



冻融区

规模化农业开发生态环境效应

郝芳华 欧阳威 著



科学出版社



冻融区规模化农业开发 生态环境效应

郝芳华 欧阳威 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对冻融区规模化农业开发过程,从不同尺度生态环境效应入手,将现场观测、田间及室内实验与模型模拟相结合,探讨了规模化农业开发对区域生态环境的影响。从农业非点源污染发生角度,重点研究了农田氮磷平衡及其优化调整、土壤质量对土地利用变化响应、田间水文特征及氮磷运移等内容;从流域/区域生态环境角度,重点探讨了流域非点源污染效应、农业开发下气温时空变化及全球变暖潜势,并针对区域特点开展了生态安全研究。本书系统地介绍了冻融区农业生态环境的变化特征、基本原理及研究方法,并有针对性地提出了相应控制措施。

本书可供高等院校生态、环境、农田水利、水文水资源等相关专业的科研人员、管理人员、师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

冻融区规模化农业开发生态环境效应/郝芳华,欧阳威著. —北京:科学出版社,2013.6

ISBN 978-7-03-037947-4

I. ①冻… II. ①郝…②欧… III. ①三江平原-农业生态-生态环境-研究
IV. ①X322.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 135472 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:宣 慧

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 6 月第一次印刷 印张:26

字数:600 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

近年来,农业发展带来的生态与环境问题逐渐引起人类的重视。在规模化农业开发过程中,因过度垦殖和农用化学品过量施用引起的生态环境问题日益突出,农业生产目标与生态环境目标之间的矛盾逐渐显现。我国是农业大国,人口众多、耕地非常有限,大规模的农业开发过程成为我国经济与农业发展的必由之路。如何实现生产与环境共赢、促进农业体系的可持续发展成为了重要研究课题。

冻融区农业开发活动具有其特殊性。在农业垦殖活动中,土壤冻结和融化的循环过程会影响土壤结构及水分含量,进而影响氮磷等营养物质的循环及流失特征,使区域生态、水文及环境过程特征有别于其他地区。大规模农业开发改变了下垫面条件,土地利用迅速转变使区域气候及环境发生了较大改变。针对冻融区农业开发的生态环境问题,系统的研究还非常有限。本书针对冻融农区,从生态环境主体角度,探讨其在大规模农业开发中的变化特征、基本原理及研究方法,是较新的尝试。

三江平原作为我国纬度最高的商品粮生产基地,是研究冻融区农业与生态环境问题的典型地区。在党的十七届三中全会提出“加快落实全国新增千亿斤粮食生产能力建设规划”后,三江平原的农业可持续发展对于保障我国的粮食安全有着举足轻重的作用。研究该地区农业开发过程中的区域生态环境效应,探讨冻融区大规模农业种植带来的生态环境问题,对我国农业系统的健康发展具有重要的理论和现实意义。

新中国成立以后,三江平原大规模农业开发带来了剧烈的土地利用/覆被和景观格局变化,湿地向农田的转变及水旱田转变成为区域下垫面变化的主要特征,昔日“北大荒”已变为今日的“北大仓”,成为我国最大的农垦区。然而,长期大规模的农业开发进程也带来了日益严重的区域生态与环境问题。农业活动改变了环境和水文条件,导致水土流失严重、土壤肥力明显下降;农用化学品的大量施用导致了区域及流域的生态安全危机。如何在大规模的农业发展中保护区域生态环境,促进冻融区农业系统健康稳定,成为实现我国农业可持续发展的关键。

本书针对冻融区规模化农业开发过程,以三江平原作为主要的研究区域,从不同尺度生态环境效应入手,将现场观测、田间及室内实验与模型模拟相结合,探讨了规模化农业开发对区域生态环境的影响。从农业非点源污染发生角度,重点研究了农田氮磷平衡及其优化调整、土壤质量对土地利用变化响应、田间水文特征及氮磷运移等内容;从流域/区域生态环境角度,重点探讨了流域非点源污染效应、农业开发下气温时空变化及全球变暖潜势,并针对区域特点开展了生态安全研究。本书系统地介绍了冻融区农业生态环境的变化特征、基本原理及研究方法,并有针对性地提出了相应控制措施。

全书共包括8章,第1、第2章由郝芳华、欧阳威编写;第3章由王雪蕾、卫新锋、郝芳华编写;第4章由单玉书、来雪慧、郝芳华编写;第5章由陈思杨、欧阳威编写;第6章由欧阳威、宋凯宇、郝芳华编写;第7章由郝芳华、齐莎莎、周晔编写;第8章由来雪慧、郝芳华、

欧阳威编写。全书由欧阳威副教授统稿,由郝芳华教授审定。

本书是作者在对所主持的国家自然科学基金项目[40930740]“三江平原农业活动胁迫下的区域生态环境过程及安全调控研究”的成果进行综合提炼整合基础上完成的。本书成果是研究团队集体智慧的结晶,来源于团队成员踏实、团结的学术作风及活跃的学术思想,更得益于北京师范大学环境学院求实创新的学术氛围。研究过程中得到水利部水利水电规划设计总院、国土资源部土地整理中心的大力协助,保障了研究的顺利进行。黑龙江农垦总局建三江分局八五九农场作为项目的主要实验基地,提供了非常珍贵的历史数据,更在现场考察、样品采集、室内外实验等各方面给予无私的支持与帮助。同时,本书的出版得到了国家自然科学基金委员会的资助。在此一并表示衷心感谢!

农业开发带来的区域生态环境变化非常复杂,本书涉及环境科学、生态学、农业科学和水文学等诸多学科,结合了农业生态环境领域研究的科学前沿和热点问题,可作为高等院校环境科学及相关专业的研究生参考书,也可供研究农业环境问题的技术与管理人员参考阅读。希望我们的研究成果能够推动冻融区农业生态环境系统研究,提升冻融农区生态环境管理水平,并引起社会各界对相关科学问题的关注与探索,为区域的科学管理决策提供依据。在冻融区开展研究难度较大,涉及知识面也更为广泛,并且由于著者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 冻融区农业研究意义	1
1.2 冻融区农业研究特色	3
1.2.1 中高纬温带-冻融条件下的生态水文过程研究	3
1.2.2 冻融农灌区非点源污染模拟与控制研究	4
1.2.3 农业区域生态安全研究	5
1.3 农田国内外研究进展	6
1.3.1 农田土壤氮磷平衡及其优化调整	6
1.3.2 土地利用变化对土壤质量的影响	11
1.3.3 田间水文过程及氮磷迁移	14
1.3.4 农业非点源污染研究	20
1.3.5 全球变暖潜势及温室气体排放研究	22
1.3.6 生态安全研究	26
第 2 章 三江平原冻融农区规模化农业开发	29
2.1 研究区概况	29
2.2 三江平原开发的历史进程	30
2.3 三江平原规模化农业开发	32
2.4 三江平原规模化农业开发对环境的影响	33
2.4.1 三江平原的传统农业开发模式	34
2.4.2 三江平原农业开发对区域环境的影响	35
2.5 三江平原农业政策	36
第 3 章 农田土壤氮磷平衡及其优化调整	38
3.1 土壤氮磷平衡核算方法构建	38
3.1.1 氮磷平衡	38
3.1.2 氮磷输入项	39
3.1.3 氮磷输出项	41
3.1.4 吸收输入比和氮磷吸收模拟方程	47
3.2 农田土壤氮磷平衡核算结果及其验证分析	49
3.2.1 1993~2008 年三江平原土壤氮磷平衡核算结果	49
3.2.2 土壤氮磷平衡核算结果对比分析	52
3.2.3 土壤氮磷平衡核算结果的监测数据验证分析	55

3.3	三江平原土壤氮磷失衡原因分析及其优化调整	58
3.3.1	氮磷失衡的原因分析	58
3.3.2	土壤氮磷调整理论依据及其方案	60
3.3.3	不确定性分析	64
3.4	农场模式和家庭承包模式对区域土壤氮磷平衡的影响	66
3.4.1	农场模式和家庭模式的土壤氮磷平衡差异	66
3.4.2	农场模式和家庭模式的吸收输入比和氮、磷比例特征差异	70
3.4.3	农场模式和家庭模式的土壤氮磷输入输出响应的差异	72
3.4.4	氮磷输入调整的差异和重点	75
3.4.5	误差分析	77
3.4.6	对区域农业和环境管理的启示	77
第4章	土地利用变化对土壤质量的影响	78
4.1	研究区概况	78
4.1.1	自然地理概况	78
4.1.2	农场耕作制度下的农业垦殖过程	80
4.2	农场农业系统土壤养分空间分异特征	82
4.2.1	土壤养分描述性统计	83
4.2.2	土壤养分指标相关性分析	84
4.2.3	土壤养分空间分布特征	86
4.2.4	土壤养分对土地利用变化响应	89
4.3	长期农场制耕作中土壤氮磷时空变异	92
4.3.1	土壤氮磷全量 1981~2011 年时空变异分析	93
4.3.2	土壤全氮全磷对土地利用变化响应	96
4.3.3	土壤碱解氮及速效磷时空变异分析	98
4.4	不同种植模式下土壤碳库演变模拟	101
4.4.1	CENTURY 模型简介	102
4.4.2	模型主要参数获取	106
4.4.3	土壤碳库自然累积模拟及校准	109
4.4.4	不同种植模式下土壤碳库演变模拟	111
4.4.5	未来农业管理情景下土壤碳库变化预测	115
4.5	长期耕作对土壤金属元素分布特征影响	119
4.5.1	研究区金属元素空间分布及累积特征	119
4.5.2	主成分分析结果	124
4.5.3	金属来源分析	126
4.6	土壤质量空间变异及农场耕作管理建议	128
4.6.1	土壤肥力质量空间变异	129
4.6.2	土壤环境质量空间变异	133
4.6.3	土壤质量综合评价	137

4.6.4 农场耕作制度下的土壤施肥及管理建议	138
4.7 土地利用变化与土壤碳氮转化的研究	141
4.7.1 土地利用变化与土壤呼吸速率	141
4.7.2 土壤呼吸速率的响应研究	153
4.7.3 土地利用变化与土壤硝化速率	156
4.7.4 材料与方法	157
4.7.5 结果与分析	158
第5章 冻融农区田间水文特征及氮磷迁移研究	167
5.1 作物生长季水田和旱田土壤水分布特征	167
5.1.1 材料和方法	167
5.1.2 试验结果与分析	173
5.2 作物生长季水田和旱田土壤水对氮磷的迁移特征	179
5.2.1 材料和方法	179
5.2.2 试验结果与分析	181
5.3 作物生长季水田和旱田氮磷流失潜能	199
5.3.1 材料和方法	199
5.3.2 试验结果与分析	202
5.4 基于SWAP的土壤-水分-作物系统水文特征	211
5.4.1 材料和方法	211
5.4.2 试验结果与分析	217
5.5 冻融条件下水田和旱田的水文特征	225
5.5.1 材料和方法	225
5.5.2 试验结果与分析	228
5.6 基于作物水分响应模型的水分优化	239
5.6.1 材料和方法	239
5.6.2 试验结果与分析	242
第6章 流域尺度农业活动胁迫下的非点源污染效应研究	250
6.1 挠力河流域概况	250
6.2 挠力河流域土地利用/土地覆盖变化	251
6.2.1 数据的选取和处理	251
6.2.2 土地利用变化分析	253
6.3 挠力河流域景观格局演变分析	264
6.3.1 景观类型的划分与景观指数的选取	264
6.3.2 挠力河流域景观格局演变分析	266
6.4 挠力河流域SWAT模型模拟	270
6.4.1 挠力河流域SWAT模型子流域及HRU的划分	270
6.4.2 SWAT模型参数敏感性分析	270
6.4.3 SWAT模型的参数率定和验证	272

6.5	挠力河流域农业非点源污染时空特征分析	275
6.5.1	挠力河流域农业非点源污染负荷估算	276
6.5.2	挠力河流域农业非点源污染负荷时间变化特征	279
6.5.3	挠力河流域农业非点源污染负荷空间分布特征	281
6.6	挠力河流域农业非点源负荷对人类开发活动的响应	289
6.6.1	挠力河流域农业非点源负荷对土地利用变化的响应	289
6.6.2	挠力河流域农业非点源污染负荷与景观格局相关分析	291
第7章	农业开发下气温时空变化以及对全球变暖潜势的影响	304
7.1	农业开发下气温时空变化研究	304
7.1.1	气温空间插值模型	304
7.1.2	1976年、2001年和2008年生长季气温分布	308
7.1.3	气温时空结构特征分析	312
7.2	三江平原典型农区生长季气温与土地利用变化的关系	317
7.2.1	农区气温变化特征分析	317
7.2.2	2001~2008年间的土地利用变化	322
7.2.3	农业开发对农区气候的影响	323
7.2.4	植被NDVI对区域气候的响应	329
7.3	三江平原土壤温湿度变化特征及气候响应	334
7.3.1	模型验证	334
7.3.2	土壤温度变化特征	335
7.3.3	土壤湿度变化特征	338
7.3.4	土壤温度、湿度对土壤有机碳矿化的长期影响	339
7.4	三江平原1964~2010年SOC和GWP的长期动态	340
7.4.1	模型验证	340
7.4.2	农田耕作模式变化对SOC的影响	343
7.4.3	农田耕作模式变化对GWP的影响	344
7.5	农田管理措施对SOC和GWP长期影响预测及优化	347
7.5.1	情景设置	347
7.5.2	SOC对不同农田管理措施的响应	348
7.6	GWP对不同农田管理措施的响应	350
7.7	作物产量对不同农田管理措施的响应	353
第8章	农业开发胁迫下的区域生态安全研究	354
8.1	土地利用变化对生态系统服务价值的影响	354
8.1.1	研究方法	354
8.1.2	结果与分析	356
8.2	三江平原生态安全评价研究	361
8.2.1	生态安全评价的研究框架	361
8.2.2	生态安全评价指标体系的构建	361

8.2.3 数据来源和处理	365
8.2.4 权重的确定	365
8.2.5 生态安全指数	366
8.2.6 结果与分析	367
8.3 三江平原生态安全预警与调控研究	369
8.3.1 灰色预测模型 GM(1,1)	369
8.3.2 生态安全预警与分析	370
8.3.3 生态安全预警调控研究	375
8.3.4 生态安全对策	378
参考文献	380

第 1 章 绪 论

大规模农业开发所引发的生态与环境问题已在世界范围内引起高度重视。冻融农区受气候及自然环境的影响,其生态环境具有特殊性。本书以三江平原为研究对象,以农业发展扩张过程为背景,从田间、农场、流域及区域尺度探讨了农业开发在冻融农区所引起的生态环境效应,主要内容包括规模化农业开发及农业政策、农田土壤氮磷平衡及其优化调整、土地利用变化对土壤质量的影响、田间水文特征及氮磷运移研究、流域尺度农业活动胁迫下的非点源污染效应研究、农田管理措施对全球变暖潜势的影响及农业开发胁迫下的区域生态安全研究等。

1.1 冻融区农业研究意义

由于我国人口众多而耕地有限,单位面积的土地开发强度大,因过度垦殖和农用化学品过量施用所引起的生态与环境问题尤为突出。

粮食安全事关国家前途,为满足巨大的粮食需求,党的十七届三中全会提出,要“加快落实全国新增千亿斤粮食生产能力建设规划,以县为单位,集中投入、整体开发”。“全国大粮仓,拜托黑龙江”,是温家宝总理对黑龙江粮食生产提出的殷切希望,而黑龙江的粮食增产潜力集中在三江平原。为配合国家新增千亿斤粮食计划而制定的《黑龙江省千亿斤粮食生产能力战略工程规划》把加快推进水利化、农机化、水稻大棚育秧、科技和社会服务支撑、中低产田改造、耕地保护与土地整理等专项工程建设作为主要手段,并计划到 2015 年在三江平原地区续建共 30 个大中型灌区,新增水田灌溉面积为 2780.1km²。在区域可垦面积有限、土地开发强度较高的局面下,现有的农业开发模式把提高化学品投入、改善灌溉条件等作为其主要手段,这将进一步加大对三江平原黑土资源的开发力度,改变区域生态系统结构,从而引发一系列生态与环境问题。

位于中高纬度温带地区的三江平原,自 20 世纪 50 年代以来已经经历了 4 次开发高潮:第一次是 1949~1960 年,12 年间开垦耕地 7270km²,耕地总面积由建国前的 7870km²增至 15 140km²;第二次从 20 世纪 60 年代初至 1977 年,“开垦北大荒”运动使全区耕地面积迅速增至 21 200km²;第三次是 1978~1985 年,在此期间区内耕地迅猛增至 29 730km²;第四次是从 20 世纪 80 年代中期到 2000 年,区域通过农业综合开发实行“以稻治涝”,新开垦耕地 17 330km²,使全区耕地总面积达到 47 330km²,土地垦殖率增至 43.7%。这 4 次开发均以增加粮食产量为目的,通过耕地开垦对土地进行大规模改造,在灌区内形成生态开发、经济开发和传统开发等多种开发模式。大量的沼泽湿地经排水开地、毁林毁草种粮等耕作措施被改造为良田,在灌区内形成错综复杂的廊道网络系统,构成了以人工灌溉为基础的独立地域单元,形成了自然生态和人工生态单元相互竞争的局面。

区域农业开发通过水资源的人工配置、土地利用结构的改变和人工植被的扩展打破了区域自然生态系统的植被演替过程,改变了区域生态系统的结构和功能。此外,大规模垦荒使区域下垫面发生了明显的阶段性变化。农业开发所形成的灌区是一个完整的自然地理单元,下垫面条件是影响灌区生态系统的决定因素,影响着水量平衡,进而影响水文循环过程及土壤中物质能量的转化与迁移过程,最终制约着以水、土为依托的生态系统演变。三江平原有世界上难得的天然湿地,在生物多样性保护方面具有重要地位和作用,然而该地区的历次掠夺式开发已使其自然生态系统受到巨大影响。据调查,区域天然湿地面积因大规模的垦殖已从 1932 年的 54 300km² 下降到 2000 年的 9069km²,整体功能退化,自然灾害频发;伴随农业开发,原始植被被破坏,区域生态系统结构趋于单一化,原有的湿地-草地-森林结构被打破,湿地景观破碎化并为农田包围,一些珍稀野生动植物种群数量逐渐减少,濒临灭绝;由于农业开垦和水文条件的改变,加之黑土土壤疏松、抗蚀能力弱,区内水土流失的发生已不局限于坡地,平原土地退化状况也十分严重,并出现不同程度的次生盐渍化和土壤僵化现象。春季土壤风蚀严重、土壤理化性质恶化、肥力下降,三江平原珍贵黑土资源的土层平均厚度与初垦时的 60~100cm 相比,目前仅为 16~72cm,并且还在以平均每年 3~3.5mm 的速度流失,土壤有机质(腐殖质)含量也已由 12% 下降到 1%~2%,对黑土资源的保护已经到了刻不容缓的地步。农业垦殖不仅引发一系列生态与环境问题,而且农药化肥投入和耕作方式改变也打破了三江平原在长期自然地理过程中所形成的物质平衡,加快了土壤养分在土水界面的迁移速率,例如,以氮(N)、磷(P)为主的营养物质进入水体,带来了严重的环境污染问题,区内长期历史条件下形成的优质水资源遭受严重威胁。近年来,因旱地改为水田需要,区域内井灌水稻发展迅速,地下水位快速下降。根据黑龙江垦区 1997~2002 年观测资料,地下水位已下降 1~3m;区内河流水质在 20 世纪 80 年代初期大多优于Ⅲ类,而目前高锰酸盐指数、氨氮、挥发酚和总铁等指标严重超标,部分河流枯水期水质甚至为劣Ⅴ类,水环境问题日益凸显。

上述生态与环境问题的核心在于:在以耕地垦殖为主要形式的大规模农业开发胁迫下,区域原有的景观生态结构被改变。因季节性冻土形成隔水板,加上地势平坦致使泄水不畅、高水位久不消退而汛期较长的区域径流过程,在灌排控制和治涝工程作用下发生了剧烈改变。区域生态水文过程的改变破坏了长期历史条件下形成的土壤养分平衡,加快了营养物质输移过程,是三江平原土地退化的主要原因。而以 N、P 为代表的污染物在流域内的迁移过程是区域水环境恶化的源头,区域生态系统在水和土两个基本要素的胁迫下发生演变,进而威胁区域生态环境安全。围绕三江平原的生态与环境问题,近年来在国家自然科学基金的支持下,先后开展了土壤侵蚀机理、农业结构演变、排水渠网对湿地生态系统影响、农田水分养分循环与生产力关系等方面的研究,这些工作为认识区域生态系统中水土间的作用关系、土壤养分的流失规律等方面积累了丰富的经验。然而,已有的研究主要以提高农业生产力为目的,多从水资源配置和水土流失两方面着手,以湿地、农田、沟渠等为主要研究单元,分析土壤养分的迁移及其空间分布。尚不能揭示不同类型农业开发活动引发的生态环境效应,进而须解决区域生态功能退化、水环境质量下降等方面的问题。值得关注的是,因缺乏生态景观单元物质循环与区域生态水文过程耦合研究,以及从宏观层面上研究自然过程和人类活动对生态水文过程的作用机制,从而探讨农业活动

与生态环境演变的响应,所以难以掌握人工生态单元改变与自然生态单元变化间的耦合关系。如何在深刻认识中高纬温带地区自然过程和农业活动对区域生态水文过程作用机理的基础上,把握农业活动对区域生态和环境的影响,进而实现对区域生态安全的调控,是解决三江平原生态与环境问题的关键。

1.2 冻融区农业研究特色

1.2.1 中高纬温带-冻融条件下的生态水文过程研究

季节性融雪是温带地区生态水文过程中重要的内容,特别是在中高纬度地区,冻土的渗透性是其中重要的因素。前苏联、加拿大、美国和北欧等国家和地区的学者通过模拟冻土影响,分析不同冻结深度对下渗的影响,提出冻结指数等指标来识别土壤状况,并围绕风、地形和植被等要素,分析其水文循环和径流过程(Komarov and Makarova, 1973)。但从系统的观点看,早期研究局限于对小尺度和单个水文系统研究,并未考虑区域尺度下生态水文过程。随着对系统间物质与能量交换认识不断深化,人们认识到水从一个系统向另外一个系统过渡的界面过程最能有效反映开放系统间的物质与能量交换信息,因此界面过程被视为水循环研究的关键问题(刘昌明,1994)。

除对界面过程的研究外,对于界面本身能量与物质运移规律的研究也日益受到人们的重视。由于全球变化、社会经济发展,水资源问题越来越突出,对陆地水循环演化格局、过程和机理研究备受挑战。其中,环境变化下的水文循环及其时空演化规律研究,是国内外地学领域所积极鼓励的创新研究课题(夏军,2002)。结合土地利用/土地覆被变化与陆地碳循环过程的生态水文研究是一个新的交叉方向,人类活动对生态水文过程的影响也是一个热点问题。

以水文过程、生态过程和生物功能间关系为对象的生态水文学(ecohydrology)在这一时期得以迅速发展(赵文智和程国栋,2008)。其早期的核心是流域水文过程变化下的生态系统过程响应,重在分析流域水利工程措施是如何作用和影响流域内的生态系统的(黄奕龙等,2003),研究发现片面强调河流生态系统中某一种群或生境的保护并不利于河流系统的健康。因此,自20世纪90年代开始,相关学者开始探讨构成生态系统完整性的内在机制——生态水文联系。其中,以全球变化和人类活动共同作用下的水文过程变化及其水资源的时空再分配对全球淡水生态系统的影响,人类由此从淡水生态系统中丧失的生态服务功能及其未来变化趋势,以及土水界面间物质与能量传输与变化及其对陆地生态系统的影响研究尤为重要(王根绪等,2005)。

农业灌溉作为主要的农业活动之一,其对生态水文过程的影响直接而且复杂。在中高纬度地区,特别是三江平原,因其地势平坦,形成了沼泽与沼泽化草甸大面积连续分布、水系交织成网、小型湖泊星罗棋布、流域边界与灌区边界不统一的现状,区内水文循环包括从田间到流域的多尺度层次,其界面过程涵盖农田到湿地、湿地到河道等多种类型,而有关三江平原灌区的生态水文过程研究却鲜有报道。农业灌区水平衡机制是极其复杂的动态过程,具有很强的时空变异性,因此,部分研究者尝试在农业灌区使用流域水文模型

分析生态水文过程。但大多数流域水文模型更适用于自然流域,因此在现有条件下,大型农业灌区直接套用流域水文模型仍然存在很大的困难。其原因在于传统的流域水文模型把降水-产汇流分析作为核心任务,而农业灌区的自然-人工复合型生态水文过程体系与天然流域存在很大的差别,尤其对于三江平原地区,季节性冻土常在降水未来得及排出时就被冻结,从而形成隔水板,造成地表积水和雪水不能下渗,这与主要由降水所形成径流的水文过程存在很大差异,加之渠系和田间工程还可能形成与天然流域相反的逆汇流过程。当前绝大多数农业灌区的资料水平还远远满足不了建模数据需求,这也在一定程度上阻碍了农业灌区水文模型的发展。在研究方法上,一些干旱和半干旱地区灌区水文循环研究可以提供借鉴和参考(郝芳华等,2008b)。杨胜天和郝芳华等(2006b)构建了 Eco-HAT 框架,并应用于我国的不同地区,且该模型在流域尺度上表现出了很好的稳定性。在上述基础上,笔者在冻融农业区开展实验及模拟研究,探讨了中高纬温带-冻融条件下的生态水文过程。

1.2.2 冻融农灌区非点源污染模拟与控制研究

农业活动导致的水体污染及富营养化现象是当今世界亟待解决的难题之一。近年来,农业非点源污染的研究已经逐渐成为水污染控制研究的重点。大量研究表明,农业生产对非点源污染的贡献显著,并对水质恶化起到了主要的推动作用,这是因为水体富营养化过程与农业生产的氮磷流失有着密切关系。调查显示,在农业生产中,化肥的利用率仅为 35%~40%,大部分残留在土壤、水体中,其主要成分氮(N)、磷(P)随着农业灌溉用水和地表径流进入河流、湖泊和水库,成为富营养化的重要污染源。农药利用率也仅为 30%左右,70%的农药随灌溉水、降水进入农业生产环境中,是流域另一污染源(王春生等,2007)。农田径流是我国 64%受污染河流和 57%受污染湖泊的主要污染源(全为民和严力蛟,2002)。

农业污染物迁移转化过程按照发生途径或介质可分为地表溶出过程和土壤溶质渗漏过程。地表溶出过程是表层土壤与地表径流的相互作用过程,受径流期间水文循环、土壤性质、土地利用和污染物存在形态等多重因素的影响(Granlund et al., 2000; Whitehead et al., 2002)。大量研究表明,降雨强度、耕作状况、作物生长季节、气象因子、土地利用、表层土壤污染物含量、地形坡度及施肥与污染物随地表径流的流失密切相关(Holloway et al., 2001)。土壤溶质渗漏过程是指污染物在降雨或灌溉作用下以溶解态的形式向下层土壤的垂向迁移,是土壤中溶质在对流、扩散和化学反应耦合作用下的运移过程。这些下渗的溶质(污染物)不但对所在区域的地下水水质构成了潜在威胁,而且影响着与所在区域地下水有水文循环关系的其他水体。土壤特性、作物生长、土壤微生物及灌溉模式和肥料施用状况是影响土壤渗漏的主要因素(Refsgaard et al., 1999)。

农业区非点源污染研究对象主要包括施入区内的化肥等植物养分、农药、重金属及盐类等,其中 N、P 是研究较多的两种营养元素。磷元素易于被土壤吸附不易淋失,且一般施入量不大,因此使氮元素成为农业非点源污染研究的主要对象,在三江平原湿地和农田均有相关研究(陆琦等,2007)。

在农业灌区,灌溉模式改变了其天然水循环路径和过程,使残留在土壤中的污染物易

于流失,进入水环境的概率大大增加,因此,灌排模式对农业灌区的非点源污染影响巨大(Kengni et al., 1994)。但是有关这方面的研究成果较少。Hadas 等(1999)研究了不同灌溉方式下土壤养分流失情况,发现一般按下列顺序递增:喷灌、淹灌、沟灌。相对于传统的沟灌,波涌灌溉和滴灌可以在不同程度上节约用水,提高化肥利用率(Schepers et al., 1995)。Granlund 等(2000)发现,少量多次的滴灌施肥灌溉方式可以减少氮素流失对环境的污染。郝芳华等(2008a)在内蒙古灌区以试验为基础,数学模拟为手段,研究了不同灌水方式下水分和溶质运动规律。本书以冻融农灌区为研究对象,充分考虑其水文特征及排灌方式,开展非点源污染模拟与控制研究,在识别污染负荷时空分布特征基础上,探讨有效的控制措施。

1.2.3 农业区域生态安全研究

生态安全研究的基础是生态风险评价和管理,早期的研究集中在有毒物质所引起的风险上,侧重在个体和种群水平上的生态毒理学,而针对区域生态环境问题的生态学研究相对较少。目前,生态安全研究开始注重生态系统及其以上水平,力求以宏观生态学理论为指导,进行区域生态风险的综合评价,强调格局与过程安全及整体集成,并着重实施基于功能过程的生态系统管理,从更加宏观、系统的角度寻求解决区域生态环境问题的对策,并通过区域生态安全格局的规划设计具体实施(王耕等,2007)。

在研究内容上,分析怎样的人类活动才不会造成环境退化而威胁人类自身的生存安全。一方面从区域入手,分析生态系统提供给人类生存的基本条件,定量评价这些条件逆转变对人类生存的威胁;另一方面从全球变化入手,研究宏观环境变化给人类生存环境带来的威胁。在研究方法上,探索微观取样分析与宏观监测评价相结合,应用现代空间信息技术手段,进行区域空间分析,针对不同的研究对象建立一般性和特殊性的生态安全模型和科学方法,包括生态安全评价指标体系、评价和验证方法。在实践应用方面,研究建立经过实践检验的系统模型,如以微观样本数据与宏观监测信息支持的、相互反馈修正的预警决策支持模型,探索区域生态安全底线预警指标,为人类行为决策提供科学依据。

农业活动通过增加化学品输入和改变区域土地利用结构从而为区域生态系统带来风险,改变区域生态格局与过程。如何评价区域生态系统在这种胁迫下的变化,以及利用监测和预警来有效地指导生态系统管理是当前区域生态安全研究的一个趋势和方向。对生态系统变化的标志可以通过生态系统的健康、完整性和可持续性来反映,许多学者从系统论、系统自组织理论、生态系统能量原理、生态系统功能等方面开展相关研究。肖笃宁等(2002)认为,生态安全研究在选择生态终点(ecological end points)时,除了要考虑关键性的生态系统要素外,更要从系统的功能出发,选择那些具有重要生态意义的受胁迫的生态过程(如流域中的水文过程)。

在人类活动占优势的景观(如灌区等)内,不同土地利用方式和强度产生的生态影响具有区域性和累积性特征,并可直观地反映在生态系统的组成和结构上。因此,生态安全分析可从区域生态系统的结构出发,综合评估各种潜在生态影响类型及其累积性后果。一些学者从评价指标体系构建和评价指标值的确定两个方面开展生态安全评价。在该领域压力-状态-响应(PSR)指标框架以及由此扩展的驱动力-状态-响应(DSR)指标框架框

架和驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)指标框架,因其能够反映生态系统对人类活动的响应关系,从而获得了广泛的应用。

在日益剧烈的人类活动影响下,区域生态环境系统表现出不同于自然条件下的演变规律,特别是对开发历史较短,且正处于急剧变化时期的区域。农业活动是该区域人类活动作用于生态水文过程的主要方式。已有研究或是仅关注田间尺度土壤养分输移,或是把视线局限于农业生产能力水平研究,或是侧重湿地生态效应的某一方面等,其最大问题在于将生态与环境问题割裂开来考虑,不能深刻阐释区域生态与环境演变的动力机制。本书将针对冻融农区,用统一的区域生态水文过程揭示区域独特的生态和环境在人类活动胁迫下的响应机制,并开展区域生态安全研究,从而指导农业开发过程,减少其对生态系统结构功能的破坏,减轻农业活动对环境造成的污染。

1.3 农田国内外研究进展

1.3.1 农田土壤氮磷平衡及其优化调整

1. 农田土壤氮磷平衡

用养分平衡来评价含养分流系统已经有 100 多年的历史,且当下仍然被广泛应用。国外有关农田土壤氮磷平衡的研究已经有较为成熟的体系,建立的氮磷平衡模型主要有三种(图 1-1):

(1) 农场门平衡模型或黑箱模型。该模型将农场看做养分存储系统,所有养分的输入输出都通过农场的“农场门”这个假定的端口进行养分流动的核算,使用原始农业统计数据。该模型的代表便是荷兰的 MINAS 养分管理系统(Oenema et al., 1998)。

(2) 土壤表观氮平衡模型。该模型将根层深度的土壤看做氮存储系统,输入量包括化肥、有机肥、生物固氮、大气沉降等,输出量主要是作物收获后带走的氮量,使用原始农业统计数据和现场估测数据。该模型的代表便是 OECD 的土壤表观氮平衡模型(Secretariat, 2001)。

(3) 土壤系统养分平衡模型。该模型也将土壤系统视做养分存储系统,对土壤中养分的输入输出划分较土壤表观养分平衡模型更为仔细,同时还考虑了养分在土壤内部的循环转化,多用在科学研究中来确定盈余养分的迁移转化,使用农业统计数据、现场估测数据和实验室模拟实验数据。该系统相对前两个更为复杂,研究者依据各自研究的实际情况确定输入输出项,且参数选取和使用策略多、不确定性大,故无统一的核算体系。

这些模型在国外多被用来评价氮磷平衡对区域地下水和地表水的影响。如 Oenema 等(1998)使用氮的农场门平衡模型研究了荷兰化肥减量化政策对国家地下水带来的影响,发现该政策使荷兰地下水氮盈余量减少。Bouwman 等(2005)研究了 1970~2030 年全球氮平衡状态,发现高效的氮肥利用率跟土壤表观氮亏损有关,发展中国家由氮亏损状态转为氮盈余状态,未来 30 年氮肥使用强度将增大,这将给地表水和地下水带来更大的威胁。同时,人类关注的影响因素开始扩大,能够考察社会经济活动对土壤氮磷平衡影响的模型开始建立。例如,Dijk 等(1996)介绍了一种养分平衡的模型(nutrient flow model,

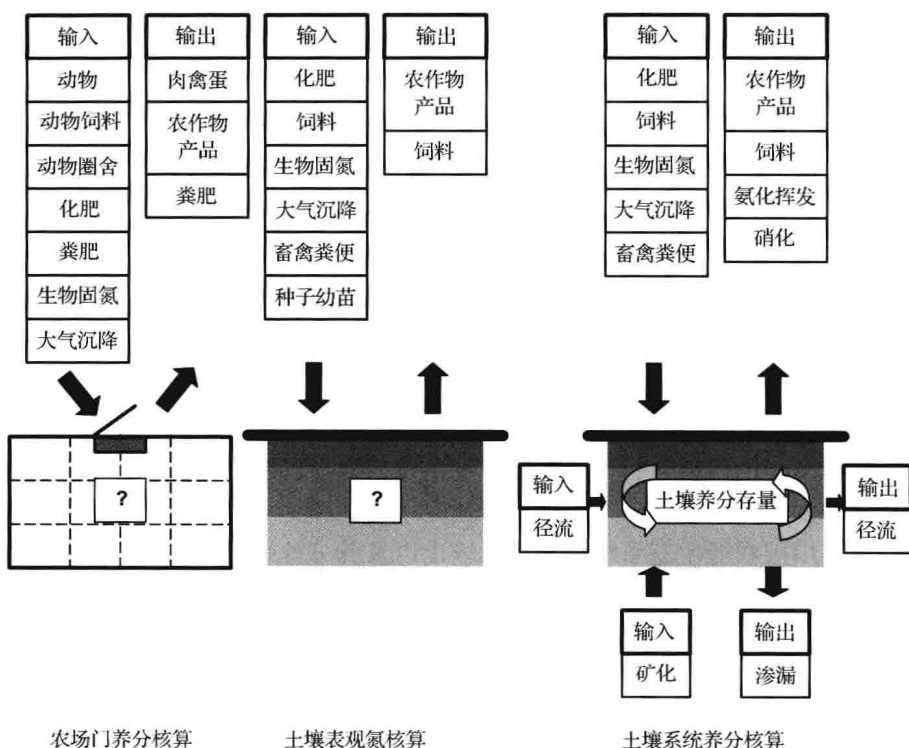


图 1-1 养分平衡核算体系示意图

NFM), 可用来研究国家、区域和田间尺度的养分流, 同时可考察经济活动对养分循环带来的影响。

随着研究的深入, 学者对三种模型的认识也开始更加客观、全面, 特别是土壤氮磷平衡核算中较大的不确定性得到重视。例如, Oenema 等(2003)讨论了养分平衡的计算方法和不确定性, 三个方法的不确定性依次增加, 不确定性来源于认知偏差、采样偏差和误差、测试偏差和误差、数据处理偏差和欺诈行为。另外, 水稻田由于水土共存的特殊性使得反硝化量特别大, 因此受到了特别的关注。例如, Yoshikawa 和 Shiozawa(2008)对热带爪哇岛以水稻为主的种植结构地区氮平衡进行了研究, 发现氮的反硝化输出为很重要的一项氮输出源。

我国早期(20 世纪 90 年代)对农田氮磷平衡的研究则多关注于农田化肥的利用效率, 多从提高农业生产力的角度进行研究。例如, 严红等(1996)对黑龙江农田生态系统营养平衡状态的研究发现, 绝大多数地区氮、钾亏损, 磷盈余, 故应针对本地实际情况来增减施肥的种类。但此时也有学者将氮平衡概念应用到氮对地下水污染的研究中, 如梅成瑞(1991)初步研究了宁夏平原农田氮素平衡和地下水氮污染, 估算出该地区氮肥淋溶率在 16% 左右。

进入 21 世纪以来, 国内非点源污染的问题日益得到关注, 我国学者开始将农田氮磷平衡的研究拓展到氮磷流失带来的非点源污染问题。例如, 彭奎等(2004)以四川盆地盐亭县林山乡为对象研究了农林复合系统氮平衡和非点源污染特征, 发现化肥施用的增加