

吴华山, 赵 慧, 黄红英, 等. 不同季节生态沟净化养殖废水能力对比研究[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(3): 245-250.

WU Hua-shan, ZHAO Hui, HUANG Hong-ying, et al. Abilities of Ecological Ditch to Purify Livestock Wastewater in Different Seasons[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(3): 245-250.

不同季节生态沟净化养殖废水能力对比研究

吴华山¹, 赵 慧², 黄红英¹, 徐跃定¹

(1.江苏省农业科学院循环农业研究中心, 江苏 南京 210014; 2.淮安市淮阴区农业技术推广中心, 江苏 淮安 223300)

摘 要:研究了不同季节生态沟对低浓度养殖污水净化效果,结果表明:在夏秋季,生态沟对 COD 和 TN 的削减率均达到 86%以上,对于 TP 的削减率高达 98%以上。夏季生态沟对养分的削减能力要优于其他处理,秋季其次,然后是春季,最差是冬季。即使水生植物进行了刈割,生态沟依然能发挥一定的净化效果。随着生态沟的运行时间积累,底泥中养分含量快速增加。初始阶段增加最快,但随着生态沟的延长,3 种污染物的浓度急剧下降,到生态沟末端,底泥的养分含量变化已经不显著。生态沟中初始段的水生植物的生物量最高,随着生态沟的延长生物量显著下降,末端点最低,水生植物吸收 N 素产生的削减占生态沟总削减量的 28%,吸收 P 素占总削减量的 8.7%。

关键词:季节;生态沟;净化;养殖废水

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)03-0245-06

doi: 10.13254/j.jare.2017.0262

Abilities of Ecological Ditch to Purify Livestock Wastewater in Different Seasons

WU Hua-shan¹, ZHAO Hui², HUANG Hong-ying¹, XU Yue-ding¹

(1.Circular Agriculture Research Center, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2.Center of Huaiyin District Agricultural Technology Promotion, Huaian 223300, China)

Abstract: The aim of this paper is to study the effects of purification of low concentration farming wastewater in ecological ditch in different seasons. The results showed that: the reduction rates of COD and TN were more than 86%, and that of TN was more than 98% in summer and autumn. The ecological ditch was better than other treatments for nutrient reduction in summer, followed by autumn, then spring, winter was the worst. Even the aquatic plants were mowed, the ecological ditch still could play a certain purification effect. With the accumulation of ecological ditch running time, the nutrient contents in the sediment increased. Increase was the fastest in initial stage of ecological ditch, and but the concentration of three pollutants decreased sharply to the end of the ecological ditch with the extension of the ecological ditch, and the change in nutrient contents of sediment were insignificant. The biomass of the aquatic plants in the initial section of the ecological ditch was the highest, then decreased significantly along with the extension of the ecological ditch, and was the lowest at the end point. The amounts of N and P absorbed by aquatic plants accounted for 28% and 8.7% of the total reduction amounts in the ecological ditch.

Keywords: season; ecological ditch; purification; livestock wastewater

目前,我国的养猪业规模日益增大,发展日益加快,在我国一些农村经济中已成为最活跃的经济体系和重要的支柱产业。虽然养猪业给我国的农业经济带

来一定提升帮助,但同时也给我国农村的自然生态环境造成了严重的污染,并且这样的污染在农村地区有着愈演愈烈之势^[1]。我国每年畜禽废水排放的 COD 量已经超过生活和工业污水 COD 排放的总和,因畜禽粪便流失的氮、磷也已经超过每年因化肥流失造成的损失^[2]。因此,对于畜禽养殖废水的处理,一直是农业环境研究的重点。猪场养殖废水现有的处理模式主要有 3 种:还田模式、生态处理模式和工业化处理模式^[3]。

收稿日期:2017-10-31 录用日期:2018-01-03

基金项目:国家重点研发项目(2016YFD0801101);江苏省农业科学院基金项目(027026111632)

作者简介:吴华山(1978—),男,硕士,副研究员,从事农业废弃物资源化方面的研究。E-mail:13667130@qq.com

传统还田模式占用大量农田,需要相应的动力管道工程配套,也易对地表和地下水造成潜在威胁;生态处理模式具有费用低、效率高、易管理的优点,但占地面积较大;工业化模式效率高、占地面积小,但是基建和运行费用高、管理复杂,高投入的治理方式对于高风险低利润的养殖行业难以承受^[4]。综合比较,生态处理工程虽然占用一定的土地面积,但养猪场通常在郊区或农村,土地资源相对丰富,且生态处理可以与丰富的水生植物及草皮、果树等相结合,不仅有较好的景观效果,也有一定的经济效益,是值得推广的污水处理模式。已有研究^[5-6]表明,水生植物对于污水生态处理起着重要作用,沟渠具有植物-底泥-微生物系统,经植物吸收、泥沙拦截和微生物分解等理化作用,可以降低污水中的泥沙和氮、磷浓度^[7]。水生植物处理虽然效果很好,但受季节、植物和生态沟渠的构造影响很大,冬季虽然养猪场污水排放量大幅度减少,但依然需要进行生态处理,低温条件下,湿地植物易出现休眠现象,根系微生物代谢减缓,导致净化能力减弱^[8]。但冬季生态沟内底泥和植物依然有一定活性,对于污水的处理依旧有一定的效果。目前,国内现有的有关生态沟净化养殖废水方面的研究,大多针对某个温度(季节),或者某一对象(污水、底泥或植物),缺少在不同季节下污水、底泥和水生植物的理化特征变化,也有部分研究是利用小区试验得出,与实际应用可能存在差距。本文在总结现有研究的基础上,以猪场生态沟为研究对象,分析在不同季节生态沟中的污水、底泥和水生植物的理化特征,总结生态沟在不同季节对于养殖废水的净化能力及水生植物对于污水中养分的去除能力,为生态沟的应用和推广提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试养猪场基本情况

试验地点在宜兴市和桥镇科牧生态农业有限公司养猪场,养猪场年度平均养猪 802 头,每日产生废水 10.2 m³。废水用干清粪固液分离工艺处理,猪粪堆肥后还田,污水经厌氧后过稳定塘、生态沟、渗滤池,最终到达鱼塘。其中厌氧发酵罐 60 m³,稳定塘 30 m×30 m×2 m(长×宽×深),生态沟总长 260 m,宽 4 m,生态塘 25 m×20 m×1.5 m(长×宽×深),砂石过滤池面积 10 m×4 m,鱼塘 30 m×30 m×2 m(长×宽×深),进入厌氧池之前污水的 COD 为 2 000~2 500 mg·L⁻¹,TN 为 1 000~1 800 mg·L⁻¹。

设定好提升泵流量,每日记录运行时间及每日进

入生态系统的污水流量,夏季平均为 12.8 m³,冬季平均为 6.9 m³,年平均为 10.6 m³。污水经过厌氧后到稳定塘,由于稳定塘的滞留期超过 150 d,因此稳定塘中污水的浓度变化不大,全年 COD 浓度在 350~450 mg·L⁻¹ 之间,然后溢流到生态沟进行进一步净化处理,通过生态沟净化后,污水浓度一般在 40~100 mg·L⁻¹ 之间。

1.2 处理设计

本研究的对象是生态沟这一环节。生态沟总长 220 m,横截面呈梯形,上口宽 7.5 m,下底宽 5 m,正常水深控制在 0.3 m 左右。总存水量约 350 m³,污水滞留期平均为 30 d。生态沟内主要水生植物是梭鱼草,在 4 月份埋耕种植,到第二年 1 月份刈割,整个生长期在 4 月份至第二年 1 月份。沟内共种植 468 颗梭鱼草,平均种植 0.28 颗·m⁻²。生态沟 2015 年 3 月建成,4 月份开始排入污水,并种植水生植物,根据江苏苏南地区平均气温分为 5 个处理:T1(春季,4—6 月份);T2(夏季,7—9 月中旬);T3(秋季,9 月中旬—11 月中旬);T4(冬季刈割前,11 月中旬—1 月中旬);T5(冬季刈割后)。其中 T5 是水生植物刈割后,因此仅在污水分析中加上 T5 处理,在底泥和水生植物分析中仅用 T1~T4 处理分析。

1.3 样品采集

每个处理期分别采集初始入水口段(S)、中间段(M)和末端(L)点的污水和土壤,分析污水的 COD、TN 和 TP。其 S 点的取水点在上一个环节的出水口,L 点的出水点在生态沟的出水口。每个处理期内 15~20 d 取样 1 次,每个处理期至少取样 3 次。水样采集在未扰动情况下,用勺子舀取中心点水样。底泥采集是在生态沟上搭小桥,利用取土器,采集中心底部 10 cm 土壤。

最终收获时在 S、M、L 点采集各典型若干株梭鱼草,分为地上部分和地下部分,地下部分采用挖掘法,整株梭鱼草茎叶全部刈割,根茎与须根全部挖出,自然风干,测新鲜重,所有样品于 105 ℃杀青 2 h,80 ℃烘干至恒重,获取干物质重,计算生物量,并预处理后采用植株分析法分析 N、P。

1.4 测试方法

测试指标为 COD(污水)、有机质(底泥)、TN、TP 4 个指标,其中污水 COD 用重铬酸钾消煮-硫酸亚铁铵滴定法,TN 用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,TP 用钼锑抗分光光度法;底泥有机质用重铬酸钾油浴法,TN 用半微量凯氏法,TP 用 HClO₄-H₂O₂ 消煮、钼

铈抗比色法;植株中 TN 和 TP 均用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,分别用蒸馏法和钒钼黄比色法测试。

1.5 数据分析

数据处理采用 SPSS 和 Excel 两种统计分析软件。

2 结果与讨论

2.1 不同时期生态沟污水净化能力对比

不同时期采集不同点位的污水,分析其浓度,可以判断不同处理对污染物的削减能力。结果见表 1。

T1~T4 这 4 种均为有植物的处理。从表 1 可以看出,生态沟对污水中 COD 和养分的去除具有明显的削减作用,随着生态沟的延长,养分的削减率提高。比较不同处理,对于 COD 和 TN,均是在 M 点 T2 处理显著高于其他处理,到末端后 T2、T3 处理差别不大,显著高于其他两个处理,削减率均达到 86%以上。对于 TP,在 M 点 T1~T3 3 个处理没有显著差距,均显著优于 T4,到末端后,与 COD 和 TN 类似,T2、T3 没有显著差距,显著优于其他两个处理,削减率达到 98%以上。而 T4 处理对于养分的削减能力最差,尤其是 M 点的削减能力大幅度低于其他处理,到 L 端虽然削减能力

有所提高,但依然显著低于其他处理。

比较 T4 和 T5 两个处理,两者均在冬季温度差距不大,T4 是梭鱼草刈割之前,T5 是梭鱼草刈割之后。COD 和 TP 表现类似,在 M 点处 T4 显著高于 T5,到 L 段两者已经没有显著差距。TN 的表现在 M 点和 L 点是 T4 显著优于 T5。可以看出梭鱼草对污水中养分的削减依然有作用,尤其是在前段,梭鱼草的存在能加快养分的吸收。但同时也能看出,虽然梭鱼草进行了刈割,但生态沟依然对污水中养分的削减有很大作用,对 COD、TN 和 TP 的削减率分别达到 70%、55%和 79%,COD 和 TP 的削减与冬季没有刈割前没有显著差距,这与张树楠等^[9]的研究类似。

根据每日流量(夏季平均为 12.8 m^3 ,冬季平均为 6.9 m^3)、生态沟进水浓度和出水浓度进行比较,夏季每日去除 COD、TN 和 TP 分别为 3.69、1.66 kg 和 0.77 kg,冬季 3 个指标每日去除 1.58、0.58 kg 和 0.25 kg,虽然在冬季污水净化的效果也很显著,但生态沟在夏季节对于污水中 COD、TN 和 TP 的去除总量分别为冬季 2.4、2.8 倍和 3 倍。说明在夏季生态沟对养分的削减能力要优于其他季节,最差是冬季。主要原因是随着温度升高,一方面是梭鱼草生长旺盛,对于外界

表 1 不同处理污水浓度对比
Table 1 Comparison of different treatment effluent concentrations

指标	处理	生态沟不同点位				
		S	M		L	
		浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	削减率/%	浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	削减率/%
COD	T1	342.4	118.4	65.42±1.12c	70.9	79.29±2.34b
	T2	333.5	71.2	78.65±1.93a	45.0	86.51±2.52a
	T3	353.8	99.5	71.88±1.72b	46.6	86.83±2.63a
	T4	312.7	152.3	51.30±1.02d	86.6	72.31±1.94c
	T5	302.3	162.4	46.28±0.13e	88.5	70.72±2.46c
TN	T1	120.4	48.5	59.72±0.93c	21.6	82.06±2.11b
	T2	144.5	31.7	78.06±2.01a	15.2	89.48±2.94a
	T3	138.3	48.6	64.86±1.93b	19.1	86.19±2.53a
	T4	133.1	74.7	43.88±2.01d	48.4	63.64±2.02c
	T5	121.2	83.6	31.02±1.11e	54.2	55.28±1.18d
TP	T1	52.6	10.6	79.85±3.22a	6.5	87.64±2.02b
	T2	60.4	11.9	80.30±3.09a	0.3	99.50±2.36a
	T3	70.2	15.1	78.49±3.12a	1.1	98.43±3.02a
	T4	44.9	21.7	51.67±2.94b	8	82.18±2.93c
	T5	42.5	23.3	45.18±1.94c	8.8	79.29±1.89c

注:M、L 点均是采样点污水浓度与 S 点浓度相比较;同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note:The reduction rate represents the rate of reduction in the concentration of sewage at the collection point compared with the initial effluent concentration; Different letters in the same column show significant difference among treatments ($P<0.05$). The same below.

的养分吸收较为迅速;二是水体和土壤中微生物活性较强,也有利于养分的削减。虽然不同季节生态沟中污水净化表现出差异,但冬季依然有一定的效果,通过冬季减少污水排放,利用稳定塘稳定入水口浓度,也能一定程度上净化污水,达到预期目标。即使水生植物进行了刈割,但水面以下植物发达的根系还在,同样能拦截水中的固体物质,并为微生物提供更多的附着点和营养物质^[10-12],生态沟依然能发挥一定的净化效果。因此,只要有足够的滞留期,在冬季生态沟依然会发挥一定的作用,这与维维国等^[13]研究的生态湿地在冬季运行较长的时间,对水体的净化也能起到较好的效果相符。根据本试验,冬季的污染物总量排放,应不超过夏季的 1/3 比较合适。

2.2 不同点位底泥养分含量对比

由于 T5 处理是在冬季水生植物刈割后,与前面 4 个处理有较大区别,因此本试验仅比较 T1~T4 处理,是从春季生态沟启用至冬季结束。不同处理时期同时采集 S、M、L 点的底泥土壤,分析底泥的养分含量。结果见表 2。

从表 2 可以看出,由于生态沟是当年才开始运行,所以沟内底泥养分提升很显著,随着时间推进,土壤 S 点的有机质含量快速增加,以最终 T4 处理的 S 点为例(系统运行 8 个月后),底泥有机质含量约为背景值 5.4 倍,TN 是 7.1 倍,TP 达到 42.7 倍。3 种物质的增加主要是由于污水中的有机养分矿物质沉淀引起的,植物存在还可降低水流速,增加水体颗粒物沉降,改变沉积物的分布与理化特性^[14],所以在 S 点取的土壤样品,已经有部分沉淀的污水残渣混入,随着时间积累,沉淀物越多,有机质和养分的含量也越高。TP 之所以数十倍增加,主要是由于原始土壤中的磷含量相对于污水要低很多。

但随着生态沟使用时间的延长,3 种污染物的浓

度急剧下降,以正常生长的 T3 为例,M 点的底泥有机质含量大约为 S 点的一半,到 L 点又减少约 30%;M 点的底泥 TN 含量仅为 S 点的 1/4,M 和 L 点差距已经大幅度缩小,说明大量的 N 素在前半段就被拦截了;TP 削减也很明显,M 点仅为 S 点的 15%,也说明大部分 TP 在前半段也被拦截了,导致在 L 点,4 个处理底泥养分含量不仅没有像 S 点大幅度提高,而且 4 个处理间的差异差距不像 S 点差距大,运行 8 个月后,底泥中有机质只有背景值的 2 倍,TN、TP 均没有超过 1.5 倍。

在自然环境中,由于生态沟底泥受到污水沉淀物、植物根系、污水截留能力、微生物活动、土壤本身的理化性状等多重因素影响,底泥在不同点位、不同深度、甚至同一点位不同时间其理化性状都有较大变化,因此本试验无法获得进入底泥的养分量,需要进一步通过室内精确化试验验证。

2.3 生态沟植株生物量和养分变化

生态沟内主要水生植物是梭鱼草,每年 12 月份刈割,带走多余的养分,在梭鱼草刈割后,分别在 S、M 和 L 点取典型的植株进行物理化学分析,得到梭鱼草的生物量(折算单位面积)及 N、P 的养分含量,见表 3。

由于梭鱼草地上和地下部差异较大,将地上和地下部分分开计算,分别统计干物质质量和养分含量。

从表 3 可以看出,S 点地上和地下的干物质质量,

表 3 梭鱼草的干物质质量和养分含量
Table 3 Biomass(dry matter) and nutrient contents
of aquatic plants

植株	干物质质量/kg·m ⁻²			TN/g·kg ⁻¹			TP/g·kg ⁻¹		
	S	M	L	S	M	L	S	M	L
地上部	0.505	0.441	0.287	27.66	27.21	25.87	4.21	3.17	3.06
地下部	1.321	1.182	0.671	22.47	21.42	16.79	2.82	2.71	2.04

表 2 不同点位底泥养分含量(g·kg⁻¹)

Table 2 Nutrient contents of sediment at different points(g·kg⁻¹)

处理	有机质			TN			TP		
	S	M	L	S	M	L	S	M	L
T1	32.69±1.02d	25.46±1.23d	24.85±1.21c	2.49±0.11c	1.77±0.13c	1.72±0.05c	0.94±0.04c	0.32±0.02d	0.28±0.02a
T2	76.38±2.21c	31.08±2.11c	28.77±1.93b	8.32±0.22b	2.12±0.12b	1.91±0.12b	3.79±0.11b	1.01±0.03b	0.22±0.02b
T3	85.46±2.32b	49.46±2.42b	37.46±1.82a	8.88±0.31b	2.21±0.19b	1.68±0.04c	5.32±0.19a	0.85±0.03c	0.16±0.01c
T4	97.92±3.74a	51.69±1.93a	37.92±1.21a	10.78±0.52a	4.41±0.21a	2.67±0.20a	5.47±0.21a	1.65±0.12a	0.18±0.02c
背景值	18.28			1.52			0.128		

注:背景值来自生态沟刚建成未使用时采集的底部土壤。

Note: The background value comes from the bottom of the soil when the ecological ditch is not used.

均显著高于 M、L 点, L 点最低, 从另一方面表明梭鱼草的长势随着生态沟的延长而快速下降, 主要是因为生态沟起始阶段养分较高, 生长较为旺盛, 而后水和土壤中的养分供应降低, 其养分含量也是前点高于后点。根据单位面积干物质量和养分含量, 计算得到单位面积的养分吸收量(表 4)。

表 4 梭鱼草的养分吸收总量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
Table 4 The total nutrient uptake of aquatic plants($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

植株	TN			TP		
	S	M	L	S	M	L
地上部	13.97	12.00	7.42	2.13	1.40	0.88
地下部	29.68	25.32	11.27	3.73	3.20	1.37
合计	43.65	37.32	18.69	5.85	4.60	2.25

从表 4 可以看出, 梭鱼草在 S 点, 单位面积吸收 TN 43.65 g, 吸收 TP 5.85 g。而 M 和 L 点的吸收量快速下降。生态沟总长 220 m, 宽 7.5 m, 总面积 1 650 m^2 , 根据不同点位养分吸收量, 经过加权统计, 得到整个生态沟在整个生长期(8 个月)梭鱼草吸收 N 素 54.8 kg, P 素 6.98 kg。根据 8 个月每日的污水量和生态沟出入口的养分浓度统计结果, 在梭鱼草生长期, 经过生态沟处理的 TN 总量约为 195 kg, TP 总量约为 80 kg。梭鱼草吸收 N 素产生的削减占生态沟总削减量的 28%, 吸收 P 素占总削减量的 8.7%, 其余部分被水体中其他植株、底泥、沉淀和微生物活动等因素削减^[15-17]。

3 结论

(1)生态沟对污水中 COD 和养分的去除具有明显的削减作用, 随着生态沟使用时间的延长, 养分的削减率提高。说明总体上在夏季生态沟对养分的削减能力要优于其他处理, 春秋季其次, 最差是冬季。即使水生植物进行了刈割, 生态沟依然能发挥一定的净化效果。在生态沟前端加上稳定塘, 保持入水浓度变化不大的前提下, 冬季进入生态沟的污水量应当不高于夏季的 1/3, 才能保持净水效果。

(2)随着时间增加, 底泥中养分含量快速增加, 初始阶段增加最快, 由于生态沟是当年才开始运行, 所以沟内底泥养分提升很显著, 随着时间推进, 土壤 S 点的有机质含量快速增加, 系统运行 8 个月后, 初始阶段底泥有机质含量约为背景值 5.4 倍, TN 是 7.1 倍, TP 达到 42.7 倍。但随着生态沟使用时间的延长, 3 种污染物的底泥浓度急剧下降, 到生态沟末端, 底

泥全年的养分含量变化已经不显著。

(3)生态沟初始段梭鱼草植株地上和地下的干物质量, 均显著高于后面两个点, 末端点最低, 表明梭鱼草的长势随着生态沟的使用时间延长而快速下降, 生态沟起始阶段养分较高, 生长较为旺盛, 而后主要是因为水和土壤中的养分供应降低。其养分含量也是前点高于后点, 通过梭鱼草吸收 N 素产生的削减占生态沟总削减量的 28%, 吸收 P 素占总削减量的 8.7%。

参考文献:

- [1] 黄红英, 常志州, 叶小梅, 等. 区域畜禽粪便产生量估算及其农田承载预警分析——以江苏为例[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(4):777-783.
HUANG Hong-ying, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, et al. Estimation of regional livestock manure production and farmland loading capacity: A case study of Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Journal of Agriculture Science*, 2013, 29(4):777-783. (in Chinese)
- [2] 王 刚, 闻 韵, 海热提, 等. UASB 处理高浓度畜禽养殖废水启动及产气性能研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(1):95-99.
WANG Gang, WEN Yun, HAI Re-ti, et al. Start-up and biogas production of UASB treating high concentration livestock wastewater[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 38(1):95-99. (in Chinese)
- [3] 段妮娜, 董 滨, 何群彪, 等. 规模化养猪废水处理模式现状和发展趋势[J]. 净水技术, 2008, 27(4):9-15, 39.
DUAN Ni-na, DONG Bin, HE Qun-biao, et al. Current status and advances in swine wastewater treatment technology for scaled hogger[J]. *Water Purification Technology*, 2008, 27(4):9-15, 39. (in Chinese)
- [4] 冷 庚, 但德忠. 畜禽废水处理技术及其应用进展[J]. 四川环境, 2009, 28(1):68-72.
LENG Geng, DAN De-zhong. Technology progresses of livestock and poultry wastewater treatment and their application[J]. *Sichuan Environment*, 2009, 28(1):68-72. (in Chinese)
- [5] Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? [J]. *Water Science and Technology*, 1997, 35(5):11-17.
- [6] Fraser LH, Cartys M, Steer D. A test of four plants species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 9(4):185-192.
- [7] 姜翠玲, 崔广柏. 湿地对农业非点源污染的去除效应[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5):471-473.
JIANG Cui-ling, CUI Guang-bo. Effectiveness of wetlands in removal of non-point pollutants from agricultural source[J]. *Agro-environmental Protection*, 2002, 21(5):471-473. (in Chinese)
- [8] Cookson W R, Cornforth I S, Rowarth J S. Winter soil temperature(2-15 $^{\circ}\text{C}$) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: A laboratory and field study[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(10):1401-1415.
- [9] 张树楠, 肖润林, 余红兵, 等. 水生植物刈割对生态沟渠中氮、磷拦截的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8):1066-1071.
ZHANG Shu-nan, XIAO Run-lin, YU Hong-bing, et al. Effects of cut-

- ting aquatic plants on nitrogen and phosphorus interception in ecological ditches[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(8): 1066-1071. (in Chinese)
- [10] Johnson S. Effects of water level and phosphorus enrichment on seedling emergence from marsh seed banks collected from northern Belize [J]. *Aquatic Botany*, 2004, 79(4): 311-323.
- [11] Lacoul P, Freedman B. Relationships between aquatic plants and environmental factors along a steep Himalayan altitudinal gradient[J]. *Aquatic Botany*, 2006, 84(1): 3-16.
- [12] Cedergreen N, Streibig J C, Spliid N H. Sensitivity of aquatic plants to the herbicide metsulfuron-methyl[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004, 57(2): 153-161.
- [13] 雒维国, 王世和, 黄娟, 等. 潜流型人工湿地冬季污水净化效果[J]. 中国环境科学, 2006, 26(增刊): 32-35.
- LUO Wei-guo, WANG Shi-he, HUANG Juan, et al. The purification effect of underflow type constructed wetland in winter[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(Suppl): 32-35. (in Chinese)
- [14] 徐红灯, 席北斗, 王京刚, 等. 水生植物对农田排水沟渠中氮、磷的截留效应[J]. 环境科学研究, 2007, 20(2): 84-88.
- XU Hong-deng, XI Bei-dou, WANG Jing-gang, et al. Study on the interception of nitrogen and phosphorus by macrophyte in agriculture drainage ditch[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(2): 84-88. (in Chinese)
- [15] Madsen J D, Chambers P A, James W F, et al. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes[J]. *Hydrobiologia*, 2001, 444(1/2/3): 71-84.
- [16] 王岩, 王建国, 李伟, 等. 生态沟渠对农田排水水中氮磷的去除机理初探[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6): 586-590.
- WANG Yan, WANG Jian-guo, LI Wei, et al. Initial exploration of mechanism of ecological ditch intercepting nitrogen and phosphorus in drainage from farmland[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(6): 586-590. (in Chinese)
- [17] 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 等. 生态沟渠底泥属性与磷吸附特征研究[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 1101-1106.
- ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, et al. Study on phosphorus adsorption characteristic of sediments in an ecological ditch[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(3): 1101-1106. (in Chinese)

《农业资源与环境学报》2016 年审稿专家名录

(按姓氏拼音排序)

艾绍英	白宏涛	白志辉	曹林奎	曹文平	曹银贵	常志州	陈宝成	陈丽萍	陈世宝	陈涛	陈雪丽	陈振华	成小英
程琨	崔岩山	党秀丽	丁维新	董仁杰	董文旭	董元杰	董正爱	窦磊	段桂兰	樊向阳	范先鹏	冯英	符辉
高懋芳	高人	高阳	葛体达	耿兵	顾明华	顾雪元	郭建斌	郭鹏郭跃	品	郭治兴	何品晶	何寻阳	贺鸿志
贺泽英	侯红	侯宪文	侯艳伟	侯振安	胡恭任	胡红青	胡克林	胡清秀	黄青	黄懿梅	黄占斌	黄治平	吉艳芝
纪雄辉	冀宏杰	贾永霞	江韬	姜存仓	姜德娟	姜会飞	蒋静艳	焦平金	焦士兴	焦文涛	金芬	靳振江	寇长林
雷炳莉	李北罡	李冰	李布青	李朝阳	李成亮	李纯厚	李大鹏	李法松	李芳柏	李富荣	李虎	李辉信	李吉进
李季	李九玉	李俊良	李立平	李强	李强坤	李全起	李荣	李淑仪	李文斌	李旭东	李艳	李艳霞	李永华
李永梅	李永强	李玉双	李玉义	李裕瑞	李裕元	李云梅	李兆富	廉菲	梁东丽	梁威	林晨	林涛	刘传平
刘存	刘恩科	刘奋武	刘丰茂	刘刚才	刘红恩	刘洪彬	刘家扬	刘鹏	刘世亮	刘树庆	刘永红	刘玉学	刘源
刘仲齐	鲁艳红	陆欣春	罗良国	吕学斌	马保国	马红亮	马艳	马友华	孟凡乔	孟昭福	莫测辉	聂胜委	欧晓明
彭佩钦	漆新华	钱晓雍	秦晓波	秦鱼生	邱宇平	冉炜	任涛	茹淑华	单玉华	申向东	沈飞	沈根祥	沈玉芳
沈珍瑶	盛清凯	石孝均	史静	宋海亮	宋振伟	苏世鸣	苏以荣	苏永中	孙瑞莲	孙文涛	孙学成	孙焱鑫	孙约兵
谭德水	谭志雄	唐宏亮	唐延林	唐阵武	涂晨	涂仕华	汪吉东	汪印	王斌	王昶	王冲	王凤贺	王凤文
王江丽	王靖	王立新	王连峰	王林	王林权	王蒙岑	王鸣华	王庆贵	王权典	王让会	王瑞刚	王世梅	王淑平
王伟东	王鑫	王永忠	王兆林	王志刚	王祖伟	魏东斌	翁伯琦	巫厚长	吴发启	吴蔓莉	吴攀	吴萍萍	吴卫红
吴银宝	吴郁玲	武际	肖波	辛景树	熊双莲	徐长春	徐智	许吟隆	严昌荣	严力蛟	阎秀兰	杨刚	杨继松
杨俊刚	杨乐	杨丽标	杨世琦	杨树青	杨思存	杨延梅	叶优良	易秀	于方明	余常兵	余海波	郁红艳	袁红莉
张阿凤	张爱平	张昌爱	张迪	张发宝	张磊	张敏	张平	张伟	张伟明	张翔凌	张秀霞	张颖	张永春
张增强	张震	张志勇	章明奎	赵保卫	赵海涛	赵建宁	赵建庄	赵秀兰	赵言文	赵玉杰	赵竹青	郑纪勇	郑晶
钟太洋	种云霄	周慧平	周静	周柳强	周青	周卫军	周易勇	朱广伟	朱先芳	朱雪竹	朱宇恩	诸葛玉平	庄恒扬
邹国元													

正是因为有以上专家认真及时的审稿,才使刊物的稿件质量得到有力的保证,使创新性的科研成果得以即时发表,使科技新人脱颖而出。在此,本刊编辑部对各位专家的辛勤工作表示诚挚的感谢。为不断壮大审稿专家队伍,适应日益增多的稿源需求,我们衷心地希望广大作者和读者踊跃推荐审稿专家候选人,以促进刊物的不断发展和创新。

(本刊编辑部)