

当代农业学术专著系列丛书

# 中国土壤肥力演变

徐明岗 梁国庆 张夫道 等著

『十一五』国家重点图书

中国农业科学技术出版社



当代农业学术专著系列丛书

# 中国土壤肥力演变

徐明岗 梁国庆 张夫道 等著

样 书

『十一五』国家重点图书

中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国土壤肥力演变/徐明岗, 梁国庆, 张夫道等著. —北京:  
中国农业科学技术出版社, 2006. 11  
ISBN 7-80233-108-0

I. 中… II. 徐… III. 土壤肥力—演变—中国  
IV. S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 116090 号

责任编辑 鲁卫泉  
责任校对 贾晓红  
整体设计 马 钢  
出版发行 中国农业科学技术出版社  
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081  
电 话 (010) 68919704 (发行部)  
(010) 62189012 (编辑室)  
(010) 68919703 (读者服务部)  
传 真 (010) 62189012  
网 址 <http://www.castp.cn>  
经 销 者 新华书店北京发行所  
印 刷 者 北京佳信达艺术印刷有限公司  
开 本 880mm × 1230mm 1/16  
印 张 25  
字 数 690 千字  
版 次 2006 年 11 月第 1 版  
印 次 2006 年 11 月第 1 次印刷  
印 数 1 ~ 1 000 册  
定 价 96.00 元

# 《中国土壤肥力演变》

## 编 委 会

主 编 徐明岗 梁国庆 张夫道

副主编 赵秉强 杨学云 黄绍敏 陈 义 石孝均

樊廷录 刘 骅 朱 平 王伯仁

编 委 (以姓氏拼音为序)

宝德俊 陈 义 樊廷录 黄鸿翔 黄绍敏

李菊梅 李科江 李双来 李小平 李秀英

李祖章 梁国庆 刘 骅 刘光荣 刘克樱

卢昌艾 彭 畅 乔 艳 石孝均 孙本华

孙锡发 同延安 佟小刚 涂仕华 王伯仁

王家玉 魏 丹 徐明岗 杨生茂 杨学云

张爱君 张夫道 张会民 张淑香 赵秉强

赵彦卿 周宝库 周广业 周怀平 朱 平



# 《中国土壤肥力演变》

## 专家委员会

主任 刘更另

委员 (以姓氏拼音为序)

陈福兴	陈子明	黄鸿翔	金继运
李纯忠	李贵华	李家康	李实焯
林葆	吕殿青	毛炳衡	孙宏德
王家玉	姚造华	张夫道	张桂兰
张航	张鸿程		

## 内 容 提 要

本书系统论述了长期施肥耕种下,我国不同生态气候带的典型农田土壤——黑土、灰漠土、灌漠土、瘦土、黑垆土、褐土、潮土、红壤、紫色土、水稻土等在不同农作方式下,近20年来土壤物理与生物性状演化规律、氮磷钾养分循环与转化规律、土壤pH值和中微量元素的变化规律、作物产量和品质变化规律等,对提高施肥耕作与土壤肥力特性的认识,促进我国土壤肥力改善和土壤资源可持续利用,确保国家粮食安全具有重要意义。

本书可供从事土壤学、植物营养学、农学、生态学、环境科学等专业的科技工作者和大专院校师生参考。



## 前 言

土壤是生态系统的重要组成部分，土壤质量好坏对生态系统质量、人类生命健康与安全和社会的稳定与发展，都具有战略性意义。土壤肥力是土壤的本质特性，是农业生产的基础。近年来的大量研究表明，我国土壤资源的基本状况不容乐观，主要体现在人均数量少、整体质量偏低、退化严重等方面。

我国现有耕地 1.22 亿  $\text{hm}^2$ ，人均耕地不到 0.1  $\text{hm}^2$ ，为世界人均数量的 42%。这一耕地资源背景决定了我国必须通过不断提高土壤生产力来满足人口不断增长的各种需求的基本特征。

我国土壤种类繁多，资源丰富，并且具有长期的用地养地经验。但综合分析能力和整体质量仍然偏低。具体表现在：第一，我国因生态环境恶劣或土壤肥力低下而难于农林牧利用的土壤占总面积 1/4。第二，已利用土壤的肥力水平偏低。我国耕地土壤有机质含量低于 1% 的面积占 25.95%。土壤养分中，氮素状况与有机质状况相似，土壤全氮含量大于 1g/kg、0.75 ~ 1g/kg 和小于 0.75g/kg 的面积分别占 45.06%、21.34% 和 33.60%，含量水平整体偏低。根据河北、山西、内蒙古、浙江、福建完成的 5 个县（旗）的耕地地力调查试点材料，2002 年与 20 世纪 80 年代初全国第二次土壤普查时在相同地块取样测定结果表明，我国土壤钾素大幅度减少，4 个县（旗）土壤有效钾含量减少幅度为 10.85% ~ 32.64%；耕地土壤中具有各种障碍因素的面积也较大，如盐化占 4.02%，碱化占 0.22%，土壤侵蚀占 38.7%，耕层浅薄占 26.2%，渍涝占 6.66%，干旱缺水占 36.3%，土体中有漏沙层的占 4.43%，有沙姜层的占 1.07%，有砾石层的占 2.71%，有铁子层的占 0.19%，有潜育层的占 3.47%。因而，我国耕地中的低产土壤占到 37%。

我国土壤不仅现有已退化面积较大，而且水土流失、土壤沙化、酸化和盐渍化等现象大多在继续扩展。我国水土流失面积 367 万  $\text{hm}^2$ ，平均年增 1 万  $\text{hm}^2$ ，我国的水土流失面积中，中度以上侵蚀面积占到 50% 以上。我国沙漠化面积 267.4 万  $\text{hm}^2$ ，其发展速率惊人，20 世纪 50 ~ 70 年代年增加 1 500  $\text{km}^2$ ，80 年代年增加 2 100  $\text{km}^2$ ，90 年代年增加 2 460  $\text{km}^2$ ，90 年代末年增加 3 460  $\text{km}^2$ 。我国酸雨面积已占国土面积的 40% 以上，比 20 世纪 80 年代增加了一倍多。土壤盐渍化总面积变化不大，尽管黄淮海平原盐渍土已大面积减少，但内陆盐渍土的面积却大幅度增加。内陆盐渍土主要分布在西部地区，将严重影响西部大开发的进程。

综上所述，由于不合理的开发利用，导致我国大量农田土壤肥力和生产力退化，直接威胁着我国粮食安全和农业可持续发展，也成为农业增产、农民增收和农业生态环境改善的瓶颈。探讨我国经济发展新形势下土壤肥力的演变规律及其持续利用，已成为党中央、国务院和广大科技工作者十分关注的热点。而土壤肥力的演变，是一个相对缓慢的过程，只有通过长期定位试验才能很好地观测到土壤肥力的演变规律，探索适合不同生态气候带的土壤施肥耕作制度。

本书是以国家和省级农业科学院、大学土壤肥料长期试验基地为平台的创新性研究成果，这些基地自 2000 年以来，已经陆续成为国家和农业部的重点生态野外试验站。

全书共分 19 章，系统论述了分布于我国东北、西北、黄淮海、长江中下游、华南和西南等农业区域典型农田土壤——厚层黑土、中层黑土、灰漠土、壤土、黑垆土、褐土、轻质潮土、壤质潮土、红壤、中性紫色土、酸性紫色土、渗育性水稻土、潜育性水稻土等 18 个试验基地长期施肥耕种制度下，近 20 年来土壤物理与生物性状演化规律、氮磷钾养分循环与转化规律、土壤 pH 值和中微量元素的变

化规律、作物产量和品质变化规律等。

各章主要撰写人员如下：

- 第一章，徐明岗、张会民、张淑香、樊廷录、卢昌艾
- 第二章，王伯仁、李菊梅、张会民、徐明岗、高菊生
- 第三章，刘克樱、罗成秀、陈美凤、易国英
- 第四章，李祖章、刘光荣、刘益仁、周荣娇
- 第五章，陈 义、王家玉、吴春艳、许育新
- 第六章，石孝均、毛炳衡、刘洪斌、魏世强
- 第七章，孙锡发、秦鱼生、冯文强、涂仕华
- 第八章，李双来、乔 艳、张会民
- 第九章，张爱君、钮福祥、蒋仁成、张明普
- 第十章，黄绍敏、宝德俊、皇甫湘荣、张鸿程
- 第十一章，刘 骅、王西和、李贵华、王讲利
- 第十二章，杨生茂、李凤民、索东让、郭天文
- 第十三章，樊廷录、周广业、王淑英、丁宁平、张会民
- 第十四章，杨学云、孙本华、古巧珍、马路军、张树兰
- 第十五章，朱 平、彭 畅、高洪军、任 军、刘淑环
- 第十六章，周宝库、张喜林、谢惠光、李庆荣
- 第十七章，周怀平、杨治平、李红梅、关春林
- 第十八章，李科江、马俊永、曹彩云、郑春莲
- 第十九章，张淑香、李秀英

全书由徐明岗、张会民、李菊梅、樊廷录、张淑香、卢昌艾、赵秉强、梁国庆统稿，最后由徐明岗审核定稿。

本书在编写过程中，得到了许多专家的指导和支持，尤其是进行土壤肥料试验的老专家刘更另院士、毛炳衡教授、孙宏德研究员、王家玉研究员、林葆研究员、李家康研究员、黄鸿翔研究员、陈子明研究员、陈福兴研究员、姚造华研究员等的大力支持与鼓励，黄鸿翔研究员审阅了全部书稿，对土壤名称和研究内容进行了系统修订，在此表示衷心感谢。本书的出版还要感谢国家基础平台野外试验站项目、国家重点科技攻关项目（2001BA508B14，2004BA520A13）、耕地质量调控关键技术研究示范项目和中国农业科学院现代土壤学杰出人才基金的支持！感谢中国农业科学院农业资源与农业区划研究所领导唐华俊研究员、张维理研究员、任天志研究员等的支持。

由于著者水平有限，加上时间仓促，不妥之处，敬请批评指正！

著 者

2006年3月18日



## 目 录

第一章 概论 .....	(1)
一、国内外土壤肥料长期试验概况 .....	(1)
二、长期施肥典型农田土壤有机质的演变规律 .....	(3)
三、长期施肥典型农田土壤氮素养分的演变规律 .....	(8)
四、长期施肥典型农田土壤磷的演变规律 .....	(10)
五、长期施肥典型农田土壤钾的演变规律 .....	(12)
六、长期施肥典型农田土壤 pH 值的变化 .....	(15)
七、长期施肥典型农田土壤生产力(作物产量与品质)的变化 .....	(15)
参考文献 .....	(16)
第二章 长期施肥红壤肥力演变规律 .....	(19)
一、红壤肥力与肥料效益长期试验概况 .....	(20)
二、长期施肥红壤有机质的演变规律 .....	(21)
三、长期施肥红壤氮素转化与演变规律 .....	(23)
四、长期施肥红壤磷素转化与演变规律 .....	(28)
五、长期施肥红壤钾素演变规律 .....	(32)
六、长期施肥红壤微量元素、pH 值、交换性钙镁的变化 .....	(34)
七、长期施肥红壤微生物与酶活性的变化 .....	(36)
八、长期施肥作物生长发育和产量品质的变化 .....	(39)
九、长期施肥红壤退化及修复 .....	(43)
参考文献 .....	(45)
第三章 长期施肥冲垅田红壤性水稻土肥力演变规律 .....	(47)
一、冲垅田红壤性水稻土肥力演变长期试验概况 .....	(48)
二、长期施肥耕作下冲垅田红壤性水稻土基础地力的变化 .....	(48)
三、长期施肥冲垅田红壤性水稻土有机质的变化规律 .....	(52)
四、长期施肥冲垅田红壤性水稻土氮素变化规律 .....	(53)
五、长期施肥冲垅田红壤性水稻土磷素演变规律 .....	(56)
六、长期施肥红壤性水稻土钾素演变规律 .....	(57)
七、长期施肥冲垅田红壤性水稻土微量元素含量的变化 .....	(59)
八、长期施肥冲垅田红壤性水稻土 pH 值的变化 .....	(60)
九、长期施肥冲垅田红壤性水稻土物理性质的变化 .....	(60)
十、长期施肥对水稻生长发育及产量品质的影响 .....	(61)
参考文献 .....	(65)
第四章 长期施肥丘岗地红壤性水稻土肥力演变规律 .....	(67)
一、丘岗地红壤性水稻土肥力演变长期试验概况 .....	(68)

二、长期施肥丘岗地红壤性水稻土有机质的演变规律 .....	(69)
三、长期施肥丘岗地红壤性水稻土氮素演变与转化规律 .....	(70)
四、长期施肥丘岗地红壤性水稻土磷素演变与转化规律 .....	(72)
五、长期施肥丘岗地红壤性水稻土钾素演变规律 .....	(75)
六、长期施肥丘岗地红壤性水稻土中微量营养元素的演变规律 .....	(77)
七、长期施肥丘岗地红壤性水稻土 pH 值的变化 .....	(78)
八、长期施肥丘岗地红壤性水稻土微生物的变化 .....	(78)
九、长期施肥丘岗地红壤性水稻土酶活性的变化 .....	(80)
十、长期施肥丘岗地红壤性水稻土物理性质的变化 .....	(81)
十一、长期施肥丘岗地红壤性水稻土上的水稻产量变化 .....	(81)
参考文献 .....	(83)
<b>第五章 集约化耕种下冲积性水稻土肥力演变规律 .....</b>	<b>(85)</b>
一、冲积性水稻土肥力和肥效长期定位试验概况 .....	(85)
二、长期施肥冲积性水稻土有机质的演变规律 .....	(87)
三、长期施肥冲积性水稻土氮素演变与转化规律 .....	(89)
四、长期施肥冲积性水稻土磷素演变与转化规律 .....	(95)
五、长期施肥冲积性水稻土钾素演变规律 .....	(97)
六、长期施肥冲积性水稻土 pH 值的变化 .....	(98)
七、长期施肥冲积性水稻土微生物的变化 .....	(99)
八、长期施肥稻麦生长发育和产量品质的变化 .....	(101)
九、长期施肥冲积性水稻土退化及修复 .....	(103)
参考文献 .....	(104)
<b>第六章 长期施肥中性紫色土肥力演变规律与持续利用 .....</b>	<b>(107)</b>
一、中性紫色土肥力与肥效演变长期试验概况 .....	(107)
二、长期施肥中性紫色土稻麦产量及其变化 .....	(109)
三、长期施肥中性紫色土供肥能力的变化 .....	(112)
四、长期施肥中性紫色土有机质含量的时空变化 .....	(115)
五、长期施肥中性紫色土氮库的时空变化 .....	(116)
六、长期施肥中性紫色土磷库的时空变化 .....	(118)
七、长期施肥中性紫色土钾库的时空变化 .....	(122)
八、长期施肥中性紫色土养分平衡与利用 .....	(125)
参考文献 .....	(135)
<b>第七章 长期施肥石灰性紫色土肥力演变规律 .....</b>	<b>(137)</b>
一、石灰性紫色土肥力长期试验概况 .....	(137)
二、石灰性紫色土长期施肥的作物产量变化 .....	(138)
三、长期施肥对石灰性紫色土上作物品质的影响 .....	(140)
四、长期施肥石灰性紫色土有机质的演变规律 .....	(141)
五、长期施肥石灰性紫色土氮素的演变规律 .....	(142)
六、长期施肥石灰性紫色土磷素的演变规律 .....	(145)
七、长期施肥石灰性紫色土钾素的演变规律 .....	(147)



八、长期施肥石灰性紫色土微量元素的演变规律 .....	(149)
参考文献 .....	(150)
<b>第八章 长期施肥黄棕壤性水稻土肥力演变规律</b> .....	(151)
一、黄棕壤性水稻土肥力长期试验概况 .....	(151)
二、长期施肥黄棕壤性水稻土有机质的演变规律 .....	(152)
三、长期施肥黄棕壤性水稻土氮素演变规律 .....	(153)
四、长期施肥黄棕壤性水稻土磷素演变规律 .....	(156)
五、长期施肥黄棕壤性水稻土钾素的演变 .....	(157)
六、长期施肥黄棕壤性水稻土微量元素的变化 .....	(159)
七、长期施肥黄棕壤性水稻土 pH 值、CEC、BEC 的变化 .....	(160)
八、长期施肥对黄棕壤性水稻土物理性质的影响 .....	(161)
九、长期施肥对黄棕壤性水稻土生产力的影响 .....	(162)
参考文献 .....	(168)
<b>第九章 长期施肥砂壤质潮土肥力与肥效演变规律</b> .....	(171)
一、砂壤质潮土肥力与肥效长期定位试验概况 .....	(171)
二、长期施肥砂壤质潮土有机质的演变规律 .....	(172)
三、长期施肥砂壤质潮土氮素的变化规律 .....	(175)
四、长期施肥砂壤质潮土磷素演变规律 .....	(177)
五、长期施肥砂壤质潮土钾素演变规律 .....	(181)
六、长期施肥砂壤质潮土物理性质的变化 .....	(184)
七、长期施肥下作物生长发育和产量品质的变化 .....	(185)
参考文献 .....	(188)
<b>第十章 长期施肥轻壤质潮土肥力演变规律</b> .....	(191)
一、轻壤质潮土肥力与肥效长期试验概况 .....	(191)
二、长期不同施肥轻壤质潮土有机质演变规律 .....	(192)
三、长期不同施肥轻壤质潮土氮素演变与转化规律 .....	(193)
四、长期施肥潮土磷素演变与转化规律 .....	(197)
五、长期施肥轻壤质潮土钾素演变与利用 .....	(200)
六、轻壤质潮土上长期施肥的小麦和玉米产量 .....	(203)
参考文献 .....	(207)
<b>第十一章 长期施肥灰漠土质量演变规律</b> .....	(209)
一、灰漠土肥力与肥效长期试验概况 .....	(209)
二、长期不同施肥灰漠土有机质的演变规律 .....	(211)
三、长期不同施肥灰漠土氮素演变规律 .....	(213)
四、长期不同施肥灰漠土磷素演变与转化规律 .....	(216)
五、长期不同施肥灰漠土钾素演变与转化规律 .....	(219)
六、长期不同施肥灰漠土微生物和酶活性的变化 .....	(220)
七、长期施肥灰漠土生产力的变化 .....	(222)
八、长期施肥灰漠土养分平衡与肥料利用率 .....	(228)

九、长期不同施肥下作物生长发育和品质的变化 .....	(231)
参考文献 .....	(233)
<b>第十二章 长期施肥灌漠土肥力演变规律 .....</b>	<b>(235)</b>
一、灌漠土肥力与肥效长期试验概况 .....	(235)
二、长期施肥灌漠土有机碳演变规律 .....	(236)
三、长期施肥灌漠土主要养分含量的变化 .....	(239)
四、长期施肥对灌漠土生物性状的影响 .....	(242)
五、长期施肥灌漠土剖面硝态氮积累和分布 .....	(245)
六、长期施肥灌漠土生产力的变化 .....	(250)
参考文献 .....	(255)
<b>第十三章 长期施肥黑垆土水分效率与肥力演变规律 .....</b>	<b>(259)</b>
一、黑垆土肥力演变试验设计与研究方法 .....	(260)
二、长期施肥黑垆土作物产量和肥料贡献率的变化 .....	(261)
三、长期施肥黑垆土作物水分利用效率的变化 .....	(265)
四、长期施肥黑垆土肥力要素的演变规律 .....	(269)
参考文献 .....	(276)
<b>第十四章 长期施肥壤土肥力演变规律与持续利用 .....</b>	<b>(279)</b>
一、壤土肥力与肥料效益长期试验概况 .....	(279)
二、长期施肥壤土有机质的演变规律 .....	(280)
三、长期施肥壤土氮素演变与转化规律 .....	(282)
四、长期施肥壤土磷素演变与转化规律 .....	(286)
五、长期施肥壤土钾素演变规律 .....	(289)
六、长期施肥壤土酶活性的变化 .....	(290)
七、长期施肥对壤土微生物量 C、N、P 的影响 .....	(291)
八、长期施肥壤土物理性质的变化 .....	(292)
九、长期施肥对作物产量的影响 .....	(293)
十、长期施肥对作物品质的影响 .....	(297)
参考文献 .....	(299)
<b>第十五章 长期施肥中层黑土肥力演变规律 .....</b>	<b>(301)</b>
一、中层黑土肥力和肥效长期试验概况 .....	(301)
二、长期施肥中层黑土有机质演变规律 .....	(302)
三、长期施肥中层黑土氮素演化规律 .....	(303)
四、长期不同施肥中层黑土磷素演化规律 .....	(307)
五、长期施肥中层黑土钾素演化规律 .....	(307)
六、长期施肥中层黑土物理性质的变化 .....	(308)
七、长期施肥中层黑土酶活性及生物量碳的变化 .....	(309)
八、长期施肥对中层黑土及玉米籽粒重金属含量的影响 .....	(309)
九、长期施肥作物产量与质量变化趋势 .....	(310)
参考文献 .....	(314)

<b>第十六章 长期施肥厚层黑土肥力演变规律</b> .....	(315)
一、厚层黑土肥力和肥效长期定位试验概况 .....	(315)
二、长期施肥厚层黑土有机质的演变规律 .....	(317)
三、长期施肥厚层黑土氮素演变与转化规律 .....	(317)
四、长期施肥厚层黑土磷素演变与转化规律 .....	(319)
五、长期施肥厚层黑土钾素演变规律 .....	(322)
六、长期施肥厚层黑土硫矿化特征及有效性 .....	(323)
七、长期施肥厚层黑土 pH 值的变化 .....	(326)
八、长期施肥对厚层黑土微生物的影响 .....	(327)
九、长期施肥对作物产量品质的影响 .....	(329)
参考文献 .....	(333)
<b>第十七章 长期施肥褐土肥力演变规律</b> .....	(335)
一、褐土肥力和肥料效益长期试验概况 .....	(335)
二、长期施肥褐土有机质的演变规律 .....	(338)
三、长期施肥褐土氮素演变与转化规律 .....	(339)
四、长期施肥褐土磷素演变与转化规律 .....	(343)
五、长期施肥对褐土水分及其作物利用的影响 .....	(344)
六、长期施肥对玉米吸收利用氮磷钾养分的影响 .....	(348)
七、长期施肥作物生长发育和产量品质的变化 .....	(351)
参考文献 .....	(355)
<b>第十八章 长期施肥底粘轻壤质潮土肥力演变规律</b> .....	(357)
一、底粘轻壤质潮土肥力和肥效长期定位试验概况 .....	(357)
二、长期施肥底粘轻壤质潮土有机质的演变规律 .....	(358)
三、长期施肥底粘轻壤质潮土氮素演变与转化规律 .....	(362)
四、长期施肥底粘轻壤质潮土磷素演变与转化规律 .....	(364)
五、长期施肥底粘轻壤质潮土有效钾演变规律 .....	(365)
六、长期施肥底粘轻壤质潮土微生物和酶活性的变化 .....	(366)
七、长期施肥底粘轻壤质潮土物理性质的变化 .....	(367)
八、长期施肥作物产量的变化 .....	(369)
参考文献 .....	(375)
<b>第十九章 长期施肥均壤质潮土肥力演变规律</b> .....	(377)
一、长期施肥均壤质潮土试验基本概况 .....	(377)
二、长期施肥均壤质潮土速效磷的演变 .....	(378)
三、长期施肥均壤质潮土全氮和有机质的演变 .....	(379)
四、长期施肥均壤质潮土速效钾的演变 .....	(380)
五、长期施肥条件下作物产量的变化规律 .....	(381)
参考文献 .....	(384)



# 第一章 概 论

土壤作为植物生产的基地，动物生长的基础，农业的基本生产资料，食物生产的根本，为人类提供养分需要，其本质是肥力。因此，千百年来人们一直致力于提高土壤肥力的探索。土壤肥力，是指土壤为植物生长提供养分和水分以及优良环境条件的能力，是土壤各种基本性质的综合表现。土壤肥力的形成、维持与持续提高，以及由土壤物理、化学和生物作用引起的养分的生物有效化与无效化之间的转化过程等，构成了土壤肥力的主要研究内容。长期施肥下土壤肥力的演变，实质上表现为土壤养分及与养分水分供应相关的土壤物理、化学和生物特性的变化，在空间和时间尺度上揭示这些变化是增进农业可持续发展与培育地力的重要基础。

土壤肥力演变规律、发展趋向及其调控对策是当今土壤科学研究的四大重点之一。土壤肥力在人类活动作用下，处于提高—退化—重建的不稳定状态，如何调节这个过程，使其向更加有利于肥力提高的方向发展，是土壤肥力研究的核心，而调节生态系统中的养分循环与平衡则是其关键。

## 一、国内外土壤肥料长期试验概况

### 1. 国外长期土壤肥料定位试验

国外非常重视长期土壤肥料定位试验研究。早在 1843 年，英国 J. B. Lawes 和他的合作者 J. H. Gilbert 在洛桑（Rothamsted）建立了 Broadbalk 小麦长期肥料试验，至今已持续 160 余年，成为世界上历史最长的肥料试验。Lawes 的肥料试验推动了化肥应用的试验研究，起初在欧洲各国，然后扩展到其他国家，相继创立了许多长期土壤肥料试验站，其中有代表性的是 1861 年巴黎的 Vinennes、1873 年德国的 Goffingen、1876 年美国的 Illinois 大学和 1894 年丹麦的 Askol 试验站等。通过这些研究，充分肯定了化肥在发达国家农业发展中的重大影响。据估计，全世界至今超过 100 年的长期土壤肥料试验有 50~60 个，而持续几十年的则更多。1976 年 7 月在法国的 Grignon 召开了一次非常长期肥料试验的国际学术会议，1990 年国际土壤学会在第 14 届国际土壤科学大会上，专题讨论了长期土壤肥料定位试验。

### 2. 我国长期土壤肥料定位试验

我国是世界上从事农业生产最早的文明古国之一，同国外相比，长期肥料试验起步较晚。20 世纪

50年代开始,全国先后组织了三次化肥协作网试验,研究了施肥与土壤肥力和作物产量品质、施肥制度以及主要营养元素的循环与平衡等重要问题,率先在全国范围内指导并推动了化肥的应用。但由于种种原因,都未坚持下来。直到20世纪70年代末,中国农业科学院土壤肥料研究所主持的全国化肥网在22个省(市、自治区)连续开展了氮、磷、钾化肥肥效、用量和比例试验,并布置了一批长期肥料试验,有些延续至今。这些试验涉及黑土、草甸土、栗钙土、灌漠土、潮土、褐土、黄绵土、红壤、紫色土、水稻土等我国最主要的农业土壤类型。

化肥网定位试验旨在研究不同种植制度下,化肥、化肥与有机肥配合对作物产量、肥料效应和土壤肥力的影响。试验采用两种设计方法,一是以化肥为主,采用因子设计,设置CK、N、P、K、NP、NK、PK、NPK 8个处理。有的试验增加了有机肥(M)和氮磷钾化肥与有机肥配合(NPKM)两个处理,总共10个处理。双季稻地区以这种设计为主。二是有机肥与化肥配合试验,采用裂区设计,主处理为不施有机肥和施用有机肥,副处理为氮、磷、钾化肥配合,设CK、N、NP、NPK 4个处理。双季稻以外地区采用这种设计。试验用化肥以尿素、普通过磷酸钙和氯化钾为主。一般每公顷每季作物施氮肥(N)150kg,磷肥( $P_2O_5$ )75kg,钾肥( $K_2O$ )112.5kg左右。有机肥北方以堆肥为主,每公顷30~75t,大多每年只施基肥一次;南方以猪厩肥为主,每公顷施猪粪15~22.5t或稻草4.5~6t,大多每年施两次。磷钾化肥和有机肥作底肥施,氮肥按当地习惯分2~3次施用。种植制度长江以南为双季稻—冬季休闲;长江流域为一季中稻,冬季种小麦、油菜或大麦;华北地区为冬小麦和夏玉米一年两熟;东北和西北主要为春(冬)小麦、春玉米、大豆、马铃薯、蚕豆等,一年一熟。

20世纪80年代后期,由国家计委立项,中国农业科学院土壤肥料研究所主持,连同吉林省、陕西省、河南省、广东省、浙江省和新疆6省、自治区农业科学院土肥所、中国农业科学院衡阳红壤实验站和西南农业大学,在全国主要农区的9个主要类型土壤上建立了“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”。基地网包括黑土(吉林公主岭)、灰漠土(新疆乌鲁木齐)、壤土(陕西杨凌)、均壤质潮土(北京昌平)、轻壤质潮土(河南郑州)、紫色土(重庆北碚)、红壤(湖南祁阳)、水稻土(浙江杭州)和赤红壤(广东广州),覆盖了我国主要土壤类型和农作制度。

基地网定位试验主要处理有:①休闲CK<sub>0</sub>(不耕作、不施肥、不种作物);②CK(不施肥但种作物);③氮(N);④氮磷(NP);⑤氮钾(NK);⑥磷钾(PK);⑦氮磷钾(NPK);⑧氮磷钾+有机肥(NPKM);⑨氮磷钾(增量)+有机肥(增量)(1.5NPKM);⑩氮磷钾+秸秆还田(NPKS);⑪有机肥(M);⑫氮磷钾+有机肥+种植方式2(NPKM<sub>2</sub>)。每季作物施氮量150kg/hm<sup>2</sup>左右,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1:0.5:0.5左右,有机肥用量一般为22.5t/hm<sup>2</sup>,秸秆还田量一般为3.75~7.5t/hm<sup>2</sup>。施N处理多为等N量,其中有机肥N:化肥N为7:3。有机肥和秸秆为一年施用一次,于第一茬作物播种前作基肥施用;磷、钾化肥均作基肥施用,氮肥作基肥和追肥分次施用。

20世纪80年代以来,中国科学院也在全国不同生态区布置了“土壤养分循环和平衡的长期定位试验”。另外,有关高等院校和地方科研院所,根据需要,也布置了一些长期肥料定位试验。全国几乎每一个省份都布置有长期肥料试验,然而,有些长期试验由于经费、管理等方面的原因已经停止,能够坚持下来的长期试验并不多,据初步统计,到目前为止,全国持续进行的长期肥料试验估计有30个左右。

本书收集了黑土、灰漠土、灌漠土、壤土、黑垆土、褐土、潮土、红壤、紫色土、水稻土等我国主要农业土壤类型的18个土壤肥料长期定位试验(图1-1),系统论述了长期施肥和不同农作方式下近20年来土壤各种物理、生物性状演化规律,氮、磷、钾养分循环、转化规律,土壤pH值和中微量元素的变化规律,作物产量和品质变化规律等。



图 1-1 我国典型农田土壤肥料长期试验点分布图

## 二、长期施肥典型农田土壤有机质的演变规律

### 1. 土壤总有机质变化规律

长期施肥对土壤有机质的影响很大。连续 15 年以上不施肥，土壤有机质是下降的；但施用化肥特别是平衡施用 NPK 化肥，有机质维持平衡或稍有增加；有机肥与无机肥配合施用，土壤有机质增加明显，15 年后增加 1 倍以上。

#### (1) 灰漠土

有机肥与化肥配合施用加速了耕层土壤有机质的积累，年均增加  $1.0\text{g/kg}$ ；秸秆还田配施化肥的土壤有机质在试验前几年增加不明显，随着试验年限的延长呈现持续提高的趋势；连续耕作 15 年后，单施化肥的耕层土壤有机质均开始下降；长期不施肥的土壤有机质含量逐年缓慢下降，由  $15.2\text{g/kg}$  降到  $12.1\text{g/kg}$ 。连续施化肥 22 年，土壤有机质较初始对照（1982）降低  $22.5\% \sim 37.2\%$ ，施用 NP 和 NPK，土壤有机质与对照相比，分别增加  $28.0\%$  和  $22.7\%$ 。

#### (2) 均壤质潮土

有机质矿化率在  $2.2\% \sim 4.9\%$  之间，平均为  $3.1\%$ 。不施肥、单施化肥土壤有机质呈下降趋势， $0 \sim 20\text{cm}$  土层 10 年内下降了  $0.09\% \sim 0.33\%$ ；有机肥与无机肥配合施用的土壤有机质略有上升；单施高量有机肥的土壤有机质含量明显提高，10 年后增加了  $0.59\%$ 。

#### (3) 轻壤质潮土

施有机肥及秸秆还田能明显增加土壤有机质含量，施肥 15 年后（2005）土壤有机质含量较基础值增加  $3.9 \sim 5.8\text{g/kg}$ ；施 NP 和 NPK 土壤有机质略有增加；施 NK 土壤有机质含量比较稳定；不施肥的 CK、施 N 和 PK 土壤有机质含量变化呈降低趋势。秸秆还田及施用有机肥是提高土壤肥力的重要措施。



#### (4) 黑土

20年长期不施肥,土壤有机质由26.6g/kg下降到23.3g/kg,下降了3.3g/kg,单施氮磷钾化肥土壤有机质下降到25.3g/kg,单施有机肥土壤有机质没有下降,有机肥与化肥配合施用,土壤有机质略有增加。

#### (5) 红壤

经15年施肥耕种后,土壤有机质均有所上升。单施化肥土壤有机质增加较少,配合施NPK化肥的土壤有机质比开始增加了87%;施用有机肥(M和NPKM)的土壤有机质从11.5g/kg上升到24.3g/kg,比不施肥对照增加9.4g/kg,比开始基础值增加了110%。

#### (6) 水稻土

经过20年的耕种施肥,不施肥、施PK和NK土壤有机质呈明显下降趋势,不施肥的土壤有机质年下降0.27g/kg,PK和NK年下降0.145g/kg,施用NPK化肥的略有增加,年增加量仅0.02g/kg,有机肥与化肥配合施用,土壤有机质年增加0.32~0.49g/kg,且随着有机肥配施比例的增加而增加。化肥NPK配合施用不会降低土壤有机质含量,有机肥与化肥配合是有效增加土壤有机质的重要措施。

#### (7) 瘠土

长期施肥后土壤有机质均呈现富集趋势。所有施肥的土壤有机质随着种植年限的延长而增加,其中施入有机物质的NPM、NPS和M土壤有机质增加幅度最大,依次为0.284g/kg、0.271g/kg和0.203g/kg。单施化肥NP和N也增加土壤有机质,但增加较少,只有0.076g/kg和0.036g/kg。长期不施任何肥料的土壤有机质并没有下降,而是以0.031g/kg的速率增加。单施化肥和不施肥土壤有机质的增加与每年根茬返还农田有关。

## 2. 长期施肥土壤活性有机质及碳库管理指数(CMI)的变化规律

连续10年不施肥不耕种(CK<sub>0</sub>)的红壤有机质含量虽增加7.4%,但土壤活性有机质有所下降,碳库管理指数(CMI)下降21.5,即在自然休耕情况下,红壤有机质性质并不能得到明显改善。瘠土休耕10年土壤有机质、活性有机质、CMI均下降,CMI下降47.6;轻质潮土和黑土土壤有机质、活性有机质和CMI都有所上升。以下6种典型土壤不施肥(CK)时,活性有机质和CMI都下降(表1-1),红壤有机质、活性有机质和CMI分别下降8.0%、39.0%和42.9;瘠土总有机质增加13.7%、活性有机质下降58.0%、CMI下降63.6;灰漠土有机质、活性有机质和CMI分别下降10.8%、40.6%和46.4;黑土分别下降9.3%、10.8%和11.1;褐潮土有机质有所上升,但活性有机质及CMI分别下降48.8%和51.0;轻质潮土有机质下降2.9%,活性有机质及CMI分别下降36.4%和40.1。不施肥对黑土活性有机质影响相对较小,对其余5种土壤活性有机质影响较大,但对瘠土、褐潮土活性有机质和CMI的影响为最大。

施用N和NPK,10年后所有土壤的活性有机质和CMI均下降,但下降幅度在不同土壤上有所不同。在红壤上,两种施肥的土壤总有机质下降4.0%,活性有机质及CMI分别下降19.3%和21.8;在瘠土上,总有机质增加16.0%,但活性有机质及CMI分别下降20.0%和25;灰漠土中,有机质仅降低3.5%,但活性有机质及CMI分别降低25.0%和30;黑土中,有机质、活性有机质及CMI均降低5.0%左右;褐潮土中,总有机质增加20.0%,但活性有机质和CMI分别下降了17.0%和18;轻质潮土总有机质保持不变,但活性有机质、CMI分别下降20.0%和23。

秸秆还田(NPKS)的土壤活性有机质和CMI变化在不同土壤表现不一,在红壤上表现为总有机质相对稳定,活性有机质及CMI增加;黑土中总有机质、活性有机质和CMI均相对稳定,CMI上升10.0;在灰漠土中这三项指标呈现为稍微下降的趋势,CMI下降5左右;在轻质潮土、瘠土、褐潮土