

李少杰,王红梅,曹云娥. 蚯蚓粪对设施甜瓜土壤微生物特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):286-290.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.063

蚯蚓粪对设施甜瓜土壤微生物特性的影响

李少杰¹, 王红梅², 曹云娥³

(1. 宁夏银川市农业综合开发办公室, 宁夏银川 750004; 2. 宁夏银川市西夏区农牧水务局, 宁夏银川 750000;
3. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

摘要:以甜瓜(*Cucumis melo*) No. 1 为试材, 采用单因素完全随机设计, 设计 30、60、90 t/hm² 等 3 个蚯蚓粪梯度, 探讨不同蚯蚓粪施入量对土壤酶活性、微生物量及碳源利用率的影响。结果表明, 与对照(CK)相比, 蚯蚓粪处理有机质含量增加 21.93% ~ 31.38%, 全氮含量提高 35.64% ~ 48.29%; 显著提高土壤蔗糖酶、磷酸酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性; 利于微生物繁殖, 增加土壤可培养细菌数量 118.24% ~ 274.53%, 可培养放线菌数量 44.29% ~ 115.89%, 显著提高土壤中生理菌群数量, 土壤氨化细菌数量增加 192.12% ~ 471.52%, 亚硝化细菌数量增加 34.91% ~ 90.95%, 反硝化细菌数量增加 33.33% ~ 332.81%; 显著提高土壤微生物量碳含量 7.64% ~ 44.45%, 微生物量氮含量 22.46% ~ 58.43%; 显著提高了土壤碳水化合物、多聚类、羧酸类、氨基酸类、胺类及酚类碳源的利用水平。处理间比较可见, 施用量越大, 效果越好, 90 t/hm² 处理效果最佳, 促进有机质增加, 提高土壤微生物生长、繁殖、酶活性, 微生物对碳源的利用效果最好。

关键词: 蚓粪; 微生物活性; 土壤酶; 生理菌群; 碳源的利用

中图分类号: S154.39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0286-05

随着设施蔬菜生产的区域化、规模化、专业化的发展^[1], 蔬菜设施栽培成为现代农业优选项目。然而设施蔬菜栽培中为了追求高效益, 过量施用化肥和农药, 栽培品种单一且存在多年连作等现象, 直接导致土壤质量下降, 蔬菜品质、产量及抗性也随之下降, 严重威胁着生态环境及制约着设施蔬菜产业可持续发展。施肥是影响土壤质量演化及其可持续利用最为普遍的农业措施之一^[2]。施肥能激活休眠细胞参与土壤物质循环^[3], 是改善土壤理化性质、提高作物产量、改善设施蔬菜品质的重要环节^[4]。研究表明, 施用蚯蚓粪可增加有机碳源的多样性, 能显著提高土壤微生物生物量及土壤酶活性^[5-6], 促进土壤微生物多样性的恢复^[7], 有效抑制连作障碍的发生进程, 改善土壤微生态环境^[1]。

土壤微生物量是指生活在土壤中的体积小于 $5 \times$

$10^3 \mu\text{m}^3$ 的微生物活体的总量^[8], 细菌、真菌、放线菌为主要类群, 既是土壤有机质和养分分解、转化、释放及循环的动力, 又可作为土壤养分的储备库, 同时也是植物生长中有效养分的重要来源^[2], 并对土壤环境条件的改变尤为敏感。因此, 其对土壤肥力状况及作物养分供应起决定性作用。土壤微生物量碳、氮是土壤碳素、氮素分解、转化、循环的重要参与者, 能直观反映土壤微生物和土壤肥力状况^[9]。土壤酶活性是土壤生物学活性的总体现, 作为衡量土壤质量变化的预警和敏感指标^[10], 表征了土壤的综合肥效及其养分分解、转化进程, 反映了土壤生化反应的方向与速度, 是衡量土壤肥力水平的重要指标。因此, 研究不同施用量蚯蚓粪改良设施土壤措施对微生物生物量的影响具有十分重要的意义。

前人研究主要集中在施用化肥或有机肥对土壤理化性质指标或者单一微生物学指标的影响, 而系统性研究蚯蚓粪的施用量及方法对土壤微生物生物量、土壤酶活性等多种土壤微生物学指标的影响的报道较少。本研究以宁夏银川市西夏区镇北堡镇多年连作的设施甜瓜为对象, 通过施用不同量蚯蚓粪改良土壤, 探讨蚯蚓粪对设施土壤酶活性、可培养微生物数量、微生物量碳氮及微生物碳源利用的影响, 旨在为寻求合理的土壤改良措施提供科学的理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2017-12-14

基金项目: 宁夏农业综合开发科技推广项目(编号: NTKJ-YC-2016-4)。

作者简介: 李少杰(1984—), 男, 宁夏银川人, 工程师, 主要从事农业综合开发项目管理研究。E-mail: shaojiell@163.com。

通信作者: 曹云娥, 博士, 副教授, 主要从事作物生理与营养调控研究。E-mail: caohua3221@163.com。

2014, 289: 133-149.

[17] Yajima H, Choi J. Changes in phytoplankton biomass due to diversion of an inflow into the Urayama Reservoir[J]. Ecological engineering, 2013, 58: 180-191.

[18] 卢嘉, 陈小华, 李小平. 基于 ELCOM-CAEDYM 模型的淀山湖营养物投入响应关系的模拟[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 366-374.

[19] 王长友, 于洋, 孙运坤, 等. 基于 ELCOM-CAEDYM 模型的太

湖蓝藻水华早期预测探讨[J]. 中国环境科学, 2013, 33(3): 491-502.

[20] 成晓奕, 李慧赟, 戴淑君. 天目湖沙河水库溶解氧分层的季节变化及其对水环境影响的模拟[J]. 湖泊科学, 2013, 25(6): 818-826.

[21] 谢兴勇, 钱新, 钱瑜, 等. “引江济巢”工程中水动力及水质数值模拟[J]. 中国环境科学, 2009, 28(12): 1133-1137.

[22] 谢国清, 李蒙, 鲁伟坤, 等. 滇池蓝藻水华光谱特征、遥感识别及暴发气象条件[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 327-336.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在宁夏银川市西夏区镇北堡镇蔬菜生产基地进行。镇北堡镇(38°37'N、106°03'E)气候干燥,日照充足,光热资源丰富,日照时数约为 3 039.6 h,无霜期约为 129 d,年降水量仅为 99.7 mm~233.1 mm,而年蒸发量高达 1 583.2 mm,属典型中温带干旱气候^[11]。

选择的温室为种植了 4 年的日光温室,供试土壤为粉沙壤土,土壤 pH 值为 8.21,电导率(EC)值为 0.25 mS/cm,有机质含量为 5.02 g/kg,全氮含量为 0.34 g/kg,全磷含量为 0.46 g/kg,全钾含量为 0.58 g/kg,有效氮含量为 12.58 mg/kg,有效磷含量为 19.82 mg/kg,有效钾含量为 156.2 mg/kg。

1.2 试验材料

供试甜瓜(*Cucumis melo*)品种为 No.1。蚯蚓粪原材料由牛粪和秸秆堆置而成,经大平 2 号蚯蚓分解而得,pH 值为 8.34,EC 为 0.23 mS/cm,有效钾含量为 0.53 g/kg,有效磷含量为 0.71 g/kg,有效氮含量为 0.13 g/kg,全钾含量为 6.88 g/kg,全磷含量为 2.06 g/kg,全氮含量为 9.34 g/kg,有机质含量为 196.34 g/kg。

1.3 试验设计

供试温室长 88 m,宽 7.6 m,没有加温和补光设备。试验于 2017 年 4—7 月之间进行,共设 4 个处理:0、30、60、90 t/hm² 蚯蚓粪,分别记为 CK、VC₂、VC₄、VC₆。试验为完全随机区组设计,每个处理 3 个小区,小区长 4.2 m,宽 7 m,每小区种植 3 畦,采用宽窄行方式栽培,大行距为 80 cm,小行距为 40 cm,株距为 40 cm,每畦共种植 36 株甜瓜苗。

选取长势一致的甜瓜壮苗,于 2017 年 4 月 18 日定植,于 2017 年 7 月 2 日拉秧。灌溉方式采用覆膜滴灌,每畦 2 条,各处理施肥量以及灌水量均一致,在甜瓜生长期,各处理每次施尿素、硝酸钾及复合肥总量为 150 kg/hm²,全生育期共追施 10 次,定期整枝打杈,其他栽培管理措施保持一致。

1.4 样品的采集与分析

1.4.1 土壤样品采集 土壤样品在结果盛期于根围(距离植株茎 2 cm 左右)选取 5 个不同部位用土钻采样,采集后将样品混合。将土壤样品过 2 mm 筛并混匀,然后将样品分成 2 份,1 份保存于 -20℃ 冰箱冷冻,用于微生物相关指标测定;1 份风干后测定。

1.4.2 土壤理化指标的测定 参考鲍士旦的方法^[12]测定土壤理化性质。

1.4.3 土壤酶活性的测定 参考关松荫的方法^[13]测定土壤酶活性。采用苯酚-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性,以 1 d 后 1 g 土壤中氨态氮(NH₃-N)的质量(mg)计;采用磷酸苯二钠比色法测定土壤磷酸酶活性,以 1 d 后 1 g 土壤中释放出的酚的质量(mg)计;采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性,以 1 d 后 1 g 干土生成的葡萄糖(C₆H₁₂O₆)的质量(mg)计;采用高锰酸钾滴定法测定土壤过氧化氢酶活性,以 1 g 土壤在 20 min 内消耗的 0.02 mol/L KMnO₄ 体积(mL)计;采用比色法测定蛋白酶活性,以 1 d 后 1 g 土壤中氨基氮(NH₂-N)的质量(mg)表示。

1.4.4 土壤微生物指标的测定 土壤微生物数量测定采用

稀释平板计数法。采用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌;采用马丁孟加拉红-链霉素选择性培养基培养真菌;采用改良高氏一号培养基培养放线菌^[14];采用阿须贝氏培养基培养好氧性自生固氮菌;采用蛋白胨液体培养基培养氨化细菌;采用铵盐培养基培养亚硝化细菌;采用柠檬酸钠培养基培养反硝化细菌^[15]。参考吴金水等的方法^[16]测定土壤微生物量碳和氮。采用三氯甲烷熏蒸直接提取-重铬酸钾/硫酸消煮-硫酸亚铁滴定法测定微生物量碳;采用茚三酮反应态氮增量法测定微生物量氮。采用 Biolog ECO 微平板测定微生物碳源利用情况^[17],主要包括碳水化合物、多聚类、羧酸类、氨基酸类、胺类、酚类。具体测定方法为将土样用无菌水稀释成 10⁻³ 土壤稀释液,于每个 ECO 微平板孔中添加 150 μL 土壤悬液并在 25℃ 黑暗条件下培养。每隔 24 h 在 590 nm 处测定吸光度直至稳定。

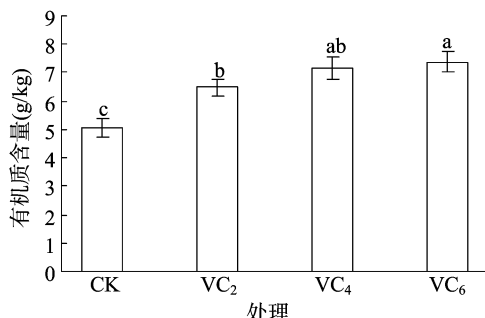
1.5 数据处理

采用 Excel 制图,用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,选用 LSD 法在 α=0.05 水平上进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓粪对土壤有机质和全氮含量的影响

土壤有机质含量代表土壤肥力,通过改善土壤团粒结构和增加土壤通透性,可有效缓解作物逆境作用,为地上部植物提供养分,同时也作为土壤微生物的碳源和氮源^[18],重建土壤微生物群落并增强其活性。由图 1 可知,蚯蚓粪处理显著提高土壤有机质含量,与 CK 相比,蚯蚓粪处理有机质含量增加了 21.93%~31.38%,且随着蚯蚓粪施用量增加表现为递增趋势,其中 VC₆ 处理有机质含量最高。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

图1 不同蚓粪处理对土壤有机质含量的影响

土壤全氮反映了土壤氮素的整体水平,是土壤潜在肥力的表征之一,与土壤有机质含量具有正相关性^[17],也是土壤肥力的重要指标。由图 2 可知,施用蚯蚓粪显著提高了土壤全氮含量,与 CK 相比,增加了 35.64%~48.29%。施蚯蚓粪对全氮含量的影响与有机质含量趋势一致,均随着蚯蚓粪施用量的增加而增加。

2.2 蚯蚓粪对土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤生物化学过程的主要参与者,其中脲酶促进尿素转化为氨供植物吸收利用,磷酸酶促进土壤中的有机磷转化为无机磷,蔗糖酶促进蔗糖的转化与分解,过氧化氢酶分解土壤中对活细胞有害的过氧化氢,其土壤酶活性与微生物数量与活性、土壤呼吸强度及土壤肥力密切相关。此外,蛋白酶参与土壤中众多有机物的转化,其活性与土壤中的有机

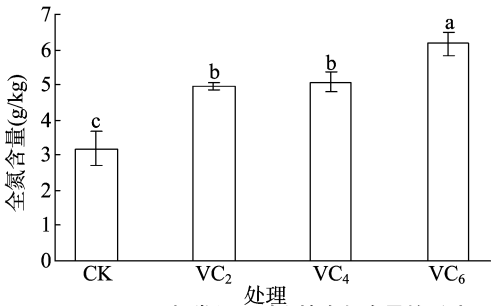


图2 不同蚓粪处理对土壤全氮含量的影响

质及氮素含量有关。由表 1 可知,蚯蚓粪显著影响了土壤酶

表 1 不同蚓粪处理对土壤酶活性的影响

处理	酶活性				
	蔗糖酶 [mg/(g·d)]	脲酶 [mg/(g·d)]	磷酸酶 [mg/(g·d)]	蛋白酶 [mg/(g·d)]	过氧化氢酶 [mL/(g·20 min)]
CK	10.76d	0.24a	0.89c	8.67b	1.57d
VC ₂	13.10c	0.35a	1.30b	8.98b	2.04c
VC ₄	16.74b	0.34a	1.52a	10.56ab	2.53b
VC ₆	21.40a	0.33a	1.49a	11.95a	2.79a

注:同列数值后不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。表 2、表 3 同。

2.3 蚯蚓粪对土微生物群落结构的影响

微生物的主要组成成分有细菌、放线菌和真菌,在耕作层中细菌数量居多,同时也是土壤中最活跃的生物因素,其次为放线菌,真菌数量最少,其主要作用是分解土壤中的有机化合物和促进土壤中腐殖质的合成以及推动土壤中各种物质循环^[19]。由表 2 可知,蚯蚓粪处理显著影响土壤可培养细菌和放线菌数量,对真菌数量影响不显著;与 CK 相比,蚯蚓粪处理土壤的可培养细菌数量增加了 118.24%~274.53%,可培养放线菌数量增加了 44.29%~115.89%;VC₄ 与 VC₆ 处理间的放线菌数量差异不显著;可培养细菌、放线菌数量随蚯蚓粪施用量的增加而增加,VC₆ 处理最大。结果表明,蚯蚓粪可

活性,除对脲酶活性的影响没有达到显著水平外,对其他酶活性的影响均达到显著水平。与 CK 相比,蚯蚓粪处理的蔗糖酶活性提高了 21.75%~98.88%,磷酸酶活性提高了 46.07%~70.79%,蛋白酶活性提高了 3.58%~37.83%,过氧化氢酶活性提高了 29.94%~77.71%,对磷酸酶活性的影响最明显,可能由于蚯蚓粪激发了土壤磷酸酶活性,从而促进无机磷释放;蚯蚓粪各处理间的蔗糖酶与过氧化氢酶活性差异均达到 0.05 显著水平,VC₄ 与 VC₆ 处理的磷酸酶与蛋白酶活性差异没有达到 0.05 显著水平。整体来看,土壤酶活性基本随着蚯蚓粪施用量的增加而增加,多数酶活性以 VC₆ 处理最大,表明蚯蚓粪能够提高土壤的生物活性和土壤肥力。

以促进土壤细菌和放线菌的繁殖,从而促进土壤有机质的矿化及作物对水分、养分的吸收利用。

从表 2 还可以看出,蚯蚓粪同时也显著影响土壤的生理菌群数量。CK 处理自生固氮菌数量与 VC₄、VC₆ 处理相比差异显著($P<0.05$),分别是 VC₄、VC₆ 处理的 1.79、2.61 倍;与 CK 相比,蚯蚓粪处理土壤的氨化细菌数量增加了 192.12%~471.52%,亚硝化细菌数量增加了 34.91%~90.95%,反硝化细菌数量增加了 33.33%~332.81%,并且这些生理菌群数量均随蚯蚓粪施用量的增加而增加,VC₆ 处理菌落数量最多。结果说明,蚯蚓粪有利于生理菌群的繁殖,尤其是反硝化细菌。

表 2 不同蚓粪处理对土壤可培养微生物数量的影响

处理	不同类型菌数量						
	细菌 [×10 ⁶ CFU/g]	放线菌 [×10 ⁵ CFU/g]	真菌 [×10 ⁴ CFU/g]	自生固氮菌 [×10 ⁴ CFU/g]	氨化细菌 [×10 ⁶ CFU/g]	亚硝化细菌 [×10 ⁶ CFU/g]	反硝化细菌 [×10 ⁶ CFU/g]
CK	3.18d	5.60c	2.00a	5.32a	1.65c	4.64c	1.92c
VC ₂	6.94c	8.08b	2.34a	3.84ab	4.82b	6.26b	2.56c
VC ₄	9.05b	11.64a	2.86a	2.98b	6.18b	8.57a	5.44b
VC ₆	11.91a	12.09a	1.84a	2.04b	9.43a	8.86a	8.31a

2.4 蚯蚓粪对土微生物量碳氮的影响

土壤微生物量氮既是土壤有机质及土壤养分转化和循环的动力,也是土壤活性养分库^[20],以无机养分的形式释放并供植物吸收利用。土壤微生物量碳含量变化反映了微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成而大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程^[21]。由图 3 可以看出,蚯蚓粪处理微生物量碳、微生物氮含量均有不同程度提高,且施用量越大效果越明显。与 CK 相比,蚯蚓粪处理土壤微生物碳含量增加了 7.64%~44.45%,土壤微生物量氮含量增加了 22.46%~58.43%,其中 VC₄ 和 VC₆ 处理与对照差异均达显著水平。表明蚯蚓粪能提高土壤碳氮源含量,促进微生物繁殖。

2.5 蚯蚓粪对土壤微生物碳源利用的影响

碳是微生物的主要食源,不同类型微生物对碳源利用的水平不同。由表 3 可以看出,蚯蚓粪处理显著影响土壤所有类型碳源利用。与 CK 相比,施用蚯蚓粪显著提高了土壤碳水化合物、多聚类、羧酸类、氨基酸类、胺类及酚类碳源的利用水平,且随蚯蚓粪施用量增加土壤微生物碳源利用水平逐渐提高,VC₆ 处理达到最大值,分别提高了 41.48%、50.35%、39.01%、21.56%、58.86%、60.96%。结果表明,蚯蚓粪处理可提高碳源利用水平,使不同类型微生物活性增强,利于土壤微生态环境的改良。

3 结论与讨论

有机质是评价土壤肥力水平的重要指标之一^[22]。本研

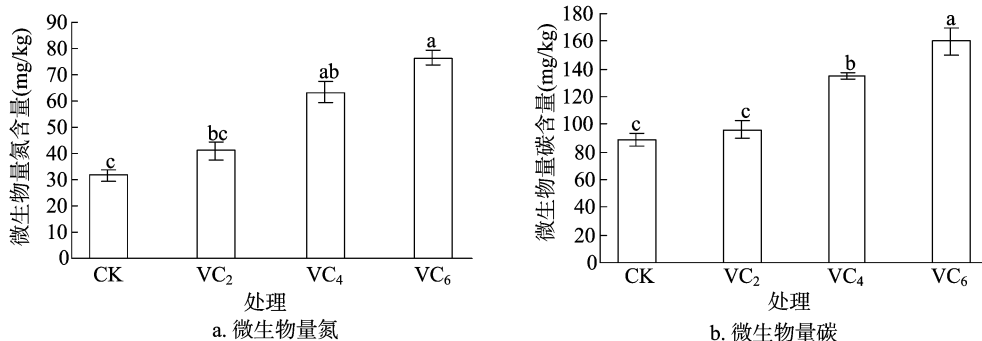


图3 土壤酶活性的影响微生物碳氮的影响

表3 不同蚓粪处理对土壤微生物碳源利用的影响

处理	对不同碳源的利用水平					
	碳水化合物	多聚类	羧酸类	氨基酸类	胺类	酚类
CK	1.35c	1.41c	1.41b	1.67c	1.58c	1.46c
VC ₂	1.41c	1.68b	1.52b	1.82bc	1.71c	1.56d
VC ₄	1.75b	1.81b	1.82a	1.95ab	2.31b	1.82b
VC ₆	1.91a	2.12a	1.96a	2.03a	2.51a	2.35a

究结果表明,土壤通过添加蚓粪,显著提高了土壤的有机质含量,对土壤具有很好的培肥作用。与 CK 相比,蚯蚓粪处理有机质含量增加了 21.93%~31.38%,这与郑世英等的研究结果^[23]相符。主要由于蚓粪含有丰富的有机质以及腐殖质,且饲养蚯蚓的饵料来源于黄牛粪,使得蚯蚓粪中营养物质的含量高于相同原材料的普通堆肥,进而有机质和腐殖质含量均增加。蚓粪中还含有植物生长激素、各种酶类物质及有益微生物^[24],在微生物作用下,有机质与土壤中钙离子凝聚形成稳定的团粒结构,土壤容重降低^[25],使土壤具备良好的透气性、持水性、排水性和好氧环境,从而促进土壤中营养物质的利用及植物根系的生长^[26]。

土壤酶活性是土壤中生物化学过程的总体现,反映土壤生物活性和土壤生化反应强度、土壤性质和肥力水平^[27]。本研究结果表明,土壤施用蚯蚓粪,土壤磷酸酶、蔗糖酶、蛋白酶及过氧化氢酶活性显著提高,但对脲酶活性影响不显著,这可能由于土壤磷酸酶、蛋白酶与蔗糖转化酶活性分别与速效磷、碱解氮、溶解性碳含量呈显著正相关^[28],蚯蚓粪、生物碳、秸秆的施用,使得土壤中可利用氮、磷、碳含量迅速增加,而这些元素作为微生物生长的能源物质被吸收利用,刺激土壤微生物的活性,促进各种酶的分泌以及土壤氮、磷、碳素循环,从而增强了土壤酶活性,提高了土壤生产力。

外源蚓粪带入土壤大量微生物以及种微生物生长所需的养分^[29]。研究表明,蚯蚓粪的添加显著增加了土壤可培养微生物的量。本研究结果表明,蚓粪处理能显著提高土壤可培养细菌和放线菌数量,这说明蚯蚓粪处理可促进土壤微生物繁殖,一方面由于土壤中多数微生物处于一种低营养状态,蚯蚓粪加入为土壤中微生物提供新的能源,使土壤中微生物数量及类群发生了改变;另一方面由于蚓粪中含有大量有益微生物,施入土壤中促进土壤中优势种群的生长繁殖,对微生物群落组成和多样性具有一定的调控作用,进而增加土壤中细菌、放线菌、真菌数量。有报道表明,施用蚓粪增加了土壤有机物数量,对土壤微生物起促进作用。本研究表明,蚯蚓粪处理有利于土壤生理菌群数量的增加,主要由于蚓粪表面具有

结构特殊,具有很好的孔性和很大的表面积,具有很强的吸附特性及对土壤酸碱的缓冲能力,并具有吸收和保持营养物质的能力,可改善土壤理化性质,调控土壤微生物生态等。

微生物碳氮作为土壤-作物二者之间极其重要的纽带,推动着土壤有机质和土壤养分的转化与循环^[29-30]。本研究结果表明,蚓粪可显著提高土壤微生物碳氮含量,较 CK 土壤微生物碳含量增加了 7.64%~44.45%,土壤微生物氮含量增加了 22.46%~58.43%。蚯蚓粪作为土壤改良剂,能够有效改良土壤结构,提高土壤的通透性,改善土壤微生物的生活环境,为微生物生长提供碳源、氮源和其他养分^[31],加强土壤中微生物生长和繁殖的能力,进而增加了微生物生物碳氮含量,促进微生物碳氮的增加。

蚓粪施入增加了微生物对碳源的利用,但微生物对碳源的利用存在很大差异^[32]。土壤微生物群落对碳源的利用表明,蚯蚓粪提高了土壤碳水化合物、多聚类、羧酸类、氨基酸类、胺类及酚类碳源的利用率。可能由于外源有机物料施入,改善了土壤环境,增强了土壤生态系统功能,为微生物生长繁殖提供了良好的环境,增加了微生物数量和微生物多样性^[33],进一步提高了微生物对碳源的利用。

参考文献:

- [1] 张宁. 蚯蚓堆肥对西瓜和番茄生长、品质及产量的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2012:15-18.
- [2] 王芳,张金水,高鹏程,等. 不同有机物料培肥对渭北旱塬土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):702-709.
- [3] Lugato E, Berti A, Giardini L. Soil organic carbon (SOC) dynamics with and without residue incorporation in relation to different nitrogen fertilisation rates[J]. Geoderma, 2006, 135(11):315-321.
- [4] 林新坚,林斯,邱珊莲,等. 不同培肥模式对茶园土壤微生物活性和群落结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(1):93-101.
- [5] Plaza C, Hernández D, García-Gil J C, et al. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36(10):1577-1585.
- [6] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报,2002,39(1):83-90.
- [7] 陈玉成,皮广洁,黄伦先,等. 城市生活垃圾蚯蚓处理的因素优化及其重金属富集研究[J]. 应用生态学报,2003,14(11):2006-2010.
- [8] 曹志平,胡诚,叶钟年,等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田

- 土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报,2006,26(5):1486 – 1493.
- [9]王继红,刘景双,于君宝,等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(1):35 – 38.
- [10]王明友,张红,李士平,等. 蚯蚓粪与化肥配施对西瓜地土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 水土保持通报,2015,35(4):101 – 106.
- [11]《银川市西夏区志》编纂委员会. 银川市西夏区志[M]. 银川:宁夏人民出版社,2010:58.
- [12]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:39 – 114.
- [13]关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:52 – 56.
- [14]许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:18 – 22.
- [15]顾美英,唐光木,葛春辉,等. 不同秸秆还田方式对和田风沙土壤微生物多样性的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(4):489 – 498.
- [16]吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社,2006:69 – 73.
- [17]曹云娥. 秸秆生物反应堆和高碳堆肥改善微咸水灌溉下设施黄瓜生长的机制探究[D]. 北京:中国农业大学,2016:45.
- [18]孙婧,田永强,高丽红,等. 秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(6):153 – 164.
- [19]贾德新,李士平,王风丹,等. 蚯蚓粪对豇豆根际土壤生物学特征及微生物活性的影响[J]. 浙江农业学报,2016,28(2):318 – 323.
- [20]薛菁芳,高艳梅,汪景宽,等. 土壤微生物量碳氮作为土壤肥力指标的探讨[J]. 土壤通报,2007,38(2):247 – 250.
- [21]张奇春,王光火,方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响[J]. 土壤学报,2005,42(1):116 – 121.
- [22]张聪俐,戴军,周波,等. 不同比例蚓粪对玉米生长以及土壤肥力特性的影响[J]. 华南农业大学学报,2013,34(2):137 – 143.
- [23]郑世英,郑建峰,王宝泉,等. 蚯蚓粪对草莓土壤肥力及产量和品质的影响[J]. 北方园艺,2017,10(4):16 – 20.
- [24]单颖,赵凤亮,林艳,等. 蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望[J]. 热带农业科学,2017,6(6):11 – 17.
- [25]Sharma S, Pradhan K, Satya S, et al. Potentiality of earthworms for waste management and in other uses: a review [J]. Journal of American Science, 2005, 1(1):4 – 16.
- [26]Atiyeh R M, Edwards C A, Suler S, et al. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth [J]. Bioresource Technology, 2001, 78(1):11 – 20.
- [27]郭小强,毛宁,张希彪,等. 不同施肥处理对辣椒根际土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 作物杂志,2014,18(6):123 – 126.
- [28]张池,陈旭飞,周波,等. 不同比例蚓粪对旱地土壤微生物学特性以及酶活性的影响[J]. 中国农业大学学报,2014,19(1):118 – 124.
- [29]张池,陈旭飞,周波,等. 蚓粪施用对土壤微生物特征以及酶活性的影响[J]. 土壤,2014,46(1):70 – 75.
- [30]顾美英,刘洪亮,李志强,等. 新疆连作棉田施用生物炭对土壤养分及微生物群落多样性的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(20):4128 – 4136.
- [31]王文锋,李春花,黄绍文,等. 不同施肥模式对设施菜田土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(5):1286 – 1297.
- [32]井大炜. 施用蚯蚓粪对杨树苗根际土壤生物学特征的影响[J]. 水土保持通报,2014,34(1):133 – 137.
- [33]陈伟,周波,束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3850 – 3856.

(上接第280页)

提高环境污染中手性农药的降解修复效果。

参考文献:

- [1]Antwi F B, Reddy G V P. Toxicological effects of pyrethroids on non – target aquatic insects [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2015, 40(3):915 – 923.
- [2]Ye J, Zhao M R, Liu J, et al. Enantioselectivity in environmental risk assessment of modern chiral pesticides [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(7):2371 – 2383.
- [3]Chen S H, Hu M Y, Liu J J, et al. Biodegradation of beta – cypermethrin and 3 – phenoxybenzoic acid by a novel *Ochrobactrum lupini* DG – S – 01 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 187(1/2/3):433 – 440.
- [4]史颖,唐洁,姚开,等. 氰戊菊酯降解菌的筛选与鉴定及其降解条件优化[J]. 食品工业科技,2016,37(2):217 – 222,243.
- [5]Liu W P, Gan J Y, Schlenk D, et al. Enantioselectivity in environmental safety of current chiral insecticides [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(3):701 – 706.
- [6]Virginia P F, Maria A G, Marina L M. Characteristics and enantiomeric analysis of chiral pyrethroids [J]. Journal of Chromatography A, 2010, 1217(7):968 – 989.
- [7]Sakata S, Mikami N, Yamada H. Degradation of pyrethroid optical isomers in soils [J]. Journal of Pesticide Science, 1992, 17(3):169 – 180.
- [8]Liu W P, Gan J J, Lee S, et al. Isomer selectivity in aquatic toxicity and biodegradation of cypermethrin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(20):6233 – 6238.
- [9]Liu W P, Gan J Y, Lee S, et al. Isomer selectivity in aquatic toxicity and biodegradation of bifenthrin and permethrin [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2005, 24(8):1861 – 1866.
- [10]东秀珠,蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,2001:370 – 410.
- [11]奥斯伯 F M, 布伦特 R, 金斯顿 R E, 等. 精编分子生物学实验指南[M]. 5版. 金由辛, 包慧中, 赵丽云, 等译. 北京:科学出版社,2001.
- [12]李森,田晶,李朝阳,等. 氯菊酯微生物手性降解的研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(20):282 – 284.
- [13]Qin S J, Gan J. Enantiomeric differences in permethrin degradation pathways in soil and sediment [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(24):9145 – 9151.
- [14]Li Z Y, Luo X N, Li Q L, et al. Stereo and enantioselective separation and identification of synthetic pyrethroids, and photolytical isomerization analysis [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2015, 94(2):254 – 259.