



面向 21 世纪课程教材



高等农林教育“十三五”规划教材

# 农业生态学

第 3 版

陈 阜 隋 鹏 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书紧密围绕农业生态系统,以系统结构、功能及其调控为主线,从基本概念、基本理论、评价与优化方法等方面对农业生态学进行了诠释。内容包括农业生态学产生背景、农业生物种群与群落、农业生态系统、农业生态系统的能量流动与物质循环、农业生态系统的评价与优化、生态农业与农业可持续发展等。该书通过国内外生态农业热点知识的介绍与农业生态系统典型案例分析,能够让读者掌握专业基础理论、方法和技能,拓展对全球农业生态重大问题的认知,以达到本科教学要求。

该书图文并茂、内容翔实,贴近农业生产实际,适合高等农林院校、农业科研院所的教学及科研参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

农业生态学/陈阜,隋鹏主编. —3 版. —北京:中国农业大学出版社,2019. 1(2019. 8 重印)  
ISBN 978-7-5655-2172-0

I. ①农… II. ①陈…②隋… III. ①农业生态学-高等学校-教材 IV. ①S181

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 039584 号

书 名 农业生态学 第3版

作 者 陈阜 隋鹏 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 张秀环

封面设计 郑川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.caupress.cn>

E-mail cbsszs @ cau. edu. cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2019年1月第3版 2019年8月第2次印刷

规 格 787×1 092 16开本 12印张 300千字

定 价 38.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 第3版编写人员

- 主 编** 陈 阜(中国农业大学)  
隋 鹏(中国农业大学)
- 副主编** 陈源泉(中国农业大学)  
韩惠芳(山东农业大学)  
李立军(内蒙古农业大学)  
刘章勇(长江大学)  
熊淑萍(河南农业大学)
- 编 者** (按姓氏拼音排序)  
陈 阜(中国农业大学)  
陈源泉(中国农业大学)  
韩惠芳(山东农业大学)  
黄国勤(江西农业大学)  
黄 晶(西南科技大学)  
雷永登(中国农业大学)  
李 耕(山东农业大学)  
李立军(内蒙古农业大学)  
刘章勇(长江大学)  
马 琨(宁夏大学)  
隋 鹏(中国农业大学)  
王小龙(华南农业大学)  
熊淑萍(河南农业大学)  
徐长春(农业农村部科技发展中心)  
杨海水(南京农业大学)  
杨晓琳(中国农业大学)  
于爱忠(甘肃农业大学)  
翟云龙(塔里木大学)  
朱 波(长江大学)
- 主 审** 吴文良(中国农业大学)

## 第 2 版编写人员

- 主 编** 陈 阜(中国农业大学)
- 副主编** 马新明(河南农业大学)  
李 军(西北农林科技大学)
- 编 者** 陈 阜(中国农业大学)  
马新明(河南农业大学)  
李 军(西北农林科技大学)  
李增嘉(山东农业大学)  
吴宏亮(宁夏大学)  
刘玉华(河北农业大学)  
柴 强(甘肃农业大学)  
刘景辉(内蒙古农业大学)  
王龙昌(西南大学)  
宇振荣(中国农业大学)  
张海林(中国农业大学)

# 第 1 版编写人员

- 主 编** 陈 阜(中国农业大学)
- 副主编** 马新明(河南农业大学)  
李 军(西北农林科技大学)
- 编 者** 陈 阜(中国农业大学)  
李增嘉(山东农业大学)  
李 军(西北农林科技大学)  
马新明(河南农业大学)  
许 强(宁夏农学院)  
刘玉华(河北农业大学)  
宇振荣(中国农业大学)  
刘景辉(内蒙古农业大学)  
曹志平(中国农业大学)  
韩宝平(北京农学院)  
张海林(中国农业大学)



# 第 3 版前言

农业生态学(agroecology)的核心内容与任务是研究农业生态系统内生物之间、生物与环境之间的相互关系以及合理调控的途径与技术,有效地提升农业生态系统的生产力、稳定性和可持续性。随着绿色发展理念的不断深入以及现代生物、信息和工程技术的快速发展,农业生态学的研究领域、研究思路与研究方法也在不断拓展和更新。一方面,如何通过充分挖掘农业生态系统的生态服务功能推动农业转型和绿色发展,以实现农业生产、生态和生活一体化,开始成为农业生态学的重要任务;另一方面,如何通过发展现代生态农业技术,构建用养结合、生态高效、生产力和竞争力持续提升的农业生产体系,实现资源高效、环境安全与高产高效同步,已经成为农业生态学的发展方向。

2001年,第1版《农业生态学》教材由中国农业大学牵头,组织西北农林科技大学、河南农业大学、山东农业大学、河北农业大学、内蒙古农业大学、宁夏大学、北京农学院7所高校的农业生态学主讲教师,按照教育部面向21世纪本科教材的要求编写,由中国农业大学出版社出版。该教材的突出特点是坚持基础性、通用性和教学实用性,兼顾普通生态学基本理论、方法与农业生态学原理、技术,出版后受到相关院校和师生的广泛欢迎,总印数达到2.5万册,被全国近50家高等院校、科研院所作为指定教学用书和研究生考试参考书。

2010年,第2版《农业生态学》教材仍由中国农业大学牵头,充实和调整了编写人员队伍,在广泛征求本书用户及相关编写人员意见基础上对原教材进行了修订。一是充实和更新相关内容,包括农业生态学进展与趋势、典型农业生态系统与生态系统服务价值、气候变化应对与循环农业、农业外来生物入侵等内容,并更新了书中的相关数据资料;二是调整部分内容与增补典型案例,按照对农业生态学框架的重新认识调整了部分章节内容,删除一些过时或不重要的内容,并尽可能地对各部分内容用更多的实例和图示来表达,以满足教学改革需求。

2017年,鉴于近年来全球农业生态环境焦点问题的变化和我国农业生态转型发展步伐不断加快,农业生态学课程的教学内容也发生了明显变化,中国农业大学出版社将农业生态学列入高等农林院校“十三五”规划教材,重新组织编写人员对原教材进行修订。第3版的农业生态学将生物种群、生物群落、生物与环境关系等内容合并为一章,删减了部分普通生态学的知识内容,丰富了相关农业案例;强化了农业生态系统评价与优化的相关理论与方法介绍,充实了典型案例分析;响应现代生态农业发展趋势与要求,重新编写了生态农业与农业可持续发展章节,增加了农业生态转型及绿色发展等知识。全书共分7章;其中第一章为绪论,由陈阜、黄晶、雷永登编写;第二章为生物种群与群落,由熊淑萍、黄晶、马琨编写;第三章为农业生态系统,由韩惠芳、翟云龙、李耕编写;第四章为农业生态系统的物质循环,由隋鹏、杨海水、于爱忠、熊淑萍编写;第五章为农业生态系统的能量流动,由李立军、王小龙、李耕编写;第六章为农业生态系统的评价与优化,由刘章勇、王小龙、朱波、徐长春编写;第七章为生态农业与可持续发

展,由陈源泉、黄国勤、杨晓琳编写。全书由陈阜、隋鹏、陈源泉进行统稿和修改,王东硕士参与了文字校订。

感谢中国农业大学出版社对本书编写的大力支持和帮助,能够列入高等农林院校“十三五”规划教材是编写本次新版教材的主要动力。感谢本书使用单位及学员提出的宝贵意见和建议,使本书的修编能够更加有针对性。尽管编写人员做了很大努力,但由于水平所限,错误及疏漏之处在所难免,希望使用本教材的师生和读者给予批评、指正。

编 者

2018年6月



## 第 2 版前言

进入 21 世纪,气候变暖、粮食安全、资源生态安全等再次成为全球关注的热点问题,农业生态学的研究领域得到不断拓展和深入,农业生态学课程建设与学科发展也得到相应重视。各农业院校及部分综合性大学纷纷开设农业生态学课程,多数院校已建立了农业生态学硕士点及生态学博士点,使农业生态学发展进入了一个新的发展阶段。在课程体系建设上,农业生态学逐步成为植物生产、资源环境、农业区域发展等多类专业的专业基础课,已有 10 多个院校的农业生态学被批准为国家和省级精品课程;在课程内容上,农业生产对全球气候变化的适应策略、农业面源污染防治、农业清洁生产与循环农业等,开始成为农业生态学新的领域;在理论与方法上,农业生态学不断吸纳现代生物学科、现代信息学科、现代工程学科的先进理论和技术;在研究层次上,农业生态学研究在宏观与微观尺度上将不断延伸,将从传统区域农业生态系统和农田生态系统的结构和功能分析等研究不断向农业碳汇碳源平衡与肥、水、药投入效率及其环境效应、农田污染途径与机制等领域深入。

2001 年,由中国农业大学牵头,组织西北农林科技大学、河南农业大学、山东农业大学、河北农业大学、内蒙古农业大学、宁夏大学、北京农学院 7 所高校的农业生态学主讲教师按照教育部面向 21 世纪本科教材的编写要求撰写并由中国农业大学出版社出版了《农业生态学》一书。该教材的突出特点是坚持基础性、通用性和教学实用性,兼顾普通生态学基本理论、方法与农业生态学原理、技术,同时尽可能反映目前农业生态学领域一些新进展。该教材出版后受到相关院校和师生的广泛欢迎,已经重印了 4 次,总印数达到 2.5 万册。据我们不完全统计,全国有近 50 家高等院校、科研院所把该教材作为指定教学用书和研究生考试参考书,还被 10 多个省、市、自治区作为自学考试农业生态学课程的指定教材。

2010 年,鉴于本教材已经使用近 10 年,而且此期间农业生态学的研究领域和课程内容也有了明显变化,在广泛征求本教材用户及相关编写人员意见的基础上,决定对原教材进行修订,编写新版农业生态学。本次修编的重点有 3 个方面:一是充实和更新相关内容,包括农业生态学进展与趋势、典型农业生态系统与生态系统服务价值、气候变化应对与循环农业、农业外来生物入侵等内容,并更新了书中的相关数据资料;二是调整部分内容与增补典型案例,按照对农业生态学框架的重新认识调整了部分章节内容,删除一些过时或不重要的内容,并尽可能对各部分内容用更多的实例和图示来表达,以满足教学改革需求;三是再次充实和调整编写人员队伍,本次修订新增了西南大学和甘肃农业大学 2 位教授。

第 2 版的《农业生态学》仍有 10 章。其中,第一章为绪言,由陈阜(中国农业大学教授)编写;第二章为农业生态系统,由李军(西北农林科技大学教授)编写;第三章为生物种群,由马新明(河南农业大学教授)编写;第四章为生物群落,由李增嘉(山东农业大学教授)编写;第五章为生物与环境的关系,由刘玉华(河北农业大学教授)、马新明(河南农业大学教授)编写;第六

章为农业生态系统的能量流动,由吴宏亮(宁夏大学副教授)、许强(宁夏大学教授)编写;第七章为农业生态系统的物质循环,由王龙昌(西南大学教授)和宇振荣(中国农业大学教授)编写;第八章为农业生态系统的调控与优化设计,由柴强(甘肃农业大学教授)编写;第九章为农业资源利用与环境保护,由刘景辉(内蒙古农业大学教授)、张海林(中国农业大学副教授)编写;第十章为生态农业与循环农业,由陈阜(中国农业大学教授)、张海林(中国农业大学副教授)编写。全书由陈阜、马新明、李军进行统稿和修改。

感谢中国农业大学出版社对本书编写的大力支持和帮助,本次新版教材是在他们的鼓励和督促下完成的。感谢本书使用单位及学员提出的宝贵意见和建议,使本书的修编能够更加有针对性。尽管编写人员历时近一年,做了很大努力,但由于水平所限,错误及疏漏之处在所难免,希望使用本教材的师生和读者给予批评、指正。

陈 阜

2011年4月

# 第 1 版前言

从 20 世纪 70 年代末在我国开始开设农业生态学课程,到现在已经 20 多年了。农业生态学作为一门课程或学科,20 多年来在我国走过了由小到大、由简单到复杂、由个别院校和个别专业开设到全部农科院校各专业普遍开设的发展壮大过程。农业生态学的发展首先与全球性的资源和生态环境问题日趋严重的大背景有关。首先,人口持续增长和对产品需求的持续提高,使农业生产和经济发展对资源与环境压力不断加大,如何协调经济发展与生态环境保护的矛盾,已成为可持续发展的焦点问题。其次,对农业生态相关领域的研究与实践的不断深入,使农业生态学从内容、方法及理论与技术等多方面不断丰富和充实。最后,作为一门课程,农业生态学越来越受到广泛重视,绝大多数农业院校已将农业生态学列为各专业的公共选修课或必修课,有些院校还设立了农业生态专业或专业方向。可见,农业生态学的发展在我国得到了前所未有的重视和优越环境,并为其进一步发展提供了良好的基础。

近 20 年已陆续出版了数十部农业生态学方面的专著与教材,对促进学科发展起到了积极作用。这些专著或教材各有特点,但作为教材的局限性也明显,在实际课程教学过程中明显感到较难把握。这有 3 个主要原因。一是农业生态学是生态学应用于农业领域的一个分支学科,同时也属于农业科学的一个分支,本身涉及范围广、内容多,与其他学科的交叉性强,造成在课程体系把握上比较困难。二是农业生态学总体上还处于发展时期,随着相关的研究与实践不断丰富与深入,新的东西大量涌现,在课程教学中体现这些新进展的随意性很强。三是农业生态学课程一般只有 40 学时左右,讲授的内容和时间都很有有限,如何既体现作为生态学分支学科的基本理论和方法又反映其作为农业科学分支的应用和实践,确实面临较多矛盾。因此,编写一本适合当前农业院校本科教学的实用教材,一直是我们多年来的心愿。

为配合国家教育部教学改革项目“高等农林院校植物生产类专业人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”的实施,1998 年由中国农业大学牵头,组织华北地区的山东农业大学、河南农业大学、莱阳农学院、北京农学院等几个院校农业生态学主讲教师,经过近 2 年时间的集体讨论和分工编写,形成一本《农业生态学教程》,由气象出版社出版发行。该教材的突出特点,一是基础性,力求把生态学及农业生态学的基本概念和基本理论方法介绍出来,满足农科各类专业本科学生学习的需要;二是实用性,按照本课程教学任务要求和学时安排,在教学内容上进行适当精简和提炼。《农业生态学教程》经 10 余个院校试用,反映良好,基本评价是“简单、实用”。气象出版社 2 次印刷的 6 000 余册,2 年多全部发行完。这种效果给了我们极大的鼓励和信心,促使我们以该教材为基础进行修改,并作为教改项目成果申请了国家教育部“面向 21 世纪课程教材”,是教育部《面向 21 世纪高等农林院校生物系列课程教学内容课程体系改革》(04-20)项目成果的研究实践。

本次教材编写,在充分考虑了各院校反馈的意见和建议的同时,又邀请了西北农林科技大

学、宁夏农学院、河北农业大学、内蒙古农业大学等院校的农业生态学主讲教师参加。按照面向 21 世纪教材编写要求,坚持突出基础性、通用性和教学实用性,兼顾普通生态学基本理论、方法与农业生态学原理、技术,同时尽可能地反映目前农业生态学领域一些新进展,使其既可作为植物生产类专业和资源环境类专业的专业基础课教材,又可作为农科院校其他专业的公共选修课教材。

本书共分 10 章。其中,第一章为绪言,由陈阜(中国农业大学)编写;第二章农业生态系统,由李军(西北农林科技大学)编写;第三章生物种群,由马新明(河南农业大学)编写;第四章生物群落,由李增嘉(山东农业大学)编写;第五章生物与环境的关系,由刘玉华(河北农业大学)编写;第六章农业生态系统能量流动,由许强(宁夏农学院)编写;第七章农业生态系统的物质循环,由宇振荣(中国农业大学)编写;第八章农业生态系统的调控与优化设计,由曹志平、陈阜、张海林(中国农业大学)编写;第九章农业资源利用与农业生态环境保护,由刘景辉(内蒙古农业大学)、韩保平(北京农学院)编写;第十章生态农业与持续农业,由陈阜、张海林(中国农业大学)编写。全书由陈阜、马新明、李军进行统稿和修改,陈阜最后定稿。

在本教材的编写过程中得到了我们所在院校农业生态学和耕作学几位前辈的支持和帮助,并得到中国农业大学出版社的大力支持。由于编写者水平所限,错误及疏漏之处在所难免,希望使用本教材的师生和读者给予批评、指正。

编 者

2001 年 6 月 30 日

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 生态学及其发展	1
一、生态学的概念	1
二、生态学的发展	2
三、生态学分支学科	4
第二节 农业生态学及其发展	4
一、农业生态学的产生	4
二、农业生态学的发展	4
三、农业生态学的趋势展望	5
第三节 农业生态环境问题	6
一、全球生态环境突出问题	6
二、中国生态环境主要问题	9
三、中国农业生态环境面临的突出问题	10
第四节 农业生态学的内容与任务	11
一、农业生态学的内容	11
二、农业生态学的特点	12
三、农业生态学的任务	12
思考题	13
参考文献	13
第二章 生物种群与群落	14
第一节 种群生态	14
一、种群的基本概念与特征	14
二、种群的数量波动与调节	18
三、种群间相互关系及应用	23
第二节 群落生态	25
一、生物群落的结构特征	25
二、群落演替	29
三、生态位	33
第三节 生物的生态适应性	35
一、生态型	35
二、生活型	36
第四节 种群和群落原理在农业生产中的应用	38
一、作物间套作共生系统	38

二、作物-微生物共生体系统 .....	39
三、种养结合 .....	40
四、生物防治 .....	40
五、生态治理与恢复 .....	41
思考题 .....	42
参考文献 .....	43
<b>第三章 农业生态系统 .....</b>	<b>44</b>
<b>第一节 农业生态系统概述 .....</b>	<b>44</b>
一、生态系统 .....	44
二、农业生态系统 .....	49
<b>第二节 典型农业生态系统简介 .....</b>	<b>57</b>
一、农田生态系统 .....	58
二、草地生态系统 .....	59
三、果园和经济林生态系统 .....	61
四、畜牧生态系统 .....	63
五、水生生态系统 .....	64
六、复合农业生态系统 .....	64
思考题 .....	65
参考文献 .....	66
<b>第四章 农业生态系统的物质循环 .....</b>	<b>67</b>
<b>第一节 物质循环概述 .....</b>	<b>68</b>
一、物质循环的基本概念和类型 .....	68
二、物质循环的相关术语概述 .....	69
<b>第二节 农业生态系统的物质循环 .....</b>	<b>71</b>
一、碳循环 .....	71
二、水循环 .....	73
三、氮循环 .....	76
四、磷循环 .....	80
五、钾循环 .....	82
六、农业生态系统中养分循环的特征 .....	84
七、有机质与农田养分循环 .....	85
<b>第三节 温室效应与农业固碳减排 .....</b>	<b>86</b>
一、温室效应与气候变化 .....	86
二、温室效应与农业生态系统的相互关系 .....	87
<b>第四节 农业环境污染 .....</b>	<b>89</b>
一、农业环境污染的主要类型 .....	89
二、农业面源污染的控制 .....	93
思考题 .....	95
参考文献 .....	95

<b>第五章 农业生态系统的能量流动</b> .....	97
<b>第一节 农业生态系统能量流动途径</b> .....	97
一、农业生态系统的能量来源 .....	97
二、农业生态系统能量流动的基本途径 .....	99
<b>第二节 能量流动与转化的基本定律</b> .....	101
一、能量转化定律 .....	102
二、能量衰变定律 .....	102
三、林德曼效率与生态金字塔 .....	103
<b>第三节 农业生态系统的能量生产</b> .....	105
一、初级生产 .....	105
二、次级生产 .....	107
三、初级生产与次级生产的关系 .....	109
<b>第四节 农业生态系统的辅助能</b> .....	110
一、人工辅助能投入对农业生产力的影响 .....	111
二、人工辅助能的投入产出效率 .....	111
三、农业生态系统能量流动的调控途径 .....	112
<b>第五节 生物质能源及合理开发利用</b> .....	113
一、生物质能源的提出 .....	113
二、生物质能源的利用途径 .....	114
三、生物质能源的发展前景 .....	115
<b>思考题</b> .....	115
<b>参考文献</b> .....	116
<b>第六章 农业生态系统的评价与优化</b> .....	117
<b>第一节 农业生态系统的物质流与能量流分析与评价</b> .....	117
一、系统分析 .....	117
二、农业生态系统分析基本框架 .....	118
三、农业生态系统物质流分析方法 .....	119
四、农业生态系统能流分析方法 .....	128
五、农业生态系统指标分析方法 .....	135
<b>第二节 农业生态系统服务价值及评价</b> .....	135
一、农业生态系统服务价值评价指标体系及计算方法 .....	135
二、典型农业生态系统生态服务价值评价步骤及案例分析 .....	136
<b>第三节 生态平衡与生态健康</b> .....	141
一、生态平衡与生态平衡失调 .....	141
二、生态系统健康 .....	143
三、受损农业生态系统的恢复与重建 .....	145
<b>思考题</b> .....	147
<b>参考文献</b> .....	147

第七章 生态农业与可持续发展	149
第一节 替代农业思潮与模式	149
一、国外“替代农业”思潮及典型模式	149
二、国际农业生态转型及其主要经验	151
第二节 生态农业原理与技术	153
一、生态农业原理	153
二、生态农业关键技术	156
第三节 典型生态农业模式	161
一、北方“四位一体”生态农业模式	161
二、南方“猪—沼—果”生态农业模式	161
三、平原农林牧复合生态农业模式	162
四、草地生态恢复与持续利用模式	162
五、生态种植模式	163
六、生态畜牧业模式	163
七、生态渔业模式	164
八、丘陵山区小流域综合治理与利用模式	164
九、设施生态农业模式	165
十、观光生态农业模式	166
第四节 中国农业转型与可持续发展	166
一、中国农业转型的必要性	166
二、新形势下中国农业转型的战略对策	167
思考题	175
参考文献	176



# 第一章 绪 论

## 本章提要

### ●概念与术语

生态学(ecology)、农业生态学(agroecology)

### ●基本内容

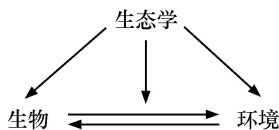
1. 生态学概念及发展阶段。
2. 农业生态学的产生与发展。
3. 农业生态学的研究内容与任务。

农业生态学(agroecology)是运用生态学(ecology)的原理及系统论的方法,研究农业生物之间、农业生物与其自然和社会环境之间相互关系的应用性科学。农业生态学既是生态学在农业领域应用的一个分支学科,也是生态学与农业科学交叉融合的学科,主要研究由农业生物与其环境构成的农业生态系统的结构、功能及其调控和管理的途径等。学习农业生态学的目的和意义首先要了解有关生态学的一般知识及基本理论,其次要掌握农业生态学的相关原理和分析方法,最终能够应用相关原理、方法和技术开展农业生态系统的结构与功能优化。

## 第一节 生态学及其发展

### 一、生态学的概念

1866年德国生物学家 H. Haeckel(海克尔)在其著作《有机体的普通形态学》(*General Morphology of the Organisms*)中第一次正式提出生态学的概念,并将生态学定义为:生态学是研究生物与其环境相互关系的科学。此后,又有许多的生态学家对生态学的含义及概念进行了探讨,但所提出的定义未超过海克尔定义的范围。1896年,Clarke(克拉克)曾用图解说明了生态学的概念:



著名生态学家 E. P. Odum(奥德姆)在其所著的《生态学基础》(*Fundamentals of Ecology*)一书中,认为生态学是研究生态系统的结构和功能的科学,具体内容应包括:①一定区域内生物的种类、数量、生物量、生活史及空间分布。②该区域营养物质和水等非生命物质的质量和分布。③各种环境因素,如温度、湿度、光、土壤等对生物的影响。④生态系统中的能量流

动和物质循环。⑤环境对生物的调节和生物对环境的调节。

## 二、生态学的发展

### (一)生态学的萌芽期

关于生物与环境的关系,自有人类历史以来就有关注,在我国古农书以及古希腊的一些著作中都能发现。我国战国时期(公元前 475 至公元前 221 年)的《管子·地圆篇》详细介绍了植物分布与水文土质环境的生态关系;从汉代(公元前 202 年至公元前 220 年)到明代(1368—1644 年),一系列关于农业生产的书籍,如《汜胜之书》《齐民要术》记载了我国古代劳动人民的生产经验,描述了耕作原则、栽培技术及品种选育等,不同程度地体现了作物生长与环境及人工管理的关系。古希腊(公元前 800 年至公元前 146 年)的 Hippocrates(海波诺提斯)不但注意到气候、土壤与植被生长及病害的关系,同时注意到了不同地区植物群落的差异,其作品《空气、水、场地》(*Airs, Waters and Places*)被认为是生态学的早期文献。1803 年 Malthus(马尔萨斯)在《人口论》(*An Essay on the Principle of Population*)中不仅研究了生物繁殖与食物的关系,而且特别分析了人口增长与食物生产的关系。1807 年,德国学者 A. Humblodt(洪德堡)将南美洲热带和温带地区的植物及其生存环境的多年考察结果写成《植物地理学》(*Biogeography*),分析了植物分布与环境条件的关系。1859 年, Darwin(达尔文)出版了著名的《物种起源》(*On the Origin of Species*),提出生物进化论,对生物与环境的关系做了深入探讨。1866 年,德国学者 Haeckel(海克尔)提出生态学定义,标志着生态学的诞生。到 19 世纪末,生态学已正式成为一门独立学科。

### (二)生态学的发展期

生态学形成初期,以研究动、植物个体生态现象为主,主要探讨生物体对其生存环境的各种外界因素的适应能力、生物体的生理功能和形态结构特点等。以后发展到种群生态研究,如生物物种的分布及其与环境关系,生物物种进化及其与环境变化的关系。再进一步开始关注生物群落的生态现象,如一个特定区域中各种生物种群分布的多样性及其相互间的关系,群落发展变化的特点与规律等。到 20 世纪 30 年代后期,生态学的发展更为迅速,生态学研究逐步由个体生态、种群与群落生态,最终走向生态系统生态研究。其中对生态学发展有突出影响的事件和发展历程如下。

#### 1. 生态系统概念的提出

1935 年英国生态学家 A. G. Tansley(坦斯列)首次提出生态系统(ecosystem)的概念,把生物有机体与其环境看成是一个整体,提出生态系统是特定区域内相互作用的全部生物与无机环境的综合体。自此,生态学开始进入生态系统生态学阶段,也标志着生态学已进入以研究生态系统为中心的近代生态学发展阶段。

#### 2. 生态系统“食物链”提出

1942 年,美国生态学家 R. L. Lindman(林德曼)通过对美国 Cedar Bog 湖泊生物量转移的定量研究,发表了“一个老年湖泊的食物链动态”一文,指出生物量随食物链转移的规律,并提出著名的“食物链”和“生态金字塔”理论,为生态系统研究奠定了基础。1952 年,美国生态学家 E. P. Odum(奥德姆)对生态系统的能量流动和物质循环做了大量研究,并综合已有研究成果

出版了《生态学基础》一书,进一步确立了生态系统生态学,使生态学研究领域更为广泛。

### 3. 系统论及计算机信息技术的运用

20世纪30年代,美籍奥地利理论生物学家 L. V. Bertalanffy(贝塔朗菲)提出系统论,探索用数学方法定量描述系统的模式、结构和功能的共同特征;20世纪40年代末,美国科学家 C. E. Shemnon(香农)创立研究系统组分之间各种信息过程的信息论;20世纪60年代,计算机技术得到运用。这样使复杂生态系统研究在理论、方法及工具上日趋完善,为系统分析方法在生态学的运用奠定了基础,使生态学研究开始向定量、控制和应用方向发展。

## (三) 现代生态学

进入20世纪60年代以后,全球性的人口、资源、环境及能源问题日趋突出,威胁到人类的生存和发展,推动可持续发展成为人类社会共识。生态学开始深入社会经济的各个领域,生态系统中的人类、动植物、微生物及相关的资源环境问题,以及人类发展的经济、社会、人文等均囊括到生态学范畴。生态学研究范畴不断向宏观和微观两个方向快速拓展,研究方法和技术不断丰富,其中有突出影响的如下。

### 1. 生态工程原理及技术应用

生态工程(ecology engineering)概念是20世纪60年代以来由美国生态学家 E. P. Odum(奥德姆)和我国生态学家马世骏教授分别提出的,提出以生态学,特别是生态控制论为基础,应用多学科交叉综合,对社会-经济-自然复合生态系统进行调控和优化,使生态学的原理与技术应用更加广泛和实效。

### 2. 生态系统服务功能与价值评估

1970年,联合国大学(United Nations University)在发表的《人类对全球环境的影响报告》(*Man's Impact on the Global Environment*)中首次提出生态系统服务(ecosystem service)的概念。1997年,美国生态学家 R. Costanza(康斯坦扎)等提出生态系统服务的价值估算方法。此后,国内外有大批学者开展相关研究。2005年,联合国发布《千年生态系统评估报告》(*Millennium Ecosystem Assessment*),系统介绍了生态系统服务功能的含义,并首次对全球生态系统进行了多层次综合评估。

### 3. 生态足迹与环境代价

20世纪90年代,加拿大学者提出“生态足迹”(ecological footprint)理论,用以衡量人类对具有生物生产力的土地的占有。此后,一系列用于定量评价人类活动对生态系统影响的环境足迹(environmental footprints),如,“碳足迹(carbon footprint)”“水足迹(water footprint)”和“材料足迹(material footprint)”等被提出并得到广泛关注和研究。生态系统服务、水足迹和生态足迹等已成为世界自然基金会(WWF)自2008年开始每两年发布一次的《地球生命力报告》(*Living Planet Report*)中衡量地球生命力的重要指标。

### 4. 高新技术的广泛应用

现代科学技术越来越多地融入生态学,推动了生态学研究方法与技术的创新。在宏观方面,系统分析的方法、技术和模型等不断完善,全球定位系统(GPS)、遥感(RS)与地理信息系统(GIS)的“3S”技术广泛应用;在微观方面,野外自记电子仪器、同位素示踪及生态建模等技

术引入生态学,而且在分子水平揭示和理解生物与环境关系的分子生态学得到发展。

### 三、生态学分支学科

生态学的综合性很强,随着生物与环境系统研究领域不断拓宽,研究工作不断深入,其分支学科也越来越多,并且已广泛地渗透到自然及社会科学的各个领域。生态学按其性质一般分为理论生态学和应用生态学两大类。

理论生态学中以普通生态学(*general ecology*)概括性最强,它介绍生态学的一般原理和方法,包括个体生态、种群生态、群落生态和生态系统等层次。此外,理论生态学按研究对象的生物类别划分为:动物生态学(*animal ecology*)、植物生态学(*plant ecology*)、微生物生态学(*microbial ecology*)和昆虫生态学(*ecology of insects*)等;按生物的栖息环境可分为:陆地生态学(*terrestrial ecology*)、海洋生态学(*marine ecology*)、森林生态学(*forest ecology*)、草原生态学(*grassland ecology*)和太空生态学(*space ecology*)等。近些年,由生态学与地理学结合的景观生态学发展较快,其主要研究内容是景观范围内的若干生态系统之间的相互关系和管理。

应用生态学包括的门类更多,如污染生态学(*pollution ecology*)、农业生态学(*agro-ecology*)、自然资源生态学(*ecology of natural resources*)、人类生态学(*human ecology*)、城市生态学(*city ecology*),以及一些新型的数学生态学(*mathematical ecology*)和化学生态学(*chemical ecology*)等。

## 第二节 农业生态学及其发展

### 一、农业生态学的产生

农业生产的实质就是利用生物与资源环境生产人类所需农产品的过程,农业本身就是利用并调节生物与环境关系的一个生态过程。对于农业生物与环境的生态关系从农业生产开始之时就已受到重视,在古代农业与近代农业的各种农书中都有不同层次和角度的阐述记载。如作物栽培与耕作学、土壤与肥料学、园艺学和动物饲养学等都是从各个方面对农业生物与环境关系进行分析和调节出发的。

随着生态学理论与方法的不断成熟和完善,尤其是生态系统理论的提出,使生态学在农业领域的运用更为普遍和深入。有意识地运用生态学基本理论及系统生态学的方法研究农业问题,逐步得到深入和发展,因此,生态学在农业领域的分支——农业生态学在进入 20 世纪以来,不断受到重视而渐渐形成一门独立的学科。1929 年,意大利的 G. Azzi(阿兹齐)教授在大学正式开设、讲授农业生态学课程,并于 1956 年正式出版了《农业生态学》(*Agroecology*)一书。进入 20 世纪 70 年代后,已有大量的农业生态学专著及教材问世,世界各国逐渐把农业生态学作为一个重要的专业方向或一门学科来进行研究。

### 二、农业生态学的发展

早期的农业生态学明显带有农学学科的痕迹,其研究的重点集中在农作物与农田土壤、气候、杂草等相互关系以及作物的分布和生态适应能力等方面,多数仍局限于个体生态学或作物

生态学的研究范畴。如在 20 世纪 20~30 年代开展的农业生态学研究,基本上都是从分析农作物与生态环境的相互关系及调节途径出发的,并没有从系统生态的角度去探讨,尤其对农业生态系统中的一些整体关系及规律缺乏研究,所以并没有引起农学界及生态学界的普遍重视。G. Azzi 的《农业生态学》一书,重点阐述的仍是作物生态学的一些内容,他将农业生态学定义为研究环境、气候和土壤与农作物遗传、发育及产量和质量关系的科学。可见,当时的农业生态学仍停留在个体生态、种群生态及群落生态尺度上。

进入 20 世纪 70 年代后,以研究农业生态系统为重点的农业生态学开始发展,对生态系统物质循环、能量流动及系统分析的理论与方法不断被采用,并注意研究完整系统内组分之间的相互关系,使农业生态学研究领域和层次拓宽,生态系统水平的农业生态学逐步建立起来。日本学者小田桂三郎的《农田生态学》、美国生态学家 G. W. Cox(柯克斯)等的《农业生态学》及 R. Lowrance 主编的《农业生态系统》(*Agro-ecosystem*)都把研究重点从单个作物的生理生态、种群生态及群落生态问题,扩展到农田生态系统和农业生产系统的生产力、资源利用潜力、能量和养分的流动与转化等生态问题。目前,随着农业生产水平的不断提高,农业生态学研究范畴和对象已不再是单纯的自然环境与生物关系,而是发展到重视社会、经济、技术因素的影响。

20 世纪 70 年代后期,中国的生态问题得到重视,作为研究农业生态系统的农业生态学借机得到重视和发展。1981 年召开了全国农业生态学研讨会,随后又多次召开了有关农业生态的全国性学术讨论会,对农业生态学的理论和内容体系等进行了研讨。1983 年正式确定在农业院校开设农业生态学,1986 年由国家教委将农业生态学列为农学专业的主要课程,同时在部分农业院校开始试办农业生态专业。

进入 20 世纪 90 年代以来,全球变化、生物多样性以及可持续发展成为全球关注的三大热点问题,农业生态学也围绕上述三大问题开展广泛和深入的研究。当前国际地圈·生物圈计划(IGBP)、全球变化人文因素计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)、生物多样性计划(DIVERSITAS)等为代表的国际全球变化研究组织的活动正在蓬勃开展,已取得重要的阶段性进展。全球变化研究的三大课题为碳循环研究、食物系统研究和水资源研究,近 20 多年来在地球系统的“碳汇”、全球温室气体自然变化及其与气候关系、陆地生态系统对过去气候变化响应、气候系统突发性变化等方面做出了重要贡献。对生物多样性的保护及其重要性的认识不断加深,生物多样性不仅为人类提供了食物、纤维、木材、药材和多种工业原料,而且在保持土壤肥力、保证水质以及调节气候等方面发挥着重要作用。外来生物种入侵、转基因物种释放及乡土物种消亡等相关问题逐步成为农业生态学的重点关注领域。能满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的可持续发展理念逐步深入,确保经济社会发展不超越资源和环境的承载能力,实现生产持续性、经济持续性和生态持续性的统一是农业生态学的重要目标。

近年来,农业生态学及农业生态建设受到前所未有的重视,农业生态的理论研究与实际应用得到快速发展。各农业院校及部分综合性大学普遍开设农业生态学课程,许多院校已建立了农业生态学硕士点及生态学博士点,农业生态学发展进入了一个新的发展阶段。

### 三、农业生态学的趋势展望

随着人类社会的不断发展、人口持续增长和对产品需求的不断提高,全球性的资源和生态

环境问题日趋严重,如耕地锐减、淡水短缺、能源枯竭、水土流失加剧、自然灾害频繁及食品安全面临威胁等,已引起国际社会的高度重视。如何协调人类社会经济发展与生态保护的矛盾,已逐步成为可持续发展的焦点问题。作为直接以生物和自然资源环境进行再生产的农业,其可持续发展问题显得更为重要,而研究农业生态系统生物与环境关系的农业生态学,也必将随之受到更普遍的重视。

为适应发展形势的要求,就必须做到拓宽研究领域、创新研究方法以及分化新型学科。其中拓宽研究领域要求我们做到以下几点:①由研究单一大田作物向经济作物、动物和微生物拓展。②由研究单一农业(如种植业)生态系统向农林牧复合生态系统拓展。③由农田生态系统向整个农业生态系统扩展。④由研究“平面农业”向“立体农业”方向拓展。⑤由单纯研究农业生态系统的结构、功能向综合研究农业生态系统的结构、功能、演替调控及其综合作用的方向发展。⑥由单一学科向边缘学科、交叉学科、新兴学科的研究方向拓展,特别重视与相关学科的“交叉”研究和“综合”研究。

现代农业生态学的研究方法具有多样性的特点,已广泛采用的试验手段和高新技术主要有:①稳定同位素技术。②根区观察窗或微根管技术。③野外气体分析技术。④能量测定技术。⑤控制性实验,如自由大气 CO<sub>2</sub> 浓度增高技术、连续 CO<sub>2</sub> 梯度技术。⑥“3S”技术(遥感技术、地理信息系统、全球定位系统)等。

综观近 10 多年来国外农业生态学的发展,可以明显看出学科“分化”的速度日益加快。由农业生态学学科产生的分支学科、新型学科不断增加,这正是农业生态学学科发展的重要标志。如:产量生态学、质量生态学、农业安全生态学、作物逆境生态学、农业技术生态学以及农业分子生态学等。

当前,构建以效率、和谐、可持续为目标的经济增长和社会发展方式已成为世界各国的共识和发展战略。全球性的农业转型和绿色发展理念逐步深入,已经成为农业生态学研究和发展的核心目标。我国农业开始全面步入转型发展新阶段,强化农业生产系统优化及生态系统服务功能开发,支撑我国农业“产出高效、产品安全、资源节约、环境友好”的发展目标,是现代农业生态学的历史使命,其学科地位和作用将更加突出。

### 第三节 农业生态环境问题

#### 一、全球生态环境突出问题

自工业革命以来,人类活动逐渐成为全球环境变化的主要影响因素。人类活动破坏了全球生态系统的稳定性,对很多地区的生态甚至造成毁灭性的破坏。J. Rockström 等(2009)在《*Nature*》杂志上首次量化了目前人类对全球气候变化、生物多样性减少与氮循环等 8 个生态环境指标的影响及其边界值(表 1.1),其中 6 项指标值超出了边界值,已成为全球最为突出的生态环境问题。

表 1.1 人类对全球生态环境指标的影响

生态环境指标	量化参数	边界值	目前值
1. 气候变化	空气中二氧化碳的浓度( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	350	387
	辐射强迫的改变( $\text{W}/\text{m}^2$ )	1	1.5
2. 生物多样性减少	生物灭绝速率(每年每百万物种中灭绝的物种数)	10	>100
3. 氮循环	空气中被人类利用的 $\text{N}_2$ (Mt/a)	35	121
4. 磷循环	排放到海洋中的磷(Mt/a)	11	8.5~9.5
5. 平流层臭氧被破坏	臭氧浓度(多布森单位)	276	283
6. 海洋酸化	全球海平面海水碳酸钙饱和度	2.75 : 1	2.90 : 1
7. 全球淡水用量	人类淡水消耗量( $\text{km}^3/\text{a}$ )	4 000	2 600
8. 土地利用变化	全球土地转化为耕地的比例(%)	15	11.7

资料来源:Rockström 等,2009。

### (一) 全球气候变化与温室效应

全球气候变化(climate change)是指在全球范围内,气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间(典型的为 30 年或更长)的气候变动。近 100 年来,地球气候正经历着以全球变暖为主要特征的显著变化。全球气候变暖主要原因是空气中温室气体二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、氧化亚氮( $\text{N}_2\text{O}$ )和甲烷( $\text{CH}_4$ )等浓度增加,形成“温室效应”。“温室效应”是指太阳短波辐射可以透过大气到达地面,而地面增暖后发出的长波辐射却被大气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{CH}_4$  等温室气体吸收,从而使大气变暖的效应。

IPCC 第五次评估报告指出,2011 年大气中  $\text{CO}_2$  浓度达到  $391 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ,比工业化前的 1750 年提高了 40%, $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  浓度分别达到  $1 803 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  和  $324 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ,分别比工业化前提高了 150%和 20%,目前这三种温室气体的浓度都达到 80 万年以来的最高值;1983—2012 年可能是北半球自 1 400 年以来最热的 30 年,1880—2012 年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,升高了  $0.85^\circ\text{C}$ ,2003—2012 年平均温度比 1850—1900 年平均温度上升了  $0.78^\circ\text{C}$ ;全球陆地冰川、格林兰和南极冰盖都在加速消融,北冰洋海冰和北半球春季积雪减少;1901—2010 年,全球平均海平面上升了  $0.19 \text{ m}$ ,平均每年上升  $1.7 \text{ mm}$ ,1971—2010 年平均每年上升  $2.0 \text{ mm}$ ,1993—2010 年平均每年上升达到  $3.2 \text{ mm}$ ,海平面上升的速度明显加快。

尽管关于未来气候变化及其影响还存在很多不确定性,但人类已经普遍认识到了气候变化对人类自身及生态系统带来的灾难,如极端天气频发、旱涝灾害增加、冰川消融以及海平面上升等。气候变化会使人类付出惨痛代价的观念已在世界范围内被广泛接受,并成为全球广泛关注和研究的环境问题。

### (二) 生物多样性减少

生物多样性(biodiversity)是生物及其环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的综合,包括动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与其生存环境形成的复杂的生态系统。生物多样性包括遗传多样性(genetic diversity)、物种多样性(species diversity)、生态系统多样性(ecosystem diversity)和景观多样性(landscape diversity)4 个层次,分别代表基因水平、物种水平、生态系统水平和大尺度区域系统水平的多样性和变异性。生物多样性是全

人类共同的财富,不仅为人类提供丰富的食物、工业原料和能源等直接价值,还为人类提供生态服务功能(如净化水体、净化空气和培肥土壤等)间接价值。生物多样性在维持生态平衡和稳定环境方面有着重要作用,为人类带来难以估量的利益,是人类生存和社会持续发展的重要基础。

近几个世纪以来,地球上的生物多样性遭受到严重破坏,生物物种正面临大规模灭绝。物种灭绝本应为自然过程,不应有人类的干预。据相关研究报道:海洋生物的自然灭绝速率是每年每百万物种中灭绝 0.1~1 种,哺乳动物的这一数值是 0.2~0.5;然而,目前以上物种的灭绝速率是自然状态下的 100~1 000 倍(Rockström 等,2009)。世界自然基金会(WWF)发布的《2016 地球生命力报告》(2016 *Living Planet Report*)指出,1970—2012 年,全球脊椎动物种群的数量减少了 58%,年平均降幅达到 2%。气候变化与人类活动成为加速物种灭绝的主要因素。2014 年发布的《全球生物多样性展望》(*Global Biodiversity Outlook*)指出,人类如果不采取有效的行动,到 2050 年气候变化将会成为生物多样性丧失和生态系统变化的主要驱动因素;人类对农业用地的需求将导致生物多样性大幅度丧失;很多野生渔业可能会崩溃;淡水资源的减少将导致淡水生态系统及其生物多样性遭到破坏;在各种驱动因素的综合作用下,若干大规模景观变化的发生将对生物多样性产生巨大的不利影响。

### (三) 环境污染

环境是各种生物生存的基本条件,是人类从事生产的物质基础。环境对人类产生的废弃物有消纳和同化的作用(即环境自净功能);环境还可以提供舒适的精神享受,有利于人体健康,提高人体素质。但是随着现代科学技术和以工业为主导的生产的发展,特别是 20 世纪中叶以来,人类不断将大量废弃物排入环境中,引起环境质量恶化,破坏了人与自然的平衡与和谐,危害了经济发展和人类健康。

目前,从海洋、湖泊、陆地到大气,甚至太空都受到不同程度的污染。在空气污染方面,人类排放的吸附着有毒物质的颗粒物每年达  $5 \times 10^8$  t,而且这些污染物还在大气中发生各种化学反应,生成更多有害物质;在水体污染方面,人类肆意向水体排放大量未经处理的工业、生活等各种废水和废弃物,造成水质恶化,严重危害生态系统和人类健康,使本来有限的淡水资源变得更加紧缺;在土壤污染方面,点源污染和面源污染使土壤遭受到空前破坏,不仅影响农作物的生长发育、产量和品质,还通过食物链影响人类的健康。近年来,全球性的热污染、噪声污染和太空污染等新污染也越来越严重。

### (四) 土地荒漠化

根据《21 世纪议程》(*Agenda 21*)的定义,荒漠化是指由于人类不合理活动和气候变化所导致的干旱区、半干旱区及具有明显旱季的半湿润地区的土地退化,包括土地沙漠化、草场退化、旱作农田的退化和壤肥力的下降等。目前,全球 2/3 的国家和地区(约 10 亿人口),约占全球陆地面积的 1/4,受到不同程度荒漠化的危害,而且仍以每年  $(5 \sim 7) \times 10^4$  km<sup>2</sup> 的速度在扩大,由此造成的经济损失,估计每年约为  $4.23 \times 10^8$  美元。受荒漠化影响最大的是发展中国家,特别是非洲国家。荒漠化是自然、社会、经济及政治因素相互作用的结果,人类不合理的社会经济活动是造成荒漠化的主要原因。人口增长对土地的压力是土地荒漠化的直接原因;干旱土地的过度放牧、粗放经营、盲目垦荒、水资源的不合理利用、过度砍伐森林及不合理开矿等是人类活动加速荒漠化扩展的主要表现。



## 二、中国生态环境主要问题

### (一) 大气污染

大气污染危害着人类健康和生态系统,我国的大气污染形势严峻。大气中污染物的主要构成是二氧化硫、烟尘、粉尘和机动车尾气。电厂和工业锅炉燃煤是二氧化硫的主要来源,占70%。雨、雪等在形成和降落过程中,吸收并溶解空气中一定量的二氧化硫,就会形成酸雨。火电厂和工业锅炉也是烟尘、粉尘的排放源。

世界卫生组织(WHO)颁布的空气质量准则认为,如长期暴露在超过空气质量准则值(PM<sub>2.5</sub> 颗粒物超过 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )的空气中,人类总死亡率、心肺疾病死亡率和肺癌的死亡率都会增加。而据《华盛顿邮报》(*The Washington Post*)2014年2月报道,中国空气污染最严重的邢台、石家庄、保定等十大城市 PM<sub>2.5</sub> 含量均高于 WHO 准则值的 10 倍;而同期美国空气污染最严重的贝克尔斯菲市、默塞德等十大城市 PM<sub>2.5</sub> 不到 WHO 准则值的 2 倍。据环保部公布的数据显示,2016年,中国 338 个地级及以上城市中,有 254 个城市环境空气质量超标,占 75.1%。

### (二) 水体污染

据《2016 中国环境状况公报》数据显示,全国地表水 1 940 个评价、考核和排名点位中,符合 I 类、II 类标准的不到 40%,V 类和劣 V 类(污染程度已超过 V 类的水)分别占 6.9%和 8.6%。长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河的 1 617 个国考断面中,符合 I 类标准的仅占 2.1%,IV、V 和劣 V 类占 28.8%。6 214 个地下水水质监测点中,水质为较差级和极较差级的监测点分别占到 45.4%和 14.7%。地下水水质主要超标指标为锰、铁、总硬度、溶解性总固体、“三氮”(亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮)、硫酸盐和氟化物等,个别监测点存在砷、铅、汞、六价铬及镉等重(类)金属超标现象。

### (三) 土壤污染

根据 2014 年环保部与国土资源部公布的《全国土壤污染状况调查公报》数据显示,全国土壤污染状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重,耕地的土壤环境质量堪忧,工矿企业废弃地土壤环境问题突出,全国土壤总的点位超标率是 16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染比例分别为 11.2%、2.3%、1.5%和 1.1%。土壤主要污染物为镉、镍、铜、砷、汞、铅、滴滴涕和多环芳烃。由土壤污染引发的农产品质量安全隐患和群体性事件逐年增多。

### (四) 土地沙漠化

中国的沙漠及沙漠化土地面积约为  $1.61 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 16.7%,其中,干旱区沙漠化土地面积  $8.76 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,半干旱区沙漠化土地面积约  $4.92 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。20 世纪 50 年代初至 70 年代中期年均增长率为 1.01%,20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期年均增长率为 1.47%,而目前我国沙漠化土地面积正以每年  $2\,460 \text{ km}^2$  的速度扩展。

### (五) 草原退化

我国草原面积近  $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$  (含南方约  $1 \times 10^8 \text{ hm}^2$  的草山草坡),其中严重退化的草场约占 30%,目前仍然以每年约  $1.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$  的速度退化。主要原因是超载过牧、干旱沙化和鼠害,造成草原生产力降低和优质草减少。

## (六) 湿地减少

中国湿地面积近  $6.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$  (不包括江河、池塘等), 其中天然湿地近  $2.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$  (含沼泽、天然湖泊、潮间带滩涂、浅海水域)、人工湿地约  $4 \times 10^7 \text{ hm}^2$  (含水库水面、稻田)。近 50 年来, 由于不合理利用和破坏, 湿地的面积急剧缩减, 已有 50% 的滨海滩涂不复存在, 1 000 多个天然湖泊消亡, 黑龙江三江平原 78% 的天然沼泽湿地消失。

## (七) 水土侵蚀

我国水土侵蚀情况非常严重。据《第一次全国水利普查公报》数据, 2011 年中国土壤侵蚀总面积  $2.95 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占普查范围总面积的 31.1%。其中, 水力侵蚀  $1.29 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 风力侵蚀  $1.66 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。水土侵蚀比较严重的地区为西北黄土高原区与东北黑土区, 侵蚀沟道分别为 666 719 条和 295 663 条。

# 三、中国农业生态环境面临的突出问题

## (一) 水土资源短缺

中国人均占有水资源量约为  $2\ 200 \text{ m}^3$ , 每年农业生产缺水超过  $2 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。华北平原和三江平原普遍超采地下水灌溉, 华北平原已形成  $9 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上的世界最大漏斗区, 三江平原近 10 年来地下水位平均下降 2~3 m。水资源分配日益向城市、工业和生态建设倾斜, 农业用水比重则急速下降, 农业用水份额持续减少, 已从 1980 年的 88% 下降到目前的 60%。全国范围的干旱缺水状况呈加重趋势, 已经开始威胁国家粮食安全及社会经济持续稳定发展。尽管国家已经开展华北地下水超采治理试点工程, 但路径选择非常困难。

我国人均占有耕地面积只有世界平均水平的 40%。全国有 666 个县的人均耕地面积低于 FAO 制定的  $0.053 \text{ hm}^2$  警戒线, 463 个县低于  $0.33 \text{ hm}^2$  的危险线。近 10 多年的耕地面积年均减少幅度仍超过  $3.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。由于农田过度利用带来的耕地质量问题已经不容忽视, 粮食主产区耕地土壤普遍存在不同程度的耕层变浅、容重增加和养分效率降低等问题, 而且由于不合理的施肥、耕作和植保等造成的耕地生态质量问题日益突出。

## (二) 农业面源污染加剧

我国人多地少, 以占世界耕地面积 7% 的土地, 养活了占世界 22% 的人口。然而, 其代价是化肥、农药、地膜等生产资料的大量投入。2014 年中国化肥施用量达  $6 \times 10^7 \text{ t}$ , 单位面积用量达到  $490 \text{ kg/hm}^2$ , 是发达国家化肥安全施用上限 ( $255 \text{ kg/hm}^2$ ) 的 1.9 倍。2014 年农药(原药、折纯)施用量  $1.8 \times 10^6 \text{ t}$ , 单位面积用量为  $14.6 \text{ kg/hm}^2$ , 是世界平均水平的 2.5 倍。2014 年我国地膜使用量达到  $2.58 \times 10^6 \text{ t}$ , 地膜覆盖面积约  $2.33 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 平均残留率超过 12%。此外, 养殖业污染已成为我国农业污染的重要来源。2010 年《全国第一次全国污染源普查公报》数据显示, 我国畜禽养殖业粪便产生量为  $2.43 \times 10^8 \text{ t}$ , 尿液产生量  $1.63 \times 10^8 \text{ t}$ 。

## (三) 农村与农田生态景观差

自 20 世纪 80 年代以来, 随着我国农村经济的快速发展, 农业机械化进程加快, 化肥、农药、农膜等开始大量使用, 严重污染了农村生产生活环境, 破坏了传统农业原有的生态系统。农业景观中生物栖息地多样性逐渐降低、自然景观趋于高度破碎化, 农村与农田的美学和生态