

生态学重点学科丛书

北京市生态学重点学科建设项目资助



土壤生态学

曹志平 主编



化学工业出版社

生态学重点学科丛书

北京市生态学重点学科建设项目资助



土壤生态学

曹志平 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《生态学重点学科丛书》分册之一,是结合作者多年的教学经验和相关科研成果,并配合学科的发展规划的基础上编写而成的。全书系统地介绍了土壤生物及其生存环境,土壤中生物之间、土壤生物与土壤物理过程和分解过程之间的相互关系,土地利用方式、农作措施、污染物及转基因作物对土壤生物的影响,以及土壤质量及其评价指标,并列举了具体的研究案例。

本书内容全面、新颖,可供高等院校生态、环境专业的本科生、研究生选作教材,也可供从事生态、环境等领域的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

土壤生态学/曹志平主编. —北京:化学工业出版社, 2007.7
(生态学重点学科丛书)
ISBN 978-7-122-00752-0

I. 土… II. 曹… III. 土壤生态学 IV. S154.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 101231 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:边涛

文字编辑:荣世芳
装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张18 字数375千字 2007年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

生态学重点学科丛书编写委员会

主 任：吴文良

副 主 任：李 季 孙振钧

编委会成员(按姓氏汉语拼音排序)：

曹福存 曹志平 李 季 刘云慧 刘正恩 马祥爱

乔玉辉 尚 杰 孙振钧 王 冲 王宏燕 吴文良

许 艇 杨喜田 于法稳 宇振荣 张洪军 赵桂慎

《土壤生态学》编写人员

主 编：曹志平

编写人员(排名不分先后)：曹志平 陈云峰 韩雪梅 胡 诚

李德鹏 王秀徽 乔玉辉 陈国康

生态学是一门研究生物与环境之间关系的科学，其发生和发展的整个历程都与农业有着密切的联系。半个世纪以来，在世界范围内面临重大生态环境危机的情形下，生态学以其固有的非线性思维和整体性的思想，以自身长期的科学积累为基础，积极面对挑战，在诸多的学科中脱颖而出，在世界探索可持续发展道路上，正在发挥着越来越重要的作用。在参与解决社会面临问题的过程中，生态学学科自身也得到了发展，由一门默默无闻，甚至颇受争议的学科发展至今以崭新的面目出现在当代科学的舞台，并引起了科学界和社会各界的广泛关注。

国际生态学研究在半个世纪以来发生了一系列重大的变化，生态学改变了长期以来的纯自然主义的倾向，明确提出人类是生物圈固有的组成部分，并对生态系统产生举足轻重的影响。生态学正越来越紧密地与全球及地区的社会经济发展相结合，并服务于生产实践。许多全球性以及国家的重大建设项目和热点问题均离不开生态学的参与，有关生态系统服务、生态系统分析以及生态工程设计等在区域经济发展中正发挥着越来越重要的作用。据 Elsevier 出版社的《Ecological Abstracts》统计，20 世纪 90 年代初生态学论文中有 73.2% 属基础性研究，26.8% 属于应用生态学研究，而到目前为止，生态学研究属于应用生态学的研究已占到 40%。

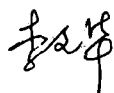
中国是一个生态脆弱、资源相对短缺、环境压力突出的国家。从 20 世纪 80 年代以来学术界和各国政府普遍关注的“人口、资源、能源、环境和粮食”等重大问题实质上在中国并未得到根本缓解。全国范围内，城市及公路的绿化和大范围的区域生态建设得到了大幅度的发展，然而更多的生态问题则隐藏到了后面。中国的生态学肩负着太多的任务，一方面它仍要继续高举火炬，揭示那些尚未被人们认识的问题和潜在风险，以照亮未来的前进方向；另一方面它还要紧握利剑，不断创新与探索，并提出解决这些问题的方法和技术。

中国农业在过去 30 余年的现代化过程中成功实现了满足人口迅速增长的食物需求，并根本性地改变了中国人口的食物消费结构，为国家的现代化和人民物质生活水平的提高奠定了坚实的基础。然而客观上说这些成就的取得是以牺牲资源环境为代价的。在未来中国农业的发展历程中，一味地移植西方高投入、高能耗、高排放、低效率的生产方式对中国来说既不可取也不可能。如何走出一条可持续发展的

道路成为世界关注所在，而生态学特别是中国传统的智慧和知识必将为此做出积极的贡献。

中国农业大学生态学科是一个具有光荣历史的年轻的学科，其生态学研究的教学始于 20 世纪 70 年代末，以已故辛德惠院士为代表的老一辈生态学工作者在生态学理论指导下针对黄淮海平原水盐运动调控和盐碱地改良的研究与实践取得了杰出成就，并创造性地提出了工程生态设计方法、泛生态学理论等一系列理论和方法。近年来，在几代人的努力下，该校已建立了本科-硕士-博士为一体的教学及科研体系，广泛开展了多个领域的生态学研究，并在不同领域做出了突出的成就，逐步形成了“立足华北、理实兼备、应用为主”的发展模式，为国内生态学在农业领域的应用奠定了良好的学科发展基础。

本丛书是在北京市教委及其他国家科研项目和国际合作项目共同支持下，由中国农业大学生态科学与工程系及相关院校教师共同参与编写完成的，是在长期教学研究基础上总结凝练形成的，基本代表了目前国内外的一些主要研究方向和学科进展，其中有些学科如土壤生态学、生态工程等属于生态学的新兴领域。相信该丛书的出版能成为高等院校生态学专业学生学习的重要参考资料，并为农林科研院所的生态学特别是应用生态学研究奠定良好的发展基础。



2007 年 5 月于北京

土壤生态学是土壤学、生物学、生态学、地理学以及环境科学相互交叉又相互渗透的一门具有广泛研究领域的学科。它以土壤生物为中心,研究土壤生物之间、土壤生物与土壤非生命环境之间的相互作用,土壤生物群落与土壤内部环境以及外界环境间的能量流、物质流和信息流,以揭示土壤生物群落的结构,认识复杂的土壤生态系统功能及其过程;并应用整体与局部结合的方法,重视人类活动对土壤生态系统的影响,以保持和恢复土壤生态系统的结构和功能,为持续利用土地生产力服务。近年来研究又不断扩展,土壤-植被系统的结构、功能及演化规律的研究已引起广泛的关注。可以预见,随着分析方法及模拟技术的提高,可以探明协调生物与土壤之间关系的有效途径。

由于人口、资源、环境、粮食成为日益紧迫的全球性社会问题,未来的土壤生态学研究将会侧重于应用方面,特别是在农业生产中的应用。土壤生物对保持和恢复土壤生产力所起的作用将是研究的热点。我们必须了解,集约化农业对土壤生物多样性所产生的影响,以及土壤生物多样性对土壤生态系统功能的作用。因此,未来的土壤生态学研究应该是系统的、全方位的研究。

为了培养未来的土壤生态学研究人才,中国农业大学 1998 年开设了“土壤生态学”的研究生课程,当时尚无一本“土壤生态学”教材或讲义可供借鉴。在过去的 8 年中,由于没有现成的教材,只能根据自己的理解,一边收集有关的研究论文,一边进行教学。本书就是在结合多年的教学经验和相关科研成果,并配合学科的发展规划基础上编写而成。

本书第一稿完成于 2003 年,郝瑁珉教授对这一稿提出了建设性的修改意见。2005 年,张宝贵教授、孙振钧教授、乔玉辉副教授对第二稿的写作大纲进行了讨论,并提出了很好的修改意见。陈云峰同志对第二稿进行了大量的文字整理工作,在此一并致谢!

本书各章的编写分工如下:第一章、第二章由曹志平编写;第三章由陈云峰、曹志平编写;第四章由陈云峰、韩雪梅编写;第五章由曹志平、韩雪梅编写;第六章由陈云峰、胡诚、李德鹏编写;第七章由胡诚编写;第八章由胡诚、王秀徽编写;第九章由乔玉辉编写;第十章由乔玉辉编写;第十一章由曹志平、陈国康编写;最后本书稿由曹志平教授统稿。感谢孙振钧教授对本书的审阅以及诸多的修改意见。

但限于个人的学识水平有限,在编写过程中仍然存在着很多的缺陷和不足。由于至今尚无一本中文的“土壤生态学”教材,而上这门课程的研究生越来越多,从事有关土壤生态学研究的科技工作者和高校教师也越来越多,本书就是在此不完善的情况下编写并出版的,期待在使用过程中得到读者的批评指正,使之日益丰富和完美。

编者

2007 年 4 月

第一章 绪论	1
一、土壤生态学的研究历史、现状和趋势	1
二、土壤生态系统的结构	4
三、土壤生态系统的功能	7
四、人类活动对土壤生态系统的影响	9
思考题	10
参考文献	10
第二章 土壤生物的生存环境	12
第一节 概论	12
一、土壤的概念	12
二、土壤在自然环境中的重要性	13
第二节 土壤质地和结构	16
一、土壤三相组成	16
二、土壤质地	17
三、土壤结构	18
第三节 土壤矿物质和有机质	23
一、土壤矿物质	23
二、土壤有机质	24
第四节 土壤水、空气和热量	26
一、土壤水	26
二、土壤空气	27
三、土壤热量	28
四、土壤温度	29
第五节 土壤养分	31
一、土壤氮素	31
二、土壤磷	36
三、土壤养分平衡及有效性	38
思考题	39
参考文献	39
第三章 土壤生物	40
第一节 土壤微生物	41
一、土壤细菌	42
二、土壤放线菌	44

三、土壤真菌	46
第二节 藻类	48
第三节 原生动物	49
一、土壤原生动物的特点	50
二、分类和土壤中的主要种类	52
第四节 线虫	53
一、形态学	53
二、生物学	54
三、生态学	55
四、分类和土壤中的主要种类	57
第五节 土壤螨类	58
一、形态学	58
二、生物学	60
三、生态学	60
四、分类和土壤中的主要种类	62
第六节 弹尾目	63
一、形态学	63
二、生物学	65
三、生态学	66
四、分类和土壤中的主要种类	66
第七节 蚯蚓	67
一、形态学	67
二、蚯蚓的生态	70
三、中国蚯蚓区系概述	71
第八节 植物根系	72
一、植物根系的形态	72
二、根际与根际效应	73
三、根际微生物	73
四、菌根	74
五、根瘤	74
思考题	75
参考文献	75
第四章 土壤中生物之间的相互关系	76
第一节 土壤生物类群之间的关系	76
一、微生物之间的相互关系	76
二、土壤动物与微生物的相互关系	76
三、土壤动物之间的相互关系	78
第二节 土壤碎屑食物网	78

一、功能群	79
二、营养级与食物网	82
三、关于物种多样性和生态系统功能的假说和实验	83
第三节 土壤生物与植物化感作用	84
一、化感作用的概念	84
二、化感物质	85
三、土壤中存在的化感现象	88
第四节 土壤生物对土壤病原的控制	94
一、土壤病原	94
二、土壤生物对土壤病原的控制	95
思考题	97
参考文献	98
第五章 土壤生物与土壤物理过程	101
第一节 土壤生物在土壤形成过程中的作用	101
一、地质循环和生物循环的相互作用促进土壤形成	101
二、土壤形成过程中有机质的积累和转变	102
三、土壤腐殖质的形成	102
四、生物对土壤形成的主导作用	103
第二节 土壤生物对土壤有机质的运输	106
第三节 土壤生物对土壤结构的影响	108
一、植物根系	109
二、藻类	109
三、土壤动物	110
第四节 土壤生物与团粒结构的形成	113
一、植物根系和菌根对团聚体的影响	113
二、土壤动物对团聚体的影响	114
三、微生物对团聚体的影响	115
第五节 生态系统工程师	117
一、土壤生态系统工程师：定义和假设	117
二、工程师与微生物之间直接的相互作用	120
三、作为主要物种的工程师	122
四、工程师生物多样性及群落组织	123
五、土壤过程中工程师的作用	126
思考题	133
参考文献	133
第六章 土壤生物与分解过程	136
第一节 分解过程	136
一、分解的一般过程	136

二、衡量分解过程的参数	137
三、影响分解过程的因素	137
第二节 土壤生物与分解过程	138
一、微生物	138
二、原生动物、线虫及土壤微节肢动物	140
三、生态系统工程师	140
第三节 土壤生物与土壤碳循环	142
一、土壤微生物与碳循环	142
二、小型土壤动物与碳循环	144
三、大型土壤动物与碳循环	145
第四节 土壤生物与土壤氮循环	145
一、土壤微生物与氮循环	145
二、小型土壤动物与氮循环	146
三、大型土壤动物与氮循环	148
第五节 土壤生物参与碳、氮循环的研究方法	149
一、微生物及食微生物者(原生动物及食细菌线虫)对氮矿化的影响	149
二、中型和大型土壤动物在碳、氮动态中的作用	153
思考题	155
参考文献	155
第七章 土地利用方式对土壤生物的影响	158
第一节 农田土壤生物特征	158
一、农田土壤生态系统中土壤微生物群落的特征	158
二、农田土壤生态系统中原生动物群落的特征	159
三、农田土壤生态系统中线虫群落的特征	159
四、农田土壤生态系统中螨类群落的特征	160
第二节 森林土壤生物特征	162
一、森林土壤生态系统中土壤微生物群落特征	162
二、森林土壤生态系统中原生动物群落的特征	163
三、森林土壤生态系统中线虫群落的特征	163
四、森林土壤生态系统中螨类群落的特征	165
第三节 草地生态系统的土壤生物特征	166
一、草地的土壤微生物群落特征	166
二、草地的土壤线虫群落特征	166
三、草地的土壤螨类群落特征	167
第四节 脆弱生态系统的土壤生物特征	167
一、沙漠的土壤微生物群落特征	167
二、沙漠的土壤原生动物群落特征	168
三、沙漠的土壤线虫群落特征	168

四、沙漠的土壤螨类群落特征	169
思考题	169
参考文献	169
第八章 农作措施对土壤生物的影响	172
第一节 耕作措施对土壤生物的影响	172
一、耕作措施对土壤微生物的影响	172
二、耕作措施对土壤原生动物的影响	173
三、耕作措施对土壤线虫的影响	173
四、耕作措施对土壤螨类的影响	173
第二节 施肥对土壤生物的影响	176
一、施肥对土壤微生物的影响	176
二、施肥对土壤原生动物的影响	178
三、施肥对土壤线虫的影响	178
四、施肥对土壤螨类的影响	179
五、施肥对土壤蚯蚓的影响	180
第三节 农药对土壤生物的影响	181
一、农药对土壤微生物的影响	181
二、农药对土壤原生动物的影响	182
三、农药对土壤线虫的影响	183
四、农药对土壤螨类的影响	183
五、农药对土壤蚯蚓的影响	183
第四节 灌溉对土壤生物的影响	184
第五节 秸秆还田对土壤生物的影响	184
第六节 轮作对土壤生物的影响	185
第七节 土壤板结与水渍对土壤生物的影响	186
第八节 设施农业对土壤生物的影响	187
一、设施农业对土壤原生动物的影响	187
二、设施农业对土壤线虫的影响	188
三、设施农业对土壤螨类的影响	188
思考题	189
参考文献	189
第九章 污染物及转基因作物对土壤生物的影响	193
第一节 农用化学品对土壤生物的影响	193
一、农药	194
二、除草剂	197
三、兽药	199
四、地膜	201
第二节 工业污染对土壤生物的影响	202

一、重金属	202
二、酸雨沉降	205
三、环境激素	206
第三节 转基因作物对土壤生物的影响	207
一、引言	207
二、转基因作物对土壤微生物的影响	207
三、转基因作物对土壤酶活性的影响	208
四、转基因作物对土壤动物的影响	208
思考题	209
参考文献	209
第十章 土壤质量	211
第一节 土壤质量及其生物评价指标	211
一、土壤质量的内涵与定义	211
二、土壤质量评价的参数与指标体系	212
三、土壤质量评价的生物学指标	213
第二节 土壤生物监测与评价	215
一、概述	215
二、生物监测的原理及优缺点	216
三、土壤环境质量生物监测类型	218
四、土壤生物监测几种典型生物标记物	220
第三节 污染土壤的生物修复	222
一、概述	222
二、生物修复的种类和原理	223
三、土壤生物修复技术展望	230
思考题	231
参考文献	231
第十一章 研究案例	232
第一节 荷兰农田耕作系统的土壤生态学研究项目：管理、观测与主要结果	232
一、引言	232
二、材料和方法	233
三、结果	238
四、讨论	241
第二节 中国山东桓台项目的土壤生态学研究概况	244
一、引言	244
二、材料与方法	246
三、初步结果	250
四、结论	253
第三节 中国青州项目的土壤生态学研究简介	254

一、概述	254
二、土壤熏蒸对微生物的影响	257
三、土壤熏蒸对主要动物类群数量的影响	258
四、土壤熏蒸对生物群落结构的影响	260
五、抗性砒木对土壤生物区系的影响	264
思考题	272
参考文献	272

第一章 绪 论

土壤是由气相、液相和固相三相合一的生物赖以生存的重要载体，又是具有物理、化学性质及生命形式的复合体。土壤生物学家常把土壤看作是地下栖居生物的一个巨大的、变动的培养基地，并且是将高等植物所不能利用的物质通过土壤生物作用变成可以利用的一个场所。土壤有其本身的结构和肥力特点。土壤圈在地球化学循环中发挥着重要的作用，推动着土壤圈内部矿质营养元素的循环转化，并因具有促进植物体生长的肥力效应而显示出强大的生产力。

这其中占土壤组成极少部分的生物体，在土壤发挥其巨大功能的过程中起着关键的不可替代的作用，即土壤生物是整个土壤圈的核心，它在促进有机质分解、土壤矿质营养循环、维持及提高土壤肥力方面发挥着关键作用，因而也对大气圈、水圈产生着重大影响。

如果把生态学分为理论生态学与应用生态学两大类，土壤生态学在很大程度上是一门年轻的应用生态学分支学科，尽管它的发展也将为理论生态学做出贡献。

土壤生态学是土壤学、生态学、地理学以及环境科学相互交叉的一门具有广泛研究领域的新兴学科，以土壤生物为中心，研究土壤生物之间、土壤生物与土壤非生命环境间的相互作用。研究的主要内容包括：土壤生态系统的结构、功能和人类活动对土壤生态系统的影响及过程。近年来土壤生态学研究出现了新的发展趋势，土壤生物区系、土壤生物多样性研究已成为土壤生态学研究的热点。土壤生态学的应用研究是可持续农业的核心课题，包括以下几个问题：①土壤生物与土壤肥力；②土壤生物与土壤结构；③土壤生物与营养循环；④土壤生物与农业生产力；⑤土壤生物与农业害虫生物防治。

一、土壤生态学的研究历史、现状和趋势

土壤生态学的早期研究历史可以追溯到土壤微生物学和土壤动物学发展的历史。19世纪60年代，欧洲农业科学工作者开始将李比西的植物矿质营养学说和巴斯德的发酵学说结合起来研究农业问题，认识到腐熟的有机肥料是细菌发酵作用的结果，并且认为土壤中存在无数微小生物。豆科植物上的根瘤也开始受到人们注意。这时许多人感到研究土壤中的微生物及其与植物营养的关系非常必要。19世纪最后20余年至20世纪头20余年是研究土壤中微生物及其作用获得丰硕成果的50年，导致了土壤微生物学的创立。瓦克斯曼所著《土壤微生物学原理》一书的问世，可以看作是这门学科正式诞生和成熟的一个重要标志。这一时期，人们对土壤中放线菌和根瘤菌等根际微生物的研究也在不断深入和发展。随后，伴随着科学技术的发展，人们开始研究微生物与环境之间的相互关系（陈文新，

1990)。

而关于土壤动物的研究已有 160 年的历史,其研究内容大体上可以分为 4 个阶段。①蚯蚓时代:1840 年达尔文发表了《关于土壤的形成》一文,被公认为土壤动物科学研究的开始,并引发诸多学者对蚯蚓生物学的研究,纷纷发表论文,被称为“蚯蚓时代”。②种类记述时代:进入 20 世纪以后,Berlese (1905)发明了烘虫漏斗,Tullgren (1917)又作了改良,大大提高了土壤动物的采集效果,推动了种类的发现和描述,以及土壤动物区系研究的发展。③系统研究时期:第二次世界大战期间,交战双方都急需生产大量食品,学者们把增产的目光集中到了土壤上,发现了土壤无脊椎动物对土壤有机物的分解起着极为重要的作用,并开始对不同类群进行系统研究,发表了不少专著,使土壤动物的研究发展成一门独立的分支学科——土壤动物学,于 1955 年在英国召开了首次国际学术讨论会。④生物生产力研究时期:20 世纪后半叶,当人们认识到土壤生物是巨大的、潜在的、可以持续利用的自然资源,将对提高生产力起到重要作用时,由国际学术联合会(ICSU)组织了为期 10 年的国际生物学计划项目(International Biological Program),其中土壤动物学的研究就是一个重要方面,进一步推动了土壤动物学的研究(尹文英,2001)。

土壤生态学的系统研究始于 20 世纪 80 年代,以保护土壤肥力,保持土地生产力,促进农业可持续发展为目标,对土壤生物的生态系统功能进行了综合研究。比较有几个国际性研究项目包括:①美国 Georgia 农业生态系统项目的(Stinner 等,1984; Hendrix 等,1986; Bear 等,1992、1997)长期常规耕作(CT)及免耕(NT)试验;②荷兰土地耕作系统土壤生态学项目的(Brusaard 等,1988、1994、1997)常规耕作和综合耕作试验(Lovinkhoeve 试验点);③瑞典耕地生态学项目的(Andren 等,1990)大麦、牧草及苜蓿草试验(Kjettlinge 试验点);④美国中部大平原研究站(Elliott 等,1984)长期麦秸覆盖及免耕试验(Akron 试验点);⑤加拿大 Alberta 大学(Rutherford 和 Jume, 1989)大麦栽培试验(Ellerslie 及 Breton 试验点);⑥英国 Sourhope 高山草地土壤生物多样性项目(L Irvine et al, 2006; Jonathan R Leake, 2006; Philippe Vandenkoornhuyse, 2002; S Radajewski, 2000)。在这些项目中,关注的重点放在了解土壤生物对土壤有机质的分解以及对养分循环的贡献。在集约化农业当中,土壤生物的调节功能逐步为化学和机械投入的调节功能所取代。但是,农业集约化与土壤生物多样性、土壤肥力之间的准确关系目前还很不清楚。首先,这是因为不了解农业集约化与土壤生物多样性和丰富度之间的关系,对农业集约化是否导致土壤生物多样性的损失也还不清楚。其次,如果后者的回答是肯定的,我们仍不知道土壤生物多样性的损失对农业生态系统功能产生什么样的影响(Giller, 1997)。

1995 年,在联合国环境署和 GEF 的资助下,“全球热带农业耕作与土壤生物多样性保护”高级研讨会在联合国环境署总部召开。在这次研讨会上,来自世界各地的土壤生态学家制定了一个研究“农业集约化-土壤生物多样性-土壤生态系统功能”相互关系的理论框架,以指导全球基于农业可持续发展的土壤生态学基础理论

研究 (Giller, 1997)。他们提出了如下两个假说, 从正反两个方向来论述上面三者的关系。

假说 I: 农业集约化导致土壤生物多样性减少, 从而导致土壤缓冲力和可持续生产力的功能损失。

假说 II: 农业多样化可增加土壤生物多样性, 从而提高土壤生态系统的缓冲力和可持续生产力。

为了验证这两个假说, 都需要从逻辑出发, 回答一系列问题。下面是检验这两个假说的理论框架。它将有助于我们理解农业集约化、土壤生物多样性和生态系统功能这三者之间相互关系的复杂性与广泛性。

(1) 全球假说 I: 农业集约化导致土壤生物多样性减少, 从而导致决定土壤生态系统缓冲力和可持续生产力的功能损失。由此产生的假说及需要回答的问题如下。

① 由土壤生物产生的结构多样性和丰度对维持有机质周转、营养物释放是很重要的, 土壤的物理性状对维持生产力是很重要的。

a. 减少生物多样性会导致功能损失吗?

b. 主要功能过程独立于结构多样性吗?

② 功能过剩能防止主要生物功能团减少到某些阈值, 在这些阈值以下农业生态系统功能会受到破坏。

a. 如果损失的主要功能团决定系统抵抗力, 那么这些主要功能团是什么?

b. 在功能损失之前, 能测定到生物多样性的改变吗?

c. 出现主要功能团或种群的灭绝是否是功能退化的一种标志?

③ 农业集约化导致土壤生物在时间和空间上的某种脱节, 从而改变了土壤结构发展模式 and 营养循环。

a. 由于土壤有机质转化的级联对及时而有效地分解作用和营养释放是必要的, 那么, 生物多样性减少会破坏这种级联吗?

b. 某种外部投入能降低一种主要功能团的作用提高另一种功能团的作用从而提高净生产力吗?

c. 两个主要功能团之间的关系能用于提高生物多样性吗?

(2) 全球假说 II: 农业多样化可增加土壤生物多样性, 从而提高土壤生态系统的缓冲力和可持续生产力。由此产生的假说及需要回答的问题如下。

① 从成土作用到景观形成, 地表生物多样性和地下生物多样性是相互独立的。

a. 地表生物多样性和地下生物多样性是相互独立的吗?

b. 由于根能吸收不同数量和质量的输入物且能穿过不同的土壤结构, 那么, 根是土壤生物多样性和功能的一个基本媒介吗?

② 增加生物资源庇护所、栖息地的时空多样性会缓解农业生态系统功能的损失。

a. 生物扰动会有利于有机体分散度的提高而减少病虫害发生吗?

b. 地表上下相互协同作用能提高退化土壤的功能吗?