

起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥效果的影响

李 轲^{1,2}, 杨 柳³

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055; 2. 西安工程大学服装与艺术设计学院, 西安 710048; 3. 西安工业大学艺术与传媒学院, 西安 710021)

摘要: 为了提高园林废弃物堆肥效果, 本研究以园林废弃物为材料, 设置CK(园林废弃物+羊粪)、T₁(园林废弃物+羊粪+起爆剂)、T₂(园林废弃物+羊粪+复合微生物菌剂)和T₃(园林废弃物+羊粪+起爆剂+复合微生物菌剂)4个处理, 通过测定堆体温度、pH值、EC值、C/N、微生物特性及发芽率等指标, 研究添加起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥效果的影响。结果表明, 添加起爆剂和复合微生物菌剂在堆体升温速率、最高温度、高温天数、C/N、微生物多样性及对莪麦菜种子发芽和植株生长方面具有明显优势。其中, 以T₃处理效果最佳, 堆体最高温达到64.5℃, 升温用时6d, 高温天数为15d(T>55℃); pH和EC值分别为8.37和3.33 mS/cm; C/N在第20天时达到腐熟标准(<20)。与CK相比, T₃堆肥产品真菌数量降低44.72%, 细菌、放线菌、微生物总量、“细菌/真菌”“放线菌/真菌”、平均颜色变化率(AWCD)及香浓指数(Shannon index)分别提高36.35%、25.00%、20.48%、146.64%、126.11%、31.03%和16.29%; T₃处理的莪麦菜发芽率、发芽势及发芽指数分别提高14.81%、34.4%和29.91%, 植株株高、茎粗及干重分别增加18.98%、26.47%和26.54%。

关键词: 园林废弃物; 起爆剂; 复合微生物菌剂; 堆肥效果

中图分类号: S141.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)02-0059-05

Effects of Starter and Compound Microbial Agent on Garden Wastes Compost

LI Ke^{1,2}, YANG Liu³

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055; 2. Apparel & Art Design College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048; 3. School of Art and Media, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to improve the effects of garden wastes compost, four treatments included CK (garden wastes + sheep manure), T₁(garden wastes + sheep manure + starter), T₂(garden wastes + sheep manure + compound microbial agent) and T₃ (garden wastes + sheep manure + starter + compound microbial agent) were set up in this research. The effects of adding starter and compound microbial agent on the garden wastes compost were studied by testing the temperature, pH value, EC value, C/N and microbial characteristics of compost. The results showed that the addition of starter and compound microbial agent to garden wastes compost had obvious advantages in heating rate, maximum temperature, high temperature days, C/N, microbial diversity, seed germination and plant growth of lettuce. Among them, the best effect was T₃ treatment which the highest compost temperature reached 64.5℃, the heating time was only 6 days and the days of high temperature was 15 days (T > 55℃). The pH and EC values of T₃ were 8.37 and 3.33 mS/cm, respectively, and the C/N reached the maturity standard (< 20) on the 20th day. Compared with CK, the number of fungi in T₃ compost products decreased by 44.72% and the number of bacteria, actinomycetes, total microorganisms, 'bacteria/fungi' actinomycetes/fungi', AWCD and Shannon index were increased by 36.35%, 25.48%, 146.64%, 126.11%, 31.03% and 16.29%, respectively. The lettuce seed germination rate, germination potential and germination index of T₃ product increased by 14.81%, 34.4% and 29.91% respectively compared with CK, and the plant height, stem diameter and dry weight increased by 18.98%, 26.47% and 26.54%, respectively.

Key words: Garden waste; Starter; Compound microbial agent; Composting effect

收稿日期: 2019-11-20

基金项目: 陕西省教育厅科学研究项目(16JK1308)

作者简介: 李 轲(1981-), 男, 副教授, 在读博士, 主要从事风景园林规划与设计研究。

园林废弃物是绿化植物在自然生长和养护过程中产生的枯枝落叶^[1]。随着人们对城市绿化和美观的要求越来越高,城市绿化面积和园林植物种植数量逐年递增导致园林废弃物也大量增加,如何合理处置已成为亟待解决的关键问题和研究热点^[2]。传统的处置方式,如填埋和焚烧,不仅会造成资源浪费而且对环境造成严重污染。堆肥化处理是近年来兴起的新型固体废弃物处理技术,利用细菌、真菌、放线菌等微生物将废弃物无害化处理和资源化利用具有广阔的应用前景^[3-4]。

园林废弃物富含植物生长所需的氮、磷、钾及有机质等营养成分,通过合理处理可以变废为宝。研究表明,园林废弃物经过一定的堆腐处理可用于植物栽培、土壤改良及土壤有机覆盖等方面,但是由于堆腐工艺研究起步较晚,存在升温慢、周期长、卫生条件差、无害化程度和肥力低等现象,常导致栽培植物生长发育不良及病虫害发生严重,给园林废弃物的资源化利用带来一定的限制^[5-7]。微生物可将固体有机质分解成腐殖质和矿质元素,是决定堆肥周期长短和堆肥产品质量的重要因素^[8]。外源添加微生物菌剂可提高木质素、纤维素和半纤维素降解效率,缩短堆肥周期,提高堆肥产品质量,添加复合微生物菌剂效果显著优于单一菌种^[3,9-10]。起爆剂是由糖、氨基酸及蛋白质等可被微生物容易吸收利用的化学物质组成,可通过提高堆肥初期微生物的活性来加快堆肥反应速度,达到“起爆”效果^[11]。外源同时添加起爆剂和复合微生物菌剂可显著提升蔬菜秸秆堆体升温速率和高温天数,缩短堆肥周期,提高堆肥产品品质^[12]。目前,关于园林废弃物堆肥方面的研究,大多集中于堆肥工艺、外源微生物筛选等方面,关于起爆剂和复合微生物菌剂在园林废弃物堆肥中的应用鲜有报道^[3,13-14]。

本研究以西安市街道的修剪枝条及枯枝落叶为原料,研究添加起爆剂和复合微生物菌剂对堆肥过程中温度、pH、电导率(EC)和C/N等方面的影响,从堆肥产品微生物多样性及对种子萌发和植株生长的影响角度来准确评价堆肥产品质量,以为园林废弃物的资源化利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试园林废弃物主要取自陕西省西安市街道的修剪枝条及枯枝落叶,利用粉碎机将其粉碎至1~3 mm 粒径粉末;供试羊粪购自西安市周边农

户;供试起爆剂由本课题自主研发,主要成分为葡萄糖和蛋白质;供试复合微生物菌剂由中国科学院微生物研究所提供,主要为放线菌、酵母菌、芽孢杆菌、白腐菌和霉菌,分离自园林废弃物,活菌数为 1.4×10^8 CFU/g;供试苜蓿菜品种为四季苜蓿菜,购自西安万隆蔬菜种子公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验于2017年5月20日实施,共设4个处理:对照(CK)(园林废弃物+羊粪)、T₁处理(园林废弃物+羊粪+起爆剂)、T₂处理(园林废弃物+羊粪+复合微生物菌剂)和T₃处理(园林废弃物+羊粪+起爆剂+复合微生物菌剂)。其中,起爆剂和复合微生物菌剂添加量综合前人研究^[3,12,15]分别设置为10 g/kg和0.5 g/kg,所有处理C/N均调节为25,含水率调节为60%。将各处理的物料混合均匀,堆置成高约1 m,体积约1.5 m³的锥体进行腐熟,每个处理设3次重复。堆肥产品待充分腐熟后,采用盆栽方法进行苜蓿菜发芽试验和苗期生长试验,每盆定植一株,整个试验期给予正常的水肥管理,定植40 d后进行生长指标测定。

1.2.2 测定指标及方法

堆肥试验每3天进行1次翻堆,持续两周,此后每6天翻堆1次;于每天10:00和15:00分别测定环境温度和堆体温度,环境温度为堆肥装置周围1 m处的平均温度,堆体温度为堆体表面、中部和底部温度的平均值。分别于堆肥开始的第0、4、8、12、16、20、24、28、32、36、40天采取5点采样法取样,即中心及四角部位进行样品采集,充分混匀后分为2份,新鲜样品用于测定堆肥产品的pH值和EC值,风干样品用于测定堆肥产品的全碳及全氮含量。堆肥结束后,取样测定堆肥产品微生物特性、苜蓿菜发芽情况和植株生长情况。pH值采用S-3C型pH计测定;EC值采用DDS-307型电导率仪测定;全碳和全氮含量分别采用干烧法和全自动凯氏定氮法进行测定;堆肥产品细菌、真菌及放线菌数量测定采用稀释平板法,培养基分别为牛肉膏蛋白胨培养基、孟加拉红培养基和改良高氏一号培养基;采样后48 h内用Biolog生态测试板测定堆肥产品微生物群落功能多样性,并按如下公式计算平均颜色变化率(AWCD)和Shannon指数: $AWCD=(C_i-R)/n$;R为对照孔的吸光值,n为碳源种类数(n=31),C_i表示第i个非对照孔的吸光值;Shannon Index= $-\sum P_i \ln P_i$ 。式中P_i表示第i个非对照孔中的吸光值与所有非对照孔吸光

值总和的比值,即 $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$; 播种后第4天开始统计发芽种子数,直到连续3天无新种子发芽为止,并按照如下公式计算发芽率、发芽势和发芽指数:发芽率(%) = 发芽种子数/种子总数 $\times 100\%$;发芽势(%) = 试验初期7 d内发芽种子数/种子总数 $\times 100\%$;发芽指数 = $\sum G_t / D_t$, D_t 表示发芽日数, G_t 表示 D_t 日发芽种子数;苜蓿菜生物量测定主要包括株高、地径和干重。

1.2.3 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据整理及作图,用 SPSS 18.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对堆肥过程中温度变化的影响

堆体温度是堆肥的重要参数,温度过高或过低均会对堆肥产品的质量造成一定影响^[6]。不同处理对堆肥温度变化的影响见图1,随着堆肥时

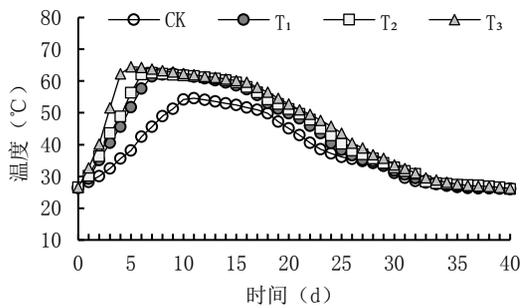
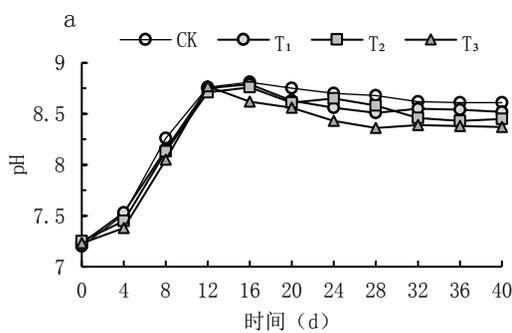


图1 起爆剂和复合微生物菌剂对堆肥过程中温度变化的影响



间的延长,4个处理的堆肥温度均呈现先升高后降低,最后与环境温度趋于平稳一致。CK最高温度为54.6℃,整个堆肥过程均没有达到堆肥高温要求($T > 55^\circ\text{C}$)。T₁、T₂、T₃处理的堆肥最高温度分别达到62.3、62.6和64.5℃,分别用时9、7、6 d,维持高温堆肥的天数分别为12、13、15 d($T \geq 55^\circ\text{C}$)。上述结果说明同时添加起爆剂和微生物菌剂的堆肥处理在升温速率、最高温度及高温天数方面均优于其他处理。

2.2 不同处理对堆肥过程中pH和EC值的影响

堆肥过程中有机物的降解、微生物的活动强弱及各种降解酶的活性均与堆体的pH高低密切相关,堆肥最适pH为中性或弱碱性,过高或过低均会影响堆肥效果^[3]。由图2a可知,随着堆肥时间的延长,4个处理的pH均表现为先升高后降低,最后趋于平稳的趋势。堆肥完成时,CK、T₁、T₂和T₃处理的pH分别为8.61、8.52、8.45和8.37,均符合堆肥产品的pH标准。T₃处理达到最高pH的时间较CK、T₁和T₂缩短4 d。

EC值反映堆体中的可溶性盐浓度,可溶性盐浓度过高常会对作物造成盐害,当EC值高于4.0 mS/cm时抑制作物生长^[12]。由图2b可知,随着堆肥时间的延长,4个处理的EC值均表现为先降低后升高,最后趋于平稳的趋势。堆肥完成时,CK、T₁、T₂和T₃处理的EC值分别为3.61、3.46、3.41、3.33 mS/cm,均符合适宜作物生长的EC值范围($< 4.0 \text{ mS/cm}$)。

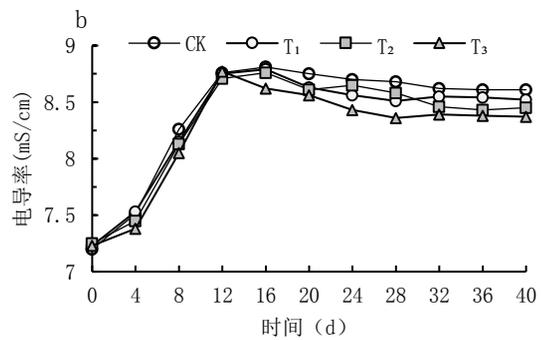


图2 起爆剂和微生物菌剂对堆肥过程中pH和EC值变化的影响

2.3 不同处理对堆肥过程中C/N的影响

C/N是衡量堆肥腐熟程度的重要指标之一,C/N小于20表明堆肥已完全腐熟^[14]。由图3可知,随着堆肥时间的延长,4个处理的堆肥C/N值均逐渐降低。堆肥40 d时,CK处理的C/N为21.15,仍未达到完全腐熟标准($C/N < 20$),而处理T₁、T₂和T₃的C/N值则分别在第28、24、20天时达到腐熟标准。上述结果说明同时添加起爆剂和微生物菌剂可加

速园林废弃物的堆肥腐熟。

2.4 不同处理对堆肥产品微生物特性的影响

微生物数量和群落多样性是衡量土壤质量的重要因素之一^[16]。由表1可知,堆肥结束时,CK细菌、真菌、放线菌及微生物总量分别达到 24.43×10^6 、 6.91×10^6 、 4.28×10^6 、 35.26×10^6 CFU/g。与CK相比,T₁、T₂和T₃处理的细菌数量分别增长15.19%、22.92%和36.35%,真菌数量分别降低22.58%、

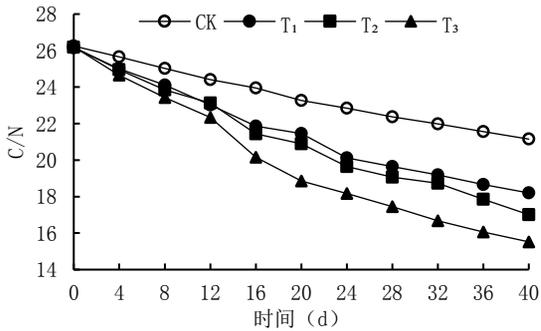


图3 起爆剂和微生物菌剂对堆肥过程中C/N变化的影响

35.89%和44.72%，放线菌数量分别增长12.85%、18.22%和25.00%，微生物总量分别增加8.68%、12.08%和20.48%，“细菌/真菌”分别增长48.77%、91.74%和146.64%，“放线菌/真菌”分别增长45.76%、84.41%和126.11%。说明添加起爆剂和(或)微生物菌剂可显著提升园林废弃物堆肥产品中的细菌和放线菌含量、降低真菌含量，以同时添加起爆剂和微生物菌剂处理提升(或降低)幅度最大。

表1 起爆剂和微生物菌剂对堆肥产品微生物特性的影响

不同处理	细菌($\times 10^6$ CFU/g)	真菌($\times 10^6$ CFU/g)	放线菌($\times 10^6$ CFU/g)	微生物总量($\times 10^6$ CFU/g)	平均颜色变化率	香浓指数
CK	24.43a	6.91a	4.28a	35.26a	0.58a	2.64a
T ₁	28.14b	5.35b	4.83b	38.32b	0.65a	2.81a
T ₂	30.03c	4.43bc	5.06b	39.52b	0.72b	3.01b
T ₃	33.31d	3.82c	5.35c	42.48c	0.76b	3.07b

注:同列不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$),下同

平均颜色变化率(AWCD)和香浓指数(Shannon index)是反映土壤微生物群落多样性的重要指标^[17]。由表1可知,堆肥结束时,CK的平均颜色变化率和香浓指数分别达到0.58和2.64。与CK相比,T₁、T₂和T₃处理的平均颜色变化率分别增加12.07%、24.14%和31.03%,香浓指数分别增加6.44%、14.02%和16.29%。说明添加起爆剂和(或)微生物菌剂可显著提升园林废弃物堆肥产品的微生物群落多样性,以同时添加起爆剂和微生物菌剂处理的微生物群落多样性最为丰富。

2.5 不同处理堆肥产品对苜蓿菜种子萌发及植株生长的影响

由表2可知,与CK相比,T₁、T₂和T₃处理的发

芽率分别提升4.94%、7.41%和14.81%,发芽势分别提升16.39%、19.67%和34.4%,发芽指数分别提升10.03%、15.56%和29.91%。说明添加起爆剂和(或)微生物菌剂的园林废弃物堆肥产品可显著提升苜蓿菜种子的发芽率和整齐度,以同时添加起爆剂和微生物菌剂处理效果最佳。

与CK相比,T₁、T₂和T₃处理的株高分别增加9.10%、13.35%和18.98%,地径分别增加14.71%、17.65%和26.47%,干重分别增加19.14%、22.22%和26.54%。说明添加起爆剂和(或)微生物菌剂的园林废弃物堆肥产品可显著促进苜蓿菜植株生长,以同时添加起爆剂和微生物菌剂处理促生效果最佳。

表2 堆肥产品对苜蓿菜种子萌发及植株生长的影响

不同处理	发芽率(%)	发芽势(%)	发芽指数	株高(cm)	地径(cm)	干重(g)
CK	81.25a	61.22a	16.45a	36.04a	0.34a	1.62a
T ₁	85.18b	71.41b	18.10b	39.32b	0.39b	1.93b
T ₂	87.06b	73.36b	19.01b	40.85b	0.40b	1.98b
T ₃	93.34c	82.22c	21.37c	42.88c	0.43c	2.05c

3 结论与讨论

3.1 起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥过程中理化性质的影响

堆体温度是衡量堆肥效率的重要参数之一,堆体升温速率及高温持续时间与堆肥产品质量密切相关^[6]。本研究,添加起爆剂和微生物菌剂(T₃)的升温速率和高温持续时间均优于其他3个

处理。与蔡尽忠等^[12]、王若斐等^[15]研究结果一致,明显优于李文玉等^[3]、宋文忠等^[6]的堆肥方法,其原因可能是:首先,添加起爆剂可以提高堆肥初期微生物活性,进而提高升温速率、缩短升温时间;其次,复合微生物菌剂的添加提高堆肥过程中的微生物数量、活性及多样性,有助于延长堆体高温持续时间。

堆体的pH高低与微生物活动强弱、矿物质溶

解和降解酶活性密切相关,过高或过低均会影响堆肥效果^[13]。本研究表明,堆肥过程中,堆体pH表现为先升高后降低,4个处理的最终pH分别为8.61、8.52、8.45和8.37,均符合堆肥产品的pH标准。EC值反映堆体中的可溶性盐浓度,是判断堆肥腐熟程度的重要指标之一^[12]。随着堆肥进行,EC值总体表现趋势为先降低、后升高,最后趋于平稳,4个处理的最终EC值分别为3.61、3.46、3.41、3.33 mS/cm,均符合堆肥产品EC值标准。 T_3 处理的EC始终低于其他处理,可能是由于 T_3 堆体中的微生物活性最高,对可溶性盐的利用率大于其他处理所致。

C/N过高容易引起“氮饥饿”现象,争夺土壤氮素,导致作物生长不良;C/N过低,则抑制微生物繁殖,从而导致堆肥分解不彻底^[17]。本研究表明,随着堆肥时间的延长,C/N逐渐降低。 T_3 处理C/N始终低于其他处理。本研究与蔡尽忠等^[12]、王若斐等^[15]研究结果一致,其原因可能是同时添加起爆剂和复合微生物菌剂的微生物活动最为强烈,堆体有机物质利用率明显高于其他处理,因此C/N降低幅度最大。

3.2 起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥产品微生物特性的影响

微生物是土壤生态体系的重要组成部分,不仅是土壤养分转化和物质代谢的重要参与者,而且与植物生长发育及病虫害发生密切相关^[18-19]。本研究表明, T_3 处理产品的“细菌/真菌”比值和“放线菌/真菌”比值及微生物群落多样性显著高于其他处理。其原因可能有如下几方面:首先, T_3 处理可提高微生物繁殖速率,进而在微生物数量和多样性方面显著优于其他处理;其次, T_3 处理的堆肥环境有利于细菌、放线菌繁殖,间接抑制真菌繁殖,优化群落结构,这可能会在提高产品肥力和降低植物病害方面发挥一定作用。

3.3 起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥产品质量的影响

苜蓿菜种植试验表明, T_3 处理产品明显提升苜蓿菜种子的发芽率和整齐度,促进苜蓿菜植株生长,显著优于其他3个处理。这说明添加起爆剂和微生物菌剂的园林废弃物堆肥产品质量较高,具有较大的应用潜力。另外,本试验仅比较添加起爆剂和复合微生物菌剂对园林废弃物堆肥效果的影响,今后应针对添加量开展优化试验,

从而确定起爆剂和复合微生物菌剂的最佳添加量,进一步提高堆肥质量,加快推广应用。

参考文献:

- [1] 梁晶,吕子文,方海兰.园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J].中国园林,2009,25(4):1-6.
- [2] 陈浩天,张地方,张宝莉,等.园林废弃物不同处理方式的环境影响及其产物还田效应[J].农业工程学报,2018,34(21):239-244.
- [3] 李文玉,栾亚宁,孙向阳,等.接种外源微生物菌剂对园林废弃物堆肥腐熟的影响[J].生态学杂志,2014,33(10):2670-2677.
- [4] 柳冬梅,姜寿涛,张云影,等.不同菌剂处理鲜鸡粪发酵试验研究[J].东北农业科学,2019,44(4):59-62,75.
- [5] Wang P, Changa C M, Watson M E, et al. Maturity indices for composted dairy and pig manures[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(5): 767-776.
- [6] 宋文忠.不同有机肥及微生物菌剂对园林植物废弃物堆肥效果影响研究[J].菏泽学院学报,2018,40(2):65-70.
- [7] 罗萌,刘长海.绿化植物废弃物对城市林地土壤微生物量和养分特性的影响[J].生态环境学报,2016,25(2):223-232.
- [8] 赵恺凝,赵国柱,国辉,等.园林废弃物堆肥化技术中微生物菌剂的功能与作用[J].生物技术通报,2016,32(1):41-48.
- [9] Zhang J C, Zeng G M, Chen Y N, et al. Phanerochaete chrysosporium inoculation shapes the indigenous fungal communities during agricultural waste composting[J]. Biodegradation, 2014, 25(5): 669-680.
- [10] 史龙翔,谷洁,潘洪加,等.复合菌剂提高果树枝条堆肥过程中酶活性[J].农业工程学报,2015,31(5):244-251.
- [11] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000:88-89.
- [12] 蔡尽忠,林婉英,何少贵,等.起爆剂和微生物菌剂对蔬菜废弃物堆肥效果的影响[J].中国蔬菜,2019(1):46-50.
- [13] 韩华国,杜康,丁佳云,等.园林废弃物堆肥应用及技术的研究进展[J].山西农业科学,2018,46(12):2111-2114.
- [14] 郝利峰,孙向阳,李雪珂,等.不同外源添加物对园林绿化废弃物腐熟过程的影响[J].中国农学通报,2012,28(7):302-306.
- [15] 王若斐,薛超,刘超,等.起爆剂促进猪粪堆肥腐熟研究[J].土壤,2017,49(6):1092-1099.
- [16] 张珍明,乐乐,林昌虎,等.不同种植年限山银花根区土壤生物特性[J].水土保持通报,2015,35(5):71-76.
- [17] 李国鼎,金子奇.固体废物处理与资源化[M].北京:清华大学出版社,1990:24-36.
- [18] 牛宇,薄晓峰,秦作霞,等.间作豆类作物对大樱桃生长和土壤特性、微生物数量的影响[J].北方园艺,2019(4):38-44.
- [19] 宋宇,王鹏,韦月平.不同共作模式的稻田土壤细菌群落结构分析[J].东北农业科学,2019,44(4):46-49.

(责任编辑:王昱)