

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

1. 项目名称

南方农业农村水污染源生态治理关键技术创建及应用

2. 推荐单位意见

污染防治是我国当前三大攻坚战之一，其中农业农村面源污染治理是当前的重点和难点。湖南地处长江经济带的核心区，在长江经济带生态环境大保护重大国家战略中肩负着艰巨任务，而作为我国主要的粮食、生猪和水产主产区，农业农村面源污染问题突出，又面临着资金投入不足等诸多现实问题，给洞庭湖生态环境保护造成了巨大压力。

项目团队历经 10 年研究，首次发现绿狐尾藻湿地具备对有机物和氮磷等农业农村水污染物去除强，生物质产量高并可作为优质饲料的特点，率先创建出了以绿狐尾藻湿地处理为核心，包括养殖污水、农村生活污水、生活污水和农田排水、富营养化水体等同以有机物和氮磷为主要污染物的农业农村水污染源生态治理技术体系，其对 COD、氮磷去除率：养殖废水生态治理为 97~99%，生活污水和农田排水为 60~80%，富营养化水体为 40~60%，并具有工程建设少、运行简便、成本低、稳定可靠等优势；突破了农业农村水污染水体治理低成本化、生态化和可资源化的技术瓶颈。

项目成果创新性强，总体居于同类研究国际先进水平，其中在规模化养殖废水、农田排水和农村生活污水、富营养化水体的生态治理领域处于国际领先水平，并在湖南、浙江、广东等地得到广泛应用，取得突出的生态环境效益，推广应用前景广阔。

我单位认真审核了该项目的申报材料，确认材料真实有效，同意推荐该项目申报 2019 年度湖南省技术发明奖一等奖。

3. 项目简介

规模化养殖和农产品加工废水、农田面源污染以及生活污水已经成为我国水环境污染的严峻问题。这些污水水量大、污染物（主要是 COD、氮磷）含量高，其治理在国内外都是一大难题。农村建污水厂存在投资大，运行资金缺乏保障等，而以往的生态治理技术存在如果占地过大，植物生物质缺乏有效利用途径等，提升生态治理技术污染物去除效率，实现是生物质资源化利用，是农业农村水污染防治的迫切需要。

项目团队以创建成本低、土地节约、污染物去除能力强并长期稳定、运行简便、资源利用化的生态技术为总体思路，历经十年研究，突破了养殖废水、农村生活污水、富营养化水体和小流域面源污染等农业农村水污染源治理低成本化、生态化和可资源化的技术瓶颈，取得了重大创新成果。项目主要创新成果如下：

1) 首次发现了绿狐尾藻高效吸收氮磷、生物质产量高并可作为优质饲料的特点，系统揭示出了绿狐尾藻水体湿地高效去除水体污染物的生物学和生态学机理，

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

阐明了绿狐尾藻耐受并高效同化黑臭水体中铵根离子的分子机制、以及促进水体氨氧化和反硝化过程功能微生物快速脱氮的分子机制。

2) 发明了以稻草为基质材料的养殖沼液前端处理技术, 解决了沼液因含绿狐尾藻生长的有害物质的关键问题, 率先创建出了稻草基质前端处理+多级绿狐尾藻的养殖沼液生态处理技术体系, 确定了适合于大、中、小养殖场的工程技术关键参数。

3) 系统创建农村分散式生活水体、集水区和连片农田面源污染和富营养化水体简易高效生态治理技术; 综合集成构建小流域面源污染源头生态治理技术模式, 实现农业农村水污染源头全覆盖、氮磷排放与迁移工程全程周年消纳, 末端水质稳定达到国标 IV 类。

与目前国内外同类治理技术相比, 该技术的先进性主要体系在: 1) 采用的原材料(稻草)资源丰富, 成本低廉; 绿狐尾藻湿地建设简便, 以土方和混凝土池为主, 可充分利用荒废地、小型池塘和沟渠和溪流等缓流水道, 采用无设备的静态处理方式, 运行简便并成本低; 2) 工程建设和运行资金投入比现行的养殖场污水工程处理、农村污水处理厂或以工程与化学品投入的污染水体治理等方式节省 30~40%; 3) 养殖场污水 COD 和氮磷去除率长期稳定达 97~99%, 湿地末端水质达到国标《畜禽养殖业污染物排放标准(GB18596-2001)》的 1/3 以内; 农村生活污水治理末端出水达国标(GB18918-2002) I 级 A 类, 包括农田排水和污染水体在内的小流域面源污染综合治理效果达地表水 III 类。

项目获国家授权专利 11 件、在国际权威期刊发表论文 46 余篇(SCI 收录 24 篇), 2015 年养殖废水、生活污水及富营养化河道生态治理技术均纳入中国环境保护产业协会《国家重点环境保护实用技术名录》。第三方评价表明, 该技术居国际同类型技术的领先水平。

项目自 2008 年起, 采取研究与示范和应用推广并举的措施, 在我国南方广泛推广, 仅出具应用证明的 20 个政府部门和企业统计, 已在湖南、湖北、浙江和广东推广应用到 195 个治理工程, 总合同经费超过 8.4 亿元, 治理养殖污染总规模为 78.7 万头猪当量, 生活污水治理工程覆盖 4 万农户, 治理河道总长 195.9 公里, 治理区农田控制面积 140.2 万亩, 近三年 COD、总氮和总磷累计减排量分别达 1.7 万 t、3058.8 t、269.1 t。

4. 客观评价

本报奖成果为多个研究项目核心技术的综合, 得到专家和业界的高度评价。主要包括:

1、技术应用检测报告

依托中国科学院亚热带农业生态研究所研发的南方农业农村水污染源头生态治理关键技术, 在 2016-2017 年国家发改委和农业部联合启动的农业环境突出问题治理专项:“桃源县典型流域农业面源污染综合治理试点项目”(项目总经费 3750.04 万元)和“华容县典型流域农业面源污染综合治理试点项目”(项目总经费 4000.00

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

万元),对养殖废水、生活污水、农区地表径流氮磷污染、水产养殖水体以及小流域总出水等处理效果分别达到或优于 GB18596-2001、GB18918-2002 一级 B 类、GB18918-2002 一级 A 类、GB18918-2002 一级 A 类和 GB3838-2002 的 IV 类标准。

2、验收意见

中国科学院重点部署项目“亚热带丘陵区流域农业氮磷污染源头防控体系研究与示范(KZZD-EW-11)”的专家组验收意见认为:构建了分散居民生活污水、养殖污水、富营养化水体和小流域氮磷治理技术模式,并得到广泛的示范推广应用;“农村分散型污水治理技术示范(KFZD-SW-307)”的专家组验收意见认为:从湿地植物物种筛选、种植技术、物种生态风险等方面研究成果具有独创性,达到国际先进水平。

3、鉴定结论

2014年12月湖南省农学会评价“南方农村水体污染绿狐尾藻生态治理技术”:创新性强,生态治理效果好,推广应用前景广阔;在规模化养殖废水、农田排水和农村生活污水、富营养化水体的生态治理领域处于国际领先水平。

4、国内外同行学术性肯定

在研期间,项目组成员在国内外期刊上共发表了46篇学术价值较高的研究论文,其中24篇SCI收录论文(JCR分区的一、二区论文13篇),一级学报论文10篇,表明本项目技术成果得到了学术界同行的充分认可与肯定。

5、项目技术成果得到了国家、省内有关部门的认可与支持

由项目主持人执笔完成的“中科院专家关于深入研发推广农业、农村水环境污染生态治理技术体系的建议”被《中国科学院专报信息》采用(2014年186期)。本项目核心技术“农村污染水体绿狐尾藻生态治理技术”已纳入中国环保保护产业协会《2015年国家重点环境保护实用技术名录》(中环协〔2015〕62号)。本技术成果为湖南省人民政府《湖南省改善农村人居环境建设美丽乡村工作意见》和《湖南省贯彻落实<水污染防治计划行动>实施方案(2016~2020年)》提供了重要的技术支撑。

第一完成人受聘“湖南省第一届科技创新战略咨询专家委员会委员”,为制定相关政策提供专家咨询。项目第一完成单位被湖南省农业农村厅(原农委)确定为国家发改委、农业部“典型流域农业面源污染综合治理”(2016年)和“农业环境突出问题治理专项”(2017年)湖南项目的唯一技术依托单位,已经在湖南省实施的多个试点县。项目建立的长沙示范区(包括长沙金井镇湘丰村、白沙镇葛家山村、锡福村)承担国家发改委、农业部、水利部下发的“生态清洁型小流域示范建设”、“国家示范农业产业强镇”和湖南省“农村综合性改革试点村”项目,这些示范都成为乡村环境整治、农村综合性改革、宜居乡村的区域样板。

5. 推广应用情况

项目自2008年起,采取研究与示范和应用推广并举的措施,在我国南方广泛推广,仅出具应用证明的20个政府部门和企业统计,已在湖南、湖北、浙江和广

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

东推广应用到 195 个治理工程，总合同经费超过 8.4 亿元。主要生态环境效益：治理养殖污染总规模为 78.7 万头猪当量，生活污水治理工程覆盖 4 万农户，治理河道总长 195.9 公里，治理区农田控制面积 140.2 万亩，近三年 COD、总氮和总磷累计减排量分别达 1.7 万 t、3058.8 t、269.1 t。

主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
桃源县农业农村局农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	刘洋/ 13317365933	近 3 年治理农田面积 20 万亩，治理养殖污染总规模为 25 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 7000 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 6262.8 t、总氮 1221.4 t、总磷 60.9 t。
赫山区农业农村局农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	隆志芳 /13487689936	近 3 年治理农田面积 2.2 万亩，治理养殖污染总规模为 1.3 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 4000 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 558.9 t、总氮 201.0 t、总磷 20.0 t。
益阳市资阳区农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	张国政 /17363734880	近 3 年治理农田面积 20 万亩，治理养殖污染总规模为 5 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 4000 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 1547.9 t、总氮 229.0 t、总磷 26.5 t。
益阳市南县农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	竺传松 /13973695510	近 3 年治理农田面积 21 万亩，治理养殖污染总规模为 2 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 5500 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 1565.7 t、总氮 264.2 t、总磷 28.2 t。
汉寿县农业资源与环境保护	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦	2013-2018 年	童德保 /13317365933	近 3 年治理农田面积 15 万亩，治理养

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

管理站	截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术			殖污染总规模为 6 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 5300 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 1348.4 t、总氮 238.4 t、总磷 27.3 t。
衡阳县农业农村局 农业环境监测管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	刘康星 /13973415242	近 3 年治理农田面积 16 万亩，治理养殖污染总规模为 5 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 5000 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 1413.1 t、总氮 251.6 t、总磷 27.9 t。
长沙县农业农村局农业资源与环境保护管理站	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	戴金鹏 /13808476825	近 3 年治理农田面积 30 万亩，治理养殖污染总规模为 20 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 5300 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 3196.4 t、总氮 451.8 t、总磷 56.8 t。
浏阳市农业环境保护站	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2013-2018 年	周庆甦 /13974964376	近 3 年治理农田面积 16 万亩，治理养殖污染总规模为 1.5 万头猪当量，生活污水治理覆盖农户 4000 户；污染物减排量近三年累计达到：COD 1106.9 t、总氮 201.4 t、总磷 21.5 t。
大长江环境工程技术有限责任公司	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2014-2018 年	朱小娇 /13886480627	项目工程 23 项，合同经费 1.8 亿元，节约工程与运行费约 2120 万元，整体技术正式应用 4 年以上。
湖南厚霖生态环保有限公司	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2015-2018 年	夏雪玲 /13908498561	项目工程 12 项，合同经费 2600 万元，合同金额 0.62 亿元节约工程与运行费 200 万元，整体技术正式应用 2 年以上。
湖南艾布鲁环保科技股份有	农业面源污染综合治理技术	2015-2018 年	胡志鑫 /18670032739	项目工程 13 项，合同经费 1.8 亿元，节

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

限公司				约工程与运行费约 380 万元，整体技术正式应用 2 年以上。
湖南泰谷生态工程有限公司	农业面源污染综合治理技术	2015-2018 年	邵明刚 /15388029135	项目工程 12 项，合同经费 8600 万元，节约工程与运行费约 320 万元，整体技术正式应用 3 年以上。
湖南省园林建设有限公司	农业面源污染综合治理技术	2015-2018 年	朱红 /13637370643	项目工程 8 项，合同经费 1.8 亿元，节约工程与运行费约 1350 万元，整体技术正式应用 3 年以上。
浙江宝仔农业发展有限公司	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2015-2018 年	孙菊英 /13989520101	富营养化水体治理 100 余处，治理河道 46 条，总长度约 160 km。整体技术正式应用 3 年以上。
湖北中科恒清生态工程有限公司	养殖废水生态治理技术、农田氮磷生态拦截消纳技术、绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2017-2018 年	吴燕琼/ 18772856789	项目工程 8 项，合同经费 3005 万元，节约工程与运行费约 521 万元，整体技术正式应用 2 年以上。
湖南中彩生态环境科技有限公司	绿狐尾藻湿地面源污染生态治理技术	2016-2018 年	唐千一/ 18673107323	项目工程 15 项，合同经费 1.57 亿元，节约工程与运行费约 2685 万元，整体技术正式应用 2 年以上。
中科美大（深圳）生态环境科技有限公司	绿狐尾藻-微生物膜和绿狐尾藻根孔技术	2017-2018 年	郑超大/ 15342491039	项目工程 1 项，合同经费 2800 万元，河道建设长度为 6.8 公里，治理工程达到地表 IV 类水水质标准。
嘉兴市五丰牧业有限公司	绿狐尾藻治理河道污染水体和养殖废水技术	2014-2018 年	蔡丽阳 /13905737383	河道治理工程 37 个，共计治理 29.1 公里河道黑臭水体；养殖场废水处理工程 6 个，治理养殖污染总规模为 10.8 万头。
广东环粤环保科技有限公司	农村生活污水和养殖废水生态治理技术	2016-2019 年		农村生活污水的综合治理工程 8 个；养殖场废水处理工程 6 个，治理养殖污染总规模为 2.1 万头。

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

6. 主要知识产权证明目录

核心发明专利目录

1. 肖润林, 吴金水, 刘锋, 张树楠, 李红芳. 一种养猪场废弃污染物的处理方法. 2014 年 1 月 15 日授权, 专利号: 201210393851.8.
2. 吴金水, 肖润林, 李裕元、刘锋, 张树楠, 李红芳, 何阳, 白志辉. 一种养猪场废水污染减控方法. 2014 年 12 月 17 日授权, 专利号: 201310313436.1
3. 肖润林, 吴金水, 刘锋, 李红芳, 何阳, 张树楠, 李裕元. 一种丘陵零散养殖区废弃污染物的减控方法. 发明专利. 2014 年 12 月 17 日授权, 专利号: 201310414068X
4. 肖润林, 吴金水, 刘锋, 李裕元、张树楠, 李红芳, 蔡立阳、何阳, 白志辉. 一种养猪场废弃污染物的处理方法. 发明专利, 2015 年 1 月 14 日授权, 专利号: 201310313504.4
5. 李裕元, 刘锋, 吴金水, 肖润林. 一种利用稻草处理养猪场废水的方法. 发明专利, 2015 年 3 月 4 日授权, 专利号: 201310310314561.4
6. 刘锋, 吴金水, 肖润林, 李红芳, 王毅, 张树楠. 一种农村分散式污水的生态组合处理方法及装置. 发明创造, 2015 年 9 月 30 日授权, 专利号: 201410148248.2
7. 刘锋, 吴金水, 李红芳, 肖润林, 王迪, 张雄. 一种人工湿地和渗滤系统组合深度处理农村污水方法及装置. 发明专利, 2018 年 2 月 2 日授权, 专利号: 201510866359.1
8. 李裕元, 吴金水, 刘锋, 肖润林. 一种生态沟处理面源污染物的方法. 发明专利, 2014 年 9 月 10 日授权, 专利号: 201310314544.0.
9. 吴金水, 李裕元, 肖润林, 刘锋. 一种平原河网区面源污染治理的方法. 发明专利, 2014 年 8 月 27 日授权, 专利号: 201310312559.3.
10. 庄绪亮, 徐圣君, 庄国强, 白志辉, 孙海曙. 修复富营养化水体的装置. 发明专利, 2016 年 12 月 07 日授权, 专利号: 201510081226.3
11. 庄绪亮, 徐圣君, 吴尚华, 王睿, 姜参参, 冯书耕, 庄国强. 用于消除农村型黑臭水体的治理方法. 发明专利, 2018 年 11 月 30 日授权, 专利号: 201710015040.7

论文目录

- 1) Shunan Zhang, Feng Liu, Pei Luo, Runlin Xiao, Junli Chen, Liang Chen, Jinshui Wu. Does rice straw application reduce N₂O emissions from surface flow constructed wetlands for swine wastewater treatment?. *Chemosphere*, 2019, 226: 273-281.
- 2) Feng Liu, Shunan Zhang, Pei Luo, et al. Purification and reuse of non-point source wastewater via *Myriophyllum*-based integrative biotechnology: a review. *Bioresource technology*, 2018, 248: 3-11.
- 3) Pei Luo, Feng Liu, Shunan Zhang, Hongfang Li, Ran Yao, Qianwen Jiang, Runlin Xiao, Jinshui Wu. Nitrogen removal and recovery from swine wastewater by constructed wetlands under sustainable plant harvesting management. *Bioresource Technology*, 2018, 258: 247-254.

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

- 4) Hongfang Li, Feng Liu, Pei Luo, et al. Performance of integrated ecological treatment system for decentralized rural wastewater and significance of plant harvest management. *Ecological engineering*, 2018, 124: 69-76.
- 5) Pei Luo, Feng Liu, Shunan Zhang, Hongfang Li, Xiang Chen, Lu Wu, Qianwen Jiang, Runlin Xiao, Jinshui Wu. Evaluating organics removal performance from lagoon-pretreated swine wastewater in pilot-scale three-stage surface flow constructed wetlands. *Chemosphere*, 2018, 211: 286-293.
- 6) Xi Li, Miaomiao Zhang, Feng Liu, et al. Seasonality distribution of the abundance and activity of nitrification and denitrification microorganisms in sediments of surface flow constructed wetlands planted with *Myriophyllum elatinoides* during swine wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 2018, 248:89-97.
- 7) Miaomiao Zhang, Pei Luo, Feng Liu, et al. Nitrogen removal and distribution of ammonia-oxidizing and denitrifying genes in an integrated constructed wetland for swine wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 2017, 104: 30-38.
- 8) Shunan Zhang, Feng Liu, Runlin Xiao, Yang He, Jinshui Wu. Nitrogen removal in *Myriophyllum aquaticum* wetland microcosms for swine wastewater treatment: ¹⁵N-labelled nitrogen mass balance analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97: 505-511.
- 9) Pei Luo, Feng Liu, Xinliang Liu, Xiao Wu, Ran Yao, Liang Chen, Xi Li, Runlin Xiao, Jinshui Wu. Phosphorus removal from lagoon-pretreated swine wastewater by pilot-scale surface flow constructed wetlands planted with *Myriophyllum aquaticum*. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 490-497.
- 10) Xi Li, Miaomiao Zhang, Feng Liu, et al. Bacterial community dynamics in a *Myriophyllum elatinoides* purification system for swine wastewater in sediments. *Applied Soil Ecology*, 2017, 119: 56-63.
- 11) Liang Chen, Feng Liu*, Fen Jia, Ya-jun Hu, Cui Lai, Xi Li, Pei Luo, Run-lin Xiao, Yong Li, Jin-shui Wu. Anaerobic ammonium oxidation in sediments of surface-flow constructed wetlands treating swine wastewater. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2017, 101: 1301-1311.
- 12) Haiping Wang, Feng Liu*, Pei Luo, Zihan Li, Liguang Zheng, Hua Wang*, Dongsheng Zou, Jinshui Wu. Allelopathic effects of *Myriophyllum aquaticum* on two cyanobacteria of *Anabaena flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2017, 98 (4): 556-561.
- 13) Feng Liu, Shunan Zhang, Yi Wang, Yong Li, Runlin Xiao, Hongfang Li, Yang He, Miaomiao Zhang, Di Wang, Xi Li, Jinshui Wu*. Nitrogen removal and mass balance in newly-formed *Myriophyllum aquaticum* mesocosm during a single 28-day incubation with swine wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 2016, 166: 596-604

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

- 14) Shunan Zhang, Feng Liu, Runlin Xiao, Yong Li, Yang He, Jinshui Wu*. Effects of vegetation on ammonium removal and nitrous oxide emissions from pilot-scale drainage ditches. *Aquatic Botany*, 2016, 130: 37-44.
- 15) Shunan Zhang, Runlin Xiao, Feng Liu, Juan Zhou, Hongfang Li, Jinshui Wu. Effect of vegetation on nitrogen removal and ammonia volatilization from wetland microcosms. *Ecological Engineering*, 2016, 97: 363-369.
- 16) Xi Li, Miaomiao Zhang, Feng Liu, et al. Abundance and distribution of denitrification microorganisms in sediments of a *Myriophyllum elatinoides* purification system for treating swine wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22: 17906-17916.
- 17) Xi Li, Miaomiao Zhang, Feng Liu, et al. The Significance of *Myriophyllum elatinoides* for Swine Wastewater Treatment: Abundance and Community Structure of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Sediments. *PLoS ONE*, 2015, 10(10): e0139778.
- 18) Shunan Zhang, Feng Liu, Runlin Xiao, Yong Li, Juan Zhou, Jinshui Wu*. Emissions of NO and N₂O in wetland microcosms for swine wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(24): 19933-19939.
- 19) Feng Liu, Yi Wang, Runlin Xiao, Jingshui Wu*, Yong Li, Shunan Zhang, Di Wang, Hongfang Li. Influence of substrates on nutrient removal performance of organic channel barriers in drainage ditches, *Journal of Hydrology*, 2015, 527: 380-386.
- 20) Haishu Sun, Feng Liu, Shengjun Xu, Shanghua Wu, Guoqiang Zhuang, Ye Deng, Jinshui Wu and Xuliang Zhuang. *Myriophyllum aquaticum* Constructed Wetland Effectively Removes Nitrogen in Swine Wastewater. *Front Microbiol.* 2017, 8:1932-1946.
- 21) Rui Wang, Na Bai, Shengjun Xu, Guoqiang Zhuang, Zhihui Bai, Zhirui Zhao, Xuliang Zhuang. The adaptability of a wetland plant species *Myriophyllum aquaticum* to different nitrogen forms and nitrogen removal efficiency in constructed wetlands. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018, 25:7785-7795.
- 22) Rui Wang, Shengjun Xu, Cancan Jiang, Haishu Sun, Shugeng Feng, Sining Zhou, Guoqiang Zhuang, Zhihui Bai, Xuliang Zhuang. Transcriptomic Sequencing and Co-Expression Network Analysis on Key Genes and Pathways Regulating Nitrogen Use Efficiency in *Myriophyllum aquaticum*. *Int J Mol Sci.* 2019, 20:1587-1607
- 23) Rui Wang, Shengjun Xu, Haishu Sun, Shugeng Feng, Cancan Jiang, Sining Zhou, Shimin Wu, Guoqiang Zhuang, Baodong Chen, Zhihui Bai, Xuliang Zhuang. Complex regulatory network allows *Myriophyllum aquaticum* to thrive under high-concentration ammonia toxicity. *Sci Rep.* 2019, 9:4801-4814.
- 24) 童雄,罗沛,刘锋,等.绿狐尾藻分解及其氮磷释放特征.环境科学, 2019(07):1-11
- 25) 蒋倩文,刘锋,彭英湘,等.生态工程综合治理系统对农业小流域氮磷污染的治

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

- 理效应. 环境科学, 2019(05):1-12
- 26) 马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 等. 污水氮浓度和 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比对粉绿狐尾藻去氮能力和植物体氮组分的影响. 环境科学, 2018, 39(3): 1167-1179.
- 27) 李远航, 刘洋, 刘铭羽, 等. 稻草—绿狐尾藻复合人工湿地技术处理养猪废水综合效益分析. 农业现代化研究, 2018, 39(2): 325-334
- 28) 姚燃, 刘锋, 吴露, 等. 三级绿狐尾藻表面流人工湿地对养殖废水处理效应研究. 地球与环境, 2018, 46(5): 475-481.
- 29) 李裕元, 李希, 吴金水, 等. 绿狐尾藻区域适应性与生态竞争力研究. 农业环境科学学报, 2018, 37(10): 2252-2261.
- 30) 刘锋, 罗沛, 刘新亮, 等. 绿狐尾藻生态湿地处理污染水体的研究评述. 农业现代化研究, 2018, 39(06):1020-1029.
- 31) 杨凤飞, 刘锋, 李红芳, 等. 生物滤池-人工湿地-稳定塘组合生态系统处理南方农村分散式污水. 环境工程, 2018, 36(12):70-74.
- 32) 周娟, 刘锋, 尹黎明, 等. 南方农村分散养猪废水生态处理技术研究. 水处理技术, 2018,44(06):101-104+109.
- 33) 刘少博, 冉彬, 曾冠军, 等. 高铵条件下绿狐尾藻的生理与氮磷吸收特征. 环境科学, 2017, 38(9): 3731-3737.
- 34) 黄珂, 李丽立, 肖润林, 等. 饲料中添加绿狐尾藻对临武鸭生长性能, 屠宰性能和免疫器官指数的影响. 动物营养学报, 2017, 29(4): 1376-1382.
- 35) 马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 等. 污水氮浓度对粉绿狐尾藻去氮能力的影响. 环境科学, 2017, 38(3): 1093-1101.
- 36) 吴晓, 曾馨怡, 罗沛, 等. 绿狐尾藻人工湿地底泥中磷形态分布特征研究. 环境污染与防治, 2017, 39(10): 1082-1087.
- 37) 吴飞, 陈家顺, 刘锋, 等. 饲料中添加绿狐尾藻对肥育猪生长性能、血清生化指标和胴体品质的影响. 动物营养学报, 2017,29(10):3657-3665.
- 38) 王丽莎, 李希, 甘蕾, 等. 亚热带丘陵区湿地水生植物组合模式拦截氮磷的研究. 生态环境学报, 2017, 26(9): 1577-1583.
- 39) 李红芳, 刘锋, 肖润林, 等. 水生植物对生态沟渠底泥磷吸附特性的影响. 农业环境科学学报, 2016 (1): 157-163.
- 40) 余红兵, 何洋, 李红芳, 等. 室内绿狐尾藻湿地系统对高氨氮废水的净化作用. 草业科学, 2016, 33(11): 2189-2195.
- 41) 王迪, 李红芳, 刘锋, 等. 亚热带农区生态沟渠对农业径流中氮素迁移拦截效应研究. 环境科学, 2016, 37(5): 1717-1723.
- 42) 张树楠, 肖润林, 刘锋, 等. 生态沟渠对氮、磷污染物的拦截效应. 环境科学, 2015, 36(12): 4516-4522.
- 43) 李红芳, 刘锋, 黎慧娟, 等. 生物滤池/人工湿地/稳定塘工艺处理农村分散污水. 中国给水排水, 2015, 31(2): 84-87.
- 44) 余红兵, 杨知建, 肖润林, 等. 水生植物的氮磷吸收能力及收割管理研究. 草

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

业学报, 2013, 22(1): 294.

45) 余红兵, 肖润林, 杨知建, 等. 五种水生植物生物量及其对生态沟渠氮、磷吸收效果的研究. 核农学报, 2012, 26(5): 798-802.

7. 主要完成单位及创新推广贡献

完成单位	排名	贡献
中国科学院亚热带农业生态研究所	1	作为项目主持单位, 全面负责项目总体设计、牵头制定实施方案, 明确参加单位任务分工, 并组织进行项目总结和成果凝练等, 对本项目技术创新和应用方面的贡献主要体现在如下方面: (1) 首次发现了绿狐尾藻高效吸收氮磷、生物质产量高并可作为优质饲料的特点, 系统揭示出了绿狐尾藻水体湿地高效去除水体污染物的生物学和生态学机理; (2) 发明了以稻草为基质材料的养殖沼液前端处理技术, 率先创建出了稻草基质前端处理+多级绿狐尾藻的养殖沼液生态处理技术体系; (3) 系统创建农村分散式生活水体、集水区和连片农田面源污染和富营养化水体简易高效生态治理技术。并在湖南、湖北、浙江、广东等地开展了示范与推广应用。
中国科学院生态环境研究中心	2	作为项目完成的重要参加单位, 对本项目技术创新和应用方面的贡献主要体现在如下方面: (1) 阐明了绿狐尾藻耐受并高效同化黑臭水体中铵根离子的分子机制、以及促进水体氨氧化和反硝化过程功能微生物快速脱氮的分子机制 (2) 首次构建植物 (绿狐尾藻、美人蕉为主)-微生物 (高效脱氮菌剂红球菌、多粘类芽孢杆菌) 系统修复富营养化河道水体技术, 实现规模化推广应用, 并在广东开展了示范与推广应用; (3) 开发出针对农村黑臭水体成因的治理方法, 构建了农村黑臭水体治理技术体系。

8. 主要完成人情况

姓名	排名	职务	技术职称	工作单位	完成单位	贡献
吴金水	1		研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	项目的主要设计人, 指导和创建关键技术并推广应用, 专利、论文等的主要完成人。
庄绪亮	2		研究员	中国科学院生态环境研究中心	中国科学院生态环境研究中心	指导和创建富营养化河道水体修复技术并推广应用, 建立了用于消除农村型黑臭水体的系统技术方案, 专利、论文等的主要完成人。

申报 2019 年度湖南省技术发明奖公示

李裕元	3		研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	发明了地表径流氮磷污染生态沟渠拦截技术，养殖废水稻草处理技术及绿狐尾藻湿地资源化利用技术。
肖润林	4	副站长	研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	发明不同规模养殖场排放废水生态治理及绿狐尾藻资源化利用技术。
刘锋	5		副研究员	中国科学院亚热带农业生态研究所	中国科学院亚热带农业生态研究所	研发了农村分散式生活污水和养殖废水等组合生态治理技术；专利、论文的主要完成人。
徐圣君	6		副研究员	中国科学院生态环境研究中心	中国科学院生态环境研究中心	研发富营养化河道水体技术并推广应用，专利、论文等的主要完成人。

9. 完成人合作关系说明

庄绪亮为项目第二完成人，项目合作单位的团队负责人，合作时间为 2010 年 11 月 1 日至 2019 年 1 月 1 日，合作方式为知识产权、论文合著等，附件专利（10-11）主要完成人、论文（20-24）主要完成人及通讯作者，论文 2 的合作完成人。

李裕元为项目第三完成人，合作时间为 2008 年 1 月 1 日至 2018 年 4 月 7 日，合作方式为参加第一完成人主持的科研项目和主持相关科研项目，以及知识产权、论文合著等，附件专利（5、8）主要完成人、论文（6、11、39）的合作完成人。

肖润林为项目第四完成人，合作时间为 2008 年 1 月 1 日至 2018 年 4 月 7 日，合作方式为为参加第一完成人主持的科研项目和主持相关科研项目，以及知识产权、论文合著等，附件专利 1-5 主要完成人以及专利 6-7 的合作完成人、论文 1-19 和 25-46 的合作完成人。

刘锋为项目第五完成人，合作时间为 2010 年 11 月 1 日至 2018 年 4 月 7 日，合作方式为参加第一完成人主持的科研项目，以及知识产权、论文合著等，专利 6-7 的主要完成人及专利 1-5 和 8-9 的合作完成人，论文 1-19 和 25-46 的主要完成人。

徐圣君为项目第六完成人，合作时间为 2011 年 1 月 1 日至 2019 年 1 月 1 日，合作方式为知识产权、论文合著等，附件专利（10-11）合作完成人、论文（20-24）合作完成人。