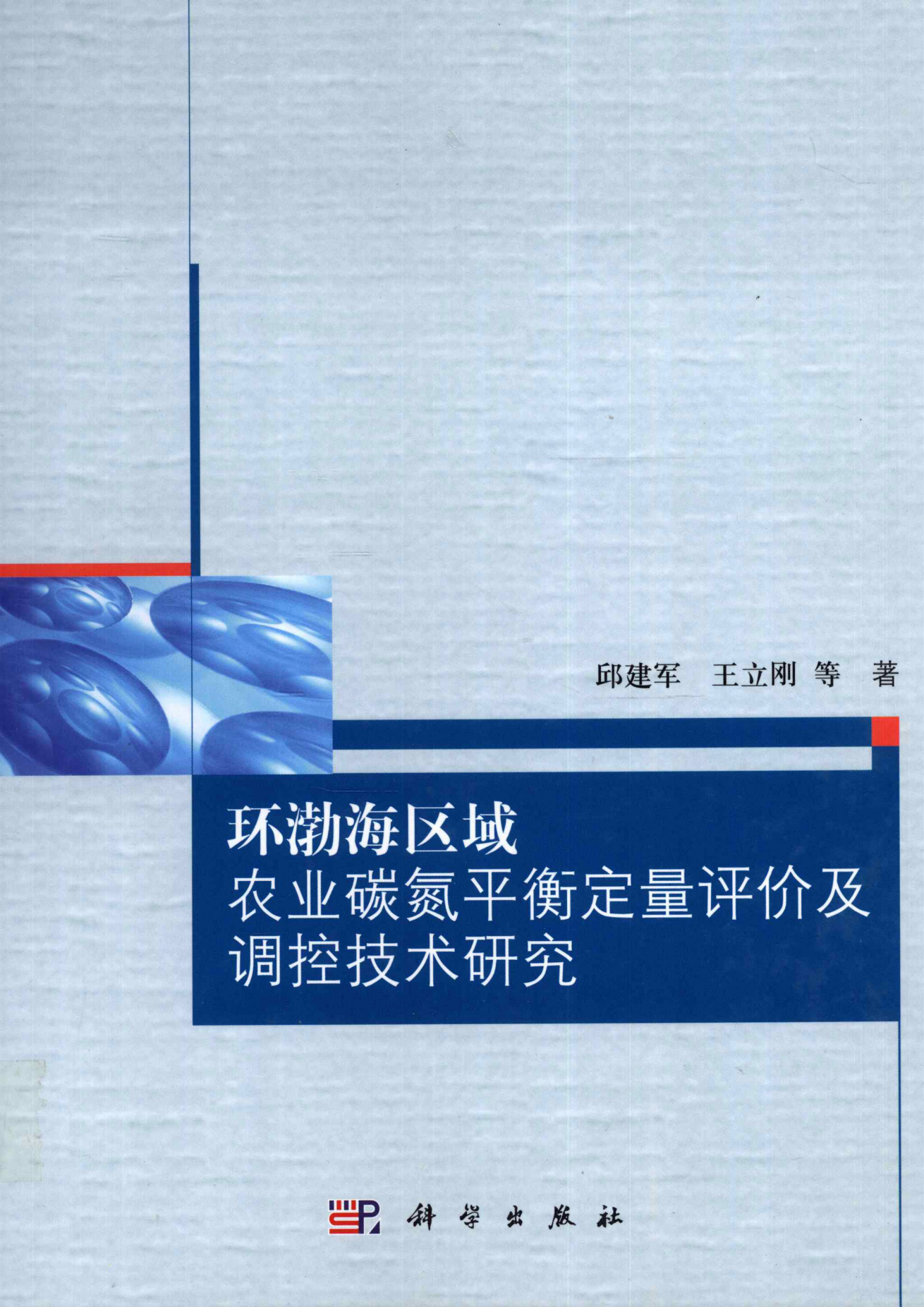




邱建军 王立刚 等 著

环渤海区域 农业碳氮平衡定量评价及 调控技术研究



科学出版社

环渤海区域农业碳氮平衡 定量评价及调控技术研究

邱建军 王立刚 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地总结了环渤海地区不同尺度农业生态系统碳氮平衡定量评价及其碳氮调控策略与技术研究的成果。主要系统概述了点位、小流域和大区域尺度开展农业生态系统碳氮平衡定量评价研究的方法学——野外生态系统监测与生物地球化学模拟模型结合；在系统监测层面，论述了典型农田生态系统作物碳氮代谢规律、温室气体排放规律、土壤氮素矿化及淋失过程以及典型畜禽养殖场碳氮循环规律与特征；在点位尺度定量评价方面，验证和校正了农业生态系统生物地球化学模型，定量评价了典型农田生态系统碳氮平衡、典型畜禽养殖场碳氮平衡特征；在区域尺度定量评价方面，构建了区域尺度农业生态系统碳氮平衡定量评价系统，定量评价了小清河流域农业生态系统碳氮平衡特征、环渤海区域农业生态系统碳氮平衡特征；在调控策略与技术层面，论述了环渤海区域农业生态系统碳氮调控策略，阐明了环渤海地区典型模式系统碳氮调控技术。本书可为开展不同尺度农业生态系统碳氮平衡定量评价研究和同类区域制订农业非点源污染综合防控方案提供借鉴。

本书可供农学、生态学、土壤与肥料学、环境科学等相关领域的研究人员使用，也可供农业技术推广人员、农业及环境管理决策部门人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术研究/邱建军等著. —北京：科学出版社，2012

ISBN 978-7-03-032857-1

I. ①环… II. ①邱… III. ①渤海湾—农业生态系统—碳氮比—生态平衡—评价
②渤海湾—农业生态系统—碳氮比—生态平衡—调控 IV. ①S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 240193 号

责任编辑：张会格 莫结胜 孙 青/ 责任校对：钟 洋

责任印制：钱玉芬/ 封面设计：耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本：787 1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张：19 1/2

字数：437 000

定价：98.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

本书得到公益性行业（农业）科研专项项目 “环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术 研究”（200803036）资助

项目主持人：邱建军、王立刚

主持单位：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

参加研究单位及人员：

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所：刘宏斌、李 虎、郭丽英、
高懋芳、高春雨、杨 黎、王虹扬

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所：董红敏（主持）、陶秀萍、
朱志平、黄宏坤、宋丽萍、陈永杏、尚 斌

中国科学院大气物理研究所：郑循华（主持）、周再兴、韩圣慧、刘春岩、
阎广轩、王 睿、邓 佳、崔 凤

中国农业大学：胡克林（主持）、吕贻忠、李子忠、陈 薇、陈 研、杨晓光
山东省农业科学院农业资源与环境研究所：刘兆辉（主持）、徐 钰、

江丽华、林海涛、谭德水、宋效宗、高新昊、郑福丽、王 梅、石 璟
河北省农林科学院农业资源环境研究所：刘孟朝（主持）、孙世友、韩宝文、
茹淑华、李春杰、王 凌、耿 暖、冯自军、姚培清

辽宁省农业科学院环境资源与农村能源研究所：汪 仁（主持）、刘慧颖、
娄春荣、徐振华、王秀娟、董 环、张 鑫、韩瑛祚、华利民、熊宝军、
李 存

辽宁省大连市农业科学院：张维东（主持）、王志军、刘云峰、杨 辉、
王景英、孙传宗

《环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术研究》

著者名单

(按姓氏笔画排列)

王 凌	王 梅	王 睿	王立刚	王志军	王秀娟
王虹扬	王景英	邓 佳	石 璟	冯自军	吕贻忠
朱志平	华利民	刘云峰	刘兆辉	刘宏斌	刘孟朝
刘春岩	刘慧颖	江丽华	孙世友	孙传宗	李 存
李 虎	李子忠	李春杰	杨 辉	杨 黎	杨晓光
邱建军	汪 仁	宋丽萍	宋效宗	张 鑫	张维东
陈 研	陈 薇	陈永杏	林海涛	尚 斌	周再兴
郑循华	郑福丽	胡克林	茹淑华	娄春荣	姚培清
耿 暖	徐 钰	徐振华	高春雨	高新昊	高懋芳
郭丽英	陶秀萍	黄宏坤	阎广轩	崔 凤	董 环
董红敏	韩圣慧	韩宝文	韩瑛祚	谭德水	熊宝军

前 言

渤海是我国唯一的半封闭型内海，海水交换能力差，海洋生态系统脆弱。环渤海地区包括北京、天津、辽宁、河北、山西、山东和内蒙古中部地区，辖五省（自治区）两直辖市，陆域面积 112 万 km^2 ，总人口 2.6 亿，被誉为中国经济第三个“增长极”。该区沿海城市化与临海工业发展迅猛，同时还是我国重要的农业基地，也是北方农业集约化程度较高的地区，种植、养殖业十分发达。环渤海地区工农业的快速发展，对渤海海洋环境造成巨大压力，渤海环境问题引起社会各界的广泛关注。当前渤海中部海域环境良好，近岸海域污染较重，海水中主要污染物是无机氮、活性磷酸盐和石油类，渤海近岸水域的水体污染治理已经刻不容缓。陆源污染物是引起渤海近岸海域污染的主要原因，调查表明，87% 的入海污染物来自陆地，其中由于农业生产和农村生活方式的不合理，农业非点源污染日益成为渤海污染的重要因素之一。因此发展清洁生产，有效控制农业非点源污染，是渤海污染治理的重要途径，也是确保渤海水域水体安全的迫切需要。

从世界范围来看，氮素污染是农业非点源污染的最主要形式，其有效控制成为农业非点源污染综合防治的关键。我国已基本提出了“源头控制、过程阻断、末端利用”、发展清洁生产和开展乡村清洁工程的农业非点源污染防控策略，但与之相配套的技术体系还远远没有建立起来。总体而言，国内对非点源污染负荷及控制研究，主要集中在人工模拟试验和野外观测研究阶段，虽然在揭示污染物存在形态、分布特征上具有一定进展，但是非点源污染是一个复杂的自然过程，高昂的投入使得观测只能在极为有限的范围内进行，这就给非点源污染的识别带来了不确定性，更形成不了区域层面的宏观认识，进而造成调控策略的偏差。我国是一个农业大国，农业生产环境复杂，简单化的指令性管理与技术不能完全有效地指导区域农业生产及生态环境保护。因此，有必要在引进消化国外先进模型的基础上，根据我国区域农业碳氮平衡特征，进行系统的研究、集成和创新，为非点源污染研究提供有效手段。总而言之，开展区域尺度农业碳氮平衡评价、组装集成调控技术，是建立环渤海地区农业污染综合防控技术体系的现实需要。

针对国家解决环渤海地区农业生态环境问题的重大科技需求，2008 年国家启动实施了公益性行业（农业）科研专项项目“环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术研究”（200803036），该项目就是针对环渤海地区农业污染及其对渤海近海水域污染的影响，以集约化农田和典型养殖场为研究对象，以小流域研究为切入点，以技术引进、组装集成作为手段，以合理调控农业生态系统碳氮平衡、有效减少农业源对渤海近海水域污染为目标。通过对环渤海地区典型流域农业生态系统（种植和养殖）的布点监测、生物地球化学模型的验证与本土化，引进和建立基于碳氮循环机理模型的区域农业碳氮平衡评价系统，定量分析流域农业生态系统碳氮平衡特点，探明环渤海地区典型流

域的农业氮污染负荷,提出区域农业碳氮平衡和非点源污染的调控策略,组装集成调控技术并建立技术示范,为同类区域农业碳氮平衡和非点源污染综合防控提供借鉴。

本书是“环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术研究”项目的成果集成。项目研究由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所主持,与中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、中国科学院大气物理研究所、中国农业大学、山东省农业科学院农业资源与环境研究所、河北省农林科学院农业资源环境研究所、辽宁省农业科学院环境资源与农村能源研究所、辽宁省大连市农业科学院共8家单位共同承担了项目研究,共有近百名专家、技术人员投入到研究工作中,开展了协同攻关。经过三年的研究,选择环渤海区域内5条典型流域建立了12个典型集约化种植模式与规模养殖场农业生态系统碳氮平衡监测点,开展了连续2年不间断监测和试验;完成了对DNDC模型、Manure-DNDC模型的验证和本土化;建立了小清河流域农业碳氮平衡定量评价系统并开展应用研究;定量评价了环渤海流域农业碳氮平衡特点、氮素流失规律、氮素污染负荷及其空间分布;制订了综合产量水平、土壤肥力、氮素淋溶控制、温室气体减排等多目标控制的碳氮调控技术方案,并组装集成了碳氮平衡综合调控和清洁种养技术。该项目研究的主要进展与标志性成果体现在以下5个方面:一是系统探知了环渤海地区集约化农田和规模化养殖场碳氮迁移与平衡特征;二是明确了北方集约化农田和典型养殖过程温室气体(GHG)排放规律,并为低碳农业(减排)建立了技术储备;三是对环渤海集约化农区清洁种植和清洁养殖技术集成有了新的突破;四是针对流域尺度建立了定量评价和监控农业面源污染(氮素)的方法体系和应用范例;五是开展了环渤海区域尺度农业生态系统碳氮平衡的定量评价研究。

本书主要侧重于建立农田和流域尺度农业生态系统碳氮平衡定量评价方法,并在定量评价方法体系的基础上对该区域典型农田种植模式和规模化畜禽养殖模式,以及对小清河流域尺度、环渤海区域尺度开展了农业生态系统碳氮平衡的定量评价。此外,本书还对典型种养模式系统碳氮平衡的监测结果、典型种养系统碳氮平衡综合调控技术集成以及环渤海区域农业氮素污染区域调控方案和策略等方面进行了一定的系统性和总结。全书共分14章。在项目组全体协同攻关的基础上,各章统稿的具体分工如下:

第1章 邱建军、王立刚、李虎、高懋芳

第2章 邱建军、王立刚、董红敏

第3章 郭丽英、王立刚、高懋芳

第4章 刘兆辉、刘孟朝、汪仁、张维东、徐钰、江丽华、孙世友、刘慧颖

第5章 郑循华、周再兴

第6章 胡克林、吕贻忠、李子忠

第7章 董红敏、朱志平

第8章 李虎、王立刚、朱志平

第9章 王立刚、李虎

第10章 董红敏、朱志平

第11章 高懋芳、王立刚、李虎、邓佳

第 12 章 郭丽英、李虎、王立刚

第 13 章 王立刚、李虎、邱建军

第 14 章 王立刚、李虎、邱建军

全书由邱建军、王立刚统稿，并最终定稿。

在此特别感谢项目顾问美国新罕布什尔大学李长生教授，李教授为项目组提供了最新版本的 Manure-DNDC 模型，并指导了模型的验证、改进与应用，为项目研究提供了至关重要的无私帮助。

由于区域农业生态系统碳氮平衡定量评价研究内容的复杂性和不确定性，再加上本书的主要内容是在项目研究成果的基础上提炼而成，因此在内容的系统性、完整性与代表性等方面不可能十分完善，我们借此抛砖引玉，真诚地希望广大学者、专家与同仁能在此领域进行更多的交流与合作，同时对本书的缺点与不足提出宝贵的意见。

著 者

2011 年 7 月于北京

目 录

前言

第一篇 绪 论

第 1 章 研究背景与研究内容	3
1.1 研究背景和意义	3
1.2 国内外研究进展	5
1.3 研究目标与主要研究内容	12
参考文献	14
第 2 章 技术路线和研究方法	18
2.1 技术路线	18
2.2 研究方法	20
2.3 农田监测点试验设计	20
2.4 农田试验指标测定	26
2.5 畜禽养殖系统试验设计及样品采集与分析	29
参考文献	35
第 3 章 研究区域概况	36
3.1 环渤海区域概况	36
3.2 环渤海区域农业发展情况	39
3.3 环渤海区域主要农业生态环境问题及其成因	44
3.4 小清河流域概况	46
参考文献	55

第二篇 生态系统监测研究

第 4 章 典型农田生态系统作物碳氮代谢规律研究	59
4.1 冬小麦/夏玉米轮作系统	59
4.2 冬小麦/露地蔬菜（大葱）轮作系统	65
4.3 设施蔬菜农田生态系统	71
4.4 春玉米农田生态系统	74
参考文献	81
第 5 章 典型农田生态系统温室气体排放规律研究	83
5.1 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统	83
5.2 冬小麦/露地蔬菜（大葱）轮作农田生态系统	93

5.3 设施蔬菜种植系统	101
5.4 春玉米农田生态系统	107
参考文献	110
第6章 典型农田土壤氮素矿化及淋失过程研究	112
6.1 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统	112
6.2 冬小麦/露地蔬菜(大葱)轮作农田生态系统	119
6.3 设施蔬菜农田生态系统	122
6.4 春玉米农田生态系统	123
6.5 果园生态系统	127
参考文献	128
第7章 畜禽养殖场典型监测点碳氮循环特征	129
7.1 典型规模化奶牛养殖场碳氮循环特征	129
7.2 典型规模化肉鸡养殖场碳氮循环特征	130
7.3 典型规模化蛋鸡养殖场碳氮循环特征	132
7.4 典型规模化生猪养殖场碳氮循环特征	133
参考文献	137

第三篇 点位尺度定量评价

第8章 农业生态系统碳氮平衡定量评价模型有效化研究	141
8.1 DNDC 和 Manure-DNDC 模型系统概述	141
8.2 DNDC 模型的参数校正	146
8.3 Manure-DNDC 模型的改进和参数校正	150
8.4 DNDC 和 Manure-DNDC 模型的验证	151
8.5 DNDC 模型敏感性分析	169
参考文献	175
第9章 典型农田生态系统碳氮平衡定量评价	177
9.1 冬小麦/夏玉米轮作农田生态系统碳氮平衡评价	177
9.2 冬小麦/露地蔬菜(大葱)轮作农田生态系统碳氮平衡评价	184
9.3 设施蔬菜农田生态系统碳氮平衡评价	186
9.4 春玉米农田生态系统碳氮平衡评价	187
参考文献	190
第10章 畜禽养殖场典型监测点碳氮平衡定量分析	192
10.1 典型规模化奶牛养殖场碳氮平衡定量评价	192
10.2 典型规模化肉鸡养殖场碳氮平衡定量评价	193
10.3 典型规模化蛋鸡养殖场碳氮平衡定量评价	194
10.4 典型规模化生猪养殖场碳氮平衡定量评价	195
参考文献	196

第四篇 区域尺度定量评价

第 11 章 流域农业生态系统碳氮循环定量评价	199
11.1 Manure-DNDC-SWAT 模型的构建及有效化	199
11.2 小清河流域 GIS 数据库的建立	207
11.3 小清河流域碳氮平衡的模拟研究	220
11.4 小清河流域氮素污染负荷模拟研究	221
11.5 小流域尺度模拟结果的验证	224
11.6 研究结果的不确定分析	225
参考文献	227
第 12 章 环渤海区域农业生态系统碳氮平衡定量评价	229
12.1 区域农田化肥投入量的变化	229
12.2 区域农田化肥利用率的变化	232
12.3 化肥适宜量分析	236
12.4 农田土壤本底碳氮分布格局	238
12.5 区域数据库的建立与模型的连接	244
12.6 环渤海区域农业生态系统碳氮平衡定量评价	249
12.7 区域模拟结果不确定性分析	257
参考文献	258

第五篇 调控策略与技术

第 13 章 环渤海区域农业碳氮调控策略研究	265
13.1 环渤海地区农业非点源氮素污染控制关键区分析	265
13.2 环渤海区域农业碳氮调控策略	268
13.3 典型小流域优化管理措施分析	271
13.4 环渤海区域碳氮调控及农业非点源污染防治工程	275
参考文献	277
第 14 章 环渤海地区典型模式系统碳氮调控技术研究	279
14.1 环渤海典型农业生态系统碳氮调控技术体系	279
14.2 典型种植模式氮肥施用总量控制	280
14.3 典型农田生态系统碳氮调控技术	286
14.4 典型畜禽养殖场碳氮调控技术	292
参考文献	294

第一篇 绪 论

第 1 章 研究背景与研究内容

农业生态系统是指以发展农业生产为目的，以人地协调共生为特征的、人工可调控的陆地生态系统。碳氮元素是农业生产最基本的自然物质基础，涉及农业生态系统从环境-生物-环境的生物地球化学循环过程（李长生，2001；Schlesinger，1997）。近年来，随着全球变化和环境污染的日益加剧，全球碳氮循环尤其是陆地生态系统碳氮循环及其平衡成为当前研究的难点和热点（Lal，2004；韩兴国等，1995）。本项目面向国家农业可持续发展和生态安全的战略需求，针对环渤海地区集约化农业生产与渤海近海水域环境污染所面临的现实问题，定量分析流域农业生态系统碳氮平衡特点，探明典型流域的农业氮污染负荷，提出区域农业生态系统碳氮平衡和非点源污染的调控策略和管理技术措施。

1.1 研究背景和意义

1.1.1 环渤海作为北方农业集约化地区，现代农业发展面临资源环境的巨大制约

环渤海地区陆域面积 112 万 km^2 ，总人口 2.6 亿，被誉为中国经济第三个“增长极”。这里是我国经济发展的热点区域，沿海城市化与临海工业发展迅猛，同时该区还是我国重要的农业基地，耕地面积占全国耕地面积的 1/4 多，粮食产量占全国粮食产量的 23% 以上，特别是渤海沿岸 13 个地市（天津、大连、营口、唐山、潍坊、烟台等）属于农业集约化程度较高的地区，种植、养殖业十分发达。但高度集约化生产的弊端已经显现，以山东为例，单位耕地面积化肥用量高达 $685\text{kg}/\text{hm}^2$ ，相当于全国平均用量的 1.92 倍；养殖场的畜禽粪便几乎不经任何处理；由于利用率低（氮肥利用率仅为 30%~35%），大量化肥和养殖场废弃物以地表径流、淋溶、气态挥发等形式进入环境，造成污染。特别是在集约化蔬菜种植区，地下水氮污染更为严重。2008 年 5 月，国家海洋局北海分局首次发布《2008 年渤海海洋环境公报》，公报指出渤海中部海域环境良好，近岸海域污染较重，海水中主要污染物是无机氮、活性磷酸盐和石油类。渤海三大湾中，莱州湾海水环境污染程度较重，渤海湾次之，辽东湾相对污染程度较轻。环渤海地区现代农业的发展，必须破解集约化生产与保护资源环境、提高农业生产力与节本增效等诸多新的难题与矛盾。

1.1.2 有效控制农业非点源污染，是确保渤海水域水体安全的迫切需要

渤海水域的水体污染治理已经刻不容缓，国家虽然启动了“碧海行动计划”，但与

滇池、太湖富营养化治理一样收效甚微。总的来看,由于农业生产和农村生活方式的不合理,陆源污染物是引起渤海近岸海域污染的主要原因,调查表明,87%的入海污染物来自陆地,其中由入海河口排入的占95%(赵章元和孔令辉,2000)。除工业和生活污水外,种植业生产、畜禽养殖等污染通过河流入海携带或随径流入海也占很大比例。以山东省主要入海河流小清河为例,小清河流域属温带季风气候,降水变率大,大约70%的降水集中在每年的6~9月,由于丰水期降水相对比较集中,在暴雨期间,小清河携带大量污染物进入莱州湾,成为莱州湾陆源污染物的重要来源。1996年冬,山东省开始小清河综合治理工程,到2000年,流域内主要排放口浓度排放达标率为95%,点源污染已得到一定程度的控制,但是水质却没有较大的改观(惠二青,2003)。根据2007年山东省环境质量状况公报,小清河干流9个断面中,除源头睦里庄断面以外,其他8个断面水质均劣于V类标准,主要污染物为化学需氧量、氨氮(谭永明,2009)。黄现民和王洪涛(2008)分析了山东省环渤海地区农业生产和农村发展现状,指出面源污染的产生主要是由种植业化肥及农药的施用量大、利用率低,畜禽养殖业规模发展快,缺乏粪污处理设施,大量排放未经处理的粪污、农村生活垃圾和生活污水收集处理率低、随意排放等原因造成的。农业非点源污染已经严重影响环渤海地区农业的可持续发展,同时也限制社会经济的进一步发展。因此,推广农业清洁生产,有效控制农业非点源污染已经到了刻不容缓的地步。

1.1.3 开展区域尺度农业碳氮平衡评价、组装集成调控技术,是建立环渤海地区农业污染综合防控技术体系的现实需要

农业生产带来的环境问题,主要来源于种植和养殖过程中农业生态系统的碳氮收支平衡过程。碳氮平衡与循环过程既是单独循环途径又是相互联系、相互影响的。从世界范围来看,氮素污染是农业面源污染的最主要形式,其有效控制成为农业非点源污染综合防治的关键。我国已基本提出了“源头控制、过程阻断、末端利用”、发展清洁生产和开展乡村清洁工程的农业面源污染防控策略,但与之相配套的技术体系还远远没有建立起来。总体而言,国内对非点源污染负荷及控制研究,主要集中在人工模拟试验和野外观测研究阶段,虽然在揭示污染物存在形态、分布特征上具有一定进展,但是非点源污染是一个复杂的自然过程,对农业生态系统中的氮平衡、畜禽养殖过程中氮的循环、径流和土壤侵蚀的模拟以及污染物的迁移转化过程的研究并不完善,而且高昂的投入使得观测只能在极为有限的范围内进行,这就给非点源污染的识别带来了不确定性,更形成不了区域层面的宏观认识,进而造成调控策略的偏差。我国是一个农业大国,农业生产环境复杂,简单化的指令性管理与技术不能完全有效地指导区域农业生产及生态环境保护。因此,有必要在引进消化国外先进模型的基础上,根据我国区域农业碳氮平衡特征,进行系统的研究、集成和创新,为非点源污染研究提供有效手段,更为区域现代农业发展和流域污染综合防控提供科学依据。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 农田生态系统碳平衡研究进展

工业革命后人们开始意识到人类活动对地球生态系统的巨大影响,从陆地生态系统到大气圈中的碳排放已经超出了地球系统能自我调节的范围(Sun and Gao, 2001),由此带来的全球变化的气候问题,已经引起了各国科学家和政府的高度重视。科学家们提出可以通过增加土壤有机碳库来抵消经济发展中的碳排放(Freibauer et al., 2004)。据估计,全球土壤有机碳库为1395~2200Pg (1Pg=10¹⁵g)(Eswaran et al., 1993; Post and Kwon, 2000),是陆地生态系统中最大且最活跃的碳库(1550Gt),是陆地植被碳库(500~600Pg)的2~3倍,是全球大气碳库(750Pg)的2倍多(Su and Zhao, 2002),对大气CO₂吸收与固定产生重要的作用,由于其巨大的库容,即使较小幅度的变化也将会对全球碳循环产生巨大的影响。

农田土壤是一种重要的土地利用类型,其面积达133 800万hm²,碳储量为140~170Pg,占全球陆地碳储量的10%(Yang et al., 2003),且对农业管理措施影响敏感,在人类耕种、施肥、灌溉等管理活动影响下,农业土壤中碳库的质和量迅速变化,这种变化不仅改变了土壤肥力及作物产量,而且对区域及全球环境造成影响(Li, 2000)。所以,无论是发挥土壤碳收集能力以维持生态环境,还是为保护珍贵的土壤肥力以维持农业的可持续发展,都需要人们对碳在各库之间的储量与平衡有清晰的认识。为此,国际社会也提出农业土壤碳的收集(soil C sequestration)是经济和环境双赢战略(Lal, 2003, 2004)。美国土壤学会和农业部分别将土壤碳收集列为基础研究前沿领域;欧洲联盟(以下简称欧盟)、联合国粮食及农业组织(FAO)也已纷纷出台国家级研究项目,分析农业土壤固碳潜力以作为制定CO₂排放清单及减排配额的依据。中国作为世界上一个重要的农业大国,农田土壤有机碳库在全球碳循环中的重要地位以及对全球大气CO₂浓度的影响也正引起人们的普遍关注。我国以占世界不到9%的耕地养活了占世界21%的人口,农业的发展引起了土壤肥力和土壤质量的破坏和退化,但高投入高产出的经营将是我国农业的长期趋势,保持农业土壤有机碳库稳定增长不但是控制全球气候变化的需要,更是保障我国农业高产和粮食安全的需要。

近年来土壤有机碳平衡研究虽然取得了很大的进步,但仍存在许多问题急需解决。由于土壤是一个不均匀的三维结构体,在空间上呈现复杂的镶嵌性,且与气候以及陆地植被和生物发生复杂的相互作用,土壤有机碳平衡存在极大的空间变异性。不同研究者由于所采用的资料来源和统计样本容量、样本数据的时间跨度不同,所得结果存在较大差异。而且对土壤有机碳区域性连续监测的成本较高,因此难以获得土壤有机碳的长期变化数据,还不足以总结和量化这些区域农田土壤碳的趋势。总体上,农田土壤有机碳平衡及动态方面还需要进行更加广泛深入的研究。国内在有机碳平衡方面的研究大多是通过野外观测或者模型模拟的方法。近年来,土壤有机碳模型在此方面的应用则逐渐受到广大研究者的推崇与认可(Smith et al., 1997),成为研究土壤碳储

量与平衡的重要手段。到目前为止已有十多个模型发表,其中较成熟的有 CENTURY、DNDC、NCSOIL 和 RothC 等。这些模型大多以气象、土壤、土地利用和农田管理为驱动条件,对土壤有机质的产生、分解和转化等过程进行数字模拟,从而达到预测土壤有机碳动态的目的。由于受气候、土地利用方式、耕作方式以及国家政策的影响,我国农田土壤碳储量及平衡每年都有一定的变化,因此,正确评价农田土壤碳平衡及演变趋势,对制订合理可行的农业持续发展的管理措施等都具有重要的理论与实践意义。

1.2.2 农田生态系统氮平衡研究进展

氮是大气圈含量最丰富的元素,又是农业和自然陆地生态系统植物光合作用和初级生产力过程最受限制的元素之一 (Mooney et al., 1987)。农田生态系统作为受人类干扰活动强烈的系统,其氮素的循环基本上涉及了全球氮素循环的各个圈层,并且具有农业生产的自身系统特点与规律。自从工业化时代以来,全世界每年进入生物圈中反应氮的数量约增加了 2 倍 (Galloway et al., 2004),农田生态系统中氮素投入和支出之间的平衡对农业的可持续发展和环境保护相当重要 (邱建军等, 2008)。氮平衡研究通常有两种方法。一种是涉及整个系统的总氮收支状况,通过测定系统总氮输入和输出及其系统中各物质之间的转移,阐明系统总的氮循环特征。农田生态系统中氮的输入项主要包括施肥、生物固氮、灌溉、干湿沉降等,氮的输出项主要包括作物吸收、氨挥发、反硝化产生的气体排放、养分的淋失与径流损失等。其内部过程包括有机氮和无机氮之间的矿化与固定,硝态氮和铵态氮之间的硝化与反硝化,铵离子在土壤固相中的吸附与解吸等过程。已有研究表明,无论何种耕作制度,氮输入超过作物同化能力时,农田系统氮盈余将导致硝态氮淋溶量、氨挥发量以及反硝化损失量等增加,并对环境产生影响 (张玉铭等, 2003; 封志明和方玉东, 2006; 陈新平和张福锁, 2006)。农田生态系统氮平衡输入、输出项复杂,影响因子多样,不但有植物生长,而且有动物体内的物质循环,不但受自然条件限制,而且受人类活动影响,单纯依靠核算的方法已经不能满足需要。另一种是 ^{15}N 同位素标记法,通过标记 ^{15}N 来阐明肥料氮在循环系统中的去向,但只能表明施入的 ^{15}N 在农田系统中的转变和分配,不能完全阐明整个系统氮的收支和循环特征 (Ju et al., 2007)。为了更好地研究农田生态系统氮循环的各个过程,人们开始利用模型研究农田生态系统氮平衡状况。Johnsson 等 (1987) 较早地提出了土壤氮动态和流失模型,考虑作物吸收、矿化、固定、淋溶和反硝化过程。随后又出现了多个可用于模拟农业生态系统氮平衡的模型,如以农场为单位考虑农作物和畜禽养殖的模型 MIDAS (Pannell and Falconer, 1988),模拟大尺度和中小尺度的决策支持模型 NUTBAL (Smaling and Fresco, 1993),可以模拟农田以及畜禽养殖场氮素循环的 DNDC 模型 (Li et al., 1992a),包含蒸发、渗漏、地表径流、土壤侵蚀、非饱和水流、作物生长、碳、氮、农药等模块的 OPUS 模型 (Wegehenkel and Wilfried, 2006),以及应用比较广泛的 EPIC (Parsons et al., 1995)、DAISY (Abrahamsen and Hensen, 2000)、AnnAGNPS (Yuan et al., 2003)、