

刘立早,张玉平,刘淑梅,等. 牧草类植物对南美白对虾养殖池塘底泥的修复效果[J]. 江苏农业科学,2020,48(24):173-177.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.24.034

牧草类植物对南美白对虾养殖池塘底泥的修复效果

刘立早,张玉平,刘淑梅,张玲玲

(上海市水产研究所/上海市水产技术推广站,上海 200433)

摘要:通过室内盆栽试验,对比了一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、冬牧黑麦草和紫花苜蓿等 5 种牧草对南美白对虾池塘底泥中氮、磷、有机质和重金属的修复效果。结果表明,一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草长势最好,收获生物量分别为 (2.69 ± 0.32) 、 (2.95 ± 0.04) 、 (2.83 ± 0.07) kg/m^2 (鲜质量)。南方多年生黑麦草对底泥中的凯氏氮、总磷和铬(Cr)均有一定修复效果,去除率分别为 6.2%、6.3% 和 31.4%。因此,综合植物的生长状况和对底泥的修复效果,南方多年生黑麦草适用于养殖间歇期对虾养殖池塘底泥的修复工程中。

关键词:对虾养殖;池塘底泥;养殖间歇期;植物修复;牧草

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)24-0173-05

南美白对虾(*Penaeus vannamei*),学名凡纳滨对虾,原产于南美太平洋沿岸水域^[1]。自我国 20 世纪引进并突破规模化繁育以来,因其肉质鲜美、含肉率高以及生长速度快等特点备受我国养殖户的青睐^[2]。随着南美白对虾养殖规模的不断扩大,其养殖密度呈逐年增加的趋势,但也面临严重的病害困扰。南美白对虾养殖过程中容易发生大规模的病毒性病害,特别是桃拉病毒、白斑病毒等引起的疾病发病快,死亡率高,且相互传染,严重阻碍了南美白对虾养殖产业的健康发展^[3]。有研究认为,对虾养殖生态系统中,由于物质及能量循环不畅,导致生态失衡,引发病害^[4]。养殖过程中,未被对虾利用的饲料都沉降到池塘底部,日积月累,形成了厌氧、有机质浓度高、氮磷含量高及重金属积累的底泥环境^[5]。因此,如果能采取有效措施,调节构建良好的池塘底泥环境,将减少对虾发生疾病的概率^[6]。

南美白对虾的养殖周期为每年的 4—10 月,池塘的修养期长达半年,如果在这半年的养殖间歇期内,放干或者降低池塘水面,有利于空气复氧到达

池底底泥上方,充足的光照不仅可以杀灭池底细菌,还可以提高底泥微生物分解代谢有机质的速率和效果^[7]。在此基础上充分发挥池塘底泥的价值,将其资源化利用,成为一种新的方向。而牧草由于其适应性强、生长快速、生物量大等特点,不仅具有作为饲料的经济价值,还在生态恢复、水土保持等方面发挥着重要作用^[8]。南美白对虾养殖间歇期长,如果在池塘底泥中种植牧草,不仅可以增加鱼、鸡、鸭等的青饲料,产生一定的经济效应;还可以改善池塘底质环境,降低来年对虾发生病害的概率,带来一定的生态环境效益^[9]。黑麦草是一种耐低温、生长快且动物接受度高的冷季型草种^[10]。已有研究表明,黑麦草对重金属具有一定的耐受和吸收能力^[11],且对生长环境要求极低,甚至能在污染严重、环境恶劣的尾矿区生存^[12]。目前市场上出售的黑麦草种子品种多样,筛选出一种生长快、产量高且对底泥修复效果好的黑麦草品种具有重要意义。

本研究选择一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、冬牧黑麦草和紫花苜蓿等 5 种牧草植物,考察其对南美白对虾养殖池塘底泥中氮、磷、有机质和重金属的修复效果,为今后牧草植物应用于对虾养殖池塘底泥修复工程提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试底泥采自上海市青浦区南美白对虾养殖

收稿日期:2020-03-13

基金项目:国家自然科学基金青年基金(编号:51709172);上海市科技兴农推广项目[编号:沪农科推字(2017)第1-12号];上海市青年人才成长计划[编号:沪农青字(2018)第3-7号]。

作者简介:刘立早(1988—),男,浙江丽水人,硕士,工程师,主要从事水体生态修复研究。E-mail:236291925@qq.com。

通信作者:张玲玲,博士,助理研究员,主要从事水体生态修复研究。

E-mail:13818353541@163.com。

池塘,剔除其中动植物残渣、石子等杂质,使用搅拌器充分混匀,静置作为试验底泥;该底泥中各指标的背景浓度:凯氏氮含量(0.146 ± 0.0046)%、总磷含量(839.39 ± 23.87) mg/kg、有机碳(TOC)含量(12.5 ± 0.37) g/kg、铜、锌、铅、镉、铬、汞、砷的含量分别为 20.75、83.14、18.95、0.17、244.22、0.08、7.10 mg/kg。

供试植物选用南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、1 年生黑麦草、冬牧黑麦草和紫花苜蓿种子。

1.2 试验设计

试验在透明温室内进行,时间为 2018 年 12 月 27 日至 2019 年 4 月 24 日。试验装置为 12 个塑料盒(内尺寸 30 cm × 40 cm × 15 cm),每个塑料盒中铺设等量湿泥,泥厚约 7 cm。共设置 6 组处理,每组处理设 2 个平行,种植南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、1 年生黑麦草、冬牧黑麦草、紫花苜蓿以及空白对照,每个种植盒分别均匀播撒种子 10 g(紫花苜蓿因其种子颗粒小种植 5 g)。

1.3 样品采集和处理

试验期间分别对南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、1 年生黑麦草刈割 3 次,时间为 3 月 13 日、4 月 8 日和 4 月 23 日;只在试验结束时(4 月 23 日)对冬牧黑麦草和紫花苜蓿刈割 1 次;试验结束后,采集每个塑料盒中的底泥样品,自然风干,研磨过 100 目筛待测。

1.4 分析方法

底泥中重金属含量的测定:精确称取 0.100 g 底泥样品至微波消解罐中,加入 5 mL 分析纯硝酸和优级纯双氧水,浸泡 2 h 后进行微波消解,消解程序:30 min 内升到 200 ℃,保持 30 min。然后用去离子水定容至 50 mL,取 1 mL 溶液稀释至 5 mL 待测。

底泥中凯氏氮含量的测定:使用凯氏定氮法称取风干土样 0.50 g 于 250 mL 消化管中,加入 2.0 g 催化剂($\text{CuSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 = 1:10$),然后加入 8 mL 浓硫酸,摇匀。将消化管置于红外控温消煮炉上,先调节温度为 180 ℃,加热约 30 min,待管内反应缓和之后,升温至 380 ℃继续加热 3 h,使消煮液呈灰白带绿色时,冷却至室温,消解液用全自动凯氏定氮仪(peiou-skdl000)检测氮的浓度。

底泥中的总磷含量用钼锑抗比色法(NY/T 88—1988《土壤全磷测定法》)测定,有机碳含量使用岛津 TOC 仪(TOC-L CPN-SSM5000)测定。

2 结果与分析

2.1 不同牧草品种的生长情况比较

2019 年 1 月 2 日,观察到冬牧黑麦草和紫花苜蓿均已发芽,其他几个品种并未发芽。1 月 7 日,其他几个品种均已发芽。试验结束收割时,紫花苜蓿株高不到 3 cm,冬牧黑麦草开始干枯(株高小于 30 cm),且 2 组均有杂草生长。植物的生物量和株高是反映其在受污染环境中的抗性和生长能力的重要指标。2019 年 2 月 21 日和 2019 年 3 月 11 日测量了黑麦草的株高,分别为一年生黑麦草(22.5 ± 0.71) cm 和(27 ± 1.41) cm,南方多年生黑麦草(19.5 ± 0.71) cm 和(25.5 ± 2.12) cm,北方多年生黑麦草(20.5 ± 0.71) cm 和(26.5 ± 2.21) cm,冬牧黑麦草(13.5 ± 2.12) cm 和(17.0 ± 1.41) cm。可以看出,一年生黑麦草、南方多年生黑麦草和北方多年生黑麦草长势要优于冬牧黑麦草(图 1)。

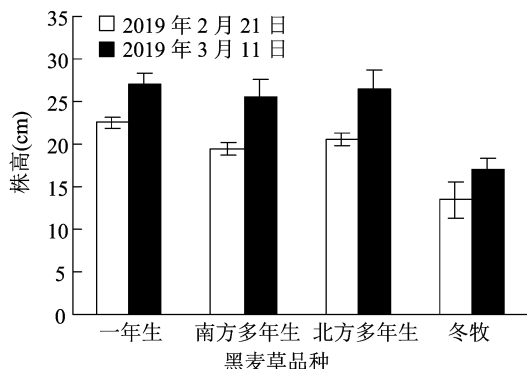


图1 不同品种黑麦草株高

在利用植物进行土壤修复时,除吸收能力之外,其生物量大小对修复效果也起着重要作用,而且生物量也关系到收获后的资源化利用效益^[13]。由图 2 可知,一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草长势较好,最终收获生物总量分别为(322.59 ± 37.83)、(353.54 ± 5.30)、(339.39 ± 8.72) g(鲜质量),单位面积收获量分别为(2.69 ± 0.32)、(2.95 ± 0.04)、(2.83 ± 0.07) kg/m²(鲜质量),远高于冬牧黑麦草(0.30 ± 0.08 kg/m²)和紫花苜蓿(0.18 ± 0.04 kg/m²)。研究表明,多年生黑麦草根系发达、建株速度快、分蘖能力强,能迅速覆盖地面。而本试验生物量最大的是南方多年生黑麦草,结果与文献资料^[14]基本一致,该品种是一种进口黑麦草种子,而冬牧为国产一年生黑麦草品种。

2.2 不同牧草对底泥中氮、磷和有机碳的影响

分别采集种植前后的底泥样品分析,种植前、

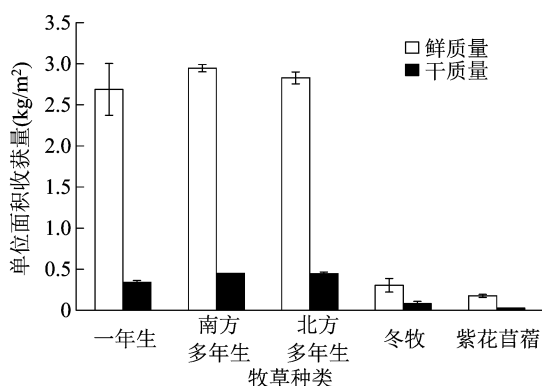


图2 不同牧草生物量产出比较

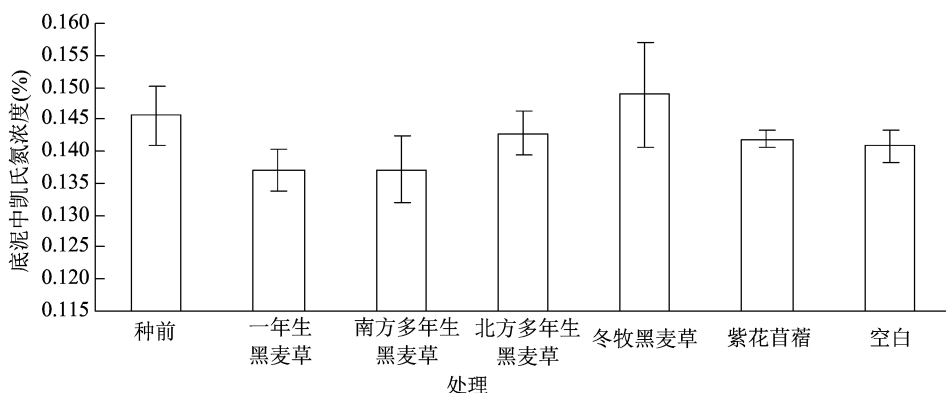


图3 不同牧草对底泥中凯氏氮含量的影响

对种植前后底泥中总磷含量(图4)进行分析,除一年生黑麦草种植组底泥中总磷含量升高之外,南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、冬牧黑麦草、紫花苜蓿底泥中总磷含量分别由初始的(839.39 ± 23.87) mg/kg 下降至(786.64 ± 32.30)、(836.32 ± 23.70)、(823.51 ± 71.09)、(790.28 ± 33.36) mg/kg。可以看出,这4种植物对底泥总磷有一定去除能力,去除率最高的是南方多年生黑麦

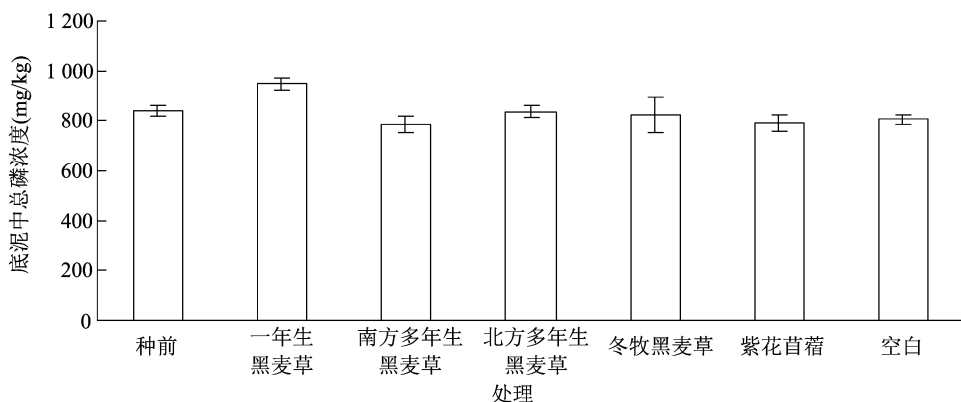


图4 不同牧草种植前后底泥总磷含量

对种植前后底泥有机碳含量(图5)进行分析,可以看出,5种牧草种植前后底泥中TOC的含量变

化不大,其中南方多年生黑麦草和北方多年黑麦草种植后底泥TOC含量略微升高,由种前的($12.5 \pm$ 一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草、冬牧黑麦草、紫花苜蓿和空白对照底泥中凯氏氮浓度分别为(0.146 ± 0.0046)%、(0.136 ± 0.0033)%、(0.137 ± 0.0053)%、(0.143 ± 0.0035)%、(0.149 ± 0.0083)%、(0.142 ± 0.0013)%和(0.141 ± 0.0025)%。结果表明,5种牧草对底泥中凯氏氮消除存在一定差异,除冬牧黑麦草之外,其他几种植物对底泥中凯氏氮均有一定去除效果,其中一年生黑麦草和南方多年生黑麦草的去除效果最好,去除率分别为6.8%和6.2%(图3)。

草,达到6.3%。Sims等研究发现,P的土壤亲和力比较高,较难在土壤中发生垂直迁移,植物吸收成为P离开土壤的重要途径^[15]。周小平等利用浮床栽培黑麦草,发现黑麦草对P的去除以吸收作用为主,植物累积的P占所去除P总量的89.5%^[16]。何亮珍等研究发现,种植黑麦草处理后的土壤总磷含量相比对照组降低了8.6%^[17]。

化不大,其中南方多年生黑麦草和北方多年黑麦草种植后底泥TOC含量略微升高,由种前的($12.5 \pm$

0.37) g/kg 增加至(13.0±0.60) g/kg 和(13.1±1.20) g/kg,但差异并不明显。南方多年黑麦草和北方多年黑麦草的生物量较高,可能是其发达根系分泌的小分子有机物增加了底泥中 TOC 含量^[18-19]。已有研究表明,土壤系统中的 TOC 能够

促进重金属的吸收和转化,减少重金属的负面效应,一般认为,有机质能形成矿质有机复合胶体对重金属有明显的“活化作用”,加强植物提取修复重金属的能力^[20]。

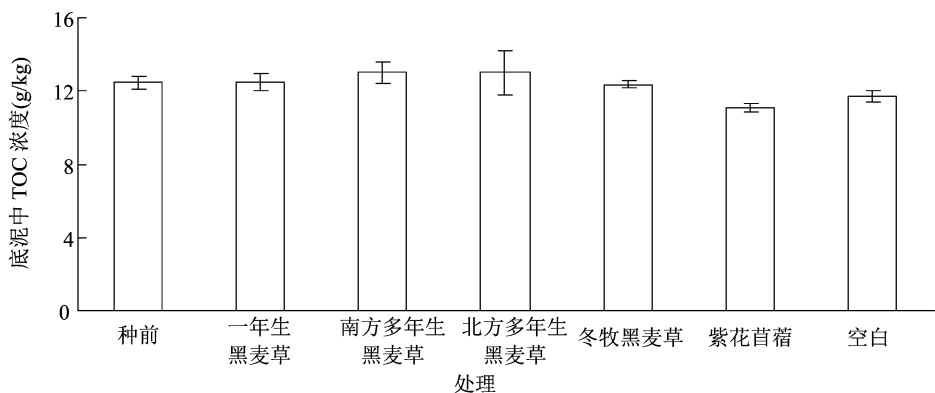


图5 不同牧草种植前后底泥的 TOC 含量

2.3 不同牧草对池塘底泥中重金属的影响

由表 1 可知,种植前底泥中铜、锌、铅、镉、铬、汞、砷等 7 种重金属的含量分别为铜 (Cu) 20.75 mg/kg、锌 (Zn) 83.14 kg/kg、铅 (Pb) 18.95 mg/kg、镉 (Cd) 0.17 mg/kg、铬 (Cr) 244.22 mg/kg、汞 (Hg) 0.08 mg/kg、砷 (As) 7.10 mg/kg,除 Cr 含量(标准值为≤90 mg/kg)之外,其他 6 种重金属的含量均未超过 GB 15618—1995 中 I 类土壤规定的重金属标准值(Cu 含量≤35.00 mg/kg, Zn 含量≤100 mg/kg, Pb 含量≤35.00 mg/kg, Cd 含量≤0.20 mg/kg, Hg 含量≤0.15 mg/kg, As 含量≤15.00 mg/kg),属于重金属轻度污染^[21]。

生黑麦草、冬牧黑麦草、紫花苜蓿对底泥中重金属总含量的去除率分别为 8.59%、21.5%、24.1%、5.89%、17.7%。几种植物对底泥中 Cr 的去除效果差异较大,其中南方多年生黑麦草和北方多年生黑麦草对底泥中 Cr 的去除效果最好(表 1),去除率分别为 31.45% 和 38.15%。田雨婷等的研究表明,黑麦幼苗根部 Cr 含量会随着土壤 Cr 浓度增加而增大^[22],说明这 2 种多年生黑麦草可能对 Cr 具有超积累特性^[23],适合应用于受 Cr 污染的池塘底泥修复工程中。综上所述,南方多年生黑麦草和北方多年生黑麦草对池塘底泥中重金属的去除效果较好,这与植物生物量结果一致,而生物量的大小是衡量植物重金属修复潜力的一个重要指标^[24-25]。

表 1 2 种多年生黑麦草对底泥重金属的影响

重金属种类	种植前含量 (mg/kg)	种植后含量(mg/kg)		GB 15618—1995
		南方多年生黑麦草	北方多年生黑麦草	
铜 Cu	20.68	20.24	21.21	≤35.00
锌 Zn	83.16	82.59	87.18	≤100
铅 Pb	18.85	18.05	19.52	≤35.00
镉 Cd	0.18	0.17	0.17	≤0.20
铬 Cr	260.47	178.56	161.10	≤90
汞 Hg	0.08	0.08	0.08	≤0.15
砷 As	7.01	6.85	7.27	≤15.00

由图 6 可知,5 种植物种植后底泥中重金属总含量均有不同程度的下降,各植物组之间差异较大。一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年

4 结论

南美白对虾养殖间歇期,种植于池塘底泥中的几种牧草生物量差异较大,一年生黑麦草、南方多年生黑麦草、北方多年生黑麦草长势最好,收获生物量分别为 2.69、2.95、2.83 kg/m²(鲜质量)。

从种植前后底泥中的各项参数来看,一年生黑麦草和南方多年生黑麦草对底泥中的凯氏氮去除效果最好,达到 6.8% 和 6.2%;对总磷去除效果最好的是南方多年生黑麦草,去除率为 6.3%;南方多年生黑麦草和北方多年生黑麦草对重金属 Cr 有较好的修复效果,去除率分别为 31.45% 和 38.15%。因此,综合植物的生长状况和底泥的修复效果,南方多年生黑麦草适合用于养殖间歇期对虾养殖池

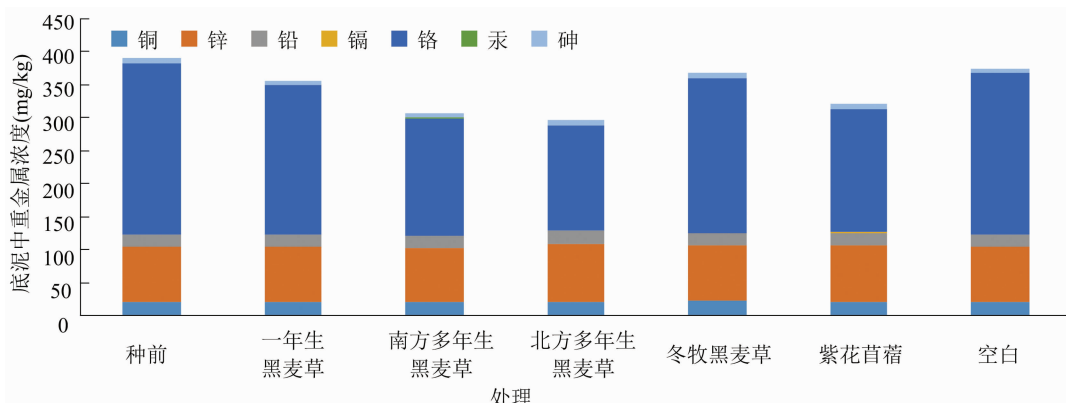


图6 不同牧草种植前后底泥中重金属含量

塘底泥的修复工程中。

参考文献:

- [1] 徐希佳. 南美白对虾生态养殖[J]. 农业与技术, 2017, 37(23): 130, 132.
- [2] He W Q, Rahimnejad S, Wang L, et al. Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Fish&Shellfish immunology, 2017, 1(70): 164 – 173.
- [3] Hargeraves J A, Kucuk S. Effects of diel un-ionized ammonia fluctuation on juvenile hybrid striped bass, channel catfish, and blue tilapia[J]. Aquaculture, 2001, 195(1): 163 – 168.
- [4] Avnimelech Y, Ritvo G. Shrimp and fish pond soils: processes and management[J]. Aquaculture, 2003, 220(1/2/3/4): 549 – 567.
- [5] 贾晓燕. 养殖池塘底质改良措施[J]. 农家顾问, 2006(7): 51 – 53.
- [6] 杨庆霄, 蒋岳文, 张昕阳, 等. 虾塘底层残饵腐解对沉积物环境的影响[J]. 海洋环境科学, 1998, 18(3): 10 – 15.
- [7] 金凤杰, 蒋德明, 王亭芳, 等. 南美白对虾养殖底泥细菌多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 193 – 198, 212.
- [8] 侯新村, 范希峰, 武菊英, 等. 草本能源植物修复重金属污染土壤的潜力[J]. 中国草地学报, 2012, 34(1): 59 – 64, 76.
- [9] 张磊, 刘东燕, 邵涛, 等. 黑麦草的饲用价值及其应用前景[J]. 草业科学, 2008, 25(4): 64 – 69.
- [10] 石永红, 万里强, 刘建宁, 等. 多年生黑麦草高温半致死温度与耐热性研究[J]. 草业科学, 2010, 27(2): 104 – 108.
- [11] 张杏锋, 夏汉平, 李志安, 等. 牧草对重金属污染土壤的植物修复综述[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1640 – 1646.
- [12] 吴秋玲, 王文初, 何閃英, 等. GA₃ 和 EDTA 强化黑麦草修复 Pb 污染土壤及其解毒机制[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2999 – 3005.
- [13] Deram A, Denayer F O, Dubourgier H C, et al. Zinc and cadmium

- accumulation among and within populations of the pseudometallophytic species *Arrhenatherum elatius*; implications for phytoextraction[J]. Science of the Total Environment, 2007, 372(2/3): 372 – 381.
- [14] 冯鹏, 孙力, 申晓慧, 等. 多年生黑麦草对 Pb、Cd 胁迫的响应及富集能力研究[J]. 草业学报, 2016, 25(1): 153 – 162.
- [15] Sims J T, Simard R R, Joern B C, et al. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research[J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 27(2): 277 – 293.
- [16] 周小平, 徐晓峰, 王建国, 等. 3 种植物浮床对冬季富营养化水体氮磷的去除效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 102 – 104.
- [17] 何亮珍, 郭嘉, 付爱斌, 等. 双季稻冬闲田种植绿肥对土壤理化性质的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(4): 405 – 407.
- [18] 马莹, 骆永明, 腾应, 等. 内生菌强化重金属污染土壤植物修复研究进展[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 195 – 202.
- [19] 王晓凌, 李凤民. 苜蓿草地与苜蓿-作物轮作系统土壤微生物量与土壤轻组碳氮研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 132 – 142.
- [20] 章明奎. 砂质土壤不同粒径颗粒中有机碳、养分和重金属状况[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 584 – 591.
- [21] 土壤环境质量标准: GB 15618—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [22] 田雨婷, 吕金印, 程永安, 等. 黑麦幼苗对铬的吸收与分布[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(11): 130 – 133.
- [23] 郑施雯, 魏远, 顾红波, 等. 铬污染地区植物重金属含量特征与耐性植物筛选研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(2): 205 – 211.
- [24] 谢佩君, 李铭红, 晏丽蓉, 等. 三种沉水植物对 Cu、Pb 复合污染底泥的修复效果[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 757 – 763.
- [25] 朱剑飞, 李铭红, 谢佩君, 等. 紫花苜蓿、黑麦草和狼尾草对 Cu、Pb 复合污染土壤修复能力的研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(2): 303 – 313.