



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

基于葛渣肥料化利用的蚯蚓转化技术研究

王馨悦, 成艳红, 何绍浪, 张昆, 黄尚书, 王斌强, 黄欠如

引用本文:

王馨悦, 成艳红, 何绍浪, 等. 基于葛渣肥料化利用的蚯蚓转化技术研究[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 201–208.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0624>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

蘑菇渣腐熟微生物组方研究

陈智坤, 路强强, 任英英, 张昭, 赵宁, 黄标

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 494–501 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0188>

蚯蚓生物消解尾菜废弃物工艺参数优化

王海候, 孟祥国, 金梅娟, 施林林, 周新伟, 陆长婴, 沈明星

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 694–702 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0384>

畜禽粪便堆肥过程中雌激素降解特征

韩进, 程鹏飞, 周贤, 王建, 凌婉婷

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 679–686 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0346>

双孢蘑菇菌渣还田下水稻土Cu、Cd、Pb、Zn相关性分析及污染评价

谢沂希, 谢尚春, 刘慧, 陈艳秋

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 518–526 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0103>

有机物料还田和减施氮肥对麦-玉周年农田碳氮水足迹及经济效益的影响

李春喜, 刘晴, 邵云, 李斯斯, 李晓波, 翁正鹏

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 527–536 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0150>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王馨悦, 成艳红, 何绍浪, 等. 基于葛渣肥料化利用的蚯蚓转化技术研究[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 201–208.

WANG X Y, CHENG Y H, HE S L, et al. Study on earthworm transformation technology based on fertilizer utilization of *Pueraria* root residue[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(1): 201–208.



开放科学 OSID

基于葛渣肥料化利用的蚯蚓转化技术研究

王馨悦, 成艳红, 何绍浪, 张昆, 黄尚书, 王斌强, 黄欠如*

(江西省红壤研究所/江西省红壤耕地保育重点实验室/国家红壤改良工程研究中心/农业部江西耕地保育科学观测试验站, 南昌 330046)

摘要:为探索葛渣资源化利用新途径,通过室内蚯蚓养殖试验,研究了新鲜葛渣、腐熟葛渣及鲜葛渣与牛粪不同配比对赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)生长繁殖的影响,以及蚯蚓堆制处理后物料肥力属性的变化,并利用种子发芽实验判断蚯蚓堆肥效果。结果表明,纯鲜葛渣和纯腐熟葛渣不利于蚯蚓生长和繁殖。蚯蚓在鲜葛渣和牛粪的复混物料中可以正常生长繁殖,10%鲜葛渣复混90%牛粪的物料更有利于蚯蚓繁殖。不同物料经蚯蚓堆肥处理后,总有机质含量显著降低,总养分含量显著升高,种子发芽指数有一定程度的升高,70%鲜葛渣复混30%牛粪经蚯蚓堆肥处理后的总养分含量为 $102.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,比10%鲜葛渣复混90%牛粪高出57.7%。研究表明,蚯蚓生物处理技术可应用于葛渣肥料化利用中,采用70%鲜葛渣复混30%牛粪进行蚯蚓堆肥,资源化利用效果最佳。

关键词:葛渣;肥料化;赤子爱胜蚓;蚯蚓堆肥;牛粪

中图分类号:S141.4

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2022)01-0201-08

doi: 10.13254/j.jare.2020.0624

Study on earthworm transformation technology based on fertilizer utilization of *Pueraria* root residue

WANG Xinyue, CHENG Yanhong, HE Shaolang, ZHANG Kun, HUANG Shangshu, WANG Binqiang, HUANG Qianru*

(Jiangxi Institute of Red Soil/Jiangxi Key Laboratory of Red Soil Arable Land Conservation/National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement/Jiangxi Province Scientific Observation and Experimental Station of Arable Land Conservation, Ministry of Agriculture, Nanchang 330046, China)

Abstract: In order to explore a new mode of resource utilization of *Pueraria* root residue, a pilot vermicomposting indoor experiment was carried out using *Eisenia fetida* for bio-transformation of freshly decomposed *Pueraria* root residue and fresh *Pueraria* root residue mixed with cow dung at different ratios. The effect of decomposed *Pueraria* root residue and the effects of different ratios of *Pueraria* root residue and cow dung on the growth and reproduction index of earthworm were analyzed. The changes in fertilizing properties of the materials were analyzed before and after vermicomposting, and seed germination was evaluated to determine the effect of vermicomposting. The results showed that fresh *Pueraria* root residue and decomposed *Pueraria* root residue alone were not conducive to the growth and reproduction of earthworms. Earthworms were able to grow and reproduce normally in fresh *Pueraria* root residue mixed with cow dung, which a mixture of 10% fresh *Pueraria* root residue and 90% cow dung was the most favorable to earthworm reproduction. After earthworm composting, the total organic matter content decreased significantly, the total nutrient content increased significantly, and the seed germination index increased to a certain extent. The total nutrient content of a mixture composed of 70% fresh *Pueraria* root residue and 30% cow dung was $102.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 57.7% higher than that of a mixture of 10% fresh *Pueraria* root residue and 90% cow dung. The earthworm bio-treatment technology can be applied to the production of fertilizer from *Pueraria* root residue. A mixture of 70% fresh *Pueraria* root residue and 30% cow dung delivers the optimal conditions for earthworm composting.

Keywords: *Pueraria* root residue; fertilization; *Eisenia fetida*; vermicomposting; cow dung

收稿日期:2020-10-27 录用日期:2021-01-27

作者简介:王馨悦(1993—),女,甘肃白银人,硕士研究生,主要从事农业废弃物资源利用研究。E-mail:1250853648@qq.com

*通信作者:黄欠如 E-mail:qianruhuang@163.com

基金项目:江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-16)

Project supported: The Earmarked Fund for Jiangxi Agriculture Research System(JXARS-16)

<http://www.aed.org.cn>

葛渣是指葛经临床应用、食品(保健品)开发、葛粉生产等加工后的固态残渣,葛渣中不但含有丰富的异黄酮类、膳食纤维以及大量的多糖、蛋白质和氨基酸等生物活性物质,还含有氮、磷、镁、铁和锌等多种元素,极具开发利用价值^[1-2]。目前,对葛渣的资源化利用主要包括养殖业饲料利用(作为饲料添加剂或发酵产蛋白饲料)^[3]、工业利用(造纸、土壤修复、废水处理、热解气化、产沼气等)^[4-5],以及农业种植利用(食用菌种植和堆肥等)三种方式^[6]。然而,葛渣产生量大、季节性强、保存周期短,现有葛渣饲料化和工业化利用方式多存在技术要求高、投资大、处理量低等问题,而堆肥化处理因其成本低,除臭和杀灭病原菌效果好,被认为是当前有机废弃物无害化和资源化的重要途径之一^[7],将葛渣肥料化利用无疑是一种技术简单、投资较少、处理量较大的利用方式。但是,葛渣中纤维素、木质素含量较高,传统堆肥存在降解速度慢、发酵时间长,堆肥产物养分失衡等问题^[8],在一定程度上限制了葛渣的肥料化利用。

蚯蚓处理有机废弃物是将传统的堆肥法与生物处理法相结合,利用蚯蚓特殊的生态学功能和微生物的协同作用,将废弃物快速转化为农化性质优良的蚓粪有机肥的生物处理工艺^[9]。同时蚯蚓堆肥中还可以收获蚓体,应用于蛋白质饲料、医药保健品等多种行业,实现环保与经济双重效益,已成为一种新型有机废弃物处理技术^[10-11]。目前,国内外研究多集中于利用蚯蚓处理城市生活垃圾、污泥及秸秆和畜禽粪便等农业废弃物,同时生产具有较高利用价值的蚯蚓粪有机肥^[12-13],且牛粪被普遍认为是最适合蚯蚓堆肥处理的禽畜粪便。但是,以葛渣为蚯蚓主要饲养基质的研究较少。葛渣中含有较多黄酮类等对蚯蚓生长不利的物质,以及含有大量能降低蚯蚓取食性的未腐熟木质素、纤维素和半纤维素,虽然有机物料在堆腐过程中能分解黄酮类、纤维素等有机物,但蚯蚓在鲜葛渣、腐熟葛渣或者鲜葛渣复混牛粪物料中能否正常生长繁殖并完成取食转化,以及蚯蚓转化处理后葛渣养分含量等理化性质的变化,目前尚不明晰,这些都限制了蚯蚓处理技术在葛渣肥料化利用中的应用。

为此,本研究以葛渣为主要原料,研究腐熟葛渣以及鲜葛渣复混牛粪等物料对蚯蚓生长繁殖的影响,并分析处理前后物料的肥力变化及其对作物种子发芽的影响,旨在探索适宜于规模化生产的葛渣蚯蚓生物转化技术,为蚯蚓更好地处理葛渣有机废弃物,实现肥料化利用提供理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试蚯蚓:赤子爱胜蚓,取自南昌县某蚯蚓养殖场,挑选活泼健壮且体质量相近的成熟蚯蚓。

有机物料:葛渣取自江西省德兴市某大型葛加工厂;腐熟葛渣由鲜葛渣(含水量65%左右)堆制而成:鲜葛渣装入BIOLAN 220 L堆肥箱高温堆肥,桶温高于65℃时上下翻动一次(每日观测温度),堆制40 d;牛粪取自试验地周围养殖场。所有有机物料自然风干,粉碎过2 mm筛,备用。腐解菌为秸秆降解真菌草酸青霉(保藏号CGMCC NO.7527),由南京农业大学资源与环境科学学院提供。供试有机物料的基本理化性质见表1。

1.2 试验设计

试验于2020年3—8月在江西省红壤研究所进行。试验共设5个处理(表2),每个处理4个重复。分别将葛渣、牛粪按照设计用量和比例混匀(此时分别取适量样品,自然风干,研磨过筛,用于有机质、pH、电导率等指标的分析测定,所测指标为处理前指标),按干物质质量975 g分别装入30.0 cm×24.8 cm×9.8 cm的带盖塑料盒中,将含水率调至70%,每盒接种40条个体质量约0.45 g带有环带的蚯蚓,盖上留有

表2 试验设计

Table 2 Experiment design

处理 Treatment	处理设置 Processing set
T1	鲜葛渣(100%)+腐解菌(0.5%)+蚯蚓
T2	腐熟葛渣(100%)+蚯蚓
T3	鲜葛渣(70%)+牛粪(30%)+蚯蚓
T4	鲜葛渣(10%)+牛粪(90%)+蚯蚓
T5	牛粪(100%)+蚯蚓

表1 供试材料基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the test materials

物料 Material	全氮 TN/(g·kg ⁻¹)	全磷 TP/(g·kg ⁻¹)	全钾 TK/(g·kg ⁻¹)	有机质 OM/(g·kg ⁻¹)	C/N	pH	电导率 EC/(mS·cm ⁻¹)
葛渣	13.7	6.1	15.4	471.0	19.9	6.6	2.4
腐熟葛渣	36.5	11.6	32.2	494.0	7.85	9.7	4.1
牛粪	14.0	7.4	17.7	446.0	18.5	8.8	2.0

多个透气孔。试验期间物料湿度控制在70%左右,温度25℃,每7d将蚯蚓挑出,称质量、记录后放回;同时挑出蚓茧并记录个数,处理时间21d。试验结束后分离蚯蚓、蚓茧和蚓粪,各处理取适量新鲜物料用作发芽试验,然后将剩余物料自然风干,研磨过筛,用于有机质、pH、电导率等指标的分析测定,所测指标为堆肥处理后指标。

1.3 测定指标及方法

蚯蚓的数量和质量均直接计数和称质量。蚯蚓日增质量倍数和日均产茧量计算公式^[14]如下:

日增质量倍数=(养殖一段时间后的蚯蚓总质量-初始蚯蚓质量)/(初始蚯蚓质量×养殖时间)

日均产茧量=总产茧量/(蚯蚓数×产茧时间)

其中,蚯蚓总数包括成蚓数和幼蚓数,处理时间以天计算。

pH值和电导率(EC值)采用pH计和电导率仪测定;样品有机质(TOM)采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;全氮(TN)采用凯氏定氮法测定;全磷(TP)采用钼锑抗比色法测定;全钾(TK)采用火焰光度计法测定。

种子发芽指数(GI):挑选均匀、饱满的油菜/水稻种子,用0.5%次氯酸钠消毒5 min,再用蒸馏水冲洗干净,滤纸吸去水分。取蚯蚓不同处理时间的新鲜物料,按照固液比(*m/V*)1:10室温振荡浸提2 h,定性滤纸过滤得到浸提液。在培养皿(90 mm)内铺一张滤纸,放入30粒饱满已消毒的油菜/水稻种子,准确吸取10 mL浸提液于培养皿中,在25℃的恒温培养箱内暗培养72 h,测定种子发芽率和根长。每个样品3次重复,同时以蒸馏水作空白对照。计算种子发芽指数。

种子发芽指数=(处理组种子发芽率×处理组种子平均根长)/(对照组种子发芽率×对照组种子平均根长)×100%。

1.4 数据处理与分析

采用SPSS 17.0和Excel 2007进行数据分析及做图,物料经蚯蚓堆制处理后的理化性质与蚯蚓生长状况的关系采用R语言(www.r-project.org, R3.5.3)进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓生长繁殖特征分析

如表3所示,T2蚯蚓平均体质量随处理时间的延长逐渐下降,T1、T3、T4、T5蚯蚓平均体质量在前7d内迅速增加,T4蚯蚓平均体质量在14d时达到最大值,之后保持不变,而T1、T3、T5蚯蚓平均体质量分别在14、

21、21d时下降。T1蚯蚓平均体质量在第7d达到最大值,而其他处理在第14d达到最大值。在整个处理过程中,T3与T4蚯蚓平均体质量均最大,培养21d时,分别比T2高56.1%和58.5%,比T5高8.5%和10.2%,但T3与T4蚯蚓平均体质量差异不显著($P>0.05$)。

由表4可知,所有处理的蚯蚓日增质量倍数最大值均出现在第7d,且均随时间的延长而逐渐下降。T1在14d时蚯蚓日增质量倍数为负数,且蚯蚓在21d时全部死亡或者逃逸。T2蚯蚓日增质量倍数在整个试验过程中均为负数,但蚯蚓未出现死亡的情况。T3蚯蚓日增质量倍数在第7d最高,是T1、T4、T5的1.58、1.11倍和1.75倍,其后T3蚯蚓日增质量倍数都低于T4。T3和T4蚯蚓日增质量倍数在整个试验期间与T5相比差异不显著。T5蚯蚓日增质量倍数较其他处理变化较平缓。

蚯蚓日均产茧数量如表5所示。在整个处理过程中,T1和T2蚯蚓产茧量均为零,其他处理蚯蚓均在第一周开始产茧。T3蚯蚓日均产茧量随处理时间的延长先升高后降低,而T4和T5蚯蚓日均产茧量随处理时间的延长逐渐增加,且T4蚯蚓产茧量增幅较大,并在第21d时显著高于T3和T5处理,分别是T3和T5的3.9倍和2.0倍。

表3 不同物料对蚯蚓平均体质量的影响(g)

Table 3 Effects of different mixture on average mass of earthworm(g)

处理 Treatment	0 d	7 d	14 d	21 d
T1	0.43±0.01a	0.53±0.02b	0.41±0.02b	—
T2	0.48±0.07a	0.46±0.04c	0.44±0.04b	0.41±0.05c
T3	0.46±0.02a	0.62±0.06a	0.66±0.10a	0.64±0.03ab
T4	0.47±0.01a	0.61±0.02a	0.65±0.04a	0.65±0.01a
T5	0.46±0.03a	0.55±0.02b	0.61±0.03a	0.59±0.02b

注:同列中不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Notes: The different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$. The same below.

表4 不同物料对蚯蚓日增质量倍数的影响

Table 4 Effects of different mixture on daily weight gain of earthworm

处理 Treatment	7 d	14 d	21 d
T1	0.031±0.010a	-0.024±0.007b	—
T2	-0.007±0.026b	-0.007±0.017b	-0.012±0.006b
T3	0.049±0.014a	0.028±0.018a	0.017±0.007a
T4	0.044±0.005a	0.029±0.002a	0.019±0.003a
T5	0.028±0.009a	0.023±0.006a	0.017±0.007a

表5 不同物料对蚯蚓日均产茧量的影响(枚)

Table 5 Effects of different mixture on the average cocoon-producing capacity of earthworms(pcs)

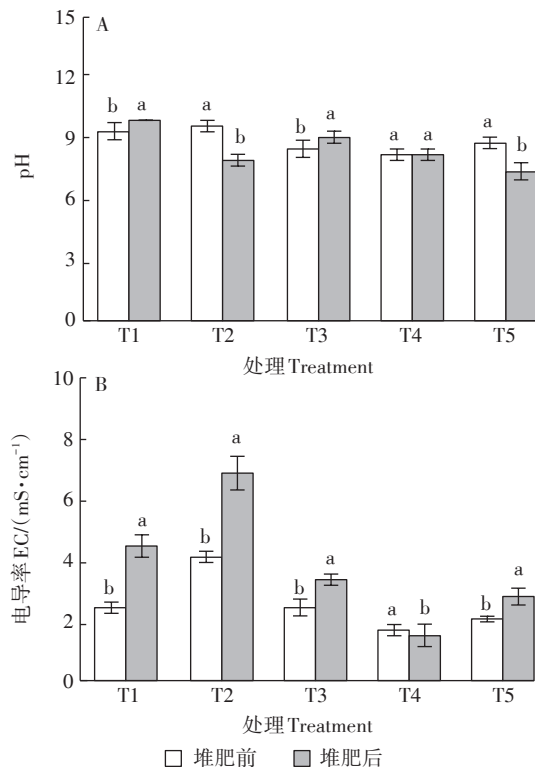
处理 Treatment	7 d	14 d	21 d
T1	0	0	—
T2	0	0	0
T3	0.030±0.007a	0.083±0.041b	0.060±0.008c
T4	0.038±0.009a	0.125±0.026a	0.235±0.022a
T5	0.036±0.012a	0.077±0.008b	0.119±0.004b

2.2 蚯蚓堆肥对物料pH值和电导率的影响

从图1A看出,试验结束时各处理pH值与堆肥前相比有升有降。T1和T3 pH终值为9.93和8.97,分别比初始值升高了0.53和0.58个单位,差异显著;T2和T5 pH终值均显著下降,分别比初始值降低了1.63和1.34个单位。从图1B可知,除了T4,其他处理的EC值均显著升高,其中T1处理EC值增幅最大,为82.7%,其次是T2处理,为66.9%,再次是T5处理,为42.4%。

2.3 蚯蚓堆肥对物料肥力属性的影响

堆肥处理前后各处理总有机质(TOM)含量如图



不同小写字母表示同一处理堆肥前后差异显著($P<0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant difference before and after
vermicomposting in the same treatment ($P<0.05$). The same below

图1 蚯蚓堆肥前后不同处理组物料pH和EC值变化

Figure 1 Changes of pH and EC of different treatment groups before and after vermicomposting

2A所示,除T5外,其他各处理堆肥后TOM含量均显著降低,降幅表现为T2(48.4%)>T1(46.3%)>T3(41.6%)>T4(35.8%);堆肥结束后,各处理有机质含量在254.8~383.5 g·kg⁻¹之间,T4处理TOM含量最高,T2处理最低。从堆肥前后各处理TN变化情况(图2B)可以看出,堆肥前各处理物料的TN含量在14.0 g·kg⁻¹~36.5 g·kg⁻¹之间,T2的含量最高,T5的含量最低;T2处理TN含量比初始值增加了6.6%,差异显著;值得注意的是,鲜葛渣初始TN含量高于鲜葛渣与牛粪的复混物料和牛粪,低于腐熟葛渣。图2C为TP含量变化情况,试验结束后,各处理的TP含量与初始值相比均显著增加,增幅为17.5%~135.1%,其中,T3的TP含量最高,为19.8 g·kg⁻¹,是堆肥前的2.4倍,T4的TP含量最低,为11.4 g·kg⁻¹,是堆肥前的1.2倍。TK含量变化如图2D所示,可以看出,除T4外,其他处理的TK含量均显著增加;T1和T2最终TK含量分别为33.5 g·kg⁻¹和33.7 g·kg⁻¹,T4的TK含量最低,为15.8 g·kg⁻¹;T1与T2的初始TK含量高于其他处理。

2.4 蚯蚓堆肥对物料种子发芽指数影响

蚯蚓堆肥前后不同处理物料水提液对油菜和水稻种子GI的影响如图3所示。堆肥前各处理物料水提液油菜种子GI分别为63.0%(T1)、64.5%(T2)、84.3%(T3)、82.7%(T4)、89.0%(T5),虽然堆肥后油菜种子GI均有所升高,但只有T1和T4堆肥前后差异显著。水稻种子GI变化趋势与油菜种子相似,除T1种子GI有显著升高,其他处理种子GI堆肥前后变化不明显。

2.5 相关性分析

对蚯蚓生长繁殖指标与葛渣复混物料的养分含量等指标进行相关性分析,结果如图4所示,成蚓总质量(Total adult weight, Taw)、成蚓数量(Adult worms, Aws)和蚓茧数(Worm cocoons, Wcs)与TN和TK含量显著负相关,与TP含量无显著相关性,与TOM含量显著正相关。Taw分别与Aws和Wcs极显著正相关。Wcs与pH值呈极显著负相关。Taw和Aws与EC显著正相关。

3 讨论

3.1 不同物料对蚯蚓生长繁殖的影响

蚯蚓的生长繁殖情况直接影响其生物处理效果,通过对物料配比等因素的合理控制,为蚯蚓的生物转化提供适宜环境,以求达到经济性和处理效果的最优化^[15]。蚯蚓体质量增加得益于其对基料中养分的利用,葛渣中含有较多黄酮类等对蚯蚓生长不利的物质,以及大量能降低蚯蚓取食性的未腐熟木质素、纤

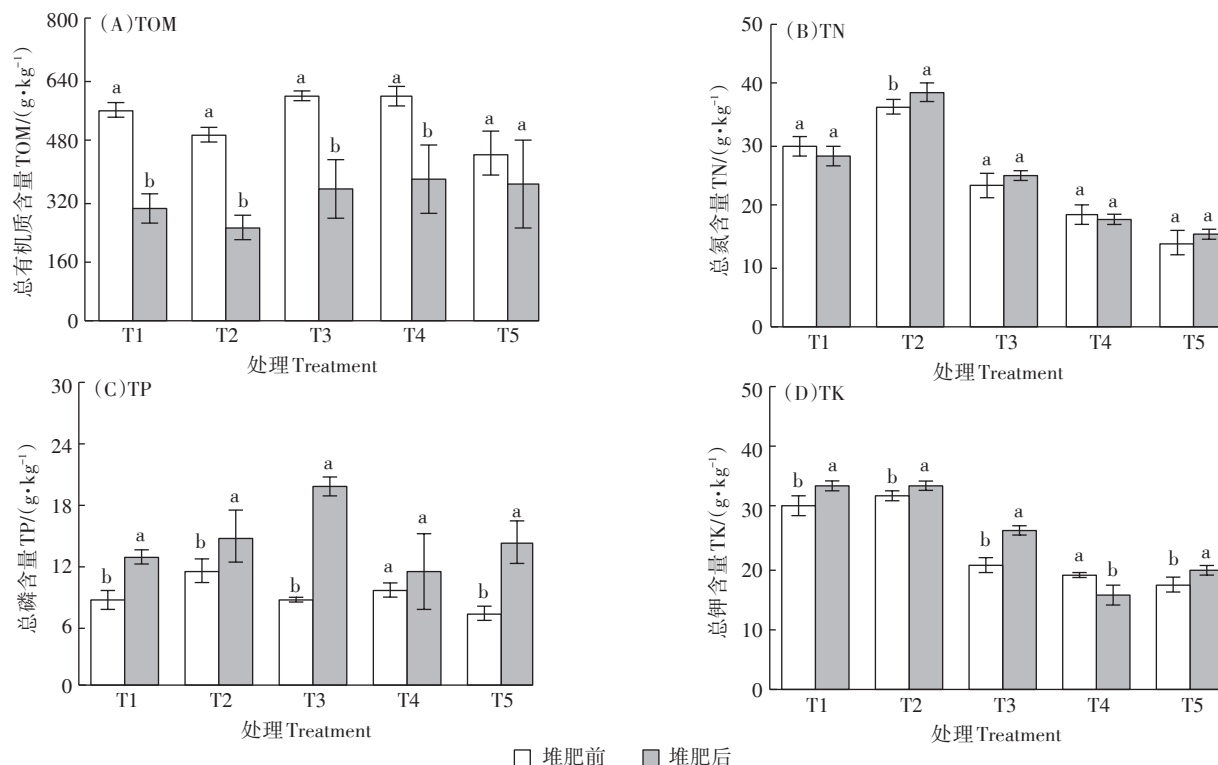


图2 蚯蚓堆肥前后不同处理组物料肥力属性变化

Figure 2 Changes of fertilizing properties in different treatment groups before and after vermicomposting

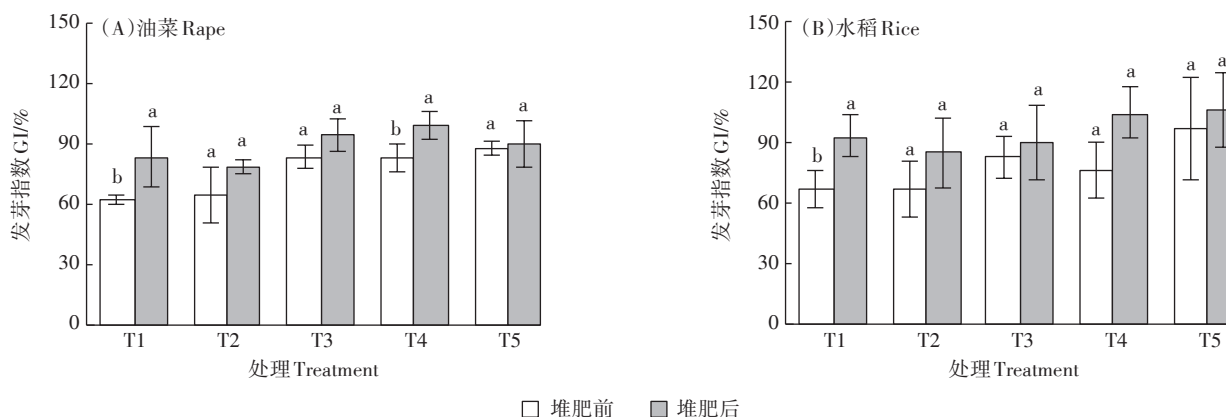


图3 蚯蚓堆肥前后不同处理组物料水提液种子发芽指数变化

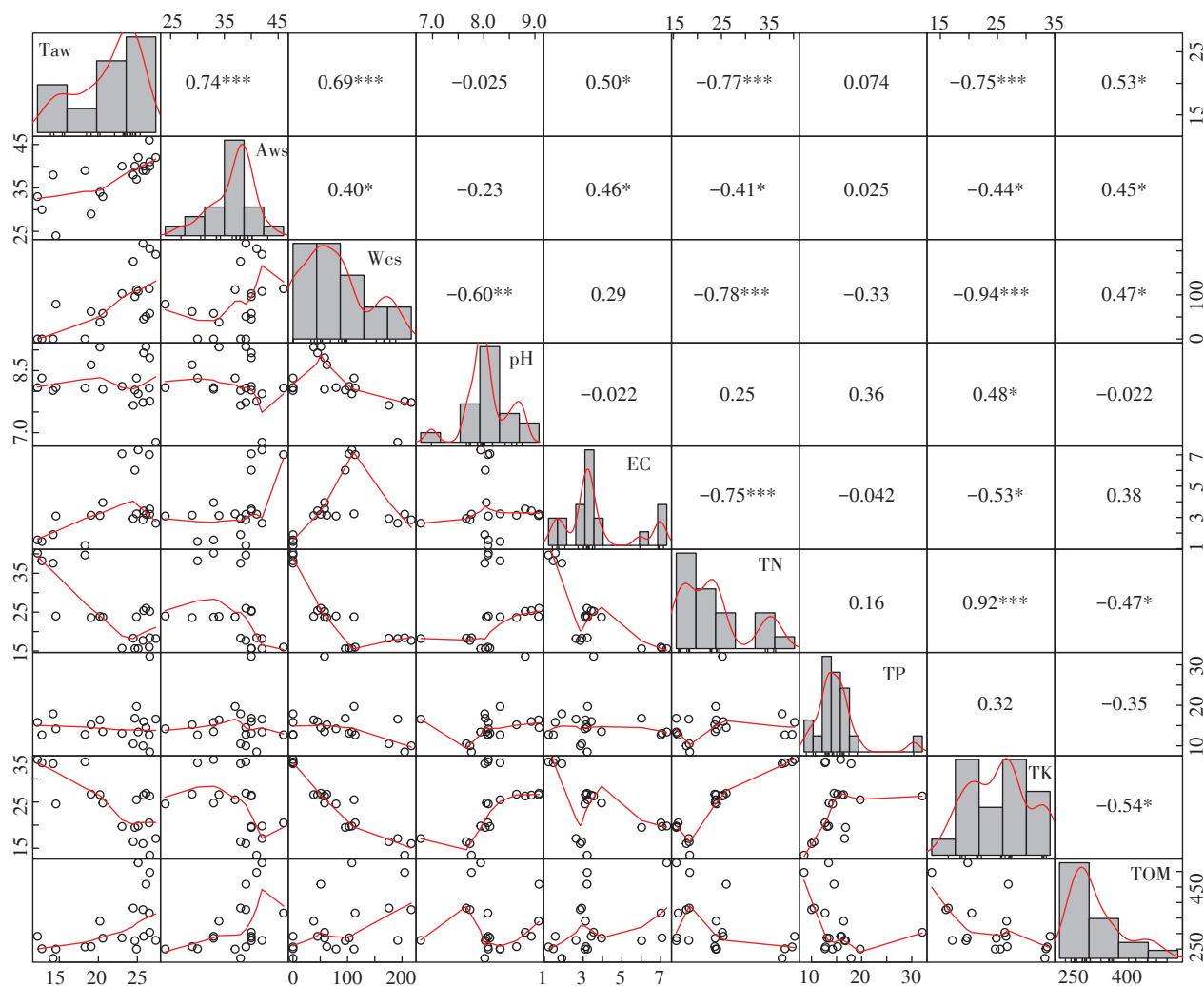
Figure 3 Changes in GI of seeds from water extracts of different treatment groups before and after vermicomposting

纤维素和半纤维素。本试验表明,在处理第21 d时,100%鲜葛渣中的蚯蚓全部消失(逃逸或者死亡),且无幼蚓产生,而100%腐熟葛渣在处理期间成蚓体质量直线下降,且无幼蚓产生。10%鲜葛渣复混90%牛粪处理(T4)和70%鲜葛渣复混30%牛粪处理(T3)的蚯蚓平均体质量和日增质量倍数优于其他葛渣不添加牛粪的处理(T1、T2),说明添加葛渣利于蚯蚓个体生长。10%鲜葛渣复混90%牛粪处理(T4)的日均产茧量均优于其他处理,说明10%鲜葛渣复混90%牛

粪处理(T4)有利于蚯蚓繁殖。而10%鲜葛渣复混90%牛粪处理和70%鲜葛渣复混30%牛粪处理在蚯蚓平均体质量和日增质量倍数指标上差异不显著,说明可采用70%鲜葛渣复混30%牛粪的配比进行葛渣蚯蚓堆肥,这样既不影响蚯蚓正常生长,又能大量利用废弃葛渣。

3.2 蚯蚓堆肥对物化性质的影响

试验结束时各处理pH值与处理前相比有增有减(图1A),是因为含碳有机物所产生的有机酸和含氮



*表示相关性显著 ($P<0.05$); **表示相关性极显著 ($P<0.01$); ***表示相关性极显著 ($P<0.001$)

*, ** and *** indicate significant correlation at $P<0.05$, $P<0.01$ and $P<0.001$ level, respectively

图4 物料部分肥力属性与成蚓总质量(Taw)、成蚓数量(Aws)、蚓茧数(Wcs)的相关性分析

Figure 4 Correlation analysis of mixture and total adult weight (Taw), adult worms (Aws) and worm cocoons (Wcs)

有机物所产生的氨以及蛋白质共同作用导致堆肥过程中pH值发生变化^[16]。有机物分解导致氨气释放,同时有机酸被微生物分解为 CO_2 和 H_2O ,导致pH升高^[17],而蚯蚓的活动改变了物料的通透性,加速了氨气挥发,再加上有机化合物的矿化增加了有机酸和腐植酸的含量,使pH降低^[18]。依据农业行业标准《有机肥料》(NY 525—2012)^[19],有机肥料pH值范围应为5.5~8.5,10%鲜葛渣复混90%牛粪、70%鲜葛渣复混30%牛粪和100%牛粪处理经蚯蚓堆肥处理后的产物均符合该标准。

EC是基质浸提液中可溶性盐浓度指标,反映基质中可溶性养分总量。EC过高或者过低都不利于植物正常生长^[20]。蚯蚓堆肥处理后物料EC值普遍升高(图1B),可能是因为有机质降解导致可溶性盐含

量升高,也可能是蚯蚓摄食和排泄过程中产生游离离子和矿物质所致^[21]。农业生产中,中等灵敏度植物对堆肥EC值的耐受水平上限为 $4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ^[22],鲜葛渣和腐熟葛渣经蚯蚓堆肥处理后EC值高于该限值,其他处理达到该标准。

由于没有外界有机碳源供应,蚯蚓与微生物的协同作用促进了物料中有机质的分解,并有相当一部分有机碳以 CO_2 形式散失于环境中^[23-24],故各处理物料在蚯蚓堆肥处理后有机质含量均降低(图2A)。理论上没有外源N的加入,蚯蚓堆肥后物料中TN的含量会由于蚯蚓迅速生长和繁殖吸收物料中较多N素而有所减少^[25],但本试验结果显示,纯腐熟葛渣(T2)、70%鲜葛渣复混30%牛粪(T3)和纯牛粪(T5)的TN含量反而增加(图2B),这可能是有机碳在底物分解

过程中损失的浓度效应、蚯蚓分泌的黏液和排泄的含氮物质、微生物作用等因素导致的^[26-27]。也有研究表明,蚯蚓处理对基料中TN的影响也取决于废弃物中的初始氮含量和分解程度^[28],本试验结果显示,鲜葛渣(T1)初始TN含量高于鲜葛渣与牛粪的复混物料(T3、T4)和牛粪(T5),低于腐熟葛渣(T2),推测葛渣是复混物料中TN的主要来源,这可能与葛是豆科植物有关。各处理TP含量均增加(图2C),处理过程中有机质的分解矿化和质量损失是导致总磷含量增加的主要原因^[29-30]。K的增加表明堆肥过程中K发生了矿化^[31],除10%鲜葛渣复混90%牛粪处理(T4)外,其他各处理的TK含量均显著增加(图2D),对于蚯蚓堆肥中普遍出现TK含量增加的现象^[32-33],最有可能的原因是物料中的有机质和有机碳含量减少导致养分浓度升高^[34]。此外,堆肥过程中蚯蚓的分解作用,以及真菌和细菌等微生物活动也能增加P、K等元素的含量^[35]。农业行业标准《有机肥料》(NY 525—2012)^[19]中规定了有机肥总养分(N+P₂O₅+K₂O)≥50 g·kg⁻¹,将处理后各物料的TP和TK含量乘以相应系数换算成P₂O₅和K₂O含量^[19],计算得到蚯蚓堆肥处理产物总养分含量在63.2~113.2 g·kg⁻¹之间,各处理总养分均高于50 g·kg⁻¹,符合标准。

发芽指数可以作为堆肥毒性的评价指标,它是植物对于堆肥低毒性(植物根长)和高毒性(发芽率)的综合反映指标^[33]。蚯蚓堆肥处理前各处理组浸提液种子发芽指数均大于50%,说明各处理对油菜和水稻种子基本无毒,堆肥处理后各处理组浸提液种子发芽指数均大于80%,表明最终产品对油菜和水稻种子无毒性^[24]。利用蚯蚓转化葛渣复混物料的过程也是蚯蚓与葛渣复混物料互相影响的过程,相关性分析结果显示,Taw、Aws和Wcs与TOM含量显著正相关,主要是因为蚯蚓生长需要有机碳提供能量,其与TN和TK含量显著负相关、与TP含量无显著相关性的结果,与周波等^[30]的研究结果不同,这可能与堆肥原料不同有关,需要进一步研究。

4 结论

(1)蚯蚓生物转化技术可以应用于葛渣肥料化处理,但纯鲜葛渣和纯腐熟葛渣均不利于蚯蚓生长繁殖,鲜葛渣和牛粪的复混物料适宜蚯蚓生长繁殖。

(2)蚯蚓堆肥处理降低了葛渣复混物料中的有机质含量,同时进一步降低了葛渣复混物料的植物毒

性,提高了葛渣复混物料的总养分含量。

(3)采用70%鲜葛渣复混30%牛粪进行蚯蚓堆肥,既不影响蚯蚓正常生长,又能充分利用废弃葛渣。

参考文献:

- [1] 曾慧婷,陈超,褚怀亮,等.粉葛资源产业化过程废弃物中的黄酮类化学成分分析[J].中国药房,2020,31(4):451-456. ZENG H T, CHEN C, CHU H L, et al. Analysis of flavonoids chemical components in waste material during industrialization of *Pueraria thomsonii* resources[J]. *China Pharmacy*, 2020, 31(4):451-456.
- [2] 曾慧婷,张媛媛,宿树兰,等.葛采收加工过程及深加工过程废弃物的资源化利用现状与策略探讨[J].中国现代中药,2019,21(2):158-163. ZENG H T, ZHANG Y Y, SU S L, et al. Discussion on current situation and strategy of resource utilization of rejected materials in harvesting process and deep processing of *Pueraria*[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2019, 21(2):158-163.
- [3] 蒋黎明,肖蔷薇.一种以葛根渣为原料的猪饲料及其生产方法:CN103598464A[P].2014-02-26. JIANG L M, XIAO Q W. Pig feed using *Pueraria lobata* residue as raw material and production method thereof:CN103598464A[P].2014-02-26.
- [4] 黄彤,徐洲,伍自力.酶法制备葛渣水不溶性膳食纤维的研究[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(6):79-87. HUANG T, XU Z, WU Z L. Preparation of insoluble dietary fiber from *Pueraria* root residue with the enzymatic method[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2014, 36(6):79-87.
- [5] 李汉广,周秋香,李志敏,等.丙酮丁醇梭菌ART18发酵葛渣水解液生产丁醇的研究[J].江苏农业科学,2018,46(21):302-305. LI H G, ZHOU Q X, LI Z M, et al. Study on production of butanol from fermented radix *Puerariae* slag hydrolysate of *Clostridium acetobutylicum* ART18[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(21):302-305.
- [6] 张园园.葛根渣栽培香菇培养基配方优化试验[J].食用菌,2020,42(1):25-27. ZHANG Y Y. Formula optimization test of substrate for cultivating *Lentinus edodes* with *Pueraria* dregs[J]. *Edible Fungi*, 2020, 42(1):25-27.
- [7] 周群,李林超,张超,等.堆肥技术处理农村生活有机废弃物的前景分析[J].山东农业大学学报(自然科学版),2017,48(5):770-774. ZHOU Q, LI L C, ZHANG C, et al. Analysis of the prospect of composting technology in the treatment of organic wastes in rural areas[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2017, 48(5):770-774.
- [8] 江高飞,暴彦灼,杨天杰,等.高温秸秆降解菌的筛选及其纤维素酶活性研究[J].农业环境科学学报,2020,39(10):2465-2472. JIANG G F, BAO Y Z, YANG T J, et al. Screening of thermophilic cellulolytic bacteria and investigation of cellulase thermostability[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(10):2465-2472.
- [9] CRUTCHIK D, RODRÍGUEZ-VALDECANTOS G, BUSTOS G, et al. Vermiproduktivität, maturation and microbiological changes derived from the use of liquid anaerobic digestate during the vermicomposting of market waste[J]. *Water Science & Technology*, 2020, 82(9):1781-1794.
- [10] Badhwar V K, Singh S, Singh B. Biotransformation of paper mill sludge and tea waste with cow dung using vermicomposting[J]. *Biore-source Technology*, 2020, 318:124097.

- [11] BUDRONI M, MANNAZZU I, ZARA S, et al. Composition and functional profiling of the microbiota in the casts of *Eisenia fetida* during vermicomposting of brewers' spent grains[J]. *Biotechnology Reports*, 2020, 25:e00439.
- [12] 李莎莎, 徐琪, 张必宪, 等. 基于光谱学分析蚯蚓堆肥对市政污水水溶性有机物的影响[J]. *环境科学与技术*, 2017, 40(10):71-76. LI S S, XU Q, ZHANG B X, et al. Effect of earthworm composting on dissolved organic matter in municipal sludge based on spectra analysis[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 40(10):71-76.
- [13] 陈玉香, 姚月, 赵婷婷, 等. 蚯蚓堆制花生壳的微生物群落结构特征研究[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(1):303-312. CHEN Y X, YAO Y, ZHAO T T, et al. Characterization of microbial community structure of vermicomposting in peanut shells[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(1):303-312.
- [14] 胡秀仁, 方田, 李国鼎. 蚯蚓处理垃圾的试验研究[J]. *农村生态环境*, 1991(4):44-49. HU X R, FANG T, LI G D. Study on the treatment of solid waste with earthworm[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 1991(4):44-49.
- [15] 张可贵, 张克峰, 王洪波, 等. 蚯蚓堆肥处置城市污泥研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(28):11374-11376. ZHANG K G, ZHANG K F, WANG H B, et al. Research progress on municipal sludge disposal by vermicomposting[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(28):11374-11376.
- [16] 刘忠华, 赵帅翔, 刘会芳, 等. 条垛堆肥-蚯蚓堆肥联合处理对堆肥产品性状的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(4):200-207. LIU Z H, ZHAO S X, LIU H F, et al. The effect of combined pre-composting and vermicomposting of dairy manure on properties of compost products[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(4):200-207.
- [17] 龚小强. 外源添加物对园林绿化废弃物蚯蚓堆肥影响研究[D]. 北京:北京林业大学, 2019. GONG X Q. Study on the effect of exogenous additives on vermicomposting of green waste[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.
- [18] HANC A, CHADIMOVA Z. Nutrient recovery from apple pomace waste by vermicomposting technology[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 168:240-244.
- [19] 农业部. 有机肥料: NY 525—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. Ministry of Agriculture of the PRC. Organic fertilizer: NY 525—2012[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.
- [20] 王琳, 李素艳, 孙向阳. 不同配比园林绿化废弃物和蘑菇渣混合蚯蚓堆肥的效果[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(2):326-334. WANG L, LI S Y, SUN X Y, et al. Mixing garden wastes and spent mushroom compost of different ratios for vermicomposting[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2019, 36(2):326-334.
- [21] GARG P, GUPTA A, SATYA S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(3):391-395.
- [22] LASARIDI K, PROTOPAPA I, KOTSOU M, et al. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance[J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 80(1):58-65.
- [23] BERNAL M P, ALBURQUERQUE J A, MORAL R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22):5444-5453.
- [24] 杨巍, 王东升, 刘满强, 等. 不同有机物料的蚯蚓堆肥及可溶性有机物的三维荧光光谱特征[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10):3181-3188. YANG W, WANG D S, LIU M Q, et al. Vermicomposting of different organic materials and three-dimensional excitation emission matrix fluorescence spectroscopic characterization of their dissolved organic matter[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(10):3181-3188.
- [25] 鲁耀雄, 崔新卫, 陈山, 等. 牛粪预处理对蚯蚓堆肥生物学特性和养分含量的影响[J]. *江西农业学报*, 2019, 31(4):39-45. LU Y X, CUI X W, CHEN S, et al. Effects of cow dung pretreatment on biological characteristics and nutrient content of vermicomposting[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2019, 31(4):39-45.
- [26] ARUMUGAM K, RENGANATHAN S, BABALOLA O O, et al. Investigation on paper cup waste degradation by bacterial consortium and *Eudrilus eugineae* through vermicomposting[J]. *Waste Management*, 2018, 74:185-193.
- [27] TRIPATHI G, BHARDWAJ P. Decomposition of kitchen waste amended with cow manure using an epigeic species (*Eisenia fetida*) and an anecic species (*Lampitoma uritii*) [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 92(2):215-218.
- [28] RAJPAL A, BHARGAVA R, SASI S K, et al. On site domestic organic waste treatment through vermiculture using indigenous earthworm species[J]. *Waste Management & Research*, 2012, 30(3):266-275.
- [29] MALIŃSKA K, ZABOCHNICKA-SWIATEKA M, CÁCERES R, et al. The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of *Eisenia fetida* during laboratory vermicomposting[J]. *Ecological Engineering*, 2016, 90:35-41.
- [30] 周波, 唐颢, 黎健龙, 等. 蚯蚓生物处理技术在工业废弃茶渣肥料化利用中的应用研究[J]. *茶叶科学*, 2018, 38(2):202-211. ZHOU B, TANG H, LI J L, et al. Application of biological treatment technology of earthworm in the utilization as fertilizer of industrial tea residue[J]. *Journal of Tea Science*, 2018, 38(2):202-211.
- [31] ANWAR Z, IRSHAD M, BILAL M, et al. Changes in availability of plant nutrients during composting of cow manure with poplar leaf litter [J]. *Compost Science & Utilization*, 2017, 25(4):242-250.
- [32] 张修顺, 呼世斌, 高德明, 等. 蔬菜废弃物蚯蚓肥料化处理[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(2):184-192. ZHANG X S, HU S B, GAO D M, et al. Fertilization of vegetable waste by earthworm[J]. *Journal of Hebei University (Natural Science Edition)*, 2020, 40(2):184-192.
- [33] 徐超, 袁巧霞, 覃翠钠, 等. 木醋液对牛粪好氧堆肥理化特性与育苗效果的影响[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(4):353-360. XU C, YUAN Q X, QIN C N, et al. Effect of wood vinegar on physicochemical properties and seeding capability of cow manure aerobic composting[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(4):353-360.
- [34] SHARMA K, GARG V K. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) [J]. *Bioresource Technology*, 2017, 250:708-715.
- [35] DA SILVA C E M, DE QUEVEDO D M, JAHNO V D. Evaluation of the vermicomposting of *Acacia mearnsii* De Wild bark bagasse with bovine manure[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264:121632.