



湿垃圾来源的蚯蚓粪肥对连作障碍土壤质量和黄瓜产量的影响

杨晓磊, 王亚利, 张一帆, 陆萍, 张蓉, 吴健, 陈卫华, 李银生

引用本文:

杨晓磊,王亚利,张一帆,陆萍,张蓉,吴健,陈卫华,李银生. 湿垃圾来源的蚯蚓粪肥对连作障碍土壤质量和黄瓜产量的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(2): 161–170.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4745>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

氮磷添加对华南地区2种人工林土壤氮磷循环酶活性的影响

Effects of Long-term Nitrogen and Phosphorus Additions on Soil Enzyme Activities Related N and P Cycle in Two Plantations in South China

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 244–250 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4293>

外来入侵植物薇甘菊的2种化感物质对土壤氮循环的影响

Effects of Two Allelochemicals in Alien Invasive Plant *Mikania micrantha* on Soil Nitrogen Cycling

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 292–300 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4150>

地被植物对广东常绿阔叶林土壤养分的指示作用

Indicative Effect of Ground Vegetation on Soil Nutrient Status in Evergreen Broad-leaved Forest of Guangdong

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 115–123 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4105>

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483–493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

人为干扰对栲树次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响

Effect of Human Disturbance on Species Diversity and Soil Physiochemical Properties of *Castanopsis fargesii* Secondary Forest

热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 355–362 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3843>

向下翻页，浏览PDF全文

湿垃圾来源的蚯蚓粪肥对连作障碍土壤质量和黄瓜产量的影响

杨晓磊^{1,2}, 王亚利^{2,3}, 张一帆², 陆萍⁴, 张蓉⁴, 吴健⁵, 陈卫华⁵, 李银生^{2*}

(1. 上海市农业技术推广服务中心, 上海 200000; 2. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; 3. 河南工业大学环境工程学院, 郑州 450001; 4. 上海市嘉定区农业技术推广服务中心, 上海 201899; 5. 上海黎明资源再利用有限公司, 上海 201209)

摘要: 随着城市化的发展, 湿垃圾产量与日俱增, 湿垃圾资源化利用迫在眉睫。利用蚯蚓处理湿垃圾制作蚯蚓粪肥用于农田土壤改良, 是一项有效的湿垃圾资源化利用途径以及有利于缓解蔬菜连作障碍方面问题。该文以常规有机肥为参照, 选取以湿垃圾及其厌氧沼渣为原料制作的蚯蚓粪肥为研究对象, 研究连续 3 年施加蚯蚓粪肥对黄瓜(*Cucumis sativus*)土壤综合质量和作物产量的影响。结果表明, 经过 3 年的改良后, 施加 60.0 t/hm² 蚯蚓粪肥的黄瓜产量提高了 5.60%, 土壤有机质含量提高了 50.0%, 且蚯蚓粪肥的效果要高于常规有机肥; 土壤全氮含量达到最高, 高于背景值 33.0%; 土壤的养分含量(硝态氮、速效磷、速效钾)也得到了提高, 其中速效钾含量升高了 94.0%。经过 3 年的改良, 土壤中的细菌数量在施加了有机肥后明显增加, 其中以添加 30.0 t/hm² 蚯蚓粪肥的细菌数量最多; 土壤细菌/真菌的比值有所提高, 土壤生物性状得到改善。土壤的呼吸强度随着有机肥的施入而升高, 以施加 60.0 t/hm² 蚯蚓粪肥的最大; 土壤 pH 略有降低, 盐度无明显变化。因此, 湿垃圾来源的蚯蚓粪肥能改善土壤的理化和生物学性质, 可在一定程度上缓解连作障碍的发生, 可作为化肥替代品或与化肥相配合在农业生产中进行推广。

关键词: 湿垃圾; 蚯蚓粪肥; 连作障碍; 黄瓜; 土壤性质

doi: 10.11926/jtsb.4745

Effects of Earthworm Manure Fertilizer Produced by Wet Waste on Continuous Cropping Obstacles on Soil Properties and Yield of *Cucumis sativus*

YANG Xiaolei^{1,2}, WANG Yali^{2,3}, ZHANG Yifan², LU Ping⁴, ZHANG Rong⁴, WU Jian⁵, CHEN Weihua⁵, LI Yinsheng^{2*}

(1. Shanghai Agricultural Technology Extension and Service Center, Shanghai 200000, China; 2. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 3. School of Environmental Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 4. Shanghai Jiading Agricultural Technology Extension and Service Center, Shanghai 200000, China; 5. Shanghai Liming Resources Reuse Limited Corporation, Shanghai 200000, China)

Abstract: With the development of urbanization, the output of wet waste is increasing, and the resource utilization of wet waste is imminent. Using earthworm to treat wet waste to make earthworm manure for farmland soil improvement is an effective way of resource utilization of wet refuse and is conducive to alleviating the obstacles of vegetable continuous cropping. Earthworm manure made from wet waste and anaerobic biogas residue was selected as the study object. The effects of earthworm manure applied for three consecutive years on soil

收稿日期: 2022-11-06 接受日期: 2022-11-20

基金项目: 上海浦东环保发展有限公司项目; 上海市科技兴农项目(X20190308); 国家重点研发计划项目(2017YFD0501405); 河南省科技攻关国际合作项目(222102520037)资助

This work was supported by the Project of Shanghai Pudong Environmental Protection Development Co., Ltd, the Project for Agriculture Science and Technology in Shanghai (Grant No. X20190308), the National Key Research and Development Program of China (Grant No. 2017YFD0501405), the International cooperation Project of Science and Technology Research in Henan (Grant No. 222102520037).

作者简介: 杨晓磊(1982年生), 女, 硕士, 高级农艺师, 研究方向为农业环保与土壤肥料。E-mail: sht12345678@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yinshengli@sjtu.edu.cn

quality and crop yield of *Cucumis sativus* were studied. The results showed that after three years of improvement, the organic matter content and cucumber yield treated with 60.0 t/hm² earthworm manure increased by 50.0% and 5.60%, respectively, and the effect of earthworm manure was higher than that of conventional organic manure. The soil total nitrogen content reached the highest level, which was 33.0% higher than the background value. The soil nutrient content (nitrate nitrogen, available phosphorus, available potassium) was also improved, and the available potassium content was increased by 94.0%. After 3 years of improvement, the number of bacteria in the soil increased significantly with the application of organic fertilizer, in which was the highest treated with 30.0 t/hm² earthworm manure. The ratio of soil bacteria/fungi was increased, and the biological properties of soil were improved. The soil respiration intensity increased with the application of organic fertilizer, in which was the highest treated with 60.0 t/hm² earthworm manure. Soil pH decreased slightly and salinity did not change significantly. Therefore, earthworm manure from wet waste can improve the physical, chemical and biological properties of soil, alleviate the occurrence of continuous cropping obstacles to a certain extent, and can be used as a substitute for chemical fertilizer or combined with chemical fertilizer to promote agricultural production.

Key words: Wet waste; Earthworm manure fertilizer; Continuous cropping obstacle; *Cucumis sativus*; Soil property

连作障碍是指同种作物或近源作物在同一地块上连续种植两茬以上后,出现的作物生长环境恶化和生长发育异常的现象^[1-2]。长期连作会导致作物对养分的吸收利用受抑制,造成严重的病虫害,从而影响作物的产量和品质^[3-4]。作物连作障碍问题已存在多年,且空间分布广泛,作物种类繁多,危害较为严重,产生的原因也极为复杂,尤其是土壤、作物等诸多因素综合作用产生的结果^[5]。有专家认为连作障碍发生的主要原因如下:土壤养分失衡、土壤酸化板结、土壤盐渍化、土壤病虫害现象加重、土壤的酶活性降低、蔬菜作物的自毒作用等^[6-7]。目前生产上解决连作障碍的对策主要包括改善土壤理化性质、轮作换茬、间作套种、土壤消毒灭菌、抗性品种选育和生物防治等方法^[8]。但是近些年常用的方法是改善土壤理化性质^[8],主要有施加堆肥有机肥、添加秸秆、施加生物有机肥、添加石灰、施加微生物菌肥等^[9]。

蚯蚓粪是一种生物有机肥,含有大量养分且具有丰富微生物^[10-12],具有很高的应用价值,同时还可替代化肥,减少设施农业生产过程中化肥的施用量^[13],改善设施连作土壤团聚体结构,增加土壤中有机质的含量,减少土壤盐分含量^[10]。有研究表明蚯蚓粪能够提高蔬菜的产量和品质,也可能减少土传病的发生^[9-12]。施用蚯蚓粪能够使黄瓜的株高、茎粗、叶片数及产量提高^[13-14]。有研究表明,蚯蚓粪可显著促进连作黄瓜(*Cucumis sativus*)幼苗生长,提高其根际土壤肥力,缓解黄瓜连作生长障碍^[15-16]。

随着城市化的发展,湿垃圾产量与日俱增,湿

垃圾资源化利用迫在眉睫。利用蚯蚓处理湿垃圾及湿垃圾沼渣制作蚯蚓粪肥用于农田土壤改良,是一项有效的湿垃圾资源化利用途径。目前大多数的研究主要集中在以牛粪为主的有机废弃物堆肥,而利用湿垃圾进行堆肥并应用于土壤改良的研究报道较少。本研究采用设施大棚田间小区试验,在小区中施用常规有机肥及利用湿垃圾制作的蚯蚓粪肥料对黄瓜连作土壤进行改良,研究不同种肥料在连续种植三季黄瓜后对土壤的理化性质、土壤肥力和土壤微生物特征等的影响,可为有机肥在土壤改良和克服连作障碍等方面的应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验地点位于上海市嘉定区外冈镇的上海绿望蔬果产销专业合作社,该地区属于北亚热带季风气候区,四季分明,种植区为常年种植蔬菜瓜果的大棚,土壤为青黄土,质地为壤土,土壤的基本理化性质如下:pH 6.87、有机质 2.52%、全氮 1.18%、硝态氮 115 mg/kg、土壤碳氮比为 1.24、速效磷 220 mg/kg、速效钾 232 mg/kg、全盐量 1.79 g/kg、呼吸强度 58.1 mL/kg。整体而言,肥力中上等^[17],地力均匀。

有机肥购自上海永辉羊业有限公司,其水分含量 19.5%、全氮含量 2.68%、全磷含量 3.71% (以 P₂O₅ 计,下同)、全钾含量 1.10% (以 K₂O 计,下同)、有机质含量 75.2%、C/N 为 16.3、pH 7.94。湿垃圾来源的蚯蚓粪制作方法:湿垃圾处理站的日常湿垃圾、

湿垃圾厌氧发酵装置中排出的沼渣、稻麦秸秆、菌菇渣按质量比 1:1:1:1 混合均匀后饲喂蚯蚓 4 周, 去除蚯蚓, 将物料收集起来进行好氧发酵, 其水分含量为 17.93%、全氮含量 2.77%、全磷含量 2.96%、全钾含量 2.59%、有机质含量 46.90%、C/N 为 9.82、pH 7.30。

供试作物为黄瓜(*Cucumis sativus*), 品种为‘长青’。采用基质穴盘育苗, 于每年 4 月 7 日—27 日将一叶到二叶一心的黄瓜幼苗移栽田间, 5 月下旬至 7 月下旬开花后 7 d 左右采收, 黄瓜采收结束后, 收集试验终期土壤样品。黄瓜种植期间, 进行常规田间试验的管理工作。

1.2 试验设计

本试验连续种植 3 年黄瓜, 每年种植时土壤中添加基肥(45%的复合肥 3.33 kg/hm²)。设置 5 个处理, 分别为: 常规有机肥 30.0 t/hm² (CG)、蚯蚓粪肥 15.0 (V1)、30.0 (V2)和 60.0 t/hm² (V3)、不添加有机肥的对照(CK)。计算有机肥和蚯蚓肥的氮磷钾含量, 以最高含量为标准, 不足的采用复合肥补充, 使得各处理的氮磷钾施用量保持一致。肥料撒入土壤后再耕地, 使得肥料与土壤充分混匀。每个处理设 3 个重复, 本试验共计 15 个小区。每个小区面积为 20.8 hm², 随机区组排列。

1.3 方法

黄瓜移栽 3 个月后, 每个小区按五点法采集 0~20 cm 层的土壤, 混合缩分作为该小区的代表性样品。土壤分成两部分, 一部分风干, 除杂质, 研磨, 过筛, 测定土壤全氮、硝态氮、速效钾、有效磷、有机质、pH 值、全盐量; 另一部分土壤鲜样参照《土壤农化分析》^[18]和 ISO/TS 29843—2^[19]进行呼吸强度和细菌、真菌的测定, 同时采用 PLFA 法测定磷脂脂肪酸。

1.4 数据的统计分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 软件对试验数据进行统计分析并作图。采用单因素和双因素方差分析法研究蚯蚓粪肥与常规有机肥对黄瓜连作土壤理化性质的影响。采用 Tukey 法进行多重比较, 显著性水平设为 0.05。

2 结果和分析

2.1 对黄瓜产量的影响

从表 1 可见, 与对照(CK)相比, 2017 年施加普

通有机肥(CG)没有显著影响黄瓜的产量, 而施用蚯蚓粪肥处理的黄瓜产量均增加; 2018 年施加 CG 使黄瓜的产量略有降低, 而施加蚯蚓粪肥对黄瓜的产量无显著影响($P>0.05$); 由于 2019 年种植期间遇到台风大雨灾害, 黄瓜的产量分别比与前两年减少了 8.39 和 9.49 t/hm², 以施加 30.0 t/hm² 蚯蚓粪肥(V2)的产量最高, 为 39.58 t/hm², 显著高于 CK ($P<0.05$); 而 CG 处理的产量最低, 为 37.50 t/hm², 与 CK 无显著差异($P>0.05$)。

表 1 不同有机肥处理对黄瓜产量(t/hm²)的影响

Table 1 Effects of different organic fertilizer on *Cucumis sativus* yield (t/hm²)

处理 Treatment	2017	2018	2019
CG	3.10±1.22ab	3.17±14.3b	2.50±65.0b
V1	3.10±12.1ab	3.20±7.88ab	2.52±66.5b
V2	3.16±4.53a	3.18±13.1ab	2.64±24.8a
V3	3.16±16.4a	3.18±17.3ab	2.59±23.1ab
CK	3.04±50.0b	3.21±8.45a	2.52±9.76b

CG: 常规有机肥; V1、V2、V3 分别为 15.0、30.0、60.0 t/hm² 蚯蚓粪肥; CK: 对照; 同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

CG: Conventional organic fertilizer; V1,V2, V3 was 15.0、30.0、60.0 t/hm² earthworm manure, respectively; CK: Control. Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. The same below

2.2 对土壤理化性质的影响

从图 1 可见, 施加有机肥后土壤有机质含量逐年升高, 且 2019 年蚯蚓粪肥处理的土壤有机质含量显著高于常规有机肥处理($P<0.05$), 表明蚯蚓粪肥对增加土壤有机质含量的效果优于常规有机肥。双因素方差分析结果表明, 土壤有机质含量在不同肥料类型间无显著差异($P=0.063$), 但在种植年份间存在显著差异($P=0.001$), 而肥料类型和种植年份间存在显著相互作用($P=0.041$)。2019 年黄瓜收获后, 施加常规有机肥和蚯蚓粪肥的土壤有机质含量比对照均显著增加($P<0.05$), 对照土壤中的有机质含量为(2.65±0.13)%, 常规有机肥处理的有机质含量比对照增加 11.7%, 而施加蚯蚓粪肥的比对照增加 23.4%~42.5%。

从图 2 可见, 种植 3 年黄瓜的对照土壤全氮含量为 0.18%~0.19%, 年份间无显著差异; 2017 和 2018 年施加常规有机肥和蚯蚓粪肥的土壤全氮含量与对照无显著差异($P>0.05$), 但 2019 年施加常规有机肥和蚯蚓粪肥土壤的全氮含量比对照显著增加($P<0.05$), 以 V3 处理的最高, 达 0.24%, 比对照升高了 33.3%,

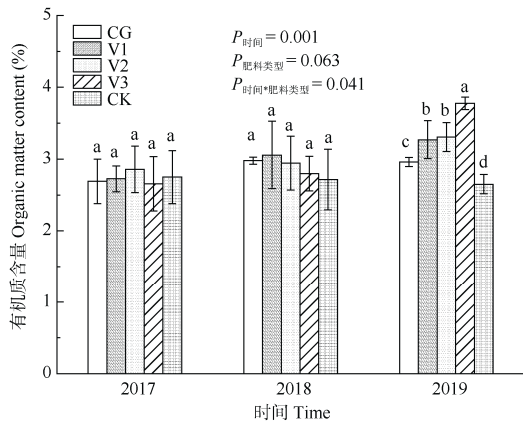


图 1 有机肥处理对土壤有机质含量的影响。柱上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Fig. 1 Effect of organic fertilizer on soil organic matter content. Different letters upon column indicate significant differences at 0.05 level. The same below

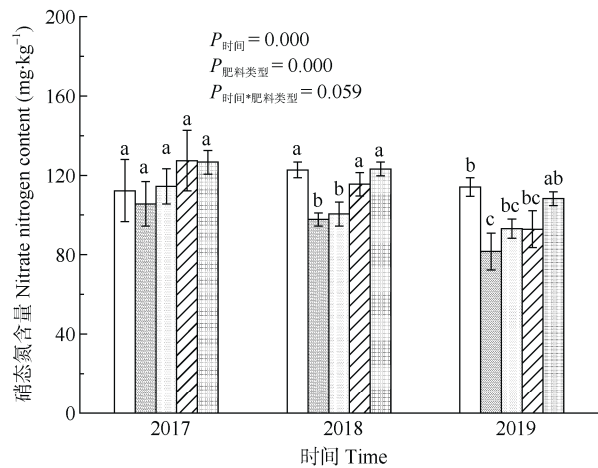
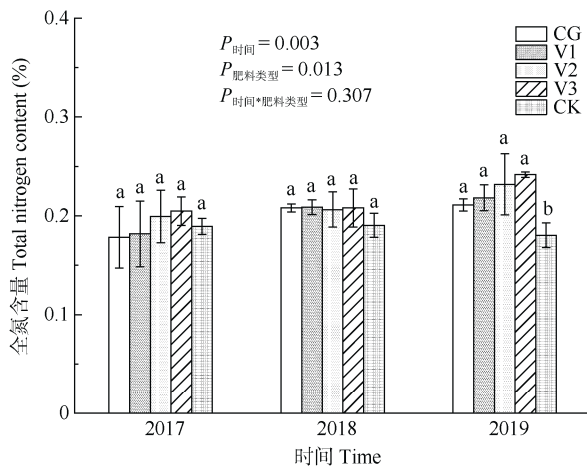


图 2 有机肥处理对土壤全氮和硝态氮含量的影响

Fig. 2 Effect of organic fertilizer on contents of total nitrogen and nitrate nitrogen in soil

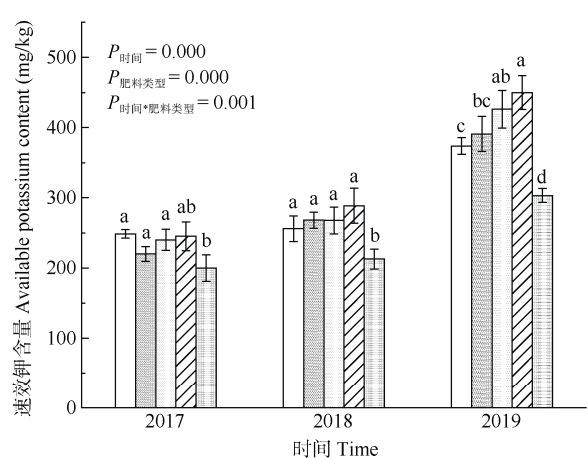
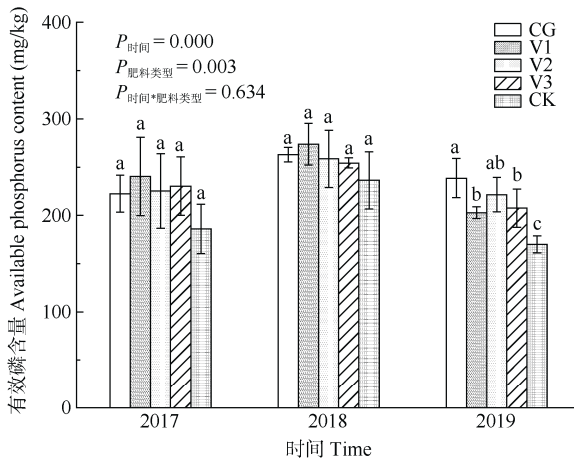


图 3 有机肥对土壤有效磷和速效钾含量的影响

Fig. 3 Effect of organic fertilizer on contents of available phosphorus and available potassium in soil

同时也显著高于施加常规有机肥处理 ($P < 0.05$)。

与对照相比,施加常规有机肥对土壤硝态氮含量无显著影响 ($P > 0.05$),而 2017 年施加蚯蚓粪肥也无显著影响 ($P > 0.05$)。2018 年施加蚯蚓粪肥的土壤硝态氮含量比对照分别降低了 20.6%、18.4%和 6.20%,2019 年分别降低了 24.6%、14.0%和 14.1%。另外,土壤全氮和硝态氮含量均与黄瓜种植时间和有机肥类型有关,与两者的交互作用无关。

从图 3 可见,2017 和 2018 年施加蚯蚓粪肥和常规有机肥的土壤有效磷含量与对照间无显著差异 ($P > 0.05$)。2019 年,对照土壤的有效磷含量为 170 mg/kg,施加肥料处理的分别比对照增加 40.4% (CG)、19.4% (V1)、30.4% (V2)和 22.1% (V3),均差异显著 ($P < 0.05$)。土壤有效磷含量与黄瓜连种次数和有机肥类型相关,但与二者的交互作用不相关。

黄瓜连种 3 年, 对照的土壤速效钾含量逐年增加, 分别为(200±18.9)、(213±14.1)和(303±9.67) mg/kg。前 2 年施加肥料均显著增加土壤的速效钾含量($P < 0.05$), 但常规有机肥和蚯蚓粪肥对速效钾含量的影响无显著差异。2019 年土壤的速效钾含量依次为蚯蚓粪肥>常规有机肥>对照, 以 V3 处理的最高, 为 450 mg/kg, 比对照提高了 48.3%。土壤速效钾含量

与黄瓜种植时间、有机肥类型及两者的交互作用均呈极显著相关关系($P < 0.01$)。

从图 4 可见, 除 2017 年 V3 处理外, 施加常规有机肥和蚯蚓粪肥的土壤全盐含量与对照间均无显著差异($P > 0.05$)。土壤全盐含量与黄瓜种植时间、有机肥类型及两者的交互作用均无显著相关关系($P > 0.05$)。

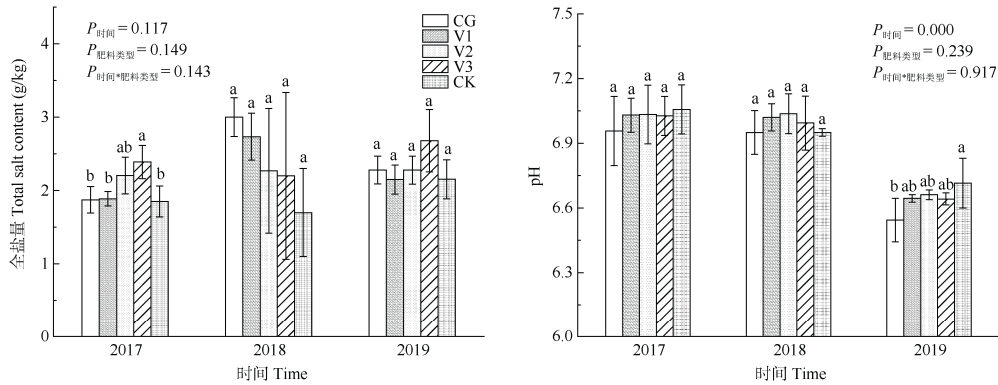


图 4 有机肥处理对土壤全盐量和 pH 值的影响

Fig. 4 Effect of organic fertilizer on total salt content and pH in soil

连种前 2 年, 施加常规有机肥和蚯蚓粪肥对土壤 pH 值无显著影响($P > 0.05$)。2019 年的土壤 pH 值由 7.00 降低到 6.65, 对照为 6.72, 施加常规有机肥为 6.54, 比对照显著降低($P < 0.05$); 而施加蚯蚓粪肥的土壤 pH 值与对照无显著差异($P > 0.05$)。总体上看, 土壤 pH 值与黄瓜种植时间呈极显著相关关系($P = 0.000$), 而与有机肥类型及两者的交互作用均无显著相关关系($P > 0.05$)。

2.3 对土壤微生物和呼吸强度的影响

2017 年土壤的呼吸强度为 65.8 mL/kg, 显著低于 2018 年(142.6 mL/kg)和 2019 年(182 mL/kg) (图 5)。前 2 年施加有机肥对土壤呼吸强度的影响与对照均无显著差异($P > 0.05$), 2019 年土壤的呼吸强度分别为(203±24.2) (CG)、(190±34.1) (V1)、(208±11.2) (V2)、(229±21.5) (V3)和(182±5.10) mL/kg (CK); V3 比对照显著升高($P < 0.05$), 其他有机肥处理与对照无显著差异($P > 0.05$)。

Shannon 指数表征微生物群落物种的丰富度, 其值越大, 说明土壤微生物的物种丰富度越高。Pielou 指数表征微生物群落物种的均匀度。Simpson 指数表征微生物群落中优势物种的优势度。从表 2 可见, 与对照相比, 2017 年施加有机肥均显著增加了土壤微生物的物种丰富度(Shannon 指数)、均匀度(Pielou

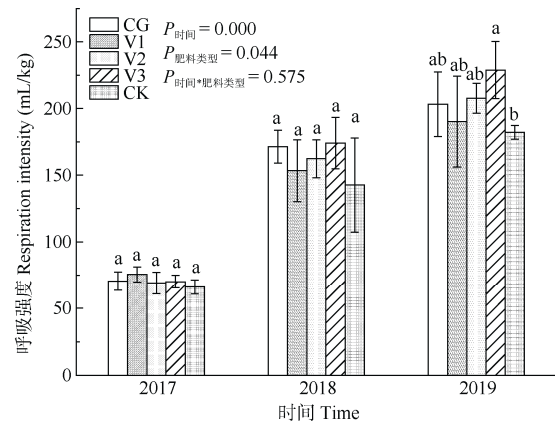


图 5 有机肥处理对土壤呼吸强度的影响

Fig. 5 Effect of organic fertilizer on soil respiration intensity

指数)和优势物种的优势度(Simpson 指数)($P < 0.05$); 然而, 后 2 年施加常规有机肥显著降低了土壤微生物的 Shannon 指数、Pielou 指数和 Simpson 指数($P < 0.05$), 施加蚯蚓粪肥对土壤微生物的 Shannon 指数和 Pielou 指数没有显著影响($P > 0.05$), 但降低了 Simpson 指数, 说明长期施加常规有机肥降低土壤微生物的物种丰富度、均匀度和优势物种的优势度, 长期施加蚯蚓粪肥对土壤微生物的物种丰度的影响较小。2019 年土壤微生物的物种丰富度比前 2 年显著降低, 可能与连作障碍和当年的气候有关。

表 2 磷脂脂肪酸生物标记物生态学指数

Table 2 Ecological index of phospholipid fatty acid biomarkers

时间 Time	处理 Treatment	Shannon 指数 Shannon index	Pielou 指数 Pielou index	Simpson 指数 Simpson index
2017	CG	2.15±0.15a	0.68±0.05a	0.80±0.03b
	V1	2.07±0.35a	0.65±0.11a	0.78±0.11b
	V2	2.25±0.09a	0.71±0.03a	0.83±0.03b
	V3	1.96±0.27a	0.62±0.09a	0.76±0.08ab
	CK	1.54±0.11b	0.48±0.03b	0.65±0.04b
2018	CG	2.08±0.48b	0.51±0.12b	0.60±0.06b
	V1	2.38±0.23ab	0.59±0.06ab	0.47±0.11b
	V2	2.33±0.34ab	0.58±0.08ab	0.44±0.14b
	V3	2.58±0.03ab	0.64±0.01ab	0.59±0.04b
	CK	2.84±0.33a	0.70±0.08a	0.89±0.02a
2019	CG	0.98±0.60b	0.24±0.15b	0.75±0.25b
	V1	1.30±0.12ab	0.32±0.03ab	0.67±0.03b
	V2	0.95±0.18ab	0.23±0.04ab	0.44±0.08b
	V3	1.23±0.08ab	0.30±0.02ab	0.58±0.04b
	CK	1.10±0.03a	0.27±0.01a	0.56±0.03a

从表 3 可见, 与对照相比, 2017 年施加有机肥均显著降低了土壤的总磷脂脂肪酸(PFLA)含量($P<0.05$), 对土壤的细菌含量没有显著影响($P>0.05$); V2 处理显著增加土壤的真菌含量($P<0.05$), 但其他处理无显著差异($P>0.05$)。2018 年施加常规有机肥使土壤的总 PLFA 含量从 62.7 nmol/g 降低到 30.5 nmol/g, 但施加蚯蚓粪肥则无显著影响($P>0.05$); 施加常规有机肥使土壤细菌含量从 11.89 mol/g 增加到 17.0 mol/g, 施加蚯蚓粪肥则无显著影响($P>0.05$)。然而, 施加常规有机肥和蚯蚓粪肥均显著降低土壤的真菌含量($P<0.05$)。2019 年 V2 处理显著增加土壤的总 PFLA、细菌和真菌含量($P<0.05$), 而其他处理则无显著影

响($P>0.05$)。

经过有机肥处理, 土壤中细菌与真菌的比例发生显著变化(表 3)。2017 年施加有机肥后土壤中细菌与真菌之比有不同程度降低, 但与对照无显著差异; 2018 年施加常规有机肥使土壤中细菌与真菌比值显著提高($P<0.05$); 2019 年土壤中细菌与真菌的比值以 V2 处理的最高, 且显著高于其他处理($P<0.05$)。

2.4 土壤性质间的相关性分析

从表 4 可见, 2017 年施加有机肥后, 除土壤细菌数量与有机质, 全氮含量与全盐量间呈显著正相关外, 其他理化因子和土壤生物学特征间无显著

表 3 土壤的磷脂脂肪酸(PLFA)含量

Table 3 Content of phospholipid fatty acid (PLFA) in soil

时间 Time	处理 Treatment	PLFA (nmol/g)	细菌 Bacteria (mol/g, B)	真菌 Fungi (mol/g, F)	B/F
2017	CG	12.9±0.94c	9.7±2.33b	3.52±1.10ab	3.06±1.14a
	V1	13.8±3.59c	10.8±3.75b	3.23±1.37ab	4.13±3.09a
	V2	21.4±3.96b	17.5±4.21a	4.93±1.00a	3.63±1.04a
	V3	12.2±2.59c	10.4±3.42b	2.58±0.84b	4.75±3.38a
	CK	87.7±4.70a	15.1±1.24ab	1.81±0.05b	9.10±1.87a
2018	CG	30.5±7.70b	17.0±2.73a	1.61±0.84d	13.50±7.39a
	V1	54.2±16.3ab	12.4±1.67b	19.80±7.76bc	0.89±0.16b
	V2	44.0±4.03ab	11.6±2.76b	11.41±2.41cd	0.89±0.13b
	V3	71.7±12.2a	11.9±1.67b	34.50±8.58ab	0.33±0.04b
	CK	62.7±22.8a	11.9±1.14b	43.10±4.48a	0.26±0.04b
2019	CG	35.4±1.78b	8.6±6.33b	6.56±3.92b	1.87±0.69b
	V1	25.1±6.34b	16.5±5.10b	5.75±2.339b	2.98±1.54b
	V2	729.0±493.0a	382.0±261.0a	30.00±23.78a	20.00±7.49a
	V3	171.0±0.60b	112.0±29.4ab	15.50±5.79ab	5.95±1.47b
	CK	31.0±29.4b	22.7±20.0b	16.10±5.63ab	1.11±0.48b

相关和极显著相关($P>0.05$)。土壤有机质含量与全氮含量、pH、细菌数量、真菌数量及二者的比例和黄瓜产量呈正相关;土壤全氮含量与所有因子(除呼吸强度外)均呈正相关;土壤养分之间,除速效磷和速效钾含量之间呈正相关外,其他均呈负相关。土壤的生物学性质之间除细菌和呼吸强度之间呈负相关外,其他几个因子之间均呈正相关。黄瓜产量与多数因子(硝态氮、pH 和细菌/真菌)之间均呈正相关。

2018 年,土壤有机质与速效磷含量,全氮与速效磷和速效钾之间呈显著正相关;硝态氮与 pH 之间,及呼吸强度与黄瓜含量之间呈显著负相关。呼

吸强度与真菌数量成反比,细菌与真菌数量成反比。除硝态氮和真菌数量之外,黄瓜产量与其他因子均呈负相关。

2019 年,土壤全氮含量与速效钾含量之间达到了极显著正相关。有机质含量和全氮含量和速效钾含量间达显著相关水平,相关系数分别为 0.947 和 0.950。土壤硝态氮含量与前两季相似,同样与其他土壤性质之间均呈负相关(速效磷除外)。除硝态氮含量外,黄瓜产量与其他土壤化学性质和生物学性质间呈正相关,且与细菌数量和真菌数量之间呈显著正相关。

表 4 有机肥处理下土壤理化性质间的相关性

Table 4 Relationship among soil properties under organic fertilizer treatment

时间 Time		OC	TN	NN	AP	AK	TS	pH	RI	Ba	Fu	Ba/Fu
2017	TN	0.178	1									
	NN	-0.234	0.640	1								
	AP	-0.132	0.026	-0.609	1							
	AK	-0.183	0.217	-0.169	0.634	1						
	TS	-0.006	0.914*	0.429	0.370	0.557	1					
	pH	0.390	0.502	0.402	-0.339	-0.696	0.179	1				
	RI	-0.226	-0.365	-0.771	0.862	0.238	-0.081	-0.261	1			
	Ba	0.912*	0.393	0.176	-0.441	-0.341	0.096	0.596	-0.557	1		
	Fu	0.642	0.120	-0.581	0.565	0.571	0.282	-0.248	0.288	0.349	1	
	Ba/Fu	0.002	0.100	0.650	-0.859	-0.851	-0.271	0.674	-0.629	0.339	-0.760	1
	CY	0.127	0.643	-0.051	0.696	0.798	0.867	-0.139	0.244	0.019	0.670	-0.697
2018	TN	0.746	1									
	NN	-0.644	-0.497	1								
	AP	0.951*	0.878*	-0.651	1							
	AK	0.447	0.907*	-0.491	0.662	1						
	TS	0.865	0.787	-0.217	0.867	0.465	1					
	pH	0.485	0.522	-0.951*	0.532	0.613	0.089	1				
	RI	0.234	0.769	0.070	0.398	0.785	0.524	0.098	1			
	Ba	0.377	0.291	0.460	0.305	-0.044	0.738	-0.558	0.418	1		
	Fu	-0.877	-0.677	0.343	-0.766	-0.331	-0.876	-0.249	-0.412	-0.64	1	
	Ba/Fu	0.364	0.297	0.454	0.278	-0.032	0.716	-0.525	0.457	0.992**	-0.672	
	CY	-0.358	-0.751	0.011	-0.427	-0.684	-0.578	-0.164	-0.940*	-0.487	0.619	-0.556
2019	TN	0.947*	1									
	NN	-0.641	-0.560	1								
	AP	0.333	0.580	0.093	1							
	AK	0.950*	1.000**	-0.559	0.567	1						
	TS	0.798	0.705	-0.103	0.234	0.713	1					
	pH	-0.142	-0.313	-0.295	-0.878*	-0.294	-0.178	1				
	RI	0.856	0.863	-0.162	0.501	0.868	0.943*	-0.339	1			
	Ba	0.311	0.494	-0.256	0.310	0.505	0.110	0.176	0.334	1		
	Fu	0.272	0.329	-0.039	-0.042	0.350	0.358	0.440	0.419	0.835	1	
	Ba/Fu	0.375	0.553	-0.329	0.333	0.564	0.134	0.157	0.365	0.996**	0.808	1
	CY	0.592	0.665	-0.387	0.170	0.681	0.457	0.285	0.591	0.907*	0.903*	0.916*

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; OC: 有机质含量; TN: 全氮; NN: 硝态氮; AP: 速效磷; AK: 速效钾; TS: 全盐; RI: 呼吸强度; Ba: 细菌; Fu: 真菌; CY: 黄瓜产量。

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; OC: Organic matter content; TN: Total nitrogen; NN: Nitrate nitrogen; AP: Available P; AK: Available K; TS: Total salinity; RI: Respiratory intensity; Ba: Bacteria; Fu: Fungi; CY: Cucumber yield.

3 结论和讨论

连作会对下茬作物产生抑制,影响作物的产量^[14],长期连作使土壤耕作性变差,导致养分失衡及次生盐渍化^[16]。有机肥能够改善土壤微环境,促进植物生长和抑制病害,比普通肥料能更好的改善土壤质量。本研究结果表明,施用湿垃圾为原料制作的蚯蚓粪肥可提高黄瓜的产量。施加常规有机肥和湿垃圾制作的蚯蚓粪肥后在前 2 年对土壤有机质含量无显著影响,第 3 年土壤有机质含量依次为蚯蚓粪肥>常规有机肥>不施肥,这主要是因为蚯蚓粪肥含有丰富的有机质^[15]和腐殖质^[20]。这与张聪俐等^[21]的研究结果相一致。蚯蚓粪肥有良好的物理性质,有利于团聚体和水稳性团聚体形成,长期施用蚯蚓粪肥能提高土壤质量^[21]。在本研究中,黄瓜连作 3 年土壤的全氮含量也随蚯蚓粪肥的施入而显著增加,这与苏淑仪等^[9]的研究结果类似,即添加了蚯蚓粪肥后,番茄(*Lycopersicon esculentum*)连作土壤的全氮含量显著增加。土壤养分是植物营养的主要来源,会直接影响植物的生长发育^[22-23]。土壤中的碳氮元素可以反映土壤的养分循环和转化关系,也可以反映出土壤微生物的生长状态及土壤肥力特点^[22],在本研究中,施加蚯蚓粪肥后,土壤有机质和全氮量均有不同程度的增加,土壤肥力增加,这是因为蚯蚓粪肥中有大量的团粒结构,可以使碳在大颗粒的土壤中微团聚体处在一个长期稳定的状态中,加大了土壤中碳的有机碳物理保护作用和储备量^[24]。蚯蚓粪肥处理的土壤有机质要高于添加常规有机肥的,可能是由于蚯蚓粪肥的长效性好于常规有机肥^[25]。

有机肥能够提高土壤酶与微生物的活性,促进土壤养分的活化^[26-27],有研究表明蚯蚓粪肥能使土壤磷含量增加 13.0%~26.0%,且在微生物与土壤酶的共同作用下,蚯蚓粪肥可以将有机磷转化成无机磷,使磷的有效性得以提高^[27-28]。本研究中,施加蚯蚓粪肥使前 2 年土壤的有效磷含量略有增加,第 3 年则显著增加,添加蚯蚓粪肥可使土壤速效磷增加 24.7%。土壤硝态氮是土壤速效氮的一部分,是判断旱地土壤相对供氮量的指标,也是影响作物品质的重要因素^[29-30]。本研究中,添加蚯蚓粪肥使土壤硝态氮略有降低。速效钾含量随着蚯蚓粪肥的加入而升高,可能是由于蚯蚓粪肥中含有大量的微生物,微生物能够活化土壤中的解钾菌,从而提高土

壤的速效钾含量^[31-32]。申飞等^[30]的研究表明施加蚯蚓粪肥能显著提高土壤有效磷含量及 pH 值,降低速效钾含量和铵态氮含量,这与本研究结果存在差异,可能由于土壤性质、蚯蚓粪肥施加剂量,研究条件等方面的不同造成的。

施加有机肥后,土壤 pH 值在前 2 年无显著变化,可能是由于土壤具有较强的缓冲作用。土壤 pH 值在第 3 年略有降低,可能是因为有机肥在分解过程中会产生一定量的腐殖酸,降低土壤的 pH^[25],但施加蚯蚓粪肥对土壤 pH 的影响与对照无显著差异。2017 年土壤的全盐量随蚯蚓粪肥用量的增加而增加,这主要是由于有机肥中含有大量的有机质和腐殖酸,在土壤中得以分解,增加了土壤的全盐量。

施加有机肥后,微生物群落在土壤中均发生了变化,与土壤理化性质的变化有关^[32]。在本研究中连续 3 年施加常规有机肥降低了土壤微生物的物种丰富度、均匀度和优势物种的优势度,而施加蚯蚓粪肥对土壤微生物的物种丰度的影响较小。2019 年 V3 处理能显著增加土壤的总 PFLA 含量、细菌含量和真菌含量,而其他处理则无显著影响,可能是由于有机肥中大量的微生物,对土壤中的微生物群落产生一定的影响^[33-34]。通过向土壤中施加有机肥后,土壤中微生物的构成发生了一定的变化,尤其是细菌/真菌的值。正常土壤中,细菌含量较高,连作土壤中病原性真菌数量增多,土壤容易从细菌型转为真菌型,通过施加有机肥后,土壤细菌/真菌有所增加,这与吕海龙等^[25]的研究结果类似。在本研究中,连续 3 年施加常规有机肥对黄瓜的产量无显著影响,而施加蚯蚓粪肥使黄瓜产量逐年提高。这与前人^[23,25,30]研究结果类似,蚯蚓粪肥能提高黄瓜产量可能与土壤养分有关,蚯蚓粪肥中含有大量的微生物,能够提高土壤腐殖质含量及矿物营养,这些产物能释放出生长激素,刺激植物的生长,进而提高植物产量^[35]。

整体而言,湿垃圾来源的蚯蚓粪肥能明显改善土壤的理化和生物学性质,可在一定程度上缓解土壤连作障碍的发生。这类蚯蚓粪肥对提高土壤肥力和农作物生长有明显的优势,能够改良连作障碍土壤的状态,可以作为化肥的替代品或与化肥相配合在农业生产中进行推广。

参考文献

- [1] LI C W, CHEN G Z, ZHANG J L, et al. The comprehensive changes in

- soil properties are continuous cropping obstacles associated with American ginseng (*Panax quinquefolius*) cultivation [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 5068. doi: 10.1038/s41598-021-84436-x.
- [2] LI X G, DING C F, HUA K, et al. Soil sickness of peanuts is attributable to modifications in soil microbes induced by peanut root exudates rather than to direct allelopathy [J]. *Soil Biol Biochem*, 2014, 78: 149–159. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.07.019.
- [3] XIE M Q, ZHANG Y, YANG K, et al. Temporal and spatial characteristics and influencing factors of farmland use transition towards greenhouse farming [J]. *Chin J Agric Resour Reg Plan*, 2022, 43(1): 81–90. [谢旻琪, 张宇, 杨奎, 等. 耕地利用“大棚化”的时空特征及影响因素分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(1): 81–90. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20220109.]
- [4] YU H Y, LI T X, ZHOU J M. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects [J]. *Acta Pedol Sin*, 2006, 43(4): 571–576. [余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究 [J]. *土壤学报*, 2006, 43(4): 571–576. doi: 10.3321/j.issn:0564-3929.2006.04.006.]
- [5] SUN X J, LÜ S, GAO Y, et al. Research progresses on inhibition effect of vermicompost to continuous cropping obstacles [J]. *Soils*, 2020, 52(4): 676–684. [孙喜军, 吕爽, 高莹, 等. 蚯蚓粪对作物连作障碍抑制作用研究进展 [J]. *土壤*, 2020, 52(4): 676–684. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.004.]
- [6] ZHOU F, CAO G F, LI J L, et al. Advances in the mechanism of continuous cropping disorders of Chinese medicinal plants and the mitigation measures [J]. *J Mountain Agric Biol*, 2019, 38(3): 67–72. [周芳, 曹国璠, 李金玲, 等. 药用植物连作障碍机制及其缓解措施研究进展 [J]. *山地农业生物学报*, 2019, 38(3): 67–72. doi: 10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2019.03.012.]
- [7] QIN G J. Study on the causes and control measures of continuous cropping obstacles of protected vegetables [J]. *Agric Dev Equip*, 2020(9): 155–156. [秦广杰. 设施蔬菜连作障碍的原因及防治措施研究 [J]. *农业开发与装备*, 2020(9): 155–156. doi: 10.3969/j.issn.1673-9205.2020.09.076.]
- [8] LÜ W G, YU Y Y, ZHU H T, et al. Effects of cucumber continuous cropping on the soil physico-chemical characters and biological activities [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2006, 14(2): 119–121. [吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(2): 119–121.]
- [9] SU S Y, ZHOU Y X, ZHOU X. Research on influencing factors of organic fertilizer application behavior of farmers based on Meta analysis [J]. *Chin J Agric Resour Reg Plan*, 2022, 43(5): 12–20. [苏淑仪, 周玉玺, 周霞. 基于 Meta 分析的农户有机肥施用行为影响因素研究 [J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(5): 12–20. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20220502.]
- [10] LI C G, LI X M, KONG W D, et al. Effect of monoculture soybean on soil microbial community in the Northeast China [J]. *Plant Soil*, 2010, 330(1/2): 423–433. doi: 10.1007/s11104-009-0216-6.
- [11] GU D L, WANG W Z, SUN A X, et al. Cucumber growth in solar greenhouse affected by rotation modes [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2016, 32(4): 874–878. [顾大路, 王伟中, 孙爱侠, 等. 不同轮作模式对日光温室黄瓜生长的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(4): 874–878. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.04.025.]
- [12] EDWARDS C A. Utilization of earthworm composts as plant growth medium [C]// TOMATI U, GRAPPELLI A. *International Symposium on Agricultural and Environmental Prospects in Earthworm*. Rome, Italy, 1983: 57–62.
- [13] FENG T T, HUANG H C, CHEN F, et al. Effects of different application amounts of vermicompost on agronomic trait, yield and quality of continuous cropping cucumber [J]. *J S Agric*, 2018, 49(8): 1575–1580. [冯腾腾, 黄怀成, 陈飞, 等. 不同蚯蚓粪施用量对连作黄瓜农艺性状、产量和品质的影响 [J]. *南方农业学报*, 2018, 49(8): 1575–1580. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2018.08.16.]
- [14] LI X M, CHEN X M, QU C C, et al. Effects of bio-organic fertilizer combined with reduced fertilizer on nutrient utilization and yield of continuous cropping cucumber [J]. *J Soil Water Conserv*, 2020, 34(2): 309–317. [李小明, 陈效民, 曲成闯, 等. 生物有机肥与减量配施化肥对连作黄瓜养分利用率及产量的影响 [J]. *水土保持学报*, 2020, 34(2): 309–317. doi: 10.13870/j.cnki.stbxb.2020.02.044.]
- [15] ZHANG J Y, XU Y L, LIU Z Q. Study of the alleviate of earthworm manure on continuous cropping obstacle of cucumber growth in plastic greenhouse [J]. *N Hort*, 2010(4): 58–60. [张俊英, 许永利, 刘志强. 蚯蚓粪缓解大棚黄瓜连作障碍的研究 [J]. *北方园艺*, 2010(4): 58–60.]
- [16] WANG F L, WANG X X, SONG N N. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years [J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2021, 315: 107425. doi: 10.1016/j.agee.2021.107425.
- [17] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 33469–2016 Cultivated land quality grade [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 33469–2016 耕地质量等级 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [18] BAO S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 45–67. [鲍士旦. 土壤农化分析

- [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 45–67.]
- [19] International Standard Organization. ISO/TS 29843—2 Soil Quality: Determination of Soil Microbial Diversity, Part 2: Method by Phospholipid Fatty Acid Analysis (PLFA) Using the Simple PLFA Extraction Method; International Standard Organization: Geneva, Switzerland, 2011.
- [20] ZHANG C L, DAI J, ZHOU B, et al. Effects of vermicompost at different proportions on the growth of *Zea mays* and soil fertility [J]. *J S China Agric Univ*, 2013, 34(2): 137–143. [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.]
- [21] ZHOU W X, LIU C J, HE Y S, et al. Effects of three amendments on the growth of *Codonopsis tangshen* and soil biochemical properties in a continuous cropping system [J]. *J Agric Resour Environ*, 2021, 38(1): 43–52. [周武先, 刘翠君, 何银生, 等. 3 种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 43–52. doi: 10.13254/j.jare.2020.0201.]
- [22] ZHANG Y L, SUN C Z. Effects experiment of different compound wormcast organic fertilizer combination [J]. *Tianjin Agric Sci*, 2006, 12(1): 12–14. [张余良, 孙长载. 几种不同组合蚯蚓粪复合有机肥的效果试验 [J]. 天津农业科学, 2006, 12(1): 12–14. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2006.01.004.]
- [23] JINDO K, CHOCANO C, DE AGUILAR J M, et al. Impact of compost application during 5 years on crop production, soil microbial activity, carbon fraction, and humification process [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 2016, 47(16): 1907–1919. doi: 10.1080/00103624.2016.1206922.
- [24] ZHAO F Y, WU P P, LI T L, et al. Effect of vermicompost on soil fungi community structure under tomato continuous cropping in greenhouse [J]. *Chin J Ecol*, 2016, 35(12): 3329–3334. [赵凤艳, 吴盼盼, 李天来, 等. 蚓粪对设施番茄连作土壤真菌群落结构的影响 [J]. 生态学杂志, 2016, 35(12): 3329–3334. doi: 10.13292/j.1000-4890.201612.012.]
- [25] LÜ H L, SHI G Y, JIA X X, et al. Soil biochemical effects of silicon fertilizer and brassinolide on alleviating the obstacles of continuous cropping of eggplant in facilities [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2020, 55(3): 105–112. [吕海龙, 师桂英, 贾喜霞, 等. 硅肥及油菜素内酯对茄子连作障碍的缓解作用及土壤生物化学效应 [J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(3): 105–112. doi: 10.13432/j.cnki.jgsau.2020.03.014.]
- [26] DU W Y, TANG S, WANG H. Study on willingness of vegetable growers to pay for organic fertilizer instead of chemical fertilizer and its influencing factors [J]. *Chin J Agric Resour Reg Plan*, 2021, 42(12): 32–39. [杜为研, 唐杉, 汪洪. 蔬菜种植户对有机肥替代化肥技术支付意愿及其影响因素的研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(12): 32–39. doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20211205.]
- [27] HU C, LIU D H, QIAO Y, et al. Effect of biological organic manure on soil enzyme activity and crop yields [J]. *Acta Agric Boreal-Sin*, 2017, 32(S1): 308–312. [胡诚, 刘东海, 乔艳, 等. 施用生物有机肥对土壤酶活性及作物产量的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(S1): 308–312. doi: 10.7668/hbnxb.2017.S1.053.]
- [28] LIU L J, SUN C L, LIU S R, et al. Bioorganic fertilizer enhances soil suppressive capacity against bacterial wilt of tomato [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(4): e0121304. doi: 10.1371/journal.pone.0121304.
- [29] LOH T C, LEE Y C, LIANG J B, et al. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance [J]. *Bioresour Technol*, 2005, 96(1): 111–114. doi: 10.1016/j.biortech.2003.03.001.
- [30] SHEN F, LIU M Q, LI H X, et al. Effect of vermicompost and probiotics interaction on yield and quality of spinach and soil properties [J]. *Soil Fert Sci China*, 2016(5): 90–95. [申飞, 刘满强, 李辉信, 等. 蚓粪和益生菌互作对土壤性状、菠菜产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016(5): 90–95. doi: 10.11838/sfsc.20160516.]
- [31] PATNAIK P, ABBASI T, ABBASI S A. Vermicompost of the widespread and toxic xerophyte *Prosopis juliflora* is a benign organic fertilizer [J]. *J Hazard Mat*, 2020, 399: 122864. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122864.
- [32] BECK J E, SCHROEDER-MORENO M S, FERNANDEZ G E, et al. Effects of cover crops, compost, and vermicompost on strawberry yields and nitrogen availability in North Carolina [J]. *HortTechnology*, 2016, 26(5): 604–613. doi: 10.21273/HORTTECH03447-16.
- [33] LIU Y Q, LI Y C, LI M J. Improvement of soil physical and chemical properties and nutrient utilization rate of apple trees by localized application of different organic fertilizers [J]. *J NW For Univ*, 2020, 35(1): 112–117. [刘永青, 李玉才, 李明军. 土壤局部施加不同种类有机肥对苹果园土壤理化性质和果树养分利用率的改善 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 112–117. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2020.01.17.]
- [34] HU J, ZHAO H T, WANG Y, et al. The bacterial community structures in response to the gut passage of earthworm (*Eisenia fetida*) feeding on cow dung and domestic sludge: Illumina high-throughput sequencing-based data analysis [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2020, 190: 110149. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.110149.
- [35] QIN Y H, HE M J, ZHANG Y F, et al. Effects of earthworm manure organic fertilizer on soil fertility, crop growth and product quality [J]. *Agric Technol*, 2020, 40(17): 31–32. [覃杨华, 何明菊, 张远飞, 等. 蚯蚓粪有机肥对土壤肥力与农作物生长及产品品质的影响 [J]. 农业与技术, 2020, 40(17): 31–32. doi: 10.19754/j.nyyjs.20200915010.]