

NINGXIA CAITIAN MIANYUAN WURAN  
JIANCE HE LVSE FANGKONG  
JISHU YANJIU YU YINGYONG

# 宁夏菜田面源污染 监测和绿色防控 技术研究与应用

张学军 马建军 赵营 刘晓彤 等著



黄河出版传媒集团  
阳光出版社

# 宁夏菜田面源污染 监测和绿色防控 技术研究与应用

王学军 王瑞娟 王 强 王瑞娟 王 强



## 图书在版编目(CIP)数据

宁夏菜田面源污染监测和绿色防控技术研究与应用 /  
张学军等著. -- 银川: 阳光出版社, 2022. 12  
ISBN 978-7-5525-6636-9

I. ①宁… II. ①张… III. ①蔬菜-农田污染-污染  
防治-宁夏 IV. ①X535

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第258181号

## 宁夏菜田面源污染监测和 绿色防控技术研究与应用

张学军 马建军 赵营 刘晓彤 等著

责任编辑 薛雪  
封面设计 赵倩  
责任印制 岳建宁



黄河出版传媒集团 出版发行  
阳光出版社

出版人 薛文斌  
地址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)  
网址 <http://www.ygchbs.com>  
网上书店 <http://shop129132959.taobao.com>  
电子信箱 [yangguangchubanshe@163.com](mailto:yangguangchubanshe@163.com)  
邮购电话 0951-5047283  
经销 全国新华书店  
印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司  
印刷委托书号 (宁)0025309

开本 720 mm × 980 mm 1/16  
印张 18.25  
字数 260千字  
版次 2022年12月第1版  
印次 2022年12月第1次印刷  
书号 ISBN 978-7-5525-6636-9  
定价 50.00元

**版权所有 翻印必究**

## 作者名单

第一章 张学军 王翰霖 马建军 王金保 柯英

第二章 赵营 刘晓彤 李贵兵 李虹 丁永峰

第三章 罗健航 王海廷 黄立君 韩兴斌 吴涛

第四章 张学军 赵营 刘晓彤 李锋 苏建国

## 前 言

党的十八大以来，党中央、国务院高度重视绿色发展。习近平总书记强调，绿水青山就是金山银山，推动形成绿色发展方式和生活方式。国家在“十三五”期间实施完成了农业面源污染防治攻坚战“一控两减三基本”的目标任务，实施了包含畜禽粪污资源化利用行动、果菜茶有机肥替代化肥行动、东北地区秸秆处理行动、农膜回收行动和以长江为重点的水生生物保护行动的“农业绿色发展五大行动”，从源头上确保优质绿色农产品供给，取得了良好的效果。

2019年11月，黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略，宁夏回族自治区党委和人民政府深入贯彻习近平总书记两次视察宁夏重要讲话和重要指示精神，2022年6月，中国共产党宁夏回族自治区第十三次代表大会，明确提出了全面建设社会主义现代化美丽新宁夏，深入实施特色农业提质计划，坚持以龙头企业为依托、以产业园区为支撑、以特色发展为目标，冷凉蔬菜被确定为宁夏“六特”产业之一。宁夏已被国家确定为黄土高原夏秋蔬菜生产优势区域和设施农业优势生产区，全区已形成了设施蔬菜、越夏及冷凉蔬菜、供港蔬菜、麦后复种蔬菜和脱水加工蔬菜等五大板块的蔬菜四季生产，建成了以银川、吴忠和中卫为主的现代设施蔬菜、供港蔬菜优势区，以石嘴山为主的脱水蔬菜生产优势区，以固原市为

主的冷凉蔬菜生产优势区。据统计，全区蔬菜种植面积稳定在 300 万亩左右，产量达到 568.61 万 t。在蔬菜产业发展中存在长期过量施肥导致菜地土壤养分大量流失，由此造成的菜田面源污染有多重？如何防控菜田面源污染？以上问题的解决和蔬菜绿色高产高效技术制定迫在眉睫。《宁夏回族自治区农业农村现代化发展“十四五”规划》指出，蔬菜产业立足粤港澳大湾区、长三角经济带、京津冀都市圈等目标市场需求，围绕“设施蔬菜、露地冷凉蔬菜、西甜瓜”三大产业，培育产业大县，大力推广绿色标准化生产技术，打造成高品质蔬菜生产基地，到 2025 年，全区蔬菜种植面积达到 350 万亩，其中设施蔬菜、露地冷凉蔬菜、西甜瓜分别达到 60 万亩、230 万亩、60 万亩，总产量达到 750 万 t 以上；该规划还指出，将持续推进化肥农药减量增效。到 2025 年，全区测土配方施肥覆盖率达到 95% 以上，化肥利用率均达到 43% 以上，实施农业农村领域碳达峰专项行动。率先实现碳达峰作为绿色发展的核心任务，以绿色低碳科技创新为支撑，以降低温室气体排放强度、提高农田土壤固碳能力、实施农村可再生能源替代为抓手，持续推进化肥农药减量使用。本书构建了不同类型菜田面源污染防控绿色减排技术模式，符合国家、自治区相关政策，并进行了规模化示范应用，有效削减了菜田氮、磷流失量，实现了农民增收，环境保护、经济和社会效益显著提升的目标，起到示范引领作用，为宁夏蔬菜产业绿色可持续发展提供技术支撑，对黄河流域生态保护和高质量发展先行区建设具有重大意义。

本书共分为四章。第一章概论。第二章宁夏露地菜田氮、磷流失监测与防控技术研究。第三章宁夏设施菜田氮、磷流失监测与防控技术研究。第四章宁夏菜田面源污染绿色防控技术及其应用。各章分工如下：第一章由张学军、王翰霖等编写，第二章由赵营、刘晓彤等编写，第三章由罗健航、王海廷等编写，第四章由张学军、赵营等编写。

本书是宁夏农林科学院农业资源与环境研究所植物营养与肥料研究团

队历经 15 年的研究成果，是由农业农村部科技教育司“种植业源污染物流失系数测算重点监测”项目中《宁夏日光温室地下淋溶重点监测试验》课题（2007—2012 年）、公益性行业（农业）“主要农区农业面源污染监测预警与氮、磷投入阈值研究”项目“西北干旱半干旱平原区污染监测与氮素化肥投入阈值研究”课题（2010—2014 年）、国家自然科学基金项目“地下水周年变化对灌区设施菜田土壤氮素损失的影响”（2014—2017 年）、农业农村部第二次全国污染源种植业源普查“宁夏农业污染源种植业源抽样调查和原位监测”课题（2018—2020 年）、农业农村部科教司“农业生态环境保护—农田氮、磷流失监测”（2014 至今）和宁夏回族自治区财政支农“农业资源保护修复与利用”项目中的“宁夏种植业农田面源污染监测”等资助完成。在此，特别感谢国家自然科学基金委员会、农业农村部科教司、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所和宁夏回族自治区农业农村厅农业环境保护监测站等相关领导、专家对本研究团队的支持、帮助和悉心指导。

本书适合土壤与植物营养、农业环境保护和蔬菜生产技术等领域的科研工作者，以及相关专业老师、学生、蔬菜种植技术人员、农业推广技术人员和蔬菜种植户等参考使用。限于编者水平，加上成书时间仓促，书中难免有不足之处，诚望同行和广大读者批评指正。

编者

2022 年 7 月于银川

# 目 录

## 第一章 概 论 / 001

第一节 国内外农业面源污染研究现状与发展趋势 / 001

第二节 农田面源污染监测技术 / 020

第三节 宁夏菜田氮、磷流失监测与防控技术研究的背景与意义 / 039

第四节 宁夏菜田面源污染监测研究内容与试验设计 / 054

## 第二章 宁夏露地菜田氮、磷流失监测与防控技术研究 / 084

第一节 露地花椰菜—大白菜产量和养分吸收利用及土壤氮、磷累积 / 085

第二节 水肥协同调控对露地菠菜氮、磷淋失的影响 / 126

第三节 水肥协同调控对露地芹菜氮、磷淋失的影响 / 134

第四节 减施化肥和增施有机肥对露地菜心氮、磷淋失的影响

第五节 不同类型露地菜田氮、磷肥投入阈值 / 149

### 第三章 宁夏设施菜田氮、磷流失监测与防控技术研究 / 158

第一节 设施菜田氮、磷流失量及其发生规律 / 160

第二节 设施菜田面源氮、磷排放特征及其主要影响因素

/ 169

第三节 设施梅豆氮、磷流失量及其动态变化规律 / 199

第四节 不同设施蔬菜氮、磷肥投入阈值 / 208

### 第四章 宁夏菜田面源污染绿色防控技术及其应用 / 225

第一节 露地菜田面源污染绿色防控技术集成研究 / 225

第二节 设施菜田面源污染绿色防控技术集成研究 / 232

第三节 露地菜田面源污染绿色防控技术规程 / 242

第四节 设施菜田面源污染绿色防控技术规程 / 256

第五节 技术示范应用效果及前景 / 268

参考文献 / 273

# 第一章 概 论

## 第一节 国内外农业面源污染研究现状与发展趋势

### 一、农业面源污染与农田面源污染特征

#### (一) 农业面源污染危害及其特征

“农业面源污染”的概念最早起源于1979年美国《清洁水法》中的定义；农业面源污染是指农业生产活动中，化肥、农药等有害物质，秸秆、农地膜等固体废弃物，畜禽养殖废弃物，农村生活污水垃圾等通过地表径流、土壤侵蚀、农田排水等途径进入环境而造成的污染，主要包括种植业污染、畜禽养殖业污染和生活垃圾污染。在我国加快推进农业现代化进程中，农业面源污染问题日益突出，已成为阻碍我国农业转型升级的重要因素（余耀军等，2020）。

#### 1. 农业面源污染的危害

土壤中的氮、磷等元素通过地表径流等对地表水和地下水造成污染，是造成水库、湖泊富营养化的主要污染物。农药施用过程中，利用率只有10%~20%，其余80%~90%进入水体，严重污染水环境。农膜残留量逐年增加，破坏了土壤理化性状，影响作物的根系生长和其对水分、养分的吸收。农作物收割后，秸秆被大量焚烧，产生的烟雾不仅会污染大气，占道焚烧秸秆还影响交通。

近年来,我国畜禽养殖业快速发展,但散养户居多,规模化养殖场只占 1/3,大部分养殖场不具备粪污处理设施,畜禽粪便、尿液、污水等废弃物随意排放。这些污染物中含有大量的氮、磷及高浓度的有机污染物等,对土壤、大气、水体、生物产生严重危害(史平三,2020)。

在水产养殖中,大量饲料、肥料残留物及水生生物排泄物,及溶出的营养盐和有机质影响养殖水环境及其营养水平。目前我国仅有很少水产养殖场将养殖废水处理后再排放,多为直接排放,致使水体出现富营养化和沉积物,不仅影响养殖业质量安全,而且对周边水域环境和生态系统构成越来越大的威胁。

## 2. 农业面源污染的特点

(1) 污染物的来源和排放点不固定,排放具有间歇性,发生具有随机性。农业面源污染主要受水文循环过程(主要为降雨及降雨形成径流的过程)的影响和支配,而降雨径流的发生具有随机性,所以面源污染也具有随机性。

(2) 农业面源污染的范围广,受气象事件和地质地貌影响,具有复杂性特点。农业面源污染物的输出在空间和时间上不是连续的,发生时机具有潜伏性和滞后性。通常是晴天累积,雨天排放,面源污染的严重危害通常发生在暴雨之后。降雨—径流和融雪等水文过程是农业面源污染物迁移到接纳水体的主要动力。

(3) 农业面源污染与农业生产活动密切相关。由图 1-1 可知,农业生产中化学投入品(化肥、农药)和规模化畜禽养殖粪便(有机肥)投入大部分被植物吸收,其他部分和农村生活废弃物以地下淋溶和地表径流等形式流失进入水体,形成农业面源主要污染物,这些污染物主要以有机、无机及微生物氮、磷为主,还有一部分以不同形态氮素气体损失进入大气,大气中氮、磷气体又通过干湿沉降、生物固氮返回地表,又被作物吸收、再利用。

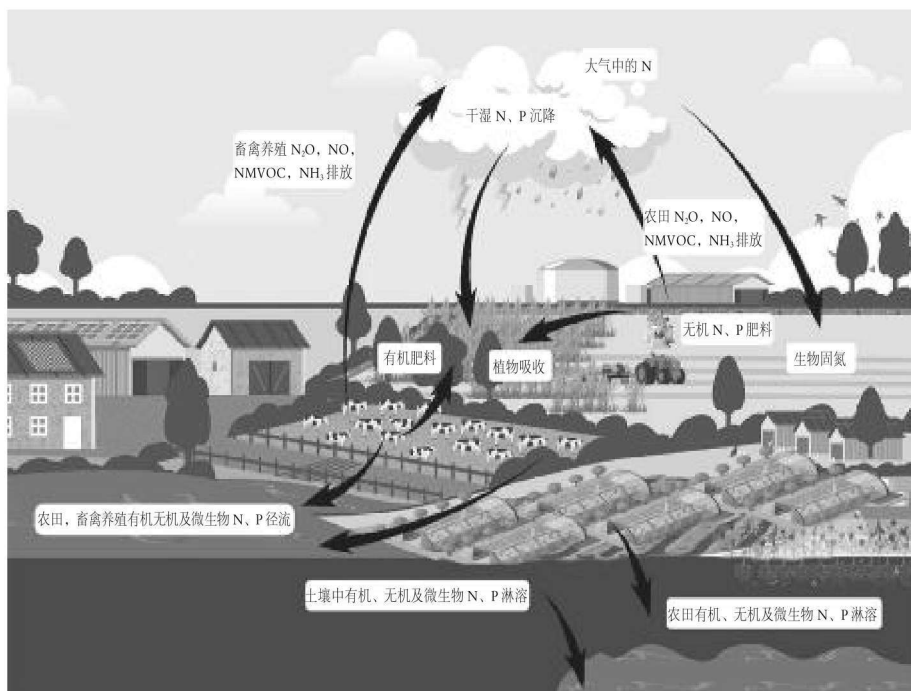


图 1-1 农业生态系统氮、磷循环示意图

## (二) 农田面源污染特征

### 1. 定义

农田面源污染主要指农田生产活动中的各种污染物如沉淀物、营养物质、农药、病菌等，通过径流、淋溶和农田排水等途径，以低浓度、大范围的特点从土壤圈向水圈扩散的污染过程。

### 2. 污染特征

由图 1-2 可看出，农田面源污染的形成是一个综合而复杂的过程，包括降雨径流过程、土壤侵蚀过程、地表溶质运移渗漏过程，这 3 个过程是相互关系、相互作用的，其发生过程受到土壤、地形、降雨、土地覆盖、人类活动等诸多因素的影响。农田生产中往往投入大量化肥、农药和农膜，但农药利用率仅有 10%~20%，氮、磷和钾肥利用率分别为 33%、24% 和 42%，土壤中盈余的营养在灌溉或降雨时易随地表径流或地下淋溶进入

水体。无灌溉和降雨时，上述污染物广泛而隐蔽地分布在地表土壤中，表现出极强的潜伏性；灌溉或降雨时，大量的污染物随水迁移，但污染物来源分散性强，其地理边界和空间位置也不易识别，并随雨强、雨量和农田管理措施的变化而表现出空间和时间上的差异；此外，受到土地利用、地形地貌、气象水文等诸多因素的影响，农田面源污染物排放过程是不确定的。

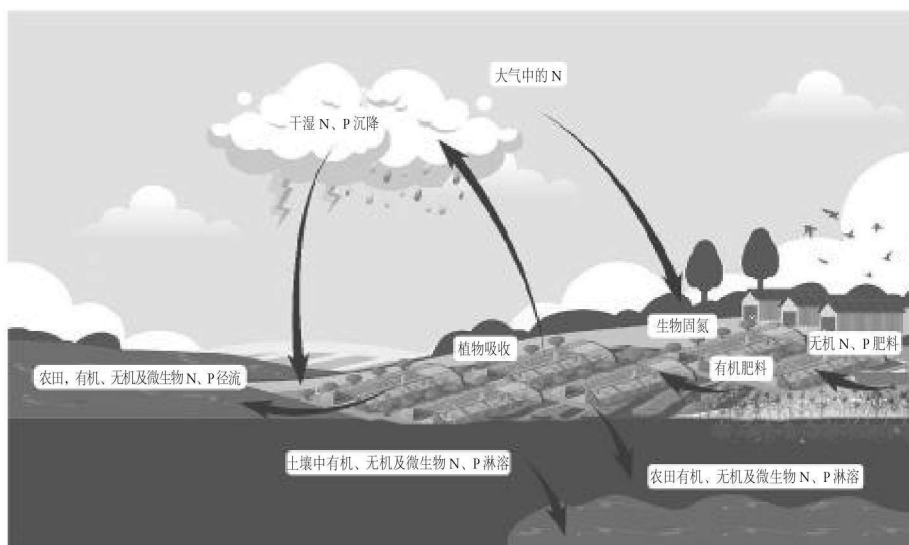


图 1-2 农田氮、磷循环示意图

## 二、农业面源污染防治技术研究现状

### (一) 发达国家农业面源污染现状

在美国，农业面源污染贡献了污染负荷总量的 2/3，是河流、湖泊等地表水体污染的第一大污染源。在英国，农业面源污染对总磷负荷贡献在 30%~50%。丹麦河流中有 94% 的氮负荷和 52% 的磷负荷。挪威的河流中农田面源污染贡献了 50% 的总氮和 30% 的总磷负荷。芬兰农业面源排放的磷素和氮素占总排放量的 50% 以上，尤其是在高投入农业比例大的流域该比例更大（李秀芬 等，2010）。

## （二）国外农业面源污染治理经验

### 1. 美国农业面源污染治理经验

（1）政策措施。美国在 1936 年制定了第一个面源污染控制方面的法律，对于破坏农村环境质量的违法行为进行追究，1972 年颁布了《联邦水污染控制法》，提出通过合理利用土地的生产方式来控制农业面源污染，并通过颁布《联邦杀虫剂控制法》禁止 DDT 等有害杀虫剂的使用，减少农药对土壤的污染，1977 年颁布的《清洁水法》对城市和农村水资源保护提出了具体详细的计划，对水资源的保护做出了法律上的规定，1987 年颁布的《水质法案》对各类农业面源污染做出了系统的识别和划分。针对农业面源污染，美国制定了分门别类的管理计划。

（2）技术措施。在农村、农场普遍使用费用较低、操作简便、易上手的替代性农业生产技术来减少面源污染物排放。在推广替代农业生产技术上，主要通过技术培训、提供一手信息等来帮助农民更快适应新技术，在农业补贴和奖励上面的投入减少，新技术主要分为工程型技术和非工程型技术两种。工程型技术主要通过排污管道来控制减少农业面源污染，如草地和植被过滤带、河岸缓冲带、污水蓄水池、人工湿地建设等；非工程型技术则主要针对末端的污染物进行综合治理，如有害物质综合管理、生物废弃物循环利用等。

（3）其他措施。美国政府着力优化农业生产大环境，致力于打造绿色农业、集约化生产农业、可持续发展农业。首先要解决的是农村水污染问题，通过颁布一系列相关法律、法规来降低农村地表水中农药等有害物质含量；成立专项基金，对美国各流域水质进行检测和治理；政府通过设立种子基金，吸引更多民间资本投资农业面源污染治理。近年来，政府致力于在农场推行循环农业生产模式，鼓励农业生产要素适度开发和农业资源再利用，对于各项指标达标的农场或农户减免税收。除此之外，还鼓励农民节约用水、循环用水（王燕，2018）。

## 2. 欧盟农业面源污染治理经验

欧盟从微观和宏观层面对农业面源污染治理制定了相关政策。微观层面主要有技术措施、政策法规、奖惩措施；宏观层面主要是指对于整体农村治理综合发展提出的要求和制定的相关措施（程序等，2018）。

（1）定政策、投资金。欧盟为了实现农业可持续发展，在欧盟成员国内部实施了共同农业政策，颁布了很多环保法律法规，确保农业生产绿色、可循环、低污染。例如，颁布了化肥和农药登记使用制度、对于采用环境友好型生产技术的农户给予高补贴、对于各级政府增加环保方面经费等。欧盟许多成员国政府为了减少农业面源污染物排放设立专职部门，如农业与环保部门，主要分管农业生产过程中的环保问题，还委托当地农科院、农民协会等机构协助环保政策的实施并监督其执行。

（2）推技术、奖农民。欧盟投入大量的科研资金研发环境友好型农业技术，并且通过多项补贴措施鼓励农民采用新的替代技术，诸如有机农业、农业水土保持、农田最佳养分管理、综合农业管理等技术，这些技术大多操作简单、转换成本低。在水资源保护区采用降低农田、畜禽养殖业和生活污水中氮、磷排放量的技术措施，制定严格的农业生产技术标准，从源头加以控制；畜禽场主要通过制定畜禽场化粪池容量和密封性，以及畜禽场农田最低配置等标准进行污染控制；环保部门监控排污时，重点检查畜禽场化粪池容量和农田最低配置等方面，而不是检查农村畜禽场排放污水是否达标。

（3）治理环境、保发展。在农业面源污染治理时，欧盟非常注重农村生活环境的保护与治理，实施挖掘农业多重价值的支持政策。例如，设立专项基金支持农村生产结构性调整；培养新农民，多渠道增加农民收入；积极推行自然资源和环保政策；大力推广农业再生资源的综合利用；通过这些政策，增强了乡村的经济活力，提高了农业竞争力，推进了乡村经济多样性发展。

### 3. 日本农业面源污染治理经验

日本农业面源污染控制起步于 1990 年，截至目前，通过先后调整政府法规、化肥农药使用技术、农业机械、农作制度、农田渠系与农业教育等，形成了一套行之有效的做法，在农业面源污染控制方面取得了显著成效。在国家层面上基本建成了农业面源污染防控体系，化肥农药施用量降低与利用效率提高同时稳步推进，水体环境污染治理逐渐达标，农产品质量获得较大改善，有机农业或绿色农业生产模式推广到千家万户（杨世琦等，2018）。

（1）水稻缓控释肥施用技术。日本在缓控释肥施用技术及其产品研发方面一直处于全球领先水平，具有肥料利用率高、土壤残留量低、施肥量少、可有效控制农业面源污染等优点，该技术的核心养分释放控制期在 30~90 d，释放精度较高。

（2）采用先进智能化农业机械，提高肥药利用率，有效控制农业面源污染。日本在农机的智能化应用方面也取得了重大进展，GPS 定位与测土施肥进一步结合，实现了精准化，大幅度降低了化肥的浪费和污染；在无人驾驶农机方面也发展迅速，提高了播种质量，还在后期肥药精准使用、田间管理和收获质量上得到很大的提高。

（3）创建并完善了农田灌排体系，排灌效率高。稻田灌水渠略低于公路、高于田块，较小、较窄、较浅，有利于调控浅层地下水位，还有利于灌溉，更有利于排涝；稻田排水沟较大、较宽、较低，在稻田退水渠两侧还种植了一种宽叶植物，形成生态沟渠，且稻田周边还用类似 PVC 的挡板围了起来，以控制稻田退水，这样一方面减少水资源浪费，另一方面控制农田土壤养分流失及避免水体环境的污染。

（4）推进农业产业化和专业化的发展。日本农业的产业化、专业化水平较高，极大地保障了农业产业链可持续健康发展和种植户的收益，也稳定了国家农业基础。农业产业化的优势体现在确定的作物类型，配套的机

械、农作技术、化肥农药、技术服务，稳定的市场供求等，而专业化的优势体现在确定的作物品种、熟练的管理经验、固定的销售渠道及专业化的农协等，其中化肥、农药的类型及使用与农田面源污染防治密切相关。

(5) 日本全国农业合作协会联合会，将各项先进实用技术推广应用。日本全国农业合作协会联合会简称JA全农，业务范围涉及农产品品牌的创建与开发、肥料检测与利用、病虫害防治、农药残留检测、经营成本控制、农业生产资料（如机械、设施、设备）的维修和使用培训、加油站经营（有石油进出口权）等。近年来，JA全农还推出了农业技术网络服务，主要是为农户提供土壤肥力诊断、肥药施用及病虫草害防治等方面的远程视频对话，这标志着日本农业立体式服务体系的建成，相关农业研究所还借助JA全农的平台，试验、示范各种新品种，在JA全农验证通过后再向日本全国推广。

### 三、我国农业面源污染防治技术研究现状

#### (一) 我国农业面源污染现状

##### 1. 污染现状

2020年6月发布的《第二次全国污染源普查公报》中的数据显示，2017年，农业源水污染物排放量情况为：化学需氧量1067.13万t，总氮141.49万t，总磷21.20万t，农业面源COD、总氮和总磷排放量分别约占全国排放量的50%、47%和67%，种植业与畜禽养殖的贡献占农业源的90%以上，从总氮的排放量来看，种植业与养殖业各半；总磷与氨氮的排放量及种植业与养殖业比值分别为1:1.3与1:1.6。这与2007年第一次全国污染源普查的结果相比呈明显下降趋势，农业领域中的污染排放量COD、总氮、总磷排放量分别下降了19%、48%、26%。但农业面源污染物的占比仍然很高，与工业和城镇生活污染治理相比，农业面源污染负荷的削减幅度小、速度较为缓慢，与第一次污染普查相比，其对水体的污染