

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0409

# 套养蚯蚓对土壤重金属消解及鲜食番茄产量和品质的影响

温学萍<sup>1</sup>, 王昊<sup>2</sup>, 任登成<sup>1</sup>, 杨波<sup>2</sup>, 哈蓉<sup>2</sup>, 靳韦<sup>2</sup>, 苏慧<sup>3</sup>

(1. 宁夏回族自治区园艺技术推广站 银川 750002; 2. 宁夏农垦农林牧技术推广服务中心 银川 750024; 3. 宁夏农垦连湖农场有限公司 宁夏吴忠 751606)

**摘要:**为探明套养蚯蚓对土壤重金属的消解及对鲜食番茄产量、品质的影响,以鲜食番茄普罗旺斯为试材,蚯蚓套种套养为处理(T1),以常规种植为对照(CK),通过测定不同时期土壤理化性质和重金属含量变化,调查分析番茄产量及果实品质等指标。结果表明,与CK相比,蚯蚓取食90 d后,土壤pH显著降低,全盐、有机质、全氮、全磷、水解氮、速效钾和细菌数量分别显著增加212.7%、921.3%、358.5%、116.1%、312.4%、71.2%和191.7%;蚯蚓取食150 d后,铅、砷、铬、镍、镉和汞等重金属总含量降低53.8%;番茄产量较CK显著提高7.7%,可溶性糖、维生素C、番茄红素和钙含量分别显著提高0.41个百分点、13.6 mg·100 g<sup>-1</sup>、20.48 mg·kg<sup>-1</sup>和41.5 mg·kg<sup>-1</sup>,硝酸盐含量显著下降35.5%,氨基酸总量显著提高1.18个百分点。综上所述,与CK相比,套养蚯蚓可以显著降低土壤重金属含量,提高土壤养分和质量,能够促进番茄产量增加和品质提升。研究结果为进一步开展鲜食番茄与蚯蚓套种套养的研究与应用奠定了良好的理论基础。

**关键词:**鲜食番茄;套养蚯蚓;土壤重金属;氨基酸

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)12-116-05

## Effects of intercropping earthworms on soil heavy metal remediation and the yield and quality of fresh tomato

WEN Xueping<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>2</sup>, REN Dengcheng<sup>1</sup>, YANG Bo<sup>2</sup>, HA Rong<sup>2</sup>, JIN Wei<sup>2</sup>, SU Hui<sup>3</sup>

(1. Horticultural Technology Extension Station of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. Agricultural Technology Extension and Service Center, Ningxia Agricultural Reclamation Management Bureau, Yinchuan 750024, Ningxia, China; 3. Lianhu Farm Co., Ltd., Ningxia Agricultural Reclamation Group, Wuzhong 751606, Ningxia, China)

**Abstract:** In order to explore the digestion of heavy metals in the soil by inter-cultivating earthworms and its effects on the yield and fruit quality of fresh tomato, the inter-cropping and interbreeding of fresh tomato Provence and earthworms were used as the treatment (T1), and the conventional planting was used as the control (CK). By measuring the changes in soil physicochemical properties and heavy metal content at different times, the yield of tomato and fruit quality were investigated and analyzed. The results showed that compared with CK, after 90 d of earthworm feeding, the soil pH decreased significantly, the content of total salt, organic matter, total nitrogen, total potassium, total phosphorus, hydrolyzed nitrogen, available potassium, and the number of bacteria increased significantly by 212.7%, 921.3%, 358.5%, 116.1%, 312.4%, 71.2% and 191.7%. respectively; after 150 d of earthworm feeding, the total amount of heavy metals such as lead, arsenic, chromium, nickel, cadmium, and mercury decreased by 53.8%; after the tomato matured, by measuring the yield and fruit quality indicators, the yield increased significantly by 7.7%, and the content of soluble sugar, vitamin C, lycopene, and calcium increased significantly by 0.41 percent point, 13.6 mg·100 g<sup>-1</sup>, 20.48 mg·kg<sup>-1</sup>, and 41.5 mg·kg<sup>-1</sup>, respectively. The nitrate content decreased significantly by 35.5%, and the total amino acid content increased significantly 1.18 percent point. In summary, inter-cultivating earthworms can significantly reduce the content of heavy metals in the soil, increase soil nutrients and quality, and can promote the increase in tomato yield and quality, laying a good theoretical foundation for further research and application of inter-cropping and interbreeding of fresh tomato and earthworms.

**Key words:** Fresh-eating tomato; Raising earthworms in sets; Heavy metals in soil; Amino acid

收稿日期:2024-06-25;修回日期:2024-10-08

基金项目:宁夏回族自治区重大科技成果转化项目(2022CJE09008);2017年宁夏回族自治区青年拔尖人才(温学萍)培养项目

作者简介:温学萍,女,高级农艺师,主要从事蔬菜新品种新技术引进、试验、示范与推广工作。E-mail:921318616@qq.com

通信作者:王昊,男,农艺师,主要从事作物栽培生理研究与推广工作。E-mail:nxnkwh@163.com

重金属污染对农田土壤和作物的生态环境带来了巨大的风险和挑战。牛粪等畜禽粪作为常用的有机肥料,含有大量的重金属,其在土壤中的积累会对作物栽培和品质造成危害,还可能威胁人类健康<sup>[1-2]</sup>。而目前对重金属的研究以矿山、农田等类型为主,涉及重金属来源、富集和评价等方面<sup>[3-5]</sup>,对于封闭性较高的设施菜地等农业生态系统,目前在重金属污染方面的研究较少。而蚯蚓在生物修复重金属污染土壤中发挥了积极的作用,吸附能力强,土壤改良效果显著,已成为土壤重金属修复的一种重要工具<sup>[6-7]</sup>。研究表明,蚯蚓堆肥可以促进重金属的钝化,对饵料中重金属的吸收富集能力较强,可以降低重金属在作物和土壤中的积累<sup>[8-11]</sup>。

近年来,我国番茄种植面积和产量均位居世界第一,随着人们对美好生活的向往,口感鲜食番茄逐渐受到消费者的青睐,产量稳定、风味较好的番茄是产业发展的重要方向<sup>[12]</sup>。而蚯蚓养殖还可以对番茄的品质产生积极影响。蚯蚓的排泄物富含有机质和微量元素,可以提高土壤质量,改善番茄的生长环境<sup>[13]</sup>。蚯蚓也可以分解有机物质,释放出对植物有利的激素和酶类物质,促进番茄的生长和果实的迅速成熟,提高番茄品质<sup>[14-15]</sup>。蚯蚓与设施番茄套养作为一种生物修复方法,具有调节土壤重金属含量、改良土壤结构和提高作物品质的潜力。然而,蚯蚓养殖对重金属的吸附机制、作用效果等方面仍需进一步探索。本研究旨在探究蚯蚓与鲜食番茄套种套养对土壤重金属吸附及番茄果实品质的影响,以期为科学合理利用蚯蚓修复土壤重金属污染提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于2023年10月至2024年5月在宁夏青铜峡市连湖农场三代节能日光温室(长106 m,跨度10 m,脊背高5 m)进行。供试番茄品种为普罗旺斯,苗龄35 d,由宁夏农垦连湖农场有限公司提供。供试蚯蚓品种为大平2号,蚯蚓取食饵料由牛粪与秸秆按照1:1的体积比混配而成,均由宁夏农垦连湖农场有限公司提供。

### 1.2 设 计

试验番茄种植采用起垄单垄种植,垄宽40 cm,垄高30 cm,株距17 cm,667 m<sup>2</sup>定植2180株。处理(T1):在垄两侧铺设混配饵料,宽度40 cm,高度30 cm,并于定植前3 d投入蚯蚓,投放量为1 kg·m<sup>-2</sup>;对照

组(CK)只铺设饵料不投放蚯蚓。每个小区面积为43.2 m<sup>2</sup>,3次重复。其他农艺管理措施一致。

### 1.3 测定项目与方法

土壤理化性质测定:分别在定植前、定植后90 d和定植后150 d采用四分法取得土壤样品并测定理化指标。采用pH计测定pH,通过电导率法测定全盐含量,使用重铬酸钾滴定法测定有机质含量,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用火焰光度法测定全钾含量,采用钼锑比色法测定全磷含量,采用靛酚蓝比色法测定水解性氮含量,采用钼蓝比色法测定有效磷含量,采用火焰光度法测定速效钾含量<sup>[16]</sup>。

土壤微生物量测定:分别在定植前、定植后90 d和定植后150 d采用四分法取得土壤,并使用平板培养法测定土壤中真菌、细菌和放线菌数量<sup>[17]</sup>。

土壤重金属含量的测定:分别在定植前、定植后90 d和定植后150 d采用四分法取得土壤并测定重金属含量。采用原子吸收光谱法测定镉含量,采用冷原子吸收光谱法测定汞含量,采用原子吸收光谱法测定铅含量,采用原子荧光光谱法测定砷含量,使用分光光度法测定铬含量,采用原子吸收光谱法测定镍含量<sup>[18]</sup>。

番茄产量及品质的测定:每小区选取9株进行标记,番茄成熟后,记录单株结果数,每个小区摘取大小均匀的果实20个,用电子秤称量单果质量,并记载单株和小区产量,通过小区平均产量计算折合1 hm<sup>2</sup>产量;使用糖量计和酸度计分别测定果实的可溶性糖和总酸含量,通过高效液相色谱法测定维生素C含量,采用双缩脲法测定蛋白质含量,使用高效液相色谱法测定番茄红素含量,采用原子吸收光谱法测定钾和钙含量,使用分光光度法测定硝酸盐含量<sup>[19]</sup>。采用《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)的方法测定氨基酸含量,将番茄果实中的蛋白质经盐酸水解成为游离氨基酸,经离子交换柱分离后,与茚三酮溶液产生颜色反应,再使用可见光分光光度计测定氨基酸含量<sup>[20]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2016、SPSS22.0等软件对数据进行处理和统计分析,并使用LSD法检验差异显著性( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 垄侧套养蚯蚓对土壤理化性质及微生物量的影响

由表1、表2可以看出,与定植前相比,套养蚯

蚓对土壤理化性状和土壤微生物具有积极影响。投入蚯蚓 90 d 后,土壤的 pH、真菌和放线菌数量均呈现显著下降的趋势,较 0 d 分别减少 7.3%、63.5% 和 85.9%;而土壤中的全盐、有机质、全氮、全磷、水解性氮、速效钾含量和细菌数量均呈现增长趋势,较 0 d 分别显著增加 212.7%、921.3%、358.5%、116.1%、312.4%、71.2%和 191.7%。这可能是由于随着蚯蚓活动进入高峰,将牛粪等有机物料取食消化后,使有机质等土壤养分含量显著增加,而土壤

pH 等由于新物料的加入而下降。与投入蚯蚓 90 d 相比,在投入蚯蚓 150 d 后(饵料消耗殆尽,蚯蚓数量显著下降),pH 和全盐、全钾、有效磷、速效钾含量,以及真菌、放线菌数量又呈现增长趋势,而有机质、全氮、全磷和水解性氮含量及细菌数量呈现下降趋势,这可能与番茄对土壤中的有机质大量吸收有关,而真菌和放线菌的增多,抑制了细菌的增长。以上结果说明蚯蚓的套养能够显著正向影响番茄根系土壤的理化性质。

表 1 不同时间土壤理化性质变化比较

Table 1 Comparison of changes in soil physicochemical properties of different times

处理时间 Treatment time/d	pH	w(全盐) Total salt content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮) Total nitrogen content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全钾) Total potassium content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全磷) Total phosphorus content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(水解性氮) Hydrolyzable nitrogen content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷) Available phosphorus content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾) Rapidly available potassium content/ (g·kg <sup>-1</sup> )
0	8.49 a	1.50 b	9.39 c	1.23 c	21.80 a	1.61 b	194 c	240.50 b	701 c
90	7.87 b	4.69 a	95.90 a	5.64 a	7.60 b	3.48 a	800 a	227.30 b	1200 b
150	7.99 b	5.43 a	59.50 b	3.51 b	16.50 a	3.33 a	685 b	855.10 a	1703 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference between different treatments at 0.05 level. The same below.

表 2 不同时间土壤微生物数量变化比较

Table 2 Comparison of changes in soil microbial biomass of different times

处理时间 Treatment time/d	真菌 Fungus/ (No.·g <sup>-1</sup> )	细菌 Bacteria/ (No.·g <sup>-1</sup> )	放线菌 Actinomycete/ (No.·g <sup>-1</sup> )
0	5.2×10 <sup>6</sup> b	7.2×10 <sup>6</sup> c	9.2×10 <sup>5</sup> a
90	1.9×10 <sup>6</sup> c	2.1×10 <sup>7</sup> a	1.3×10 <sup>5</sup> b
150	8.6×10 <sup>6</sup> a	1.2×10 <sup>7</sup> b	9.2×10 <sup>5</sup> a

## 2.2 垄侧套种套养对重金属含量的影响

由表 3 可以看出,与定植前相比,套养蚯蚓对

土壤中的重金属吸附作用显著。与定植前相比,投放蚯蚓 90 d 后,重金属元素铅、砷、铬、镍、镉、汞在土壤中的含量均显著下降,这说明饲喂蚯蚓对土壤中的重金属具有极强的吸附作用。投放蚯蚓 150 d 后,除铬和镍含量有上升外,其他重金属元素含量均有不同程度的降低,且各重金属元素含量均显著低于 0 d,重金属总量降低 53.8%。重金属含量的变化可能与蚯蚓数量减少有关,说明饲喂蚯蚓可以降低土壤重金属含量,且重金属含量降低趋势与蚯蚓数量具有一定的关联性。

表 3 套养蚯蚓对土壤中重金属含量的影响

Table 3 Effects of inter-culture earthworms on heavy metal content in the soil (mg·kg<sup>-1</sup>)

处理时间 Treatment time/d	w(铅) Pb content	w(砷) As content	w(铬) Cr content	w(镍) Ni content	w(镉) Cd content	w(汞) Hg content
0	36.2 a	17.6 a	66.1 a	21.1 a	0.304 a	0.056 7 a
90	23.3 b	5.57 b	19.7 c	6.92 b	0.168 b	0.033 6 b
150	15.4 c	4.13 b	34.1 b	11.6 b	0.103 c	0.017 5 c

## 2.3 垄侧套种套养对番茄产量及品质的影响

由表 4 可以看出,与定植前相比,套养蚯蚓可以提高番茄产量和果实品质。T1 处理的平均单果质量、单株产量和小区产量较 CK 分别增加 7.31 g、0.23 kg 和 32.3 kg,折合 1 hm<sup>2</sup>产量较 CK 显著增加 7.7%。T1 处理的可溶性糖、维生素 C、番茄红素和钙含量均显著高于 CK,较 CK 分别提高 0.41 个百

分点、13.6 mg·100 g<sup>-1</sup>、20.48 mg·kg<sup>-1</sup>和 41.5 mg·kg<sup>-1</sup>。T1 处理的硝酸盐含量较 CK 显著下降 35.5%。以上结果说明与 CK 相比,套养蚯蚓在稳定番茄产量的同时可以显著提高番茄果实品质,降低硝酸盐含量。

由表 5 可以看出,T1 处理的氨基酸总含量、天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和丙氨酸含量分别为 3.65%、0.23%、0.69%、0.16%和 0.17%,均高于 CK,

表4 套养蚯蚓对鲜食番茄产量及品质指标影响对比

处理 Treatment	平均单果质量 Average single fruit mass/g	单株结果数 Number of fruits per plant	单株产量 Yield per plant/kg	小区产量 Yield in small plot/kg	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(总酸) Total acid content/%
T1	148.14 a	21.67 a	3.21 a	453.20 a	104 908.29 a	6.48 a	2.73 a
CK	140.83 b	21.17 a	2.98 b	420.90 a	97 430.43 b	6.07 b	2.58 a

  

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(蛋白质) Protein content/(g·100 g <sup>-1</sup> )	w(番茄红素) Lycopene content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(钾) K content/(mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(钙) Ca content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(硝酸盐) Nitrate content/(mg·kg <sup>-1</sup> )
T1	39.5 a	0.63 a	43.85 a	219.0 a	113.0 a	307 b
CK	25.9 b	0.58 a	23.37 b	240.0 a	71.5 b	476 a

表5 套养蚯蚓对鲜食番茄果实氨基酸含量的影响

处理 Treatment	w(总氨基酸) Total amino acids content	w(天冬氨酸) Asp content	w(谷氨酸) Glu content	w(脯氨酸) Pro content	w(甘氨酸) Gly content	w(丙氨酸) Ala content
T1	3.65 a	0.23 a	0.69 a	0.16 a	0.11 a	0.17 a
CK	2.47 b	0.09 b	0.38 b	0.14 a	0.12 a	0.06 b

其中氨基酸总量及天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸含量分别比 CK 显著提高 1.18、0.14、0.31 和 0.11 个百分点,仅有甘氨酸含量低于 CK,但二者差异不显著。以上结果说明套养蚯蚓能够提高番茄果实的氨基酸含量,促进番茄果实风味的提升。

### 3 讨论与结论

牛粪饲喂蚯蚓是降低牛粪重金属含量、提高土壤质量的有效手段。Xu 等<sup>[21]</sup>研究表明,设施土壤中 Cd 等重金属超标严重。颜正健等<sup>[22]</sup>的研究证实,重金属富集可以导致植株致病菌的增加。刘俊秀<sup>[23]</sup>研究表明,环境 Cd 浓度的增加会导致番茄植株体内的 Cd 含量增加,并且能降低植株的干质量和鲜质量。在本试验中,利用蚯蚓取食牛粪进行套种套养的土壤较常规种植的土壤中的重金属铅、砷、铬、镍、镉、汞含量均显著下降,说明蚯蚓套养能够吸附牛粪及土壤中的重金属,这与张素冰等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。同时套养蚯蚓后,可以显著提高土壤中的有机质含量和有益微生物数量,杨海波等<sup>[24]</sup>、Ravindran 等<sup>[25]</sup>的研究也有相似结论。但是对番茄植株及果实中的重金属与人体转移、危害的研究仍然较少,土壤重金属含量对番茄品质的影响仍不明确,下一步将对设施土壤中重金属在番茄果实中的含量变化和积累进行进一步监测。

蚯蚓与番茄进行套种套养对提高番茄产量和果实品质具有积极作用。刘婵娟等<sup>[26]</sup>的研究表明,蚯蚓粪的使用,可显著提高番茄产量及维生素 C 含

量。刘学才<sup>[27]</sup>的研究表明,蚯蚓粪施用后番茄果实的硝酸盐含量降低。穆柯<sup>[28]</sup>、苏卫<sup>[29]</sup>的研究表明,蚯蚓粪的配施可以有效提高番茄的蛋白质、维生素 C、钙和镁含量,与本试验的研究结果一致。同时,本试验中测试的蚯蚓套养番茄的氨基酸总量及天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸含量都显著高于常规栽培,而其中番茄的鲜味主要来自谷氨酸,甜味主要来自脯氨酸<sup>[30-31]</sup>。但是关于蚯蚓套养对番茄风味物质增加的机制研究结果较少,原因尚不明确,需要进一步研究。

笔者明确了套养蚯蚓对土壤重金属降低、土壤质量提升、番茄产量和品质提高的有益作用。与定植前相比,番茄与蚯蚓套种套养 90 d 可以促使土壤 pH 降低 0.62、有机质含量显著提高 921.30%、重金属总含量降低 53.8%,产量显著提高 7.7%,硝酸盐含量显著下降 35.5%,氨基酸总含量显著增加 1.18 个百分点。套养蚯蚓不但有效保护与提升了设施土壤质量,还促进了鲜食番茄品质的提高。试验结果为深入开展蚯蚓-番茄套种套养、降低土壤重金属含量和提高鲜食番茄产量与品质的机制研究提供了重要理论支撑。

### 参考文献

- [1] 任征然,王佳伟,高金华,等. 热水解对鸡粪和牛粪厌氧消化及重金属风险的影响[J]. 农业工程学报, 2024, 40(4): 254-261.
- [2] LIU B L, AI S W, ZHANG W Y, et al. Assessment of the bio-availability, bioaccessibility and transfer of heavy metals in the soil-grain-human systems near a mining and smelting area in NW China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 609:

- 822-829.
- [3] YANG Y, GAO T T, LIU X L, et al. Spatial distribution characteristics and assessment of heavy metal pollution in cultivated soil of agricultural small watershed in typical mining area in south China[J]. *Environmental Science*, 2023, 44(3): 1602-1610.
- [4] YANG J Z, GONG J J, WANG Z L, et al. Enrichment factors, health risk, and source identification of heavy metals in agricultural soils in semi-arid region of Hainan island[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(10): 4590-4600.
- [5] CHEN X M, ZHAO C, WU C, et al. Ecological risk assessment and migration and accumulation characteristics of heavy metals in farmland soil-crop system from typical pyrite mining area[J]. *Environmental Science*, 2023, 44(11): 6309-6318.
- [6] 张维兰, 张悦, 刘萍, 等. 蚯蚓在植物修复重金属污染土壤中的研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2022, 45(8): 155-165.
- [7] 潘英杰. 生理阻控剂对镉污染农田蔬菜生长及镉吸收的影响[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2023.
- [8] 罗梦琴, 龚崇艳, 方婷, 等. 生物炭对牛粪—酒糟—园林废弃物联合蚯蚓堆肥进程及重金属钝化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2024, 43(6): 1400-1410.
- [9] 张素冰, 李鑫, 王晓霄, 等. 蚯蚓对饲料中 Pb、Cr、Cd 的吸收富集[J]. *安徽农业科学*, 2024, 52(1): 61-66.
- [10] 章强, 郭晓明, 原名扬, 等. 蚯蚓堆肥过程中重金属的迁移转化及影响因素[J]. *中国环境科学*, 2024, 44(4): 2166-2183.
- [11] 宁婧媛. 高温堆肥耦合蚯蚓后腐熟堆肥去除沼渣中重金属的效果与机制初探[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [12] 郭文忠. 聚焦番茄产业症结, 调整生产结构布局[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(5): 1-2.
- [13] 曹云娥, 尹翠, 吴泽帅, 等. 蚯蚓原位堆肥提升番茄连作土壤质量研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(2): 247-259.
- [14] 刘辰熙, 王继涛, 尹翠, 等. 生物炭—蚯蚓原位对设施番茄根际微生物和果实代谢的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2024, 42(3): 182-196.
- [15] 杨波, 王昊, 陈永伟, 等. 蚯蚓生物套种套养对设施番茄生长、品质及根际土壤微生物的影响[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(12): 118-123.
- [16] 赵颖. 韩城市设施蔬菜配方施肥技术应用效果研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [17] 朱兆香. 土壤放线菌的筛选、鉴定及其活性代谢产物的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [18] 张飞. 原子吸收光谱法测定土壤中重金属的探讨[J]. *北方环境*, 2012, 24(3): 218-221.
- [19] 夏明慧, 樊婷婷, 曹君璇, 等. 海藻糖对樱桃番茄果实品质的影响[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2024, 47(6): 790-795.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] XU Z, SHI M Y, YU X M, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment of vegetable-soil systems of facilities irrigated with wastewater in northern China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(16): 9835-9835.
- [22] 颜正健, 王籽潼, 孟壮, 等. 镉胁迫导致番茄根际富集病原菌黄瓜织球壳菌[J]. *中国土壤与肥料*, 2023(9): 209-215.
- [23] 刘俊秀, 朱正阳, 王魁, 等. 重金属镉在番茄及其害虫西花蓟马中的积累与传递[J]. *环境昆虫学报*, 2023, 45(3): 673-681.
- [24] 杨海波, 杨荣华, 李承男, 等. 不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(15): 94-100.
- [25] RAVINDRAN B, WONG J, SELVAM A, et al. Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste[J]. *Bioresource Technology*, 2016, 217: 200-204.
- [26] 刘婵娟, 叶放, 徐顺安, 等. 蚯蚓粪肥对设施番茄生长、氮素利用和土壤肥力的影响[J/OL]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 1-12[2024-05-08]. <https://link.cnki.net/urlid/33.1247.S.20240507.1408.002>.
- [27] 刘学才. 蚯蚓粪对番茄根区环境及产量和品质的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2020.
- [28] 穆柯. 蚯蚓粪配施化肥对番茄农艺性状、品质和土壤理化性质的影响[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2023.
- [29] 苏卫. 蚯蚓养殖和蚯蚓有机肥对梁家河设施大棚土壤改良和果蔬生长的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [30] 李学贤, 张雪, 童灵, 等. 游离氨基酸改善作物风味品质综述[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(4): 73-81.
- [31] 岳冬, 刘娜, 朱为民, 等. 樱桃番茄与普通番茄部分品质指标及氨基酸组成比较[J]. *食品科学*, 2015, 36(4): 92-96.