

测土与施肥

吕英华 秦双月 主编

中国农业出版社

测土与施肥

吕英华 秦双月 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测土与施肥/吕英华, 秦双月主编. —北京: 中国农业出版社, 2002. 10

ISBN 7-109-07530-3

I. 测... II. ①吕...②秦... III. ①土壤肥力-测定-基本知识②施肥-基本知识 IV. ① S158.2 ② S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 069866 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 贺志清

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

• 2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 10.125

字数: 280 千字 印数: 1~6 000 册

定价: 18.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编
副主编
编写者

吕英华 秦双月

张兰松 胡建东

(以姓氏笔画为序)

王景生 刘克桐 刘淑桥 孙育强

吕英华 吕秀敏 朱秀红 张兰松

张里占 张英明 陈喜昌 杨兆波

林宝民 林朝中 段霄燕 段铁城

胡建东 赵彦卿 赵惠芳 谢 红

曹晓东 崔风俊 解贺桥 谭新敏

前 言

肥料是重要的农业生产资料。科学合理施用肥料对于增加农作物产量，提高农产品品质，保持农田土壤生态系统良性循环，提高农业生产效益具有重要作用。当前，人们对无公害农产品、绿色食品的生产越来越重视，施肥作为其中的一个重要环节也引起广泛的关注，对肥料的施用也提出了更高的要求。要做到科学合理施用肥料，必须了解土壤养分状况，对土壤养分进行测试；根据土壤养分测试结果和作物营养特性，提出科学的施肥配方；肥料生产部门按照配方，采用先进的工艺，生产出优质肥料；将肥料通过市场或直接供应给农民消费者施用；农业技术推广部门对农民施肥进行技术指导，并推广先进的施肥技术。将上述内容概括起来就是“测、配、产、供、施”一条龙服务。本书就是按照这样一条主线，从测土开始一直写到肥料施用，将土壤养分化验方法、肥料配方设计知识、配方肥的生产工艺、肥料的施用技术有机结合起来，进行了详细介绍。

全书共分为十五章，第一章至第十一章介绍了土壤肥力基础知识和土壤分析方法，第十二章论述了植物营养与施肥的关系，第十三章讨论了配方肥的配方设计和生产技术，第十四章、第十五章概述了施肥方案的制定以及主要作物的施肥技术。该书既有理论原理，又有实用技术；既满足了农业、化工技术人员的需求，又考虑到了广大农民的需求。适合农业技术人员、化验人员、肥料生产销售技术人员和广大农民阅读，也可供农业院校师生和科研单位研究人员参考。

该书在编写过程中，参考引证了许多书籍和科技资料，在此向其作者深表谢意。由于编者水平有限，书中难免有疏漏、错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2002年5月

目 录

前言

第一章 土壤肥力基础知识	1
第一节 土壤水分	2
第二节 土壤空气	8
第三节 土壤温度	11
第四节 土壤养分	16
第二章 土壤样品的采集与处理	27
第一节 土壤样品的采集	27
第二节 土壤样品的处理与贮存	30
第三章 土壤水分的测定	33
第四章 土壤比重、容重、孔隙度的测定	37
第一节 土壤比重的测定（比重瓶法）	37
第二节 土壤容重的测定（环刀法）	40
第三节 土壤孔隙度的计算	42
第五章 土壤 pH 的测定	43
第六章 土壤有机质的测定	48
第七章 土壤氮素的测定	53
第一节 土壤全氮的测定（半微量开氏法）	53
第二节 土壤水解性氮的测定（碱解扩散法）	57
第三节 土壤铵态氮的测定（纳氏试剂比色法）	60
第四节 土壤硝态氮的测定（酚二磺酸比色法）	62
第八章 土壤磷素的测定	66
第一节 土壤全磷的测定	66

第二节	土壤有效磷的测定	70
第九章	土壤钾素的测定	75
第一节	土壤全钾的测定	75
第二节	土壤缓效钾的测定	80
第三节	土壤速效钾的测定	82
第十章	土壤微量元素的测定	84
第一节	土壤铜、锌、铁、锰的测定	85
第二节	土壤硼的测定	90
第三节	土壤钼的测定	97
第十一章	土壤养分速测	102
第一节	土壤养分速测概述	102
第二节	速测仪工作原理与类型	110
第十二章	植物营养与施肥	119
第一节	植物生长必需的营养元素	119
第二节	植物对养分的吸收	125
第三节	植物营养缺乏症	145
第十三章	配方肥生产技术	165
第一节	配方肥常用基础肥料	166
第二节	配方肥配方的设计	172
第三节	配方肥生产工艺	188
第十四章	施肥方案的制定	212
第一节	制定施肥方案的依据和原则	212
第二节	施肥量的确定	216
第三节	施肥方法	233
第十五章	主要作物需肥特性与施肥技术	262
第一节	冬小麦需肥特性与施肥技术	262
第二节	水稻需肥特性与施肥技术	265
第三节	玉米需肥特性与施肥技术	268
第四节	谷子需肥特性与施肥技术	271

目 录

第五节	高粱需肥特性与施肥技术·····	274
第六节	甘薯需肥特性与施肥技术·····	277
第七节	马铃薯需肥特性与施肥技术·····	279
第八节	棉花需肥特性与施肥技术·····	281
第九节	大豆需肥特性与施肥技术·····	284
第十节	花生需肥特性与施肥技术·····	286
第十一节	黄瓜需肥特性与施肥技术·····	288
第十二节	西瓜需肥特性与施肥技术·····	291
第十三节	大白菜需肥特性与施肥技术·····	294
第十四节	番茄需肥特性与施肥技术·····	296
第十五节	茄子需肥特性与施肥技术·····	299
第十六节	芹菜需肥特性与施肥技术·····	302
第十七节	苹果需肥特性与施肥技术·····	305
第十八节	梨树需肥特性与施肥技术·····	308
第十九节	桃树需肥特性与施肥技术·····	310
第二十节	葡萄需肥特性与施肥技术·····	312
第二十一节	枣树需肥特性与施肥技术·····	313

第一章 土壤肥力基础知识

土壤是重要的自然资源，是植物生长的基地和农业生产的基础。土壤之所以能生长植物，是因为它具有肥力，肥力是土壤的本质和属性。土壤肥力是指土壤为植物生长供应和协调营养条件和环境条件的能力。一般认为，土壤的肥力因素包括水分、养分、空气和温度，简称为水、肥、气、热四大肥力因素，其中水、肥、气是物质基础，热是能量条件。四大因素之间相互制约，相互作用，综合起来构成为肥力。作物生长发育不仅要求各肥力因素同时存在，而且必须处于相互协调状态，只有这样，作物才能长势健壮，产量高，品质好。

土壤肥力有自然肥力和认为肥力之分。自然肥力是指土壤在自然因素（包括母质、气候、生物、地形及时间，统称为五大成土因素）综合作用下形成的肥力，它是自然成土过程的产物。认为肥力是指土壤在人类耕种熟化过程中形成的肥力，它是在自然肥力的基础上，由于耕种、施肥、改良、灌溉等农业生产管理技术措施的培肥作用所产生的结果。土壤肥力按其在农业生产所产生的效益可分为有效肥力和潜在肥力。有效肥力是指在农业生产上直接表现出来、产生经济效益的那部分肥力。因受环境条件和土壤管理，包括耕作、施肥、栽培等技术水平的限制，没有在农业生产上直接反映出来的那部分肥力称为潜在肥力。有效肥力和潜在肥力是可以互相转化的，其间没有截然的界限，农田基本建设的任务之一就是要把潜在肥力转化为有效肥力，提高土壤的生产力。

不同的土壤有不同的肥力，有的甚至差距很大。没有高的肥

力，就很难有高的产出。我们从土壤肥力的产生可以知道，耕作熟化可以培肥土壤、提高土壤肥力。因此，在充分利用土壤资源的同时，还必须采取科学的耕作栽培管理技术措施，因地制宜地改良培肥土壤，使土壤肥力在利用中不断培肥更新，达到常用常新的目的。

第一节 土壤水分

土壤水分是植物吸收水分的主要来源，主要来自降雨和灌溉水，它以固态、液态和气态三种形态存在，其中最重要的是液态水，它是土壤表现出各种性质和进行各种过程不可缺少的条件。土壤水分在诸肥力因素中是最活跃的一个因素，对土壤肥力有很大的影响。土壤水并不是纯水，而是含有多种无机盐与有机物的水溶液，其浓度一般在 $200 \sim 1000 \text{mg/kg}$ 之间。

一、土壤水分的类型

土壤水存在于土粒表面和土粒间的孔隙中，主要由土粒表面的吸附力和土壤中毛管孔隙的毛管力所保持。根据土壤吸持水分各种力及其能量大小的不同，土壤中的水分可分为以下几种类型：即受吸附力支配的吸湿水和膜状水，为毛管引力所保持的毛管水和土壤孔隙所不能保持而受重力作用向下流动的重力水。

1. 土壤吸湿水 干燥的土壤借助于土粒表面的分子引力吸附空气中的气态水，这种水称为吸湿水。土壤吸湿水的数量决定于土壤质地、有机质含量及空气相对湿度。土质越黏，有机质含量越高，土壤吸湿水的数量就越多；空气的相对湿度越大，土壤吸湿水量也越多。当空气中的水汽达到饱和时，土壤吸湿水量达到最大值，此时的土壤含水量称为最大吸湿量或吸湿系数。

吸湿水受到土粒表面的吸引力很强，约为 $3.1 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^9 \text{Pa}$ ，具有固态水性质，对溶质无溶解能力，它是植物不能利用的无效水。风干土中所含的水分称为吸湿水。

2. 膜状水 土粒吸附空气中的水汽达到饱和后,当土粒与液态水接触时,由于土粒表面还有剩余的分子引力,还可在吸湿水的外面吸附一层极薄的水膜,这种吸附在吸湿水层外面的液态水膜叫做膜状水。膜状水数量达到最大值时的土壤含水量,叫做最大分子持水量。

膜状水所受的吸力比吸湿水小,但仍大于常态水,约为 $6.25 \times 10^5 \sim 3.1 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。它有液态水的性质,能从水膜厚处向水膜薄处移动,但速度很慢,仅 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm/h}$,远不能满足作物需要,只有植物根与它接触时才能被吸收利用。膜状水的有效性不高,只有部分可供植物利用,其中,土壤吸力大于或等于 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的部分植物不能利用,为无效水;土壤吸力小于 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的部分为有效水。一般认为,植物根系的吸水力平均为 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。当土壤水分吸力大于或等于 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ 时,植物就会因吸不到水分而发生永久萎蔫,即使以后增加水分供应也不能恢复生长,此时的土壤含水量称为萎蔫系数或凋萎系数。吸附力小于 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的那部分膜状水植物虽能吸收利用,但因移动速度很慢,远不能满足植物的需要。因此,在可利用的膜状水尚未耗尽之前,植物同样会因缺水而暂时萎蔫,影响植物的生长。

3. 毛管水 毛管水是指存在于土壤毛管孔隙中,由毛管力保持的水分。土壤对毛管水的吸力小,约为 $8 \times 10^3 \sim 6.25 \times 10^5 \text{ Pa}$,它可以在土壤中上下左右移动,供给植物吸收利用,同时还有溶解养分的能力和输送养分的作用,所以,毛管水是土壤中植物最有效的水分,其数量多少对植物的生长发育有着重要意义。

毛管水的数量因土壤质地、腐殖质含量及结构状况等不同而有很大差异。砂黏适当,有机质含量高,特别是具有良好团粒结构的土壤,其内部具有发达的毛管孔隙,毛管水含量比较多。

根据毛管水是否与地下水相连接，还可以将其划分为毛管悬着水和毛管上升水。前者为向下运动而不与地下水连接的毛管水，后者为自地下向上运行的毛管水。当毛管悬着水达到最大含水量时的土壤含水量，称为田间持水量。这是土壤上层依靠毛管引力所能保持的最大含水量。因此，它是确定土壤灌水定额的一个重要参数。土壤田间持水量的大小，可以反映土壤孔隙状况、土壤质地的砂黏、松紧程度及土壤有机质含量等，也是鉴定土壤肥力的重要指标之一（表 1-1）。

表 1-1 不同质地土壤的田间持水量（%）

土壤质地	砂 土	砂壤土	轻壤土	中壤土	重壤土	黏 土
田间持水量（%）	10~14	16~20	20~24	22~26	24~28	28~32

毛管上升水只有在地下水位较浅，毛管上升水能够达到植物根系分布的土层时，才能成为植物的水源。如果地下水位较深，毛管上升水不能达到植物根系分布的土层，就没有多大实际意义。

4. 重力水 土壤含水量达到田间持水量之后，超过的水分不能为毛管力所保持，而受重力支配，沿着土壤中大孔隙向下移动，这种水分称为重力水。重力水是植物能够利用的水，但其长时间的存留又对植物不利，所以是多余的水分，因为它占据着土壤的通气孔隙，会使植物根系受到窒息。

二、土壤水分的有效性

土壤中各种形态的水分，对植物来说并非都能被吸收利用。其中，可以被植物吸收利用的水分称为有效水，不能被植物吸收利用的水分称为无效水。土壤水分对植物是否有效，主要取决于土壤对水分的保持力及植物根系的吸水力。当土壤水的保持力小于植物的吸水力时，土壤水分就能被植物利用；反之，植物就不能从土壤中吸水。

当土壤含水量下降到萎蔫系数时，土壤对水的保持力与根

系的吸水力相等，植物不能从土壤中吸水。因此，把萎蔫系数作为土壤水分对作物有效性的下限。田间持水量是旱地土壤所能保持的毛管悬着水的最大含量，此时土壤对水的保持力已减小到 $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，比植物根系的吸水力小得多，水分的有效性很高。超过田间持水量后，虽然这时水分对植物的有效性仍然很高，但由于通气不良而产生渍害。因而把田间持水量作为土壤中作物有效水的上限。因此，对于旱地土壤来说，土壤有效水的范围是从田间持水量到萎蔫系数之间的含水量。两者之差就是土壤能保存的最大有效水量。而对含有一定水分的自然土壤来说，土壤保存的有效水量等于土壤的自然含水量与萎蔫系数之差。

不同的土壤，其最大有效水量差异很大。它主要受土壤质地、有机质含量、结构等的影响，单就质地而言，砂质土的萎蔫系数和田间持水量都低，含有效水的范围小；壤质土的田间持水量高，萎蔫系数较低，有效水含量最大；黏质土的田间持水量虽高，但萎蔫系数也高，故有效水的含量范围反而比壤质土小。含腐殖质多、团粒结构多的土壤，土壤有效水的含量也较高。

三、土壤含水量的表示方法

自然条件下土壤保持的水分含量称为土壤含水量，常用的土壤含水量的表示方法有以下几种：

1. 土壤水的质量百分数（质量%） 土壤水的质量百分数指土壤中实际含水量占烘干土质量的百分数。这是土壤学中最常用的方法。

$$\begin{aligned}\text{土壤含水量(质量\%)} &= \frac{\text{湿土的质量(g)} - \text{烘干土的质量(g)}}{\text{烘干土的质量(g)}} \times 100 \\ &= \frac{\text{土壤中水的质量(g)}}{\text{烘干土的质量(g)}} \times 100\end{aligned}$$

2. 土壤水的容积百分数（容积%） 土壤水的容积百分数是指土壤中水的容积占土壤容积的百分数。它可以表示土壤水填

充土壤孔隙的程度，反映土壤中水气间的相互关系，用于土壤三相物质比率的计算。

$$\begin{aligned}
 \text{土壤含水量(容积 \%)} &= \frac{\text{水分的容积}}{\text{土壤的容积}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{水的质量}}{\frac{1}{\text{烘干土质量}} \times \text{容量}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{水的质量(g)}}{\text{烘干土质量(g)}} \times \text{容量} \times 100 \\
 &= \text{土壤含水量(质量 \%)} \times \text{容重}
 \end{aligned}$$

3. 相对含水量 (%) 为了避免不同土壤性质对水分含量的影响，更好地说明土壤水分的饱和程度、有效性及水气状况，在旱地土壤的作物栽培实践上，常用相对含水量来表示土壤水分的多少。

$$\text{相对含水量 (\%)} = \frac{\text{土壤实际含水量 (质量\%)}}{\text{田间持水量 (质量\%)}} \times 100$$

4. 土壤蓄水量 (贮水量) 为了便于将土壤含水量与降雨量、蒸发量和灌水量、排水量进行比较，常将土壤含水量换算成水层厚度 (mm) 或体积 (m^3/hm^2)，即以土壤蓄水量 (贮水量) 来表示。

$$\text{水层厚度 (mm)} = \text{土壤含水量 (质量\%)} \times \text{容重} \times \text{土层厚度 (mm)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{土壤蓄水量 (m}^3/\text{hm}^2) &= \text{水层厚度 (mm)} \times \frac{1}{1\,000} \times 10\,000 \\
 &= 10 \text{ 水层厚度 (mm)}
 \end{aligned}$$

式中，1/1 000 系将 mm 换算成 m 的系数，10 000 为 1hm^2 面积 (m^2)

四、土壤水分的调节

高产土壤应具有优良的蓄水性、供水性和渗透性，所保持的水分有效性高，土壤的水、肥、气、热状况协调，并能降低水分

的非生产性消耗，为作物生长创造良好的水分条件。但在田间自然条件下，土壤水分状况常常与作物生育的要求不相符合，必须通过排灌来进行调节和改良。

1. 灌溉 灌溉是解决农田水分不足最有效的措施，是提高农作物产量和品质的重要手段。应充分利用各种水源，扩大灌溉面积，提高灌水效益，实现旱涝保收。

灌水定额（一次灌水在单位面积上所需的水量）可用下式计算：

$$\text{灌水定额 (m}^3/\text{hm}^2) = [\text{田间持水量 (\%)} - \text{土壤实际含水量 (\%)}] \times \text{土壤容重} \times \text{土壤计划湿润深度 (m)} \times 10\,000 \text{ (m}^2\text{)}$$

式中，土壤计划湿润深度是指旱地进行灌水时使灌溉水主要湿润的土层深度。它随作物根系活动层深度、土壤性质、地下水位等因素而变化。

2. 排水 排水是解决农田水分过多的重要措施。通过排水可排除地表水、土壤渍水，还可降低地下水位，使土壤的通气状况得到改善，防止因土壤水分过多而影响作物的正常生长。

3. 合理耕作，蓄水保墒 土壤耕作的目的是通过合理的耕作措施，改善土壤的物理性状，调节土壤中水、肥、气、热状况，为作物生长发育创造良好的环境条件。合理深耕能打破犁底层，加厚活土层，增加土壤总孔度和空气孔度，从而增加土壤蓄水性 and 透水性。中耕松土可以疏松表土，增加土壤接纳水分的能力，同时可消灭杂草，减少土壤水分的消耗。特别是在降雨或灌水后及时中耕，可以切断土壤毛细管，减少土壤水分的蒸发损失，提高土壤的抗旱力。

4. 改善土壤结构 良好的土壤结构，既有利于增加土壤的蓄水性，又可以协调水、气矛盾。在生产实践中，可以通过增施有机肥料，种植绿肥，合理轮作等措施，提高土壤有机质含量，促进良好结构的形成，增加土壤的蓄水性和透水性。

第二节 土壤空气

土壤空气是土壤的重要组成部分之一，它对植物的生长发育、土壤中微生物的活动和养分的转化有很大的作用。土壤空气存在于土壤孔隙中，它与土壤水分经常处于相互消长的运动过程中。

一、土壤空气的组成和特点

土壤空气主要来源于大气，其组成基本与大气相似。但由于受土壤中各种生物化学过程的影响，与大气相比，却又有它的特点（表 1-2）

表 1-2 大气与土壤空气组成的比较（容积%）

项 目	N ₂	O ₂	CO ₂	水 汽
近地面大气	79.01	20.96	0.03	不饱和
土壤空气	78.8~80.24	18.00~20.03	0.15	饱 和

1. 土壤空气中 CO₂ 含量高于大气，而 O₂ 的含量低于大气 土壤空气中 CO₂ 多、O₂ 少，主要是由于土壤中生物的呼吸和有机物的分解，消耗 O₂ 和释放 CO₂ 的缘故。土壤中 CO₂ 多、O₂ 少，给植物的生长发育带来不良影响。

2. 土壤空气中的水汽含量高于大气 在一般情况下，土壤含水量总是超过最大吸湿量，土壤水分的不断蒸发，几乎使土壤空气经常呈水汽饱和状态。充足的水汽，有助于土壤微生物的生命活动和土壤中生化作用的进行。

3. 土壤空气中有时还含有还原性气体 土壤通气不良时，嫌气性微生物活动旺盛，产生甲烷、硫化氢、氢气等还原性气体，对植物生长不利。这种情况多出现在长期渍水或表土严重板结，以及通气不良的土壤中。

二、土壤通气性

土壤通气性是指土壤空气与大气之间不断进行气体交换的性