



中国土壤

生物演变及安全评价

张夫道等 著

 中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金

中国土壤

生物演变及安全评价

张夫道等 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国土壤生物演变及安全评价/张夫道等著. —北京:
中国农业出版社, 2006. 9
ISBN 7-109-11172-5

I. 中... II. 张... III. ①土壤微生物—演变—中国
②土壤微生物—安全评价—中国 IV. S154.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 111170 号

内 容 简 介

本书是国家科技部基础司社会公益性专项“中国土壤生物演化及安全预警系统的研究”研究成果的一本专著。本书系统地测定和总结了我国农田、森林和草原土壤微生物资源;研究了吉林黑土、江西红壤、新疆灰漠土耕作 100 年、50 年、10 年、5 年后微生物种群和主要酶活性的演变;分别在 5 个类型土壤的 14 个农业和森林长期定位试验上,研究不同种植制度和施肥措施条件下土壤微生物和土壤动物种群的演替;研究了 4 种农药和 5 种重金属对土壤微生物和蔬菜生长的影响及农药污染的降解和修复;采用微生物、蚯蚓、蔬菜 and 土壤残留量综合指标制定了农药和重金属的临界预警值。本书不仅是我国土壤生物学研究的阶段性总结,也是土壤学、植物营养学、生态环境和生物学研究的参考资料。

本书可供农、林、生态环境、生物学等有关科研院所的科研人员及高等院校有关专业的师生参考。

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

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 35.75

字数: 1 000 千字 印数: 1~1 500 册

定价: 200.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



作者简介

张夫道 男，汉族，1943年出生，前苏联生物科学博士，原中国农业科学院土壤肥料研究所肥料首席研究员，博士生导师，兼任中国植物营养与肥料学会常务理事，新型肥料专业委员会主任。先后毕业于原南京农学院土壤化学系，原浙江农业大学研究生部，莫斯科季米里亚捷夫农学院放射化学教研室、植物生物化学和农业化学教研室，获得硕士、生物科学副博士和生物科学博士学位。长期从事城乡废弃物资源化利用、新型肥料、农用纳米材料、生物环境和荒漠化土地修复研究，主持过国家863、国家攻关、社会公益性和基础性研究、国家自然科学基金、农业部重点项目（课题、专题）近40项，获得省部级科技进步成果4项，申报国家发明专利20余项，已授权8项，在国内外核心期刊上发表论文150余篇，合编科技著作6部。

“中国土壤生物演变及安全评价”专家委员会

主 任：刘更另

副主任：蒋有绪

委 员（以姓氏拼音为序）：

陈子明 何绍颐 赖庆旺

李纯忠 李实烨 吕殿青

毛丙衡 孙宏德 王讲利

徐明岗 姚造华 张贵兰

张鸿程 钟新才 周国逸

周晓峰



著者名单

主 著：张夫道

副主著：闵 航 贾小明 林英华

著 者（以姓氏拼音为序）：

宝德俊	曹仁林	陈 义	陈婉华	陈中云
陈子明	符建荣	皇甫湘荣	黄庆海	黄绍敏
黄永春	贾晓葵	贾小明	姜瑞波	金 森
赖 涛	李发生	李秀英	李元芳	林英华
刘 骅	毛丙衡	闵 航	宁国赞	欧阳学军
彭 畅	石孝均	史春余	孙宏德	孙家宝
孙瑞莲	同延安	王 兵	王伯仁	王家玉
王讲利	王玉军	文石林	谢 慧	徐 晶
徐明岗	徐万里	杨德付	杨学云	姚造华
袁锋明	张夫道	张建峰	张俊清	张淑香
张树清	赵林萍	朱 平	朱鲁生	



开卷的希望



农业是国民经济的基础。

毛泽东主席所倡导的农业“八字宪法”土、肥、水、种、密、保、工、管，把“土”字排在前面，并认为‘土壤是基础’。作物生长在土壤上，作物从土壤中获得水分和养分及其生长发育所需要的各种条件。土壤中所发生的许许多多物理、化学、生物学等方面的变化，有时要经过很长的时间才能研究得清楚。

1840年，世界上著名的科学家、农业化学的奠基者尤·李比希深刻揭露了当时欧洲农业的消极方面。盛行一个世纪的世界名著《化学在农业和生理学上的应用》一书问世，在这本书里，李比希满腔热情地、风趣地描写了几千年来中国农民施用有机肥料的经验。精辟地创立了“归还学说”、“矿质营养学说”、“最小养分律”，有力地证明了：土壤中能使作物生长发育的是“矿质营养元素”，深刻地揭示了自然界矿质营养元素循环转化的规律。

按照李比希的学说：“矿质营养元素”是植物生长、动物生长以及人类生长的要素，是各种各样农产品、畜产品的“精华”。它们大都来自于土壤，什么“五谷丰登”、“六畜兴旺”，以及人类社会的繁荣与衰落，都决定于这些营养元素的富集与耗损。

“归还学说”、“矿质营养学说”、“最小养分律”，为使用矿质肥料提供了理论基础。在这个学说指引下，欧洲市场上出现了磷矿粉 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ 、钾矿石粉 (KCl)、硝石 (KNO_3)、石灰石粉 (CaCO_3) 等商品肥料，大大提高了各种农作物的单位面积产量。

英国的劳斯 (J. Lawes)、基尔伯特 (H. Gilbert) 为了验证沙苏尔 (Saussure)、包森加特 (Boussingault)、李比希 (J. Liebig) 等科学家关于植物营养方面的理论，并向农民展示各种矿质肥料和厩肥的增产效果，在英国洛桑实验站，从 1843 年开始布置了世界上年代最长的、有名的长期肥料实验。不仅如此，法国的格里昂 (Grignon) (1875)、德国的来比锡 (1857)、哥廷根 (Goffingen) (1873)、丹麦的阿斯可夫 (Askov) (1894)、俄罗斯的莫斯科 (Mockow) (1912) 都布置了类似的实验。特别值得提出的是 1876 年美国在伊里洛依布置了一个长期肥料实验，到现在已有 130 年的历史了。美国国会曾通过决议，认为这个“长期实验”是美国农业发展的里程碑。我国农业有五

千年光辉的历史，在春秋战国时代，就有关于识土辨土的记载，有上百年的农业大学和农学院，但是没有 50 年历史的长期实验，所以我们对于土壤肥料的认识一直停止在分散的感性认识上面。新中国建立不久，老一辈的土壤肥料学家都希望布置一些定位的长期监测的土壤肥料实验，但是社会上对这点认识不够。中国农业科学院土壤肥料研究所徐叔华先生，在北京自己的实验农场里（北圃场），花了两年时间布置了一个长期实验，徐先生为这个长期实验亲自选地、亲自设计、亲自在田间指挥布置，真是为这个实验倾注了心血。可是这个长期实验，进行不到 3 年，“文化大革命”开始了，无知的“造反派”，把这个实验作为“黑实验”来批判，被迫终止了。

1984 年开始，中国农业科学院土壤肥料研究所向国家计划委员会申请建立“国家土壤肥力演变与肥料效益长期监测实验”，1986 年国家计委批准这个项目，我也作为这个项目的主持人之一，参加这个实验，选点、布局、设计，这个实验网实际上吸取了全国土壤肥料学界的智慧。在全国主要生态类型区，几种主要土壤类型上建立了九个长期定位实验。实验的耕作制度，肥料种类和数量，各种处理，测定分析方法，都进行统一设计，便于比较、分析、研究。

该实验网于 1999 年 9 月被专家组审查通过列为国家重点野外观测试验站，具体仍归中国农业科学院土壤肥料研究所主持，各点的数据资料、保证资料、规律的采集者、发现者在有优先享有的同时，允许互相借鉴参考，共同享用。

自 1995—2005 年，中国农业科学院土壤肥料研究所“国家土壤肥力与肥料效应长期监测基地网”，又获得了科技部重点社会公益性研究专项：“中国土壤生物演化及安全预警系统的研究”，获得了大量科学资料，研究了我国农田（包括水稻田和旱地）、森林、草原的土壤生物资源，包括土壤微生物、土壤动物及某些酶活性变化，得到许多有价值的认识。

以张夫道为首的 55 个作者集体为这本书倾注了心血，完成了近百万字的巨著。张夫道先生要我作“序”，我不敢承担。此书涉及的内容很广，我知识短缺，到现在为止，还没有仔细阅读过全书。我只能把我们“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”的来龙去脉，作一个简单的介绍。作为一种“希望”，我祝愿这本书将在我国农学界、林业界、土肥学界、生物学界、生态环境学界发挥它应有的作用。

中国农业科学院研究员

中国工程院院士



2006. 8. 18

前言



土壤生物是土壤质量和土壤生态环境重要的组成部分。土壤生物包括土壤微生物和土壤动物等。两类土壤生物犹如无数个并联和串联的生物反应器，矿化有机物，氧化还原土壤中的重金属元素，固定或释放土壤营养元素等。在某种意义上，土壤生物体是植物营养元素重要的储存库和转运站，对改善和提高土壤肥力，促进形成土壤团粒结构，强化土壤系统的物质、能量循环，保持土壤—植物系统的生态平衡和土壤的可持续生产力均具有不可替代的功能。

随着人口压力的增大和集约化生产水平的不断提高，农林土壤大量施用化肥、农药、除草剂和其他含有重金属的化学物质，在某些地区还使用含有毒物质的工业污水灌溉。据不完全统计，我国每年施用化肥 4 600 万 t（纯养分），农药 50 多万 t，大约 250 种以上，其中包括杀虫剂 100 多种、除草剂 50 多种、杀线虫剂 20 多种、杀菌剂 30 多种。调查结果，全国重金属含量超标农田面积达 152 万 hm^2 以上。

由于大量施用化学肥料、农药、除草剂和其他化学物质或污灌引起的土壤面源污染，使土壤生物系统遭到严重干扰和破坏，破坏了土壤生态系统的平衡，部分地区土壤严重酸化，土壤容重增加，理化性质恶化，土传病虫害加剧，导致土壤环境恶化，土壤肥力、土壤生产力和土壤环境质量下降，影响农林土壤的可持续利用。因此，研究集约化和非集约化条件下，我国农林土壤生物资源现状及演变规律，建立生物安全体系，对保护土壤生物和土壤生态平衡，实现土壤可持续利用，具有十分重要的意义。国内外虽然对土壤生物做了大量的研究，但大多是小范围和实验室研究，与田间实际情况相差甚远，很难提供有说服力的科学依据。在科技部大力支持下，2001 年设立了社会公益性研究专项资金项目“中国土壤生物演化及安全预警系统研究”，本项目以国家重点野外试验观测站“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”和“国家森林野外观测试验站”为平台，在 5 个土类 14 个亚类（土属）长期定位的土壤上，在不同水田和旱地、不同轮作、不同类型林业生态条件下，系统研究了长期施用化肥、农药、重金属对土壤生物和蔬菜生长的影响，采用土壤生物、蔬菜 and 土壤残留量综合指标，探讨了各种主要类型土壤农药和重金属的临界预警值，取得了大量的资料。本书是在该项目试验研究报告的

基础上进行修改、补充而形成的一本专著。

本书是第一次利用国家重点农、林野外观测试验站作为平台研究土壤生物的演变,从课题设计到研究内容都存在很多不完善的问题,而且在自然条件下,土壤生物受环境的影响较大,有些结果规律性不强,需要长期的监测和研究,本书只能从趋势上分析。限于著者的水平,在总结大量的研究资料时,难免会出现这样或那样的问题,需要继续总结和完善。

全书包括绪论,研究内容、地点和方法,我国主要农林土壤生物资源与土壤生物群落演变,农业生产活动对土壤生物特性的影响,土壤生物安全评价等 10 章。

本书所有试验资料是在“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”和部分“国家森林生态观测试验站”科技人员参与下共同完成的。各章主要撰写人员如下:

绪 论	张夫道	闵 航			
第一章	王玉军	张树清	赵林萍		
第二章	贾小明	闵 航	林英华		
第三章	张夫道	姜瑞波	宁国赞	王家玉	张俊清
第四章	林英华	金 森	孙家宝	王 兵	欧阳学军
第五章	第一节	张夫道	徐 晶	陈婉华	李元芳
	第二节	闵 航	陈中云	陈 义	石孝均
	第三节	林英华	王伯仁	徐明岗	杨德付
第六章	第一节	张夫道	徐 晶	孙瑞莲	宝德俊
	第二节	闵 航	陈中云	赖 涛	
	第三节	林英华	杨学云	同延安	刘 骅
第七章	第一节	贾小明	张夫道	王玉军	张建峰
	第二节	闵 航	陈中云	黄庆海	
	第三节	林英华			
	第四节	曹仁林	黄永春	贾晓葵	
	第五节	李发生			
第八章	第一节	朱 平	彭 畅	孙宏德	
	第二节	陈子明	姚造华	袁锋明	李秀英
	第三节	宝德俊	黄绍敏	皇甫湘荣	
	第四节	杨学云	同延安		
	第五节	王讲利	刘 骅	徐万里	

第六节 王伯仁 徐明岗 文石林

第七节 陈 义 王家玉 符建荣

第八节 石孝均 毛丙衡

第九节 史春余 张夫道 张淑香

第九章 朱鲁生 谢 慧

第十章 张夫道 闵 航

全书由张夫道和王玉军统编，最后由张夫道审核定稿。

我们要特别感谢国家科技部基础司把“中国土壤生物演化及安全预警系统”列为社会公益性专项资金项目，感谢刘更另、蒋有绪、周晓峰、何绍颐等先生创建了“国家土壤肥力与肥料效益长期监测基地网”和黑龙江帽儿山、江西大岗山、北京九龙山中国林业科学研究院华北林业实验中心、广东鼎湖山森林生态观测试验站，为项目实施搭建了平台，感谢肖刚柔先生指导土壤动物种群的鉴定。本书编写过程中，得到陈文新院士、刘更另院士、蒋有绪院士的大力支持和鼓励，陶天申教授对各种菌的拉丁文名称进行了核定，李枢强教授对第四章土壤动物的拉丁文进行了核定，李仁岗教授在生物统计方面鼎力相助，在此表示衷心的感谢！本书的出版还要感谢国家科学技术著作出版基金的资助。

张夫道

2006年8月

目 录

开卷的希望

前言

绪论	1
第一节 土壤生物演变的内涵	1
第二节 土壤生物与土壤质量	2
一、土壤微生物与土壤肥力	2
二、土壤生物与土壤营养元素	10
第三节 土壤生物研究现状与趋势	11
一、土壤微生物研究现状与趋势	11
二、土壤动物研究现状与趋势	17
三、存在问题	23
第一章 研究地点的自然概况	27
一、农业土壤	27
二、森林土壤	30
第二章 研究和测试方法	34
第一节 土壤微生物研究和测试方法	34
一、旱地土壤微生物	34
二、水稻土壤微生物	43
第二节 土壤动物研究和测试方法	48
一、农、林土壤动物的采集	48
二、森林土壤动物在凋落物分解过程中的演变	48
三、农药、重金属对土壤动物的影响	49
四、确定土壤污染的预警阈值依据和标准	49
五、数据处理的方法	50
第三章 土壤微生物资源与群落的演变	52
第一节 农田土壤微生物资源与演变	52
一、旱作土壤微生物资源	52
二、水稻土壤微生物资源	55
三、主要林业土壤微生物	60
四、我国已有的农业有益微生物主要菌种	61
第二节 不同耕作年代土壤微生物种群的演变	64
一、不同耕作年代土壤养分的变化	64

二、不同耕作年代土壤微生物种群数量的变化	65
三、不同耕作年代主要土壤酶活性的变化	67
四、讨论	68
第四章 主要土壤动物资源与土壤动物群落的演变	72
第一节 农田土壤动物资源与演变	72
一、农田土壤动物资源	72
二、农田土壤动物群落的演变	76
第二节 林业土壤动物资源与演变	82
一、林业土壤动物资源	82
二、林业土壤动物群落的演变	90
第五章 种植制度对土壤生物特性的影响	107
第一节 旱作种植制度对土壤微生物特性的影响	107
一、旱作种植制度对土壤微生物种群数量的影响	107
二、旱地土壤不同种植制度土壤主要酶活性的变化	111
三、讨论	113
四、结论	139
第二节 水田种植制度对土壤微生物特性的影响	140
一、种植制度对水稻土壤微生物特性的影响	140
二、种植制度对水稻土壤酶活性的影响	144
三、种植制度对水稻土壤生物活性的影响	145
第三节 种植制度对土壤动物特性的影响	146
一、种植制度对土壤动物特性的影响	146
二、不同种植条件下土壤动物分布特点和时空变化	147
第六章 长期施肥对土壤生物特性的影响	151
第一节 旱地长期施肥对土壤微生物特性的影响	151
一、长期施肥对旱地土壤微生物类群数量的影响	151
二、长期施肥对旱地土壤酶活性的影响	174
第二节 水稻土壤长期施肥对土壤微生物特性的影响	181
一、长期施肥对水稻土壤中微生物种群数量的影响	181
二、长期施肥对水稻土壤酶活性的影响	187
三、长期施肥对水稻土壤生物活性的影响	190
第三节 长期施肥对土壤动物特性的影响	192
第七章 农药与重金属污染对土壤生物特性的影响	199
第一节 农药与重金属污染对旱地土壤微生物特性的影响	199
一、农药和重金属对吉林黑土微生物特性的影响	200
二、农药和重金属对北京褐潮土微生物特性的影响	210
三、农药和重金属对河南潮土微生物特性的影响	223
四、农药和重金属对陕西黄土微生物特性的影响	233
五、农药和重金属对山东棕壤微生物特性的影响	244
六、农药和重金属对新疆灰漠土微生物特性的影响	254
七、农药和重金属对湖南红壤微生物特性的影响	264
八、农药和重金属对黑龙江帽儿山林业土壤微生物特性的影响	269

九、农药和重金属对北京九龙山林业土壤微生物特性的影响	277
十、农药和重金属对广东鼎湖山林业土壤微生物特性的影响	286
第二节 农药与重金属污染对水稻土壤微生物特性的影响	295
一、农药对水稻土壤微生物特性的影响	295
二、重金属污染对水稻土壤微生物特性的影响	328
第三节 农药与重金属污染对土壤动物特性的影响	378
一、农药对赤子爱胜蚯蚓的影响	378
二、3种重金属对赤子爱胜蚯蚓的影响	379
第四节 农药污染对蔬菜生长特性的影响	380
一、试验材料和方法	380
二、土壤中添加3种农药对小白菜的影响	380
三、3种农药在土壤和小白菜中的残留	383
四、3种农药对小萝卜生长的影响及残留	385
五、土壤中3种农药的临界浓度	388
第五节 重金属污染对土壤和植物生长的影响	391
一、重金属对土壤污染的特性	392
二、重金属污染与土壤生物的作用	397
三、土壤重金属污染对植物的影响	403
第八章 健康土壤长期施肥条件下土壤肥力和产量的变化	424
第一节 长期施肥条件下吉林黑土土壤肥力和产量的变化	424
一、长期施用不同肥料对土壤养分的影响	424
二、长期施肥对黑土剖面氮素分布的影响	426
三、长期施用不同肥料对作物产量的影响	427
第二节 长期施肥条件下北京褐潮土土壤肥力和产量的变化	428
一、长期定位施肥对土壤理化性状的影响	428
二、长期施肥对土壤剖面硝态氮移动和淋失的影响	429
三、长期施肥对作物产量的影响	434
第三节 长期施肥条件下河南潮土土壤肥力和产量的变化	436
一、长期施用不同肥料对土壤耕层养分的影响	436
二、长期施肥对潮土剖面硝态氮迁移与分布的影响	440
三、长期施肥对作物产量的影响	441
第四节 长期施肥条件下陕西黄土土壤肥力和产量的变化	444
一、长期施用不同肥料对土壤养分和物理性质的影响	444
二、长期施肥对黄土剖面硝态氮累积与分布的影响	446
三、长期施肥对作物产量的影响	447
第五节 长期施肥条件下新疆灰漠土土壤肥力和产量的变化	450
一、长期施用不同肥料对土壤养分的影响	450
二、长期施肥对耕层碳氮平衡及土壤剖面硝态氮积累的影响	453
三、长期施肥对作物产量的影响	456
第六节 长期施肥条件下湖南红壤土壤肥力和产量的变化	458
一、长期施用不同肥料对土壤养分的影响	458
二、长期施肥对耕层氮累积和剖面硝态氮分布的影响	461

三、长期施肥对作物产量的影响	465
第七节 长期施肥条件下杭州水稻土土壤肥力和产量的变化	467
一、长期施用不同肥料对土壤理化性状的影响	467
二、双季稻田土壤中氮素的淋溶损失	468
三、长期施肥对作物产量的影响	472
第八节 长期施肥条件下重庆紫色土土壤肥力和产量的变化	474
一、长期定位施用不同肥料对土壤养分的影响	474
二、长期施肥条件下水旱轮作系统中氮素迁移与平衡	478
三、长期施肥对作物产量的影响	482
第九节 不同土壤不同种植制度下土壤肥力与肥料效益的演变	484
一、产量变化	485
二、肥料氮的损失与提高利用率	485
三、钾在不同类型土壤上的表现	487
四、中量元素镁成为红壤、赤红壤的障碍因子	487
五、土壤磷的积累和移动	488
六、种植制度对土壤肥力和作物产量的影响	488
七、结论	489
第九章 土壤农药污染的微生物降解和修复	492
第一节 农药概述	492
一、农药基本状况	492
二、农药使用状况	496
三、农药发展趋势	496
第二节 农药污染	497
一、农药对环境的污染现状	497
二、农药在环境中的行为	498
三、农药对土壤的影响	500
第三节 土壤中农药的降解	514
一、农药降解的类型和机理	514
二、土壤中农药的生物降解	516
第四节 土壤农药污染的防治及修复	519
一、土壤污染的防治	519
二、生物修复	521
三、复合污染的修复	526
第十章 土壤生物安全评价	533
第一节 土壤生物安全评价方法	533
一、国内外评价土壤微生物安全的研究现状	533
二、本项研究采用的生物安全评价方法	535
三、“模糊”数学统计法分析结果	535
四、相关分析结果	539
第二节 土壤微生物安全评价	553
一、旱地土壤微生物安全评价	553
二、水稻土壤微生物安全评价	555
三、种植蔬菜时土壤中农药和重金属的临界含量	556
四、蚯蚓对不同农药和重金属的临界浓度	557

绪 论

根据我国著名土壤学家侯光炯的观点,土壤是具有明显生理功能的类生物体。土壤的生理功能表现在:具有呼吸作用,具有消化作用,具有循环系统(侯光炯、高惠民等《中国农业土壤概论》)。土壤具有这些生理功能发生的原因有两个,一是土壤的无机—有机胶体;二是土壤生物的作用。这两个原因中,后者又是最重要的,占第一位的因素,没有土壤微生物和土壤动物“辛勤的劳动”,有机物质就不可能分解,也不可能转化为有机胶体,当然,也不可能形成肥沃的土壤。因此,土壤生物的活动与土壤肥力的形成是因果关系。

第一节 土壤生物演变的内涵

土壤生物由土壤微生物、土壤动物和低等植物三大部分组成。土壤微生物包括细菌、放线菌、真菌;土壤动物的类群主要包括:原生动物门(Protozoa)、扁形动物门(Platyhelminthes)、线形动物门(Nemathelminthes)、软体动物门(Mollusca)、环节动物门(Annelida)、节肢动物门(Arthropoda)、脊椎动物门(Vertebrata)。这些土壤动物类群的体形、大小差别悬殊,功能和作用也不相同。为了研究上的方便,通常按动物身体的大小分为微型动物、中型动物、大型动物和巨型动物四类。土壤低等植物主要包括藻类、地衣、苔藓等。广义的土壤生物还包括土壤中的活性有机体,其中有植物根系、块茎、种子、卵、蛹及越冬态动物。

土壤微生物和土壤动物在土壤中相辅相成,微生物可分解土壤动物的躯体,而土壤动物对微生物群落起着生物和能量的过滤作用。这两类土壤生物犹如无数个并联和串联的生物反应器,矿化有机物,氧化还原土壤中的重金属元素,固定或释放土壤营养元素等。在某种意义上,土壤生物体是植物营养元素重要的贮存库和转运站,对改善和提高土壤肥力,促进形成土壤团粒结构,强化土壤系统的物质、能量循环,保持土壤—植物系统的生态平衡和土壤的可持续生产力均具有不可替代的功能。

然而,随着人口压力的增大和集约化生产水平的不断提高,农林土壤大量施用化肥、杀虫剂、除草剂和其他含有重金属的化学物质,在某些地区还使用含有毒物质的工业污水灌溉。这些面源的化学物质大量施用以及污灌,无疑对土壤造成了污染。据不完全统计,我国每年施用化肥 4 600 万 t(纯养分),农药 36 万~37 万 t,大约 250 种农药以上,其中包括杀虫剂 100 多种,除草剂 50 多种,杀线虫剂 20 多种,杀菌剂 30 多种。据调查,全国重金属含量超标农田面积达 152.27 万 hm^2 以上。这些化肥、农药等化学物质及污灌,一方面保证了农产品的产量,但同时也带来了极大的负面作用,它们进入土壤后,首先受到危害的便是土壤微生物、土壤原生动物和其他各类生物。这些土壤生物可受到下列几方面综合或单方面的危害:一是原适宜生存的环境不再适宜于生存而减弱其生存竞争力;二是直接受到致命性的伤害死亡;三是受到非致命性的但足以引起某些基因突变的伤害而引起某些原有特性的改变,出现新的特征,有可能是有利于土壤肥力的提高,土壤性能的改善,但也有可能成为土壤、植物、人类或其他生物的土壤致病菌;四是土壤生态系统中各类微生物和动物的种类组成,群落和数量均将发生变化。

演替是生物界最常见的自然现象之一。生态系统的演替是指随着时间的推移,一种生态系统类型

(或阶段)被另一种生态系统类型(或阶段)替代的顺序过程。生态系统是动态的,从地球上诞生生命至今的几十亿年里,各类生态系统一直处于不断的发展、变化和演替之中。

按演替的方向,生态系统的演替可分为正向演替和逆向演替。正向演替是从裸地开始,经过一系列中间阶段,最后形成生物群落与环境相适应的动态平衡的稳定状态,即演替到了最后阶段。这一最后阶段的生物群落叫做顶级群落,这一阶段的生态系统属于顶级稳定状态生态系统。

土壤生物演变是土壤生物演替的一种形式,其演替常常随着植物和动物群落的演变而进行。人类的经济、生产活动会加速这种演变的过程。如森林砍伐后,原来的乔木林生物群落为新的杂草、灌木林植物群落所取代,继而开垦为农田,形成农田生物群落。原来以腐食性和捕食性为主的土壤动物群落逐渐为新的植食性为主的土壤动物群落所取代。

演替可以在局部或小的生境范围内进行,农田生物群落则具有局部空间和季节演替特点。如在大豆—小麦两熟区,豆田土壤动物群落随着大豆的生长发育出现有顺序的自然演替过程,群落的最初阶段以捕食性、寄生性动物为主;随着大豆分枝开花,群落进入发展阶段,此时土壤动物种类增多,群落结构趋于复杂;大豆花荚期,群落组成趋于完善或平衡阶段,各种土壤动物都占据一定的生态位,有效地分配各自所需的食物资源,群落演替达到最终阶段,即达到顶级,大豆收获则演替结束。秋天种植小麦后,群落则进入一个新的演替过程。

土壤生物群落由于土壤环境的相对稳定,多数土壤动物生活周期相对较长,群落整体的季节性演替不明显或很少出现,但在人为因素和环境因素的共同作用下,一个种群取代另一个种群的局部演替在某些地区则经常出现。

土壤生物群落作为一个独立的生物群落有其发展的历史过程,并随着植物结构经常发生改变而改变,群落的稳定性是相对的。同时土壤生态系统又是一个隐蔽的、微观的生态系统,土壤动物、土壤微生物等各占据一定的生态位,它们之间的内在和外在的联系、微群落内部的演替过程和规律,还有待于进一步研究和认识。

土壤生物多样性是可持续农业发展的三大支柱之一,土壤生物多样性的提高,是土壤健康水平的一种体现形式。农业可持续发展的要求和人类生活对环境质量的改变,大量施用化学肥料、农药、除草剂和其他化学物质或污灌引起的土壤面源污染所导致土壤生物演变,已经引发的土壤肥力、土壤生产力和土壤环境质量改变,已日益受到人们的严重关注。因此,研究集约化和非集约化条件下,中国农林土壤生物资源现状及演变规律,建立安全预警系统,对保护土壤生物和土壤生态平衡、实现土壤可持续利用,具有十分重要的意义。

本项研究以“国家土壤肥力与肥料效益监测基地网”和部分国家林业生态野外试验站为平台,对我国主要类型土壤微生物、酶活性进行了全面测定,对土壤无脊椎动物进行了全面调查鉴定;研究了吉林黑土、江西红壤、新疆灰漠土原始荒地开垦5年、10年、50年以上、100年以上的生物演化;系统地研究了集约化农业条件下,长期定位施用不同肥料、农药和重金属土壤生物群落的演变,并对土壤生物安全进行了初步评价。

第二节 土壤生物与土壤质量

土壤质量包括肥力质量、环境质量、健康质量,它是以土壤肥力为基础,水、肥、气、热、生综合的具有净化、抗逆和可持续生产的能力。提高土壤质量,土壤生物具有不可替代的作用。

一、土壤微生物与土壤肥力

1. 土壤微生物与土壤腐殖质 土壤肥力的基础是土壤有机质、土壤无机—有机复合体的含量和