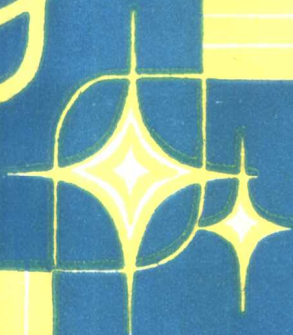




全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



热带作物

营养与施肥

● 张少若 主编

● 热带作物 热带果树专业用

中国农业出版社



全国高等农业院校教材

热带作物营养与施肥

张少若 主编

热带作物
热带果树 专业用

中国农业出版社

5-4003

全国高等农业院校教材
热带作物营养与施肥
张少若 主编

责任编辑 徐蒲生

出版 中国农业出版社

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发行 新华书店北京发行所

印刷 北京科技印刷厂

* * *

开本 787×1092mm16开本

印张 15.5 字数353千字

版、印次 1996年10月第1版

1996年10月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价12.25元

书号 ISBN 7-109-04142-5/S·2569

ISBN 7-109-04142-5



9 787109 041424 >

主 编 张少若(华南热带作物学院)

编 者 (以编者章节先后为序)

张少若(华南热带作物学院)

梁继兴(华南热带作物学院)

颜书连(华南热带作物学院)

黄承和(华南热带作物学院)

唐树梅(华南热带作物学院)

主审人 刘武定(华中农业大学)

皮美美(华中农业大学)

前 言

《热带作物营养与施肥》是农业部教育司下达的“八五”规划教材，由华南热带作物学院负责编写。

《热带作物营养与施肥》是为热带作物和热带果树专业新开设的一门专业基础课程。为了拓宽和提高作物专业学生对植物营养学科的知识面，于1984年在学习土壤学和肥料学的基础上开始增设《植物营养》选修课程，经过多年教学实践，根据热带作物（果树）的专业特点，逐渐调整而增加了热带作物（果树）营养和施肥的内容，从1990年开始将《植物营养》改为《热带作物营养与施肥》。

本教材共分九章：第一章作物的矿质营养；第二章作物矿质营养元素的生理功能；第三章矿质营养与作物生长和产量的关系；第四章作物施肥的原理和技术；第五章我国热带亚热带气候和土壤特点；第六章橡胶树的营养与施肥；第七章热带经济作物（胡椒、咖啡、椰子、剑麻）的营养与施肥；第八章热带木本果树（柑桔、油梨、芒果）的营养与施肥；第九章热带草本水果（香蕉、菠萝）的营养与施肥等。其中除第五章由梁继兴教授执笔，第八章中的柑桔的营养与施肥由颜书连副教授执笔和第九章由黄承和、唐树梅副教授执笔外，其余各章节概由张少若教授撰写并负责全书的主编。本教材由华中农业大学的刘武定教授和皮美美教授主审。

本教材的主要特点是：除根据作物专业的教学要求，比较全面和系统地介绍植物营养的基本理论和施肥原理外，重点突出了我国热带作物（果树）营养和施肥的特点，基本上反映了国内外热带作物营养和施肥的最新研究成果和生产实践经验。除了适用于高校作物和果树专业的师生学习和参考外，对于从事土壤肥料和热带作物（果树）栽培工作的专业人员也具有参考价值。

由于植物营养学科发展迅速，而国内外尚无热带作物营养与施肥的专著出版，同时也由于作者水平所限，难免存在错漏和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

1994年12月

目 录

前言

第一章 作物的矿质营养	1
第一节 作物必需的营养元素及其分类	1
一、作物必需的营养元素	1
二、作物必需营养元素的含量和分类	1
三、有益元素	2
第二节 作物对养分的吸收	2
一、根系对无机养分的吸收	3
二、叶部对养分的吸收(叶部营养)	9
第三节 养分离子在吸收过程的相互作用	11
一、离子间的拮抗作用	11
二、离子间的相助作用和 Ca^{2+} 的功能	13
三、其他作用	15
第二章 作物矿质营养元素的生理功能	17
第一节 氮、磷、硫的生理功能	17
一、氮素(N)	17
二、磷素(P)	18
三、硫素(S)	18
第二节 钾、钙、镁的生理功能	19
一、钾素(K)	19
二、钙素(Ca)	21
三、镁素(Mg)	22
第三节 微量元素的生理功能	23
一、铁素(Fe)	23
二、锰素(Mn)	25
三、铜素(Cu)	26
四、锌素(Zn)	26
五、钼素(Mo)	27
六、硼素(B)	28
七、氯素(Cl)	30
第三章 矿质营养与作物生长和产量的关系	32
第一节 矿质营养与植物激素平衡的关系	32
一、氮素营养与激素平衡的关系	32
二、磷素营养与激素平衡的关系	34

三、钾素营养与激素平衡的关系	35
四、微量元素营养与激素平衡的关系	35
第二节 矿质营养与作物生长的关系	36
一、“源”和“库”的概念及其相互转换	36
二、矿质养分对作物生长的影响	37
第三节 矿质营养与作物产量的关系	38
一、矿质营养与产量效应	38
二、矿质营养对“源”和“库”的影响	39
第四节 矿质养分与作物产品品质的关系	42
一、作物产品品质的概念	42
二、氮对作物产品品质的影响	42
三、磷对作物产品品质的影响	43
四、钾对作物产品品质的影响	44
五、钙、镁、硫对作物产品品质的影响	46
六、微量元素对作物产品品质的影响	49
主要参考文献	51
第四章 作物施肥原理与技术	52
第一节 确定施肥量的方法	52
一、养分平衡计量法	52
二、测土计量施肥法	55
三、肥料效应函数法	59
第二节 作物营养诊断指导施肥的原理与技术	62
一、作物营养诊断的理论依据	62
二、营养诊断指标的拟订	63
三、元素平衡状况诊断法——DRIS 法	64
四、主要热带作物营养诊断指标	67
五、对营养诊断指导施肥方法的评价	67
第三节 作物施肥技术	72
一、施肥时期	72
二、施肥方法	74
主要参考文献	78
第五章 我国热带、亚热带气候和土壤的特点	79
第一节 范围、面积及农业气候特点	79
一、范围和面积	79
二、气候特点	79
三、农业气候带的区分	79
第二节 我国热带、亚热带地区主要土壤类型	83
一、砖红壤	83
二、赤红壤	86
三、红壤	86
四、黄壤	89

五、燥红土	89
六、石灰土	91
七、紫色土	91
第三节 热带、亚热带土壤的肥力特点	91
一、土壤粘土矿物组成及其对土壤肥力性质的影响	92
二、土壤有机质的含量及对土壤肥力的影响	92
三、热带、亚热带土壤的养分特性及作物对施肥的反应	94
主要参考文献	98
第六章 橡胶树的营养与施肥	99
第一节 橡胶树的营养特性	99
一、橡胶树必需营养元素的含量和分布	99
二、矿质营养元素在橡胶树中的功用和失调症状	100
第二节 橡胶树营养诊断	104
一、橡胶树营养诊断指导施肥的方法	104
二、橡胶树应用营养诊断指导施肥的效果和存在的问题	107
第三节 橡胶树施肥	108
一、橡胶树合理施肥的意义	108
二、橡胶树的施肥制度	115
三、橡胶树合理施肥的原则	121
主要参考文献	122
第七章 热带经济作物营养与施肥	123
第一节 咖啡的营养与施肥	123
一、咖啡的营养特性	123
二、咖啡的营养诊断	128
三、咖啡施肥	128
第二节 胡椒的营养与施肥	133
一、胡椒的营养特性	133
二、胡椒的营养诊断	136
三、胡椒施肥	139
第三节 椰子树的营养与施肥	143
一、椰子树的营养特性	143
二、椰子树的营养诊断	150
三、椰子树施肥	152
第四节 龙舌兰麻的营养与施肥	156
一、龙舌兰麻的营养特性	156
二、剑麻营养诊断方法	161
三、龙舌兰麻的施肥	164
主要参考文献	168
第八章 热带、亚热带木本果树营养与施肥	170
第一节 柑桔的营养与施肥	170
一、柑桔对土壤条件的要求	170

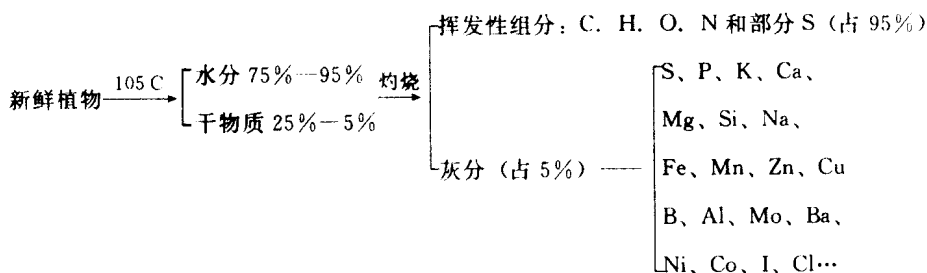
二、柑桔的营养特性	171
三、柑桔的营养诊断	175
四、柑桔的施肥	178
第二节 油梨的营养与施肥	183
一、油梨对土壤条件的要求	184
二、油梨的营养特性	187
三、油梨的营养诊断	193
四、油梨施肥	198
第三节 芒果的营养与施肥	201
一、芒果对土壤条件的要求	201
二、芒果的营养特性	201
三、芒果的营养诊断	207
四、芒果树施肥	209
主要参考文献	211
第九章 热带草本水果营养与施肥	213
第一节 香蕉营养与施肥	213
一、香蕉的营养特性	213
二、香蕉营养诊断	221
三、香蕉施肥	224
第二节 菠萝的营养与施肥	226
一、菠萝的营养特性	226
二、菠萝的营养诊断	229
三、菠萝的施肥	233
四、华南地区菠萝施肥的参考方案	236
主要参考文献	238

第一章 作物的矿质营养

第一节 作物必需的营养元素及其分类

一、作物必需的营养元素

(一) **植物体的元素组成** 随着科学技术的进步,人们已发现植物体含有几十种地壳中存在的化学元素。但是,植物体内某种矿质元素的有无及其含量的高低,均不能作为判断其必要性的标准。植物对生长所必需的矿质元素,具有有限的选择吸收能力,它们也吸收那些不是生长所必需的、甚至是有毒的元素。因此,某种元素是否属于植物所必需,不能根据植物体内矿质元素组成来确定。



(二) **作物必需的营养元素** Arnon 和 Stout (1939) 提出了确定植物必需营养元素的三条标准:

1. 该元素必须是完成植物生命周期所不可缺少的。
2. 该元素的特殊功能不为他种元素所代替。从基质中除去该元素时,出现专一的缺素症,这种缺素症只有通过补充该元素才能消除。
3. 该元素必须具有直接参与植物生理代谢作用的功能。

经过植物营养学家多年的培养试验,逐步确定了 16 种元素为高等植物共同必需的营养元素。即:碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、硼 (B)、铜 (Cu)、钼 (Mo)、氯 (Cl) 等。

二、作物必需营养元素的含量和分类

植物必需的 16 种营养元素,按其在植物体内含量的多少而分为大量元素 (Major nutrient elements) 和微量元素 (Micro nutrient elements)。其平均含量如表 1—1。

表 1-1 高等植物必需营养元素的分类和含量

元 素	符 号	植物正常生长地上部分干物质的矿质养分含量		
		$\mu\text{mol/g}$	mg/kg 干重	%干重
微量元素				
钼	Mo	0.001	0.1	—
铜	Cu	0.10	6	—
锌	Zn	0.30	20	—
锰	Mn	1.00	50	—
铁	Fe	2.00	100	—
硼	B	2.00	20	—
氯	Cl	3.00	100	—
大量元素				
硫	S	30	—	0.1
磷	P	60	—	0.2
镁	Mg	80	—	0.2
钙	Ca	125	—	0.5
钾	K	250	—	1.0
氮	N	1000	—	1.5
氧	O	30000	—	45
碳	C	40000	—	45
氢	H	60000	—	6

三、有益元素

有些元素虽非植物所必需，但能刺激植物生长，或能部分代替某些必需元素、或为某种植物所必需等，都称为“有益元素”。例如钠、硅、钴、钼、硒等。

(一) 钠 钠对耐盐植物可能是必需的。人们根据作物对钠反应不同，分为亲钠植物和疏钠植物。某些植物在供钾不足时，钠能部分代替钾的作用。

(二) 硅 植物种类不同，硅的含量差异很大，单子叶植物硅的含量大于双子叶植物。硅可能是某些植物所必需的，如藻类。硅对单子叶植物，如水稻、甘蔗等也是有益的。

(三) 钴和钼 钴是豆科作物固氮所必需的，钴是维生素 B_{12} 的组分，饲料作物钴的重要性反映在动物营养上。钼和钴一样对固氮有促进作用。

(四) 硒 低浓度硒对植物生长有刺激作用，有利于增强植物体的抗氧化作用。植物硒含量对人体健康也有影响。

第二节 作物对养分的吸收

作物吸收养分的主要器官是根系和叶面，吸收的养分形态有有机态分子养料和无机离

子养料，但以根系吸收无机离子养料为主。

一、根系对无机养分的吸收

(一) **根部的形态和吸收养分的部位** 生长着的根系，沿其纵轴存在着解剖学和生理学上的变化(图1—1)，不同根区吸收养分和水分的能力不同。

1. 根冠区：起着保护分生组织的作用。

2. 分生区：细胞分裂、根系伸长的主要部位，无液泡细胞占优势，具有较高的阳离子代换量，是吸收养分的旺盛区。

3. 根毛区：根毛密布，但根表皮木栓质增厚，内皮层栓化带形成，皮层空腔组织出现。限制了养分吸收和向中柱辐射运输，因而吸收养分能力减弱，但吸收水分能力增强。

4. 脱毛区：根毛脱落、栓化层增厚，空腔组织增大，吸收养分和水分能力都减弱。

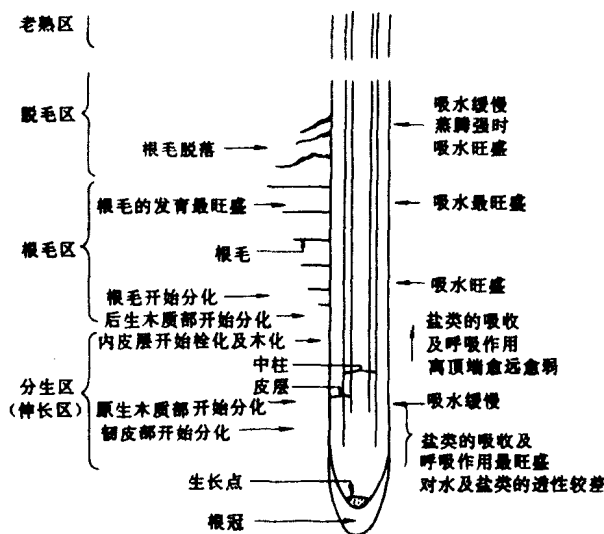


图 1—1 根幼嫩部分的结构与水分及无机盐类吸收的关系

总的趋向是，离根尖愈远，

单位根长的离子吸收速率愈小。所以施肥位置应尽可能靠近新根区。

(二) **土壤养分到达根系表面的迁移** 养分离子从土壤转入植物体内包括两个过程，即养分离子向根系迁移和根系对养分离子的吸收。养分离子到达根系表面，可以通过三种方式：截获、扩散和质流(图1—2)。

1. 截获(interception)：当植物根系与土壤粘粒紧密接触时，根系直接从粘粒表面获得养分，不需要经过运输，称为截获。

截获的特点是不需要经过运输。截获量的大小决定于根系与土粒的接触面积，以及土粒表面代换性养分离子的含量。实际上根系与土粒紧密接触的机会很少，接触交换作用很微弱，通过截获吸收的养分量微不足道。

2. 扩散(diffusion)：当根际土壤养分浓度低于周围的土体时，养分从浓度高的土体向浓度低的根际移动的过程，称为扩散。

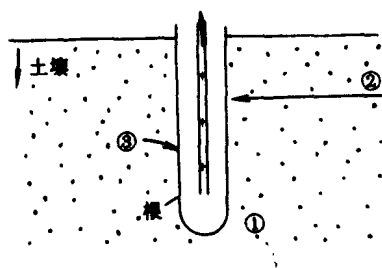


图 1—2 养分离子向根部迁移方式
①截获 ②扩散 ③质流

由于作物根系不断地从根际土壤中吸收养分，使根际土壤养分浓度相对降低，于是根际与周围土体间产生浓度梯度，引起养分离子从浓度高的土体不断地向浓度低的根际扩散

迁移。扩散作用的动力是养分浓度梯度，由于浓度差影响的范围小，因此，扩散迁移是一种短距离的养分运输。扩散作用的特点是移动范围小，速度慢。

植物养分在土壤中扩散受到很多因素影响，如养分离子扩散系数、土壤水分含量，土壤质地和温度等。例如 Cl^- 、 NO_3^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 扩散系数大，而 PO_4^{3-} 扩散系数较小；土壤质地轻的砂壤土扩散速率大于质地粘重的土壤；土壤温度高比温度低时扩散速率大；湿润土壤扩散速率大于干燥土壤等。

3. 质流 (Massflow)：由于植物的蒸腾作用，引起根系周围土壤水分亏缺，使土壤水分不断地向根系流动，而将溶于水中的养分携带到根系的过程，称为质流。

质流是作物蒸腾力的作用，影响范围大，所以质流是养分长距离的运输。质流量大小决定于作物的蒸腾率和土壤溶液养分浓度。

以上三种方式各有特点又相互联系，其中扩散和质流是土体养分到达根系表面的主要途径。在不同情况下，两者发挥各自不同的作用，在长距离内，质流是补充根系土壤养分的主要形式，而在短距离内，以离子扩散方式补充根系养分更为重要。养分种类不同补充的主要方式也不相同，如 NO_3^- 主要靠质流， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要靠截获和质流，而 NH_4^+ 、 K^+ 、 PO_4^{3-} 主要靠扩散。作物不同生长发育阶段，各种方式的作用也起变化，幼苗期植株小，蒸腾率低，质流补充的比例小，故以短距离迁移为主；作物长大后，蒸腾率提高，质流的作用随之增大，施肥距离也可随之扩大。

(三) 根系对无机养分的吸收 根据离体根培养试验结果，在低浓度的溶液中，控制正常的温度、通气和 pH 值等条件，以吸收量为纵坐标，以吸收时间为横坐标，得出如下图像 (图 1—3)。

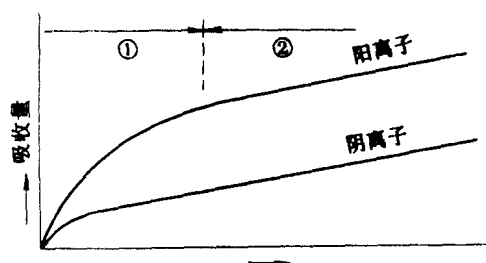


图 1—3 作物根系对阴阳离子吸收与时间的关系

- ①离子进入细胞外层空间建立平衡所需时间
②离子被摄入细胞内达到稳定所经历的时间

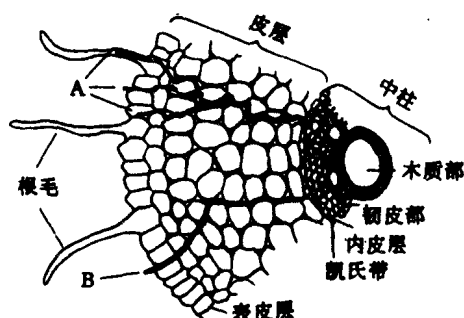


图 1—4 根系组织和细胞外层自由空间的位置

- A. 共质体 B. 质外体
(外层自由层)

从图 1—3 可以看出：离子从外部溶液进入细胞的时间进程，有两个截然不同的阶段，开始阶段，离子的吸收极为迅速、时间很短，接着便是缓慢的线性吸收。因此，将开始的第一阶段解释为离子进入外层空间的过程。称被动吸收；第二阶段是离子进入内层空间的过程，称主动吸收。

1. 根系对养分离子的被动吸收 (Passive absorption)：离子养分通过质流、扩散和截获

作用等方式，从外部溶液进入根系组织的“外层自由空间”的过程。

(1) 外层自由空间 (Apparent free space AFS)。是指在植物某些器官组织或细胞中，允许外部溶液自由扩散进出的那些部分。从一个细胞来看，外层空间存在于细胞壁和细胞膜之间；从整个根系组织来看，外层空间包括内皮层以外的细胞间隙和细胞壁与细胞膜之间的那部分空间 (图 1—4)。外层自由空间的特点是与外部溶液连成一个延续的整体，离子可以自由进出。因而被动吸收进入外层空间的离子没有积累性和选择性。

(2) 离子代换吸收。养分离子通过质流、扩散和离子代换作用等方式，进入根细胞的外层自由空间。质流和扩散方式前面已阐述，下面主要讨论离子代换吸收方式。

细胞膜最外层的蛋白质属两性胶体，在不同情况下可带正、负两种电荷，吸附由呼吸作用所产生的 H^+ 和 HCO_3^- 离子，与外界溶液中的离子进行交换作用。

离子代换吸收主要有两种方式，一种是根系与土壤溶液间的离子交换；一种是根系表面吸附的离子与粘粒表面的离子进行接触代换 (即上述的截获方式)。

根系与土壤溶液间的离子代换：作物根系细胞壁有较多的果胶物质、羧基、根系呼吸作用释放出 CO_2 在水中形成碳酸而解离出的 H^+ 与土壤溶液的阳离子进行代换作用，而将土壤溶液和粘粒表面上的养分离子吸收到根系表面 (图 1—5 和图 1—6)。呼吸作用分解出的 HCO_3^- 可与溶液中的阴离子 NO_3^- 或 H_2PO_4^- 进行代换作用。

接触代换：当根系与土壤粘粒紧密接触时，两者表面吸附的代换性离子，不通过溶液而直接代换，称为接触代换 (Contact exchange)。

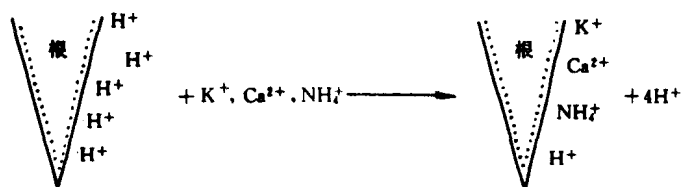


图 1—5 根上的 H^+ 与土壤溶液中的阳离子代换

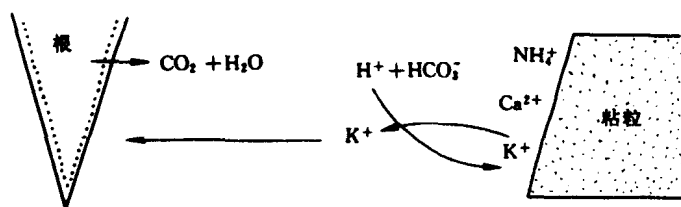


图 1—6 碳酸与粘粒吸附的离子代换

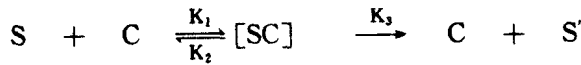
接触代换这种方式是存在的，但在养分吸收过程中并不重要。因为离子很小，如 K^+ 的水膜直径为 $5.32 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$)，而根与土粒的接触距离一般为 $50 \text{ \AA}$ ，从细胞壁到细胞质膜表面的距离是 $10000 \text{ \AA}$ ，接触代换到细胞壁上的离子，还须经过质流、扩散和再代换才能到达质膜表面。可见，接触代换的实际意义不大。

2. 根系对养分离子的主动吸收 (Active absorption): 主动吸收是指养分离子在消耗能量的条件下, 逆电化学势梯度, 选择性地从外层空间通过细胞膜进入细胞内的过程。

许多培养试验证明, 不同作物对养分吸收具有选择性, 当作物体内某种离子养分浓度比外界溶液浓度高得多时, 仍能逆浓度吸收; 低温和呼吸抑制剂对第一阶段吸收的影响不明显, 而对第二阶段吸收的影响极其显著。用质流、扩散和离子代换等被动吸收方式, 无法解释这种现象。因而引出了吸收与能量代谢有关的种种主动吸收假说, 其中以离子吸收的载体学说比较完满地从理论上解释了主动吸收的三个基本特点, 即选择性、逆浓度和消耗能量。

(1) 离子载体学说 (Carrier Theory)。载体 (Carrier) 是指既能在类脂层中扩散, 又能与离子结合而携带离子通过膜脂层的一种酯类化合物。载体有专一性, 每一载体只同某一种或化学性质相近的某几种离子结合。

(2) 载体学说的理论依据。植物吸收养分过程同酶促反应非常相似, 在低浓度时, 离子的吸收速率随浓度增加而迅速增加; 在较高浓度时, 吸收随浓度递增而逐渐减缓; 达到最高浓度时, 离子吸收速率趋于稳定。吸收有最大速率, 说明载体和酶一样, 具有一定数量, 有一定的饱和度。因此, 应用酶动力学原理, 将载体与离子的关系比作酶和底物的关系:



外部离子 载体 离子—载体 载体 离子 (进入细胞内)

应用米凯利斯—门腾 (Michaelis-Menten) 方程式, 可求出吸收的速率 (v)、最大速率 (V) 和米氏常数 (K_m)。

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{VS}{K_m + S}, \quad K_m = \frac{K_2 + K_3}{K_1}$$

$$\text{当 } v = \frac{1}{2}V \text{ 时, 即 } \frac{1}{2}V = \frac{VS}{K_m + S}, \quad K_m = S$$

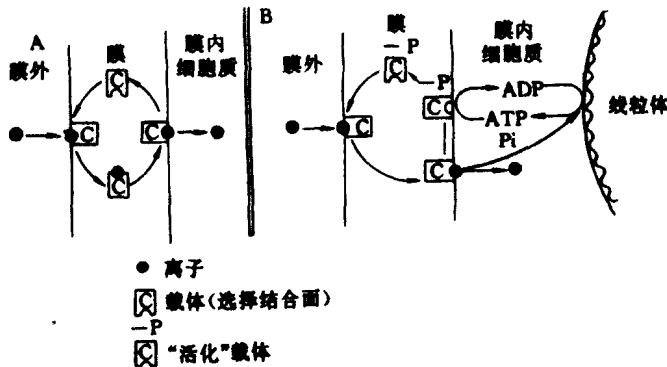


图 1—7 离子通过膜的传递和能量消耗

A. 离子通过膜的传递模式 B. 配合能量消耗

(Marschner, H., 1986)

当吸收速率等于最大速率的一半时，外部溶液的离子浓度就是 K_m 。由于 $K_m = \frac{K_2 + K_3}{K_1}$ ，因此， K_m 与 K_1 成反比，即 K_m 值愈小，离子和载体的亲和力愈大，吸收速率 (v) 也愈大。

(3) 载体运输离子的过程。目前对载体的成分还不了解，只根据上述载体的性质，用图解形式来说明载体运输离子的过程和机制 (图 1—7)。

(四) 根系对有机养分的吸收 作物根系能吸收有机养分，已为灭菌培养和示踪元素的应用所证实。但有机物质以什么方式进入根细胞，尚无肯定结论。一般认为，有机分子透过质膜的难易与有机分子的大小和脂溶性有关。小的有机分子透过性大，脂溶性大的有机物质，比较容易被细胞吸收，但溶于脂相的极大的有机分子却很难透过细胞膜。

根对有机分子养分的吸收，可用下面模式图概括 (图 1—8)。

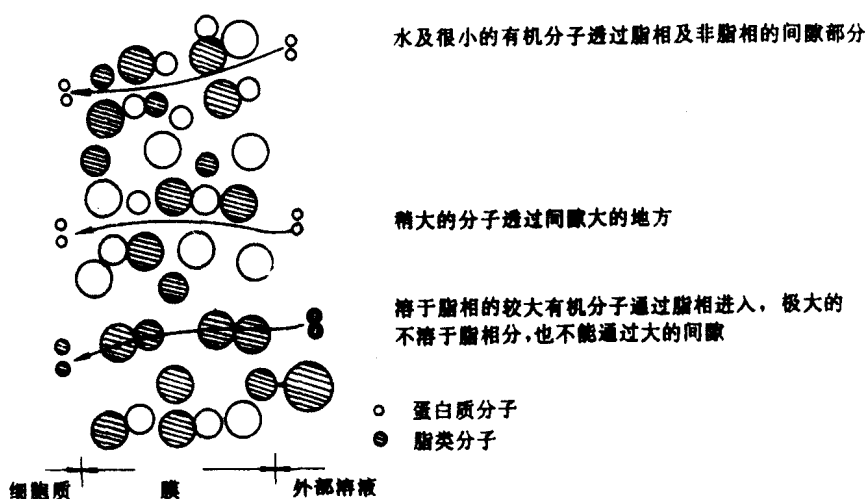


图 1—8 有机分子养分通过细胞膜示意图

(引自〔日〕三井进午，最新土壤肥料植物营养事典第 193 页，昭和 45 年，博友社。)

(五) 影响根系吸收养分的外界条件 影响作物根系吸收养分的外界条件，主要有温度、光照、土壤通气条件和土壤水分条件以及土壤反应等。

1. 温度：温度影响土壤养分的有效性和根系吸收能力。每种作物都有最适的温度。在最适温度以下时，作物吸收养分随温度升高而增加，在适宜温度以上时，作物吸收养分随温度的上升而下降。因为温度直接影响作物的呼吸强度，低温呼吸作用减弱，降低了能量代谢而影响养分的吸收；高温呼吸作用旺盛，碳水化合物消耗大，根组织氧浓度下降，妨碍了根系的正常呼吸和吸收。温度过低或过高均不利于吸收，其中低温的影响尤大于高温 (图 1—9)。

养分种类不同，低温影响吸收的程度也不相同。水稻试验表明，当温度从最适的 30—32℃ 降到 24—25℃ 时，吸收的养分减少，但是各种养分减少的程度不同，其中影响较显著

的有 Si、P、K 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，而 Ca、Mn 受影响较少（图 1—9）。

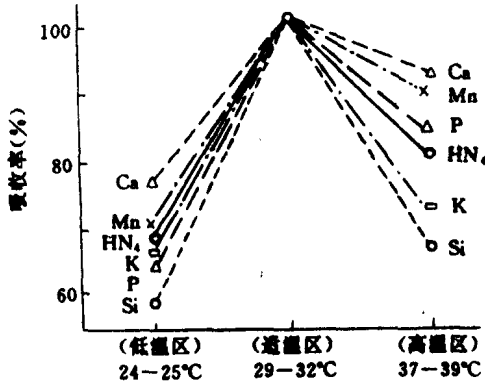


图 1—9 水温对水稻矿质营养吸收的影响

出现黄化症状，其原因是：通气条件影响作物有氧呼吸，影响氧化磷酸化 ATP 的合成，而影响作物对养分的吸收。根据作物根细胞在不同通气条件下呼吸和养分吸收量的变化（表 1—2），进一步证明了养分吸收与能量供应的关系。

不同作物对通气条件的要求不同，水稻在氧分压达 2%—3% 时对钾的吸收达最大值，而番茄要在氧分压达 10% 时，才达到最大值。

2. 光照：光照对作物吸收养分的影响可能是间接的，但光照对许多养分吸收的效应是明显的，光照不足，水稻对各种养分的吸收都受影响（图 1—10）。其原因是：光照强弱影响光合作用和能量代谢；光照不足蒸腾率低，质流量减少；光照强弱影响温度，从而影响吸收。

从图 1—10 可以看出，光照对各种养分的吸收都有一定影响，而对磷和钾吸收的影响尤其明显。

3. 土壤通气条件：在农业生产实践中，我们经常发现，尽管土壤含有大量养分，但在淹水条件下，通气不良时，常常发现作物

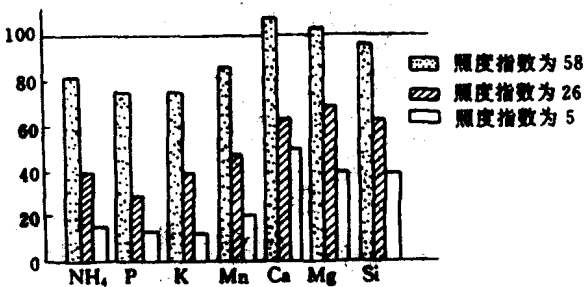


图 1—10 光照对水稻吸收养料的影响

表 1—2 番茄通气条件与养分吸收的关系

营 养 元 素	吸收量 (me)		吸收指数	
	不通气	通 气	不通气	通 气
K^+	506.3	737.5	100	138
NO_3^-	775.9	1074.2	100	140
H_2PO_4^-	117.5	160.2	100	136
Ca^{2+}	329.3	445.4	100	135
Mg^{2+}	140.7	197.2	100	140

（引自〔日〕三井进午，最新土壤肥料植物营养事典，p190，昭和 45 年。）

通气条件影响土壤物质形态和养分的有效性而影响作物对养分的利用。在通气不良的条件下，甚至产生一系列有毒的还原物质，影响根系的正常生长而影响吸收。因此，施肥结合中耕除草有利于促进根系对养分的吸收。

4. 土壤水分条件：土壤水分对作物吸收养分有两个方面的作用，一方面土壤水分是化