

土壤改良剂对镉向水稻中迁移转运的影响

金华^{1,2,3}, 魏祥东^{1,3*}, 邹慧玲^{1,3,4}, 杨慧敏^{1,3} (1. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南生物机电职业技术学院, 湖南长沙 410127; 3. 湖南农业大学南方稻田重金属污染防控协同创新中心, 湖南长沙 410128; 4. 湖南农业大学图书馆, 湖南长沙 410128)

摘要 [目的]研究土壤改良剂对镉向水稻中迁移转运的影响。[方法]选取重金属镉重度污染稻田进行大田试验,研究8种钝化剂对土壤中有效态镉向水稻中迁移积累的影响,以及对土壤pH、水稻产量、稻米中镉含量的影响。[结果]通过施入钝化剂,能够显著降低土壤中镉向水稻中迁移转运,达到稻米中降镉的目的,并且能够为水稻提产增效。与CK相比,施入钝化剂能够提高土壤pH 1.3%~4.3%,降低土壤中镉的活性;在对土壤有效态镉方面,以纳米螯合铁最为明显,最佳处理能够显著降低土壤镉的有效性76.5%;在水稻产量方面,施入钝化剂能够提高水稻产量1.01%~9.43%;在稻米镉含量方面,纳米螯合铁能够显著降低稻米中镉含量,其降幅达66.98%~78.56%。[结论]在8种钝化剂中,复合微生物肥、制碱废渣肥、微量元素调理剂、纳米螯合铁肥在重金属镉污染农田治理中有良好的潜力。

关键词 土壤改良剂;Cd;水稻;迁移转运;影响

中图分类号 X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)31-0053-03

Effects of Soil Conditioner on Migration and Transport of Cd into Rice

JIN Hua^{1,2,3}, WEI Xiang-dong^{1,3}, ZOU Hui-ling^{1,3,4} et al (1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128; 2. Hunan Biomechanical Vocational and Technical College, Changsha, Hunan 410127; 3. Southern Collaborative Innovation Center of Heavy Metals Pollution Control of Paddy Fields, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128; 4. Library of Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128)

Abstract [Objective] To study the effect of soil conditioner on migration and transport of cadmium into rice. [Method] The heavy metal cadmium heavily polluted rice field was selected for field experiment to study the effects of eight passivators on the migration and accumulation of available cadmium in rice, and the effects on soil pH, rice yield and cadmium content in rice. [Result] The passivator could achieve the target of significantly reducing the Cd into the rice and rice yield. Compared with the CK, fertilization passivator could increase soil pH by 1.3%~4.3% and reduce the activity of Cd in soil. In terms of soil available cadmium, Nano-chelated iron was the best passivator that reducing the effectiveness of soil cadmium by 76.5%. In terms of rice yield, fertilization passivator could increase rice yield by 1.01%~9.43%. In terms of cadmium content in rice, Nano-chelated iron could significantly reduce cadmium in rice by 66.98%~78.56%. [Conclusion] Among eight passivators, compound microbial fertilizer, alkali-making waste residue fertilizer, microelement conditioner and nano-chelate iron fertilizer have good potential in the treatment of heavy metal cadmium contaminated farmland.

Key words Soil passivator; Cd; Rice; Migration and transport; Effect

随着我国人口的不断增加和生活水平的不断改善,人们对粮食的需求量和粮食安全也更加重视,据统计,我国每年产生的水稻已经超过2亿t,占全球总粮食产量的1/3,由此可见,确保水稻的食用安全不容小视,成为我国的一大重任^[1]。然而,经济的高速发展往往带来了环境问题却是我国所不得不面对的重大问题,据统计,我国农田镉污染面积约有13 000 hm²,其中,最先发现镉污染地区是在我国北方。以沈阳为例,1975年,沈阳市政府对水稻灌溉区土壤、稻米、灌溉水及人体健康等进行全面调查,结果发现,灌溉水中镉含量最高,达143 μg/L,约有330 hm²土壤属于严重污染区,稻米中镉含量高达1.06 mg/kg,如此高含量的重金属超标事件,引发了公众的高度关注。在随后的10年间,调查的土壤污染不断增加,由于土壤污染,导致稻米中的重金属含量,尤其是镉含量,远远高于国家标准。据统计,每年的镉大米产量就高达2 000万t。盲目追求高速经济发展,不断地发展重工业,使得农田灌溉水体中镉污染。吴燕

玉等^[2]对镉在农田生态系统中的迁移规律进行了深入的研究,结果发现,灌溉水的常年灌溉与蒸发是导致农田重金属不断累积的重要原因之一。在水体中,镉主要是以悬浮物的形式运输。

据2014年全国土壤污染调查公报数据显示,我国土壤超标率高达16.1%,其中土壤污染主要集中在东部地区^[3],污染区有东北老工业区、四川、湖北、湖南,其中最为严重的要属湖南长株潭地区,据统计,以湖南地区为例,土壤中镉的超标率高达28%,其中主要集中在株洲、衡阳、娄底、永州等地区^[4]。微生物是土壤结构多样性的关键因素,且对重金属十分敏感,合适的重金属含量不仅是微生物所必需元素,而且也能够对土壤产生肥力效应,但如果土壤中的重金属超过了一定的限值,其中的微生物会由于环境的突然改变而失去其多样性和活性,从而改变了原有的土壤结构,微生物数量的降低和土壤酶的活性也有可能发生不可逆的恶性改变,严重的可能导致水稻减产^[5-9]。有研究表明^[10],在被重金属污染的土壤中,对土壤中的3种重金属(铅、锌、镉)进行形态提取后,其含量分别为800、880、8 mg/kg,对该污染土壤中的细菌群落、真菌数量进行分析检测,发现其数量分别降低了99%、93%和99%。基于以上研究,笔者通过大田试验,在自然条件下,以湖南株洲重金属复合污染地农田为背景,研究8种土壤改良剂对土壤中镉有效性和微生物群落多样性的影响,在增强土壤微生物群落的同时降低土壤中的重金属有效

基金项目 国家自然科学基金项目(4121511);湖南省自然科学基金项目(08JJ6018);湖南省教育厅青年基金项目(12B059);湖南省农业厅项目(2014137);湖南省教育工委大学生思想提升工程项目(湘教工委通[2014]89号)。

作者简介 金华(1979—),男,湖南长沙人,讲师,在读硕士,从事环境污染检测与治理研究。*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事环境污染检测与治理研究。

收稿日期 2018-09-04;修回日期 2018-09-14

性,最终达到阻隔重金属进入水稻为目的,为今后利用改良剂治理农田重金属污染提供有力的基础数据资料。

1 材料与方

1.1 试验区概况 试验区位于湖南省株洲市某重金属污染区。该地区由于20世纪50年代大量的冶炼、化工企业蓬勃兴起,其产生的废水通过当地河流直排湘江,经过数十年的

积淀,4.3 km的河流重金属污染成为湘江流域的“心腹大患”。由于污染时间长、程度深,导致当地农田种出来的水稻重金属含量普遍超标,形成谈镉色变的镉大米。

试验区土壤基本理化性质见表1。试验区土壤为弱酸性($\text{pH}<6.0$)壤土,土壤中重金属镉超过农业用地的土壤环境质量二级标准限值4.3倍,属于镉重度污染土壤。

表1 土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

类型 Type	pH	有机质 Organic matter g/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Pb mg/kg	As mg/kg	Hg mg/kg
污染土壤 Contaminated soil	5.93	31.59	1.29±0.36	53.64±0.32	53.09±0.12	11.51±0.22	0.15±0.38
国家标准 National standard	5.50~6.50	—	0.30	250.00	80.00	30.00	0.30

1.2 供试材料及施肥方式 通过对该地区土壤理化性质及重金属含量分析,该试验选取以下土壤改良剂进行土壤改良以及研究不同的施肥方式处理,具体信息如表2所示。

表2 改良剂及施肥方式

Table 2 Modifier and fertilizing method

处理 Treatment	改良剂 Modifier	施肥方式 Fertilization pattern
①	复合微生物肥	基施
②	制碱废渣肥	基施
③	微量元素调剂剂	基施
④	纳米螯合铁肥	基施
⑤	矿物肥	基施+叶面肥
⑥	中量元素肥	基施+叶面肥
⑦	富硒肥料	基施+叶面肥
⑧	腐殖酸肥	基施+叶面肥
CK+石灰 CK+lime	空白对照+石灰	常规处理+石灰
CK	空白对照	常规处理

1.3 供试水稻 水稻品种为籼型两系杂交水稻Y两优1号,全生育期平均133.5 d。

1.4 试验设计 选取湖南省株洲市某重金属污染稻田进行大田试验。每块小区面积为 50 m^2 ,每个小区间隔1 m,田埂用塑料布包裹防止漏水、串水。所有小区采取单排单灌。试验的土壤改良剂具有对镉有钝化效果,基施为在插秧前3 d施肥,且保持田间水量较少,防止改良剂的流失,叶面肥为稀释后在灌浆期和孕穗期进行喷施,喷施效果保证水稻叶片正反面沾满雾滴,其他措施按常规处理,按当地种植习惯进行田间N、P、K施肥管理及病虫害防治等。

1.5 样品采集与分析测定 在成熟期(10月15日)采集早稻和晚稻的稻谷和土壤样品。土壤采集样品时按梅花5点采样法均匀采集土壤(0~20 cm处)样品合并制成1个混合样品。采集的土壤样品放于室内阴凉通风处风干过筛(0.149 mm)后备用。稻谷样品采集后于阳光下正常晒干水分后用砻谷机将米壳分离,用植物粉碎机将糙米粉碎装密封袋保存。土壤pH采用电位法(水土比按2.5:1.0)测定。土壤镉的有效态按 Tessier 方法^[11]操作,具体试验操作参照 Cui 等^[12]的方法。

1.6 数据处理 采用 Microsoft Excel 2003 处理试验数据。

2 结果与分析

2.1 钝化剂对土壤 pH 的影响 由表3可知,正常处理(CK),土壤的pH随着水稻的成熟,pH会略有升高,但都还是维持在偏酸性条件下,此时土壤中的 H^+ 能够与镉作为交换,土壤中镉活性增强,导致土壤中的镉更容易向水稻中迁移^[13]。与CK相比,施撒石灰能够显著提高土壤的pH,数据显示,能够提高土壤pH幅度为1.3%~4.3%,从而降低土壤中镉的有效性,有研究表明,主要是因为石灰能够提供 OH^- 使土壤中的镉起到钝化作用^[14-15]。与CK相比,处理①~处理④土壤的pH随着水稻的成熟呈现先降低后升高的趋势,这可能是因为灌浆期水稻需水量大,且南方灌溉水偏酸性,导致土壤pH也会降低,但到了成熟期水稻需水量减少,导致大部分水分流失或蒸发,导致土壤pH有所上升^[16]。其中以处理③土壤pH涨幅最大,达19.9%。另外,处理①~处理④中含有微生物、碱渣等物质,在作为基肥的同时,提高了土壤的pH,而处理⑤~处理⑧肥料呈一定酸性所致。但pH并不是影响水稻中镉的关键因素,因此后续对水稻的产量及稻米中的镉进行了分析。

表3 不同钝化剂对水稻土壤 pH 的影响

Table 3 Effects of different passivating agents on soil pH of rice

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
①	6.06	5.65	6.30
②	5.86	5.70	6.22
③	5.89	5.61	6.39
④	5.51	5.75	5.91
⑤	5.15	5.37	5.27
⑥	5.30	5.32	5.23
⑦	5.25	5.08	5.13
⑧	5.28	5.61	5.35
CK+石灰 CK+lime	5.86	5.92	6.15
CK	5.33	5.55	5.68

2.2 钝化剂对土壤重金属有效态的影响 由表4可知,空白对照中,随着水稻的生长,其土壤中有效态镉也随之增加,特别是成熟期,有效镉的增加直接导致土壤中的镉进入水稻中,造成稻米中镉含量的超标^[17]。与CK相比,施入石灰后,

土壤的 pH 上升,同时显著降低了土壤有效态镉含量,数据显示,施入石灰能够降低土壤中镉含量 6.1%~45.1%,说明土壤 pH 与镉含量呈现负相关关系^[18]。与 CK 相比,处理①~处理④中镉的有效态明显降低,其降低幅度在 6.0%~76.5%,说明微生物、碱渣、微量元素、铁肥能够显著降低土壤中重金属在各个时期向水稻中迁移转运,有研究表明,微生物菌肥是由多种有益微生物经过加工驯化而成^[19]。微生物在土壤中能使得土壤的生化作用增强,增加土壤酶活性、呼吸强度、氨化作用强度^[20-21],其微生物菌肥能够与土壤中的镉形成稳定的沉积物,减少土壤中可溶态镉含量,从而减少水稻对镉的吸收,最终达到降低稻米中镉含量的作用^[22]。碱渣能够为土壤提供大量的 OH⁻,而镉能够与 OH⁻形成稳定的氢氧化镉沉淀,从而减少了土壤中镉的含量^[23]。微量元素是土壤中微生物所必需的元素之一,通过施入微量元素肥和铁肥,能够对镉形成竞争作用,从而降低土壤中镉含量^[24]。处理⑤~处理⑧中,矿物肥、中量元素肥、富硒肥、腐殖酸肥前期未对土壤中镉的活性起到很好的抑制作用,有研究表明,腐殖酸能够促进水稻土镉的溶出,提高了镉在土壤溶液中可溶性部分的含量^[25];镉的富集转移系数明显强于硒,且土壤内部>植物内部^[26]。但在成熟期通过喷施叶面肥,其土壤中的有效态镉又有所降低,其原因可能是叶面肥增加了水稻对叶面肥的吸收,从而降低了镉向水稻中的迁移转运。

表 4 不同钝化剂对水稻土壤有效态镉的影响

Table 4 Effects of different passivators on Cd in rice soil

处理 Treatment	mg/kg		
	分蘖期 Tillering stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
①	0.27	0.22	0.25
②	0.31	0.28	0.25
③	0.31	0.25	0.15
④	0.27	0.17	0.12
⑤	0.42	0.40	0.33
⑥	0.39	0.40	0.37
⑦	0.42	0.44	0.39
⑧	0.36	0.32	0.38
CK+石灰 CK+lime	0.31	0.28	0.28
CK	0.33	0.46	0.51

2.3 钝化剂对水稻产量的影响 水稻产量是决定其农业经济价值的关键,与 CK 相比,施入石灰处理,水稻产量明显上升,增幅达 4.02%,这是因为石灰增加土壤 pH,增强了土壤碱解氮含量,增加土壤速效养分含量,且石灰能够促进水稻分蘖,提高水稻的有效穗数,增加每穗实粒数和结实率,最终达到增产的目的^[27]。由于对照土壤本身 pH 呈酸性,这时石灰的效应显得更为明显,减轻了土壤的酸度,增加土壤养分,促进水稻的快速生长。由表 5 可知,处理①~处理④中,水稻产量增幅达 1.01%~9.43%,其大小顺序为处理①>处理②>处理④>处理③,说明微生物在土壤中起十分关键的作用,这与张森等^[28]的结果一致。处理⑤~处理⑧中,水稻产量降幅达 0.63%~14.13%,其中降幅最大的为处理⑤,说明矿物肥

在南方水稻产量有下降作用。有研究表明,腐殖酸含量较多的营养物质,导致水稻营养过剩而推迟结实,也可能是腐殖酸处理水稻产量下降的原因^[29]。

表 5 不同钝化剂对水稻产量的影响

Table 5 Effects of different passivators on rice yield

处理 Treatment	产量 Yield//kg/hm ²	增减幅度 Increase or decrease amplitude//%
①	7 850.4	9.43
②	7 451.1	3.03
③	7 272.0	1.01
④	7 331.0	1.02
⑤	6 154.8	-14.13
⑥	7 190.3	-0.63
⑦	6 422.1	-11.10
⑧	7 169.3	-0.03
CK+石灰	7 481.6	4.02
CK	7 211.6	0

2.4 钝化剂对稻米镉含量的影响 由表 6 可知,与 CK 相比,施加石灰处理对镉的降幅达到 26.6%,说明施入石灰能够降低镉向稻米中迁移转运,石灰在中和土壤酸度的同时,也将镉钝化残留在土壤中,形成稳定的氢氧化镉沉积物,减少有效态镉含量。与 CK 相比,施加处理①~处理④的改良剂,能够显著降低稻米中镉的含量,其中,以处理①最为显著,降镉幅度达到 66.98%~78.56%,水稻中镉含量大小关系依次为 CK>处理①>处理②≈处理③>处理④,说明施加处理①~处理④改良剂对镉向稻米中迁移有较好的抑制效果。与 CK 相比,处理⑤~处理⑧中稻米中镉含量明显升高,这与前面的土壤 pH 和水稻产量均形成了正相关关系,其稻米中的镉含量增幅达 0.19%~9.64%,其中以处理⑥效果最差。综上所述,大田试验中,处理①~处理④改良剂能够有效抑制镉向水稻中的迁移,以微生物肥效果最佳,能够明显抑制镉向稻米中的吸收转运过程。

表 6 不同钝化剂对稻米镉的影响

Table 6 Effects of different passivators on Cd in rice

处理 Treatment	稻米镉含量 Cd in rice//mg/kg	升降幅度 Heave amplitude//%
①	0.11	64.52
②	0.08	74.19
③	0.08	74.19
④	0.07	77.42
⑤	0.33	-6.45
⑥	0.36	-16.13
⑦	0.36	-16.13
⑧	0.33	-6.45
CK+石灰	0.24	22.58
CK	0.31	64.52

3 结论

(1)在水稻生育期内,土壤 pH 随着生长周期呈现先降低后升高的趋势,这与水稻在不同时期需水量有密切关系。

(2)通过施入钝化剂,土壤中的有效态镉明显降低,其中钝化效果最佳为纳米螯合铁肥。

(下转第 76 页)

表4 抗猪流行性腹泻的中药复方制剂对小鼠脏器系数的影响

Table 4 Effects of traditional Chinese medicine compound preparation against porcine epidemic diarrhea on organ coefficient of mice

处理 Treatment	心脏 Heart	肝脏 Liver	脾脏 Spleen	肺脏 Lung	肾脏 Kidney
低剂量 Low dose	0.44±0.04	5.22±0.15	0.33±0.03	0.68±0.08	1.05±0.09
中剂量 Middle dose	0.46±0.04	5.30±0.21	0.37±0.02	0.67±0.11	1.11±0.10
高剂量 High dose	0.47±0.05	5.29±0.13	0.32±0.03	0.71±0.09	1.06±0.09
空白对照 Blank	0.46±0.05	5.28±0.19	0.35±0.03	0.70±0.06	1.09±0.08

学检测、脏器系数、组织病理学检查与空白对照组相比均无显著差异($P>0.05$)。有研究报道表明如若动物的肝功能或肾功能受到损伤,血液中的谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)或肌酐(CR)会显著升高^[6-7],而上述3个指标在该试验研究中均处于正常值范围内。

故可认为按临床推荐剂量使用该复方制剂治疗猪流行性腹泻病是安全可靠的,同时也为后续将该制剂开发为新兽药奠定了扎实的基础。

参考文献

[1] 高君恺,刘浩飞,杨倩.猪流行性腹泻病毒的研究进展[J].南京农业大学学报,2014,37(1):1-5.

- [2] CHEN J F, WANG C B, SHI H Y, et al. Molecular epidemiology of porcine epidemic diarrhea virus in China [J]. Arch Virol, 2010, 155 (9): 1471-1476.
- [3] 张冰,关增春,于晓娜,等.猪流行性腹泻预防及诊断研究进展[J].湖北畜牧兽医,2014,35(9):84-86.
- [4] 李彬,刘浩飞,孙冰,等.猪流行性腹泻病毒 TaqMan 荧光定量 PCR 方法的建立与应用[J].江苏农业学报,2014,30(1):125-129.
- [5] 农业部兽药审评委员会办公室.兽药试验技术规范汇编[S].北京:农业部兽药审评委员会办公室,2001.
- [6] 洪伟鸣,左伟勇,宋亮,等.鸡支原体液亚慢性毒性试验研究[J].中国畜牧兽医,2013,40(9):140-143.
- [7] 王越,沈连忠,李波.临床前研究中肝损伤的临床病理指标的选择及意义[J].中国药事,2009,23(8):813-816.
- [8] 任丽,蒋素华,刘红,等.肌酐水平、MDRD-GFR、CG-GFR 与肾小管间质病变相关性研究[J].检验医学与临床,2010,7(22):2436-2438.

(上接第55页)

(3) 成熟期,土壤中的有效态镉直接影响水稻对镉的吸收量,其中以纳米螯合铁肥能够有效阻隔镉向稻米中迁移。

参考文献

- [1] 唐绍清.稻米蒸煮和营养品质性状的 QTL 定位[D].杭州:浙江大学,2007.
- [2] 吴燕玉,陈涛,张学询.沈阳张士灌区镉污染生态的研究[J].生态学报,1989,9(1):21-26.
- [3] 环境保护部,国土资源部.全国土壤污染状况调查公报[J].中国环境报,2014(5):10-11.
- [4] 方琳娜,方正,钟豫.土壤重金属镉污染状况及其防治措施:以湖南省为例[J].现代农业科技,2016(7):212-213.
- [5] 时雷雷,傅声雷.土壤生物多样性研究:历史、现状与挑战[J].科学通报,2014,59(6):493-509.
- [6] BRIM H, HEUER H, KRÖGERRECKLENFORT E, et al. Characterization of the bacterial community of a zinc-polluted soil [J]. Canadian journal of microbiology, 1999, 45 (4): 326-338.
- [7] BROOKES P C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals [J]. Biology and fertility of soils, 1995, 19 (4): 269-279.
- [8] PÉREZ-DE-MORA A, BURGOS P, MADEJÓN E, et al. Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: Effects of plant growth and different amendments [J]. Soil biology & biochemistry, 2006, 38 (2): 327-341.
- [9] 滕应,黄昌勇.重金属污染土壤的微生物生态效应及其修复研究进展[J].生态环境学报,2002,11(1):85-89.
- [10] 李小林,颜森,张小平,等.铅锌矿区重金属污染对微生物数量及放线菌群落结构的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(3):468-475.
- [11] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals [J]. Analytical chemistry, 1979, 51 (7): 844-851.
- [12] CUI H B, ZHOU J, ZHAO Q G, et al. Fractions of Cu, Cd, and enzyme activities in a contaminated soil as affected by applications of micro- and nano-hydroxyapatite [J]. Journal of soils & sediments, 2013, 13 (4): 742-752.
- [13] 张会民,徐明岗,吕家珑,等. pH 对土壤及其组分吸附和解吸镉的影响研究进展[J].农业环境科学学报,2005,24(z1):320-324.

- [14] 陈晓婷,王果,张潮海,等.石灰泥炭对镉铅锌污染土壤上小白菜生长和元素吸收的影响[J].土壤与环境,2002,11(1):17-21.
- [15] 郭利敏,艾绍英,唐明灯,等.不同改良剂对土壤-叶菜系统 Cd 迁移累积的调控作用[J].农业环境科学学报,2010,29(8):1520-1525.
- [16] 文星,李明德,吴海勇,等.土壤改良剂对酸性水稻土 pH 值、交换性钙镁及有效磷的影响[J].农业现代化研究,2014,35(5):618-623.
- [17] 陈喆,铁柏清,刘孝利,等.改良-农艺综合措施对水稻吸收积累镉的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(7):1302-1308.
- [18] 黄蔼霞,许超,吴启堂,等.赤泥对重金属污染土壤修复效果及其评价[J].水土保持学报,2012,26(1):267-272.
- [19] 栗丽,洪坚平,谢英荷,等.生物菌肥对采煤塌陷垦土土壤生物活性及盆栽油菜产量和品质的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(5):939-944.
- [20] 徐志峰,王旭辉,丁亚欣,等.生物菌肥在农业生产中的应用[J].现代农业科技,2010(5):269-270.
- [21] 曹国军,李三元,胡永平,等.微生物肥料对水稻产量及其构成因子的影响[J].农技服务,2011,28(8):1138-1139.
- [22] 应娇娇,袁红莉,李宝珍.一株茎点霉菌的抗镉机制[J].中国环境科学,2003,23(6):575-578.
- [23] 郭利敏,艾绍英,唐明灯,等.碱渣对土壤中镉有效性的影响[J].环境科学与技术,2011,34(4):100-103.
- [24] 胡坤,喻华,冯文强,等.淹水条件下不同中微量元素及有益元素对土壤 pH 和 Cd 有效性的影响[J].西南农业学报,2010,23(4):1188-1193.
- [25] 何雨帆,刘宝庆,白厚义,等.腐殖酸对污染土壤中镉解吸的影响[J].广西农学报,2006,21(5):1-3.
- [26] 于洋,罗盛旭,肖钰杰,等.富硒土壤-蔬菜中硒、镉含量和镉形态的分布及其相关性[J].环境化学,2015,34(4):798-800.
- [27] 杨静,谭永锋,肖志强,等.不同剂量石灰对酸化稻田土壤养分含量及水稻产量的影响[J].安徽农业科学,2015,43(36):175-176,179.
- [28] 张淼,叶长城,喻理,等.矿物硅肥与微生物菌剂对水稻吸收积累镉的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(4):627-633.
- [29] 张沁怡,李文蔚,阳晶,等.腐殖酸对水稻剑叶光合特性、必需元素和产量的影响及其相关性研究[J].云南农业大学学报,2015,30(2):185-191.