

农产品安全丛书

# 科学施肥

**KEXUE SHIFEI**

杨玲玲 编著



**西南财经大学出版社**  
Southwestern University of Finance & Economics Press

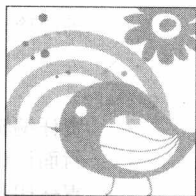
ISBN 978-7-5512-0118-1

西南财经大学出版社

# 科学施肥

## KEXUE SHIFEI

杨玲玲 编著



西南财经大学出版社  
Southwestern University of Finance & Economics Press

## 图书在版编目(CIP)数据

科学施肥/杨玲玲编著. —成都:西南财经大学出版社,2009.7  
ISBN 978-7-81138-307-2

I. 科… II. 杨… III. 施肥—基本知识 IV. S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 175571 号

## 科学施肥

杨玲玲 编著

责任编辑:熊永根 魏 佳 邓克虎  
封面设计:穆志坚 杨红鹰  
责任印制:封俊川

出版发行:	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街 55 号)
网 址:	<a href="http://www.bookcj.com">http://www.bookcj.com</a>
电子邮件:	bookcj@foxmail.com
邮政编码:	610074
电 话:	028-87353785 87352368
印 刷:	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸:	148mm × 210mm
印 张:	5.375
字 数:	144 千字
版 次:	2009 年 7 月第 1 版
印 次:	2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数:	1—5000 册
书 号:	ISBN 978-7-81138-307-2
定 价:	15.80 元

1. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。
2. 版权所有,翻印必究。



# 目 录

---

## 第一章 概述 \ 1

- 第一节 植物营养 \ 1
- 第二节 植物对养分的吸收 \ 5
- 第三节 影响植物吸收养分的环境条件 \ 12
- 第四节 养分的平衡及相互关系 \ 20

## 第二章 肥料的相关知识 \ 22

- 第一节 肥料的基本知识 \ 22
- 第二节 氮肥的相关知识 \ 26
- 第三节 磷肥的相关知识 \ 34
- 第四节 钾肥的相关知识 \ 45

## 第三章 科学施肥的含义 \ 54

- 第一节 科学施肥的含义 \ 54
- 第二节 普及科学施肥是当务之急 \ 57
- 第三节 不平衡施肥的危害 \ 60

## 第四章 纤维和糖料作物的科学施肥 \ 61

- 第一节 棉花作物的科学施肥 \ 61



第二节 麻类作物的科学施肥 \ 65

第三节 甘蔗的科学施肥 \ 66

第四节 甜菜的科学施肥 \ 70

## 第五章 农作物的科学施肥 \ 76

第一节 小麦的科学施肥 \ 76

第二节 水稻的科学施肥 \ 78

第三节 玉米的科学施肥 \ 80

第四节 谷类作物的科学施肥 \ 84

第五节 高粱的科学施肥 \ 85

第六节 甘薯的科学施肥 \ 87

## 第六章 果树和蔬菜的科学施肥 \ 90

第一节 果树的科学施肥 \ 90

第二节 猕猴桃的科学施肥 \ 92

第三节 葡萄的科学施肥 \ 93

第四节 蔬菜的科学施肥 \ 97

2 第五节 科学施肥与蔬菜质量安全 \ 103

## 第七章 油料作物的科学施肥 \ 108

- 第一节 大豆的科学施肥 \ 108
- 第二节 油菜的科学施肥 \ 111
- 第三节 花生的科学施肥 \ 117
- 第四节 芝麻的科学施肥 \ 120

## 第八章 花类和树类的科学施肥 \ 122

- 第一节 养花的科学施肥 \ 122
- 第二节 兰花的科学施肥 \ 124
- 第三节 大花蕙兰的科学施肥 \ 130
- 第四节 果花的科学施肥 \ 132
- 第五节 速生桉的科学施肥 \ 134

## 第九章 科学施肥的问题及展望 \ 139

- 第一节 树立危机意识, 推进科学施肥 \ 139
- 第二节 无公害农产品生产如何实施科学施肥 \ 142
- 第三节 科学施肥的基本原理和全新途径 \ 146
- 第四节 适量添加微量元素, 促进科学合理施肥 \ 150
- 第五节 科学施肥初探 \ 153

## 参考文献 \ 162



# 第一章 概述

---

## 第一节 植物营养

### 一、植物营养的基本概念

#### 1. 植物生长发育必需的营养元素

##### (1) 确定必需营养元素的三条标准

必要性：缺少这种元素植物就不能完成其生命周期。

不可替代性：缺少这种元素，植物会出现特有的症状，而其他元素均不能代替其作用，只有补充这种元素后，症状才会减轻或消失。

直接性：这种元素是直接参与植物的新陈代谢，对植物起直接的营养作用，而不是起改善环境的间接作用。

具体的必需营养元素参照表 1—1。



表 1-1 植物可利用的必需营养元素表

元素	植物可利用形态	主要来源	干物质中含量 (%)		
			百分率%	μg/g	
大量 营养 元素	碳 (C)	CO <sub>2</sub>	空气	45	150 000
	氢 (H)	H <sub>2</sub> O、H <sub>2</sub>	空气	45	450 000
	氧 (O)	H <sub>2</sub> O	水	6	60 000
	氮 (N)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	土壤	1.5	15 000
	磷 (P)	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> 、HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	土壤	1.0	10 000
	钾 (K)	K <sup>+</sup>	土壤	0.5	5000
	钙 (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	土壤	0.2	2000
	镁 (Mg)	Mg <sup>2+</sup>	土壤	0.2	2000
微量 营养 元素	硫 (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	土壤	0.1	1000
	铁 (Fe)	Fe <sup>2+</sup> 、Fe <sup>3+</sup>	土壤	0.01	100
	锰 (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	土壤	0.01	100
	锌 (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	土壤	0.005	50
	铜 (Cu)	Cu <sup>2+</sup>	土壤	0.002	20
	钼 (Mo)	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、HMoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	土壤	0.002	- 20
	硼 (B)	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	土壤	0.000 6	6
氯 (Cl)	Cl <sup>-</sup>	土壤	0.000 01	0.1	

(2) 必需营养元素的分组

一般以元素含量占干物质重量的 0.1% 为界线, 把必需营养元素分为大量营养元素和微量营养元素。大量营养元素含量占干物重的 0.1% 以上, 包括 C、H、O、N、P、K、Ca、Mg、S 九种; 微量营养元素含量一般在 0.1% 以下, 包括 Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、B、Cl 七种。

(3) 必需营养元素的来源

碳 (C) 来自空气中的二氧化碳, 氢 (H) 来自空气中的水



和氢气，氧（O）来自水，其他的必需营养元素几乎全部是来自土壤。由此可见，土壤不仅是植物生长的介质，而且也是植物所需矿质养分的主要供给者。

## 2. 肥料的三要素

植物对氮、磷、钾的需求量较大，但是土壤中含有的能被植物吸收的有效量较少；同时，以根茬归还给土壤的各种养分中，氮、磷、钾是归还比例最小的元素，一般不足 10%。因此，氮、磷、钾元素需要以肥料的形式补充给土壤。通常，我们把氮、磷、钾称为肥料的三要素，而把氮、磷、钾肥料称之为三要素肥料。

我们在科学施肥的时候一定要注意均衡施肥，要认识到植物需要的 16 种营养元素对植物的生长具有同等重要的地位，是具有不可替代性的有益元素。

非必需营养元素中一些特定的元素，对特定植物的生长发育有益，或为某些种类植物所必需，这些元素为有益元素。例如，硅（Si）、钠（Na）、钴（Co）、硒（Se）、镍（Ni）。

硅——水稻和禾本科植物必需；钴——豆科植物必需；钠——藜科植物生长所需。

## 3. 营养元素的主要任务

营养元素的主要任务：以植物营养原理为理论基础，以施肥、改良植物遗传特性为手段，达到高产、优质、高效，提高土壤肥力，减少肥料对环境的污染的目的。

## 二、植物营养的共性和个性

共性：高等植物生长发育必需 16 种营养元素，这些营养元素是所有高等植物生活所必需的。

个性：虽然各种植物都需要以上各种营养元素，但它们都有不同之处。具体差异为：

- (1) 不同的植物；
- (2) 同种植物在不同的生育期，所需的养分也是不同的；



(3) 个别植物还需要特殊的养分, 例如, 水稻需要 Si; 块茎、块根类植物需要较多 K; 油菜能很好地利用磷矿粉中的 P, 而小麦利用能力就很弱; 粳稻比籼稻需要的养分多, 杂交水稻根系发达, 吸收养分能力强; 水稻在营养生长期适于  $\text{NH}_4\text{—N}$ , 到生殖生长期则适于  $\text{NO}_3\text{—N}$ 。

### 三、植物营养的阶段性的

植物从种子到种子的一世代间, 一般要经历不同生育阶段。在这些阶段中, 除前期种子自体营养阶段和后期根部停止吸收养分阶段外, 在其他生育阶段都要通过根系从土壤中吸收养分。植物的生长期是指从播撒种子到植株成熟的过程。虽然植物的代谢过程是在整个生长期进行的, 但从外界吸收养分的时期并不是整个生长期。植物的营养期是指开始从外界吸收养分到停止从外界吸收养分的时期。一般生长期长, 营养期也长。营养期短的作物以基肥为主, 并早施追肥; 营养期长的作物, 追肥的比例应当提高, 分次施用, 且以基肥辅助, 适当地施用缓效性肥料。

植物营养期中对养分的要求有两个极其重要的时期, 如能及时满足这两个时期对养分的需求, 就能显著地提高产量, 改善品质。

#### 1. 植物营养临界期

植物营养临界期是植物对养分浓度比较敏感的时期, 多为植物生长的前期。这一时期对养分需要的绝对数量并不太多, 但很迫切; 如果此时营养元素缺乏或过多或元素间不平衡, 都对植物的生长发育和产量会产生很大的影响, 且后期难以弥补和纠正。例如, 磷的营养临界期在苗期, 玉米在出苗后一周, 棉花在出苗后 10~20 天; 小麦磷素在分蘖始期; 氮的临界期比磷稍后一些, 一般在营养生长到生殖生长过渡时期; 小麦的临界期在分蘖和幼穗分化两个时期, 玉米的临界期在幼穗。

#### 2. 植物营养最大效率期

植物营养最大效率期是指养分需要量最多, 且施肥能获得最

大效应的时期。植物营养最大效率期往往在植物生长最旺盛的时期，此时植物吸收养分的绝对数量和相对数量最多，如能及时满足此时期作物对养分的需要，增产效果极为显著。植物营养最大效率期的施肥是以追肥的方式施入的。

## 第二节 植物对养分的吸收

植物主要通过根部吸收养分，但也可以通过叶部吸收。无论根部还是叶部吸收，养分都要通过原生质膜。原生质膜是包围在原生质体表面的一层具有选择性的透性膜，它和其他生物膜一样，在养分吸收上有以下五个特点：

(1) 在膜上存在不同的酶系统，所以各细胞器执行着不同的代谢功能。

(2) 膜是由脂类物质、蛋白质和水分子共同组成的，所以水分子可以自由通过，一些脂溶性化合物也能透过。

(3) 膜中层的类脂（磷脂）是双分子层，起着细胞膜透性的屏障作用，离子态养料吸收后不易向细胞外扩散。

(4) 在膜上的类脂是一层有序的流体，称为液晶态。类脂处于液晶时，离子和小分子可以自由通过，处于凝胶状态时不能通过。

(5) 膜上有各种蛋白质和酶，某些透过酶是养分离子或分子透过膜的载体。

### 一、根对无机养分的吸收

根系吸收的养分主要是溶解在土壤溶液中的无机离子，如  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  等，还有少量的有机分子，如氨基酸、糖类、植物素等。

根系对养分的吸收有主动吸收和被动吸收两种方式。



## (一) 土壤中养分的迁移

### 1. 质流

定义：由于植物的蒸腾作用，根系吸水消耗根表土壤里的水分，引起土体中的水分携带养分离子由土体向根表迁移的过程。

特点：质流方式迁移养分的距离较长，是土壤养分向根表移动，特别是土体中长距离养分迁移的主要方式。 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 等养分离子主要是以质流方式向根表迁移。

影响因素：受作物蒸腾量和土壤溶液的养分浓度的影响。一般来说，作物蒸腾量大、土壤溶液的养分浓度高，养分以质流的方式迁移的量就大。

### 2. 扩散

定义：由于根系吸收养分，使根表附近的养分与土体养分存在养分离子的浓度差而引起土壤养分离子由高浓度向低浓度迁移。

特点：养分离子迁移的距离较短。阴离子扩散较快（磷酸根除外），阳离子扩散较慢（阳离子易被土壤胶体吸附）。50%以上的磷钾离子以扩散方式到达根表。

影响因素：离子的种类、土壤养分离子浓度、土壤含水量、根系活性等因素影响养分扩散。

### 3. 截获

定义：根系在土壤中伸长并与土壤紧密接触，使根系释放的 $\text{H}^+$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 与土壤胶体的阴阳离子直接交换而到达根表而被吸收。

特点：一般根系表面积仅为土体中的1%~3%，所以靠截获吸收的养分仅占总养分吸收量的0.2%~10%。氮占7%、磷占24%、钾占7%，而钙和镁都是通过截获吸收得较多。

影响因素：截获量的多少取决于根系的阳离子代换量。

## (二) 被动吸收

被动吸收：被动吸收是离子顺电化学势梯度进行的扩散运动。这一过程不需要能量，也没有选择性，养分离子由浓度高和

电位高的根际土壤扩散到根系。

自由空间：自由空间是指根部某些组织或细胞允许外部溶液中的离子自由扩散进入的区域。内皮层凯氏带是溶质迁移至中柱的真正障碍。内皮层以外的自由空间包括表皮、皮层薄壁细胞的细胞壁、中胶层和细胞间隙；内皮层以内的自由空间包括中柱各部分的细胞壁、细胞间隙和导管。在内外两个自由空间之间，离子和水分均不能自由扩散。

由于细胞壁的主要成分是果胶酸，解离后带负电荷，进入的阳离子多而阴离子少。因而，根自由空间中离子存在形态至少有两种：其一是可以自由扩散出入的离子，其二是受细胞壁上多种电荷束缚的离子。前者主要处在根细胞的大孔隙，后者则处在“杜南自由空间”（DFS）。在自由空间的离子不断扩散，紧靠着细胞膜的离子以交换吸附方式吸附在细胞膜上。细胞膜多以蛋白质和磷脂为主，带负电荷，由此吸附进来的阳离子除了交换外，不容易扩散，多集中在“杜南自由空间”，阴离子集中在水分空间。由此可见，根部自由空间有较强的贮存养分的能力。进入“杜南自由空间”的养分离子通过与细胞膜上的阳离子的交换，养分可以进入细胞膜内，但必须是顺浓度差进入，这种方式称杜南扩散。

被动吸收的另一种方式就是离子交换，一是根系与土壤溶液之间的离子交换，二是根系表面与黏粒表面间的离子交换。

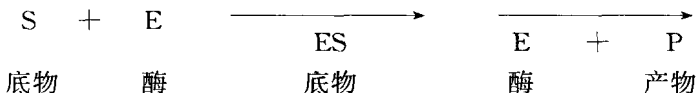
### （三）主动吸收

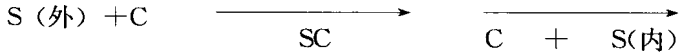
定义：主动吸收是植物细胞逆电势梯度进行的选择性吸收。

关于主动吸收有两种假说：载体学说和离子泵—ATP酶。

#### 1. 载体学说

当离子跨膜运输时，离子首先要结合在膜蛋白（即载体）上，其结合过程与底物和酶结合的原理相同。





离子 载体 离子—载体 载体 离子

载体学说以酶动力学为依据。应用 Michaelis—Menten 方程可求出：

$$V = V_{\max} \cdot S / (K_m + S)$$

式中：V——吸收速率；

$V_{\max}$ ——载体饱和时的最大吸收速率；

$K_m$ ——离子—载体在膜内的解离常数，相当于酶促反应的米氏常数；

S——膜外离子浓度。

当  $V = 1/2 V_{\max}$  时， $K_m = S$ 。

根据根系吸收离子的培养实验，用图解法可求得  $K_m$  值。

在外界离子浓度很低，离子被完全消耗之前，净吸收停止。此时外界离子浓度称为最小浓度，以  $C_{\min}$  表示。Barber 对 Michaelis—Menten 方程进行了修正，提出目前广泛使用的离子吸收动力学方程。离子流入量 ( $I_n$ ) 计算公式如下：

$$I_n = V_{\max} (C - C_{\min}) / [K_m + (C - C_{\min})]$$

$C_{\min}$  是植物从土壤吸收离子的重要因素，决定着离子在根际的扩散梯度。

载体学说能够很好地从理论上解释关于离子吸收中的三个基本问题：一是离子的选择性吸收问题，二是离子怎么样通过质膜以及在膜上的转移，三是离子吸收与代谢的关系。

## 2. 离子泵—ATP 酶

离子泵是存在于细胞膜上的一种蛋白质，在有能量供应时可使离子在细胞膜上逆电化学势梯度主动地吸收。

高等植物细胞膜产生负电位的质子 ( $H^+$ ) 泵主要是结合在质膜上的 ATP 酶。ATP 酶的水解产生大量质子并泵出细胞质。与此同时，阳离子可反向运入细胞质，这种运输方式称为逆向运

输。质子泵维持的电位梯度为阳离子跨膜间运输提供了驱动力，而原生质膜上的载体则控制着阳离子运输的速率和选择性。阴离子也能与质子协同运输。在液泡膜上还存在着另一个 ATP 驱动的质子泵，可能与阴离子向液泡内的运输相偶联。两类 ATP 驱动的质子泵不仅所在位置不同（原生质膜和液泡膜），而且对阴、阳离子的敏感程度也不同。 $H^+$ -ATP 酶能被一价阳离子激活，其激活力顺序为  $K^+ > NH_4^+ > Na^+$ ，对阴离子较不敏感；液泡膜  $H^+$ -ATP 酶对一价阳离子很不敏感，但大多数阴离子，尤其是氯化物对它有激活作用。

对物质的跨膜运输来说，一般的营养物质，尤其是离子，运输的主要驱动力是引起跨膜电位梯度的  $H^+$ -ATP 酶。离子吸收与酶活性之间有很好的相关性。阴、阳离子的运输是一种梯度依赖型的或偶联式的运输。

## 二、根对有机养分的吸收

植物根系不仅能吸收无机养分，也能吸收有机养分。如水稻幼苗可直接吸收氨基酸和酚胺，大麦能吸收赖氨酸，玉米能吸收干氨酸等。

一般来说，植物所能吸收的有机态养分只能是少量的有机态分子，如氨基酸、糖类、磷脂类、生长素和维生素等小分子有机化合物，不是所有的有机养分都能被根系吸收。

根系对有机态养分的吸收不同于离子态养分。分子态养分不带电荷，比离子透入更快，但必须经过细胞膜上大小不等的微孔才能透过。一般来说，脂溶性化合物容易透过膜，其特点有：一是脂溶性愈强，愈容易透过（脂质假说）；二是小分子容易透过膜，大分子较难透过膜，即使是脂溶性分子也不容易透过（分子筛假说）。

除了上述被动吸收外，还有主动吸收现象。载体学说认为，有机养分的吸收是以细胞膜上的透过酶作为载体，将养分运入细胞膜内，需要消耗能量，并且具有选择性。植物对大分子有机养



分的吸收可能是“胞饮作用”。细胞进行“胞饮”时，原生质先内陷，把许多大分子的有机养分包裹起来形成胞饮体小囊泡，小囊泡然后逐渐向细胞内部移动，再进入细胞质中，最后胞饮体小囊泡破坏解体，有机养分进入细胞质中。胞饮作用是一种需要能量过程，在植物细胞内不经常发生，只是在特殊情况下，如大分子有机养分，植物细胞才发生“胞饮作用”。

### 三、根外营养（叶部吸收）

根外营养是矿质养分以气态（如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$  等）或水溶液形式，通过气孔和角质层进入茎、叶的一种途径。叶片角质层和气孔是叶片吸收养分的部位。叶片角质层的厚薄及气孔的多少将影响进入细胞养分的多少和快慢。

#### （一）根外营养的机制

水生植物的叶片是吸收矿质养分的部位，而陆生植物因叶表皮细胞的外壁上覆盖蜡质及角质层，对矿质元素的吸收有明显障碍。角质层有微细孔道，也叫外质连丝，是叶片吸收养分的通道。

#### （二）根外营养的特点

根外吸收营养的优点有：一是根部直接供给养分，防止养分（如 P、Fe、Mn、Cu、Zn 等）在土壤中固定和转化，肥料的利用率较高；二是根外吸收的见效快，叶部营养对养分吸收比根部快，能及时满足植物需要；三是可以节省肥料，提高经济效益，叶部喷施一般为土壤施肥量的 10%~20%。四是根外营养有利于植物生长后期追肥，特别是在拔苗时期，植物对营养的需求量突然猛增，根外供给营养尤其重要；五是能够促进根系的生长，根系的繁茂对营养的吸收能力很重要；六是适用于盐渍化地区和微肥环境的施用。

但是叶面施肥也有一定的局限性，具体体现在以下几个方面：①肥效短暂，每次施用养分总量有限，又易从疏水表面流失或被雨水淋洗；②有些养分元素（如钙）从叶片的吸收部位向植



物其他部位转移相当困难，喷施的效果不一定好；③受天气影响，下雨、刮风时不能使用，在时间上具有一定的限制；④费工、费时，叶面施肥要求很多，所以在具体的运用过程中要格外小心。

所以，植物的根外营养是不能完全代替根部营养的，它仅仅是一种辅助的施肥方式，只在一些特殊的情况下能够取得很好的效果，解决特殊的植物营养需求问题。

### （三）影响根外营养吸收的条件

#### 1. 营养液的组成

##### （1）不同植物对养分的需求不同

忌氯作物忌施含  $\text{Cl}^-$  的肥料；含有较多  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  的作物，多施用磷钾肥以促进糖的合成和运转；禾谷类作物后期喷磷能促进作物的早熟。

##### （2）不同养分的吸收速率不同

$\text{KCl} > \text{KNO}_3 > \text{KH}_2\text{PO}_4$ ；无机盐  $>$  有机盐；尿素  $>$  硝酸盐  $>$  铵盐。

#### 2. 营养液的浓度

在一定浓度范围内，矿质养分进入叶片的速率和数量随浓度的提高而增加，但浓度过高会灼伤叶片。因此，在不受肥害的前提下，适当提高喷施的浓度，能提高叶部营养的效果。不同植物其适宜浓度不同，如禾本科植物喷施尿素浓度为 2.0%，蔬菜仅为 0.2%~0.3%；一般大量元素浓度为 0.5%~2%，微量元素浓度为 0.02%~0.5%；幼龄叶片浓度要稀一些，成熟叶片浓度可大一些。

#### 3. 营养液的 pH 值

原生质是两性胶体，叶片在酸性条件下吸收阴离子多，在碱性条件下吸收阳离子多。因此，若主要供应阳离子时，喷施液调整到微碱性；若主要供应阴离子时，喷施液调整到微酸性。但需要注意，喷施液不要过酸或过碱，以免灼伤叶片。

#### 4. 叶片性质与养分吸收