

# 肥料及其使用

农化服务工作者袖珍手册

第四版

联合国粮农组织  
国际肥料工业协会 主编

唐朝友 译

沈 兵 校  
高祥照

本书所涉及的名称和材料不代表联合国粮农组织对任何国家、领土、城市、或地区、或其当局、或其边界的表态和意见

肥料及其使用，1965年由联合国粮农组织于罗马第一次出版。修订后的第四版由联合国粮农组织和世界肥料工业协会于2000年在罗马联合出版。

世界肥料工业协会

法国巴黎，Marbeuf路28号

电话：00 33 1 53930500

传真：00 33 1 53930545/546/547

电子邮件：[publication@fertilizer.org](mailto:publication@fertilizer.org)

网址：<http://www.fertilizer.org>

版权所有。无事前许可，本书的任何部分都不得以任何形式和方法转抄，复印或存储。有关这一许可的申请，包括目的和使用的内容，应提交联合国粮农组织信息部。地址：Viale delle Terme di Caracalla, 001000, Rome, Italy.

# 前 言

本工作手册最初是为在联合国粮农组织肥料项目上工作的农化服务官员编写的。第一版于 1965 年发行。第三版于 1978 年发行，1986 再版。

在 2000 年最新版本中，1978 年版中的很多内容被完全修改，代之以最先进的技术和知识。本手册介绍农作物对矿质肥料的需求和肥料对农作物生长的作用，以及与肥料使用相关的土壤特征。在这次新版时增加了有关作物一般性推荐施肥一节。

“怎样确定肥料需求量”一章介绍植物缺素症状，土壤和植物测试诊断知识。本手册利用一章的篇幅阐述和推荐田间肥料示范的作业方法。

有关作物推荐施肥的资料主要取材于国际肥料工业协会 1992 年出版的“世界肥料使用手册”一书。该书对肥料的使用知识有更详细的介绍。需要者可以向总部设在巴黎的国际肥料工业协会\*索取。即使是该手册中比较完善的推荐施肥资料，也需要使用者经常参照官方根据当地作物和土壤制定的推荐施肥资料对其进行修改。

---

\* “世界肥料使用手册”，国际肥料工业协会 1992 年出版，632 页。  
网址：<http://www.fertilizer.org>（也可以索取 CD 版本）。

# 目 录

一	引言 .....	( 1 )
二	为什么需要肥料 .....	( 1 )
	肥料提高作物产量 .....	( 2 )
	有机肥料提高矿质肥料的肥效 .....	( 4 )
三	养分在作物生长中的作用及其来源 .....	( 5 )
	作物生长所需的养分 .....	( 5 )
	养分的作用 .....	( 6 )
	光合作用 .....	( 9 )
四	土壤 .....	( 11 )
	什么是土壤? .....	( 11 )
	土壤的成分, 质地和结构 .....	( 12 )
	土壤如何保持和释放养分 .....	( 13 )
	土壤生物体 .....	( 15 )
	根瘤生物/生物固氮/绿肥/菌根 .....	( 16 )
	土壤酸碱性 and 石灰的施用 .....	( 18 )
	土壤和科学种田 .....	( 19 )
五	按作物需求制定的推荐施肥 .....	( 20 )
六	平衡施肥的重要意义 .....	( 26 )

---

七	肥料，肥料的外观、质量和标识 .....	( 29 )
	什么是肥料? .....	( 29 )
	肥料的种类 .....	( 31 )
	缓释肥料/硝化抑制剂和脲酶抑制剂 .....	( 37 )
八	肥料用量的计算 .....	( 38 )
九	施肥方式 .....	( 42 )
	撒施 .....	( 43 )
	条(穴)施 .....	( 43 )
	追施 .....	( 44 )
	侧施 .....	( 44 )
	叶面喷施 .....	( 44 )
十	怎样确定肥料的需求量 .....	( 45 )
	植物缺素症 .....	( 45 )
	土壤分析 .....	( 49 )
	植物分析 .....	( 52 )
	肥料田间试验 .....	( 53 )
	长期田间试验 .....	( 54 )
十一	限制作物产量的其它因素 .....	( 54 )
十二	农化服务工作 .....	( 57 )
	肥料试验示范的实施方法 .....	( 58 )
	确定示范小区的面积 .....	( 60 )
	计算每块小区的肥料施用量 .....	( 61 )
	在小面积示范小区上撒施肥料 .....	( 62 )

---

评价肥料示范的结果 .....	( 63 )
召开观摩大会 .....	( 65 )
十三 结束语 .....	( 66 )
附录：单位换算表 .....	( 68 )
注释 .....	( 70 )

## 图 示 目 录

1. 1930 ~ 1998 年间美国农作物的产量 ..... ( 3 )
2. 在施肥与未施肥两种情况下作物的扎根深度  
..... ( 4 )
3. 常见的植物元素成分 ..... ( 6 )
4. 植物通过阳光、空气、水和土壤中的养分  
制造糖分 ..... ( 10 )
5. 要获取可能的最高产量，必须不存在限制  
作物生长的养分 ..... ( 10 )
6. 平衡施肥对作物产量的影响—巴基斯坦 ..... ( 28 )
7. 肥料生产流程图 ..... ( 29 )
8. 与不同土壤检测结果相对照的养分来源 ..... ( 49 )
9. 土壤取样 ..... ( 51 )
10. 植物保护的重要性 ..... ( 56 )
11. 有一个对比小区和两个不同氮肥用量小区的  
简单实验方案举例 ..... ( 61 )
12. 在小块示范田上撒施肥料的正确方法 ..... ( 63 )

## 表 格 目 录

1. 作物移出的养分 ..... ( 20 )
2. 一些重要的肥料 ..... ( 32 )
3. 多养分肥料——肥料养分的范围 ..... ( 35 )
4. 重要的微量养分肥料 ..... ( 37 )



# 一 引 言

作为农业技术推广工作者，你是你们乡镇的带头人。农民经常找你咨询一些问题，向你学习更好的农业生产技术。你给他们讲的越正确，他们对你就越信任。通过阅读本手册，你可以学习到教农民正确使用肥料的必要知识。同时，本手册也旨在告诉读者，在以提高农作物产量和增加农民收入为目的的科学种田实践中，肥料的施用技术是必不可少的一部分。

肥料为作物提供生长所需要的养分。通过施肥，你可以生产出更多的质量更好的粮食和经济作物。通过施肥，由于过度耕作造成的低肥力土壤的肥力可以得到改善。所有这些都提高你所在的乡镇，乃至你的国家人民的生活水平。

## 二 为什么需要肥料 (提高产量和增加农业收入)

根据世界银行的预测，到2020年，世界人口将从1999年的60亿增加到70亿。你可能就生活在人口增长速度最高或人口绝对增长数最大的非洲或南亚国家中。那么，你会亲身体会到人口增长后果：每个人

都要有地方住，都要有衣服穿。更严重的是，每个人都要有饭吃。这一必须增长的粮食产量的 90% 要从已开发的耕地上获取。据世界粮农组织估测，在 1995 年到 1997 年间，在发展中国家有大约 7 亿 9 千万人吃不饱饭。最近几年，这一数字以每年平均大约 800 万人的速度下降。如果这一步伐不再加快，到 2015 年，仍然会有 6 亿人挨饿。

在发展中国家，绝大多数从事农业生产的农民的生产规模都很小。他们是农村中的贫困阶层。介绍和引进先进的农业生产制度和生产技术对他们尤其重要，因为提高生产力不但能够生产更多的粮食，而且能增加农民的收入。

总而言之，农业生产活动有两个目的：

1. 向自己国家（也向其它国家）增加的人口提供必需增加的粮食和纤维。

2. 让农民及其家庭获得满意的收入。

由于许多其它重要因素的相互影响，很难准确地估算出矿质肥料对农业生产的贡献到底有多大。然而，不管将来出现什么样的新技术，肥料都将继续在农业生产中起决定性作用。据估测，90 年代中期全球食用蛋白供应总量的 40%（37% ~ 43%）左右来自于采用哈波——勃茨合成氨工艺生产的合成氨<sup>1</sup>。

## 肥料提高作物产量

作物可以从空气和土壤中吸取所需的养分。本书只涉及从土壤中吸收养分。如果土壤中的养分供应很

充足，作物就会生长得很好并获得高产。然而，哪怕只缺乏一个所需养分，作物的生长就会受到限制，从而减产。因此，为了获得高产，就需要通过施肥向作物提供土壤缺乏的养分。正确施肥可以将作物的产量提高一倍，甚至两倍。在过去的 25 年间，联合国粮农组织肥料项目在世界上 40 多个国家农民的土地上进行的上万次肥料示范和试验表明，以最好的施肥措施种植的小麦，其加权平均增产幅度为大约 60%。当然，根据地域（如由于缺水），作物和国家的差异，产量的增加有很大不同。

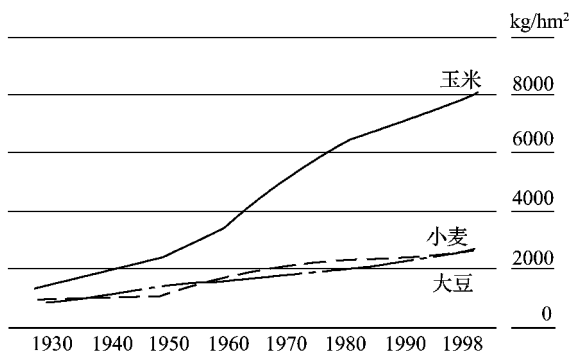
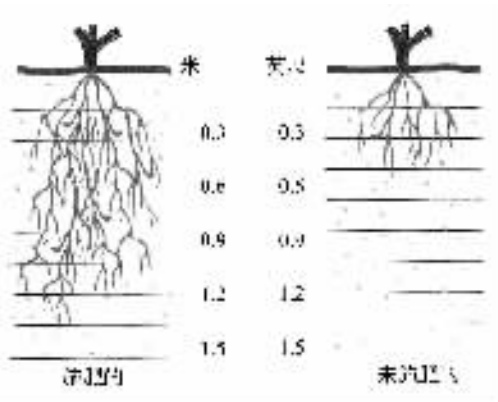


图 1 1930 ~ 1998 年间美国农作物的产量

在相邻的田块上施用不同养分的肥料，并在收获时计量和比较作物的产量，可以很容易地试验出肥料在特定土壤上的肥效和产量反应（见第十二章）。通过这种试验，我们还可以看到施肥的另一个重要的作用，即肥料可以保证最有效地利用土地和水。在降雨量不足或必须对作物进行灌溉的地方，这一点非常重要。在这种情况下，以单位耗水量计算的作物产量可以增

长一倍以上，作物的根系深度也会增加（见图2）。



在肥力低的土壤上肥料增加扎根深度

图2 在施肥与未施肥两种情况下作物的扎根深度

## 有机肥料提高矿质肥料的肥效

在考虑施用矿质肥料前，首先要充分利用所有可以向作物提供养分的其它肥源，如：牛粪、猪粪、鸡粪、蔬菜废弃物、稻草、玉米秸秆和其它有机物。这些肥料必须经过很好的堆放和发酵分解后才可以施入到土壤里。在当年收获的有机物（如玉米秸秆、稻草）分解过程中，从土壤中吸收的养分，特别是氮素，将暂时被固定，不会被下一季作物利用。

虽然有机肥料中的养分含量很低并且含量差别很大，但是，由于有机物能够普遍地改善土壤条件，是十分有价值的。有机质能够改善土壤结构，减少土壤侵蚀，对土壤温度有调解作用，并且能帮助土壤保持

更多的水分，它能够有效地提高土壤肥力。另外，有机质还是土壤生物必需的营养来源。

有机肥料通常是成功使用矿质肥料的基础。由于有机肥料/有机质能够改善土壤的特性，而矿质肥料能够向作物提供所需的养分，有机肥料/有机质和矿质肥料相结合，（作物的综合养分系统）可以为作物提供十分理想的生长环境。

但是，光靠有机肥料/有机质（供应量通常不会很大）是无法达到农民期望的产量，必须还要施用矿质肥料。即使是在那些充分利用有机废弃物并且施用有机质的国家，矿质肥料的用量也在稳步增长。

### 三 养分在作物生长中的作用及其来源

#### 作物生长所需的养分

绝大多数作物生长必需的元素有 16 种，它们主要来源于周围的空气和土壤。土壤溶液是养分传输的介质。

下面是各种元素的来源：

（1）从空气中获得：碳（C），以二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）的形式。

（2）从水中获得：氢（H）和氧（O），以水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）的形式。

(3) 从土壤，矿质肥料和厩肥中获得：

氮 (N) ——豆科植物借助于根瘤菌从空气中固定氮 (见第四章，根瘤作物/生物固氮/绿肥/菌根；磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、硼 (B)、钼 (Mo) 和氯 (Cl)。这些养分以及它们在作物干物质中的大致比例如图 3 所示。

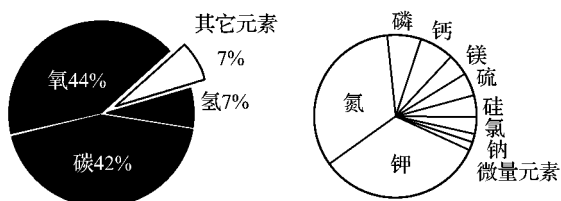


图 3 常见的植物元素成分

有些作物也吸收其它化学元素，这类元素对于某些作物是有益的，但并不是对所有作物都是必需的。

向土壤施用矿质肥料、有机肥或作物秸秆能够增加向作物供应的养分。主要农作物所需的大量养分的量在第十章中详细介绍。

## 养分的作用

除碳 (C) 元素外 (见“光合作用”一章)，所有的其它养分都靠土壤溶液向作物供应。

这些养分分为两大类 (以作物需要量分类)：

1) 大中量营养元素—包括大量营养元素和中量营养元素

2) 微量元素

作物对大量元素的需求量很大。当土壤中缺少一种或多种这类元素时，就需要向土壤大量补充。土壤中的养分可能是本身就很低；也可能是由于多年耕作，养分被作物移走而形成缺乏某种元素；也可能是在种植高产品种时，作物对这类养分的需求量比当地品种高。

相对于大量元素，作物正常生长所需要的微量元素很少。只有在土壤不能供应作物正常生长所需量时才少量施用。

作物生长需要较多的大中量元素养分，其中的大量矿质元素养分为：氮、磷和钾。

氮（N）是作物生长的“动力”，在作物干物质中的比例为1%~4%。氮在土壤中以硝酸根（ $\text{NO}_3^-$ ）或铵根（ $\text{NH}_4^+$ ）的形式被作物吸收。在作物体内，它同碳水化合物代谢生成的化合物结合，形成氨基酸和蛋白质。作为蛋白质的基本成分，它参与了作物发育和产量形成的所有主要过程。充分供应氮养分对作物吸收其它养分也是十分重要的。

磷（P）在作物干物质中所占的比例为0.1%~0.4%。它在能量传递过程中起关键作用，是作物光合作用和其它化学生理过程必需的。在作物形成生长点的过程中，磷是细胞分化和组织发育必不可少的。在大多数天然土壤或农用耕地上，以及在磷的固定作用使磷的有效性受到限制的土壤中，缺磷是很常见的。

钾（K）在作物干物质中的比例为1%~4%，它有许多营养功用。钾能够活化60多种酶（调节生命的化学物质）。因此，它在碳水化合物和蛋白质合成过程

中起至关重要的作用。钾能够改善作物体内的水分状况，增加作物抗旱、耐霜冻和耐盐碱的能力。钾元素供应充分的作物也少受病害影响。

中量营养元素为镁、硫和钙。作物对这类元素的吸取量也是很大的。

镁 (Mg) 是叶绿素的核心成分。植物叶子内的叶绿体，是太阳能的接收器。植物中镁成分的 15% ~ 20% 存在于绿色部分。镁也参与同植物体内能量转换有关的酶的反应。

硫 (S) 是蛋白质的重要组成部分，也参与叶绿素的形成。在绝大多数作物干物质中的比例为 0.2% ~ 0.3 (0.05 ~ 0.5)%。硫在作物生长中的作用同磷和镁一样重要；但人们往往低估它的作用。

钙 (Ca) 对作物根部的生长很重要，是细胞壁的组成成分。虽然绝大多数土壤中含有足够量的有效钙，但在耗钙量很大的热带土壤中，缺钙是很常见的。然而，施用钙肥的目的通常是通过施用石灰来降低土壤的酸性。

微量元素有铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、钼 (Mo)、氯 (Cl) 和硼 (B)。它们是作物生长的关键物质的一部分，相当于人类营养中的维生素。由于作物对微量元素的吸收量很小，其最佳施用量的范围也很小。微量元素的有效性主要取决于土壤反应。过量施用硼对下茬作物会造成有害的影响。

有些有益元素对有些作物是必需的：如钠 (Na)，对于甜菜；硅 (Si)，对于谷物，增强秸秆的强度，防止倒伏；钴 (Co) 在豆科作物固氮的过程中是必需的。



有些微量元素在含量略高于正常水平时就会对作物产生毒害，这种情况多出现在 PH 值低和非常低的土壤上。铝和锰的毒害在酸性土壤上是最常见的。

了解每一种营养元素（无论作物的需求量大小）在作物生长和粮食生产中的特殊的作用和作物所需养分的不可替代性是非常重要的。

## 光 合 作 用

通过水分在白天的大量蒸发，作物从土壤中吸取的养分被传输到叶子内。

光合作用主要在绿色叶片中进行。这就是大自然将作物从空气和土壤中吸取的无机元素，在阳光的作用下转换成有机物质的方法：光能被转换成化学能（图 4）。

光合作用的重要意义在于它将在力能学上毫无价值的二氧化碳和水转换成碳水化合物（糖分）。碳水化合物是合成作物体内所有其它有机物质的基本材料。没有光合作用，地球上就不会有生命存在。

充足的养分供应对这一转换过程的正常进行是十分重要的。如果从土壤中吸取的养分缺少任何一种，光合作用的进程就会放慢；如果养分供应量不足，作物就会出现营养缺乏症状，这就像人没有摄取正确营养时的症状一样。作物的生长依靠每一种养分的充足供应，而作物的产量受供应不足的养分的限制（限制产量的最小因子）。在农业生产中，这种情况常出现在氮、磷、钾、镁和硫等养分上。为了获得满意的产量，必须以矿质肥料的形式向土壤施加这些养分。

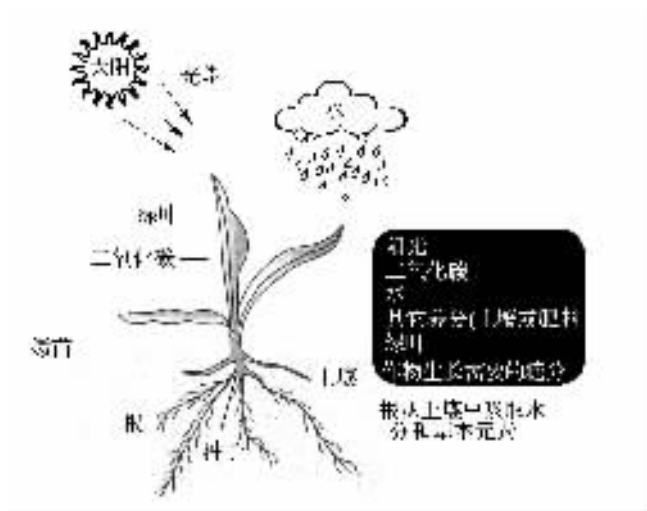


图4 植物通过阳光、空气、水和土壤中的养分制造糖分



作物的产量不可能超过最限制作物生长的养分所允许的量

各因素之间相互影响, 当其它因素接近最佳状态时,

限制作物生长的因素被充分的利用

图5 要获取可能的最高产量, 必须不存在限制作物生长的养分

## 四 土 壤

如果土壤的肥力高，施肥会获得最好的产量反应。决定土壤肥力的主要因素是：土壤中的有机质（包括微生物的生物量）、土壤质地、土壤结构、土壤深度、养分含量、库容量（保蓄量）<sup>2</sup>、土壤反应和是否存在有毒元素（如游离铝）。不同土壤中的这些因素差别很大。要想提高中、低肥力土壤的肥力，农民必须对自己土壤的性质有最基本的了解。

### 什么是土壤？

土壤是一种到处可见的物质，是在气候，植被和人类的共同作用下缓慢分解形成的地球的最表层。形成土壤的母质或是土层下面的岩石；或是河流和海洋的沉积物（冲积土）；或是在风的作用下形成的（风成土，如黄土）；或是火山灰。

土壤通过给作物的根系提供透水层来支持作物的生长。它是作物所需养分和水的储库。由于土壤成分不同，其供应养分的能力差异很大。与人们通常的认识相反，土壤的颜色与土壤的肥力几乎没有关系。

## 土壤的成分，质地和结构

土壤由不同粒度的矿物颗粒、母质风化物、有机质（如动植物的废弃物）和不定量的水和空气组成。

将土壤中的固体颗粒依其粒度分成：砾石（直径在 2mm 以上），砂粒（2.0 ~ 0.02mm），粉粒（0.02 ~ 0.002mm）和粘粒（0.002mm 以下）。

土壤质地指的是土壤中砂、粉沙和粘土的相对比例。根据质地，将土壤分类为砂，砂壤，壤土，粘壤，粘土等。同时，也可以根据土壤的可耕性，用“轻壤”（如砂子和砂壤），“中壤”（如，壤土）或“重壤”（如粘壤土和粘土）来描述土壤的质地。

土壤结构指的是由细土壤颗粒聚合成的团粒结构的状况。结构良好的潮湿土壤中含有大约 50% 的固体物质和各 25% 的空气和水。

土壤质地和土壤结构对于土壤肥力和作物的生长是至关重要的。质地粗（或砂性）的土壤，保持水分和养分的能力很差，在施肥时一定要防止养分淋失（氮和钾）。与此相反，粘土储存水分和养分的能力很强，但通透性能很差，通过施入石灰疏松这类土壤或向土壤中施有机质可以改善它们的结构。

耕作有助于增加土壤的深度（根系可以达到的土壤体积），但也会破坏土壤结构。有机质则有助于建立和稳定土壤结构和库容量。

在温带地区，由于气温低，空气潮湿，作物的残积物分解缓慢，土壤中含有较丰富的有机质（5% 以

上)。在酷热干旱的亚热带地区，土壤中的有机质含量普遍较低（有时低到只有 0.1%）。但是，由于有丰富的钙，土壤结构通常很好。在热带地区，受气候和微生物活动的影响，土壤中有机质消失的速度很快，但是由于氧化铁和氧化铝的存在，土壤结构很稳定。

## 土壤如何保持和释放养分

岩石经风化分解形成土壤并释放出植物可以吸收的养分。岩石中原有的矿物质的含量以及分解过程的特点和强度决定所释放养分的种类和量。粘土（粘性矿物）和有机质（包括少量的氢氧化铁）保蓄有效态养分，即养分吸附在这些土壤组分（吸附体）上。土壤保蓄养分的能力（库容量）决定土壤的自然肥力。

有的养分带正电荷（+，阳离子），有的养分带负电荷（-，阴离子），依靠这些电荷，养分被吸附在粘土矿物和有机质上，就象铁砂被吸附在磁铁上一样。

含有可以被作物吸收的有效态养分的土壤水分被称作土壤溶液。作物的根只能吸取溶解在土壤溶液中的养分。因此，养分只有从吸附体上解吸附出来，进入土壤溶液中，才能被作物有效地吸收。

在土壤中，吸附在土壤颗粒上的养分与释放到土壤溶液中的养分之间存在着平衡。如果这一平衡状态被打破，例如养分通过根部被作物吸收，吸附体上的养分就会被释放出来，重新建立起新的平衡。在这一过程中，阳离子由固相养分（未溶解的养分）中的钙离子（ $\text{Ca}^{2+}$ ）、镁离子（ $\text{Mg}^{2+}$ ）或氢离子（ $\text{H}^+$ ）补

充，而阴离子由氢氧根（ $\text{OH}^-$ ）（ $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ）补充。释放出的养分从靠近吸附体的高浓度溶液向靠近作物根部的低溶度溶液流动。养分的这一从吸附体向作物根部传输的过程被称作扩散。

在休耕过一段时间的地上，土壤溶液中会积聚过多的养分。由有机物质分解生成的氮养分特别容易出现这种情况。这会对环境造成有害的影响，因为在潮湿的条件下，积聚在轻质土壤溶液中的大部分养分会淋失到地下水中（或通过反硝化作用损失掉）<sup>3</sup>。土壤溶液中积聚的钾元素也会通过淋溶损失掉。

在半干旱条件下，养分（如氯化物和钠、钙、镁的硫酸盐）会随着蒸发水移到地表面，从而对休耕期后的作物造成盐害。但是，年代久远的风化土壤失去了绝大部分阳离子，其阴离子呈大量过剩状态。这种土壤能够保蓄来自补充养分的带正电荷的阳离子。

吸附体对不同养分（阳离子和阴离子）的吸持力不同。对于阳离子，吸持力主要受水化作用和养分所带电荷的影响。吸附体对铝（ $\text{Al}^{3+}$ ）的吸持力最强，呈金属性质的微量元素（如铁、锰和锌）次之，接着是钾（ $\text{K}^+$ ）、铵（ $\text{NH}_4^+$ ）、钙（ $\text{Ca}^{2+}$ ）和镁（ $\text{Mg}^{2+}$ ）。对于阴离子，稳定性很强的磷酸根（ $\text{PO}_4^{-3}$ ）被紧密地吸附在带正电荷的某些粘性矿物和钙、铁、铝等土壤组分上。与此相反，氯离子（ $\text{Cl}^-$ ）和硝酸根离子（ $\text{NO}_3^-$ ）则倾向于留存在土壤溶液中。它们易于移动。当作物从土壤中吸取水分时，它们随着土壤溶液进入作物的根部。有时也会受到雨水的冲刷而流失。同硝酸根一样，硫酸根（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）也较易于移动，容易被

淋失。

当土壤中的自然养分含量不能满足作物正常生长需要时，就需要给土壤施有机肥料、堆肥和矿质肥料。这些增施的肥料在土壤中分解并溶解在水中，其阳离子和阴离子在土壤中的活动与上面所述的相同。

养分在土壤中被吸附和被释放到土壤溶液中的过程非常重要。阳离子和阴离子在吸附力上的差异对施肥方法和施肥时间（特别是氮肥）有十分重要的影响。只有正确地掌握这些知识，才能获得最高的肥效和避免由于淋失造成对地下水的污染。

有机质比同量粘土吸附更多的养分。因此，增加土壤，特别是矿物质吸持力差的退化的热带土壤（如高岭土）中的有机质含量是十分重要的。

## 土壤生物体

土壤的高肥力和作物高产都与土壤微生物的活性密切相关。微生物在土壤中的活动能够使有机质转化成腐殖质，促进土壤形成团粒，改善土壤结构，保护作物根部免受病害和寄生物的伤害，保蓄氮和其它养分，产生有助于作物生长的激素并能够转化进入土壤的污染物。

当有机物质被混入土壤和经过蚯蚓吞食后，有机质颗粒上吸附的非水溶态的氮（N）、磷（P）和硫（S）通过细菌的活动被转化成能够被作物吸收的有效态。除了对土壤中的养分有活化作用外，土壤微生物对氮素在土壤中的循环，如铵化<sup>4</sup>、硝化<sup>5</sup>、反硝化和固

氮<sup>6</sup>，也起着必不可少的作用。

绝大多数土壤微生物为好氧型，有些种类土壤微生物则是厌氧型（见注示 3，反硝化细菌）。

对绝大多数土壤微生物都十分重要的元素是碳（C）（土壤有机质中的碳酸产生二氧化碳）。土壤中二氧化碳含量的水平是衡量土壤微生物活性的标准。

适宜的湿度，土壤 pH5 ~ 6 左右（气温在 15 ~ 35 度之间）和充足的有机质（作为碳和能量来源）是土壤微生物的最佳活动条件。

农民可以采用下述措施促进土壤微生物的活性：

- 保持土壤良好的通气性、蓄水能力和排水性。
- 通过施用适量的石灰或采取避免 pH 值发生太大变化的措施，将 pH 维持在最佳水平（pH5 ~ 6）。
- 给土壤提供充足的有机质。
- 在土壤表面增加覆盖层，以减少土壤侵蚀和保持水分，
- 避免盲目地使用化学剂。化学剂有可能会破坏土壤内的平衡状态，对作物造成损害。

## 根瘤生物/生物固氮/绿肥/菌根

豆科作物（如豆类，豌豆，大豆，三叶草，苜蓿，野豌豆）是固氮的重要来源。这类作物同根瘤菌共生，将空气中的氮（N<sub>2</sub>）固定在植物根部的根瘤内。

豆科植物向微生物供应所需的能量、水和养分，并从微生物那里得到氮。在适宜的条件下，根瘤菌的平均固氮量可以达到 15 ~ 20kg/hm<sup>2</sup>，最高时可以达到



200kg/hm<sup>2</sup>。每公顷固氮量 15 ~ 20kg 的水平虽然不高，但这对那些买不起足量氮肥或缺少贷款的从事小规模生产的农民来说是很有好处的。

豆科作物喜好石灰性土壤，在酸性土壤上生长不良。如果一定要在酸性土壤上种植豆科作物，则需要播前施石灰。土壤中还要求有足量的有效磷和有效钾。

豆科作物是深根植物，它能够改善土壤结构并将深层土壤中的养分带上来。

首次种植豆科作物的土地或已多年没种植豆科作物的土地，为了获得满意的固氮效果，需要用合适的根瘤菌菌种对豆科作物的种子进行接种。因为不同作物所需的根瘤菌不一样，所以需要向当地农技推广部门请教。施用适量的氮肥有助于根瘤菌的繁殖。

在豆科作物收割后或将作物作为绿肥翻入土壤后，大量被固定的氮会随着分解中的根群留在土壤中。在这种情况下，建议农民尽快在田里种植下一茬作物，以便充分利用留在土壤溶液中的氮。这样做可以避免氮被淋溶到地下水或挥发到空气中（见第四章土壤是怎样保持和释放养分的）。当然，非豆科作物也可以当作绿肥使用。

能在贫瘠的土壤上茁壮生长，并长有大量绿叶和顶端的作物可以被用作绿肥或护土作物。与绿肥不同，护土作物不翻入土中，而是用来覆盖土地。由于护土作物也能够向土壤提供有机质，适宜在降水量低的地区种植和使用。对于拥有小面积土地的农民，护土作物也是很有用的。

大多数中耕作物的根部都浸染有另一种土壤生物

体——菌根型真菌。它们在作物的根部形成菌丝体，从而延展了根系的表面积，菌根体对作物的有益作用十分明显，它能够提高作物对养分、特别是磷的吸取，并能保护作物不受土壤病虫害的侵害。

同有固氮作用的蓝藻生长在一起的水生蕨 *azolla* (*Anabaena azolla*) 可在水稻田中作为高效的氮素来源使用。在有利的条件下，通过使用这类绿肥，可以节省氮肥推荐施肥量的  $1/3$  到  $1/2$ 。

## 土壤酸碱性和石灰的施用

土壤酸碱性是影响土壤生产能力/肥力和作物生长的另一重要因素。土壤酸性由土壤的 pH 值表示。pH7 表明土壤呈中性；低于 7 表明土壤呈酸性（吸附体中氢离子 ( $H^+$ ) 的浓度过高)；高于 7 表明土壤呈碱性：钙 ( $Ca^{2+}$ ) 和/或钠 ( $Na^+$ ) 离子过剩。

正常地力的土壤 pH 值范围在 4 ~ 8 之间，它被视作土壤的特定性质。它的最佳值由土壤所处的发育阶段决定，不可过度改变。

在潮湿的热带，由于大雨的冲刷，土壤的 pH 相当低，即呈酸性。在干旱的亚热带地区，由于钙、钠等碱性元素的积聚，土壤反应会高于 7，即呈碱性。通过施石灰可以调节土壤的酸性。

土壤对石灰的需求量可通过测定土壤的 pH 值估算。石灰粉 ( $CaCO_3$ ) 是调节土壤酸性最有效并且最廉价的材料。白云石质的石灰 ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) 还可以提供镁元素。其它可以用来调节土壤酸度的材料有

灰泥 ( $\text{CaCO}_3$ )、木灰和骨粉 ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )。在酸性土壤上应首选使用含钙离子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 的氮肥和磷肥。施石灰能促进游离铝沉淀, 从而减轻铝在土壤中的毒性。施石灰的不利影响是, 在热带土壤上将 pH 值提高到 7 会引起微量元素 (钼 Mo 除外) 缺乏。应尽量避免将肥料 (含有大量或微量养分) 同石灰一起施用, 二者之间应有一定的时间间隔。

在 pH 值高的土壤上 (碱性土壤), 为了调节土壤的碱性, 应首选使用硫酸铵、硫酸 - 硝酸铵等含硫的肥料和硝酸铵或尿素。在盐碱土壤上, 磷石膏是有效的土壤改良剂, 它能够移走土壤中的钠 (Na)。

## 土壤和科学种田

为了对土壤实施有效的管理, 农民必须采用好的耕作技术来改善土壤的特性。为了保证农业可持续发展和高效农业, 耕作技术应该是技术成熟、经济效益好、对环境无公害、简单易行且能够被社会接受。好的耕作技术包括:

——选择优良高产品种种子。

——选择正确的播种时间和方法, 以适宜的播种量和植株密度播种。

——正确选用肥料, 开展平衡施肥, 选择适宜的施肥量、施肥方法和时间。

——补充有机质。

——维持合适的土壤酸碱度 (pH)。

——采取恰当的措施预防病虫害。

- 控制杂草和土壤侵蚀。
- 灌溉和排水设施。
- 采用适当的田间管理技术。

## 五 按作物需求制定的推荐施肥

不同作物对养分的需求量不同。作物对养分的需求量在很大程度上取决于收获的（或预期的）作物产量。表1给出世界上一些作物在中等产量和高产时从土壤中移走的不同养分量。

表1 作物移出的养分<sup>1</sup> (kg/ha)

	产量	氮		磷		钾			S
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K	Ca	Mg	
水稻	3000	50	26	11	80	66	—	—	—
	6000	100	50	22	160	133	19	12	10
小麦	3000	72	27	12	65	54	—	—	—
	5000	140	60	26	130	108	24	14	21
玉米	3000	72	36	16	54	45	—	—	5
	6000	120	50	22	120	100	24	25	15
马铃薯	20000	140	39	17	190	158	2	4	6
	40000	175	80	35	310	257	—	23	16
甘薯	15000	70	20	9	110	91	—	—	—
	40000	190	75	33	390	324	28	9	—
木薯	25000	161	39	17	136	113	44	16	—
	40000	210	70	31	350	291	57	—	—

续表

	产量	氮		磷		钾		Ca	Mg	S
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K				
甘蔗	50000	60	50	22	150	125	—	—	—	
	100000	110	90	39	340	282	—	50	38	
洋葱	35000	120	50	22	160	133	—	—	21	
西红柿	40000	110	30	13	150	125	—	17	54	
黄瓜	35000	60	45	20	100	83	—	36	—	
牧草	7000	215 <sup>2</sup>	60	26	130	108	164	19	19	
大豆	1000	160 <sup>2</sup>	35	15	80	66	—	—	—	
	2400	224 <sup>2</sup>	44	19	97	81	—	18	—	
小豆	2400	155 <sup>2</sup>	50	22	120	100	—	—	—	
花生	1500	105 <sup>2</sup>	15	7	42	35	19	11	12	
棉花(籽	1700	73	28	12	56	46	6	4	5	
+纤维)	5000	180	63	27	126	105	—	35	30	
烟草 (干叶)	1700	90	22	10	129	107	48	6	4	

—无数据

1) 在表中给出的产量是作物地上部分和地下收获部分(适用时)所含的养分。注意:这些数字不同于养分需求量。

2) 豆科作物能从空气中获得绝大部分氮养分。

资料来源:肥料工业咨询委员会,FIAC。

不同作物品种对养分的需求量和对肥料的反应有很大差异。当地的品种对肥料的反应不如改良品种,例如:杂交玉米对肥料的反应和产量都远好于当地品种。

虽然表1给出的数字是不同产量时作物养分需求量的第一手资料,但是在确定肥料的实际需要量时,

必须考虑其它因素：例如土壤中养分的储备量以及由于养分固定、淋失或其它损失，使施用的肥料不能完全被作物的根部吸收等。因此，养分需求量一般要高于作物移走的养分量。

下面是参考一些国家的经验和国际上发表的资料<sup>7</sup>，根据作物对养分的需求确定的推荐施肥量：

### 水 稻

菲律宾水稻推荐量：N：80 ~ 100kg/ha； $P_2O_5$ ：30 ~ 50kg/ha； $K_2O$ ：30kg/ha。

印度水稻，高产和改良品种的推荐养分量：

N：125kg/ha； $P_2O_5$ ：30kg/ha； $K_2O$ ：50kg/ha。

氮肥可分两次，但最好分三次施用：1/3 作基肥，1/3 在分蘖期，1/3 在抽穗初期。

### 小 麦

在印度，有充分灌溉的小麦：

依据前茬作物确定施肥量，N80 ~ 120kg/ha； $P_2O_5$  40 ~ 60kg/ha； $K_2O$  按土壤养分分析数据确定（在无数据时， $K_2O$  的推荐量为 40kg/ha）。

对有限灌溉的小麦：

N 60kg/ha； $P_2O_5$  30kg/ha；按土壤养分分析数据确定  $K_2O$  的用量（在无数据时， $K_2O$  的推荐量为 20 ~ 30kg/ha）。

在播种前施推荐氮素施肥量的一半和全部  $P_2O_5$  和  $K_2O$ 。另一半氮肥在第一次灌溉时追施。

## 玉 米

印度尼西亚的杂交品种：

N :120 ~ 180kg/ha ;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :45 ~ 60kg/ha ;K<sub>2</sub>O :30 ~ 60kg/ha ;

当地品种：

N 45 ~ 90kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30 ~ 45kg/ha ; K<sub>2</sub>O 的最高用量为 30kg/ha。

氮肥分两次或三次施用。第一次施用的氮肥、全部的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 在播种时一次施用。

## 高粱和谷子

在潮湿和中等产量的条件下：

N 20 ~ 60kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20 ~ 40kg/ha ; K<sub>2</sub>O 20 ~ 50kg/ha。

在有灌溉和高产条件下：

N 50 ~ 100kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40 ~ 60kg/ha ; K<sub>2</sub>O 50 ~ 100kg/ha

N 的一半和全部 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 在播种时施用，其余的 N 在拔节期或开始开花时施用。

## 马 铃 薯

在哥伦比亚，推荐施肥量为：

N : 85kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 175kg/ha ; K<sub>2</sub>O 40kg/ha。

在多米尼加共和国：

N 95kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 95kg/ha ; K<sub>2</sub>O 95kg/ha。

在毛里求斯：

N 78kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 78kg/ha ; K<sub>2</sub>O 120kg/ha。

所有的 N , P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 最好在种植前条 ( 穴 ) 施 ( 不要同种块接触 )。

在轻质土壤上 , 一半 N 施在播种床上 , 另一半 N 在结块初期时施用。根据土壤条件 , 用硫酸钾或硫酸钾镁代替氯化钾效果会更好。

## 木 薯

在泰国的推荐施肥量 :

N 90kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45kg/ha ; K<sub>2</sub>O 95kg/ha。

通常将基肥施在靠近木薯种的短条坑内。在种植后 2 ~ 4 个月 , 分 1 或 2 次追施 N 和 K<sub>2</sub>O。

## 蚕 豆

在埃及 , 中质和重质土壤上种植的改良品种 :

N 36kg/ha ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 72kg/ha。在播种后分二次追施 K<sub>2</sub>O , 每次施用量 57kg/ha。将 N 肥施在播种床上有助于齐苗。然而 , 对于有根瘤菌的土壤 , 不需要施 N 肥。当土壤中不存在根瘤菌时 , 播种前应对种子进行根瘤菌接种。

## 黄 瓜

对于塞内加尔半干旱地区的轻砂质土 :

在施用有机质的基础上 , 用 N 量 130kg/ha ; 用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量 95kg/ha ; 用 K<sub>2</sub>O 量 200kg/ha。播种前施 1/3 的 N 和 K<sub>2</sub>O 和全部 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。在播种后 30 天和 50 天 , 分别施下另外各 1/3 的 N 和 K<sub>2</sub>O。



## 洋 葱

对于尼日利亚酸性强淋溶土壤，至少在栽种前二周向土壤内施入 2 吨/ha 石灰。栽种 20 天后，施用 N 75kg/ha； $P_2O_5$  70kg/ha 和  $K_2O$  180kg/ha。在栽种 35 天后施用 N 75kg/ha。

## 甘 蔗

对印度亚热带地区的推荐施肥量：

N 100 ~ 250kg/ha（种植后每年分三次施用）； $P_2O_5$  60kg/ha（按需要施用）和  $K_2O$  80kg/ha。

## 香 蕉

对于象牙海岸的酸性土壤，欲获得良好的平均产量，除施用石灰外，用 N 量 300 ~ 500kg/ha； $P_2O_5$  100kg/ha 和  $K_2O$  600 ~ 1200kg/ha。通常在假茎周围 1 ~ 1.5 米直径的圆内分几次人工撒施。

## 棉 花

在埃及尼罗河三角洲的几个省内，除施用有机肥外，推荐施肥量为 N 145 ~ 180kg/ha； $P_2O_5$  35 ~ 70kg/ha；在需要时， $K_2O$  55 ~ 60kg/ha。在种植一个月后间苗时和再过一个月时分两次施用 N。在种植前施用  $P_2O_5$  和  $K_2O$  或在间苗时将全部  $P_2O_5$  和  $K_2O$  同一半 N 肥一起施用。

棉花对土壤的酸度十分敏感。因此，应该在种植前几个月施石灰（最好施用含镁（Mg）的白云石质石灰）。

关于更详细的施用矿质肥料的方法，请参见第九章。上述推荐施肥资料告诉我们，按照当地的作物生长条件（即土壤种类，气候，降水量，灌溉，作物品种等）施肥是十分重要的。你应该同当地土肥实验站和带头农民一起确定你所在地区的推荐施肥量。第十章将详细介绍如何进行这方面的工作。

## 六 平衡施肥的重要意义

作为植物生长的“发动机”，氮肥在施用后很快就显现出效果：植物发育成深绿色，生长更加旺盛。但是，对谷物和水稻不平衡地过量施用氮肥会导致作物倒伏、杂草疯长和害虫侵害，从而显著减少谷物或水稻的产量（对于其它作物，品质会降低，特别是耐储能力）。另外，未被作物吸收的氮养分会损失到周围的环境中。

在农民资金有限或无法获得贷款的情况下，或在土地的所有权无保障或在市场上尿素等氮肥的售价相对低时，期望短期获得明显回报的农民就会对自己的作物只施用氮肥。就短期利益而言，不能说这一决定是不符合逻辑的。全世界氮肥消耗量大幅度增加的现实在很大程度上是由过度施用尿素造成的<sup>8</sup>。

这种片面的、不平衡的施肥选择，对于含有丰富的有效磷，有效钾和所有其它必需的中量和微量元素的土壤来说可能是有道理的。然而，在获得高产的同

时，作物从土壤中也移走了更大量的其它养分（主要为磷和钾）。因此，通过只施氮肥获得高产的后果是土壤中的其它养分被耗竭。

国际水稻研究所的研究结果告诉我们，在水稻连种的耕作制度下，磷肥和钾肥的需求量随着时间增加。研究显示，在不施磷肥和钾肥的情况下，氮肥的肥效降低。而当将作物需要的全部养分一起施用，磷肥和钾肥的肥效稳定地提高。从中可以看出这些养分之间的相互影响<sup>9</sup>。在那些经过长期耕作已退化的土壤上，不但存在不可避免的养分损失<sup>10</sup>，而且背离科学种田原则的偏施氮肥会浪费劳动力和资本……，危害环境，不利于可持续发展。

为了使肥效充分发挥，平衡施肥是必须的。植物也和人一样，需要平衡的饮食。每天过多地从一种食品摄取营养是不够的。如果人的饮食不平衡，就会生病，作物也如此。再者，作物无法四处寻找所需要的营养，必须为其创造尽可能有利的生长条件。因此，应该通过施石灰或磷石膏（对碱性土壤）将土壤的 pH 值维持在最好水平；要向土壤补充有机质和水，并且要平衡施肥。

试验表明，土壤中最缺乏的大量，中量或微量养分限制作物的产量并影响品质。这些养分具有不可替代性。因此，科学种田中的平衡施肥就是根据土壤中养分的含量、作物对养分的需求量和预期的作物产量来确定氮、磷和钾养分的供应量。必要时，还要施用镁、硫和微量元素。图 6 清楚地给出在巴基斯坦平衡施肥的效果。

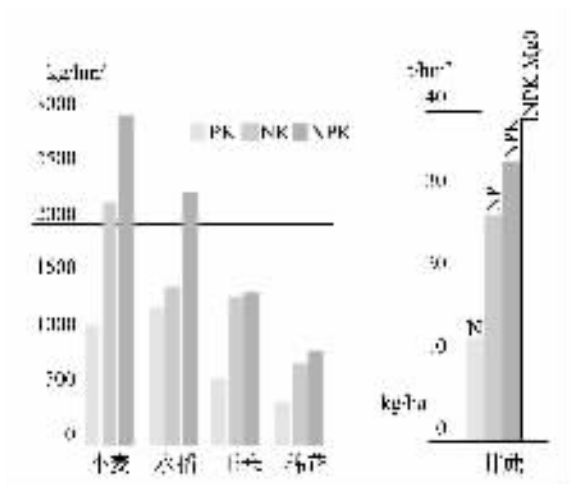


图6 平衡施肥对作物产量的影响—巴基斯坦

另外，按科学的农业生产技术使用肥料应该是在作物需要的时候，以平衡的营养比例向作物提供足量所需的有效态养分<sup>11</sup>。获得这一效果的最容易的方法是使用每个颗粒中都含有足量大量养分的 NPK 复合肥。由于 NPK 复合肥颗粒的质量稳定，粒度均匀<sup>12</sup>，其养分会均匀地分布在土壤中。

NPK 复合肥的价格通常比混拌的复合肥高。但是，在实际使用中，使用低质量肥料所造成的作物产量和品质损失会远大于买肥料省下的钱。应该让农民清楚地了解这些后果，因为在发展中国家，以及在发达国家，农民坚持的仍然是施肥当季通过施肥获得的回报。因此，在推广平衡施肥技术时，一定要向农民显示平衡施肥给农民带来的经济利益。

## 七 肥料 ,肥料的外观 ,质量和标识

### 什么是肥料？

任何天然的或制造的，含有一个或多个大量养分（ $N$ ， $P_2O_5$ ， $K_2O$ ），并且每个养分的最低含量至少为5%的材料被叫作肥料。通过工业手段制造的肥料称之为矿质肥料。

矿质肥料的外观差异很大。根据生产工艺的不同，矿质肥料有不同的粒度和形状，圆粒，丸粒、小粒、

氨由碳水化合物（天然气，石脑油或煤）、空气中的氮和蒸汽合成。

这一转换过程产生的二氧化碳被用来同氨化合，生成尿素。

用空气对合成氨进行氧化生产硝酸。

将硫磺同空气一起燃烧生成硫酸。将硫酸同磷矿石反应生成磷酸。

天然钾矿是钾肥的来源。

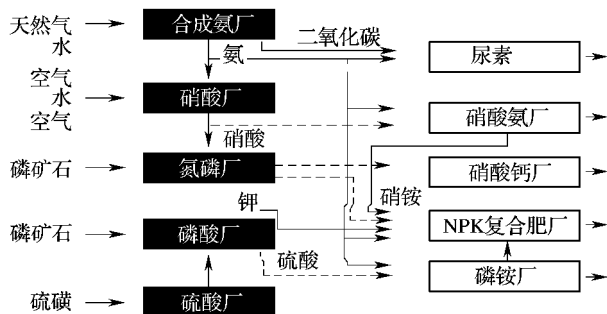


图7 肥料生产流程图

结晶体，挤压的颗粒或细粉。绝大多数肥料是固态的。液态和悬浮液态肥料多用在北美洲。

除规定的养分含量<sup>13</sup>要求外，肥料的粒度（过筛的产品）、抗压强度和密度、耐潮湿和抗物理破坏的能力和抗结块的能力决定肥料的物理质量。高质量的肥料表面包裹有防结块剂。肥料的重量和密度对运输、仓储和田间施肥也是很重要的。尿素单位重量所占的体积比绝大多数其它肥料都大。

由于 50kg 袋有方便，灵活和安全（防潮、防损失和防假肥）的优点，是向小农户销售肥料最常用的包装<sup>14</sup>。

大多数国家的政府都通过农业部或其它行政当局制定了严格的肥料包装袋的类型和标识。包装袋上标识的内容包括：养分（大量养分和/或中量养分，和/或微量养分）、养分含量（在大多数情况下还要标明养分的形态）和肥料的品种。

大量养分通常以  $N - P_2O_5 - K_2O$ （有时增加  $Mg - S$  - 微量元素）的百分含量表示。养分含量的标识也按上述顺序给出。这样，在标明肥料品种为 17 - 17 - 17 的复合肥中，第一个数字为 N 的百分含量，第二个数字是  $P_2O_5$ <sup>15</sup> 的百分含量，第三个数字为  $K_2O$ <sup>15</sup> 的百分含量。

包装袋的标识上还要给出每袋肥料的重量、正确的搬运和仓储方法、生产厂家或经销商的名字<sup>16</sup>。绝大多数肥料都有自己的商标名称，通常也印在包装袋上。

例如，在两袋 50kg 包装的品种为 17 - 17 - 17 的肥料中，含 N 量为 17kg，含  $P_2O_5$  量为 17kg，含  $K_2O$  量为 17kg。与术语“品种”不同，“养分比”指的同一肥料

中养分含量的相对比例：品种为 17 - 17 - 17 的肥料，其  $N - P_2O_5 - K_2O$  的“养分比”为 1:1:1；品种为 12 - 24 - 12 的肥料其“养分比”则为 1:2:1。

了解肥料的养分含量对于正确计算每公顷的用肥量是十分重要的。例如，一个农民在一公顷土地上  $N - P_2O_5 - K_2O$  的用量为 60 - 60 - 60，那么他就要用 8 袋 50kg 包装的品种为 15 - 15 - 15 的肥料。

## 肥料的种类

只含有一种大量养分的肥料被称作单质肥。那些含有二种或三种大量养分的肥料被称作多养分肥料。有时也叫作二元素或三元素肥料。

### 单质肥料

最重要的（有时在一个地区是最重要的）单一养分肥料如下：

含 N 量为 46% 的尿素是世界上最主要的氮肥。尿素的含 N 量高，单位氮养分的价格便宜。但是，施用时要采用科学的方法，以避免氨挥发造成氮素养分损失。尿素应该在施后立即覆土或在施用数小时后就会下雨的情况下施用<sup>17</sup>。

硫酸铵含有 21% 的 N 养分（铵态氮），其含氮量比尿素低。但是，除 N 养分外，硫酸铵中还含有 23% 对作物生长有重要作用的硫养分。硫酸铵多用在有灌溉的作物上或需要补充硫养分的土壤上。同样，硫酸 - 硝酸铵含有 26% 的 N 养分（大约 2/3 为铵态氮，1/3

表 2 一些重要的肥料

		养分含量 ( % )					
常用名	( 分子式 )	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S	
氮肥							
硫酸铵	( NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21	0	0	—	23	
硝酸铵	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33 ~ 34.5	0	0	—	—	
硝酸铵钙	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + CaCO <sub>3</sub>	20.5 ~ 26	0	0	—	—	
尿素	CO ( NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45 ~ 46	0	0	—	—	
硫酸 - 硝酸铵	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> - ( NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26	0	0	—	—	
磷肥							
普通过磷酸钙	Ca ( H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0	16 ~ 20	0	—	12	
重过磷酸钙	Ca ( H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0	46	0	—	—	
磷矿粉		0	20 ~ 40	0	—	—	
钾肥							
氯化钾	KCl	0	0	60	—	—	



续表

养分含量(%)						
常用名	(分子式)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S
硫酸钾	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0	50		18
硫酸钾镁 镁肥	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -2MgSO <sub>4</sub>	0	0	26~30	5~7	16~22
七水硫酸镁	MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	—	—	—	16	22
硫酸镁	MgSO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O	—	—	—	20	27
硫酸肥						
含硫离子的各种肥料		—	—	—	—	与肥料成分有关
磷石膏	CaSO <sub>4</sub> -2H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	16~18
对有些地区重要的肥料						
硝酸钠	NaNO <sub>3</sub>	16	0	0	—	—
磷酸二钙	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	0	35~42	0	—	—
碱性炉渣		0	16~20	0	1~3	—

为硝态氮)和 13% ~ 15% 的硫。

硝酸铵钙含有 27% 的 N (铵态氮和硝态氮比为 1:1), 最适合用在亚热带半干旱地区的作物上。

普通过磷酸钙除含有 16% ~ 20% 的  $P_2O_5$  外, 还含有 12% 的硫 (S) 和 20% 以上的钙 (CaO)。

重过磷酸钙含有 46% 的  $P_2O_5$ , 不含硫, 含钙量很低。这两种磷肥都含有有效态水溶磷。

相当大量的磷养分是通过 NP 肥料 (磷酸一铵和磷酸二铵) 和 NPK 肥料提供的。

氯化钾含有 60% 的  $K_2O$ , 是适用于绝大多数作物的单质钾肥。对于对氯离子敏感的作物和在缺硫的土地上, 适合使用含  $K_2O$  50%, 含 S 18% 的硫酸钾。同磷肥一样, 绝大多数  $K_2O$  养分是通过 NPK 和 PK 肥料施用的。

### 中量养分肥料

过去, 中量元素, 特别是硫, 是不要求标在包装袋上的。但现在已经需要进行标识。

除上面谈到的含有镁、硫和钙的单质肥料外, 石膏中也含有硫 (16% ~ 18% S)。硫酸钾镁肥料中含有可以直接被作物吸收的镁 (6% Mg) 和硫 (16% ~ 22% S)。

关于对钙养分的需求, 参见第四章“土壤酸碱性 and 石灰施用”。

### 多养分肥料

世界肥料市场上有大量的多元素肥料。表 3 给出 NP, NPK 和 PK 肥料的养分范围。

- 对农民来说，多元素肥料最显著的优点是：
- 容易搬运和仓储；
  - 施用方便
  - 养分含量高
  - 养分在土壤中分布均匀
  - 平衡施肥，即施用后，氮磷钾三个养分可以同时被作物根据需要吸收。
  - 肥效高

表3 多养分肥料——肥料养分的范围

肥料的种类		N%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O%
NPK 复合肥		5 ~ 26	5 ~ 35	5 ~ 26
磷铵肥料	DAP	16 ~ 18	42 ~ 48	—
	MAP	11	52	—
氮磷肥料	NP	20 ~ 26	6 ~ 34	—
PK 肥料	PK	—	6 ~ 30	6 ~ 30

多元素肥料一般有三种<sup>18</sup>：

——复合肥料：采用化学反应工艺生产的 NPK 肥料（每个颗粒中都含有所标含量的养分）。

——复混肥料：由单质肥料或半成品原料经物理造粒生产的肥料，每个肥料颗粒中的养分含量不等。

——混配肥料：将单质肥料的颗粒物理混合，（不注意时，混合的养分很不均匀）。

典型的 NPK 和 NP 多养分肥料的品种如下：

#### 1. NPK 复合/复混肥料

22 - 22 - 11 , 19 - 19 - 19 , 17 - 17 - 17 , 14 - 35 - 14 ,  
14 - 28 - 14 , 15 - 15 - 15 , 13 - 13 - 21 , 12 - 24 - 12 ,

12 - 12 - 17 , 11 - 22 - 22 , 10 - 26 - 26

## 2. NP 复合/复混肥料

28 - 28 - 0 , 26 - 14 - 0 , 24 - 24 - 023 - 23 - 0 ,  
20 - 20 - 0 , 18 - 46 - 0 , 16 - 20 - 0

除含有氮、磷和钾大量元素外，很多品种的肥料中都含有镁、硫和钙等中量元素，有些肥料中还含有铁、铜、锌、锰、硼和钼等微量元素。如果正确选用肥料的品种，施用一种肥料就能获得作物所需的全部养分。

## 微量元素肥料

由于作物对微量元素的需求量在过量和缺乏之间的范围很小，所以必须给予特殊的注意。

作物对微量元素的需求量很小。如果某一种微量元素，如硼的施用量过大，就会对当季或下季作物造成有害的影响。在掌握缺乏某种养分的情况下，可以施用按作物和土壤需要生产的含有适量微量养分的专用 NPK 肥料。

在很多情况下，微量元素缺乏是由于土壤 pH 值过低（呈酸性），或在更多情况下是由于 pH 值过高（呈中性到碱性）造成的。因此，调节土壤的 pH 值可以使土壤中的微量养分转变成有效态。

在需要施用微量元素的时候，应该向当地土肥试验站的专家们请教。

向作物的叶面喷施微量元素或对种子进行微量元素处理可以使用量更准确，并且效果更好。常用的微量元素肥料在表 4 中给出。

表 4 重要的微量养分肥料

微量元素载体	分子式	微量元素
硫酸铁	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	铁 ( Fe )
硫酸铜	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	铜 ( Cu )
硫酸锌	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	锌 ( Zn )
硫酸锰	$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	锰 ( Mn )
硼砂	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	硼 ( B )
钼酸钠	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	钼 ( Mo )

由铁、锌、锰和铜的螯合物<sup>19</sup>组成的复合有机化合物能显著提高微量元素的有效性，特别是在非螯合物态的铁无法被作物吸收的情况下。

## 缓释肥料/硝化抑制剂和脲酶抑制剂

缓释或控释肥料<sup>20</sup>中含有一种作物需要的养分（常为氮元素）。它能够在施用后让养分的释放比普通肥料长很多。通过对普通肥料（氮肥或 NPK 肥）包裹硫磺或（半透性）聚合物材料或其它专用配方的氮化合物可以获得这一效果。由于缓释或控释肥料中氮的释放通常与土壤温度和湿度密切相关，因此它可以让氮养分按照作物生长的需要释放。

缓释和控释肥料的主要优点是节约劳动力（在整个作物生长期只施一次肥），降低肥料对幼苗的毒性（即使用肥量很大时）和由于氮肥利用率提高，使用量减少（在用氮量减少 15 ~ 20% 的情况下也能获得同施用普通肥料相同的产量）。尽管这些好处在水稻种植上已得到证实，但是，对普通作物来说，这种肥料的单

位养分成本远高于普通肥料。事实上，这种缓释和控释肥料目前还仅限在蔬菜等经济价值高的作物上使用。

硝化抑制剂和脲酶抑制剂在普通作物上使用的成本相对低一些。硝化抑制剂是一种化合物，当加入到含有铵态氮的氮肥中时，它可以延缓土壤吸附的铵离子（ $\text{NH}_4^+$ ）在土壤细菌的作用下向亚硝酸盐，进而向硝酸盐转化的时间，从而防止尚未被作物吸收的硝酸盐淋失。

脲酶抑制剂可以将尿素中酰胺态氮向铵的转化抑制 10 ~ 12 天时间。当气候干旱或尿素施用后不能立即翻入到土壤中时，它能够防止或减少氨向大气的挥发损失。

施用前，将硝化抑制剂和脲酶抑制剂同氮肥充分混合，然后一起施用。根据氮肥中铵态氮或酰胺态氮的含量，决定每公顷使用几公斤或几公升。

由于可以使硝酸盐或铵的损失减少，使用硝化抑制剂和脲酶抑制剂可以在适量减少氮肥用量的情况下使作物的产量超过或保持正常水平。

## 八 肥料用量的计算

根据作物对养分的需求量和肥料的品种计算每公顷或某一块土地的肥料用量。矿质肥料的包装一般为 50kg。因此，农民需要知道 50kg 袋中所含的各种养分的量。最简便的计算 50kg 袋中所含养分量的方法是将

包装袋标识上的养分含量除以 2。

例子：在每公顷氮（N）的用量为 60kg 时，需要施用多少袋硫酸铵（含 21% N 和 24% S）？21 除以 2 等于 10.5。因此，在一公顷土地上施用大约 6 袋硫酸铵可以使氮养分达到（略高于）60kg/ha。另外，6 袋硫酸铵还提供 72kg 硫。

如果土地面积仅为 500 平方米，那么，肥料的用量则为一公顷用量的二十分之一：一公顷的面积 10,000m<sup>2</sup> 除以 500m<sup>2</sup> = 20。因此在面积为 500 平方米的土地上，需要施用 15kg（300kg 除以 20）硫酸铵才能达到 60kg/ha 的用 N 量要求。

如果每公顷土地的推荐施肥量为 N - P - K 60 - 60 - 60，最简单的选择是购买品种为 NPK 15 - 15 - 15 的多养分肥料。一袋 50kg 包装的肥料中养分的含量为 NPK 7.5 - 7.5 - 7.5。60 除以 7.5 等于 8。因此，8 袋 50kg 包装的 NPK 15 - 15 - 15 可以满足 60kg/haN，60kg/haP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 60kg/haK<sub>2</sub>O 的施肥要求。

当每公顷的推荐施肥量为 N - P - K 60 - 30 - 30 时，农民在一公顷土地上使用 8 袋 50 公斤包装的 NPK 15 - 15 - 15 会使磷和钾的用量多出一倍。在这种情况下，应该将 4 袋 50kg 包装的这种肥料作为底肥施用。这样做可以满足磷和钾的用量要求，而氮的用量只达到要求的一半。其余的 30kg 氮以单质氮肥的形式，按需要分一次或二次追施。

如果每公顷的推荐施肥量为 60kgN，30kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 50kgK<sub>2</sub>O，并且找不到养分比为 2:1:1.7 的肥料，计算就变得复杂些。在这种情况下，农民可以有以下三种

选择：

1. 将能买到的多元素肥料同单质肥料（主要为氮肥）结合使用，并分次施用氮肥。

2. 按全年作物轮作整体计算用肥量。按每茬作物的推荐施肥量准确地施用氮肥，而磷肥和钾肥的用量不按每茬作物计算。磷肥和钾肥每年的最终施用量应该等于各茬作物肥料需要量的总和。

3. 农民可以分别施用单质肥料，也可以根据所需养分配比将单质肥料混拌在一起自己制作多养分肥料。

将硫酸铵(21% N, 需要硫养分时)或尿素(45% N), 重过磷酸钙(46%  $P_2O_5$ )或磷酸二铵(18% N 和 46%  $P_2O_5$ )和氯化钾(60%  $K_2O$ )混合能够制作出适用于推荐施肥量N - P - K 60 - 30 - 50的肥料。

应按照下面计算出的原料量制作所需养分的混配肥：

$$\text{尿素} : \frac{60\text{kg/ha} \times 100}{45} = 133\text{kg/ha}^{21}$$

$$\text{重钙} : \frac{30\text{kg/ha} \times 100}{46} = 65\text{kg/ha}^{21}$$

$$\text{氯化钾} : \frac{50\text{kg/ha} \times 100}{60} = 83\text{kg/ha}^{21}$$

这种用尿素、重钙和氯化钾混拌的肥料应该在混拌后尽可能快地施用。

当使用硫酸铵代替尿素时，需要的硫酸铵量如下：

$$\text{硫酸铵} : \frac{60\text{kg/ha} \times 100}{21} = 286\text{kg/ha}$$

除含有60kgN，30kg $P_2O_5$ 和50kg $K_2O$ 以外，这一混拌肥料中还含有69kg/ha硫。



如果用磷酸二铵代替重钙，磷酸二铵的需要量应该根据磷的推荐施肥量计算：

$$\text{磷酸二铵} : \frac{30\text{kg/ha} \times 100}{46} = 65\text{kg/ha}$$

这样配制的肥料还可以提供  $12\text{kg/ha}^{21}$  硫。其余的  $48\text{kg/ha}$  氮可以以单质氮肥的形式加入混拌肥料中，也可以分一次或二次单独施用。

然而，并非所有的肥料都可以混拌在一起。用以混拌的肥料在化学和物理性质上必须是彼此相容的。它们之间必须不发生化学反应，不因吸湿性增加而产生结块，也不产生气态损失。当含有氨的肥料同碱性炉渣、磷矿粉或石灰混合时，会出现氨挥发损失。

同样，水溶性磷肥（普钙和重钙，磷铵和氮磷肥）不可同含钙（如硝酸钙）的肥料掺混，因为钙会将水溶磷转化成难溶态磷。尿素和过磷酸钙，磷酸铵和过磷酸钙不可以掺混在一起施用。

为了防止吸湿性增加，作为一个规则，混拌肥料应该在混合后尽快施用。

用来混拌的肥料在物理性质上也必须是相匹配的。每种肥料的粒度要一致，密度也应该大致相似，以防止在搬运、储存和施肥时出现颗粒分离现象。在使用离心式施肥机施肥时这一点尤其重要。用人工撒施时，肥料也可能出现颗粒分离现象。

为了避免在田间制作混拌肥时出现错误，农民可以让有掺混设备的当地的肥料零售商为其加工（掺混<sup>22</sup>设备的投资相对低）。

肥料零售商能够根据具体地块上土壤和作物对养分的需求加工不同养分比的混拌肥料。他们知道什么

肥料可以混合，什么肥料不可以混合。但是，由于农民通常无法检测肥料的养分含量和质量，加工混配肥料的零售商必须有诚信和可靠。

## 九 施肥方式

施肥方式（有机肥料或矿质肥料）是科学种田的重要组成部分。作物吸取养分的量和时间与很多因素有关，如作物品种、种植时间、作物轮作、土壤和气候条件等。作为科学的施肥技术，农民所选择的施肥时间和施肥量应该能够让尽可能多的养分为作物所利用。为了获得最大的肥料利用率和减少对环境的污染，应该在作物最需要养分的时候施肥。这对于像氮这样活动性强的养分尤为重要。如果这类养分不能被作物的根部及时吸收，则非常容易淋失。

在施用尿素和磷酸二铵时，可能会出现氨在空气中挥发造成的养分损失。如果施肥后没有降雨或灌溉，则必须尽快将肥料在施用后翻入土中。这一点对于碱性（钙质）土壤尤其重要。

在降雨量大的地区，为了避免出现养分流失和水蚀，所有的大量养分和中量养分在施用后必须立即翻入土壤中。

在人工施肥时，要特别注意肥料撒放均匀和施肥量准确。在采用机械施肥时，应该将施肥机调整在总能保证撒放均匀和施肥量准确的状态。施肥设备应得

到很好的维护。

## 撒 施

对于种植密度高的不成行种植或行距很密的成行种植的作物和草地，一般采用撒施（即将肥料撒在土壤表面）的方法施肥。在施肥后要将肥料翻入土中以便增加肥效（磷肥）和避免氮挥发损失（尿素，磷酸二铵）的情况下，也应采用撒施的方法施肥。为了提高整个耕作层的土壤肥力，建议通过整地或深翻地将肥料翻入土层中。无论采用人工方法施肥还是用施肥机施肥，肥料的分布都要尽可能均匀。

## 条（穴）施

当采用局部施肥（在选定的位置放置肥料）方法施肥时，在播种时将肥料集中放置在土壤的指定位置。可以采用人工方法或专用播种机和/或施肥机（种子/肥料条播机）将肥料采用条施或穴施的方式施在土壤表土以下或施在种子的斜下方。这种施肥方法多用在行距较宽的成行种植的作物（玉米、棉花和甘蔗）上或磷、钾容易固定的土壤上。在低肥力土壤上当用肥量相对小时也采用这种施肥方法。

在山坡地上人工耕种时，将称好的几克肥料（最好是用合适的铁盒或杯子作量具）撒在种植行或种植穴内种子的下方或侧面，然后覆土。注意不要将肥料撒得太接近种子或已催芽的种子，以避免伤害小苗

(烧根)。

## 追 施

追施(给正在生长的作物施肥)主要用在粮食作物和牧草类作物上。在需要向土壤补充氮养分时,播种时一次将作物所需的氮肥全部施入土壤会造成淋溶损失时,或作物在某一生长阶段表现出需要增施氮肥时,通常进行追肥。移动性很强的硝酸盐可以在土壤中向下渗入并被作物的根部吸收。

钾在土壤中的移动性没有氮的移动性强,建议在轻质土壤上追施钾肥,即将总的钾肥用量分成基肥和追肥二次施用。

磷在土壤中的活动性差。因此,磷肥通常在播种前或播种时同钾肥和一部分氮肥一起作为基肥施用。剩余的氮肥应该作为追肥一次或多次施入土壤。

## 侧 施

对成行种植的株距大的作物,如玉米、棉花和甘蔗等,可采用将肥料施在植株侧面的方法施肥。对树或其它多年生作物通常也采用侧施法施肥。

## 叶 面 喷 施

叶面喷施是向作物供应微量元素(在作物出现不良生长症状时也可以是N或NPK养分)的最有效的方

法。微量元素的用量小，如果施入土壤，作物有可能吸收不到。为了减少叶片灼伤的风险，必须按推荐的浓度在多云的天气和清晨或傍晚喷施（避免液珠在喷施后迅速干掉）。

## 十 怎样确定肥料的需求量

要确定你所在地区作物和土壤对肥料的需求量，你必须了解下面二点：

1. 肥料中需要含有什么养分？
2. 获得最大生物产量和最大经济产量需要多少养分？

找到上述问题答案的方法有几种。将作物在不同产量时移走的养分量作为计算肥料需求的指标已在第七章“作物的推荐施肥”中讨论过。下面是其它方法：

1. 通过作物的营养缺乏症状（缺素症）确定肥料需求。
2. 通过土壤养分分析确定所需养分的种类及需求量。
3. 通过在田间对作物和/或作物组织进行测定确定肥料需求。
4. 肥料田间试验。

### 植物缺素症

如果作物对某种所需要的养分吸收不足，就会在

整体外观和颜色上表现出来缺素症状。典型的症状是：作物的植株矮小，呈淡黄色或出现微红的斑点或条纹，叶片呈黄绿色或非常暗的蓝绿色。收获时产量减少，有时严重减产。

缺素症状的鉴定有时很容易，但有时却很难。原因是二种不同养分造成的缺素症状可能几乎相同，或一种养分造成的缺素症状掩盖了另一种养分的缺素症状。缺素症状有时会随气候的变化（在潮湿和干旱之间变化）出现或消失。有时作物会存在潜在缺素的情况。另外还要注意，不要将病毒或真菌病的症状，或害虫或有害动物伤害造成的症状误认为缺素症。

只有在严重缺乏某一养分时作物才会出现明显的症状。缺素症状应该通过土壤分析、植株分析、田间作物组织速测或田间肥料试验（在当地的试验站做盆栽试验）等诊断方法进一步确认。

一些作物常见的缺素症状如下：

### 缺 氮

——作物生长受阻（所有缺素的共同症状），生长不茂盛，植株矮小。

——植株整体失绿（所有缺素的共同症状），叶子从叶尖开始向后变黄（叶尖失绿<sup>23</sup>），老叶呈黄绿色。

——下部老叶早期枯死，上部叶片仍保持绿色（有时会被误认为缺水）。

### 缺 磷

——作物生长受阻。

——叶子呈暗绿色，从叶尖开始出现紫红色和褐色（有时出现在茎上）。

——作物成熟延迟、贪青。

——果实畸形，谷物籽粒不饱满。

### 缺 钾

——作物生长受阻。

——叶片从叶尖到叶根沿外缘出现失绿。

——叶片的外缘呈黄色或红色；严重时叶子变褐色，枯萎和枯死（叶缘坏死）；叶子萎蔫。

——容易倒伏。

——树的叶片呈淡黄色，红色，叶尖萎缩，叶片卷曲。

——果实小，有病斑或枯斑，耐储性差。

### 缺 镁

——叶脉间出现失绿，叶脉仍是绿的（典型的条状缺绿病；镁元素是植物光合作用所需叶绿素的组成部分）。严重时，从底部的老叶开始出现斑点和枯死（组织坏死）。

### 缺 硫

——整个植株呈黄色（有时被误认为缺氮）。

——作物上部的叶片，甚至嫩叶，呈淡黄色。

——作物成熟延迟。

### 缺 钙

——嫩叶呈黄色到黑色，叶片卷曲（褐斑）。

- 作物萎蔫。
- 果实腐烂（西红柿）。
- 根畸形。

### 缺 硼

——叶片频繁出现畸形和卷曲，叶厚且脆，叶脉之间有白色不规则斑点。

——顶芽的生长点坏死，尖部出现分蘖性生长，伸展生长受到抑制，茎节间缩短。

——在甜菜和其它块根作物的根部以及其它作物的茎髓上出现水渍状坏死或空腔。

——果实小且形状不好，常出现木栓质瘤和病斑。

——由于不完全授粉，籽粒产量低。

### 缺 锌

——小叶病。

——果树上出现典型的分蘖性生长的短嫩枝。

——在叶片下部的叶脉之间出现褪绿条纹（白色的条纹）。

——有时叶片呈橄榄绿色或灰绿色（同缺磷非常相似）。

### 缺 铁

——在嫩叶的绿色叶脉之间沿叶片的整个长度出现典型的失绿（常出现在石灰性土壤上）。

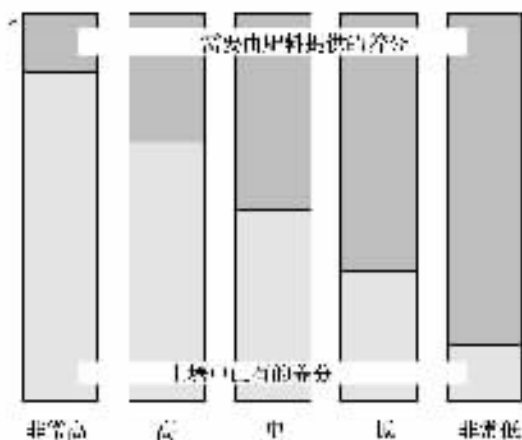
虽然缺素症状能够让农民掌握作物营养失调的情



况，但是，即使是能够及时给作物补充适当的养分，使明显的缺素症状很快得以矫正，作物的产量仍会低于那些从播种到收获一直保持充足养分供应的作物。因此，要采用科学的种田方法来保证作物在整个生长季节不缺乏任何一种养分。土壤分析、植物分析、田间植物组织速测和田间肥料试验是达到这一目的最有效的方法。

## 土壤分析

土壤分析的目的是查明土壤中有多少能够被作物吸收的养分和需要向土壤再施入多少矿质肥料才能达到目标产量。图 8 是不同土壤分析值与肥料施用量之间关系的简单说明。



非常高水平所用的肥料是为了“首次”或“维持”的目的

图 8 与不同土壤检测结果相对照的养分来源

土壤中有效养分含量越高，所需要的施肥量就越少。为了维持土壤的肥力和地力，就是在土壤测定值很高时，也应该通过施肥补充一些养分。土壤分析的方法有多种。然而，关键是找到对已知土壤适用的养分分析方法与对应产量的相关性（分析手段）。

如果你那里的试验站已做过土壤分析和田间试验，并且已经建立了土壤分析方法与作物施肥反应的关系，你应该将你的土样送到他们那里。他们能够对土壤分析结果进行正确的判断并给出相应的推荐施肥量。

### 怎样进行土壤分析

做土壤分析时，首先从土壤的耕作层采取样品。然后用适当的化学方法从土样中提取并测试有效养分含量，并根据相应的田间试验资料找出分析结果与施肥反应的关系。

根据这些分析数据可以判读土壤分析结果并给出推荐施肥量（当然，还要考虑到上茬作物/作物轮作，肥料的使用情况和气候条件）。

### 怎样采取土样

分析用的土样是土壤分析结果准确与否的唯一依据，因此，必须小心取样。选择取样的地点很重要。不要对不同类型的土壤进行混合取样。如果田间某块地的土壤表现出与其它地块不同，或作物的生长明显地与其它地块有区别，应该分别取样。

采取土样用的工具是土钻、取样器或铁锹，铲刀和干净的小桶和容器（注意不要使用盛过肥料的小桶

或容器)。

使用铁锹时，挖一个深度为 15 ~ 20cm 的 V 形坑。用铲刀从 V 形坑的两边分别铲下 2cm 厚的土样。每做一个综合土样要从地块上（最大面积为 1 公顷）随机采取 20 个这样的土样。然后将全部土样放在小桶中充分混合，再从混合好的土样中取出 0.5kg 放在干净的纸袋或小盆中（通常要先放在干净的纸上风干）。正确地做好标识和记录，并为每个土样绘出取样地块图，以便正确地掌握土样所代表的地块。

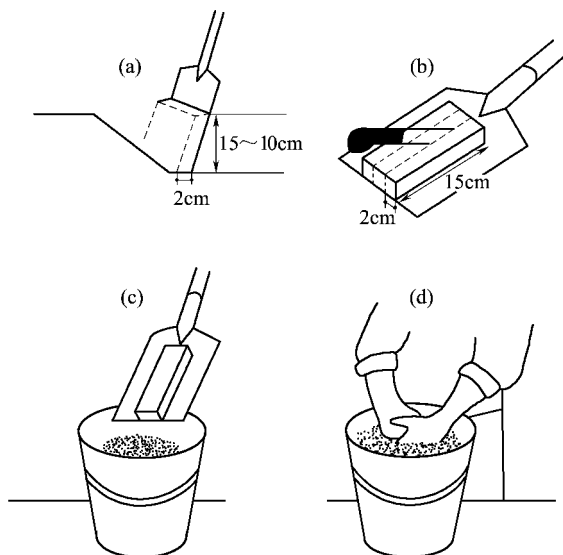


图9 土壤取样

在作物收获后和下茬作物播种和施肥前取样可以得到最可靠和最有用的分析结果。

## 植物分析

### 植株分析

进行植株分析就是在“向作物询问”由土壤和肥料提供的每个测定的养分是否足够，所需要的不同养分的比例是否正确。作物能向你提供取样当天作物总养分状况的可靠信息，从中得出需要对当季作物补充的肥料量。通过植株分析，可以用化学方法确定植物液体或干物质中不同养分的浓度以及它们之间的比例。作物对每种养分都有最低浓度（临界值）要求，如果作物中的某种养分低于这一最低浓度，对作物施用含这种养分的肥料就能增加产量。每种养分的临界值根据目标产量确定。这种方法的最大优点是临界值一旦正确地确定，就对世界上相同的同一种作物都适用。另一个优点是能够确定作物的养分种类和很高的分析精度。

植株全量分析对多年生作物更有价值，因此被广泛地用在果树（柑橘属）和油棕树上。

### 田间植物组织速测

在田间对正在生长的作物进行植物组织速测。将选定的部分（通常为新成叶片或叶柄）剪下并放在提取剂内摇动，或将液体挤到试纸上并用适当的化学剂处理（提取物现场测试）。将显现的颜色同已知养分浓度的样色，或同健康生长的高产作物的样色相比

较。

在田间做植物组织速测对确认缺素症是有价值的，也有助于发现潜在缺素情况。这种方法的优点是可以快速和直接地对正在生长的作物进行检测，成本低，并且可以在田间对检测结果直接进行比较。

## 肥料田间试验

植株分析和田间组织速测的目的是通过将分析结果同生长良好的高产作物确立的标准相比较诊断出作物缺素，特别是“潜在缺素”的状态；而土壤分析的目的则是找出分析结果与作物产量的相关性。这一相关性要通过肥料田间试验来确立。因此，要确定作物需肥量与最终产量之间的相互关系，肥料田间试验是一项必不可少的工作。在进行田间试验时，按已知的作物养分需求量（和/或按土壤或植物检测结果）施肥，观察作物对肥料的反应并计量最终产量。

田间试验的优点如下：

1. 是确定作物和土壤对养分的需求量，进而向农民提出施肥量建议的最好方法。
2. 能够证实根据土壤和植株分析确立的推荐施肥量与产量之间关系的精确程度。
3. 通过田间试验可以对用肥进行经济分析，即计算施肥的回报率，这一点对农民是最有说服力的。
4. 可以为生长中的作物留下照片，用于以后的宣传和示范。

5. 通过示范或简单的试验向农民和农业工作者证实施肥产生的效益。

田间示范（或简单实验）的作业方法在第十二章中讨论。

## 长期田间试验

对一个地区进行过充分的肥料试验后就可以获得普遍适用于该地区的推荐施肥量。应该将这些资料当作本书的一部分附在本手册的后面。

但是，由于条件的变化总是很快，确定作物在某一土壤上对肥料的需求量不是一劳永逸的。当只施用单一养分时（不平衡施肥），其它养分就可能成为限制因子。一种养分的用量不足，或用量过大，会降低作物的产量或减少农民使用肥料的收益。不平衡的养分供应还会使作物易感染病害，易倒伏或晚熟。

因此，研究工作必须连续进行，即开展长期的田间试验，以便经常性地确定作物和土壤所需养分的含量和比例。

## 十一 限制作物产量的其它因素

施肥是提高生产力和建立可持续发展农业的一个最重要的因素。但是，它并不能解决作物生产中的所

有问题。

在本手册的前几章中我们已经介绍过限制和影响作物产量和降低肥料利用率的几个因素和耕作习惯。在科学种田的实践中，农民应特别注意下面几项内容：

——正确和适时地准备苗床。

——作物的品种（首选高产品种）。

——正确的播种量。

a) 植株密度

b) 株距或行距

——最佳播种时间

——充足的水分（有条件时要进行灌溉，加覆盖层以防止土壤侵蚀和保持土壤湿度）。

——适当的排水能力（通过地面或瓦管派水系统排掉过量的水）。

——控制杂草（人工锄草或化学剂除草）。

——控制作物病害（种植抗病能力强的作物和使用合格的农药）。

——控制虫害（使用推荐的和经过鉴定的手段）。

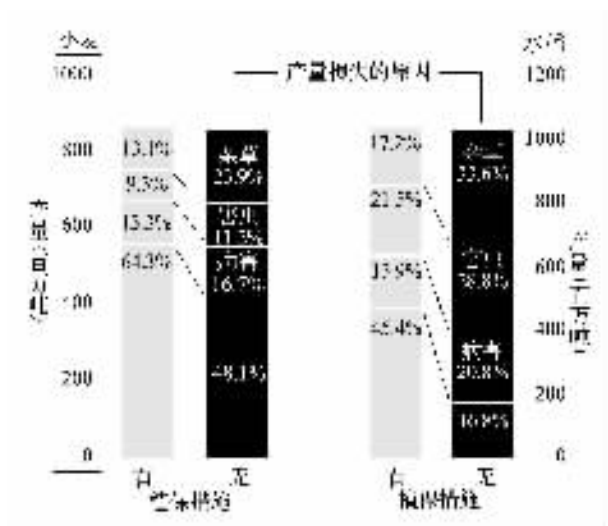
——采用能减少病虫害和杂草的作物轮作方式。

——改善土壤结构（通过作物轮作，临时种草或施有机肥和绿肥）。

——维持土壤有机质的含量（通过作物轮作，施有机肥或有机质）。

很难准确地估算其它因素对作物生长和产量造成的损失有多大。有人对控制杂草和植物保护的效果进行过计算。图 10 给出杂草和作物病虫害给小麦和水稻

产量造成的损失。从图中可以看出理论上可获得的产量与有记录的实际产量之间形成的鲜明对比。它告诉我们控制杂草和植物保护的重要性。在没有植物保护的情况下，一半以上的小麦理论产量在杂草和病虫害的影响下损失掉。在有植物保护的情况下，大约三分之二的理论产量得到收获。水稻的情况更坏些。在没有植物保护时，只能收获理论产量的五分之一。就是在有植物保护的情况下，收获的产量也不足理论产量的一半。



1988 ~ 1990 年的实际产量和损失。

如果存在影响作物产量的其它因素，肥效会降低。

图 10 植物保护的重要性

资料来源：欧洲植保协会，布鲁塞尔，1992



## 十二 农化服务工作

作为农化服务工作者，帮助农民是你的责任，也是你为农民服务的机会。你可以通过谈话、写文章、田间工作和开会向农民示范肥料是怎样使农作物获得高产的。同时，你还可以向他们讲述改进的农田管理技术对增加农业收入 and 环境保护，进而对可持续发展的农业带来的好处。你所从事的农化服务工作对你所在地区的农村和你的国家都是非常重要的。

在向当地农民介绍肥料前，你必须清楚你要达到什么目的。你需要在事前作好充分的准备。首先，你要了解从哪里可以买到肥料，即谁是当地的零售商，仓库里有什么品种的肥料和需要在什么时间购买。接着，你要走访当地的肥料试验站、农校或农业大学，向他们请教适用于当地的推荐施肥量。这样收集到的作物推荐施肥资料应作为本书的一部分附在后面。根据这些推荐施肥资料开始你的田间示范试验，然后根据你将来的试验结果对这些资料进行修改。再接着，你应邀请农民到示范小区参观并同他们讨论肥料对作物生长和产量的影响。这些讨论应该围绕科学种田技术进行。最后，你应该在示范田开放日举办田间学习班，向他们示范通过施肥提高产量所获得的经济利益。

## 肥料试验示范的实施方法

在开始肥料示范试验之前你要制定好试验计划：向农民示范什么？在什么作物上进行示范最有说服力（你所在地区价值最高或种植最多，或食用最多的作物）？同哪些农民合作？将试验小区设在什么地方最合适？当地有哪些肥料可以在选定的试验作物上使用？在什么时候和怎么样施肥？还应该考虑采取哪些措施？

为了开展肥料示范工作，需要做如下准备工作：

1. 示范田的规划（二块或更多块示范小区<sup>24</sup>；地点和示范的作物；每块示范小区的面积；将示范小区设在一块田地上还是设在多块田地上）。

2. 设一个记录本，用来记录示范试验的全过程，包括每个小区的工作（施肥量，施肥时间），小区的位置，作物生长观察，作物生长期间杂草和病虫害控制和最终产量。

3. 找一位或多位对示范试验有兴趣的农民同你一起合作，在他们的田地里帮助你开展试验工作。

4. 在适当的时间购买正确品种的肥料。使用前，将肥料放置在干燥的地方保存。

5. 一台称肥料重量的称。

6. 准备好纸袋，最好是多层纸袋，用来盛不同示范小区的肥料。每个纸袋上都要有清楚的标识。

7. 测量小区面积/长度和形状用的量尺。标志小区边界，特别是每个拐角用的木桩和绳子。

8. 收割用的镰刀和计量产量用的称等工具

9. 肥料和农产品的实际价格和计算器（用来计算产值/成本比和/或净盈利）。

作为一个规则：示范方案的设计要简单。

a) 在所有其他因素都相同的条件下，同不施肥的小区对比施肥的效果。简单的方案是：不施肥—推荐施肥量。

b) 如果你想说服农民提高 N、 $P_2O_5$  和/或  $K_2O$  的用量，你应将试验方案设计成两种不同施肥量的对比。这时的方案应该是：

不施肥—低施肥量（如  $30\text{kg/ha N}$ ）—高施肥量（如  $60\text{kg/hm}^2\text{N}$ ）。用同样的方法对  $P_2O_5$  和  $K_2O$  养分进行对比试验。在对一种养分做提高施肥量的对比试验时，其它两种养分必须同时足量存在于土壤中（平衡施肥）。

c) 如果要向农民示范平衡施肥的重要性，你需要采用有三个或四个示范小区的方案：不施肥小区—只施氮养分（N）的小区—施氮和磷养分（NP）的小区—施氮、磷和钾（NPK）养分的小区。

采用三个小区时的不同方案为：

不施肥—NP—NPK，或

不施肥—P—NP，或

不施肥—N—NP，或

不施肥—N—NPK。

d) 除了向农民证实使用肥料的好处外，你可能还想向农民示范改进的耕作技术，特别是综合作物栽培管理的效益。那么你就需要一个有四个示范小区的

方案：

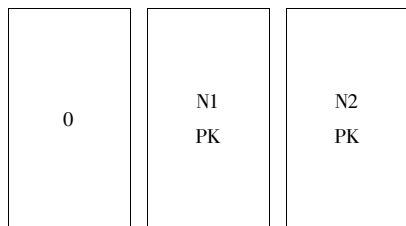
1. 按农民的习惯耕作的<sup>不</sup>施肥小区。
2. 按农民的习惯耕作，但按推荐量施肥的小区。
3. 按改进的耕作方法（保持耕作；施有机质；施有机肥和绿肥；用改良种子；正确的播种时间和播种方法；杂草和病虫害控制等）耕作的<sup>不</sup>施肥小区。
4. 按改进的耕作方法耕作，并按推荐量施肥的小区。

因为改进的耕作方法中包含很多“其它”因素，而不仅仅是肥料的使用，所以应对最后一个示范方案给予特殊重视。建议你自己只进行 a 和 b 两项简单的示范实验。对于 c 和 d 两项和更多项（6~10 项）试验项目<sup>25</sup>，应该同当地的试验站合作完成。

## 确定示范小区的面积

示范小区的面积应根据田地的面积而定。因为你所在地区的田地面积通常可能不大，所以示范小区的面积也应该小。但是，示范小区的面积必须大到足以能在上面做出有说服力的试验，并能获得证明试验效果的精确的产量数据。因此，小区的面积在 50~400 平方米（5 米×10 米~10 米×40 米）之间为宜。

一般情况下，示范小区应为长方形，并且并排排列。每个小区之间和整个示范区的四周应留有宽度为 0.5~1 米的人行道（见图 11）。记住田地的地形，让所有的示范小区都处在同一方向上。



小区面积：5 米 × 10 米

每个小区之间留出 0.5 米宽的人行道

图 11 有一个对比小区和两个不同氮肥用量小区的简单实验方案举例

建议随机设置试验的序号。但是，当试验方案仅有三个小区时，应该采用 0—1N—2N（或其它养分）的序号。如果在几家农民的田地里进行同一个试验，也应该这样做，以避免农民将试验弄混<sup>26</sup>。

对于以垄种植的作物，要将示范小区的宽度调整到整垄数：垄间距为 1 米的 10 垄小区的宽度应该为 10 米；垄间距为 1.2 米的 9 垄小区的宽度应该是 10.8 米。如果示范小区的面积大，则不必将小区的作物全部收获，只收获 20 ~ 50 平方米面积或 10 米长垄上的作物就足够了。

## 计算每块小区的肥料施用量

如果你想给示范田施单一养分肥料，如尿素，过磷酸钙和氯化钾，你应该按照下面的公式计算每个实验方案的用肥量：

$$\text{小区的施肥量} = \frac{\text{每公顷养分需要量}(\text{kg}/\text{hm}^2) \times \text{小区面积}(\text{m}^2)}{\text{肥料中养分的百分含量} \times 100}$$

例如：示范试验方案为：

小区的施肥量 ( kg/ha )	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
a )	0	0	0
b )	30	30	30
c )	60	60	60

需要注意的是，只有对有灌溉的作物或在降水量大的地区才采用高肥料用量。在每公顷肥料用量为 30kgN，示范小区的面积为 50 平方米，尿素的 N 含量为 45% 的条件下，按如下公式计算：

$$\text{每个小区的施肥量} = \frac{30 \times 50}{45 \times 10} = 0.33\text{kg (尿素)}$$

因此，你要按照方案 b 为每个小区准备 0.33kg 尿素；按方案 c 为每个小区准备 0.66kg 尿素。对于一个面积为 400 平方米的示范小区，方案 b 和 c 所需的尿素量分别为 2.64kg 和 5.28kg。以磅和英亩为计量单位计算肥料用量的方法与上述相同（见附录）。

## 在小面积示范小区上撒施肥料

施肥前，按照每个示范小区的肥料用量将肥料称量好并装在纸袋中。为了防止出现错误，每个纸袋都要有标记并且清楚地记录在笔记本上。人工撒施肥料不是很难（图 12）。但是，均匀地将很少量的肥料人工撒施在田地上明显是不容易的。为了撒施时肥料着地均匀，可以在肥料桶中放些干土。将纸袋中称好的肥料倒在干土上面并充分混合。这样，桶中的体积增

加，有助于均匀施肥。示范小区的面积越小，失误或误差对试验结果的影响就越大。因此，小区的面积越小，施肥就越要用心。一定要保证将肥料非常均匀地散布在小区的地上。

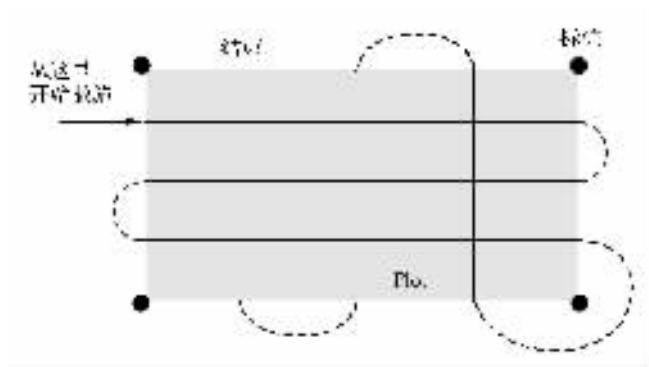


图 12 在小块示范田上撒施肥料的正确方法

施肥时，手里抓着一小把混在干土中的肥料，在示范小区上像播种一样边走边撒。这种方法可用于来基肥（播种前）和追肥（正在生长的作物），适用于为很多作物施肥。但是，对于如玉米、薯蓣、花生和果树这样成垄种植的作物，建议采用侧施或按株施肥的方法。将少量（几克）肥料放在种子旁边的穴内或沟内并盖上土（见第十章）。

## 评价肥料示范的结果

在整个种植季节要定期同土地的主人一起到试验现场观察。对作物生长发育情况以及降雨、灌溉、杂草和病虫害防治等资料要进行记录。

收获和计量产量的工作应该在开放日进行。但是，

如果在作物生长期你已经让农民亲眼见过作物生长发育的区别，那么，在这次开放日的前几天将大约 20 平方米面积上的作物先收获下来计量产量，比较不同方案的结果并计算经济效益会收到更好的示范效果。示范小区剩余的作物应该在最后一个开放日收获。

在开放日前收获一部分作物可以事先获得产量数据。

在产量数据、肥料成本和农产品价格等资料齐全的情况下，你可以计算出价值/成本比或净利润，将这些数据做成图表和宣传牌供开放日使用。

这种方法对农民是最有说服力的，因为农民最认准的是使用肥料会给他带来什么样的经济效益。

在计算价值/成本比时，将增产部分的价值除以获得该产量所用肥料的成本：

$$\frac{\text{增产部分的价值（钱数）}}{\text{肥料成本（钱数）}} = \text{价值/成本比}$$

价值/成本比的值大于 1 说明通过施肥获得了利润。当价值/成本比为 2 时，说明施肥的回报率为 100%，即施 1 元钱的肥料获得了 2 元钱的增产。要知道这一投资的回报通常是在投入几个月后就获得的。为保证农民获得较好的经济效益，价值/成本比的值应总是高于 2。

净回报指的是收入的绝对增加。计算时，将通过使用肥料而获得增产的价值中减去肥料的成本：

$$\text{增产部分的价值（钱数）} - \text{肥料成本（钱数）} = \text{净回报}$$

净回报为正表明施肥是盈利的。净回报和价值/成本比的用途不同。根据所施肥料的价格不同，有时，



价值/成本比最高，但净回报却不一定很高。换言之，单位面积产量最高并不意味着回报一定最高。

通过进行上述两种计算，你可以为农民制定最经济的推荐施肥方案。

## 召开观摩大会

如前面所说，你应该在作物的生长季节择日召集农民和乡镇领导到他们村子附近你的示范田里参加开放日活动（通过明信片，信函，告示牌，报纸和电台邀请）。在你的邀请信中应包括下列内容：

——会议的目的：参观 × × × 作物的肥料示范田并讨论。

——被邀请人：当地农民（由妻子陪同），朋友，乡镇领导，农业银行的代表，肥料零售商等。

——会议地址：清楚地讲明会议的地点和到达会议地点的路线。

——会议时间：日期和时间。

在开放日会议上，你应该向农民展示肥料样品，并向他们示范施肥方法。你应该请示范田的主人向与会者讲述他在不同示范小区上观察到的作物生长情况和产量。如果可能的话，可以让与会者亲自收获一部分作物，引导他们估测施肥地块和未施肥地块的预期产量，并同他们一起估算施用肥料带来的经济效益。同时，建议并鼓励农民在自己的田地上进行试验。

除了在这些特殊的开放日举行活动外，还应该经常召集农民（包括他们的妻子），肥料零售商和村干部

参加一般性会议，讨论和通报有关肥料的事情。通过引发村民的兴趣将这种会议列入村里议事日程。如果能够以照片、彩色幻灯、告示牌或墙报的方式来讲解示范试验的结果，会议的效果会更好。这些照片等资料最好是你从自己的示范田上获得的实际资料。用墙报图表的方式讲解作物对养分的需求和肥料在满足作物养分需求上的作用。本手册中的有些图表也可以用作教材，会议应该由村领导召集。

前面已经讲过，因为条件变化快，对本年度适用的推荐施肥对下一年不一定完全适用。不光气候条件总变，降雨量、土壤肥力和作物品种也都会变。

从广义上看，有人说农业是永恒变化的。因此，除了正确地使用肥料外，建议农民努力掌握农业生产的基本原理和耕作技术。只有这样，他们才能适应新情况，解决新出现的不同问题。当技术，经济或社会条件变化时，农民必须能够及时地改变自己的耕作系统或管理技术。

一般土壤和养分综合管理项目由农民田间学校实施。咨询本国政府机构看当地是否存在这种农民田间学校或农民田间学校是否实施该项目。

## 十三 结 束 语

肥料是保证粮食安全和维持土壤肥力、促进农业发展的最重要工具之一。通过你的积极努力和热心工

作，推广科学的施肥技术和扩大肥料的使用量会给农村带来实实在在的变化。帮助农民改善你所在地区农民的生活条件，维持可持续发展的农业是你的责任，也是对你的挑战。

## 附录：单位换算表

面积和距离	
1 公顷	= 10000 平方米 = 2. 471 英亩
1 米	= 1. 0936 码 = 3. 2808 英尺 = 39. 37 英寸
1 英亩	= 4. 480 平方码 = 0. 4047 公顷
1 码	= 3 英尺 = 0. 9144 米
1 英尺	= 12 英寸 = 0. 3048 米
重 量	
1 千克	= 1000 克 = 2. 2046 磅
1 千克/公顷	= 0. 8922 磅/英亩
1 公吨	= 2204. 6 磅 = 1. 1023 短吨 = 0. 9842 长吨
1 磅	= 0. 4536 千克
1 磅/英亩	= 1. 1208 千克/公顷
1 短吨	= 2000 磅 = 0. 9072 公吨
1 长吨	= 2240 磅 = 1. 016 公吨

续表

肥 料	
磷	
将 $P_2O_5$ 换算成 P	$P_2O_5$ 数乘以 0. 4364
将 P 换算成 $P_2O_5$	P 数乘以 2. 2914
钾	
将 $K_2O$ 换算成 K	$K_2O$ 数乘以 0. 8302
将 K 换算成 $K_2O$	K 数乘以 1. 2046

## 注 释

1. 出自“无机肥料在全球农业中的长远前景”一文。该文章为美国阿拉巴马州 IFDC 公司 Travis P. Hignett 1999 年的讲稿。

2. “在土壤中的吸附”指的是水分子和离子附着在泥土和有机质颗粒的表面上。“吸收”指的是作物的根吸取养分时的表面渗透。

3. 细菌在厌氧条件下将土壤（特别是水渍地）中的氮转化成氮的氧化物和气态氮： $\text{NO}_3^- \text{—NO}_2^- \text{—NO—N}_2\text{O—N}$

4. 氨基酸中的氮：腐殖质  $\rightarrow \text{R—NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{R—OH}$

5. 细菌将  $\text{NH}_4^+$ （氨化过程产生的或肥料中的）转换成  $\text{NO}_3^-$ ：



在硝化过程中，大量的氮以对环境影响的气体（ $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{NO}$ ）形态损失掉。

6. 见“根瘤菌/生物固氮”一节。

7. 这里的大部分资料摘自于国际肥料工业协会 1992 年于巴黎出版的“世界肥料使用手册”一书。

8. 尿素的用量从 1973/74 年的 830 万吨 N 增加到 1997/98 年的 3760 万吨 N，从占氮肥总量的 22% 增加到 46%。绝大部分磷肥用量的增加是磷酸二铵用量增加的结果。钾肥主要为氯化钾。偏爱使用高浓度单一养分肥料，特别是尿素，其结果是在发展中国家，特别是亚洲地区出现用氮不平衡的现象。全球平均  $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$  比从 1973/74 年的 1:0.6:0.5 降到 1998/99 年的 1:0.4:0.3（资料来源：国际肥料工业协会，1999。）

9. 在国际水稻委员会“时事通讯”上发表的文章“可持续发展的水稻生产——挑战与机遇”，作者 S. K. De Datta.

10. 除被作物吸收外，养分还会通过淋失、侵蚀和土壤固定等方式损失掉。由反硝化挥发和自然淋失造成的养分损失在最好的耕作技术条件下也是不可避免的。

11. 这当然也取决于经济而有效的销售和运输系统和当地的库存能力。

12. 施肥不均匀意味着田地上有的地方肥料过量（污染环境），而有的地方肥料不足（减产）。

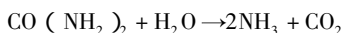
13. 养分含量通常是保证的。由于大规模生产和分析时的取样误差，养分含量在规定的误差范围内是允许的。

14. 散装运输可以省去包装袋和装袋的费用。但是，散装运输的量必须大，并且要求有非常好的管理，以避免运输和库存损失。

15. 磷和钾养分通常以  $P_2O_5$  和  $K_2O$  表示。它们是 P 和 K 的氧化物（见附录：单位换算表）。

16. 如果肥料为硝酸铵，还要标明危险等级。

17. 在分布在土壤表层的脲酶的作用下，酰胺基 N（尿素中 N 的形态）很快就会转化（水解）成氨， $CO_2$  和  $H_2O$ ：



尽管是在较低的温度下，酰胺基 N 转化成铵态 N 在 1~3 天内就可完成。在热带和亚热带条件下，几个小时内就可以完成。如果尿素施后不翻入土壤，而是留在地表面上，氨就会大量挥发损失掉，特别是在碱性土壤（pH 值高的土壤）上。只要是翻入土内，那怕是薄薄的一层，氨就会被以  $NH_4^+$  的形态吸附在泥土和有机质的颗粒上，从而避免了氨的挥发损失。

18. 摘自于联合国粮农组织 1984 年于罗马出版的“肥料和作物养分指导”一文。

19. 螯合剂形成复合有机分子，能够防止微量元素被土壤固定并有利于作物更好吸收。

20. 缓释和控释肥料之间没有正式区别。但是，通过微生物分解产品，如甲醛尿素，通常被称为缓释肥料，包膜的产品通常被称为控释肥料。

21. 四舍五入的数字。

22. 掺混肥料是将等粒径的颗粒肥料或原料以物理方法混合（无化学反应）而生产的混合肥料。通常是在快要使用时生产，并且可散装运到地里。

23. 褪绿，即叶子的颜色变黄，表明叶绿素的形成受到影响。通过施用所缺乏的养分，褪绿病是可以治好的。枯斑，即叶子全部或部分变成棕褐色，表明组织坏死。即使施用养分也不能将枯斑病治好。

24. 先从两个小区的试验开始，即一个对比小区，一个试验小区。这样，你的试验没有重复组。如果在几家农户的土地上试验，可以将不同地块的试验作为重复组评估。但是，这样做是否合适，应该征求当地试验站的意见。

25. 联合国粮农组织肥料项目曾进行过 8 个小区的试验：对比小区 = 000，PK 小区 = 011，NK 小区 = 101，NP 小区 = 110NPK 小区 = 111，2N + PK 小区 = 211，2P + NK 小区 = 121 和 2K + NP 小区 = 112。有关试验和示范的结果已于 2001 年在国际互联网上公开发表。

26. 在进行三个重复组的六个试验方案时，通常采用随机分组的方法。下面是这种试验编号顺序举例：

重复组 1：6-3-5-2-4-1

重复组 2：2-4-6-1-3-5

重复组 3：1-2-3-4-5-6