

# 我国农业面源污染治理技术研究进展\*

杨林章<sup>1,2</sup> 冯彦房<sup>2</sup> 施卫明<sup>2</sup> 薛利红<sup>2</sup> 王慎强<sup>2</sup> 宋祥甫<sup>3</sup> 常志州<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院 南京 210014; 2. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008;  
3. 上海市农业科学院 上海 201403)

**摘要** 随着我国经济社会的进一步发展,农业面源污染已经成为造成我国环境污染尤其是水环境污染的主要因素,农业面源污染治理技术的研究也越来越得到政府和科技工作者的重视。本文重点介绍了当前我国农业面源污染的状况、农业面源污染的成因及特征,并从农村生活污水的治理技术、农村生活垃圾的处理处置技术、农田径流生态拦截技术以及包括化肥减量化技术和农药减量化与残留控制技术为主的农业化学品减量使用技术等方面介绍了我国农业面源污染治理研究的发展现状,提出未来我国农业面源污染治理的系统控制思想和相关技术研究的趋势,包括系统控制与区域治理结合、技术研发与工程示范结合、面源污染控制与管理结合及建立健全国家级农业面源污染监测评价与预警体系等。

**关键词** 农业面源污染 经济发展 环境污染 污染控制技术

中图分类号: X506 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2013)01-0096-06

## Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China

YANG Lin-Zhang<sup>1,2</sup>, FENG Yan-Fang<sup>2</sup>, SHI Wei-Ming<sup>2</sup>, XUE Li-Hong<sup>2</sup>, WANG Shen-Qiang<sup>2</sup>,  
SONG Xiang-Fu<sup>3</sup>, CHANG Zhi-Zhou<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

**Abstract** With further economic development in China, non-point source pollution has become a major side effect of agricultural production. There have been wide-spread reports of environment pollution, especially the water environments in China. With this, relevant control measures of agricultural non-point source pollution have gained the attention of the government and scientists in the country. This paper reviewed the current state and discussed the contributing factors and characteristics of agricultural non-point source pollution in China. It also summarized researches on pollution control technologies, including rural sewage/garbage treatment, nutrient retention in farmland runoff and reduction/reasonable use of chemical fertilizers/pesticides. Future development trends in controlling agricultural non-point source pollution in China, and especially the systematic control of rural pollution, were discussed too. Suggestions such as combination uses of systematic control and regional treatment, new techniques development and demonstration, pollution control and management, and establishment of national evaluation and early-warning systems were put forward.

**Key words** Non-point source pollution of agriculture, Economic development, Environmental pollution, Control technology of pollution

(Received Oct. 26, 2012; accepted Nov. 7, 2012)

面源污染,亦即非点源污染(non-point source pollution),是相对于排污点集中、排污途径明确的点源污染而言的。农业面源污染主要包括农用化学品污染(化肥、农药等)、集约化养殖场污染、农村生活污水污染等方面。对于中国绝大多数流域,如太

湖、滇池流域等,农田径流、畜禽场径流以及城乡结合部污水排放和垃圾堆放是造成面源污染的主要原因<sup>[1]</sup>。据第一次全国污染源普查资料显示,在我国主要污染物排放量中,农业生产(含禽畜养殖业、水产养殖业与种植业)排放的COD、N、P等主要污染

\* 江苏省农业科技自主创新资金[CX(12)3046]和国家水专项太湖项目(2012ZX07101-004)资助

杨林章(1958—),男,博士,研究员,研究方向为农业面源污染控制技术与工程化应用。E-mail: lzyang@issas.ac.cn

收稿日期: 2012-10-26 接受日期: 2012-11-07

物量, 已远超过工业与生活源, 成为污染源之首, 其中 COD 排放量占总量的 46% 以上, N、P 占 50% 以上。在农业生产过程中, 种植业的农药、化肥、地膜等农用物资的不合理和过量使用, 在降水或灌溉过程中, 污染物通过农田地表径流、农田排水和地下渗透进入附近水体, 引起水体的污染已形成共识, 由此导致的农业面源污染问题日益突出<sup>[1-2]</sup>。农业面源污染正在成为水体污染、湖泊富营养化的主要原因, 已严重影响到我国的水环境质量、生态环境健康, 制约了我国经济社会的可持续发展。对农业面源污染的控制不仅成为水污染治理的重中之重, 也逐步成为现代农业和社会可持续发展的重大课题。

## 1 农业面源污染的成因及特点

农业面源污染根本原因在于粮食安全压力大, 从而导致农用化学品的过量使用。目前, 我国已经成为世界上最大的化肥生产和消费国。施肥技术落后、肥料和灌溉水利用率低是导致氮素损失的主要原因。在东部发达农区氮肥施用量较高, 施肥阶段与作物需求脱节, 易于导致较高的 N 损失。同时, 过量的灌溉也容易引起营养元素的流失, 进而加剧对水环境的威胁。如我国的苏南地区, 年均施纯氮 600~675 kg·hm<sup>-2</sup>, 而其利用率平均为 20%~25%<sup>[3]</sup>。

肥料养分施用比例失调, 偏施、重施单一化肥, N 的比重过大, N、P、K 养分的比例不协调, 限制了 N 利用率的提高; 另一方面, 化肥施用比例过高, 有机肥比重较少, 导致土壤物理性状变差、团粒结构遭到破坏、土块板结、保水保肥能力降低, 从而加大了养分的地表径流, 养分流失加剧。

城镇化发展、地面硬化程度的提高, 加速了面源污染物质的扩散和迁移。镇、村居民点地表径流也已成为水环境污染或水体富营养化的重要来源<sup>[4]</sup>。此外, 集约化养殖发展迅速, 废弃物处理率低下<sup>[2]</sup>, 以及农业技术推广滞后, 公众缺乏环境意识, 也是农业面源污染日趋严重的重要因素之一。

农业面源污染具有分散、随机、难监测等特点。面源污染主要以扩散的方式发生, 一般与气象事件的发生有关, 加之流域内土地利用状况、地形地貌、水文特征、气候、土壤类型等的不同, 导致面源污染时空分布的不均一性。此外, 由于降雨、水文条件变化的随机性, 直接影响了面源污染发生的时间、区域及强度, 致使面源污染的发生也具有随机的特点。而面源污染的分散、随机发生, 致使人们无法在发生之处进行及时监测, 真正的污染源头难以跟踪, 即面源污染具有发生时间、发生源、污染物浓度 3 个不确定性因素<sup>[2]</sup>, 这给面源污染的治理

带来了较大难度。

## 2 农业面源污染治理研究现状

### 2.1 农村生活污水治理技术

近 20 年来, 国外在农业面源污染控制实践中, 农村生活污水治理研究得到了较大发展。国内在消化、吸收国外先进技术的基础上, 对生活污水处理技术进行了集成及创新, 尤其针对我国农村分散式生活污水处理, 开展了技术研究与工程实践, 取得了较好进展。

人工湿地污水处理系统是一种研究较为广泛的污水处理系统。它是在自然湿地基础上发展起来的污水处理生态工程技术, 利用自然生态系统中的物理、化学和生物的重三重协同作用来实现对污水的净化<sup>[5-6]</sup>。澳大利亚科学和工业研究组织(CSIRO)研制的“FILTER”污水处理系统则是一种“过滤、土地处理与暗管排水相结合的污水再利用系统”。其特点是过滤后的污水都汇集到地下暗管排水系统中, 并设有水泵, 可以控制排水暗管以上的地下水位以及处理后污水的排出量<sup>[7]</sup>。“FILTER”系统对生活污水的处理效果好, 其运行费用低, 特别适用于土地资源丰富、可以轮作休耕的地区, 或是以种植牧草为主的地区。毛细管渗滤沟污水处理, 是一种基于土地的地下污水渗滤处理系统, 它利用了自然净化能力, 是一种简单、高效的小规模污水处理工艺, 特别适用于污水管网不完备的地区, 是一项处理分散排放的污水的实用技术。

蚯蚓生态滤池处理系统是近年在法国和智利发展起来的一项针对农村生活污水的处理技术, 该工艺仅通过向土壤处理系统中接种蚯蚓, 改善生态滤池的处理环境, 提高污水处理效率, 适宜用于农村生活污水处理<sup>[8]</sup>。李军状等<sup>[9]</sup>采用塔式蚯蚓生态滤池处理系统对集中型农村生活污水进行处理, 该系统对 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN 和 TP 的平均去除率分别为 86.7%、91.3%、72.4% 和 96.2%。不过, 如何长期保持蚯蚓良好的活性, 是该技术面临的一个重要问题。另外, 对蚯蚓生态滤池处理系统的长期运行效果, 尚需检验。

稳定塘处理系统是由美国加州大学伯克利分校的 Oswald 提出的, 是一种利用天然净化能力的生物处理构筑物的总称, 主要利用菌藻的共同作用处理废水中的有机污染物<sup>[10]</sup>。Babu 等<sup>[11]</sup>的研究证明, 其建造的藻类稳定塘的主要除 N 机理是硝化-反硝化、藻类对 N 的利用以及矿化作用。赵学敏等<sup>[12]</sup>对滇池流域大清河生物稳定塘系统中的水质净化效果进行了分析, 结果表明, 生物稳定塘系统对 TN、TP、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、BOD<sub>5</sub> 和 COD 的去除率分别达 29.29%、48.68%、33.68%、68.14% 和 71.25%。

生物膜处理技术是近几十年来得到迅速发展的污水处理方法。生物膜法就是利用微生物分解功能,采取人工措施来创造更有利于微生物生长和繁殖的环境,使微生物大量繁殖,以提高对污水中有机物的氧化降解效率。吴迪等<sup>[13]</sup>对改进后的“一体化生物膜技术”处理农村生活污水进行了实际应用,监测结果表明,其对 COD、BOD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP 和 SS 平均去除率分别为 75.6%、85.9%、86.7%、63.9%、69.3%和 85.5%。吴永红等<sup>[14]</sup>系统研究了自然生物膜对于 N、P 等营养元素的去除效果和机理。其 N、P 去除机理首先是生物膜利用沉积于膜上的有机物为营养物质,将一部分物质转化为细胞物质,进行生长繁殖,成为生物膜中新的活性物质;其次由于生物膜的蓬松的絮状结构,微孔多,表面积大,具有很强的吸附能力。

## 2.2 生活垃圾和农业废弃物处理技术

生活垃圾、农作物秸秆、畜禽养殖废弃物等是我国农村主要的固体废弃物,实现农村固体废弃物的资源化是当前农村生态环境建设的重要内容。由于生活垃圾来源和成分复杂,目前的主要处理方式以“村收集—镇转运—县(市)集中处理”为主,大部分被集中填埋或焚烧,少部分与农作物秸秆、畜禽养殖废弃物等进行堆肥化处理。高温堆肥过程中如何减少 N 的损失是高温堆肥要解决的关键技术。

农作物秸秆是农村主要的固体废弃物,目前其资源化率还比较低,部分地区农作物秸秆的焚烧已导致严重的生态环境问题,尤其在我国的东部地区。目前,农作物秸秆的处理以还田为主,包括部分还田或全量还田。随着作物收获机械的改进,秸秆全量还田已成为主要还田方式。此外,秸秆打捆收获后用作能源、建筑材料、花卉盆钵等新型资源化方式也已形成一定的规模。

畜禽粪便是农业面源污染的主要来源,已经成为经济发达地区或水环境敏感地区优先控制的污染源。在中国的传统农业中,畜禽粪便是优质的农家肥,不仅能提供农作物生长所需的养分,也能改善土壤理化性质,是中国农业数千年持续发展的重要物质基础。畜禽粪便资源化的主要途径是农肥化,固体部分经发酵后生产优质有机肥,再进行还田以实现循环利用。液体部分目前主要处理方式包括厌氧发酵生产沼气,或直接进入污水处理工程进行净化,或与农村的固体废弃物如秸秆、生活垃圾等进行联合发酵。其中沼液的安全处置是当前急需解决的关键问题。

## 2.3 农业化学品减量化技术

### 2.3.1 化肥减量化技术

我国是世界上化肥施用量最多的国家,肥料的

平均利用率只有 30%左右,大多数养分随径流、渗漏和挥发等途径损失掉了,不仅浪费了资源,而且加剧了水体富营养化。因此,根据不同地区的实际情况研究减量施肥技术具有重大的意义。目前主要的化肥减量技术有以下几种:

**氮肥运筹优化技术:**在施氮量相等的情况下,合理调整基追肥的分配比例,如太湖流域的稻田土壤,基于目前常规施氮量,将基肥施用量削减 20%,可有效地协调当地的经济效益和环境效益<sup>[15]</sup>。Qiao 等<sup>[16]</sup>的研究证实,在太湖地区水稻产区通过两年连续试验,消减 50%的施氮量(相对于常规施氮量)并未显著影响水稻产量。何传龙等<sup>[17]</sup>在巢湖地区根据蔬菜地养分供应能力和甘蓝的营养特性,运用减量平衡施肥技术,使肥料施用量减少 30%,N、P、K 肥利用率分别提高 27.3%、23.4%和 23.5%,N、P 淋失量分别减少 90.0%、78.4%。但是此类研究一般局限于较短时间,对于长期减量施肥对作物产量有何影响,尚需进一步探明。

**种植制度优化技术:**比如稻麦轮作制中引入豆科绿肥,既可降低旱季的施氮量,又可补充稻季的氮素。在太湖地区进行的水稻—紫云英轮作试验结果表明,冬季将小麦改为紫云英,稻季不施用化学氮肥,水稻产量可达到农户常规产量的 95%左右,如果补充农户施氮量的 30%,则可获得与农户正常产量相当的产量,或略有增产<sup>[16]</sup>。王静等<sup>[18]</sup>在滇池流域蔬菜产地的调查表明,合理的轮作模式可减少蔬菜地 N、P 的盈余量。

**缓控释等新型肥料技术:**缓控释肥料中养分的释放与作物养分需求比较吻合,养分的释放供应前期不过多,后期不缺乏,具有“削峰填谷”的效果,可以大大降低向环境排放的风险。田琳琳等<sup>[19]</sup>在太湖流域大田蔬菜地的试验结果表明,在蔬菜生产中,“低量控释肥+低量化肥”是兼具经济效益和环境效益的施肥模式。但是目前缓控释肥费用相对普通化肥较高,限制了其广泛使用。

**施加土壤改良剂控制 N、P 流失:**生物质炭(biochar)由于其良好的吸附性能、低廉的成本以及良好的生物亲和性,将其运用于农田营养盐释放控制,受到研究人员的关注<sup>[20]</sup>。Ding 等<sup>[21]</sup>在农田表层 20 cm 的土壤施加 0.5%的生物质炭,可以减少 15.2%的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  损失量。姬红利等<sup>[22]</sup>以滇池设施农业土壤和坡耕地土壤为研究对象,采用外源施用土壤改良剂(硫酸亚铁、硫酸铝和聚丙烯酰胺)和土壤消毒剂(五氯硝基苯)的办法,研究了土壤改良剂对土壤解吸过滤液中 TP 和 TDP 浓度变化的影响。野外田间试验表明:施加改良剂后,径流雨水中 TP 和 TDP 值明显

降低, 上述土壤改良剂的施用对降低 P 流失具有明显效果。但是其经济性与环境风险如何尚待进一步研究。

### 2.3.2 农药减量化与残留控制技术

在化学农药减量施用方面, 当前主要发展趋势是由化学农药防治逐渐转向非化学防治技术或低污染的化学防治技术。近年来, 江苏省多家单位联合开展水稻化学农药污染控制技术研究, 针对水稻螟虫、灰飞虱、条纹叶枯病与纹枯病等重大病虫害, 研究开发了多项无公害关键技术, 在水稻核心示范区减少了 30% 农药用量。卢仲良等<sup>[23]</sup>选用高效低毒的三唑磷、丙溴磷、井冈霉素、噻嗪酮、毒死蜱等药剂进行施药, 增产 6.97%。在农药残留生物降解方面, 国内外做了很多研究工作, 包括细菌、真菌、放线菌等各种降解农药的微生物菌株相继被分离和鉴定, 用以降解有机磷、有机氯和三嗪类除草剂、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等多种农药。近年来伴随着基因工程和分子生物学的发展, 构建高效工程菌是当前研究的热点, 将高效降解农药酶的基因构建到载体上, 经转化获得工程菌, 以期提高具降解作用的特定蛋白或酶的表达水平, 从而提高降解活性。但是目前的研究仍然存在不足, 大多数研究以实验室研究为主, 降解机理研究不够深入, 中间产物难以检测<sup>[24]</sup>, 技术零散、集成度低、配套性差和展示度低等仍然是目前我国集约化农田农药减量化与残留控制需求中的突出问题。

### 2.4 污染物质的生态拦截技术

农业面源污染物质大部分随降雨径流进入水体, 在其进入水体前, 通过建立生物(生态)拦截系统, 有效阻断径流水中的 N、P 等污染物进入水环境, 是控制农业面源污染物的重要技术手段。国外主要是设置宽广的生物隔离带来控制 N、P 的径流迁移, 如加拿大一种“草地-树木过滤带系统”, 可以显著降低径流的污染物含量<sup>[25]</sup>。杨林章等<sup>[26]</sup>结合太湖地区实际情况提出了生态拦截型沟渠系统, 它主要由工程部分和植物部分组成, 能减缓流速, 促进流水携带颗粒物质的沉淀, 有利于构建植物对沟壁、水体和沟底中逸出养分的立体式吸收和拦截, 从而实现了对农田排出养分的控制。沟渠系统对农田径流中 TN、TP 的去除效果分别达到 48.1% 和 40.2%。但是, 在生态沟渠的农田规划和设计标准、两侧及岸边植物品种筛选及空间配置技术、水生经济植物的品种筛选及空间配置技术、浮床植物的肥药管理技术、浮床植物残体的再利用技术以及植物的高效 N、P 利用机制等的研究还需要进一步拓展和深化。

## 3 未来农业面源污染治理的发展趋势

### 3.1 系统控制与区域治理结合

面源污染已经成为我国农村的主要污染源, 也是导致河流、湖泊水体富营养化的重要污染源。如何有效地控制农村的面源污染是消减河流污染负荷、减轻湖泊富营养化危害、改善河流湖泊水质的重要前提。在过去单项技术突破的基础上, 对面源污染实行系统控制, 实施面源污染的“源头减量(reduce)—前置阻断(retain)—循环利用(reuse)—生态修复(restore)”的“4R”技术体系, 从而达到全类型、全过程、全流域(区域)的控制, 是我国农业面源污染治理的发展方向。

### 3.2 技术研发与工程示范结合

面源污染的治理是一个综合性工程, 高效实用的面源污染治理技术是改善农村生态环境的重要支撑, 尤其是开发适合我国农村居住特色、高度集约化的生产方式的面源污染治理技术更加迫切。同时我国是一个资源短缺的国家, 而面源污染中主要污染物是 N、P 等, 实现 N、P 的循环利用, 不仅可以减少其对水环境的污染, 也可补充农作物生产所需的养分, 实现污染治理与养分利用的双赢。在技术突破的基础上, 把技术转化为治理工程是面源污染治理的重要保障。

### 3.3 面源污染控制与管理结合

农业面源污染来源复杂, 涉及部门众多, 与千家万户密切相关。要确保面源污染治理取得实效, 必须建立农村面源污染管理体系。包括农村污染物的堆放与收集条例、污染物的处理处置规定、污染物治理技术规范、污染治理工程长效运行与维护条例等。同时, 在农村要进行生态文化与环保意识的教育, 提高农户的环保意识与参与程度, 以实现面源污染治理的长效化。在政策保障方面, 要研究与面源污染控制相关的生态补偿政策、产业转型政策、税收调控政策等, 并逐步开展试点和示范。

### 3.4 建立健全国家级农业面源污染监测评价与预警体系

鉴于我国土地利用方式和农业生产的多样性, 应在不同类型区建立农业面源污染的监测系统, 摸清农业面源污染的主要来源及负荷量, 主要的排放途径与时空分布, 识别面源污染的高风险区域, 为有效控制面源污染提供基础数据与依据。在国家级农业环境监测网络的基础上, 通过数据分析与系统集成, 建立农业面源污染的预警体系, 及时发布污染风险预警, 为全面控制农业面源污染奠定基础。

## 参考文献

- [1] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008–1017  
Zhang W L, Wu S X, Ji H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008–1017
- [2] 吴永红, 胡正义, 杨林章. 农业面源污染控制工程的“减源-拦截-修复”(3R)理论与实践[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 1–6  
Wu Y H, Hu Z Y, Yang L Z. Strategies for controlling agricultural non-point source pollution: Reduce-retain-restoration (3R) theory and its practice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 1–6
- [3] 杨林章, 孙波, 刘健. 农田生态系统养分迁移转化与优化管理研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 441–445  
Yang L Z, Sun B, Liu J. Progress in translocation and transformation of nutrients in agroecosystems and its optimized management[J]. Advance in Earth Science, 2002, 17(3): 441–445
- [4] 夏立忠, 杨林章, 吴春加, 等. 太湖地区典型小城镇降雨径流 NP 负荷空间分布的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 267–270  
Xia L Z, Yang L Z, Wu C J, et al. Distribution of nitrogen and phosphorus loads in runoff in a representative town in Taihu Lake Region[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(3): 267–270
- [5] 谢云成. 煤矸石-粉煤灰基质人工湿地技术处理矿井水模拟研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8545–8547  
Xie Y C. Study on coal mine water treatment using constructed wetland technology of coal Gangue-fly ash substrate[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(14): 8545–8547
- [6] Raisin G W, Mitchell D S. The use of wetlands for the control of non-point source pollution[J]. Water Science and Technology, 1995, 32(3): 177–186
- [7] 苏东辉, 郑正, 王勇, 等. 农村生活污水工程技术探讨[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1): 79–81, 113  
Su D H, Zheng Z, Wang Y, et al. Discussion on treatment technology of rural domestic wastewater[J]. Environmental Science & Technology, 2005, 28(1): 79–81, 113
- [8] 王永谦, 杨林章, 冯彦房, 等. 蚯蚓活动对生态滤池微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 162–167  
Wang Y Q, Yang L Z, Feng Y F, et al. Effects of earthworm activities on the functional diversity of soil microbial community in the eco-filter[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(32): 162–167
- [9] 李军状, 罗兴章, 郑正, 等. 塔式蚯蚓生态滤池处理集中型农村生活污水工程设计[J]. 中国给水排水, 2009, 25(4): 35–38  
Li J Z, Luo X Z, Zheng Z, et al. Design of tower earthworm ecofilter system for treatment of centralized rural domestic sewage[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(4): 35–38
- [10] 孙兴旺, 马友华, 王桂苓, 等. 中国重点流域农村生活污水治理现状及其技术研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 384–388  
Sun X W, Ma Y H, Wang G L, et al. Research on current treatment status and technologies of rural domestic wastewater in China major basins[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(18): 384–388
- [11] Babu M A, van der Steen N P, Hooijmans C M, et al. Nitrogen mass balances for pilot-scale biofilm stabilization ponds under tropical conditions[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(4): 3754–3760
- [12] 赵学敏, 魏清伟, 周广杰, 等. 改良型生物稳定塘对滇池流域受污染河流净化效果[J]. 湖泊科学, 2010, 22(1): 35–43  
Zhao X M, Guo Q W, Zhou G J, et al. Purification effect of improved biological stabilization ponds on the polluted river in lake Dianchi Catchment[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(1): 35–43
- [13] 吴迪, 高贤彪, 李玉华, 等. 一体化生物膜技术处理滨海农村污水[J]. 环境工程学报, 2012, 6(8): 2539–2543  
Wu D, Gao X B, Li Y H, et al. Integrated biofilm technology for treating rural domestic sewage in coastal areas[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(8): 2539–2543
- [14] Wu Y H, He J Z, Yang L Z. Evaluating adsorption and biodegradation mechanisms during the removal of microcystin-RR by periphyton[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(16): 6319–6324
- [15] 薛峰, 颜廷梅, 乔俊, 等. 太湖地区稻田减量施肥的环境效益和经济效益分析[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 26–31, 51  
Xue F, Yan T M, Qiao J, et al. Economic and environmental benefits of lower fertilizer application rate in paddy fields in Taihu Area[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2009, 25(4): 26–31, 51
- [16] Qiao J, Yang L Z, Yan T M, et al. Nitrogen fertilizer reduction in rice production for two consecutive years in the Taihu Lake area[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 146(1): 103–112
- [17] 何传龙, 马友华, 李帆, 等. 减量施肥对菜地土壤养分淋失及春甘蓝产量的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 397–401  
He C L, Ma Y H, Li F, et al. Effects of reducing fertilizer application on vegetable soil nutrient leaching and spring cabbage yield[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(2): 397–401
- [18] 王静, 张维理, 郑毅, 等. 滇池流域环境友好作物轮作模式的选择[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(5): 663–669  
Wang J, Zhang W L, Zheng Y, et al. Selection of environmental friendly crop rotation pattern in Dianchi Catchment[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2006, 21(5): 663–669
- [19] 田琳琳, 庄舜尧, 杨浩. 不同施肥模式对芋艿产量及菜地土壤中氮素迁移累积的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(12): 1853–1859  
Tian L L, Zhuang S Y, Yang H. Dynamics and transport of soil inorganic nitrogen in vegetable lands with various fertilization modes in the region of Taihu Lake[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(12): 1853–1859
- [20] Xu G, Lv Y C, Sun J N, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications[J]. CLEAN-Soil, Air, Water, 2012, 40(10): 1093–1098
- [21] Ding Y, Liu Y X, Wu W X, et al. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2010, 213(1): 47–55

[22] 姬红利, 颜蓉, 李运东, 等. 施用土壤改良剂对磷素流失的影响研究[J]. 土壤, 2011, 43(2): 203-209  
 Ji H L, Yan R, Li Y D, et al. Effects of soil ameliorants on phosphorus loss[J]. Soils, 2011, 43(2): 203-209

[23] 卢仲良, 孔学梅, 袁文龙, 等. 农药减量增产技术在水稻病虫害防治上的应用研究[J]. 现代农业科技, 2012(15): 89-93  
 Lu Z L, Kong X M, Yuan W L, et al. Effect of reduction of chemical pesticides on the control of rice plant diseases and insect pests[J]. Modern Agriculture and Technology, 2012(15): 89-93

[24] 刘建利. 农药残留生物降解的研究[J]. 长江蔬菜, 2008(5): 67-70  
 Liu J L. Progress of biodegradation of pesticides residues[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2008(5): 67-70

[25] Duchemin M, Hogue R. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada)[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 131(1/2): 85-97

[26] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1371-1374  
 Yang L Z, Zhou X P, Wang J G, et al. Ecological ditch system with interception function and its effects on controlling farmland non-point pollution[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1371-1374

## 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 2013 年博士招生目录

中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心前身为始建于 1978 年的中国科学院石家庄农业现代化研究所。2002 年, 与中国科学院遗传与发育生物学研究所进行整合, 成立了“中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心”, 保留独立事业单位法人资格。拥有中国科学院院士 1 人, 引进中国科学院“百人计划”人才 4 名。

研究中心沿北纬 38 度带分别在河北省元氏县、栾城县和南皮县建立了 3 个野外试验台站, 形成了从山地丘陵—山前平原区—滨海平原区具有不同生态类型的农业科学研究基地。其中栾城生态农业系统试验站于 2005 年晋升为国家首批野外试验台站, 同时也是中国科学院生态网络台站成员和国际 GTOS 成员。此外中心还拥有中国科学院农业水资源重点实验室、河北省节水农业重点实验室。

自 2002 年进入中国科学院知识创新工程以来, 面向国家水安全、粮食安全、生态环境安全的重大战略需求和农业资源与生态学前沿领域, 以农业水资源高效利用为重点, 在节水理论与技术、农业生物技术、生态系统及信息管理等领域, 开展应用基础研究, 集成创新资源节约型现代农业模式, 为区域农业持续发展做出了基础性、战略性、前瞻性贡献。

招生专业: 生态学学术型硕士、博士研究生; 生物工程全日制专业学位硕士研究生。

研究生在相关研究领域取得了突出成绩, 学生毕业后赴国内外大学、科研院所等企事业单位就职、升学或从事博士后研究工作。所有学生在学期间不仅不收取任何学费, 非定向生还享有相应的奖/助学金, 硕士生每年 25 000 元左右, 博士生每年 35 000 元左右, 定向生和委培生也可申请三助奖酬金。此外, 部分优秀学生每年可获得中国科学院研究生院奖学金、冠名奖学金等奖励。

学生住宿条件优越, 宿舍宽敞明亮(每间两人), 具有独立卫生间、空调, 食堂伙食可口且价位适中。热忱欢迎相关专业有志青年踊跃报考及推免!

单位代码: 80156      地址: 石家庄市槐中路 286 号      邮政编码: 050022  
 联系部门: 人教部门      电话: 0311-85801050, 85814366      联系人: 王老师, 毛老师

学科、专业名称(代码) 研究方向	指导教师	预计招生人数	考试科目	备注
071300 生态学		11		以国家下达计划数为准
01 区域农业耗水模拟	沈彦俊		①英语—②生态学③气象学与气候学	
02 山地水循环与农业可持续发展	张万军		同上	
03 生态水文	杨永辉		同上	
04 盐渍区水土资源高效利用	刘小京		①英语—②生态学③土壤学	
05 小麦水分高效利用基因克隆与功能研究	张正斌		①英语—②分子生物学③植物生理学	
06 小麦遗传育种	李俊明		同上	
07 小麦优异基因的发掘和利用	安调过		同上	
08 植物发育及抗逆生理	刘西岗		同上	
09 植物抗逆分子机理研究	李霞		同上	
10 植物免疫信号转导	吕东平		同上	
11 作物水分生理及节水调控	刘孟雨		同上	