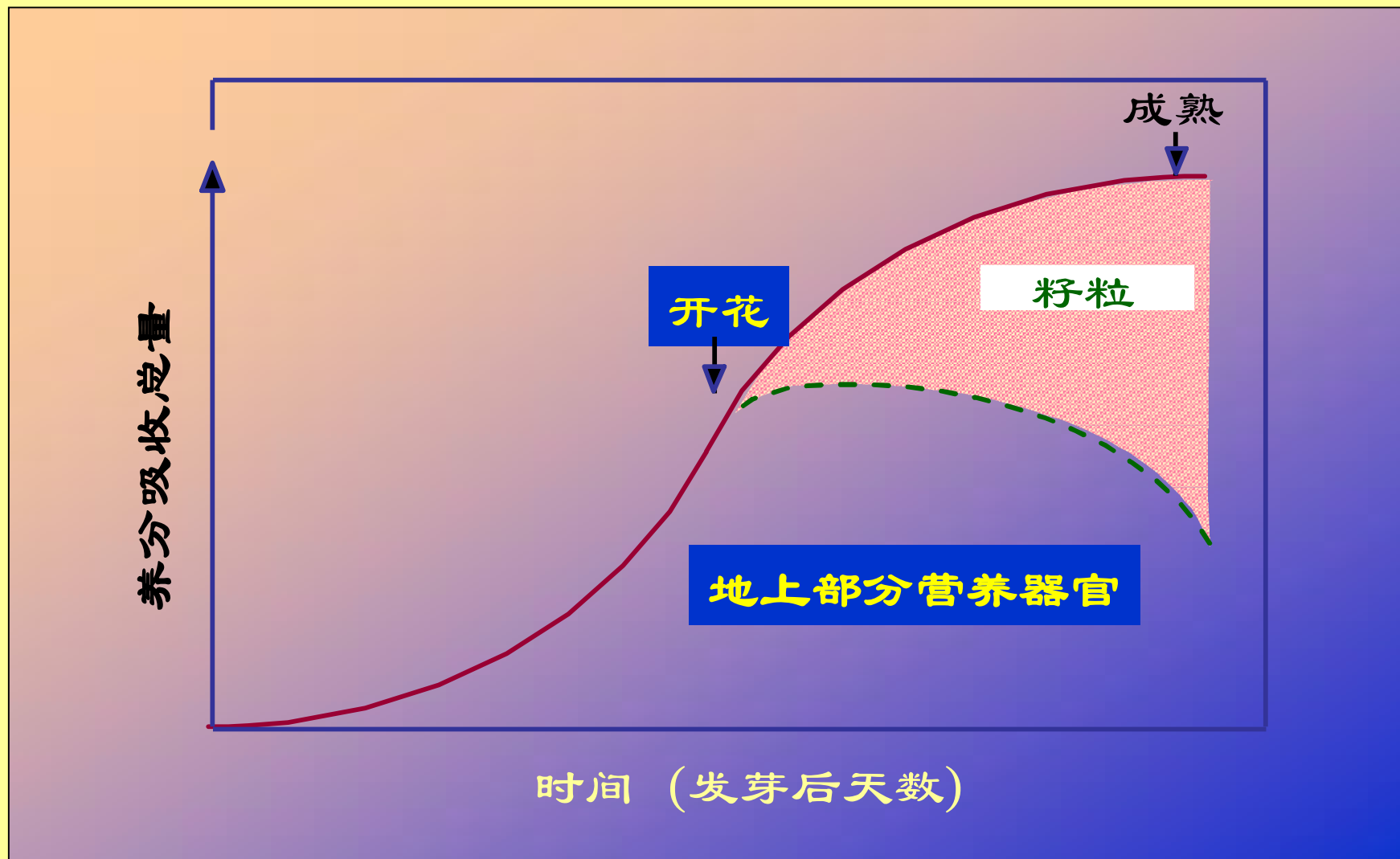








三、养分再利用与生殖生长



禾谷类作物个体发育期间矿质养分分配的典型图解

小 结

掌 握

- ✓ 质外体，共质体，横向运输，纵向运输，根压，吐水，伤流液，养分的循环，养分的再利用
- ✓ 分别以质外体、共质体为主要运输途径的养分有哪些
- ✓ 木质部和韧皮部运输养分的动力和方向
- ✓ 蒸腾作用与根压在木质部运输中的作用和特点
- ✓ 氮、钾在植物体内的循环模式
- ✓ 养分再利用与植物缺素部位的关系