

东江源头区“猪沼果鱼”生态农业模式关键技术与面源污染控制分析

刘明庆^①, 席运官^①, 龚丽萍, 徐欣, 魏琴, 李德波 (环境保护部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042)

摘要: 以江西省定南县龙塘镇杏林农庄“猪-沼-果-鱼”生态农业模式为例, 系统研究了该模式的关键技术与农业面源污染控制效果。杏林农庄内实施山顶种植水土涵养林, 山腰开梯田种脐橙, 园间栽培生草, 山脚保留防护植被带, 山脚建造养猪场和沼气池, 沼气池下游建有多级鱼塘, 已形成较典型的“养猪-沼气-果树-养鱼”四位一体的物质循环和能量梯级利用的综合生态农业模式。分析认为该模式的推广应用有助于有效控制农业面源污染, 防止东江源头区水质恶化, 具有良好的经济、社会和生态效益。

关键词: 东江源头区; 生态农业; “猪-沼-果-鱼”模式; 面源污染控制

中图分类号: X506 S181 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2010)S1-0058-06

Key Techniques and Non-Point Source Pollution Control Effect of “Pig Biogas Fruit-Fish” Eco-Agriculture Model in Headwaters of Dongjiang River LIU Ming-qing, XI Yun-guan, GONG Li-ping, XU Xin, WEI Qin, LI De-bo (Nanjing Institute of Environmental Sciences Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract A case study was performed of the “pig-biogas-fruit fish” eco agriculture model in Xinglin Farm, which is located in Longtang Township, Dingnan County, Jiangxi Province for systematic study on key techniques and agricultural non-point pollution control effect of the model. The farm planted trees on top of the hills for soil and water conservation, and navel orange trees in terrace fields with grasses growing like a cover on the hillside, kept protective vegetation belts at the foot of the hills, set up pigsties and biogas digesters in the valley and built up multi-level fish ponds in the downward, thus forming an integrated “pig-biogas-fruit fish” eco-agricultural system that features closed material cycle, cascade use of energy and ecological protection. The extension of this model may effectively help the control of agricultural non-point pollution, prevent water quality degradation of the headwaters of Dongjiang River and yield remarkable ecological, economic and social benefits as well.

Key words headwaters of Dongjiang River; eco agriculture; “pig-biogas-fruit fish” eco agriculture model; non-point source pollution control

东江源头区地理坐标为北纬 24°29′至 25°33′, 东经 114°47′至 115°33′, 包括江西省赣州市的寻乌、安远和定南 3 县, 流域面积 3 502 km², 约占东江全流域面积的 1/10。水资源总量 44.0 亿 m³, 其中 29.21 亿 m³ 输入珠江三角洲, 是下游众多城市, 特别是香港的主要水源地。因此, 保护好东江源头区环境, 尤其是水环境, 直接关系到珠江三角洲和香港的饮用水源安全。

农业面源污染是东江源水体污染的重要来源之一^[1-2]。根据笔者所在课题组的调查, 东江源区耕地面积为 3.16 万 hm², 果园种植面积达 5.76 万 hm², 柑橘类果业已成为该源头区农业经济发展的支柱产业。果园普遍大量使用农药、化肥, 农药使用量达 46.44 kg·hm⁻², 农药种类超过 40 种, 化肥使用量(折纯量)达 604.15 kg·hm⁻²。此外, 东江源

区, 尤其是定南县养猪业发达, 3 个县年出栏肉猪约 77.8 万头, 年排放粪便约 180 万 t。N、P、农药和养殖废水随地表径流进入水体的风险较大, 现已危害到东江源头区水体水质。

为了提高农业生产系统的生产力和资源综合利用率, 20 世纪 80 年代以来, 中国各地以沼气为纽带的生态农业得到了较大发展, 其中南方出现了以广西恭城、江西赣州和广东梅州为代表的“猪沼果”模式, 取得了良好的经济、社会与环境效益^[3-6]。“猪沼果-鱼”生态农业模式是在“猪沼果”模式基础上发展衍生而来, 该模式将部分沼液以及果园

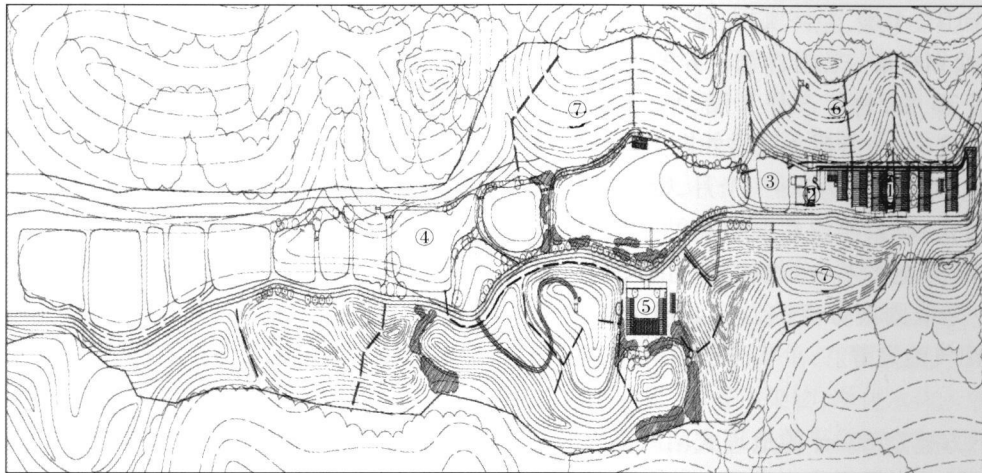
基金项目: 国家科技重大专项 (2009ZX07211-001)

收稿日期: 2010-11-05

① 通讯联系人 E-mail: xygofrc@126.com

害虫用于养鱼, 从而形成一个更加完整的生态体系。位于定南县龙塘镇朱坑生态养殖小区的杏林农庄为该模式的一个较典型的代表, 其总面积为 33.33 km^2 。农庄实行山顶戴帽(种植水土涵养林), 山腰开梯田种脐橙, 园间种植生草, 山脚穿靴(保留防护

植被带), 山脚下建造养猪场和沼气池, 下游建有多级养鱼池, 形成“养猪 沼气-果树 养鱼”四位一体的小流域综合生态农业模式(图 1)。笔者以杏林生态农庄为例, 分析“猪 沼 果 鱼”模式的关键技术与面源污染控制效果, 并提出进一步完善的建议。



①养猪场; ②沼气池; ③氧化塘; ④多级养鱼塘; ⑤管理房; ⑥杀虫灯; ⑦脐橙果园。

图 1 杏林农庄“猪 沼 果 鱼”生态农业模式示范工程示意

Fig 1 Diagram of the demonstration project of the “ pig-biogas fruit-fish” eco agriculture model in Xinglin Farm

1 研究方法

1.1 研究方法

选择定南县杏林生态农庄为研究对象, 采样测定农庄排水中总氮(TN)、可溶性总氮(DTN)、铵态氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)、总磷(TP)、可溶性总磷(DTP)、磷酸盐(PO_4^{3-})、pH和COD等水质指标, 抽检排水中重金属含量和常用农药残留指标。

1.2 分析方法

排水中 TN、DTN、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TP、DTP、 PO_4^{3-} 含量测定采用 Skalar(荷兰)水质流动分析仪^[7]; COD测定采用高锰酸盐指数法; pH值测定采用雷磁 PHS-3C 精密 pH 计; 农药残留测定采用 Agilent 6890N-5975B GC-MS 仪^[8]; 重金属含量测定采用 PerkinElmer Elan 6000 型 ICP-MS 质谱仪。

2 “猪 沼 果 鱼”生态农业模式的构建与运行机理

2.1 模式构建

“猪 沼 果 鱼”生态农业模式以种植、养殖为基础, 以沼气发酵为纽带, 根据系统的资源特色, 因地制宜地构建“养猪-沼气-果树-养鱼”四位一体、多产联动的生态良性循环生产系统(图 2)。

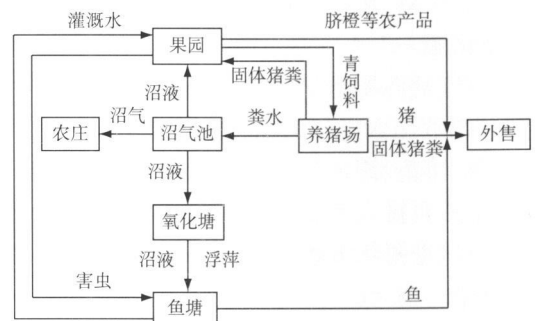


图 2 “猪 沼 果 鱼”生态农业模式结构

Fig 2 Structure of the “ pig-biogas fruit-fish” eco agriculture model

2.2 模式的运行机理

根据物质循环和能量高效流动原理, 在养猪场配套建造沼气池, 对猪粪实行固液分离处理, 固体经发酵堆制后用作果园肥料, 液体进入沼气池作为发酵原料。沼气用作燃料, 沼液主要作为肥料用于果树并可用于果园的病虫害防治, 部分沼液用于氧化塘培养浮萍, 浮萍则作为鱼饲料用于养鱼, 少量沼液可作为添加剂用于喂猪。果园合理保留野生植被以增加生物多样性, 配合应用杀虫灯、捕食螨和黄板等生物和物理防治手段进行害虫防治, 杀虫灯诱杀

3 “猪沼果鱼”生态农业模式组成单元功能分析

3.1 猪场

杏林农庄养猪场建在排水、排污能力较好的山地果园脚下,位于多级鱼塘的上游(图 1)。猪舍冬暖夏凉,通风向阳,干燥,经济实用,便于生产管理。猪场总面积为 2 600 m²,采用自繁自养的方式。目前有良种母猪 70 头,每年产仔 2 胎,平均每胎 10 头,幼仔在饲养 3~4 个月 after 主要供外售。猪场年出栏肥猪 100 头,饲养周期为 6~7 个月,待猪场各方面运行成熟与完善后,年出栏肥猪将达 1 000 头。饲养母猪猪舍配备妊娠栏、分娩栏、保育舍,饲料主要来自外购。采取固液分离的方式处理猪场猪粪尿,粪水进入沼气池发酵。

3.2 沼气池

在猪场下方建造 60 m³ 的埋地式沼气池,粪水等发酵原料经过进料管道流入沼气池,经发酵后最终通过排渣口排出。沼液是果园主要的肥源,通过泵将沼液抽取到果园喷灌池后再适时施用,沼气作庄园内燃气使用。沼液每年可以提供 N 584 kg, P₂O₅ 321.67 kg, K₂O 438.33 kg。

3.3 氧化塘

与沼气池匹配建造的是沼液氧化塘,面积 410 m²,部分沼液注入氧化塘氧化并用于培养浮萍。浮萍是草鱼、鲫鱼、鲤鱼等的良好饲料,定期捞取喂鱼。净化的沼液再排入鱼塘,作为促进水生生物生长的肥源。氧化塘每年大约净化农庄 40% 的沼液量。

3.4 鱼塘

多级鱼塘建在山地果园脚下、猪场沼气的下游,共有大小不等的鱼塘 11 个(图 1),总面积约 1.70 hm²,其中上游第 1 个鱼塘最大,面积 0.56 hm²,为主要养鱼塘。各鱼塘之间以及每个鱼塘内呈一定坡度逐步下降,鱼塘间有水管相连,山林蓄积水从排水孔流入各个鱼塘。目前鱼塘以养殖草鱼、鲢鱼、鳙鱼和鲤鱼为主,其中上游第 1 个大鱼塘有草鱼 1 500 条、白鲢 1 500 条、鲤鱼 1 000 条、鳙鱼 1 000 条,以及少量的鲫鱼和青鱼,其他鱼塘主要起净水、防草作用,养殖数量较少,一般为 100~200 条·塘⁻¹。鱼饲料主要由农庄内部产生,包括沼液、浮萍、水草以及杀虫灯诱杀的害虫,此外还有部分外购鱼饲料,每年 1 t 主要用于补充鱼苗期鱼食。沼气池发酵后的部分沼液经氧化塘氧化和浮萍净化后用于喂鱼,主鱼塘水再经各级生态鱼塘的初步净化后排出农庄外,各鱼塘内净化水体的浮萍、水草用于喂

鱼,此外果园内杀虫灯诱杀的害虫也可用于喂鱼。通过生态养鱼延长系统内生态链,既可节约农庄运行成本,又可有效净化水体,实现资源的合理循环利用,取得了很好的经济与环境效益。

3.5 果园

结合资源状况,在杏林农庄采用山顶戴帽、山脚穿靴、山腰开梯田的方式种植了 4 000 多株脐橙树。果园坡度 20°~30°,开辟反倾斜的水平梯带,采取等高种植的方式,株、行距分别为 4 和 3 m,梯壁高度 1.5~1.8 m,等高面向内倾斜,倾斜度为 6°~8°,以便汇水排水,减少水土流失。山坡修筑排水沟,沟内留草,阻隔径流泥沙。园内种植生草,存留梯面、梯壁植物,以减少水土流失。

3.5.1 果园养分供给

果园内实行科学施肥,节水灌溉,肥料以固体猪粪、沼液为主,同时外购少量桐枯、复合肥等。园内禁用除草剂,每年人工除草 4~5 次,杂草覆土作为绿肥使用。根据果树各阶段不同需求来施肥,以基肥为主,配合一定次数的追肥,总施肥量为 N 9.04 kg·(667 m²)⁻¹, P₂O₅ 6.09 kg·(667 m²)⁻¹, K₂O 6.79 kg·(667 m²)⁻¹。

3.5.2 果园病虫害生物防治

果园内实行健康栽培技术体系,合理进行水肥管理。病虫害防治主要以生物防治为主,使用灯光诱杀、释放天敌捕食螨防治红蜘蛛以及黄板诱虫等生物物理措施防虫,配合施用生石灰进行树体刷白和果园清园消毒处理,喷洒沼液、波尔多液、氢氧化铜等制剂防治果树病害。果园内种植胜红蓟等杂草来吸引天敌,留存茅草等快速生长的土著杂草,增加果园生物多样性,为果树天敌提供栖息繁衍的场所。

(1)黄板。黄板具有方便安全、不污染环境、控害效果好的优点,主要诱杀蚜虫、白粉虱、美洲斑潜蝇等害虫,每颗果树上悬挂 1 张,规格为 20 cm × 24 cm,当黄板上粘满较多害虫时,应及时清除并更换黏合剂。

(2)杀虫灯。果园安装频振式杀虫灯诱杀害虫,通过降低虫口基数而起到防治害虫的作用。杀虫灯主要诱杀鳞翅目、鞘翅目、半翅目及同翅目等害虫,如吸果夜蛾、卷叶蛾、金龟子、蚜虫、尺蠖等,每盏杀虫灯控制面积达 20 010 m²,一般采用悬挂安装,悬挂高度约为 1.5 m,天黑后开灯,每晚开灯 4~6 h,此外,在杀虫灯下套 1 只袋子,杀灭的虫子用于喂鱼。

(3)释放天敌捕食螨。捕食螨以捕食柑桔全爪螨(红蜘蛛)和锈壁虱为主,释放捕食螨前 20 d 应

采取有效措施防治其他病虫害。一般每年释放 1 次捕食螨, 每株果树释放 1 袋 (300 头), 每年 3—9 月当柑桔每叶害螨虫 (卵) < 2 头 (粒) 时释放。

4 “猪沼果鱼”生态农业模式面源污染控制分析

“猪-沼-果-鱼”生态农业模式能显著提高资源利用率和农业生态系统的综合效益, 解决传统农业模式中存在的投入高但经济效益不高、生活能源燃料缺乏、农产品品质下降等问题, 同时对当地农业面源污染控制与生态环境保护起到积极的作用。

4.1 控源

农药、化肥的过量使用加剧了该地区的农业面源污染, 使得东江源头区水体呈恶化趋势^[9-12]。作为降低农业面源污染产生量的源头控制技术, “猪-沼-果-鱼”生态农业模式的应用在于从农业生产源头上减少农业生产活动给环境带来的风险^[13-14], 主要包括耕作、养分、农药和灌溉排水管理^[15]。在“猪-沼-果-鱼”生态农业模式中, 通过果园园间留草, 合理保护生物多样性, 配合使用杀虫灯、捕食螨、黄板、石灰石、波尔多液等生物和物理防治手段能有效防治果树病虫害。杏林农庄每年使用农药 8~10 次, 明显少于定南县果园的平均农药使用次数 (12~14 次), 而且果园坚持人工除草, 禁用除草剂, 从而有效减少农药使用量。园内施用以沼液为主的有机肥, 只投入少量复合肥 [22.5 kg·(667 m²)⁻¹] 显著减少了化肥投入量。此外, 果园每年人工除草 4~5 次并实行就地覆盖, 为果园提供了大量的养分。果园内合理铺设管道, 节水灌溉。上述举措从源头上有效地降低了面源污染风险。

4.2 截流

东江源头区是长江流域水土流失较为严重的地区之一。砍伐森林、破坏水土涵养林以及果园的不合理开发等造成大量水土流失, 形成面源污染, 导致水质恶化^[9-11, 16]。杏林农庄内基本形成了山顶戴帽、山腰开梯田种植果树和山脚穿靴的水土防治模式。植被缓冲带可有效地拦截和滞留泥沙并减少氮、磷等污染物进入受纳水体的负荷量, 显著降低面源污染的影响^[17-19]。农庄内山顶种植水土涵养林, 可有效涵养水土与养分。果园开辟反倾斜的水平梯带, 采用等高种植, 实施生草栽培, 可有效减少水土流失, 保持生物多样性, 同时增加土壤有机质, 改善土壤结构。山脚留有防护植被带, 梯壁和梯面保留天然生长的土著植物, 起到了良好的固土作用, 且增强了山坡的稳固性。此外, 系统中合理设置排水沟、

排水孔等排水设施, 在排水沟边合理覆草, 减少雨水对土壤的冲刷, 从而有效截留泥沙, 防止水土流失, 减少氮、磷的流失, 降低面源污染的影响。

4.3 净化

东江源头区畜禽养殖业比较发达, 是该地区农村经济的重要组成部分, 但畜禽养殖业带来的环境污染问题也日益严重, 大量畜禽养殖废水的任意排放, 造成地表水、地下水和土壤的污染, 严重影响着东江源头区水质^[1, 9-11]。“猪-沼-果-鱼”生态农业模式注重资源的合理循环利用, 养猪场猪粪实行固液分离, 粪水用于发酵产沼气、沼液, 在提供清洁能源的同时能有效削减有机污染物; 合理的猪场建设能有效防止猪粪尿的渗漏对水体和土壤的污染。沼液主要用于果园施肥, 部分沼液通过氧化塘和浮水植物净化后用于养鱼, 在实现废物资源化利用的同时削减氮、磷等污染物, 净化水体。农庄坡地果园产生的径流水全部汇集于鱼塘, 经多级鱼塘利用、净化后再从总排水口排出农庄外环境中。

“猪-沼-果-鱼”生态农业模式通过控源、截流和净化等措施, 可以大大减少果园农药、化肥使用量, 减少养殖废水排放量及氮、磷、COD 等污染物的产生量, 有效截留果园泥沙, 控制水土流失, 净化径流水, 改善系统出水水质, 从而达到控制面源污染与保护生态环境的目的。由 2010 年 6—8 月的水质采样监测结果 (表 1) 可知, 杏林农庄总排水口出水水质总体良好, 基本达到 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质要求。出水中重金属 Cu、Zn、Se、As、Hg、Cd、Cr 和 Pb 平均含量分别为 11.63、45.18、0.20、6.69、0.06、2.63、0.85 和 51.74 μg·L⁻¹, 可见, 杏林农庄总出水中重金属含量低, 达到 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅱ~Ⅲ类水质要求。总出水中地可松、阿特拉津、三唑酮和辛硫磷平均含量分别为 3.48、13.60、334.49 和 63.49 ng·L⁻¹, 快螨特、哒螨灵、丙溴磷、毒死蜱、敌敌畏和虫螨威则未检出, 表明总出水中农药残留极少, 主要为抗菌类农药, 当地常用农药残留大都未检出。

5 “猪沼果鱼”生态农业模式运行条件与风险分析

“猪-沼-果-鱼”生态农业模式的推广应用与正常运行不仅受该模式各环节技术本身所制约, 还与当地自然和社会经济发展状况相关。首先, 该模式涉及猪、果、鱼等多项种植和养殖技术, 由于农村农民文化水平较低, 熟练掌握各项技术有一定难度, 从而影响整个系统获得最佳效益。其次, 该模式需要

的劳力较多,而目前农村青壮年中愿意从事农业生产的人不多,且劳力成本很高,因此难以保障各个技术环节得到全面实施。第三,该模式受市场经济影响较大,猪肉、脐橙等农产品价格直接关系到农庄的经济效益,如猪肉价格过低,会严重影响农户养猪积极性,使得该模式难以有效运行。第四,自然因素与突发事件影响该模式的正常运行。该地区暴雨频发,一方面会诱发塌方,造成严重的水土流失,另一

方面可能会造成鱼塘涨水,塌堤跑鱼;养猪存在疾病大面积爆发的风险,如 2010 年该地区的猪高热病导致猪大量死亡。若要有效地避免这些风险,除了研究建立该模式的最佳技术体系以及经营者通过不断学习提高自身技术水平以外,相关的地方政府、技术部门应通过举办培训班、邀请专家现场指导、提供一定的经费支持等形式给予扶持。

表 1 杏林农庄示范工程出水水质

Table 1 Quality of the effluent from the demonstration project of Xinglin Fam

采样日期	pH	$\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$							
		PO_4^{3-}	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN	DTN	TP	DTP	COD
06- 25	6.43	0.014	0.134	0.645	1.034	0.981	0.119	0.063	
06- 30	6.62	0.020	0.180	0.405	0.728	0.602	0.165	0.116	6.07
07- 06	6.27	0.007	0.073	0.038	0.373	0.213	0.230	0.124	4.22
07- 15	6.50	0.006	0.114	0.315	0.572	0.444	0.188	0.179	7.74
07- 16	6.58	0.010	0.130	0.302	0.588	0.461	0.180	0.160	22.74
07- 17	6.62	0.016	0.111	0.334	0.599	0.462	0.144	0.141	27.74
07- 24	6.57	0.017	0.126	0.268	0.575	0.459	0.197	0.153	5.15
07- 31	6.68	0.006	0.151	0.247	0.571	0.445	0.231	0.128	6.81
08- 08	6.59	0.029	0.389	0.052	0.832	0.521	0.129	0.110	1.86
08- 18	6.39	0.036	0.496	0.057	0.799	0.621	0.165	0.102	1.28

6 建议

“猪沼果鱼”生态农业模式能充分利用资源,提高农产品品质,增加经济收入,同时有效减少水土流失和环境污染。针对目前杏林农庄内“猪沼果鱼”生态农业模式运行现状,提出以下几点需要进一步采取的技术与管理措施。

(1) 果园科学施肥。通过实际调查与监测,发现果园内果树黄化落果现象比较严重,初步判断与氮磷钾养分不平衡,缺钙、镁等元素相关。因此,要根据果园土壤养分测定结果,制定测土配方施肥方案,按需科学施肥。

(2) 预防塌方,控制水土流失。东江源头区降雨量大,集中在 6—8 月,暴雨期间容易引发滑坡与塌方,造成严重的水土流失。杏林农庄要进一步采取措施保持水土,减少滑坡、塌方事故发生。合理规划建设拦砂坝、生态沟渠,有效截留水土;做好坡改工程和护坡工作,加强雨季尤其是暴雨期的巡查,及时疏通坡地果园下方防护植被带的排水沟、排水孔,预防塌方的发生。

(3) 养鱼废水净化后再排放。杏林农庄每年 4 月对鱼塘进行清塘和换水,由于鱼塘废水氮、磷含量较高,建议捕鱼后不要直接排放鱼塘水,而是在采取投加微生物、浮游植物等生物措施强化净化之后再

排放,减少对农庄外水体的污染。

参考文献:

- [1] 胡小华,方红亚,刘足根,等.建立东江源生态补偿机制的探讨[J].环境保护,2008(2):39-43
- [2] 甘跃宇,陈新才,刘良源.建设东江源区生态产业的对策[J].江西科学,2010,28(2):279-282
- [3] CHEN R J. Livestock-Biogas-Fruit Systems in South China[J]. Ecological Engineering, 1997, 8(1): 19-29.
- [4] 侯乐锋.赣州地区发展“猪-沼-果”生态农业的举措[J].江西农业经济,1998(5):14-15.
- [5] 黄德辉.浅议猪沼-果生态农业模式[J].生态经济,2001(11):73-74.
- [6] 周昱,谢振华,刘芙蓉.户用“猪沼-果”生态模式经济评价[J].中国生态农业学报,2004,12(4):201-203.
- [7] 王立志,王国祥,葛绪广,等.底质营养盐负荷对轮叶黑藻生长和光合荧光特性的影响[J].生态学报,2010,30(2):473-480
- [8] YANG X B, YING G G, KOOKANA R S. Rapid Multiresidue Determination for Currently Used Pesticides in Agricultural Drainage Waters and Soils Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Environmental Science and Health: Part B, 2010, 45(2): 152-161.
- [9] 张荣峰,胡立平.东江源区水资源问题与防治对策探讨[J].水资源保护,2004(5):49-51.
- [10] 叶全胜,李希昆.东江源生态补偿机制的理论及实践思考[C]//水污染防治立法和循环经济立法研究——2005年中国环境资源法学研讨会论文集(第1册).江西赣州:[出版者不详],2005:279-283

- [11] 孔凡斌. 江河源头水源涵养生态功能区生态补偿机制研究——以江西东江源区为例 [J]. 经济地理, 2010, 2(30): 299- 305.
- [12] 杨励君, 刘良源. 东江源区环境保护与生态补偿研究 [J]. 江西农业学报, 2008, 20(12): 110- 112
- [13] 黄沈发, 唐浩, 吴健. 美国农业面源污染控制最佳管理措施 (BMPs) 概述 [J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2006, 24(增刊): 105- 110.
- [14] CESTTIR, SRIVASTAVA J, JUNG S. Agriculture Non-Point Source Pollution Control Good Management Practices—The Chesapeake Bay Experience [R]. Washington D C: Environmentally & Socially Development Unit, Europe and Central Asia, the World Bank, 2002
- [15] 唐浩. 农业面源污染控制最佳管理措施体系研究 [J]. 人民长江, 2010, 41(17): 54- 57.
- [16] 黄宝明, 刘东生. 关于建立东江源区生态补偿机制的思考 [J]. 中国水土保持, 2007(2): 45- 46, 55
- [17] 李怀恩, 张亚平, 蔡明, 等. 植被过滤带的定量计算方法 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 108- 112
- [18] 吴建强, 黄沈发, 吴健, 等. 缓冲带径流污染物净化效果研究及其与草皮生物量的相关性 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 761- 765
- [19] BORN M, PASSONIM, THIENEM, *et al*. Multiple Functions of Buffer Strips in Farming Areas [J]. European Journal of Agronomy, 2010, 32(1): 103- 111.

作者简介: 刘明庆 (1984—), 男, 江苏兴化人, 硕士, 主要研究方向为农村生态与水污染防治。E-mail: steven_1_c@163.com