

赵月,曹志会,王冰,等.生化法处理后的链霉素废水出水对斑马鱼 SOD 活性和 MDA 含量的影响[J].江苏农业科学,2015,43(8):348-351.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.08.113

生化法处理后的链霉素废水出水对斑马鱼 SOD 活性和 MDA 含量的影响

赵月^{1,2},曹志会^{1,2},王冰^{1,2},周可心^{1,2},沈洪艳^{1,2},武彤¹

(1. 河北科技大学环境科学与工程学院,河北石家庄 050080; 2. 河北省药用分子化学重点实验室,河北石家庄 050080)

摘要:采用暴露试验方法,研究了 10%、20%、30%、40% 体积百分比的生化法处理后的链霉素生产废水出水 15 d 内对斑马鱼肌肉组织超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量的影响。结果显示,斑马鱼肌肉组织 SOD 活性、MDA 含量在暴露过程中以诱导为主,经过生化法处理后的链霉素生产废水出水比例达到 10% 时就可以对斑马鱼产生氧化损伤效应,但是比例达到 40% 时其对斑马鱼的氧化损伤程度并未超过其抗氧化防御系统的阈值,斑马鱼的抗氧化防御系统最终达到了新的平衡,说明鱼体抗氧化防御系统具有自我调节的功能。此外,斑马鱼 SOD 活性、MDA 含量均对链霉素生产废水的胁迫有应激反应,两者有协同性,但是 SOD 活性比 MDA 含量更敏感。

关键词:链霉素;斑马鱼;抗氧化防御系统

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)08-0348-03

随着工业的发展,工业废水排放对水生态系统、人类健康构成了巨大威胁,同时给环境风险评估和管理带来了挑战^[1]。目前我国工业废水排放的监督管理以理化监测为主,能快速定量测定某些废水中的污染物含量,但对于组分复杂的工业废水,难以用理化分析方法阐明其组分。因此,建议采用水生生物毒性试验来反映废水的综合毒性^[2-3]。制药企业污水处理厂、城市污水处理厂的污水处理工艺对制药废水中的污染物质去除仍不够彻底^[4]。王丽萍等利用鲤鱼、鲫鱼对污水处理厂废水的急性毒性进行了检测,结果表明,鲤鱼对水质毒性的敏感性高于鲫鱼,出水对鱼的毒性主要是由水中游离氨引起的^[5]。李丽君等用斑马鱼检测几家工业污染源废水毒性,对各行业废水的毒性、污水处理的效果以及污水的综合毒性进行了客观评价,结果显示,大部分行业的工业废水经处理后仍具有毒性^[4]。沈洪艳等采用暴露试验法研究了青霉素、土霉素混合废水的出水不同暴露浓度对斑马鱼肌肉超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量的影响,结果表明,该废水对斑马鱼机体造成了一定的氧化损伤^[6]。锦鲤长期暴露于链霉素废水中会对其抗氧化防御系统及抗氧化能力产生影响^[7]。斑马鱼是国际标准组织推荐的试验用鱼,斑马鱼成鱼个体比其他鱼种小,便于在实验室饲养,具有繁殖能力强、价格便宜等特点,被广泛应用于胚胎发育生物学研究、动物学基因表达研究、毒物在生物体内残留累积效应研究、污

染物对于鱼类急性毒性研究等^[8-9]。本研究选取某大型链霉素生产企业污水处理厂生化法处理后的二沉池出水为水样(以下简称链霉素废水出水),以斑马鱼为研究对象,评估链霉素废水出水对鱼体肌肉组织 SOD 活性、MDA 含量的影响,旨在为评价制药工业废水处理工艺有效性以及处理后出水的生态安全性提供依据。

1 材料与方法

1.1 仪器和试剂

UV-2550 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司)、DK-S26 型恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司)、TG16-WS 台式高速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)、JPBJ-608 型便携式溶解氧测定仪(上海精密科学与仪器有限公司)、EL204 型电子分析天平(梅特勒-上海托利多有限公司)、FE20 型 pH 计(梅特勒-上海托利多有限公司)、XK96-B 型快速混匀器(姜堰新康医疗器械有限公司)、BBC-226STV 海尔家用冰箱、SYZ-A 型石英高纯水蒸馏器(金坛市宏华仪器厂)、WAD-TH 型硬度计、手动式匀浆器、温度计、加热棒、移液管等。试验用 SOD、MDA、考马斯亮蓝试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,醋酸、乙醇、生理盐水均购自天津永大化学试剂公司。

1.2 受试生物

选用斑马鱼为受试生物,由河北省石家庄市水产养殖基地提供,体长为(34.05±0.43) mm,体质量为(0.24±0.03) g,鱼苗经 5% 食盐水消毒后进入实验室,用 48 h 曝气的脱氯自来水在实验室驯养 7 d 用于试验,试验水质符合渔业水质标准,驯养期间斑马鱼死亡率<4%。为防止饵料产生影响,试验前 24 h 停止喂食,整个急性试验期间不喂食。

1.3 方法

预试验:在 27 cm×13 cm×15 cm 的玻璃水族缸中每缸盛放 4 L 试液,分别设置 8 个预试验浓度组,链霉素出水体积

收稿日期:2014-11-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:41373096);国家环保公益课题(编号:201509041-05);河北省自然科学基金(编号:B2014208068);河北省药用分子化学实验室开放基金;河北省环保厅公益课题;河北省重点学科建设基金。

作者简介:赵月(1989—),女,硕士,主要从事污染物环境行为及效应研究。E-mail:z_y0329@163.com。

通信作者:沈洪艳,博士,教授,主要从事污染物环境行为及效应研究。E-mail:shy0405@sina.com。

百分比分别为:20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%。用曝气 48 h 的除氯自来水进行稀释,水质指标满足 GB 11607—1989《渔业水质标准》。每组随机放入 10 尾鱼,连续试验 96 h,每天更换试验溶液。试验结果显示,连续试验 96 h 后,并未观察到任何 1 个试验组的斑马鱼全部死亡。急性毒性试验:根据上述预试验结果进行急性性试验浓度设置,链霉素废水出水选择 20%、40%、60%、80%、100% 体积百分比来观察链霉素废水出水对斑马鱼造成的影响,每组 10 尾鱼。亚急性毒性试验:对于链霉素废水出水,设定亚急性毒性试验浓度为:10%、20%、30%、40%,研究不同暴露浓度链霉素废水出水对斑马鱼的氧化损伤。试验设置 1 个空白组、4 个试验组,每个试验组设置 3 个平行组。在 5 L 鱼缸中分别放入 4 L 试验液,充分混合曝气后将驯养的斑马鱼随机放入各个试验组中,每组投放 20 尾鱼,并进行连续曝气。亚急性毒性试验历时 15 d,每天至少测定 1 次试验液中的溶解氧含量、pH 值、硬度、水温。采用静态置换法,每天换水,分别于 3、6、9、12、15 d 测定斑马鱼肌肉组织 SOD 活性、MDA 含量。

1.4 样品处理

每次从相应的试验组中取 5 尾试验鱼,解剖,取其肌肉组织,在冰冷的 0.86% 生理盐水中漂洗,滤纸拭干,准确称取组织质量,放入玻璃匀浆管中;用移液器按 1:9 (质量体积比) 取预冷的 0.86% 生理盐水,加入匀浆管中进行匀浆,在冰水浴中进行匀浆,充分研磨约 8 min,制得 10% 组织匀浆。将制备好的匀浆液用普通离心机在 3 000 r/min 下离心 10 min,取其上清液保存于 4 °C 冰箱中。采用考马斯亮蓝法测定蛋白质含量;采用黄嘌呤氧化酶法测定 SOD 活性;采用硫代巴比妥酸反应 (TBA) 比色法测定 MDA 含量。

1.5 试验条件

试验所用废水来自链霉素生产过程中的提炼工段,化学需氧量 (COD)、生化需氧量 (BOD₅)、悬浮物、氨氮浓度分别为 200、50、50、4.12 mg/L,色度为 21。试验用水 pH 值约 7.5,总硬度约 100 mg/L,试验温度为 22~24 °C,溶解氧含量不低于 5 mg/L。试验期间用曝气装置连续曝气,为了保证其浓度,每 24 h 换 1 次试验液,每天至少测定 1 次试验溶液的水温、硬度、pH 值、溶解氧含量。

1.6 数据处理

试验结果用“平均值±标准差”来表示。

2 结果与分析

2.1 急性毒性试验结果

96 h 内,80%、100% 浓度组斑马鱼出现侧翻现象,游动十分迟缓。80% 浓度组斑马鱼死亡 4 尾,100% 浓度组斑马鱼死亡 5 尾。40%、60% 浓度组斑马鱼游动缓慢,未出现侧翻。20% 浓度组斑马鱼行为未出现明显异常。黄健等选用链霉素对 6 种海洋微藻进行试验,结果表明,只有角毛藻、三角褐指藻在试验浓度范围内 (0~500 mg/L) 测到了 72 h 半抑制浓度,EC₅₀ 分别为 346、445 mg/L,其他 4 种海洋微藻均未测到 72 h 半抑制浓度^[10]。

2.2 亚急性毒性试验

2.2.1 生化法处理后的链霉素生产废水出水对斑马鱼肌肉 SOD 活性的影响 由图 1 可知,3 d 时,10% 试验组斑马鱼体

内 SOD 活性比对照增加,但无显著差异;20%、30%、40% 试验组斑马鱼体内 SOD 活性出现显著性诱导作用,说明生化法处理后的链霉素废水出水能够引起斑马鱼氧化应激反应。斑马鱼通过升高 SOD 活性来抵御 O₂⁻· 对机体的侵害作用。6 d 时,10% 试验组斑马鱼体内 SOD 活性比对照增加;20%、30% 试验组则表现出抑制作用,但无显著性差异;40% 试验组表现出显著抑制作用。这可能是由于随着暴露时间的延长,链霉素废水中污染物在鱼体内不断地累积,导致鱼体内产生大量 O₂⁻·,过多的 O₂⁻· 消耗了 SOD,也可能是过量的 O₂⁻· 对鱼体抗氧化酶产生了直接损伤,导致 SOD 活性降低。9 d 时,10% 试验组表现为对 SOD 活性有诱导作用但无显著差异,其值略高于空白对照组;20%、30%、40% 试验组均表现为抑制作用但无显著性差异,其值略低于空白对照组。12 d 时,10%、30% 试验组表现出抑制作用但无显著差异;20% 试验组表现出诱导作用但无显著性差异;40% 试验组表现出显著诱导作用。15 d 时,10%、40% 试验组显现出诱导作用但无显著差异;20%、30% 试验组表现出抑制作用但无显著差异。综上所述,生化法处理后的链霉素废水出水比例为 10% 时对鱼体影响是可逆的,并未超过其抗氧化防御系统阈值,斑马鱼的抗氧化防御系统最终达到了新的平衡。

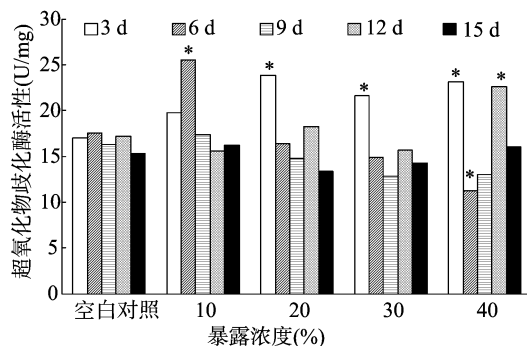


图1 生化法处理后的链霉素生产废水出水对斑马鱼肌肉组织 SOD 活性的影响

2.2.2 生化法处理后的链霉素生产废水出水对斑马鱼肌肉 MDA 含量的影响 如图 2 所示,3 d 时,10%、20%、30%、40% 试验组斑马鱼肌肉 MDA 含量均表现为诱导作用,但是无显著差异。6 d 时,20%、30% 试验组斑马鱼肌肉 MDA 含量均表现为显著诱导作用。9 d 时,30% 试验组出现抑制作用但无显著差异;10%、20%、40% 试验组表现为诱导作用但无显著差异。试验后期 (9~15 d),所有试验组 MDA 含量均与空白对照组无显著差异。综上所述,3 d 时所有试验组斑马鱼肌肉 MDA 含量均表现出诱导作用,说明生化法处理后的链霉素废水出水比例为 10% 时就已经引起了鱼体脂质过氧化损伤;6 d 时 20%、30% 试验组显现出显著诱导效果;9~15 d 时,10%、20%、40% 试验组与空白对照组无显著差异。本试验浓度范围已经引起了斑马鱼脂质过氧化损伤,9~15 d 时与空白对照组无显著差异,说明斑马鱼抗氧化防御系统达到了新的平衡,该试验结果与 SOD 活性测定结果一致。

3 结论与讨论

3.1 生化法处理后的链霉素废水出水对 SOD 活性影响

SOD 是生物体内抗氧化防御系统中重要的抗氧化酶,主

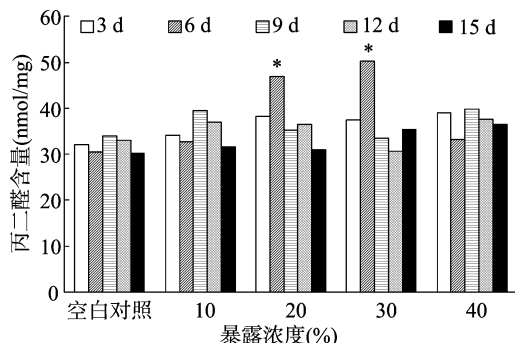


图2 生化法处理后的链霉素生产废水出水对斑马鱼肌肉组织 MDA 含量的影响

要分布在胞浆和线粒体的基质内^[11-13],由于其是唯一 1 种以自由基为底物的抗氧化酶,因此在活性氧自由基清除方面中发挥着重要作用。本研究结果表明,暴露初期(3 d),暴露组 SOD 活性较空白组升高,说明斑马鱼在受到外界刺激时,生物体内阴离子氧自由基数量增多,SOD 被激活,保护系统被打开,阴离子氧自由基刺激了 SOD 合成来清除阴离子氧自由基,减少细胞膜的过氧化作用。随着暴露时间的延长(6~9 d),SOD 活性因消耗而降低,或者 SOD 合成受到抑制。该研究结果与前人的研究结果^[6,14]一致,即生物体暴露于污染环境后其 SOD 活性均出现先诱导后抑制现象。这可能是因为链霉素废水中污染物在鱼体内累积,导致阴离子氧自由基在鱼体内累积速度加快,从而使 SOD 合成速度跟不上斑马鱼体内阴离子氧自由基增加速度,抑制了 SOD 合成,也可能是 SOD 因消耗而活性降低,导致阴离子氧自由基的产生和消除平衡被破坏,机体细胞膜系统被氧化。暴露后期(12~15 d),SOD 活性回到空白对照水平,可能是由于此时机体已对暴露物的逆境胁迫表现出了一定的耐受性,而且该污染胁迫没有超出鱼体耐受力,SOD 再次被刺激,产生应激反应,活性再度升高,说明鱼体内抗氧化防御系统正在发挥作用,并且形成新的平衡。

3.2 生化法处理后的链霉素废水出水对 MDA 含量影响

MDA 作为氧化损伤最终形成的脂质过氧化产物,其含量可间接反映机体自由基水平,是毒性作用、保护作用的综合反映^[15]。研究发现,当污染物进入生物体内进行生物转化时,可形成大量活性氧自由基,这些活性氧自由基若不及时清除,就会引起 DNA 断裂、脂质过氧化、酶失活等损伤,对机体造成氧化胁迫^[16]。暴露初期(3 d),所有暴露组 MDA 含量较空白升高,这与 SOD 活性变化规律一致,说明斑马鱼在受到外界刺激时,MDA 含量与 SOD 活性同时被激活,鱼体通过产生 MDA 来清除阴离子氧自由基对生物体的迫害,说明此时斑马鱼已经受到脂质过氧化损伤。随着暴露时间的延长,MDA 含量存在一定程度的显著诱导。暴露后期(9~15 d),MDA 含量维持在对照水平,说明鱼体消除了过多的阴离子氧自由基,达到了新的平衡,表明该污染胁迫仍在鱼的承受范围内,这与沈洪艳等关于抗生素药物环丙沙星对锦鲤抗氧化系统的毒性作用结果^[17]一致。随着暴露时间延长与暴露浓度升高,SOD 活性逐渐下降,与此同时,MDA 含量呈现上升趋势^[18]。本试验中,30% 试验组出现 MDA 含量低于对照组的情况,也有不少学者发现了同样的现象^[19-22]。本试验结果原因可能是随着自由基的积累,虽然 SOD 活性下降,但是机体体内还存在其

他酶被激活,清除过多阴离子氧自由基的作用,从而使鱼体内的抗氧化防御系统保持在稳定状态。

斑马鱼暴露在生化法处理后的链霉素废水出水中 15 d,40% 体积百分比试验组斑马鱼鱼体 SOD 活性呈现出诱导—抑制—诱导—回落的趋势,说明该试验组链霉素废水出水能够引起斑马鱼的氧化应激反应,并且 15 d 时机体已对链霉素废水出水的逆境胁迫表现出了一定的耐受性。MDA 含量均呈现诱导—回落的趋势,说明经过生化法处理后的 10%、20%、30%、40% 体积百分比链霉素废水出水均能够引起斑马鱼的脂质氧化性损伤,但是其污染胁迫水平在斑马鱼可以承受的范围之内。斑马鱼肌肉组织 SOD 活性、MDA 含量在暴露过程中以诱导为主,表明经过生化法处理后的链霉素生产废水出水比例达到 10% 时就可以对斑马鱼产生氧化损伤效应,但是比例达到 40% 时其对斑马鱼的氧化损伤程度并未超过其抗氧化防御系统的阈值,斑马鱼的抗氧化防御系统最终达到了新的平衡,说明鱼体抗氧化防御系统具有自我调节功能。斑马鱼 SOD 活性、MDA 含量均对链霉素生产废水出水的胁迫有应激反应,两者有协同性,但是 SOD 活性比 MDA 含量更敏感。

参考文献:

- [1] 梁慧,袁鹏,宋永会,等. 工业废水毒性评估方法与应用研究进展[J]. 中国环境监测,2013,29(6):85-91.
- [2] 黄晶雯,黎瑞敏. 试述生物毒性试验在工业废水监测中的应用[J]. 北方环境,2000(1):50-51.
- [3] 姜斌,张涤非. 不同行业工业废水生物毒性强度研究[J]. 环境保护科学,2003,29(3):21-23.
- [4] 李丽君,刘振乾,徐国栋,等. 工业废水的鱼类急性毒性效应研究[J]. 生态科学,2006,25(1):43-47.
- [5] 王丽萍,张雁秋,徐正华. 污水处理厂出水对鱼类影响的试验研究[J]. 中国矿业大学学报,2002,31(3):97-101.
- [6] 沈洪艳,吴志刚,高吉喜,等. 青霉素废水出水对斑马鱼抗氧化指标的影响[J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2013,34(3):78-82.
- [7] 沈洪艳,武晨虹,王丽新,等. 链霉素废水对锦鲤鱼抗氧化酶及 MDA 含量的影响[J]. 安全与环境工程,2013,20(6):65-68.
- [8] 于春来. 造纸废水敏感鱼种的急性毒性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2011.
- [9] 王亮. 化工行业污水及其典型污染物对鱼的毒性效应研究[D]. 长春:吉林农业大学,2012.
- [10] 黄健,宫相忠,唐学玺,等. 链霉素对海洋微藻的毒物刺激效应[J]. 青岛海洋大学学报,2000,30(4):642-644.
- [11] 韩杰,叶行,许人骥. 阿特拉津与氯菊酯联合染毒对鲫鱼 SOD 活性的影响[J]. 贵州农业科学,2010,38(9):136-137,141.
- [12] 徐大伦,黄晓春,欧昌荣,等. 浒苔多糖对扇贝 SOD 酶和溶菌酶活力的影响[J]. 水利渔业,2005,25(3):22-23,64.
- [13] 李文英,刘荣,蒋园,等. DBP 对斑马鱼肝脏和鳃 SOD 及 ATPase 酶活性的影响[J]. 水利渔业,2007,27(4):15-18.
- [14] 吴志刚,沈洪艳,高吉喜,等. 青霉素废水出水对锦鲤肝脏抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响[J]. 江西农业大学学报,2013,35(3):587-592.
- [15] 赖廷和,何斌源,范航清,等. 重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响[J]. 生态学报,2011,31(11):3044-3053.

杭琼,胡伟,时佩佩,等. 利用蚯蚓粪改良果园底层土壤的效果[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):351-353.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.08.114

利用蚯蚓粪改良果园底层土壤的效果

杭琼¹, 胡伟¹, 时佩佩¹, 孙凯文¹, 戴红卫², 戴红涛², 李浩², 盛海君¹, 姚粉霞¹, 钱晓晴¹

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009; 2. 南京绿航生态农业有限公司, 江苏南京 211516)

摘要:采用果园底土(30~60 cm)为材料进行盆栽试验,探讨添加蚯蚓粪对底土的改良效果。混合物培养一段时间待性质基本稳定后进行白菜栽培试验,观测不同处理条件下白菜幼苗的生长状况及营养成分。结果表明:添加适量的蚯蚓粪可以改善底土的 pH 值、有机质、硝态氮、速效磷含量等理化性质,为白菜提供良好的生长环境;添加 5%、10% 的蚯蚓粪会促进白菜幼苗生长,但添加 15% 以上的蚯蚓粪则会抑制白菜幼苗的生长;在蚯蚓粪添加量为 5% 时,白菜幼苗地上部和根系生长状况最佳。

关键词:底土;蚯蚓粪;白菜;土壤改良

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)08-0351-03

随着我国城市化进程的加快,耕地资源越来越少。人类活动在一定程度上给土地资源造成压力^[1-4],因此对现有耕地进行合理的利用、改良与保护显得十分重要。采用现代科学技术手段,对贫瘠土壤进行改造,不仅可以原位改造果园,而且可以制造新型人工土壤作为客土,用于修复已经污染或退化的土壤^[5-8]。自然条件下,底土由于成土作用相对较弱,具有有机质积累少、养分含量低、入渗特性差、土壤密度高、综合肥力差等特点,不利于植物生长。底土也是巨大的资源库,如能充分利用底土,对缓解当前的耕地供需矛盾有很大帮助^[9]。蚯蚓粪作为一种特殊的有机肥料,最大特点是能将有机物、微生物与一些作物生长因子合理结合起来改善土壤环境,最终达到增肥、抗病、养土的目的^[10-11]。蚯蚓粪保水透气能力比一般土壤高 3 倍,有机质含量达 40% 左右,经过多次发酵、动物消化,所形成的有机质含量高,不仅易被植物利用,而且能促进土壤团粒结构形成,提高土壤通透性、保水性、肥力^[11-17]。目前蚯蚓粪多被利用于盆栽试验中,能提高果实品质、产量^[18-19]。蚯蚓粪可以改善底土物理性质,提高底土中养分、有机质含量,充分发挥底土的作物生产功能。本试验

以江苏省南京市猕猴桃果园底层贫瘠的土壤为研究对象,在土壤中充分融合不同比例的蚯蚓粪,探讨蚯蚓粪对底土的改良效果,旨在为更好地开发利用底土资源提供依据。

1 材料与方法

试验于 2013 年 6—10 月年在扬州大学环境科学与工程学院盆栽试验场进行。

1.1 试验材料

供试土壤取自南京绿航生态农业有限公司猕猴桃园的底层土壤(30~60 cm)。土壤基本理化性质为:有机质含量 9.37 g/kg,交换性铵态氮含量 8.1 mg/kg,硝态氮含量 5.3 mg/kg,速效磷含量 11.0 mg/kg,速效钾含量 101.9 mg/kg。试验前将土壤风干磨细过筛。供试白菜品种为苏州青。蚯蚓粪取自扬州大学奶牛场蚯蚓养殖基地,蚯蚓食料为新鲜牛粪。蚯蚓粪养分含量为:全氮含量 39.55 g/kg,全磷含量 14.86 g/kg,速效钾含量 1.65 g/kg。所用盆钵为上口长 17 cm、宽 10 cm、高 7 cm 的塑料花盆。

1.2 试验设计

设 5 个处理,蚓粪的添加量(按质量计)分别为(底土+蚯蚓粪)混合物的 5%、10%、15%、20%,分别称为 T1、T2、T3、T4,以不加蚓粪的自然底土为对照(CK),各处理重复 3 次。每盆装混合物 2 kg,备用。10 月 30 日播种,每盆播种 100 粒,薄层覆盖后定量浇水,保持土壤湿润,置于日光下培养,试验期间根据实际情况适量补水,维持水分条件一致。11 月 7 日采样,进行生物量测定与根系扫描分析,11 月 30 日采

收稿日期:2014-07-21

基金项目:江苏省产学研合作前瞻性联合研究(编号:BY2013063-09)。

作者简介:杭琼(1990—),女,江苏张家港人,硕士研究生,主要从事农业资源利用研究。E-mail:574171821@qq.com。

通信作者:钱晓晴,教授,主要从事环境科学教学与研究工作。E-mail:xiaoqingqian@163.com。

[16]王 荻,李绍戊,马 涛,等. 诺氟沙星对两种鲟体内 SOD 活力影响的比较研究[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(7):34-37.

[17]沈洪艳,吴志刚,高吉喜,等. 抗生素药物环丙沙星对锦鲤抗氧化系统的毒性作用[J]. 安全与环境学报,2014,14(3):328-333.

[18]李世凯,张健龙,江 敏,等. 伊维菌素对斑马鱼(*Danio rerio*)生理生化特性的影响[J]. 安全与环境学报,2014,14(1):300-305.

[19]彭士明,陈立侨,侯俊利,等. 氧化鱼油饲料中添加 V_E 对黑鲷幼鱼体脂含量及肝脏抗氧化酶活性的影响[J]. 上海水产大学学

报,2008,17(3):298-304.

[20]孙麓根,白音包力皋,牛翠娟,等. 小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫[J]. 生态学报,2012,32(7):2204-2211.

[21]任 平,王玉军. 微囊藻毒素慢性染毒对斑马鱼卵巢组织抗氧化酶的影响[J]. 洛阳理工学院学报:自然科学版,2010,20(2):12-14,36.

[22]王 军,霍 军,程会昌,等. 不同浓度菊酯类农药对黄河鲤鱼肝脏 SOD 活性和 MDA 含量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(2):263-264.