

王海候,何 胥,金梅娟,等. 新型炭基辅料在堆肥工程中的应用效果[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):243-247.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.060

新型炭基辅料在堆肥工程中的应用效果

王海候¹,何 胥²,金梅娟¹,陆长婴¹,施林林¹,周新伟¹,沈明星¹

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所/农业部苏州水稻土生态环境重点野外科学观测试验站,江苏苏州 215155;

2. 江苏省安丰生物源农药工程中心有限公司,江苏太仓 215400)

摘要:为探讨新型炭基辅料在堆肥工程中的应用效果,采用静态条垛状高温好氧堆肥的方法,以猪粪为堆肥原料,辅料的添加按体积比设计 2 种处理:60% 新型炭基辅料 + 40% 常规辅料(食用菌渣)、100% 常规辅料,每个处理的堆体规模为 50 t,监测堆体的温度、含水率、碳氮养分及其形态等指标。结果表明,与常规辅料相比,炭基辅料促进了堆肥前期的温度快速上升,堆体最高温度显著提高 7.2 °C ($P < 0.05$),堆体初次达到 55 °C 的时间提早 6 d ($P < 0.05$);炭基辅料降低了堆体铵态氮与硝态氮的含量;炭基辅料处理促进了堆体种子发芽指数的增长,第 28、第 35 天的堆肥浸提液种子发芽指数分别比常规辅料提高 10.28%、4.21%;炭基辅料处理的堆肥制品氮、磷、钾养分总量提高 30.51%,且符合有机肥料农业行业标准(NY 525—2012)的要求。综上所述,与常规辅料相比,炭基辅料对堆肥工程具有增温、缩短堆肥周期、促进腐熟、提高有机肥料品质的正向作用效果。

关键词:炭基辅料;堆肥工程;堆肥温度;腐熟度;堆肥周期;种子发芽指数

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)11-0243-04

随着畜禽养殖规模化和集约化的发展,畜禽粪便的累积与污染问题日趋严重^[1],科学合理地处置畜禽粪便已经成为畜禽养殖业实现生态循环发展的重要环节^[2-4]。高温堆肥化是畜禽粪便废弃物无害化和资源化利用的一项重要技术途径,可以杀灭畜禽粪便中的病菌和草种、减小堆存的体积和质量、有利于贮存和施用,不仅解决了规模化养殖厂的环境污染问题,而且对发展有机肥、保持和提高土壤肥力、提高作物产量与品质等方面具有重要的意义^[5-6]。但常规的堆肥工程凸现以下问题:一是畜禽粪便含水率较高(含水率 $\geq 75\%$),通常采用加入辅料(木屑、稻草、食用菌渣等)的方法来降低堆肥体的含水率、提高通气性等,但辅料来源和性质不稳定、抗压能力弱、收集与储存费用高,辅料的有效供应量远低于堆肥生产对辅料的实际需求^[7-9];二是堆肥高温阶段滞后,腐解周期偏长^[10-11]。针对上述问题,笔者所在课题组利用树枝等生态林地废弃物,通过生物质非充分炭化技术,创制了一种新型炭基辅料,该新型堆肥辅料具有可循环利用、多功能性(调水分、控氮损、促升温)、颗粒状、抗压性强、理化性状稳定等优点,另外,所用的树枝等生态林地废弃物,本身就须要资源化处置,采用的生物质非充分炭化技术,只是在现有成熟的生物质炭化技术上进行了改进,不会对环境造成二次污染。本试验将新型炭基辅料与猪粪、食用菌渣进行混合,堆制一个 50 t 级的条垛状堆体,模拟较大规模的堆肥工程,测定堆肥体的温度、含水率、碳氮养分及其形态等指标,探讨新型炭基辅

料在堆肥工程中的应用效果,检验该新型堆肥辅料的理论可行性,以期炭基辅料在堆肥工程中的应用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2016 年 11 月在江苏省太仓绿丰生物有机肥料有限公司进行。猪粪来源于当地的养猪场,于试验开始前 7 d 收集,猪粪总有机碳含量为 34.3 g/kg、总氮含量为 2.34 g/kg、含水率为 76.5%;食用菌渣取自江苏省太仓市四季食用菌有限公司,菌包去除塑料袋后,机械粉碎至 3~5 mm 备用,食用菌渣总有机碳含量为 48.21 g/kg、总氮含量为 1.17 g/kg、含水率为 46.5%;新型炭基辅料,选择直径为 5~8 cm 的废弃树枝,先切割成 6~8 cm 长,然后置于裂解炉中,在 650~750 °C、无氧条件下进行不完全裂解处理,裂解时间为 75~105 min,然后冷却、备用。

1.2 试验设计与概况

堆肥采用静态堆置高温好氧发酵的方法,以猪粪为堆肥原料,设计不同类型辅料,分别为 60% 新型炭基辅料 + 40% 常规辅料(食用菌渣)、100% 常规辅料,试验共设 2 个处理。控制堆肥体碳氮比的值为 20~25、含水率为 65%~70%,将猪粪与辅料按体积比 1:1 进行充分混合,每个处理的堆肥体规模为 50 t,进行堆垛操作,垛体的标准要求为宽 1.5 m、高 1.2 m、长 30 m。当堆体温度超过 75 °C(前期)时或每隔 7 d 左右(后期),采用翻抛机进行翻堆操作,每次翻堆后,将堆垛按照垛体的标准要求进行人工修整。每天 10:00 左右,用红水温度计,插入堆肥体 30~50 cm 处测定堆温,每个堆体分布 5 个测定点,直至堆肥结束,同时测定气温,并按日期记录温度数据。堆肥结束后,采用 2 cm 孔径的筛子,将添加炭基辅料处理的堆体进行炭基辅料与堆肥制品的筛分处理,然后将过筛后的炭基辅料回收、备用,堆肥制品进入有机肥的后期处

收稿日期:2016-12-31

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD14B12-03);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)-1003-11];江苏省苏州市科技支撑计划(编号:SNG201439)。

作者简介:王海候(1979—),男,江苏启东人,硕士,副研究员,主要从事农业废弃物资源化处置技术及其应用研究。Tel:(0512) 65385097;E-mail:wanghaiou@126.com。

理工序。

1.3 测定指标与方法

堆肥体温度变化动态:每天人工测定堆体温度,直至堆肥结束。堆肥体养分动态变化:分别在堆肥第 1、第 3、第 7、第 14、第 21、第 28、第 35 天取样,每个处理在不同位置进行 3 次重复取样,采样点位于堆肥表层向内 30 cm 处,每个采样点在堆肥上、中、下层采集混合样品 2 kg,在实验室内分成 3 份:一份采用 105 ℃ 烘干法测定堆肥样品的含水率,一份制成新鲜样品的浸提液,一份置于阴凉处进行风干处理。浸提液的制备方法:称取 40 g 新鲜样品放入塑料瓶中,加 400 mL 去离子水,盖紧瓶盖后置于振荡器内,150 r/min 振荡浸提 30 min 后过滤,收集滤液并并做好标记。浸提液采用 SKALA 流动分析仪测定铵态氮、硝态氮。

堆肥制品的有机碳含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量测定:将堆肥后的风干样品粉碎后过 100 目筛,采用浓硫酸-双氧水消煮和凯氏定氮法测定全氮含量、钼锑抗比色法测定全磷含量、火焰光度计法测定全钾含量、浓硫酸-重铬酸钾外加热-硫酸亚铁滴定法测定有机碳含量。

种子发芽指数的测定:取堆肥第 28、第 35 天的浸提液,待用。将一张大小合适的滤纸放入干净无菌的培养皿(直径为 9 cm)中,滤纸上整齐摆放 20 粒小白菜种子,准确吸取

8 mL 浸提液于培养皿中,于 25 ℃、黑暗条件下培养 72 h,测定小白菜种子的发芽率和根长,同时用去离子水作空白对照。种子发芽指数 = [(堆肥浸提液处理的种子发芽率 × 根长) / (对照的种子发芽指数 × 根长)] × 100%。

1.4 数据处理方法

试验数据采用 Excel 2010 进行整理与画图,采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 新型炭基辅料对堆肥温度的影响

根据堆肥温度,堆肥化进程可以划分为升温期、高温期、降温期、稳定期等 4 个时期。由图 1 可知,炭基辅料处理的堆肥体温度在第 2 天就超过 60 ℃,迅速进入高温期,在堆肥第 3 天达到最高温度,为 75.5 ℃,之后逐渐下降,在翻堆措施下温度有小幅度上升,但仍然继续下滑直至接近常温;而常规辅料处理的堆肥温度上升幅度小于炭基辅料处理,在堆肥第 12 天达到最高温度,为 68.3 ℃,之后保持缓慢下降,在堆肥的第 22 天左右进入快速降温期;在整个堆肥过程中,炭基辅料处理的堆肥温度在第 1 至第 7 天明显大于常规辅料处理,而在第 10 天至第 20 天,炭基辅料的堆肥温度低于常规辅料处理,在第 22 天至第 35 天,2 个处理之间的堆肥温度差异较小。

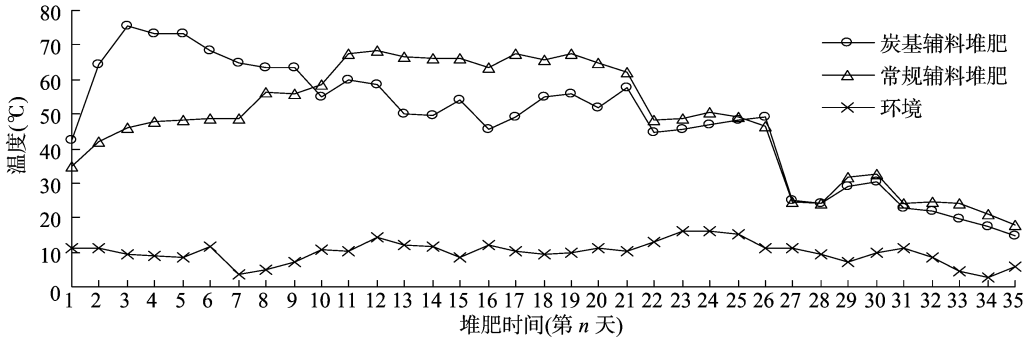


图1 新型炭基辅料对堆肥体温度变化的影响

进一步分析不同辅料处理的堆肥体温度特征,由表 1 可知,炭基辅料处理的堆肥体最高温度比常规辅料处理提高 7.2 ℃,差异达显著水平($P < 0.05$);根据堆肥卫生合格指标和堆肥腐熟条件的标准,即堆体温度在 50 ℃ 以上保持 5 ~ 7 d(或 55 ℃ 条件下保持 3 d 以上)^[11],2 种不同辅料处理的堆肥均达到了无害化的标准。虽然 2 种不同处理的堆肥体温度 ≥ 55 ℃ 的天数均为 14 d,但炭基辅料处理在堆肥第 2 天就达到 55 ℃,比常规辅料处理提前 6 d。

堆肥的稳定化是堆肥的一个重要过程,堆肥的稳定化所需的时间目前还没有明确的界限。常见的判断方法为耗氧速率降低到所产生的厌气和发臭情况不致达到妨碍产生贮存和最终使用,即认为稳定化程度已满足要求。陈同斌等将物候学上积温的理论和计算方法引入堆肥科学,研究了城市污染与 CTB 调理剂混合堆制过程,在生物学零度为 15 ℃ 基础上,当堆肥体的积温达到 10 000 ℃ · h 左右时,可以认为堆肥稳定化过程基本完成^[10]。本试验结果表明,2 种不同辅料处理的堆肥体在 35 d 堆肥过程中的堆肥积温均达到了 10 000 ℃ · h 的要求(表 1),完成了堆肥稳定化过程,且 2 个处理的堆肥积温无显著性差异。

表 1 新型炭基辅料处理对堆肥温度特征的影响

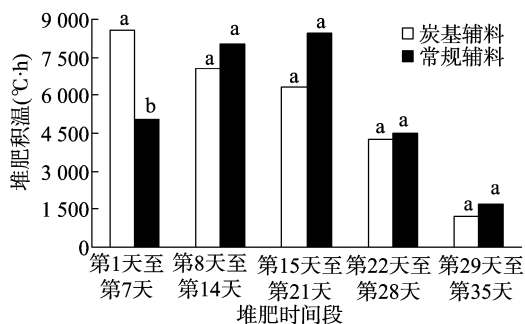
辅料类型	最高温度(℃)	初次达 55 ℃ 的时间(d)	≥ 55 ℃ 天数(d)	堆肥积温(℃ · h)
炭基辅料	75.5a	2b	14a	27 500.4a
常规辅料	68.3b	8a	14a	27 719.3a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

进一步分析 2 个处理不同时间段的堆肥积温情况,由图 2 可知,在堆肥第 1 天至第 7 天的堆肥进程中炭基辅料处理的堆肥积温显著大于常规辅料处理($P < 0.05$),在第 8 天至第 21 天堆肥进程中炭基辅料的堆肥积温小于常规辅料处理,但差异不显著,在第 22 天至第 35 天的堆肥进程中,炭基辅料与常规辅料处理的堆肥积温差异较小。

2.2 新型炭基辅料对堆肥体铵态氮与硝态氮含量的影响

铵态氮是堆肥中无机氮的主要存在形式。在堆肥初期,物料中大量的易分解有机物为微生物的生长、繁殖提供了充足的营养,有机氮快速分解而产生大量的铵态氮,而此时硝化细菌活动程度相对较弱,无法及时将铵态氮转化为硝态氮,氮素极易以氨挥发的形式损失。



小写字母不同代表处理之间差异显著 ($P < 0.05$)
图2 新型炭基辅料对不同时间段堆肥积温的影响

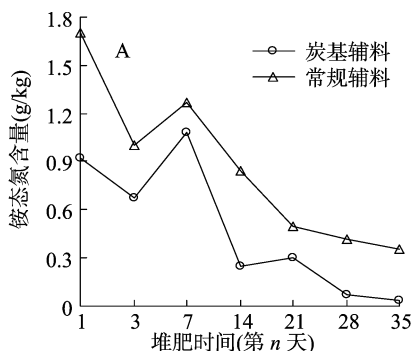
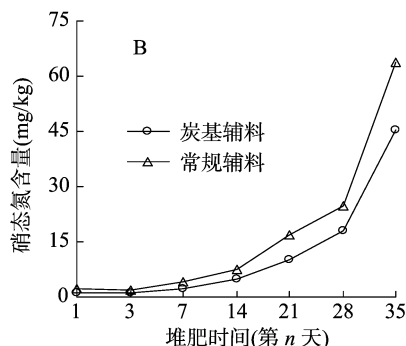


图3 新型炭基辅料对堆肥体铵态氮(A)、硝态氮含量(B)变化的影响

由图3可知,随着堆肥进程的持续,堆肥体的铵态氮含量呈下降的变化趋势,在堆肥第3天至第7天出现小幅度的上升,之后又迅速下降,但不同处理之间,炭基辅料处理的堆肥体铵态氮含量在整个堆肥过程中均小于常规辅料处理。堆肥体中硝化过程的最佳温度大约在 $25 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间,堆肥体的硝态氮含量总体呈上升的变化趋势,在堆肥第21天至第35天迅速上升,这与该时间段的堆肥温度相对较低有关。不同处理之间,炭基辅料处理的硝态氮含量低于常规辅料处理。

2.3 新型炭基辅料对堆肥腐熟度的影响

堆肥体 T 值 ($T = \text{终点碳氮比} / \text{初始碳氮比}$) 是堆肥腐熟



度的一个重要评价指标^[12]。由图4可知,炭基辅料处理的堆肥体 T 值为 0.92,而常规辅料处理的堆肥体 T 值为 0.74,炭基辅料处理的堆肥体 T 值大于常规辅料处理。用生物学的方法测定堆肥的毒性,是检验正在堆肥的有机物质腐熟度的一种非常直接、有效的方法,用作物种子检测堆肥植物毒性的一个生物学指标称为种子发芽指数,种子发芽指数不但能检测堆肥样品中的毒性,还能预测堆肥毒性的发展^[13-14]。从理论上说种子发芽指数大于 50% 就可判断堆肥对植物没有毒性,

当种子发芽指数大于 80% 时,可以判定堆肥腐熟^[12]。本试验结果(图4)表明,堆肥第28天,炭基辅料处理的种子发芽指数即达 85.47%,达到了腐熟的要求,而常规辅料处理的种子发芽指数为 77.50%,低于腐熟标准;堆肥第35天,2个处理的种子发芽指数均大于 80%,但炭基辅料处理的种子发芽指数大于常规辅料处理,第28、第35天的堆肥浸提液种子发芽指数分别比常规辅料提高 10.28%、4.21%,说明炭基辅料处理的堆肥体对种子的毒性更低。

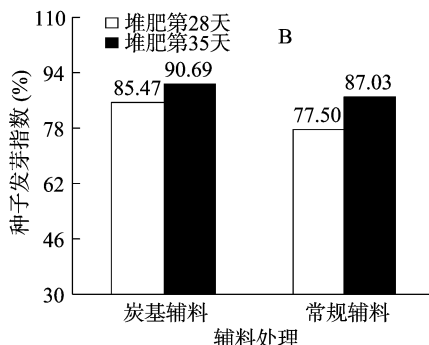
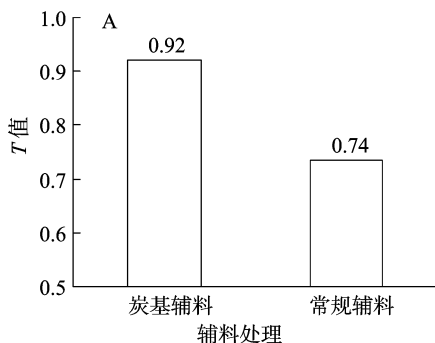


图4 新型炭基辅料对堆肥体 T 值(A)、种子发芽指数(B)的影响

2.4 新型炭基辅料对有机肥料品质的影响

堆肥结束后,将炭基辅料处理的堆肥物料进行堆肥制品与炭基辅料的筛分处理,由图5可知,炭基辅料处理的堆肥制品,氮磷钾养分总量为 7.29%,有机质含量达 45.76%,与常规辅料处理相比,氮、五氧化二磷、氧化钾的含量分别提高 37.61%、17.04%、45.94%,氮磷钾养分总量提高 30.51%,虽然有机质含量降低 8.37%,但符合有机肥料农业行业标准 (NY 525—2012) 的要求^[15]。

3 结论与讨论

陈同斌等采用福木勒法检测堆肥稳定化过程的结果表明,尽管不同处理的堆肥温度升降情况变化及堆肥稳定化所需时间均不一致,但达到稳定化所需要的积温较为一致,即堆肥温度较高的处理,堆肥时间较短,堆肥温度较低的处理,堆肥时间较长^[10]。本试验结果表明,炭基辅料处理的堆肥体符合无害化与稳定化的标准,与常规辅料相比,炭基辅料促进了

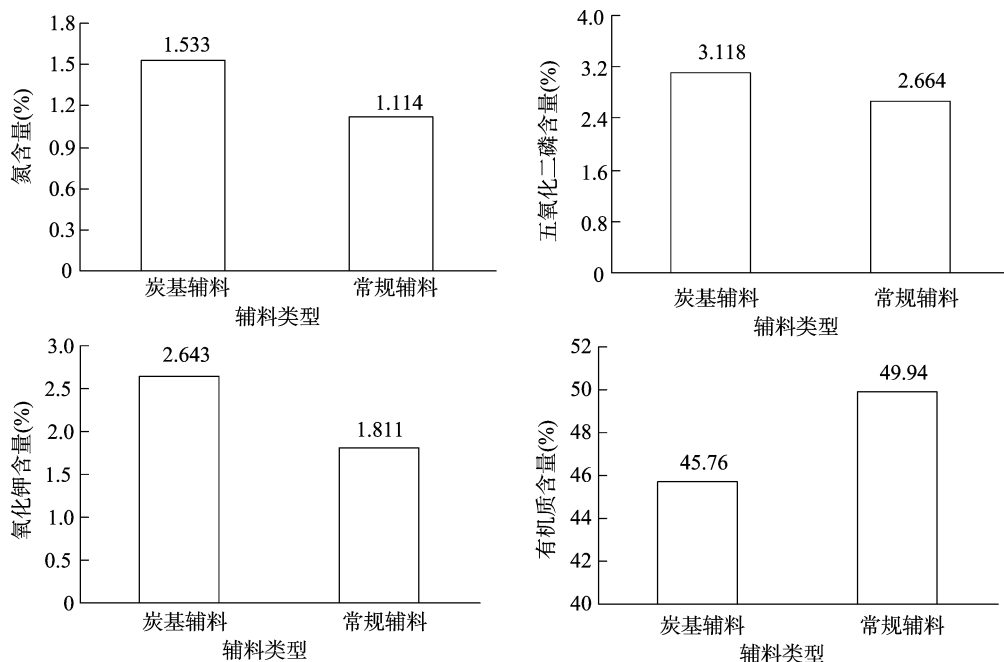


图5 新型炭基辅料对有机肥料养分含量的影响

堆肥前期的温度快速上升、提高了堆肥体的最高温度、缩短了堆温初始达到 55 ℃ 以上的时间,可见,炭基辅料对堆肥体具有增温与缩短堆肥周期的作用,其原因主要可能是炭基辅料具有丰富的孔隙结构,一方面为微生物的扩繁增殖提供了良好的场所^[16],另一方面有利于氧气的传输,增强了微生物的活性,提高了微生物的代谢与产热能力^[17],从而促进升温。

与常规辅料相比,炭基辅料降低了堆肥体的铵态氮与硝态氮含量,其原因主要是生物质炭可以通过离子键对铵态氮进行化学吸附^[18-19],王海候等研究生物质炭与伊乐藻混合堆制过程也发现随着生物质炭添加量的增加,伊乐藻堆肥体的铵态氮含量呈逐渐下降的趋势^[11];另外,由于硝态氮主要来自于堆肥体铵态氮的硝化作用,炭基辅料处理的堆肥体由于铵态氮的下降,可能是导致炭基辅料处理硝态氮含量低于常规辅料处理的主要原因。

Morel 等建议采用 T 值来评价城市垃圾的堆肥腐熟度,并提出当 T 值小于 0.6 时堆肥达到腐熟^[20];Vuorionen 等认为腐熟猪粪与稻草混合堆肥的 T 值应当在 0.49 ~ 0.59 之间^[21];Itavaara 等研究表明,当包装废弃物的 T 值下降到 0.53 ~ 0.72 之间表示堆肥达腐熟^[22];可见,不同堆肥物料腐熟的 T 值不一致。本试验结果表明,炭基辅料处理的堆肥体 T 值为 0.92,而常规辅料处理的堆肥体 T 值为 0.74,炭基辅料处理的堆肥体 T 值大于常规辅料处理。另外,在堆肥第 28 天,炭基辅料处理的种子发芽指数达到 85.47%,达到了腐熟的要求,而常规辅料处理的种子发芽指数仍低于腐熟标准;在堆肥第 35 天,2 个处理的种子发芽指数均大于 80%,但炭基辅料处理的种子发芽指数大于常规辅料处理,说明炭基辅料处理的堆肥体对种子的毒性更低。与常规辅料处理相比,炭基辅料处理提高了堆肥制品的氮磷钾养分含量,且符合有机肥料农业行业标准(NY 525—2012)的要求。

参考文献:

- [1] 杨朝飞. 加强禽畜粪便污染防治迫在眉睫[J]. 环境保护, 2001 (2): 32-35.
- [2] 秦莉, 沈玉君, 李国学, 等. 不同 C/N 比对堆肥腐熟度和含氮气体排放变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28 (12): 2668-2673.
- [3] 贺琪. 堆肥氮素转化及原位减少氮素损失的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 37-50.
- [4] 罗一鸣, 魏宗强, 孙钦平, 等. 沸石作为添加剂对鸡粪高温堆肥氨挥发的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27 (2): 243-247.
- [5] 马怀良, 许修宏. 畜禽粪便高温堆肥化处理技术[J]. 东北农业大学学报, 2005, 36 (4): 536-540.
- [6] 李健, 张峥嵘, 黄少斌, 等. 固体废物堆肥化研究进展[J]. 广东化工, 2008, 177 (1): 93-96, 106.
- [7] 陈雅娟, 霍培书, 程旭艳, 等. 物料 C/N 对鸡粪锯末高温堆肥腐熟过程主要指标的影响研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17 (5): 118-123.
- [8] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度[J]. 环境科学, 2001, 22 (3): 60-65.
- [9] 郑玉琪, 陈同斌, 孔建松, 等. 利用耗氧速率判断好氧堆肥腐熟度的探讨[J]. 环境科学学报, 2004, 24 (5): 930-935.
- [10] 陈同斌, 黄启飞, 高定, 等. 城市污泥好氧堆肥过程中积温规律的探讨[J]. 生态学报, 2002, 22 (6): 911-915.
- [11] 王海候, 沈明星, 涂荣文, 等. 生物质炭对伊乐藻堆肥过程氨挥发的作用效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33 (11): 2266-2272.
- [12] 徐同宝, 李吕木. 畜禽堆肥的腐熟度评价[J]. 家畜生态学报, 2007, 28 (6): 175-177.
- [13] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 堆肥腐熟度的研究进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7 (6): 1-12.
- [14] 杨毓峰, 薛澄泽, 唐新保. 畜禽废弃物堆肥的腐熟指标[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27 (4): 62-66.
- [15] 中华人民共和国农业部. 有机肥料: NY525—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [16] Jindo K, Sanchez-Monedero M A, Hernandez T A, et al. Biochar

钱旭,廖小锋,谢元贵. 贵州喀斯特地区典型小流域土壤理化性质对不同土地利用类型的响应[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):247-251.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.061

贵州喀斯特地区典型小流域土壤理化性质 对不同土地利用类型的响应

钱旭¹,廖小锋^{2,3},谢元贵^{3,4}

(1. 贵州省土地开发中心,贵州贵阳 550001; 2. 贵州科学院贵州省山地资源研究所,贵州贵阳 550001;

3. 贵州省山地资源研究所有限公司,贵州贵阳 550001; 4. 贵州科学院,贵州贵阳 550001)

摘要:为研究不同土地利用类型下贵州喀斯特地区典型小流域的土壤理化性质特征,以贵州喀斯特地区 3 个典型小流域[黔西南中低山丘陵喀斯特区典型小流域——安龙县兴隆镇排冗河小流域(代号为 QWSMH),黔东北低山丘陵喀斯特区典型小流域——江口县坝盘镇高墙河小流域(代号为 QENLH),黔北中山峡谷喀斯特区典型小流域——桐梓县高桥镇龙爪沟小流域(代号为 QNMG)]为研究对象,分析不同土地利用类型、不同土壤剖面层次的土壤理化性质。通过对典型小流域不同土地利用类型土壤 13 个理化性质指标进行测定和分析,探讨贵州喀斯特地区典型小流域土壤理化性质对不同土地利用类型的响应机制。结果表明,13 个理化性质指标对旱地、水田、林地的响应方式和响应强度不同,整体表现为林地和水田在土壤结构、质地、肥力上优于旱地。对不同土壤剖面层的分析结果显示,随着土层深度的加大,土壤容重和 pH 值逐渐升高,土壤总孔隙度、田间持水量、有机质含量与氮、磷、钾 3 种元素含量皆表现为随土层深度的加深而递减的趋势。不同喀斯特典型小流域土壤理化性质表现为 QENLH 土壤结构良好,肥力最好,而 QWSMH 土壤结构和肥力表现最差。相关性分析显示,土壤容重、非毛管孔隙度、pH 值间呈正相关,这 3 项指标与其余多数指标呈负相关,其余 10 个指标间呈正相关。研究结果可为人为干扰下喀斯特小流域土壤改良、石漠化的恢复与治理提供科学依据与理论基础。

关键词:土地利用类型;土壤理化性质;典型小流域;喀斯特地区;贵州

中图分类号: S153;S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)11-0247-05

生境的严酷性和生态的脆弱性是喀斯特环境的基本特征,贵州省位于中国西南喀斯特区域,由于长期受到土壤侵蚀

和人类强烈活动的干预,生态环境逐渐恶化,石漠化程度加重,水土流失加剧,使恢复治理成为一个大而慢的难题^[1-2]。土壤的理化性状是影响土壤肥力的内在条件,也是综合反映土壤质量的重要组成部分,土地利用和管理是影响土壤变化的最普遍、最直接的因素,了解不同土地利用类型下土壤理化性质的差异,是合理利用土地资源、发展持续农林业的前提^[3]。在小流域尺度,不同土地利用类型对土壤理化性质产生的影响不同^[4]。关于土地利用类型对土壤理化性质的影响,国内学者在南方红壤区、黄土高原区、干热河谷区等水土流失严重的地区进行了大量研究^[4-7],而对于土地利用类型与喀斯特小流域土壤理化性质关系的研究较少。事实上,对于人为干预下不同土地利用措施对喀斯特土壤环境影响的研

收稿日期:2017-07-21

基金项目:贵州省财政专项资金;贵州科学院创新人才团队建设项目(土地资源可持续利用创新人才团队);贵州省科技攻关计划(编号:黔科合 SY 字[2009]3084 号、黔科合 SY 字[2013]3169 号)。

作者简介:钱旭(1973—),男,贵州遵义人,硕士,高级工程师,主要从事土地整治方面的研究工作。Tel:(0851)86815564;E-mail:942216190@qq.com。

通信作者:谢元贵,硕士,副研究员,高级工程师,主要从事土地资源、水土保持及林学方面的研究工作。Tel:(0851)86824329;E-mail:yuanguixie@163.com。

influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes [J]. Science of the Total Environment,2012,416:476-481.

[17] Zhang L, Sun X. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar [J]. Bioresour Technol, 2014, 171(1):274-284.

[18] Zhang J N, Lü F, Shao L M, et al. The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge [J]. Bioresource Technology, 2014, 168(3):252-258.

[19] Hua L, Wu W, Liu Y, et al. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal

amendment [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2009, 16(1):1-9.

[20] Morel T L, Conlin F, Cermon J, et al. In composting of agricultural and other wastes [M]. London: Elsevier Applied Science, 1985: 56-72.

[21] Vuorinen A H, Saharinen M H. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system [J]. Agri Ecosys and Environ, 1997, 66(1): 19-29.

[22] Itavaara M, Vikman M, Venelampi O W. Composting of biodegradable packaging materials [J]. Compost Science and Utilization, 1997, 5(2):84-92.