

周鸣铮编著

土壤肥力学概论

浙江科学技术出版社

土壤肥力学概论

周鸣铮 编著

俞震豫 校阅

浙江科学技术出版社

责任编辑：郑淑女

封面设计：徐景祥

土壤肥力学概论

周鸣铮编著

俞震豫校阅

*

浙江科学技术出版社出版

浙江新华印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/32 印张13.375 字数306,000

1985年8月第一版

1985年8月第一次印刷

印数：1—2,700

统一书号：16221·122

定 价：2.75 元

内 容 简 介

本书系统介绍并讨论土壤肥力的理化、生物因子；重点讨论了氮、磷、钾、钙、镁、硫、硅以及五种微量养料元素的土壤肥力化学，为培肥土壤、因土施肥、因土种植提供科学依据。本书又系统讨论了水稻土与红壤的肥力特性，存在的问题与肥力提高的途径。

本书以介绍近期研究资料为主，并阐明了有关的基础知识，故主要是作为农业科研与生产工作者的参考书，但也可作为大学或中专选修课的教材以及补充教材。凡具高中或中专水平有志于土壤肥力工作的中青年，对本书内容都是可以看懂的，故也可作为自学教材。

前 言

称为《土壤肥力学》的书籍国内迄今尚付缺如。这并不是由于国内土壤专家编写不力或无法编写，主要由于对“土壤肥力”的定义众说纷芸，莫衷一是。以养料肥力为主的欧美传统观点，似未能被国内部分土壤肥力工作者所接受，而“水、肥、气、热”或“吃、喝、住”的观点则给土壤肥力测定与指标的拟订带来困难，以致有的人认为土壤肥力是不可测定的；过分复杂的肥力定义使得《土壤肥力学》更难以编写。

本书的基本观点乃是：水、肥、气、热互相协调为土壤肥力的广义范围，而养料肥力及其因子则为其狭义范围。两者似可同时存在，并不互相矛盾。土壤肥力的测定（将见于本书的姐妹篇）乃以养料肥力及其因子测定为主。此时并非把水、肥、气、热诸因子的协调程度置于不顾，而只是暂时把其他因素放在适宜条件之下。

土壤肥力如何提高？似也有不同观点。本书中认为在农田基本建设与水利解决之后，养料是主要矛盾。养料乃是指土壤的养料供应能力，而并非专指肥料。当然，不增施肥料就无法培养与提高土壤肥力；然而肥料不得不通过土壤起作用，从而不得不因土施肥或测土施肥。本书中没有同意肥料能直接营养作物的观点，认为那只是水培与砂培中的事情。

对有机肥与无机肥的关系问题，本书高度重视土壤有机质与有机肥料的作用；然而又正视我国农村有机质来源十分困难这一国情，故十分赞赏国内某些有远见的农业专家“以无机促

有机，无机——有机结合”的观点。

国外的《土壤肥力学》乃是土壤学加肥料学。本书认为这样写法是不足取的。土壤肥力学主要讨论土壤内部有关肥力的问题。但由于养料肥力的重要性，它必然涉及肥料与施肥的基本观点，而不讨论肥料的具体问题。

土壤肥力学的后半部应该讨论各类不同土壤的肥力特性。但我国疆域广大，土壤种类繁多，作为浙江省的土壤工作者，在本书中只重点写了工作所及的水稻土与红壤两大类土壤。

土壤肥力学旨在为农业生产服务，但仍带有基本科学知识的性质，不能视为单纯的应用技术。土壤肥力学的基础观念不清楚，要培肥土壤、因土施肥或因土种植均不可能。

近年来，土壤学发展突飞猛进，其范围日益广大，内容也日益丰富，研究工作者精通其一方面已非容易之事，更不用说全面了解与认识了。编写本书不过是本着活到老、干到老、学到老的初衷而已，故内容中不足之处、观点中偏面之处，均望有识之士批评指正。

本书原以国内近年研究成果为主，作文献综述形式编写，但对基础研究方面，仍不得不引证国际材料，故引用了近期研究文献约五百余篇。在基础知识方面与普通土壤学稍有重叠，这是为了未学过基本土壤学的读者能系统地看懂。

本书中所提到的“下册”，已另定名为《土壤肥力研究法》。

本书初稿经俞震豫教授校阅一遍，使其得以避免一些不够确切的内容与提法，在此致以深切感谢。

周鸣铮谨识

1983年11月

目 录

第一章 土壤肥力总论	(1)
第一节 农业现代化中的粮食生产问题	(1)
第二节 土壤肥力的重要性	(5)
第三节 肥料政策与土壤肥力	(12)
第二章 植物从土壤中吸收养料的规律	(22)
第一节 植物养料的性质与种类	(22)
第二节 植物从土壤中吸收养料的机制	(29)
第三节 养料供应量与作物生长量之间的定量关系及其定律	(41)
第三章 土壤肥力的化学因子	(55)
第一节 土壤粘粒矿物概论	(55)
第二节 土壤有机无机复合胶体	(71)
第三节 土壤酸碱度与土壤肥力的关系	(87)
第四节 土壤氧化还原电位与土壤肥力的关系	(102)
第四章 土壤肥力的生物学因子	(114)
第一节 土壤有机质总论	(114)
第二节 土壤有机质与土壤肥力的关系	(123)
第三节 土壤生物与土壤肥力的关系	(133)
第四节 土壤中的酶活性与土壤肥力的关系	(146)
第五章 土壤肥力的物理学因子	(156)
第一节 土壤的机械强度及其因子	(156)
第二节 土壤的通气性	(168)
第三节 土壤温度	(177)

第四节 土壤水分	(184)
第六章 土壤中氮、磷与钾的肥力	(205)
第一节 土壤中氮的肥力	(205)
第二节 土壤中磷的肥力	(226)
第三节 土壤中钾的肥力	(240)
第七章 土壤中钙、镁、硫、硅的肥力	(256)
第一节 土壤中钙的肥力	(256)
第二节 土壤中镁的肥力	(266)
第三节 土壤中硫的肥力	(276)
第四节 土壤中硅的肥力	(283)
第八章 土壤中微量元素的肥力	(291)
第一节 土壤中钼的肥力	(291)
第二节 土壤中硼的肥力	(299)
第三节 土壤中锰的肥力	(311)
第四节 土壤中铜与锌的肥力	(319)
第九章 水稻土的肥力	(330)
第一节 水稻土的发生、形态与分类概述	(330)
第二节 水稻土的化学、物理与生物学性质	(342)
第三节 水稻土的养料肥力	(358)
第十章 红壤的肥力	(375)
第一节 红壤的发生、分类等特征	(375)
第二节 红壤的理化生物学性质	(386)
第三节 红壤的养料肥力	(400)
第四节 我国红黄壤肥力的问题及其改良、利用简述	(407)

第一章 土壤肥力总论

第一节 农业现代化中的粮食生产问题

农业现代化为实行“四个现代化”的首要任务。从我国国情来看是如此，就世界上很多发展中国家的情况来看，也是如此。此处所谓的农业乃指广义的农业。也就是说，农业的发展应包括农林牧副渔的全面发展。然而农业的核心问题，仍然是以土壤为基础的粮食生产，及离不开土壤的经济作物、林业、果蔬生产等等。对所有发展中国家来说，粮食生产问题更为突出。根据联合国粮农组织1980年的报告，全世界有10亿人口（占世界人口总数的23%）营养不足^[1]。又据报道，六十年代有56个国家、七十年代有69个国家的粮食年增长率赶不上人口增长率^[2]。

从我国情况来看，党的十一届三中全会以来，农业政策基本落实，农业科学技术已逐渐应用到生产上去，从而自1979至1983年连续五年取得历史上所未有的高产。1983年的粮食总产量就达到三亿七千万吨，人均粮食产量超过700斤^[3]。然而与农业发达国家的情况相比，还落后很多。例如美国人均粮食产量为2000斤左右，澳大利亚、加拿大与丹麦则达3000斤左右^[4]。我国人多耕地少，人均耕地不到2亩。而人均耕地在澳大利亚有52亩，加拿大有32亩，美国与苏联均有14亩。就是人口密集的法国也有5.3亩^[4]。

我国总共只有15亿亩耕地，其中亩产粮食100斤或不到100斤的低产田地占了5亿亩。在这中间，山区瘠薄地为3亿亩，盐碱地为5000万亩，涝洼地为8000万亩。可见我国农业土地资源不是那么丰厚的。然而我国粮食平均亩产在世界上不算低。尽管有三分之一面积的低产田，但1979年我国每亩粮地平均产量为491斤。同时期一些国家的平均亩产，联邦德国为494斤，法国为452斤，意大利为434斤，美国为417斤，加拿大为303斤^[5]。

近几年来，对我国农业生产的根本问题已有大量文章发表，农业科学工作者提出了很多宝贵意见。总观各种论述，极大多数学者认为，首先应树立起大农业观点，要农林牧副渔五业并举，同时必须因地制宜发展多种经营^[6]。然而粮食生产仍然丝毫放松不得。这是由我国耕地少、人口多、人均粮食少这一具体情况所规定的。多种经营也要以粮食充裕为基础，发展畜牧业也不例外。畜牧业固然可以在草原地带发展，然而我国的特点乃是：畜牧业的比重仍以在农业地区为大。家畜的饲料实质上也是粮食，家畜不但消耗大量粗粮，且亦要消耗一部分麦类与豆类等细粮。例如农业发达国家人均产粮食2000多斤，但每人每年食用粮食仅200斤左右，其余部分除出口外，都用作饲料发展畜牧业。人均消耗粮食水平达1500斤，人才可能改变食品结构，食用多量蛋白质。1981年全世界粮食总产量约15亿吨，其中粗粮（玉米与高粱为主，大麦与燕麦等均属之）约一半。在农业发达国家，粗粮都是用来发展畜牧业的。除畜牧业之外，作为轻工业原料，也需要大量粮食。

那么怎样来发展我国的粮食生产呢？据近年来的论述，不外扩大耕地面积与提高单位面积产量两条途径。我国扩大耕地面积的可能性极有限，全国总共不过几亿亩。即使象三江平原那样有大面积扩大耕地可能性的地区，也要投入大量资金来进

行排灌与平整。其他象草原地与山坡地，不但不宜扩大耕种面积，而且还要退田还林或还草，以防止水土流失或土壤沙化。此外，为了实行多种经营，自1979年以来，不得不适当压缩粮食种植面积，以扩大经济作物面积。因此，我国粮食种植面积实际上是在减少，而且今后还会有所减少。那么出路是什么呢？最后不得不归结于继续提高单位面积产量。我国粮食作物的平均单产在世界上已不算低，但进一步提高单产的潜力仍然很大。与世界上农业发达国家比较：我国水稻平均单产才400多斤，而日本为820斤；我国小麦平均单产才200多斤，而荷兰为764斤；我国玉米平均单产才300多斤，而美国为812斤^[7]，差距还相当大。再就国内情况来说，我国每季水稻产量高的已接近2000斤/亩*，小麦和玉米分别都达到1000斤/亩。然而大面积的产量落后于高产地区很远。这就说明，我国尚存在着大面积提高粮食作物单位面积产量的可能性。要把我国的人均粮食占有量提高到1000斤以上，才能算粮食过关；达到人均粮食1500斤以上，才能算粮食富裕。这是合理的指标^[8]。

我国著名农业科学家金善宝在其《民以食为天》一文中说^[9]：“我国人口九亿七千多万，幅员九百六十万平方公里，有十五亿亩耕地。这就是说，在约占世界百分之七耕地面积的国度里，要养活全世界四分之一的人口，这是一件了不起的大事”。“在我国，扩大耕地面积虽然还有一定潜力，但已很有限。为了保持生态平衡，决不能再滥垦滥伐了。从长远目标看，提高单位面积产量是解决粮食问题最重要的途径。我国现有的耕地面积中，高产稳产田只占五分之一多一点”。“如北方十五省(市、区)，平均亩产三百斤以下的耕地约占这些地区

* 江苏省赣榆县朱塔农科站种“赣化二号杂交稻”，连续三年突破1800斤/亩，1983年达到1925斤/亩（见1983年10月23日《光明日报》）。

耕地总面积的二分之一。这样大面积的中产、低产田，应该是今后增产粮食的主攻方向”。他的论述很中肯。

要大面积地提高中、低产土壤的粮食单产，土壤问题，特别是土壤肥力问题乃是其关键。世界著名土壤学家·英国里丁(Reading)大学土壤学教授格林兰(Greenland)，在1978年第十一届国际土壤学会闭幕式中，作了题为《土壤科学的责任》的总结性发言^[10]。其中指出：“土壤的主要用途是生产粮食和纤维，为人类提供衣食。而土壤科学家的主要责任，则是保证土壤能够这样持续下去。”他认为目前世界人口的年增长率至少有百分之二，故每年要保持粮食生产也增加百分之二。在全世界范围来说，这是很不容易的。尽管在1963至1973年间，印度、巴基斯坦、墨西哥等国的小麦年增产率达百分之六，但这属于例外。因为近十年以来，在全世界范围的谷物年增产率均低于百分之二。

格林兰认为，土壤科学家的责任有下面三项：(1)提高现有农业土壤的生产力；(2)帮助选择开垦新的农用地；(3)防止现有农业土壤的侵蚀、退化和沙化。

对于提高土壤肥力(亦即生产力)，他提出应重视下列各点：(1)有机质和适当的土壤改良剂的应用，以改善土壤物理性质；(2)提高各种肥料的利用率，特别是目前水稻土中氮素化肥的利用率有的地方低至30%，问题急待解决；(3)要推广与坚持包括豆科作物在内的轮种制度；(4)要提高太阳能的转换率(目前只有2.5~3.5%)，通过育种与施肥使谷物产量大于15吨/公顷(约2000斤/亩)，块根产量大于100吨/公顷(约13333斤/亩)。

本书作者认为，金善宝与格林兰等前辈科学家的指导性见解是特别值得我们重视的。

第二节 土壤肥力的重要性

要大面积提高粮食单位面积产量，关键在于全面、长期提高与维持土壤肥力。现分下列三方面来论述土壤肥力的重要性及其意义。

一、土壤肥力是农作物高产的物质基础

农作物生长在土壤之中，并从土壤吸收大量养料而制造其生物物质。近年内作物品种不断改良，光合效能愈来愈高，从而对土壤中养料供应的要求也愈来愈高。例如目前日本、南朝鲜的高产水稻品种，每季产量达到12.5吨/公顷，折合1666斤/亩。我国则已有接近2000斤/亩的高产典型。这些高产水稻品种，每季要从土壤吸收N约35斤、 P_2O_5 17斤、 K_2O 50斤^[11]，比一般品种亩产千斤吸收N20斤、 P_2O_5 10斤、 K_2O 25斤的平均数高出很多。可见对产量要求愈高，对土壤肥力的要求也愈高。

那么单靠大量施用肥料是否可以解决这个问题呢？总的来说，当然应该随着产量要求的提高而提高施肥量。但在我国全国范围内施肥量不足，全国平均单位面积内三要素（ $N+P_2O_5+K_2O$ ）的用量，不到农业发达国家的四分之一。这是一个限制农业产量大幅度上升的严重问题。至于如何发展我国肥料事业，以不断提高土壤肥力而促使产量持续上升，我们将在本章第三节中讨论。

作物必须通过土壤而吸收养料。土壤不是一个被动的养料贮存库，它有其自己的肥力特性；大田生产又不可能等同于水培或砂培；倘不通过培养提高土壤肥力，即使有了很多肥料，仍然不能把产量“轰”上去。对此，过去有过经验教训的。

根据近年来的研究,已可认为,即使合理施用肥料,作物吸收的氮约有三分之二,吸收的磷与钾约有一半以上,均来自土壤中的速效养料^[12],其余部分才吸自肥料。另一方面,肥料的利用率都要打一个很大的折扣:有机氮肥的当季利用率平均只有20%,化学氮肥平均约为40%,磷肥只有百分之十几,钾肥也只有40%^[13]。大田施用的氮肥与钾肥损失很大。其损失量随气候条件与施肥方法而异。大田中施用的磷肥,有很大一部分被土壤固定,年代愈久,则其有效度愈低。故施用肥料不但要以作物营养为基础,而且还必须以土壤肥力化学与养料化学为基础;应该搞清楚肥料物质进入土壤后的变化情况,才能使肥料发生最大效用。总的来说,应通过施肥(配合其他措施)来不断提高土壤肥力,为作物高产打下坚实基础。至于肥料直接营养作物的观点,如从土壤肥力学的角度来考察,则是难以接受的。故本书中认为,土壤肥力乃是作物高产的物质基础,而施肥则是提高土壤肥力的主要手段。

二、土壤肥力是一个可变因素

一种土壤的肥力不是固定不变的。肥力虽然是土壤的特性,但肥力的高低只有一小部分由土壤本身性质决定,其大部分都是人类社会生产活动的结果。具体地来说,当人们懂得土壤肥力的原理,按照客观规律办事,从而不断培肥土壤,使用地与养地结合起来,则土壤肥力将不断有所提高;反之,若人的活动违反了土壤肥力的客观规律,一味从土壤中索取,用地而不养地,或甚至破坏生态平衡,造成大面积水土流失、土壤砂化等等,则土壤肥力就必然下降,人类最后终将受到自然界的惩罚^[14]。

在欧洲,十九世纪时曾出现过所谓“土壤肥力递减定

律”。这个定律认为，人类长期开垦利用土壤，必然会导致土壤肥力减退。目前看来，这当然是一个不正确的结论；随着土壤科学，特别是土壤肥力学的发展，土壤肥力可以不断提高的事例愈来愈多，也愈来愈明确。土壤肥力递减乃起源于人类对土壤肥力本质的不甚了解。到二十世纪八十年代，土壤肥力学已蓬勃发展，“土壤肥力递减”作为一个定律早已消声匿迹；然而在实际的农业生产中，在整个人类的社会活动中，破坏生态平衡的情况仍然相当普遍地存在，以致在地球上的某些地区，包括我国相当广大的地区，土壤肥力不但在减退，而且遭受到相当大规模的破坏。这说明土壤肥力学虽然已有丰富的科学内容，但农业生产人员以及各种社会活动家，对这门科学的基本原则学习得很不深入，推广与普及工作更是远远不够。当前我国某些地区土壤肥力减退的客观原因与途径有下列几方面：

1. 很多地区土壤中有机质来源不足，消耗过大

有机质与土壤肥力的关系将于第四章中详细讨论。此处仅须提到：土壤的良好结构性状、松软的物理性质均与有机质的适量存在有关。但是土壤有机质是在不断分解的，在分解过程中供应作物养料；故有机质分解过快与过慢都对土壤肥力不利。对我国北方广大旱地土壤来说，它的主要矛盾乃是有机质分解速度与来源不能平衡。精耕细作与增高复种指数均将促使土壤有机质的加快分解。我国广大农村，由于“三料”——燃料、饲料、肥料紧张，土壤有机质来源十分贫乏，这一情况实在不能等闲视之。例如绿肥，由于与粮食茬口有矛盾而被挤压，其面积日益缩小；又如秸秆，除在农村作为燃料、饲料、垫料外，还要作为副业或工业原料加以利用，秸秆还田，实际上是空话。据报道，我国黄淮海平原大面积的中低产土壤，含有机质平均都不到1%^[15]。又如我国山西省，四分之三面积的

土壤含有机质在1%以下，粮食亩产平均仅332斤，其中有一半面积的亩产在200斤以下^[16]。土壤有机质不足的严重性实不容忽视。

2. 养料补给的不平衡状态

有机肥对养料的补给是基本平衡的。以大量养料元素论， $N:P_2O_5:K_2O=1:0.5:1.5$ ，这与植物吸收比例相一致。然而随着施肥量的增高，有机肥因来源困难，在施肥中所占比数逐年下降。施肥量愈高的地区，化肥所占比例愈大。而我国的化肥生产至今仍以氮肥为主。1982年全国化肥总产量中的 $N:P_2O_5:K_2O=1:0.25:0.0025$ ^[17]。故导致很多土壤中磷或钾成为限制肥力的因子；有的土壤还缺少这种或那种中量或微量元素。只要有某一、二种养料严重不足而限制了作物产量，那末这种土壤的肥力就存在着缺陷。

3. 土壤水分供求失调限制土壤肥力

干旱或半干旱气候带以及滨海地区进行灌溉时，如灌水量过大，或灌溉水含有过高的盐分，均可导致土壤次生盐渍化。这种土壤在我国江淮以北地区有相当大的面积。反过来，土壤水分过多而没有排水系统，会造成土壤的沼泽——潜育化。我国南方有不少水稻田，因多年连作水稻淹水时间过长，致使其犁底层以下的一层土壤呈强还原性，而发生所谓次生潜育化。凡此种种，均严重降低甚至破坏土壤的肥力。

4. 森林破坏、水土流失则从根本上破坏了土壤肥力

凡是丘陵或山区土壤均呈一定坡度。这种土壤均必须有天然植被保护，否则土壤就易被雨水冲入江河，这就叫土壤冲刷。土壤冲刷的轻度后果是水土流失，损失大量肥沃表土与其所含养料；土壤冲刷的严重后果可直至一定面积上根本失去土壤，只留下光秃秃的石山。地球表面坡地土壤多于平地土壤，

于成土之初，天然植被就繁茂起来，保护着坡地土壤。这种植被主要有森林与草原及草甸。由于人类的盲目活动，遂导致大面积森林破坏、草原沙化和草甸的消失，均将引起严重的土壤冲刷。我国南方红壤地区，土壤冲刷的严重情况及其后果将在本书第十章中简单介绍。

针对上述种种土壤肥力破坏与减退的情况，我们必须研究与推广普及土壤肥力学的知识。在这方面，森林土壤改良与水利土壤改良已另设独立学科，其内容就不在一般土壤肥力学范围内讨论。

三、土壤肥力的定义及其内容

土壤肥力的定义是一个经过长期讨论，但迄今尚未能下结论的问题。我国土壤学家熊毅在1982年说^[18]：“肥力是土壤的本质，没有肥力就没有植物生长。但什么是肥力？多少年议论纷纭，各说不一，目前还得不到一个统一的概念。”这确是国内外的实际情况。他又说：“肥力这个词是从英文Fertility一词译过来的；原意只局限于养料，后来威廉士把水分加进去。”朱祖祥的意见与此相近。他于1983年在其主编的《土壤学》中写道^[19]：“一般西方土壤学家传统地把土壤供应养料的能力看做是肥力。但苏联土壤学家威廉士认为，肥力是土壤在植物生长全过程中，同时又不断地供给植物以最大量有效养料与水分的能力。”故朱祖祥认为：“肥力因素至少包括有效养料与水分。”

事实上是在五十年代以后，我国土壤研究工作者把土壤肥力的意义与内容不断扩大。熊毅曾说：“五十年代以来，国内把肥力扩展为水、肥、气、热，后来又用吃饱、喝足、住得舒服来形容良好的土壤肥力。”熊毅对土壤肥力所下的定义如