

Farming Dry

贺涛
管伟
栾震宇 / 著

高度集约化
旱作农田
氮污染特征及入河环境影响

GAODU JIYUEHUA HANZUO
NONGTIAN DANWURAN TEZHENG
JI RUHE HUANJING YINGXIANG

中国环境出版集团

高度集约化 旱作农田氮污染特征 (及) 入河环境影响

■ 贺涛 管伟 栾震宇 / 著

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

高度集约化旱作农田氮污染特征及入河环境影响 / 贺涛, 管伟, 栾震宇著.
—北京: 中国环境出版集团, 2019.11

ISBN 978-7-5111-4184-2

I. ①高… II. ①贺… ②管… ③栾… III. ①旱作农业—氮—农田污染—研究 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 267752 号

出版人 武德凯
策划编辑 季苏园
责任编辑 孙 莉
责任校对 任 丽
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112736 (第五分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2019 年 11 月第 1 版
印 次 2019 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 8.5
字 数 144 千字
定 价 34.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本集团更换。

中国环境出版集团郑重承诺:

中国环境出版集团合作的印刷单位、材料单位均具有中国环境标志产品认证;
中国环境出版集团所有图书“禁塑”。

编委会

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 贺 涛 | 管 伟 | 栾震宇 | 魏东洋 | 吴英海 |
| 蒋晓璐 | 李顺义 | 刘碧波 | 林冬红 | 贾 燕 |
| 曾思远 | 李 浩 | 桑燕鸿 | 王 信 | 朱宏伟 |
| 钟志强 | 李泰儒 | 郭志鹏 | 刘帅虎 | 罗赵慧 |
| 王 钉 | 陈 琛 | 安 坤 | 李 宇 | 王志刚 |

前言

Preface

在我国高度集约化旱作农业区，为保障粮食高产、稳产，化肥长期、大量施用，为促进农民增收作出了重要贡献，但是由于施肥效率不高造成了肥料资源浪费，也带来了相应的环境污染。研究高度集约化旱作农田氮污染特征，识别氮污染来源，并评估其对水体的环境影响是改善纳污水体环境质量的重要依据，对于区域水环境与水生态保护具有重要意义。

本书以河南省清潞河内子流域——石梁河流域为典型高度集约化旱作农业区研究对象，在对农田氮素施用与流失、小流域环境状况调查与评价的基础上，建立了小流域氮收支平衡模型，通过实验分析、现场调查、资料收集和文献分析等方法，研究小流域内氮素投入（化学氮肥、大气沉降、生物固氮、农业产品进口等）和氮素支出（氨挥发、反硝化和储存、水体氮输出、农业产品出口等），明确氮素的来源去向、过程变化、影响因素及其环境效应，探索氮素流失的控制途径。

本书共分为6章。第1章介绍了本书的研究背景、意义、目标、内容、方法和技术路线；第2章对典型高度集约化旱作农业区的氮素施用与流失、土壤氮素状况、小流域水环境现状进行了调查与评价；第3章综述了相关研究的国内外进展，包括农田氮素流失过程、农田氮素循环与收支平衡；第4章分析了典型旱作农田区域的氮素收支特征；第5章在前面的基础上，计算了水体氮来源负荷，评价了农田氮流失对水体（入河）环境的影响；第6章为结论与展望，归纳本研究的创新点，说明不足之处。

本书是国家重点研发计划子课题(编号:2016YFC0400703-3)、广东省科技计划(编号:2017A020216003)、中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号:PM-zx097-201602-059)、国家科技重大专项子课题(编号:2015ZX07204-002-03)等研究成果的总结。研究和专著撰写过程中还得到水利部南京水利科学研究院、中国林业科学研究院热带林业研究所、郑州大学、河南工业大学、许昌市生态环境局、河南远东生物工程有限公司、南京信息工程大学、西安科技大学、兰州理工大学等单位的帮助,在此一并感谢。

由于作者学术水平有限,书中难免存在许多不足之处,我们殷切期望学术界同行和广大读者不吝给予批评指正,以促进水体氮污染影响理论和实践的发展。

目录

Contents

| | |
|-----------------------------------|----------|
| 1 总论 | 1 |
| 1.1 研究背景和意义 | 2 |
| 1.2 研究目标和内容 | 3 |
| 1.2.1 研究目标 | 3 |
| 1.2.2 研究内容 | 3 |
| 1.3 研究方法和技术路线 | 4 |
| 2 高度集约化农田氮素施用与流失现状调查 | 7 |
| 2.1 调查方法和内容 | 8 |
| 2.1.1 调查对象 | 8 |
| 2.1.2 调查方法 | 9 |
| 2.1.3 调查内容 | 9 |
| 2.2 农田氮肥施用现状 | 10 |
| 2.2.1 研究流域气候及气象因素 | 10 |
| 2.2.2 近5年农业种植状况调查 | 10 |
| 2.2.3 研究流域农田氮素施用情况 | 12 |
| 2.2.4 氮肥利用率情况 | 15 |
| 2.3 土壤氮素调查结果 | 18 |
| 2.3.1 调查地点 | 18 |
| 2.3.2 样品采集与分析 | 18 |
| 2.3.3 调查结果分析 | 19 |

| | | |
|----------|------------------------------|-----------|
| 2.4 | 小流域水环境现状调查与评价 | 22 |
| 2.4.1 | 地表水环境状况调查 | 22 |
| 2.4.2 | 地下水环境状况调查 | 27 |
| 3 | 国内外相关研究进展综述 | 31 |
| 3.1 | 农田氮素损失与水污染过程 | 32 |
| 3.1.1 | 农田氮素损失与污染来源 | 32 |
| 3.1.2 | 农田氮素对水环境污染途径 | 33 |
| 3.2 | 农田氮素循环与收支平衡 | 37 |
| 3.2.1 | 氮的生物地球化学循环 | 37 |
| 3.2.2 | 氮素收支项目的界定 | 38 |
| 3.2.3 | 主要氮素投入、支出项的研究 | 40 |
| 3.2.4 | 氮收支不确定性分析 | 46 |
| 3.3 | 存在的问题与不足 | 46 |
| 4 | 高度集约化旱作农田氮素收支特征 | 49 |
| 4.1 | 研究氮收支的背景与意义 | 50 |
| 4.1.1 | 第三大全球环境问题 | 51 |
| 4.1.2 | 全球变化下区域发展决策依据 | 51 |
| 4.1.3 | 典型区域水环境安全保障科学依据 | 52 |
| 4.2 | 农田氮素收支与去向 | 53 |
| 4.2.1 | 我国农田氮素收支情况 | 53 |
| 4.2.2 | 与氮收支相关的农业活动调查与实验 | 56 |
| 4.3 | 氮收支平衡分析模型 | 56 |
| 4.3.1 | 氮投入 | 58 |

| | | |
|----------|-------------------------------|-----------|
| 4.3.2 | 氮支出 | 65 |
| 4.3.3 | 不确定性分析 | 76 |
| 4.4 | 结果与分析 | 76 |
| 4.4.1 | 氮素投入 | 76 |
| 4.4.2 | 氮素支出 | 89 |
| 4.4.3 | 流域氮收支平衡 | 91 |
| 4.5 | 本章小结 | 92 |
| 5 | 高度集约化农田氮污染入河环境影响 | 95 |
| 5.1 | 石梁河流域氮收支特征 | 96 |
| 5.1.1 | 流域氮收支途径分析 | 96 |
| 5.1.2 | 流域盈余氮素去向 | 99 |
| 5.1.3 | 地表水氮输出量低的潜在原因 | 101 |
| 5.2 | 水体氮来源负荷 | 102 |
| 5.2.1 | 农村污水入河量 | 102 |
| 5.2.2 | 水体氮污染源解析 | 103 |
| 5.3 | 流域氮污染控制源区分析 | 104 |
| 5.3.1 | 氮污染控制源区 | 104 |
| 5.3.2 | 流域低洼地区及水体氮源污染控制 | 105 |
| 5.3.3 | 固体废物堆放区氮源污染控制 | 105 |
| 5.3.4 | 农村居民、农田集聚区氮源污染控制 | 106 |
| 5.4 | 农田氮流失源对水环境的影响 | 106 |
| 5.4.1 | 氮污染影响预测 | 106 |
| 5.4.2 | 氮污染影响分析 | 108 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 6 结论与展望 | 111 |
| 6.1 研究结论 | 112 |
| 6.1.1 农田氮素施用与流失现状 | 112 |
| 6.1.2 氮素收支平衡分析 | 112 |
| 6.1.3 氮素盈余及水体氮输出环境影响 | 113 |
| 6.2 氮素流失的控制途径 | 114 |
| 6.2.1 提高氮肥当季利用率 | 115 |
| 6.2.2 减少氮从农田向环境扩散 | 115 |
| 6.2.3 减少氮对生态环境的破坏 | 117 |
| 6.3 本研究的创新点 | 118 |
| 6.4 研究展望 | 118 |
| 6.4.1 研究中存在的问题 | 118 |
| 6.4.2 未来工作的展望 | 119 |
| 参考文献 | 120 |

1

总 论

1.1 研究背景和意义

在我国高度集约化旱作农业区，为保障粮食高产稳产，长期以来化肥被农民大量粗放施用，被施用的化肥一方面为促进粮食增产、农业增效、农民增收作出了重要贡献，另一方面，由于施肥水平整体不高、农民盲目施肥现象严重，不仅增加农业生产成本，降低生产效益，还造成了肥料资源的巨大浪费，导致土壤养分失衡、生产力不稳，农产品品质下降，环境污染严重。

河南省清淇河流域为河南省农业主产区，根据《国家粮食战略工程河南核心区建设规划纲要》，到2020年，河南省粮食生产需增产150亿kg，清淇河流域粮食增产30亿kg，占河南省总增产量的20%。河南省许昌市是清淇河流域粮食增产的主要区域，该流域人口密集，人均耕地面积为全国的73%，农田高度集约化，主要农作物以小麦、玉米、大豆和甘薯等为主。2018年，许昌市粮食种植面积684.01万亩^①，粮食总产连续多年保持稳中有增态势，平均亩产达到450kg左右，但化肥施用量也是逐年增加，平均年增加量在10%以上。河南省化肥施用量平均超过500kg/hm²，远超过发达国家为防止化肥对水体污染而设置的225kg/hm²安全红线，大量的氮素通过氨挥发和硝态氮流失，最终进入环境水体。

化肥的大量投入是目前我国农业增产的主要途径，而化肥的不合理使用却造成了许多重要流域相当程度的农业面源污染。大量的氮素释放至环境中后诱

^① 1亩=1/15hm²。

发环境污染事件，在高度集约化农业区这个问题尤为严重。再加上城镇化快速发展，河流自净能力变弱、水体环境容量变小、纳污能力变低，水资源供需矛盾及水污染问题突出。因此，建立既能实现农产品高产优质，又能使水环境负面效应最小的氮肥使用理论与技术体系，研究氮素的迁移转化全过程，评估其对进入水体环境的影响，构建农田氮素的“源头削减—过程控制—末端治理”的全过程清洁种植，实现“节氮—增效—减排”的氮素循环及资源化利用，对于流域水环境保护十分重要。

本书研究的初衷，就是基于农田氮素的生物地球化学循环过程，分析高度集约化农田氮收支平衡过程，研究农田氮污染特征及其入河环境影响，这对研究区域乃至其他类似地区农业面源氮污染控制将起到非常积极的引导作用。

1.2 研究目标和内容

1.2.1 研究目标

针对高度集约化粮食生产旱作农田氮素带来的水环境风险问题，系统诊断旱作农田氮污染发生机制及其对入河水质的影响，研究旱作农田氮素的迁移过程，明确旱作农田氮素流失对水体氮污染的入河影响，为旱作农业面源氮素污染治理提供理论支持。

1.2.2 研究内容

(1) 高度集约化农田氮素施用与流失现状调查。

本书以河南省清漯河流域内典型旱作农业区为对象，调查研究区域近5年农业种植种类、耕种方式、氮肥施用种类和施用量、近5年降水频次、降水强度等气象条件。在一年中的不同季度分别监测研究区域土壤中硝态氮、氨氮、亚硝酸盐氮等的累积和分布特征，分析土壤中有有机质、氧化还原电位等对氮形

态的影响。在资料收集、现场考察和监测普查资料的基础上，对研究范围内的氮肥物料平衡进行分析，为估算研究区域农业面源氮污染入河通量、农业面源排放系数提供基础数据，并为其对纳污水体的水质氮污染的贡献率分析提供基础。

(2) 建立小流域尺度氮的收支模型。

本书通过实地调查与资料收集，建立小流域基础信息数据库，开展小流域氮循环特征与源汇过程研究。研究流域水环境中氮素的输入/输出过程与机理，对流域外源、内源氮素进行源汇解析、模型分析，建立小流域尺度氮的收支模型。对流域地表水体和径流进行定位监测，分析水体中氮含量的变化规律，揭示氮含量的影响因素，明确地表水体和径流中氮输出的规律及发生机理，分析流域氮的地表径流输出通量。

(3) 高度集约化农田氮污染发生机制研究。

本书以高度集约化旱作农田小流域为研究对象，弄清氮循环和收支环节中对流域水体可能存在的环境威胁，揭示流域水体中氮含量和形态特征、时空变化规律以及环境生态风险，明确氮的主要流失途径及控制重点。

(4) 高度集约化农田氮的入河环境影响。

本书通过对农田排水入河、地下水监测，研究不同季节、不同降雨条件下进入河流的氮素的量，在空间分析工具的支持下，沿河道识别入河路径和关键源。通过农田土壤环境系统氮平衡及界面传输模拟、小流域尺度农田氮流失输出定量及预测，明确氮源污染控制区。识别小流域点源和非点源污染的关键源区，分析氮循环基本规律和产生氮污染的潜在性，评价流域管理措施对氮污染的影响。通过平衡计算及预测，评价农田氮流失源入河量及对水质的影响。

1.3 研究方法和技术路线

基于实验分析、数据调查及统计年鉴等资料，结合模型构建，系统地研究高度集约化旱作农田区氮素的收入、支出情况，明确氮素的来源去向、过程机

制、变化规律、影响因素及其环境效应等污染特征，探索氮素流失的控制环节和主要途径。技术路线图见图 1-1。

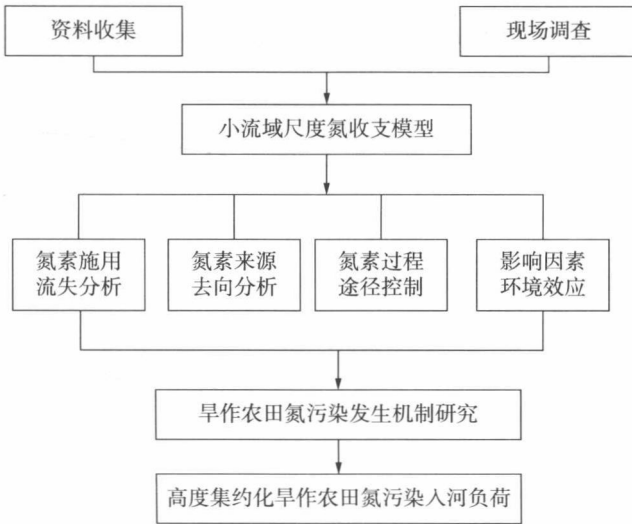


图 1-1 技术路线

2

高度集约化农田氮素施用 与流失现状调查