

农业机械化丛书



河北省植保土肥研究所编

化学肥料的施用

化学工业出版社



农 业 机 械 化 丛 书

化学肥料的施用

河北省植保土肥研究所 编

化学工业出版社

本书结合我国土壤情况和作物生长特点，分别介绍了氮、磷、钾、钙、镁、硫、硅、微量元素肥料、复合肥料和混合肥料和腐植酸类肥料等化肥的不同品种的性能、施用原理以及施肥技术等。书中还专辟一章，介绍水稻、小麦、棉花、大豆、油菜、烟草、甘蔗和茶树的施肥。书中内容以应用为主，兼顾基础知识。

本书由河北省土壤肥料研究所孙祖琰执笔。在作物施肥一章中，水稻施肥由湖南省土壤肥料研究所邓鸿德编写，油菜施肥由中国农科院油料作物研究所蔡常被编写，烟草施肥由中国农科院烟草研究所庄惠禄编写，甘蔗施肥由轻工业部甘蔗糖业研究所林杭、庄学调编写，茶树施肥由中国农科院茶叶研究所吴洵编写。初稿完成后，请梁德印、尹崇仁、蔡常被、金运芳、王汝舟、刘宗衡、蔡际赐等同志进行了审查，最后由孙祖琰整理。

本书主要供在生产队、公社和县从事农业机械化工作的技术人员和领导干部以及广大贫下中农阅读，也可供化肥厂工人、技术人员和化工、农业专科学校师生参考。

农业机械化丛书

化学肥料的施用

河北省植保土肥研究所 编

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₃₂印张7³/₄字数172千字印数1-54,150

1979年9月北京第1版1979年9月北京第1次印刷

书号15063·3115定价0.55元

目 录

第一章 化学肥料及其施用原理	1
第一节 化学肥料的种类.....	1
第二节 化学肥料施用原理.....	2
一、作物营养与化肥的施用.....	3
二、土壤条件与化肥的施用.....	17
三、气候条件与化肥的施用.....	29
四、农家肥料与化肥的施用.....	31
第二章 氮素化肥及其施用	33
第一节 氮素在作物营养上的作用.....	33
第二节 作物对氮素的吸收利用.....	34
第三节 土壤中氮素的含量、形态和转化.....	35
第四节 氮素化学肥料的品种.....	40
第五节 氮肥的合理分配及施用技术.....	59
第三章 磷素化肥及其施用	71
第一节 磷素在作物营养上的作用.....	71
第二节 作物对磷素的吸收利用.....	72
第三节 土壤中磷的含量、形态和转化.....	73
第四节 磷素化学肥料的品种.....	81
第五节 磷肥的分配和施用技术.....	85
第四章 钾素化肥及其施用	102
第一节 钾素在作物营养上的作用.....	102
第二节 作物对钾素的吸收.....	104
第三节 土壤中钾的含量、形态和转化.....	105
第四节 钾素化学肥料的品种.....	110
第五节 钾肥的分配和施用技术.....	113
第五章 钙肥、镁肥、硫肥、硅肥及其施用	120

第一节	钙肥	120
第二节	镁肥	126
第三节	硫肥	127
第四节	硅肥	129
第六章	微量元素肥料	131
第一节	铁肥	132
第二节	锰肥	137
第三节	锌肥	141
第四节	硼肥	146
第五节	铜肥	150
第六节	钼肥	153
第七章	复合肥料与混合肥料	158
第一节	复合肥料	158
第二节	混合肥料	163
第八章	腐植酸类肥料	166
第一节	腐植酸类肥料的功能	168
第二节	腐植酸类肥料的种类	173
第三节	腐植酸类肥料的施用技术	175
第九章	作物施肥	179
第一节	水稻施肥	179
第二节	小麦施肥	186
第三节	玉米施肥	196
第四节	棉花施肥	202
第五节	大豆施肥	209
第六节	油菜施肥	214
第七节	烟草施肥	221
第八节	甘蔗施肥	228
第九节	茶树施肥	234

第一章 化学肥料及其施用原理

从施用农家肥料到施用化学肥料，实行有机肥和无机肥配合，是近百年来肥料科学的一个发展。实践证明，化学肥料施用得当，对于农作物的增产作用是很显著的，已经成为高速度发展农业、实现高产稳产的一项重要措施。

第一节 化学肥料的种类

化学肥料一般是指用化学方法合成或经过简单加工而成的肥料。有些化肥是工业副产品。化肥的种类和品种很多，它们给作物提供各种不同的营养元素。不同的化肥种类和品种在土壤中的变化及其发挥肥效的条件都各不相同。为了便于人们了解它们的特性，掌握它们的施用技术，常常根据它们各自的特点进行分类。我国常用的化肥分为以下几种：

1. 氮肥 根据氮素在肥料中存在的形态可以分为：(1) 铵态氮肥，如硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵、氨水等；(2) 硝态氮肥，如硝酸铵、硝酸铵钙、硝酸钠、硝酸钙等；(3) 酰胺态氮肥，如尿素；(4) 氰氨态氮肥，如石灰氮。

2. 磷肥 根据磷肥的性质可以分为：(1) 水溶性磷肥，如过磷酸钙、重过磷酸钙等；(2) 枸溶性磷肥^①或弱酸溶性

① 枸溶性磷肥，即能被柠檬酸（也叫枸橼酸）溶解的磷肥。作物根系在生命活动过程中分泌的有机酸类（包括柠檬酸）能溶解某些磷肥中的磷，使它转变为作物可利用状态。所以，用枸溶性来表示该肥料是可以被作物吸收利用的。枸溶性磷肥肥效缓长，所以也叫缓效磷肥。

磷肥，如钙镁磷肥、脱氟磷肥、钢渣磷肥、沉淀磷肥等；

(3) 难溶性磷肥或强酸溶性磷肥，如磷矿粉、骨粉等。

3. 钾肥 主要有氯化钾、硫酸钾。此外，还有窑灰钾肥、钾钙肥、钾镁肥等。

4. 复合肥料 一种化学肥料同时含有氮磷钾三要素的两个（二元复合肥料）或三个（三元复合肥料）元素就叫做复合肥料。复合肥料一般指化合物而言，如硝酸钾、磷酸铵、磷酸钾等。三元复合肥料，也可以是二个元素呈化合物，再混入第三个元素的化合物制成。

5. 微量元素肥料 即含有微量元素的化学肥料，如硼肥、锰肥、钼肥、锌肥、铜肥等。

6. 腐植酸类肥料 用腐植酸与氮磷钾等元素结合而成的肥料，如腐植酸铵、腐植酸钠、腐植酸钾、硝基腐植酸铵等。

7. 石灰、石膏和农盐 一般又称作间接肥料。

世界化肥工业发展很快。当前，化肥发展的总趋势是：

(1) 有效成分不断提高，高浓度化肥如液氨、尿素等的比重增加，而低浓度化肥如硫酸铵、过磷酸钙的比重则下降；

(2) 复合肥料和混合肥料发展非常快；(3) 液态肥料大量生产和施用，运输管道化，施用机械化；(4) 氮磷钾三要素以外的营养元素如钙、镁、硫、微量元素、二氧化碳肥料等也开始作为重要的肥料；(5) 长效（缓效）肥料、农药肥料和氮肥增效剂（硝化抑制剂）等的研制和施用。

第二节 化学肥料施用原理

施肥的目的是供给作物养分，同时改良和培肥土壤，以保证作物高产稳产。肥料效果的好坏与作物的营养特点、土

壤肥力、气候条件、施肥技术等一系列因素有关。合理施肥就是要最大限度地发挥肥料的效果。为此，就要研究土壤、作物和肥料之间的关系，要讲究施肥技术，调节土壤养分，解决好作物的营养需要和土壤养分供应之间的矛盾等等。

一、作物营养与化肥的施用

作物从种子生根发芽到结实成熟整个生活周期中，除了要求一定的光照、水分、空气和热量条件以外，还必须从土壤中吸收各种营养物质。不同的作物以及同一种作物在不同的生长发育阶段，所要求的养分种类、数量、比例都是不相同的。根据这些特点合理施用肥料可以调节营养、提高土壤肥力，从而获得丰产。如果施肥不当，某种营养元素供应不足或过多，养分比例失调，就会影响作物的正常生长发育。

(一) 作物必需的营养元素 组成作物体的物质大部分是水，一般新鲜作物含有75~95%的水分。把新鲜作物在80℃的条件下减压烘干，剩下的就是干物质。干物质中含有很多化学元素，以占作物干物质重（习惯上简称作物干重）的百分数来表示。各种元素的大致含量见图1-1。

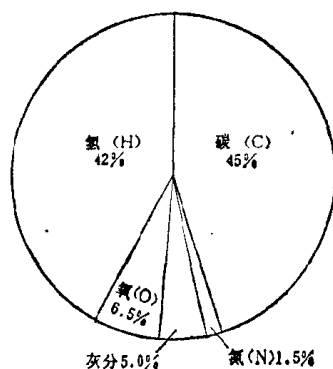


图 1-1 作物干物质中各元素的大致含量(%)

干物质燃烧后，碳、氢、氧、氮都变成气体散失，剩下的部分就是灰分。据分析，灰分中所含的元素有几十种。但

是，作物干物质中所含的这些化学元素，并不都是作物所必需的。目前，已经确定，作物所必需的化学元素有：碳、氢、

氮、磷、钾、硫、钙、镁、铁、硼、锰、铜、锌、钼、氯、钴等十七种。前九种含量各占作物干重的千分之几以上，称为大量元素，后七种含量各占作物干重的万分之几到十万分之几，称为微量元素。铁在土壤中含量较高，但作物的需要量较少，所以，有人称为大量元素，也有人称作微量元素。

此外，禾本科作物含硅较多，铝、钠等对某些作物也是必需的。可以预料，随着科学技术的发展，将会证明更多的元素是作物营养所必需的。

作物对营养元素的需要量尽管有多有少，但是，各种营养元素在作物的生命代谢过程中各有其独特的作用，彼此不能相互代替。例如，氮、硫、磷三个元素都是组成蛋白质的成分，但在作物体内的氧化还原作用上，磷不能代替硫的作用，而在碳水化合物的形成转化过程中，硫不能代替磷的作用。氮是叶绿素的成分，缺氮不能形成叶绿素；铁虽然不是叶绿素的成分，但是，缺铁也不能形成叶绿素。所以，从叶绿素的形成来看，氮和铁是同等重要的。微量元素锰、锌、铜都是构成氧化酶^①的成分，但是，不能相互代替，缺乏其中任何一个营养元素，作物的生长发育都要受到影响。所以，施肥时要全面考虑作物对各种营养元素的需要。

在作物所必需的大量元素中，氮、磷、钾三种营养元素与作物生长好坏以及产量高低关系最为密切，而且大部分土

① 酶是生物体内的生物化学反应的催化剂。它是活细胞新陈代谢的产物，酶的成分是单纯的蛋白质或含有金属的蛋白质。酶能促进作物的光合作用、呼吸作用和物质的代谢反应，在反应过程中，酶参加反应，但在反应结束时，酶本身并不改变。酶的种类很多，氧化酶就是其中的一类。

壤的氮、磷、钾含量不能满足作物的需要，必须通过施肥加以补充，因此，人们称氮、磷、钾为作物营养三要素。当前，化肥工业制造的化学肥料主要是氮、磷、钾肥。在农田上氮肥的施用量最多，其次是磷肥和钾肥。而其它大量和微量元素肥料，也需要根据土壤的供应状况和作物的需肥特性，来确定是否需要施用和施用什么品种。

(二) 作物吸收的营养的形态 作物吸收的营养，必须是溶解状态的。即能够溶解于土壤水或根系分泌的弱酸中，呈离子或分子^①状态存在。它们进入作物体的形态有分子态和离子态两种，见图1-2，但主要是呈离子态被作物吸收的。

化学肥料进入土壤后，大都以离子状态存在于土壤溶液中。阳离子有，铵离子 (NH_4^+)、钾离子 (K^+)、钙离子 (Ca^{++})、镁离子 (Mg^{++})、锰离子 (Mn^{++})、铜离子 (Cu^{++})、锌离子 (Zn^{++})、

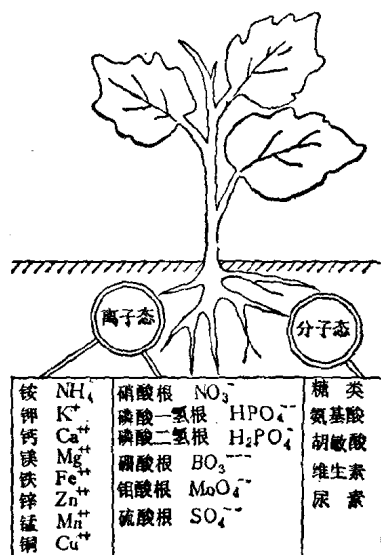


图 1-2 作物吸收的营养形态

① 物质是由分子组成的，分子是能独立存在并保持原物质一切化学性质的最小微粒，如尿素分子，水分子，糖分子等。分子又是由原子组成的，原子一般不保持原物质的性质。原子得到或失去电子而形成带电的微粒称离子，带正电荷的叫阳离子，如钾离子 (K^+) 等，带负电荷的叫阴离子，如氯离子 (Cl^-) 等。作物可以吸收分子态和离子态营养物质，而以吸收离子态营养物质为主。

钼离子 (Mo^{+})、钴离子 (Co^{+}) 等；阴离子有：硝酸根离子 (NO_3^-)、磷酸氢根离子 (H_2PO_4^- 、 HPO_4^{--})、硫酸根离子 (SO_4^{--})、硼酸根离子 (BO_3^{--})、氯离子 (Cl^-) 等。作物可以吸收的氮素主要是铵离子 (NH_4^+) 和硝酸根离子 (NO_3^-)。作物可以吸收的磷，主要是磷酸氢盐态磷，其中以磷酸二氢根离子 (H_2PO_4^-) 最易吸收，磷酸一氢根离子 (HPO_4^{--}) 次之，也能吸收偏磷酸离子 (PO_3^-) 和焦磷酸离子 ($\text{P}_2\text{O}_7^{--}$)。钾素主要以钾离子 (K^+) 状态进入作物体。

作物也吸收一些呈分子态的水溶性有机物，或作为养料，或用以促进新陈代谢机能。这些有机物有：醣类、氨基酸、酰胺、植素、尿素、腐植酸、生长激素、维生素、抗生素等。这些有机物多是植物合成的物质，所以，在腐熟粪肥、堆肥、泥炭、褐煤和有机质含量高的土壤中都有存在。在农业生产实践中，人们采用叶面喷施尿素的方法施肥，尿素就是以尿素分子态被作物叶片吸收的，在叶子里面和有机酸结合形成蛋白质。此外，果糖、葡萄糖、氨基酸、甘油磷酸酯、卵磷脂等分子态物质也可被作物根部吸收，而激素已比较广泛地用于刺激或抑制作物生长。

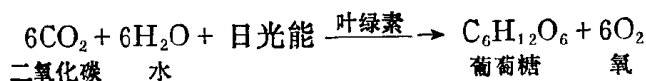
但是，有机营养物质，由于分子大，进入作物体的速度比较慢。目前，分子态的有机物作为作物养料的重要性，还没有象离子态养分那样明确。而且，有些有机物在土壤中会逐渐分解转化，例如尿素施入土壤后，就在适宜的水、热条件下，受到微生物的作用，变成铵离子 (NH_4^+) 或进一步变成硝酸根离子 (NO_3^-) 被作物吸收利用。

(三) 作物对养分吸收的过程 在作物所必需的营养元素中，碳和氧主要来自于空气；而氮、磷、钾、钙、镁以及微量元素等则来源于土壤。作物吸收养分是一个复杂的过

程。营养元素将分别通过（1）空气营养；（2）根部营养；（3）根外营养等几个过程进入作物体，并且不停顿地进行着转化，从而使作物生长壮大，发育成熟。

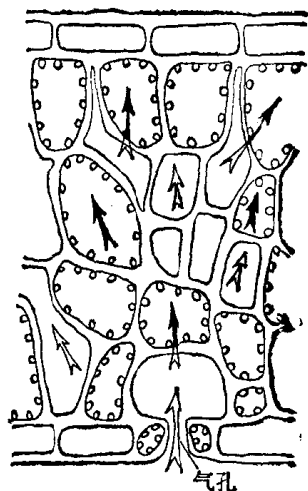
1. 空气营养——光合作用
空气中的二氧化碳（ CO_2 ）是作物进行光合作用的主要碳源。二氧化碳是由气孔进入叶片内部的。如图1-3。

叶片从空气中吸收二氧化碳的营养方式叫做空气营养。除叶片外，作物的根也从土壤中吸收二氧化碳、碳酸和碳酸盐类，其吸收量约占作物吸收的总碳量的20~25%。叶片和根部吸收的二氧化碳同根部吸收的水分，在叶片里面经过日光能和叶绿素的作用，生成碳水化合物（即含有碳、氢、氧三种元素的化合物），这个过程叫做光合作用。如图1-4所示。光合作用首先合成的是葡萄糖，可用下列简式表示：



葡萄糖是作物组成中最重要的原料。葡萄糖再经过合成作用生成纤维、淀粉、蛋白质、脂肪等人类生存所必需的作物产品。

空气中二氧化碳的浓度大约是0.03%。一般说来，二氧



（白箭头表示二氧化碳气体进入叶片，黑箭头表示二氧化碳已成溶解状态）

图 1-3 二氧化碳进入叶片的途径

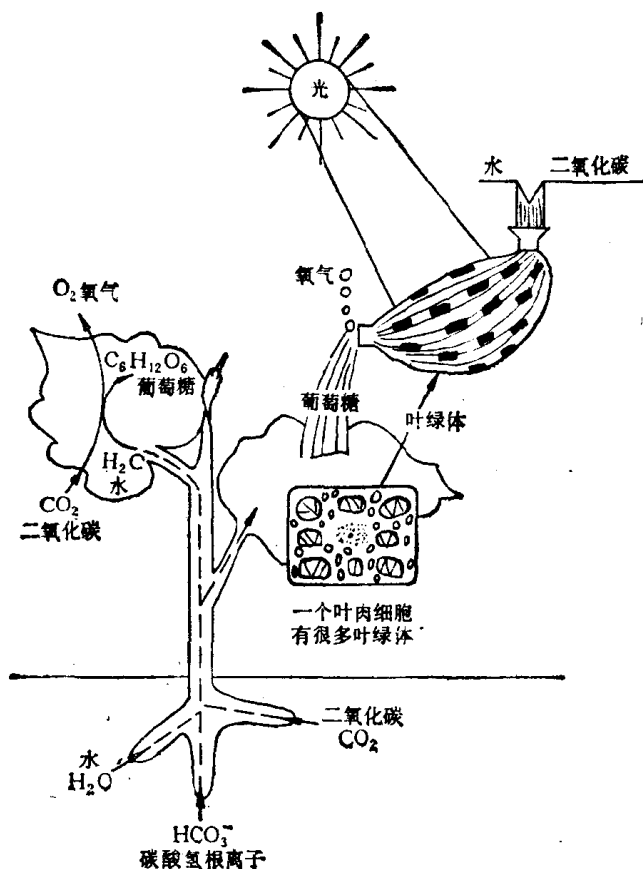


图 1-4 作物的空气营养——光合作用示意图

二氧化碳浓度越高，光合作用强度越大，所以适当增加空气中二氧化碳的浓度，可以提高作物光合作用的强度，合成更多的有机物，形成更多的作物产品。以水稻为例，它的光合作用强度与二氧化碳浓度的关系如图 1-5 所示。空气中二氧化碳的浓度在 0.05~0.15% 范围内，光合作用强度增加，超过 0.15%，光合作用就开始受到抑制。

在农业高产栽培中，特别是在温室栽培的情况下，进行二氧化碳施肥是很有成效的。此外，其他养料的正常供应，也能提高光合作用的强度。例如，当水稻叶中含氮量越高时，光合作用越强；磷、钾、镁、硫等也有类似趋势。有人指出：当水稻叶片中含氮(N) 2%，磷

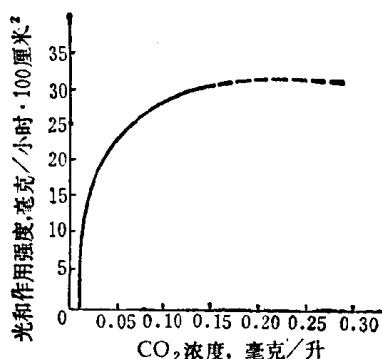


图 1-5 水稻光合作用的强度与二氧化碳浓度的关系

(P_2O_5) 0.5%，钾(K_2O) 1.5%，镁(MgO) 0.3%，钙(CaO) 0.2%时，就可以保证功能叶片光合作用的进行。

2. 根部营养——矿质营养 作物主要是通过根部吸收矿质营养元素的。矿质营养元素要成为溶解态或土壤胶体(土壤粘粒)吸附态，然后作物才能吸收。作物根部从土壤中吸收矿质养分的方式，有离子代换吸收和接触代换吸收。

(1) 离子代换吸收是作物根系对土壤矿质养分吸收的主要方式。如图 1-6 所示。根系对土壤胶体上的矿质养分的代换吸收过程，简述如下：作物根细胞的呼吸作用，发生二氧化碳(CO_2)和水(H_2O)的化学反应，在根的表面形成碳酸(H_2CO_3)，碳酸又离解为带正电荷的氢离子(H^+)和带负电荷的碳酸氢根离子(HCO_3^-)； H^+ 和 HCO_3^- 通过土壤溶液分别同土壤胶体上的同性离子进行交换， H^+ 与 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等阳离子交换； HCO_3^- 与 NO_3^- 、 $H_2PO_4^-$ 、 HPO_4^{--} 等阴离子交换。它们分别取代了 H^+ 或 HCO_3^- 的位置而被吸附在根表面。然后，第二步，吸附在根表面的离子与

细胞原生质作用形成化合物而进入根细胞，随后化合物即分解，于是吸附的物质进入原生质内部，并随同蒸腾的水流转移到作物的各个部位去。因为根细胞原生质也是一种胶体^①物质，而且是两性胶体。在一般情况下带负电荷，故根表面吸附的阳离子 H^+ 较多，所以，离子交换主要发生在氢离子 (H^+) 和土壤中的阳离子之间。

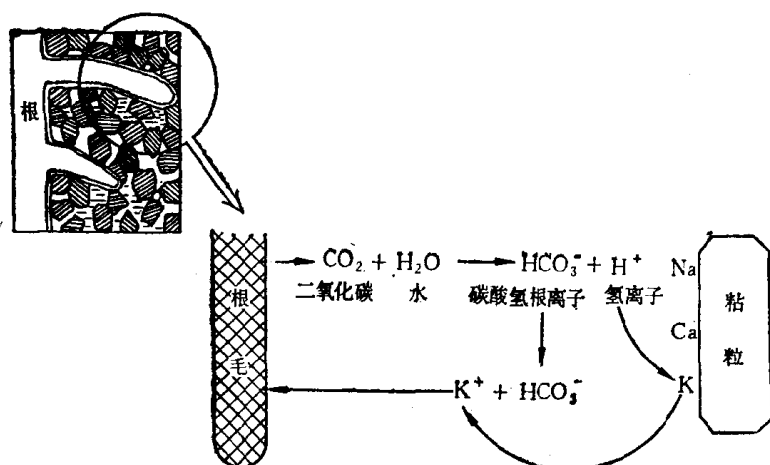


图 1-6 作物根对土壤养分的代换吸收

此外，作物根部也能分泌出柠檬酸、葡萄糖酸等有机酸，这些酸解离出有机酸根阴离子，与土壤中的阴离子（如硝酸根、磷酸根）进行离子交换吸收。

- ① 颗粒直径在 100 万分之一毫米到万分之一毫米之间的物体称为胶体。胶体通常不是单个分子，而是很多分子的聚集体。胶体溶于水叫做胶体溶液，例如硅酸溶液、肥皂水、鸡蛋蛋白的水溶液、腐植酸钠溶液、植物细胞的原生质液都是胶体溶液。胶体颗粒能吸附溶液中的离子，从而使颗粒带电。有些胶体吸附阳离子，因而带正电；有些胶体吸附阴离子，因而带负电。有些胶体有时带正电，有时带负电，称为两性胶体。

(2) 接触代换吸收。接触代换吸收必须在根尖与土粒紧密接触的情况下才能进行。见图1-7。当我们从田间拔出一株作物时，就可以看到根上，特别是幼嫩的根上粘着好多细土粒。在根系密切与土粒接触时，根表面的氢离子直接和土壤胶体表面吸附的阳离子进行交换，从而被作物根系吸收，这种吸收方式称为接触代换吸收。

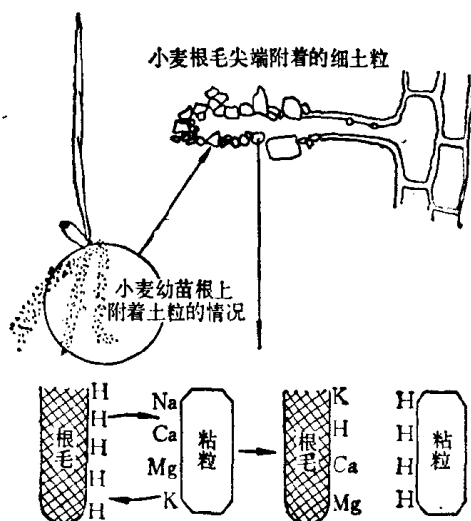


图 1-7 作物根系对土壤养分的接触代换吸收

3. 根外营养 作物除用根系吸收矿质养分外，茎、叶也能吸收矿质养料。叶部吸收矿质养料叫做根外营养。利用根外营养方法施肥叫做根外追肥。根外追肥用肥少，吸收快，避免某些养分的土壤固定或流失。作为一种及时补救根部吸收养料不足的辅助性施肥措施，已在农业生产中广泛应用。根外追肥时，矿质养分是通过叶片的角质层和气孔进入作物体内的。参看图1-8。根外追肥的效果和很多因素有关，例如：

①双子叶作物如棉花、甘薯、马铃薯、油菜等叶面积较大，角质层较薄，溶液容易渗透，而单子叶作物如稻、麦，叶面积较小，角质层厚，溶液渗透较为困难；②肥料的渗透性也有差异，如尿素比硫酸及其他形态的氮更易于渗入叶内；③溶液的反应对养分的进入也有影响，在酸性反应时吸收阴离子较多，中性至碱性反应时吸收阳离子较多，所以根外喷施的肥料溶液的养分状态，以阴离子为主时可调节溶液至酸性，以阳离子为主时可调节至中性或微碱性；④养分在湿润条件下才能进入叶片，所以要尽可能长时间保持叶面湿润；⑤当肥料溶液的浓度低于细胞质的浓度时，比较容易进入叶内。所以，为了使作物获得足够营养，肥料溶液的浓度应控制在适宜范围内，不宜过低或过高。

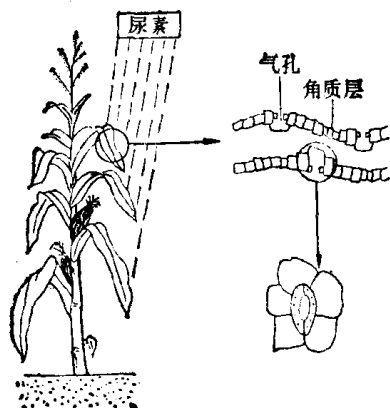


图 1-8 作物叶片对养分的吸收

此外，根外营养的效果同作物体内的代谢过程关系也很密切。根外追肥可以比较容易地调节作物体内有机物的合成和分解过程。例如，块根块茎作物喷施磷、钾、硼肥，有利于叶部碳水化合物的合成，水解并送到贮藏器官中积累起来，所以喷施磷钾，在淀粉积累时期效果很好。棉花花铃期喷磷，能减少蕾铃脱落。豆类作物花期喷硼，促进花粉萌发，保证花粉迅速进入子房形成种子。某些作物要求维持其幼嫩状态更长一些时间，喷施氮肥，可以达到这一目的。