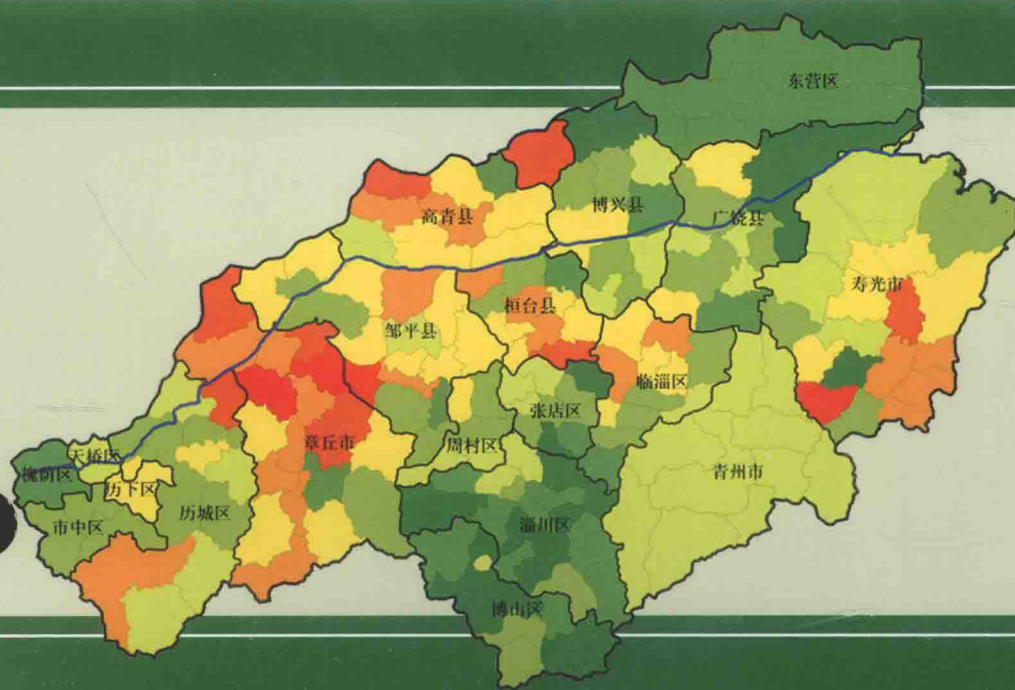


流域尺度农业面源 氮素污染模拟研究

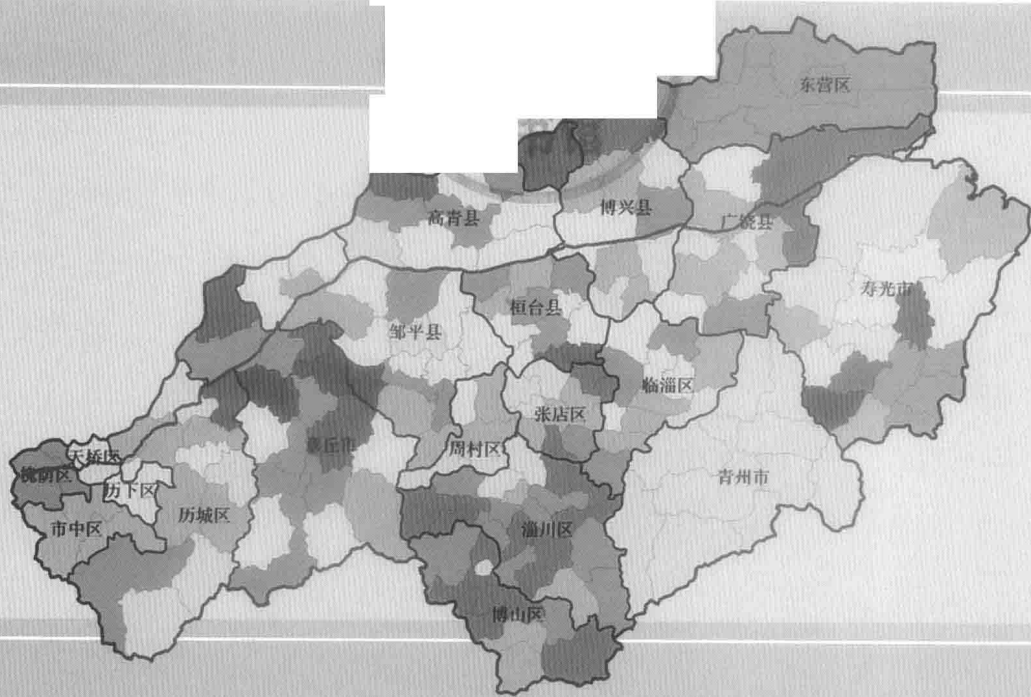
◎ 高懋芳 著



中国农业科学技术出版社

流域尺度农业面源 氮素污染模拟研究

◎ 高懋芳 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流域尺度农业面源氮素污染模拟研究 / 高懋芳著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 8

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2148 - 1

I. ①流… II. ①高… III. ①农业污染源—面源污染—土壤氮素—环境模拟—研究 IV. ①X501②S153. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 135261 号

责任编辑 史咏竹
责任校对 李向荣

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82105169 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)
传 真 (010) 82109707
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 710mm × 1 000mm 1/16
印 张 8.25 彩插 8 面
字 数 141 千字
版 次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价 29.00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

序

氮肥的广泛使用是近现代农业发展的重要推动力,对提高农产品产量起到了至关重要的作用;然而随着氮肥投入量增加,土壤中过量的氮素以各种形式进入周围环境。畜禽养殖业的快速发展也产生了大量氮素流失,农业生态系统氮流失是农业面源氮素污染的主要原因。本研究选择包含径流和畜禽养殖过程的最新版 Manure-DNDC 模型,在典型小流域农田和畜禽养殖场进行验证;借助遥感与地理信息系统(GIS)技术,利用多种来源数据建立以乡镇为单位的小清河流域数据库;模拟评价 2008 年小清河流域农业生态系统氮平衡状况,分析农业面源氮素污染时空分布特征,并提出有效地优化管理措施。主要研究结果如下。

(1) 实地验证了改进版农业生态系统生物地球化学模型——Manure-DNDC。利用山东小清河流域典型轮作系统冬小麦/夏玉米、冬小麦/大葱、设施蔬菜地田间试验数据对 Manure-DNDC 进行了验证,结果表明 Manure-DNDC 模型能够较好地模拟农田土壤气候、作物生长、氮淋溶等动态过程。利用广饶县肉牛养殖场观测数据验证表明,模型能够较好地动态模拟畜禽养殖过程中排出的粪便和尿的氮素含量,以及圈舍氨挥发量。区域验证也取得了较好地效果,模型能够合理预测作物产量和径流量,其中对冬小麦和夏玉米总产量模拟的 R^2 值均在 0.8 以上。

(2) 建立了以乡镇为单元的小清河流域农业面源氮素污染评价基础数据库,构建了小清河流域农业生态系统氮平衡定量评价系统。针对小清河流域地势低平的特点,研究提出了遥感图像识别与 GIS 空间分析相结合的数据库构建方法,首先利用高分辨率遥感图像识别中下游主干河道,修改 DEM 后提取流域边界以及主要河流网络,再计算坡度、坡长、最大水流长度等地形因子。同时,通过查表获取主要土壤侵蚀因子,利用模型估算土壤水分常数,结合实测土壤有机质含量、作物播种面积和管理措施、气象观测数据、以及畜禽养殖数据构建小清河流域以乡镇为单元的农业面源氮素污染数据库。将数据库与经验证后的 Manure -

DNDC 模型结合, 综合考虑地表产汇流与土壤侵蚀规律, 构建了流域农业生态系统氮平衡综合评价系统, 为定量评价奠定了基础。

(3) 小清河流域农田种植与畜禽养殖过程中产生大量氮素盈余, 农业面源氮素污染负荷很高。2008 年农田氮素投入总量为 25.99 万 t, 其中, 化肥氮 18.42 万 t, 有机肥氮 6.66 万 t, 相当于每公顷农田施用化肥 282.06kg N、有机肥 101.95kg N。农田淋溶和径流损失氮素分别为 2.38 万 t、0.71 万 t, 平均淋溶和径流损失分别为 36.42kg N/hm²、10.82kg N/hm²。畜禽养殖过程中通过径流损失氮素 4.66 万 t, 堆肥场所有 3.50 万 t 氮素残留。农业生态系统氮素径流损失总量是淋溶损失总量的 2.26 倍, 其中 86.83% 发生在畜禽养殖以及粪便处理过程中。

(4) 农田氮素淋溶具有明显的区域差异, 水肥管理是影响氮素淋溶强度的主要因素。济南市南部、章丘市中北部, 以及寿光市部分地区农田氮素淋溶比较严重, 其中有 41 个乡镇超过 30kg/hm²。氮素淋溶与施肥量的关系非常密切, 当施肥量低于 300kg/hm² 时, 70% 以上的乡镇淋溶强度小于 10kg/hm², 当施肥量大于 400kg/hm² 时, 约 20% 的氮肥受到淋溶。降水与灌溉是农田氮素淋溶的主要驱动力, 流域内约 70% 的氮素淋溶发生在六七月份。从不同的轮作模式看, 蔬菜三季轮作的氮素淋溶损失量最高, 达到 1.07 万 t, 单位面积氮素淋溶量为 285.32kg/hm²。小麦/玉米轮作模式的平均淋溶强度为 18.72kg/hm², 因为播种面积较大, 淋溶总量也达到 6 192.25t 氮。集约化粮食作物和设施蔬菜地是农田氮素淋溶的主要来源。

(5) 氮素径流损失强度主要受坡度、降水、土壤性质以及畜禽养殖量的影响, 径流损失氮素以有机氮为主。农田氮素径流损失强度比较大的乡镇主要位于流域上游的济南市历城区、章丘市、邹平县南部, 流域中部的广大地区农田径流损失一般都低于 5kg/hm²。农田氮素径流损失总量最大的是小麦/玉米轮作, 其次是棉花以及小麦、玉米单作。畜禽养殖及其粪便处理过程中的氮素径流损失在整个流域内都很严重, 有 31 个乡镇损失强度超过 100kg/hm², 其中济南市南部和章丘市最突出, 主要原因是畜禽养殖规模大。牛排出的氮素中以气体成分损失的比例最高, 家禽排出的氮素施入农田的比例最高。

(6) 农田氮素投入过量、畜禽养殖规模与农田面积不匹配、畜禽粪便处理方式不合理是造成本地区农业面源氮素污染的主要原因。减轻小清河流域农业生态系统氮流失与农业面源氮素污染负荷的有效措施主要有控制集约化粮食作物和

设施蔬菜地的氮肥投入量,适当减少蔬菜地灌溉量,限制坡耕地种植,控制畜禽养殖密度,使畜禽养殖规模与农田面积相匹配,完善畜禽粪便处理技术等。优化管理措施分析表明,当化肥氮总量降低 15% 时,氮素淋溶量降低 41%,小麦、玉米和蔬菜产量没有明显下降。减少单位面积农田上的畜禽养殖量,可以有效降低土壤氮盈余量,控制农田氮流失,同时减少畜禽养殖过程中的氮素损失。

在此特别感谢博士生导师邱建军研究员,本项研究是在他的谆谆教导下完成的,他对待科研一丝不苟,对待工作严格要求,在生活中幽默风趣、平易近人,让人感觉容易接近又不失敬畏。然而,天妒英才,正当壮年的他却在 2014 年因劳累过度而不幸逝世,他的离开必将激励我们更加努力地工作,力争沿着他开辟的道路走得更远。

特别感谢美国新罕布什尔大学的李长生教授,他亲自编写代码,几十年来不断修改完善 DNDC 模型,对本项研究付出了大量心血,曾经在回美国前连夜修改模型,第二天一早提供给我使用,他的无私帮助为本研究的顺利完成打下了坚实的基础。他对待学术的那种精神始终激励着我,每次向李先生请教,都感觉受益匪浅。

本书得到国家自然科学基金项目“农田排水沟渠对面源氮素污染物的去除机制研究(41201508)”,以及“973 计划”项目“典型流域陆地生态系统—大气碳氮气体交换关键过程、规律与调控原理(2012CB417100)”资助。

高懋芳

2015 年 7 月于北京

目 录

第一章 绪 论	1
一、研究背景与意义	1
二、农业面源污染过程	5
三、国内外研究进展	6
四、研究内容和技术路线	22
第二章 研究区概况	26
一、自然地理概况	26
二、社会经济概况	30
第三章 Manure-DNDC 模型的原理与验证	32
一、模型的结构	32
二、模型的主要模块	34
三、模型在典型农田和畜禽养殖场的验证	46
第四章 小清河流域 GIS 数据库建设	53
一、数据库概况	53
二、空间数据库	56
三、属性数据库	64
第五章 小清河流域农业面源氮素污染评价	71
一、流域氮平衡	71
二、农业生态系统氮流失形式	74

三、农业面源污染源头分析	78
四、农业面源氮素污染综合评价	82
五、区域验证	84
六、讨论与小结	88
第六章 优化管理措施分析	90
一、减少氮肥施用	90
二、养殖规模与农田面积优化配比	92
三、缩短畜禽粪便清运时间	94
第七章 主要结论与展望	96
一、主要结论	96
二、创新点	98
三、展 望	98
参考文献	100
附 录	115

第一章

绪 论

一、研究背景与意义

(一) 研究背景

1. 渤海污染严重，莱州湾尤为突出

渤海是我国唯一的半封闭型内海，平均水深约 18m，海域面积约 7.8 万 km²，渤海海水交换能力差，海洋生态系统脆弱。广义的环渤海地区包括北京市、天津市、辽宁省、河北省、山西省、山东省和内蒙古^①中部地区，共五省（区）二市，陆地面积 112 万 km²，总人口 2.6 亿人。这里是我国经济发展热点区域之一，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，粮食产量占全国 23% 以上，农业集约化程度比较高，种植业、养殖业十分发达。环渤海地区工农业快速发展，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广泛关注。2008 年 5 月 8 日，国家海洋局北海分局首次发布《2008 年渤海海洋环境公报》。该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。

2. 农业氮素流失是渤海污染的重要原因

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% 的人海污染物来自陆地，其中由入海河口排入的占 95%（赵章元等，2000）。以山东省主要入海河流小清河为例，小清河流域面源无机氮入海量为 3 437t，占无机氮入海

^① 内蒙古自治区，全书简称内蒙古

总量的 35.8% (黄现民等, 2008)。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也占很大比例。全国第一次污染源普查公报结果表明, 农业源污染物排放对水环境影响很大, 是总氮、总磷排放的主要来源, 其排放量分别为 270.46 万 t 和 28.47 万 t, 分别占排放总量的 57.2% 和 67.4%。黄现民等 (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、农药的使用量大、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, 以及生活污水收集处理率低、随意排放等原因造成的。农业氮素流失已成为渤海污染的重要原因之一, 严重影响着环渤海地区经济和社会发展。

3. 小清河是莱州湾的主要污染源

莱州湾沿岸有入海河流 10 余条, 其中, 黄河为第一大河, 小清河为第二大河, 这两条河的年径流量占整个沿岸河流径流量的 98% 以上。小清河发源于济南市西郊陆里庄, 流经济南市区、章丘县、邹平县、经高青县、桓台县、博兴县、广饶县, 由寿光市羊角沟注入渤海, 它是济南市主城区唯一排水出口, 也是鲁中地区一条重要的排水河道, 兼顾两岸农田灌溉。研究表明, 小清河径流中 COD_{Mn} (以高锰酸钾为氧化剂测定的化学需氧量)、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐及挥发酚的浓度要比黄河高 10 多倍 (马绍赛等, 2004)。小清河平均年污染物入海总量为 17 017t, 最高年份达到 24 314t, 其中 COD_{Mn} 和氨氮入海量起主导作用, 约占年平均总量的 98.8%。小清河 COD_{Mn} 平均年入海量为 12 730t, 最高年份达 18 398t, 在污染物中占首位; 营养盐中氨氮最高, 平均年入海量为 4 085t, 最高年份达 5 722t; 硝酸盐平均年入海量为 130t (马绍赛等, 2004)。小清河流域种植业和畜禽养殖业都比较发达, 农田中过量施用的化肥、农药, 畜禽养殖产生的污染物等受降水侵蚀进入水体或直接排入河道, 成为莱州湾的重要污染源。

(二) 研究意义

1. 小清河流域农业面源氮素污染控制形势严峻

近年来, 我国农业发展速度很快, 集约化程度越来越高, 随之带来的环境问题也日趋严重。山东省是农业大省, 2007 年化肥施用量为 500 万 t, 仅次于河南省, 单位耕地面积化肥用量为 666kg/hm², 而全国平均水平为 420kg/hm² (中华人民共和国统计局, 2008)。大量农药和化肥随降水或灌溉进入水域, 未经处理

的畜禽粪便通过地表径流、淋溶、挥发等途径进入环境,由此产生的农业面源氮素污染负荷逐年增加,特别是在集约化蔬菜种植区。小清河流域属温带季风气候,降水变率大,约70%的降水集中在6—9月。当发生暴雨时,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%,点源污染虽然得到一定程度的控制,但是水质却没有较大改观(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和氨氮(谭永明,2009)。小清河流域农业面源氮素污染已经严重影响到了该区农业可持续发展,同时也限制了社会经济进一步发展。推广农业清洁生产,控制农业面源氮素污染已经到了刻不容缓的地步。

2. 模型模拟成为研究农业面源氮素污染的重要手段

农业面源氮素污染有很大随机性和不确定性,它涉及范围广、污染类型多、污染物输送以及运移方式复杂,因此对其进行全面地监测、模拟有很大困难。农业面源氮素污染物主要来自农田中过量施用的化肥和农药,畜禽养殖过程中产生的排泄物以及废弃物等。农业面源氮素污染负荷一方面取决于农田中碳氮平衡状态、畜禽养殖点数量与空间分布,另一方面受到降水和径流过程的影响。因此,农业面源氮素污染与农田生物地球化学过程、畜禽养殖点污染物分解与排放过程,以及流域水文过程有密切的关系。在进行农业面源氮素污染定量研究时,最有效的方法是建立模拟模型,进行时间和空间序列上的模拟。这种模型可以模拟农田生态系统中元素的迁移转化过程、畜禽养殖场中污染物的产生与排放,可以对整个流域发生的复杂污染过程进行定量描述,分析面源氮素污染的时间和空间特征,识别其主要来源和迁移路径,为农业面源氮素污染控制和管理提供有效的技术手段。因此,农业面源氮素污染的模型模拟研究具有非常重要的意义。

3. 建立小清河流域农业面源氮素污染模拟模型势在必行

小清河流域的农业面源氮素污染非常严重,不但破坏了流域内的生态环境,影响了当地人民的身体健康,而且对该地区经济发展带来很大负面作用。田家怡等(1996)采用“因果关系原则”“年度补偿值原则”“贵极无价原则”评估了小清河污染的生态经济损失,结果表明小清河流域地表水资源污染的年经济损失达2 800万元,对河道渔业带来的年经济损失接近1 000万元,对近海滩涂水产资

源破坏的年经济损失则高达 9 000 万元。另外, 农业面源氮素污染还对陆地生态系统、人体健康等带来巨大经济损失。

为了控制小清河流域环境污染, 促进该地区经济持续稳定发展, 许多学者对小清河流域污染的定量模拟与控制进行了探讨。吴耀国等 (1999) 对小清河支流孝妇河流域 1989—1996 年孔隙水的化学资料进行分析, 认为引起孔隙水污染的主要原因并非是河流渗漏, 而是农业污灌水入渗。吕培茹 (2002) 调查研究了山东省化肥、农药、农膜污染的历史、现状, 分析了农用化学品造成的危害。孙立堂等 (2008) 根据济南市小清河流域的雨洪资料, 研究 SCS 模型产流公式中的参数, 对产流参数进行自动优选, 并率定了计算 S 经验公式的参数, 结果表明改进的 SCS 产流模型应用于小清河流域产流计算的效果较好。惠二青 (2003) 调查了小清河主要断面土壤、河流和底泥无机氮污染状况, 分析了无机氮 1984 年以来的年际变化, 利用数学模型对小清河流域无机氮次暴雨径流污染和面源污染年负荷进行了量化分析, 结果表明, 小清河流域无机氮入海通量有明显上升趋势, 流域次暴雨径流污染主要由农田面源污染造成。此外, 他还证明 SCS 和 USLE 模型在应用到下垫面复杂的流域时, 其参数可通过率定确定, 模拟结果可行 (惠二青, 陈友媛等, 2005)。

针对小清河流域农业面源氮素污染研究, 虽然有一定的基础, 但大都是从环境角度分析污染状况, 提出综合治理措施, 而对农业生态系统中的氮平衡、畜禽养殖过程中的氮循环、径流和土壤侵蚀模拟以及污染物迁移转化过程研究还不完善。小清河流域农业面源氮素污染的情况非常复杂, 受地形、土壤、植被、气候、农业管理措施等多种因素影响, 要采取积极有效的措施, 控制农业面源氮素污染, 在不影响正常农业生产的情况下保护环境, 就需要根据流域内不同的基础地理、气象数据建立农业面源氮素污染模拟模型。该模型可以模拟小清河流域不同条件下农业和畜禽养殖业生物地球化学过程、污染物产生以及迁移转化过程, 识别关键污染区, 并能预测不同环境因子条件下污染物的时空分布差异, 对小清河流域农业碳氮平衡调控, 农业面源污染综合管理有非常重要的意义。在最近刚刚公布的国家环境保护“十二五”规划中, 新增两项污染物排放约束指标, 分别是氨氮和氮氧化物, 减排幅度是 10%, 这更突出地表明在小清河流域进行农业面源氮素污染模型模拟研究的紧迫性。

二、农业面源污染过程

农业面源污染主要来自于种植业和畜禽养殖业。为了提供作物生长所需的养分,有效防止病虫害的发生,人们往往需要在农田中加入各种各样的化肥和农药。然而,由于肥料本身化学性质的变化以及作物对养分吸收能力的限制,加上降水侵蚀的影响,施入农田的化肥往往并不能完全被作物吸收,部分随径流进入河网,部分被淋溶到地下水中,还有部分转化为气体进入大气。喷洒在作物或者土壤上的农药有一部分进入土壤中,随淋浴进入地下水,一部分随土壤侵蚀进入河流中。由于在农业生产环节缺少科学的规划与管理,很多地区存在过量施用农药与化肥的现象,加重了农业面源污染负荷。畜禽养殖过程中会产生大量粪便以及垃圾、废水等废弃物,我国目前大部分规模化畜禽养殖场和几乎所有的散养户都没有专门的畜禽粪便无害化处理设备,部分畜禽粪便直接当作有机肥施入农田,进入农田生态系统生物地球化学循环过程,部分废弃物直接排入河道,造成极大的污染。农业面源污染过程如图 1-1 所示。

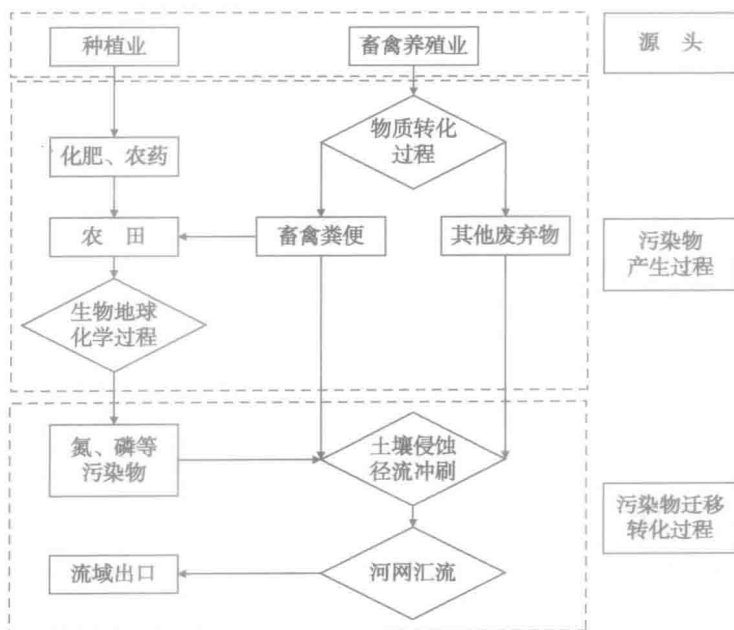


图 1-1 农业面源污染过程

总的来说,农业面源污染的产生及迁移转化主要经历以下几个重要过程。

(1) 在农田以及畜禽养殖场中,氮素经过复杂的生物地球化学过程,产生了各类污染物,其形态包括固态、液态、气态。

(2) 降水在不同下垫面条件下产生径流。

(3) 径流冲刷地面,形成土壤侵蚀,引起污染物移动。

(4) 在降水—径流驱动因子作用下,大量泥沙与附着的氮磷污染物及可溶性氮磷污染物进入水体,随河流网络迁移转化。

从农业面源污染产生和迁移转化过程可以看出,面源污染是在降水的驱动下,随着水文过程,将累积在地表的污染物质携带、溶解,并随着径流进入水体的过程。因此,影响面源污染负荷的主要因素包括自然因子和社会因子两大类,其中,自然因子主要是地形、降水、土壤状况、地表植被状况,社会因子主要是土地利用状况和管理因素等(郝芳华等,2006)。

农业面源污染的过程非常复杂,对其进行的研究主要是针对这4个过程的模拟,即生物地球化学过程、径流产生过程、土壤侵蚀过程以及污染物迁移转化过程。

三、国内外研究进展

本部分首先说明书中已经出现和将要出现的概念和术语,然后以农业面源氮素污染模拟为主线,介绍农业生态系统氮平衡、生物地球化学模型、产汇流及土壤侵蚀模型,以及农业面源污染模型的发展和现状。

(一) 相关概念和术语

氮在自然界中以固态、液态和气态广泛存在,最大的氮库是地圈,主要以 NH_4^+ 的形式存在于岩石和矿物晶格中,这部分氮素很难被风化利用。地球上的第二大氮库是大气圈,占大气质量的78%,这部分氮素主要以分子态存在,氮分子由3个共价键结合起来,相对比较稳定,很难与其他元素化合,也难以被植物利用,只有少数微生物和低等植物能把空气中的氮素固定下来,供给高等植物利用。生物圈中的氮素含量虽然相对于地圈和大气圈要少得多,但它是组成蛋白质和核酸的主要成分,一切生命体都离不开氮素,因此氮素成为生物圈中最重要

的元素之一。

在农业生产中,氮素起着至关重要的作用,它是作物生长所必需的元素之一,同时也是表征土壤肥力的重要指标。土壤中的氮素主要有9种不同的赋存形态,对应着不同的化学价(表1-1)。

表1-1 土壤中氮的主要赋存形态及化学价

形 态	分子式	化学价
硝酸盐	NO_3^-	+5
二氧化氮	NO_2	+4
亚硝酸盐	NO_2^-	+3
氧化氮	NO	+2
氧化亚氮	N_2O	+1
氮 气	N_2	0
氨(水)	$\text{NH}_3(\text{H}_2\text{O})$	-3
铵	NH_4^+	-3
有机氮	$\text{R}-\text{NH}_3$	-3

资料来源:刘从强,2009

氮素不同形态的化合物性质差别很大,这些含氮化合物不仅具有十分独特的生态学意义,也具有许多工业和社会意义(韩兴国等,1999)。氮和它的气态化合物,如 NH_3 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 等是挥发性的;它的固体化合物,如 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 的溶解度很高。农业生态系统氮循环是高度动态的,并且有着很多复杂的转移方式和途径(吕耀,1998)。

土壤中有機态氮和无机态氮是氮素的主要存在形式,有机态氮主要是与碳结合的含氮物质,表层土壤全氮量的85%以上是有机氮,无机态氮主要是铵态氮(NH_4^+)和硝态氮(NO_3^-),植物可以直接吸收利用。 NO_3^- 是硝酸盐的主要组成部分,也是N从生态系统丢失的主要形式。 NO_3^- 比 NH_4^+ 活跃得多,它与土壤胶体电性相似,如果不能及时被植物吸收,很容易通过径流或者淋溶而丢失, NO_3^- 也可能被还原而以气态形式离开生态系统(韩兴国等,1999)。

农业生态系统氮素循环是指氮素通过不同途径进入农业生态系统,再经过许多相互联系的转化和移动过程后,又不同程度地离开这一系统。氮素循环过程与大气和水体等外界环境有复杂交换,农业生态系统氮平衡研究氮素的输入、输出各个过程,明确农业生态系统中氮素的来源和去向及其数量特征(李志博等,

2002)。农业生态系统氮素损失的途径主要有气态损失,淋溶和径流。气态损失包括氨挥发、硝化和反硝化过程中产生的 NO 、 N_2O 、 N_2 , 氮的气态损失不但降低了肥料利用效率, 更关键的是会对大气环境产生重要影响; 氮淋溶和径流损失会造成水体硝酸盐污染和湖泊富营养化。广义的氮流失是指农业生态系统中损失的氮, 有时也单指通过径流和渗漏进入地表水和地下水中的氮。氮流失风险大小主要与肥料施用、畜禽养殖废物的处置及农田耕作有关(陈能汪等, 2006)。氮流失是引起农业面源污染的重要原因之一。

面源污染, 又称为非点源污染, 英文名称都是 Non - Point Source Pollution, 这个概念最初由美国提出, 指溶解性或固体污染物在大面积降水和径流冲刷作用下, 汇入接纳水体而引起的水体污染, 其主要来源包括水土流失、农业化学品过量施用、城市污水、畜禽养殖和农业与农村废弃物等(郝芳华等, 2006)。1972年, 美国环保局(Environmental Protection Agency, 简称 EPA) 公布了联邦水污染控制法修正案(Federal Water Pollution Control Act Amendments), 规定美国各州从1975年开始必须给国会和环保局提交年度报告, 内容包含所有点源排放的详细清单, 估算当前水污染状况和规划目标, 并给出非点源控制方案。1977年年底, 美国总统卡特签署了清洁水法案(Clean Water Act), 该法案制定了控制美国污水排放的基本法规, 在这之后, 世界各国纷纷开展对非点源污染的研究(Carey 等, 1985; Miller, 1978)。

非点源污染是相对于点源来说的, 具有随机性、不确定性和时空分布不均匀性等特点。非点源污染按其发生方式和发生区域的不同, 可以分为农业非点源污染、城市非点源污染、林地非点源污染等。在农业上, 由于种植活动主要发生在农田, 化肥、畜禽粪便、农药等都是大面积施用, 由此产生的淋溶、土壤侵蚀等污染又习惯性的称之为农业面源污染。农业面源污染主要是指农业生产过程中对环境产生的污染负荷, 主要包括种植业、养殖业, 以及农村居民生活。污染负荷(Pollution Load), 是指区域或环境要素对污染物的负载量(全国科学技术名词审定委员会, 2007), 具体的说, 是在单位时间、单位面积或单位体积环境单元内所接纳、承受污染物的量。从产生机制来看, 农业面源污染主要有3个过程, 即径流形成过程、径流冲刷地面及形成土壤侵蚀的过程和泥沙及氮磷等污染物进入水体的过程(郝芳华等, 2006)。

（二）农业生态系统氮平衡研究

生态系统氮循环研究有悠久的历史，传统农业生产中，豆科作物是重要的氮素来源，氮素的输入输出主要是自然和系统内的。工业革命以后，化肥氮素投入增加，成为促进作物增产的重要因素，有机氮投入相对减少，氮素流失随之增大。20 世纪 50 年代末期以后，人们开始从系统的角度研究氮素循环规律，把氮循环放在整个生物圈生态系统进行考察，其中研究最细致的是农田生态系统（卢兵友，1992）。农田生态系统中的部分产品不能被人类直接利用，就会流入到畜牧业系统中，进行第二性生产，畜禽养殖过程中产生的部分粪便等又回到农田，构成了农业生态系统内部循环。畜牧业发展加快了氮素循环速度，提高了物质利用效率（Schroder，1985），但同时也产生了很多环境问题，如畜禽养殖场的氨挥发，畜禽粪便未经处理进入农田或随径流进入水体造成污染等。目前，对农田生态系统氮循环研究比较多，而以农业生态系统为单位进行的研究比较少。

1976 年在荷兰召开的第一次农业生态系统矿质养分循环讨论会，揭开了农业生态系统氮循环研究的新篇章（卢兵友，1992）。以农业为主的小流域有相同的土壤和气候条件，开展氮循环研究相对容易，因此很多学者都是先从单一的农业小流域开始研究。前苏联的 Kudeyarov 等在 1969—1979 年的 10 年间开展了一系列研究，分析小流域内氮、磷等营养元素循环，结果表明，以森林为主的小流域由于没有受到人类影响，氮素基本上是平衡的，以农田为主的小流域氮投入量在 10 年内增加了 5 倍，导致反硝化过程释放到空气中的氮增加了 1.5 倍，淋溶进入地下水的氮由 0.8mg N/L 增加到了 6.5mg N/L（Kudeyarov 等，1980）。10 年间，虽然肥料施用量增加很大，但产量并没有按比例增长，大量施肥导致氮素流失增加，不过并没有造成较大污染（Kudeyarov 等，1981，1984）。在随后的几十年里，科研工作者在世界各地相继开展了农业生态系统氮素输入、输出途径以及氮平衡研究，如非洲西部（Powell 等，1987；Zougmore 等，2004）、英国东部（Roberts，1987）、挪威（Bechmann 等，1998）、印度（Jacks 等，1983）、日本（Mishima，2002）等。

现代农业生产中，耕作面积增大，氮肥投入量增加，农田管理措施不合理，因土壤侵蚀、燃烧秸秆等损失大量氮素（Rosswall 等，1984）。Jansons 等（2003）分析了拉脱维亚 3 个农业小流域 6 年间氮平衡和氮流失状况，结果表明，