

刘小屿,沈根祥,钱晓雍,等.不同钝化剂对畜禽粪便有机肥重金属铜锌的钝化作用[J].江苏农业科学,2017,45(13):209-213.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.13.056

不同钝化剂对畜禽粪便有机肥重金属铜锌的钝化作用

刘小屿^{1,2}, 沈根祥^{1,2}, 钱晓雍², 汤正泽², 舒雅娟³, 于绍凤³

(1. 华东理工大学资源与环境工程学院, 上海 200237;

2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 上海市青浦现代农业园区发展有限公司, 上海 201717)

摘要:以辣椒为供试植物,采用盆栽试验方法,研究生物炭、化学吸附剂和微生物菌剂 3 种重金属钝化剂对猪粪有机肥中 Cu、Zn 的钝化效果。结果表明,向有机肥中投加这 3 种钝化剂会促进辣椒生长,提高辣椒产量;投加不同量不同种类的钝化剂对 Cu 和 Zn 表现出不同的钝化效果。除化学吸附剂外,生物炭和微生物菌剂均可不同程度地降低辣椒茎叶中 Cu 含量,同时这 3 种钝化剂均可以降低辣椒果实中 Cu 和 Zn 的累积量。生物炭处理组 S₄ (投加量 1.25%)、化学吸附剂处理组 H₄ (投加量 1.25%)、微生物菌剂处理组 W₂ (投加量 1.00%) 辣椒果实中 Cu 和 Zn 含量最低,与对照组相比,Cu 含量分别降低了 25.91%、17.39% 和 20.59%,Zn 含量分别降低了 30.72%、15.96% 和 28.99%,表现出较好的钝化效果。

关键词:畜禽粪便;有机肥;重金属;钝化剂;生物有效性

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)13-0209-04

我国畜禽养殖业的迅速发展,导致畜禽粪便排放量剧增。1999 年全国畜禽粪便产生量为 190 亿 t,2010 年末我国畜禽粪便产生总量约为 223.5 亿 t^[1]。同时,由于铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)等微量元素饲料投加剂的普遍使用,而畜禽对重金属的吸收利用率极低,造成畜禽粪便中重金属含量和以畜禽粪便为主要生产原料的商品有机肥中重金属含量超标^[2-5],调查发现,我国畜禽粪便有机肥中重金属以 Cu、Zn 超标最为严重^[6-8]。

施用高铜、锌含量有机肥,可造成土壤中重金属的积累,存在着被作物吸收而进入食物链和污染农产品的风险。目前,对畜禽粪便中重金属的钝化技术研究主要集中在堆肥过程中投加重金属钝化剂,而对于畜禽粪便商品有机肥使用过程中应用重金属钝化剂的研究则鲜见报道^[9]。何增明等研究表明,在好氧高温堆肥中,投加 2.5% 的膨润土对猪粪中 Zn 表现出较好的钝化效果^[10]。荣湘民等在钝化剂对猪粪堆肥过程中重金属化学形态影响的研究中,仅限于几种物理和化学钝化剂,对于微生物菌剂没有涉及,同时也只通过堆肥前后某些形态重金属分配率的变化来评价钝化剂的优劣^[11]。因此,本研究通过在猪粪有机肥中投加物理型(生物炭)、化学型(化学吸附剂)和生物型(微生物菌剂)3 种不同类型的钝化剂,考察钝化剂种类和剂量对有机肥中 Cu、Zn 的钝化效果,并通过盆栽试验来表征其生物有效性,旨在筛选出效果较好的重金属钝化剂,为畜禽粪便有机肥的安全利用提供技术支撑,同时对于降低农作物对重金属 Cu、Zn 的吸收和累积、

保证农产品的质量安全具有重大的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用基质土壤均来自上海市青浦现代农业园区;猪粪有机肥,来自上海市闵行区畜禽种场有机肥厂;生物炭,来自江苏省大丰市上海农场;化学吸附剂,来自上海速宜环境科技有限公司;微生物菌剂,来自奥库生物科技(苏州)有限公司。其中,基质土壤有机质含量为 35.08 g/kg,Cu、Zn 含量分别为 26.10、128.01 mg/kg;猪粪有机肥有机碳含量为 44.67%,Cu、Zn 含量分别为 129.19、467.95 mg/kg;生物炭固定碳含量为 87.14%,pH 值为 8.58,灰分含量为 3.05%,比表面积 600 m²/g;化学吸附剂是具有吸附性能的层状矿物类物质,是对重金属修复有实际效果的矿物和其他辅材制成的复合材料,对重金属有吸附并抑制其溶出的效果,pH 值在 8~10,毛质量比约 0.8~1.0,灰白色粉末,无嗅;微生物菌剂是对重金属有富集和转化作用的多种微生物的复合菌剂,pH 值在 2.8~3.5 之间,乳酸菌含量 100 万~470 万 CFU/mL,一般菌(含光合菌)含量 100 万~470 万 CFU/mL,酵母含量约 2 万 CFU/mL,霉菌含量 <10 CFU/mL。

1.2 试验设计

1.2.1 钝化剂用量 试验在上海市青浦现代农业园区大棚内进行,生物炭用量参考文献[12-13],化学吸附剂和微生物菌剂用量参照使用说明。每种钝化剂设置 5 个质量分数梯度,生物炭为 0.50% (S₁)、0.75% (S₂)、1.00% (S₃)、1.25% (S₄)、1.50% (S₅);化学吸附剂为 0.50% (H₁)、0.75% (H₂)、1.00% (H₃)、1.25% (H₄)、1.50% (H₅);微生物菌剂为 0.67% (W₁)、1.00% (W₂)、1.33% (W₃)、1.67% (W₄)、2.00% (W₅),外加 1 个空白对照(CK),每个处理设置 3 个平行。每个处理将称好的商品有机肥和投加的钝化剂混合均匀,放置稳定 14 d。

收稿日期:2016-03-21

基金项目:上海市环境保护局青年基金(编号:沪环科 2014-100);

上海市环境保护局重大科研项目(编号:沪环科 2015-05)。

作者简介:刘小屿(1988—),男,江西赣州人,硕士研究生,主要从事土壤重金属污染控制研究。E-mail:1023522516@qq.com。

通信作者:沈根祥,博士,教授,主要从事农业和农村环境保护研究。

Tel: (021)64032065; E-mail: shengx@saes.sh.cn。

1.2.2 盆栽试验 在每个内径 22 cm、深度为 17 cm 的花盆中加入 1.8 kg 土壤,每盆按土壤与有机肥的质量比 3∶1 投加有机肥,在每个花盆内移栽 1 株长势相同的辣椒幼苗,日常水肥条件按照辣椒生长需求统一管理。

1.3 样品采集

辣椒 60 d 后采收地上部分,辣椒果实和辣椒植株分开,收取地上部分称鲜质量后,用自来水和去离子水洗净,称质量;再 105 ℃ 杀青 30 min,70 ℃ 烘干至恒质量,称量并记录干质量,再研磨成粉状,过 60 目筛,装入样品袋内备用。

1.4 测定方法

土壤和有机肥中重金属含量的测定:在称取的 0.1 g(精确到 0.000 1)样品中加入 1 mL 浓 HNO₃、3 mL 浓 HCl、3 mL HF 和 0.5 mL HClO₄ 消解,消解完全后用蒸馏水、王水体积比 1∶1 的溶液溶解,然后移至 50 mL 容量瓶中定容过滤,最后采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES 8300)测定 Cu、Zn 含量。测定过程用国家标准土壤样(GBW07456)进行样品分析质量控制。

辣椒茎叶和辣椒果实中重金属含量的测定:在称取 0.25 g(精确到 0.000 1)的样品中加入 2.5 mL 浓 HNO₃ 与 0.5 mL H₂O₂ 消解,消解完全后,用去离子水溶解,然后移至 50 mL 容量瓶中定容过滤,最后采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES 8300)测定 Cu、Zn 含量。测定过程用国家标准植物样(GBW07603)进行样品分析质量控制。

1.5 数据处理方法

试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同钝化剂处理对辣椒生物量的影响

由表 1 可知,与对照组相比,除生物炭处理组 S₁ 和化学吸附剂处理组 H₁、H₃、H₄ 以外,其他处理辣椒茎叶鲜质量均有不同程度的增加,但未达到显著性差异;生物炭处理组 S₂、S₃、S₅ 和微生物菌剂处理组 W₂、W₃、W₄、W₅ 辣椒茎叶干质量均有不同程度的增加,但也未达到显著性差异。所有钝化剂处理组辣椒果实鲜质量均有明显增加,但除处理组 S₄ 外均未达到显著性差异;除了化学吸附剂处理组 H₁、H₄、H₅ 和生物炭处理组 W₁、W₃ 以外,其他处理辣椒果实干质量均有不同程度的增加,但未达到显著性差异。

2.2 不同钝化剂处理对辣椒植株重金属 Cu、Zn 含量的影响

2.2.1 不同钝化剂处理对辣椒重金属 Cu 含量的影响 由图 1 可知,与空白对照相比,生物炭处理组辣椒茎叶 Cu 含量均有不同程度的降低,降幅最大的为 S₄ 处理,达到 31.03%;化学吸附剂处理组辣椒茎叶 Cu 含量随着投加量的增加呈现先升高后下降又升高的趋势,增幅最大的为 H₃ 处理,达到 60.56%;微生物菌剂处理组 W₂ 和 W₃ 辣椒茎叶 Cu 含量降低较多,降幅分别达到 13.95% 和 12.97%。

由图 2 可知,所有钝化剂处理组的辣椒果实中 Cu 含量均低于空白对照组,生物炭处理组 S₄ 辣椒果实 Cu 量最低,为 0.835 mg/kg,比对照组降低了 25.91%,化学吸附剂处理组 H₄ 辣椒果实 Cu 含量最低,为 0.931 mg/kg,降低了 17.39%,微生物菌剂处理组 W₂ 辣椒果实 Cu 含量最低,为 0.895 mg/kg,

表 1 不同钝化剂处理辣椒地上部分生物量 g				
处理	辣椒茎叶		辣椒果实	
	鲜质量	干质量	鲜质量	干质量
CK	32.87 ± 4.54a	5.12 ± 0.44a	32.11 ± 2.61a	3.12 ± 0.34a
S ₁	31.62 ± 7.13a	4.05 ± 0.57b	43.39 ± 9.27a	3.55 ± 0.41a
S ₂	41.71 ± 7.87a	5.42 ± 0.10a	45.13 ± 2.20a	3.60 ± 0.24a
S ₃	41.63 ± 1.32a	5.43 ± 0.10a	41.12 ± 18.9a	3.20 ± 1.58a
S ₄	39.47 ± 4.60a	4.79 ± 0.44a	54.15 ± 11.16b	4.14 ± 0.55a
S ₅	42.70 ± 4.50a	5.50 ± 0.12a	35.32 ± 3.36a	3.21 ± 0.48a
H ₁	32.11 ± 6.95a	4.20 ± 0.25a	38.53 ± 5.53a	2.95 ± 0.56a
H ₂	39.92 ± 3.86a	5.33 ± 0.68a	42.52 ± 4.71a	3.67 ± 0.74a
H ₃	29.96 ± 4.83a	4.01 ± 0.32b	39.79 ± 11.36a	3.25 ± 1.11a
H ₄	31.88 ± 5.73a	3.16 ± 0.40b	30.07 ± 9.55a	2.18 ± 0.36a
H ₅	40.18 ± 2.64a	3.98 ± 0.14b	43.35 ± 0.80a	2.70 ± 0.34a
W ₁	47.20 ± 3.03a	7.35 ± 0.88b	31.95 ± 17.53a	2.63 ± 1.10a
W ₂	39.22 ± 5.13a	5.47 ± 0.38a	45.67 ± 4.72a	3.86 ± 0.59a
W ₃	44.66 ± 3.97a	5.40 ± 0.35a	37.76 ± 15.15a	2.84 ± 0.94a
W ₄	41.03 ± 11.22a	5.84 ± 0.57a	40.63 ± 5.05a	3.53 ± 0.42a
W ₅	36.05 ± 12.25a	5.23 ± 1.07a	42.13 ± 4.80a	3.89 ± 0.54a

注:表中数据为“平均值 ± 标准差”;同列中不同小写字母表示各处理与空白对照组差异显著(P<0.05)。

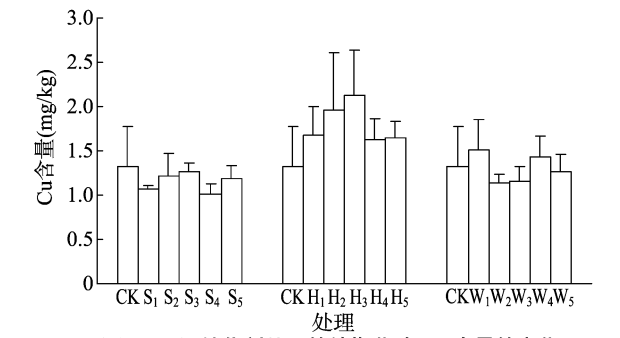


图1 不同钝化剂处理的辣椒茎叶 Cu 含量的变化

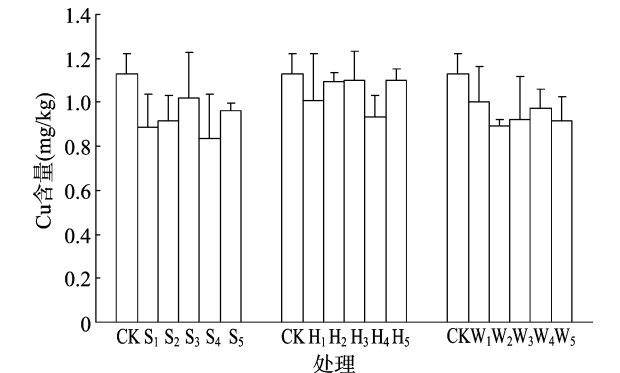


图2 不同钝化剂处理的辣椒果实 Cu 含量的变化

降低了 20.59%。

2.2.2 不同钝化剂处理对辣椒重金属 Zn 含量的影响 由图 3 可知,所有钝化剂处理组辣椒茎叶 Zn 含量均低于空白对照组,生物炭处理组整体降幅最大,达到 15.77%~36.55%,化学吸附剂处理组辣椒茎叶 Zn 含量总体上随着投加量的增加逐步下降,H₄ 处理降幅最大,为 35.62%,微生物菌剂处理组辣椒茎叶 Zn 含量随着投加量的增加呈现先下降后升高的趋势,W₃ 处理降幅最大,为 41.69%。

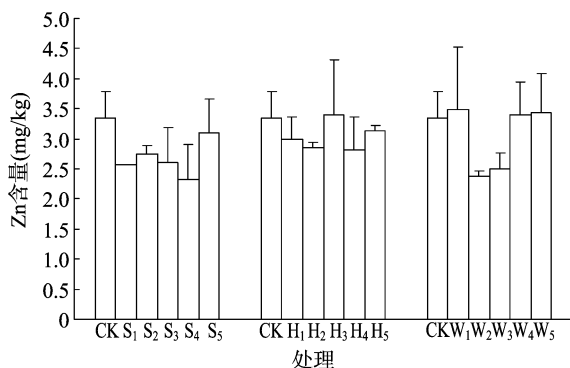


图3 不同钝化剂处理的辣椒茎叶 Zn 含量的变化

由图 4 可知,生物炭处理组辣椒果实 Zn 含量明显低于空白对照组, S₄ 处理降幅最大,比空白对照组降低了 30.72%,化学吸附剂处理组辣椒果实 Zn 含量总体低于空白对照组, H₄ 处理降幅最大,为 15.96%,微生物菌剂处理组辣椒果实 Zn 含量随着投加量的增加呈现先下降后升高的趋势, W₂ 处理降幅最大,为 28.99%。

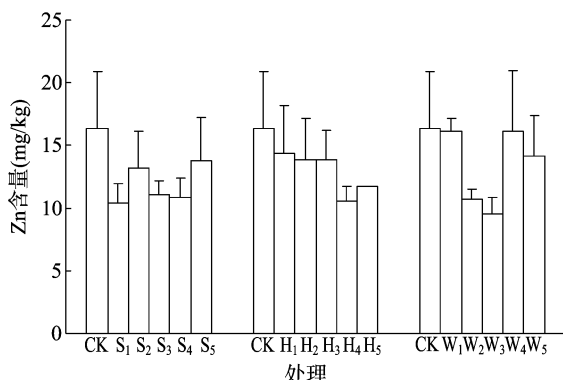


图4 不同钝化剂处理的辣椒果实 Zn 含量的变化

3 讨论

集约化、规模化养殖场的畜禽粪便中重金属对土壤环境和农产品质量安全的潜在危害越来越受到人们的关注,商品有机肥的长期施用已经成为农田土壤重金属的重要来源^[14-15]。因此,开展商品有机肥重金属的钝化研究,筛选出对重金属钝化效果良好的钝化剂,对于降低重金属的生物有效性、保证农产品的质量和品质具有重要意义。

3.1 不同钝化剂处理对辣椒生物量的影响

本研究结果表明,生物炭可以促进辣椒的生长,提高辣椒的生物量,这与 Biederman 等的研究结果^[16-17]一致,支持了增产观点。这是因为生物炭具有较大的孔隙度和比表面积,较高的阳离子交换量(CEC)和碳氮比(C/N)^[18-19],增加了土壤孔隙度、有机碳的含量,提高了土壤肥力,有利于作物根系的生长,从而提高作物产量^[20]。化学吸附剂处理组除了 H₄ 处理外,其他处理明显有利于辣椒果实增产,说明化学吸附剂可以提高辣椒果实产量,可能是因为化学吸附剂本身含有一些微量矿质元素有利于辣椒的生长。此外,本研究中所用化学吸附剂是一种新型非传统的化学稳定剂,对辣椒生长的作用机制还有待进一步的研究。微生物菌剂处理组能不同程

度地促进辣椒幼苗生长,提高果实产量,可能是由于微生物菌剂的施用促进了辣椒幼苗对花盆土壤中养分的吸收^[21]。

3.2 不同钝化剂处理对辣椒植株重金属 Cu、Zn 含量的影响

目前,大量研究都将 Tessier 法中的重金属可交换态和碳酸盐结合态^[22]或 BCR 连续提取法中的乙酸可提取态和可还原态^[23]在钝化剂钝化前后分配率的变化作为钝化效果的判定依据^[9-10,24]。而重金属的这些有效形态易受 pH 值等因素的影响,从而影响了其生物有效性和钝化效果的评价。因此,本研究选取盆栽作物辣椒中重金属的累积量作为钝化剂钝化效果和生物有效性的判定依据。然而,与张云青等研究结果^[14]不同,本研究发现,钝化剂处理的辣椒生物量与对照组有明显差异,与干质量相比,鲜质量更能确切反映辣椒不同部位重金属富集情况。在 Cu、Zn 含量相同的土壤上种植辣椒,生物量直接影响辣椒体内 Cu、Zn 含量,生物量增加会对 Cu、Zn 含量产生稀释效应,生物量降低则产生浓缩效应。因此辣椒体内重金属 Cu、Zn 含量的差异可以反映其被辣椒吸收的能力以及土壤中 Cu、Zn 生物有效性的强弱,也反映钝化剂对有机肥 Cu、Zn 钝化效果的优劣。

本研究中,与对照组相比,投加生物炭均可降低辣椒茎叶和果实中重金属 Cu、Zn 的含量,说明生物炭处理可以降低畜禽粪便有机肥中 Cu、Zn 的可迁移性和生物有效性,对 Cu、Zn 有较好的钝化效果。这是因为生物炭富含微孔,孔隙结构发达,比表面积大,具有很强的吸附能力,能吸附重金属^[25-26]。在 0.50%~1.00% 范围内,随生物炭用量的增加,茎叶和果实中 Cu 含量增加,而后又出现降低的趋势,这是因为 Cu 向辣椒迁移的过程是多因素作用的结果,一方面生物炭会不断吸附 Cu;另一方面,低量时可能是因为生物炭表面的含氧官能团结合水的阻塞造成生物炭对 Cu 吸附量降低^[27],超过一定范围后,Cu 含量又出现降低的趋势,这是因为生物炭具有较高的 pH 值,生物炭的高投加量造成有机肥和土壤 pH 值的显著升高,促进生物炭表面的离子交换作用,降低了重金属 Cu 的活性和生物有效性^[28]。然而对于 1.50% 的高生物炭投加量下的茎叶和果实中 Cu、Zn 含量反而较高,这表明 Cu、Zn 的迁移还受到另一个重要因素的影响,即有机质的含量。因为投加生物炭增加了有机肥和土壤中有机的含量,有机质的增加促进了 Cu、Zn 的迁移,从而提高了辣椒对 Cu、Zn 的吸收,陈玲桂也有类似观点^[29]。生物炭对于辣椒果实中 Cu 的钝化效果依次为 S₄ > S₁ > S₂ > S₃ > S₅,然而对于辣椒果实中 Zn 钝化效果依次为 S₄ > S₁ > S₃ > S₂ > S₅,从农产品安全角度看,生物炭的最佳投加量为 1.25%。然而对于化学吸附剂处理组,茎叶中 Cu 含量高于对照组,而果实中 Cu 含量与对照组差异不明显,这说明化学吸附剂对 Cu 的钝化效果不明显。此外化学吸附剂处理的辣椒茎叶和果实中含 Zn 量大部分低于对照组,并且随着化学吸附剂的增加辣椒茎叶中含 Zn 量大致呈现降低的规律,说明化学吸附剂明显降低了 Zn 的移动性和生物有效性,对 Zn 有较好的钝化效果。这是因为化学吸附剂本身为无机物,Zn²⁺与化学吸附剂矿物中的离子交换达到化学吸附,保持在稳定状态,不易溶出。此外,微生物可以转化、吸附和富集重金属,这一特征可用于减轻污染土壤和有机肥中重金属污染物的毒害作用,减少植物对重金属的吸收^[30]。本研究发现,当菌剂投加量为 0.67% 时,菌剂对有机

肥中 Cu、Zn 钝化效果不明显,可能是因为菌剂量少,在与土著微生物竞争中处于劣势。随着菌剂用量的增加,辣椒茎叶和果实中 Cu、Zn 含量在一定范围内明显降低,在投加量为 1.00% 时,果实中 Cu、Zn 含量达到最低值,分别为 0.895、2.381 mg/kg。结果表明,投加不同量的微生物菌剂对 Zn 含量的变化有不同的影响,选择合适的投加量对 Zn 表现出较好的钝化作用^[31],然后随着菌剂的增加,果实中 Cu 含量基本不变,而 Zn 含量明显增加,这可能是与 Cu 相比,Zn 具有较高的活性和生物有效性,在环境中易受到多种共存重金属的影响^[32]。本研究还表明,在总量相同的有机肥中,从农产品安全角度看,对 Cu、Zn 钝化效果最好的是 S₄、H₄ 和 W₂ 处理,并且钝化效果依次为 S₄ > W₂ > H₄。

为了更完整评价钝化剂对有机肥中 Cu 和 Zn 的钝化效果以及 Cu 和 Zn 在辣椒体内的富集情况,对于辣椒根中 Cu 和 Zn 累积量需要开展进一步的研究。此外,生物炭、化学吸附剂和微生物菌剂对畜禽粪便有机肥中重金属的钝化,因试验土壤、作物不同,效果可能会有差异,因此还需要开展长期定位研究和扩大作物品种研究。另外,微生物技术在重金属修复方面研究较少,研究结果存在一定的不确定性^[33]。因此,需要大量的试验以获取丰富的经验,达到微生物修复技术的推广。最后,生物炭孔隙结构发达,具有固炭作用,有助于细菌等微生物的生长等^[32],生物炭和微生物菌剂混合钝化剂对于畜禽粪便有机肥中重金属的钝化可以开展进一步的研究。

4 结论

生物炭、化学吸附剂和微生物菌剂对辣椒生长有明显的促进作用,除了化学吸附剂以外,生物炭和微生物菌剂均可以不同程度地降低辣椒茎叶中 Cu 含量,同时这 3 种钝化剂均可以降低辣椒果实 Cu 和 Zn 含量。其中,S₄ (生物炭投加量 1.25%)、W₂ (微生物菌剂投加量 1.00%)、H₄ (化学吸附剂投加量 1.25%) 处理对有机肥中 Cu 和 Zn 钝化效果最好。

参考文献:

- [1] 耿维,胡林,崔建宇,等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报,2013,29(1):171-179.
- [2] 商和平,李洋,张涛,等. 畜禽粪便有机肥中 Cu、Zn 在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化[J]. 环境科学学报,2015,36(1):314-324.
- [3] 泱琴,林丽娟,周岩民,等. 肉鸭饲料及粪便中主要成分的分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):155-157.
- [4] 董同喜,张涛,李洋,等. 畜禽粪便有机肥中重金属在水稻土中生物有效性动态变化[J]. 环境科学学报,2016,36(2):621-629.
- [5] 慕亚芹,李群,崔江浩. 畜禽养殖的环境压力探讨[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):377-379.
- [6] 朱建华,杨晓磊,严瑾,等. 上海商品有机肥料中重金属含量及影响因素研究[J]. 上海农业学报,2010,26(4):113-116.
- [7] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2004, 16(3):371-374.
- [8] 董占荣,陈一定,林咸永,等. 杭州市郊规模化养殖场猪粪的重金属含量及其形态[J]. 浙江农业学报,2008,20(1):35-39.
- [9] 吕克安. 猪粪堆肥过程中重金属形态变化特征及钝化技术研究[D]. 北京:中国科学院大学,2014:31-32.
- [10] 何增明,刘强,谢桂先,等. 好氧高温猪粪堆肥中重金属砷、铜、锌的形态变化及钝化剂的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2659-2665.
- [11] 荣湘民,宋海星,何增明,等. 几种重金属钝化剂及其不同添加比例对猪粪堆肥重金属(As、Cu、Zn)形态转化的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(4):136-141.
- [12] Wong J C, Selvam A. Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime[J]. Chemosphere, 2006, 63(6):980-986.
- [13] 徐楠楠. 生物炭对 Cd 污染土壤钝化修复效应研究[D]. 长春:吉林大学,2014:21-22.
- [14] 张青青,张涛,李洋,等. 畜禽粪便有机肥中重金属在不同农田土壤中生物有效性动态变化[J]. 农业环境科学学报,2015,34(1):87-96.
- [15] Xiong X, Li Y X, Li W, et al. Copper content in animal manures and potential risk of soil copper pollution with animal manure use in agriculture[J]. Resources Conservation and Recycling, 2010, 54(11):985-990.
- [16] Biederman L A, Harpole W S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis[J]. Global Change Biology Bioenergy, 2013, 5(2):202-214.
- [17] Chan K Y, van Zwieten L, Meszaros I, et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. Australian Journal of Soil Research, 2007, 45(8):629-634.
- [18] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5):1719-1730.
- [19] Warnock D D, Lehmann J, Kuyper T W, et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil - concepts and mechanisms[J]. Plant and Soil, 2007, 300(1/2):9-20.
- [20] Fuertes A B, Arbestain M C, Sevilla M, et al. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by phrolysis and hydrothermal carbonization of corn stover[J]. Soil Research, 2010, 48(7):618-626.
- [21] 王其传,孙锦,束胜,等. 微生物菌剂对日光温室辣椒生长和光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2012,35(6):7-12.
- [22] Tessier A, Campbell P, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(7):844-851.
- [23] Alonso Castillo M L, Vereda Alonso E, Siles Cordero M T, et al. Fractionation of heavy metals in sediment by using microwave assisted sequential extraction procedure and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Microchemical Journal, 2011, 98(2):234-239.
- [24] 隆梦佳. 白腐菌对污泥堆肥木质素降解及重金属钝化影响[D]. 武汉:华中农业大学,2009:37-39.
- [25] Cao X D, Ma L, Gao B, et al. Dairy - Manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(9):3285-3291.
- [26] Chen B L, Zhou D D, Zhu L Z. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(14):5137-5143.

余满江,蒋昭琼,熊昌国,等. 四川省主要农作物秸秆理化特性[J]. 江苏农业科学,2017,45(13):213-218.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.13.057

四川省主要农作物秸秆理化特性

余满江¹, 蒋昭琼^{1,2}, 熊昌国^{1,2}, 庾洪章¹, 易文裕^{1,2}

(1. 四川省机械研究设计院, 四川成都 610066; 2. 农业部丘陵山地农业装备技术重点实验室, 四川成都 610066)

摘要:为研究四川省主要农作物秸秆的特性,在四川省平原区、丘陵区、山区采集 50 个麦秸、油菜秸、稻秸、玉米秸样本,并对其相关理化特性进行测试;探讨粉碎长度对秸秆物理特性的影响,比较不同地区麦秸、油菜秸的理化特性,研究秸秆理化特性的种类差异性。结果显示,粉碎长度对秸秆的自然堆积密度和振实堆积密度有显著性影响,粉碎长度较大的秸秆样品的静态堆积角、自然堆积密度、振实堆积密度离散程度较大;作物种类对秸秆的静态堆积角、自然堆积密度、振实堆积密度、全水分含量、干燥基灰分含量、绝干弹筒热值有显著性影响,在麦秸、油菜秸、稻秸、玉米秸 4 种农作物秸秆中,油菜秸最适宜作秸秆燃料,稻秸最差。

关键词:四川省;秸秆;堆积角;堆积密度;全水分含量;干燥基灰分含量;热值

中图分类号: S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)13-0213-06

农作物秸秆是一种重要的生物质能源,是农作物收获经济产物后所有剩余的地上部分产物^[1]。随着农民生活水平的提高,越来越多的农民摆脱了传统的以农作物秸秆直接作为燃料的生活方式,富余的秸秆大部分被直接燃烧还田,造成严重的大气污染,成为农村面源污染的新源头。如何有效地利用农作物秸秆,使农作物秸秆变废为宝引起了人们广泛的关注。目前,秸秆的肥料化、饲料化、基料化、能源化、原料化等多种利用方式成为研究热点,而这些利用方式与秸秆的物理化学特性是紧密相关的^[2]。在秸秆能源化利用中,秸秆气化工工艺对秸秆的堆积密度、流动特性等基本物理性质有一定的要求,堆积密度大、自然堆积角小,流动性好,对气化工工艺有利^[3];含水率和热值是秸秆作为能源材料的重要指标,含水率小于 20% 且越低越好,含水率相同时秸秆的热值则越高越好^[4];秸秆成型加工对秸秆含水率也有明确要求^[5]。因此,研究农作物秸秆的堆积密度、自然堆积角、含水率、热值等理

化特性具有实际的应用价值。

田宜水等对安徽、河南、山东、北京、黑龙江、内蒙古地区粒度为 5~30 mm 的切碎秸秆进行理化特性研究^[6];霍丽丽等对安徽、河南、山东、河北、黑龙江、内蒙古地区的粉碎秸秆物理特性进行了研究^[2];而对四川省农作物秸秆的理化特性研究较少^[4-5,7-8]。

四川省是一个人口众多而资源开发程度较差的农业大省,农耕历史悠久。2014 年,四川省水稻产量 1 526.5 万 t,居全国第 6 位;小麦产量 423.2 万 t,居全国第 7 位;玉米产量 751.9 万 t,居全国第 9 位;油菜籽产量 233.1 万 t,居全国第 2 位^[9]。在四川省农作物秸秆中,稻秸、麦秸、玉米秸、油菜秸的资源量名列前 4 位^[1]。因此,对四川省这 4 种农作物秸秆进行基础性研究具有一定的实际应用价值。本试验对四川省稻秸、麦秸、玉米秸、油菜秸的堆积角、堆积密度、全水分含量、弹筒热值、干燥基灰分含量等物理化学特性进行研究分析,为四川省农作物秸秆的资源化利用,特别是能源化利用提供基础性参考数据。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

FZ102 型微型植物试样粉碎机(北京中兴伟业仪器有限公司);HWR-15C 型自动快速热量计(上海市检测技术所上立检测仪器厂);ESJ200-4 型电子天平(沈阳龙腾电子有限公司);ACS-6A 型电子计重秤(上海友声衡器有限公司);

收稿日期:2016-03-18

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201503135-20);四川省科技计划(编号:2015JY0210)。

作者简介:余满江(1978—),男,重庆人,高级工程师,主要从事农村生物质能源技术、农业工程装备开发的应用与研究。E-mail: ymj9701@163.com。

通信作者:易文裕,高级工程师,主要从事农业科学、工程与技术科学研究。E-mail: yiyi22_ywy@163.com。

[27] Yang Y, Chun Y, Sheng G Y, et al. pH-dependence of pesticide adsorption by wheat-residue-derived black carbon [J]. Langmuir, 2004, 20(16): 6736-6741.

[28] Gomez-Eyles G, Jose L, Sizmur, et al. Effects of biochar and the earthworm *Eisenia fetida* on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements [J]. Environmental Pollution, 2010, 159(2): 616-622.

[29] 陈玲桂. 生物炭输入对农田土壤重金属迁移的影响研究[D]. 杭州:浙江大学, 2013: 50-51.

[30] 贾莹. 接种微生物对油菜吸收土壤 Cd 效果的影响[D]. 保定:河北农业大学, 2010: 11-12.

[31] 万利利. 微生物菌剂接种对城市污泥堆肥过程的影响研究[D]. 长沙:中南大学, 2014: 43-45.

[32] 梁媛, 李飞跃, 杨帆, 等. 含磷材料及生物炭对复合重金属污染土壤修复效果及修复机理[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(12): 2377-2383.

[33] 孙嘉龙, 肖唐付, 周连碧, 等. 微生物与重金属的相互作用机理研究进展[J]. 地球与环境, 2007, 35(4): 367-374.