

雍海燕,张燕,曹云娥. 蚯蚓发酵液对番茄品质、产量及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):134-138.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.032

# 蚯蚓发酵液对番茄品质、产量及土壤养分的影响

雍海燕<sup>1</sup>, 张燕<sup>2</sup>, 曹云娥<sup>3</sup>

(1. 宁夏银川市西夏区农牧水务局, 宁夏银川 750000; 2. 宁夏万辉生物环保科技有限公司, 宁夏银川 750021;

3. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

**摘要:**以粉宴1号番茄为试材,研究600、675、750、825、900 kg/hm<sup>2</sup>等5个梯度蚯蚓发酵液对番茄植株生长、抗氧化能力、土壤养分、品质及产量的影响,旨在获得蚯蚓发酵液对番茄生长发育适宜施用量。结果发现,施用蚯蚓发酵液提高茎粗13.28%~23.88%,增加叶面积35.80%~55.60%,DPPH基清除能力、Fe<sup>2+</sup>螯合能力、·OH清除能力提高分别可达59.12%、53.45%、86.25%,促进维生素C含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量、番红色素含量和游离氨基酸含量的峰值分别达到108.69 mg/100 g、16.40 g/kg、13.74 mg/100 g、7.23 mg/100 g、6.56 mg/g,硝酸盐含量显著降低19.70%~36.14%、可滴定酸25.00%~108.69%,产量和单果质量的增幅分别为10.98%~18.97%、10.97%~38.54%。不同蚯蚓发酵液施用量对各指标的影响存在显著差异,随蚯蚓发酵液施用量增加先增加后减少,峰值出现在750 kg/hm<sup>2</sup>处理。结果表明,750 kg/hm<sup>2</sup>处理效果最佳,促进番茄营养生长,提高土壤养分,改善品质,提高产量。

**关键词:**蚯蚓发酵液;番茄;品质;产量;土壤养分

**中图分类号:** S641.206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0134-05

随着我国设施园艺迅猛发展,设施蔬菜种植面积占有比例不断提高,从1978年的0.7 hm<sup>2</sup>到2014年386万hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>,我国成为了设施园艺生产大国。设施栽培领域属于科学技术含量高、投入成本高、作物产出高、经济效益高的集约化、规模化、标准化农业生产方式<sup>[2-3]</sup>。设施园艺生产过程是一个多技术融合及相互协调的过程,其核心在于优质高效种植,而肥料供给措施管理是种植的关键技术环节,正确的养分供给可显著提高作物的品质、产量、经济效益,更利于生态效益提高。实际生产中人类为了追求高产,获取较高经济效益,不断增加施肥量(尤其是化肥),肥料的过量施用,导致肥水流失、病虫害严重,化肥农药用量加大,土壤次生盐渍化和酸化加剧,作物品质劣、产量低、效益差<sup>[4-6]</sup>,并造成资源浪费、土壤和水体污染、生态环境的破坏<sup>[7]</sup>。不合理的水肥管理严重制约了我国设施蔬菜优质高效的发展,更遏制了关键环节的突破。目前,通过施用有机肥的方法来减少化肥的投入量,以提高土壤质量,减少环境污染<sup>[8]</sup>。有机液体肥既能改善土壤环境又能减轻环境的污染,已被人们广泛关注<sup>[9]</sup>。

蚯蚓发酵液是由蚯蚓肉体发酵形成高浓度新型有机液体肥,含有大量的生物活性酶、有益活性菌群、多肽、生命活性物质等,以及植物生长所需的各种营养元素及氨基酸、腐植酸等有益元素,含量全且均衡,可促进植株根系发育,增强作物抗逆性能,提高作物品质及产量。有益微生物覆盖全,能保护植物表面,避免致病细菌感染植物,减轻作物病害,对多种致病菌都有明显的抑制作用,生物修复能力强,是纯天然植物生长营养调节剂,能全面活化土壤,改良盐碱地,既可作为冲施肥,也可以用作叶面肥。蚯蚓发酵液是一种绿色肥料,能被作物直接吸收,提高了吸收的速度,施入土壤后,营养成分可直达根系,无需经过长时间的化学变化过程,并且大大降低了某些营养成分被土壤固定的数量。与固体化肥相比,其利用率明显提高,不但降低了成本,而且也降低了化肥的使用量,同时减少了对作物和环境的污染<sup>[10]</sup>。蚯蚓发酵液生物活性功能强,具有修复土壤结构、改善品质、提高产量、增加经济效益等优势,在促进有机质积累以及调节土壤碳氮磷循环等生态过程中发挥着重要作用,因此大力开发液体化肥,科学合理施用液体化肥,不仅能降低农业生产成本、提高农产品的经济效益,而且对促进农业和化肥工业的可持续发展起到积极的推动作用<sup>[11]</sup>。

然而,蚯蚓发酵液对设施番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)生长发育、品质及产量等的研究在国内外报道较少。因此,本试验通过研究不同浓度梯度的蚯蚓发酵液对番茄生

收稿日期:2017-08-30

基金项目:宁夏“十三五”重大科技项目(编号:2016BZ09-02)。

作者简介:雍海燕(1970—),女,宁夏银川人,高级农艺师,主要从事瓜菜栽培与防治研究。E-mail:yhaiyan1970@163.com。

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

[6] 张无敌,周长平,刘士清. 厌氧消化残留物对改良土壤的作用[J]. 生态农业研究,1996(3):37-39.

[7] 马文元,郭玉兰. 对沼气发酵残留物中生物活性物质的探讨[J]. 中国沼气,1993(2):50-51.

[8] 李彦超,廖新伟,吴银宝. 施用沼液对杂交狼尾草产量和土壤养分含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1527-1531.

[9] 刘文科,杨其长,王顺清. 沼液在蔬菜上的应用及其土壤质量效应[J]. 中国沼气,2009,27(1):43-46,48.

[10] 李泽碧,王正银,李清荣,等. 沼液、沼渣等与化肥配施对茼蒿品质和产量的影响[J]. 中国沼气,2006,24(1):27-30.

[11] 陈道华,刘庆玉,艾天,等. 施用沼肥对温室草莓产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2007(9):75-77.

长、果实品质及土壤养分等的影响,可为设施番茄施肥效应评价模式提供一定的参考依据,更可作为设施番茄施用蚯蚓发酵液新型有机肥料技术理论参考,为蚯蚓发酵液在设施番茄上的使用提供科学理论依据,从而达到减少化肥施用,改善农田养分状况,保护农业生态环境的目的。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在宁夏回族自治区银川市西夏区镇北堡镇蔬菜生产基地,种植年限 4 年的日光温室中进行。镇北堡镇地处 106°03'E、38°37'N,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 ~

表 1 蚯蚓发酵液矿物元素含量

全氮含量 (%)	全磷含量 (%)	全钾含量 (%)	速效氮含量 (g/kg)	速效磷含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)
6.30	0.61	0.86	56.0	1.65	7.64	12.45

表 2 蚯蚓发酵液氨基酸含量

氨基酸种类	含量(%)	氨基酸种类	含量(%)
天冬氨酸含量	0.194	蛋氨酸含量	0.028
苏氨酸含量	0.042	异亮氨酸含量	0.026
丝氨酸含量	0.059	亮氨酸含量	0.045
谷氨酸含量	3.864	酪氨酸含量	0.030
甘氨酸含量	0.049	苯丙氨酸含量	0.038
丙氨酸含量	0.710	赖氨酸含量	0.083
半胱氨酸含量	0.013	组氨酸含量	0.006
缬氨酸含量	0.100	精氨酸含量	0.015

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。该温室主栽作物为番茄,于 2017 年 2 月—2017 年 7 月之间进行。底肥施入有机肥 60 t/hm<sup>2</sup>,追肥试验按照蚯蚓发酵液的用量不同设置 5 个处理,处理 1:不追施蚯蚓发酵液,只滴灌清水(CK),处理 2:滴施 600 kg/hm<sup>2</sup> 蚯蚓发酵液(T-40),处理 3:滴施 675 kg/hm<sup>2</sup> 蚯蚓发酵液(T-45),处理 4:滴施 750 kg/hm<sup>2</sup> 蚯蚓发酵液(T-5),处理 5:滴施 825 kg/hm<sup>2</sup> 蚯蚓发酵液(T-55),处理 6:滴施 900 kg/hm<sup>2</sup> 蚯蚓发酵液(T-60)。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 40 cm,株距 40 cm,每畦共种植 36 棵番茄苗。采用覆膜滴灌,在番茄生长期,各处理的蚯蚓发酵液严格通过滴灌施肥系统精确供液,于番茄第 1 穗开花后追肥,连续追施 2 次,第 1 穗果核桃大小开始追施第 3 次,连续追施 8 次,全生育期共追施 10 次。各处理管理一致。

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由土钻采集自植物根围(距离植株茎 2 cm 左右),于每个小区中间行(最外的 2 行植株不采样)选取不同部位 5 个采样点,采集后将样品混合为 1 个重复的总样。将土壤样品过 2 mm 筛并混匀,风干后测定有机质含量、pH 值、EC 值、速效磷含量、速效钾含量。

1.4.2 生长指标的测定 采用游标卡尺测量番茄植株根茎处的茎粗,采用卷尺测量番茄植株叶片的叶面积。

233.1 mm,而年蒸发量高达 1 583.2 mm,属典型中温带干旱气候<sup>[12]</sup>。

供试土壤为粉沙壤土,土壤 pH 值为 8.21,EC 值为 0.25 mS/cm,有机质含量 5.02 g/kg,全氮含量 0.34 g/kg,全磷含量 0.46 g/kg,全钾含量 0.58 g/kg,有效氮含量 12.58 mg/kg,有效磷含量 19.82 mg/kg,有效钾含量 156.2 mg/kg。

1.2 试验材料

供试番茄为抗 TY 病毒品种粉宴 1 号。蚯蚓发酵液为褐色清液且无明显的异味,pH 值 4.93,有效活菌数为 2 亿/g,腐植酸≥40%,供试肥料由宁夏万辉生物环保科技有限公司生产。蚯蚓发酵液矿物元素含量见表 1。氨基酸含量见表 2。

1.4.2 土壤指标的测定 参考鲍士旦的方法<sup>[13]</sup>测定土壤理化性质。

1.4.3 番茄抗氧化性的测定 参照 Manda 等的方法<sup>[14]</sup>,测定番茄果实二苯代苦味酰基自由基清除率、羟基自由基清除能力、Fe<sup>2+</sup>螯合活性。

1.4.4 番茄品质的测定 在番茄成熟期,采用蒽酮法测定可溶性糖含量,采用 2,6-二氯酚靛酚滴定比色法测定维生素 C 含量,采用 NaOH 滴定法测定可滴定酸含量,采用浓硫酸-水杨酸比色法<sup>[15]</sup>测定硝酸盐含量,采用考马斯亮蓝 G-250 法<sup>[16]</sup>测定可溶性蛋白质含量,采用茚三酮显色法测定游离氨基酸含量<sup>[17]</sup>,采用比色法测定番茄红素含量<sup>[17]</sup>。

1.4.5 番茄产量的测定 每个小区中间行随机选取 30 棵植株测量整个收获期的果实产量。

1.5 数据处理

采用 Excel 制图、SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,选用 LSD 法在 0.05 水平上进行显著性分析。利用极差变换法<sup>[18]</sup>将番茄生长、品质及产量的原始数据化为 0~1 间的标准化数据。然后利用 SAS 软件进行主成分分析<sup>[19]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤养分的影响

研究发现,蚯蚓发酵液对土壤碱性(pH 值)和电导率(EC 值)影响差异不显著,但显著增加土有效氮、有效磷、有效钾及有机质含量,且随着蚯蚓发酵液施用量增加而增加(表 3)。T-40 处理有机质含量与 CK 差异不显著,其他处理与 CK 差异显著,其中 T-60 处理有机质含量最高,较 CK 增加了 87.96%;各处理间有效 N、有效 P、有效 K 含量均差异显著,均以 T-60 处理最高,分别是 CK 的 2.13、3.88、2.66 倍。说明蚯蚓发酵液可以显著增加土壤养分,提升土壤有机质,利于作物生长。

2.2 不同处理对番茄生长的影响

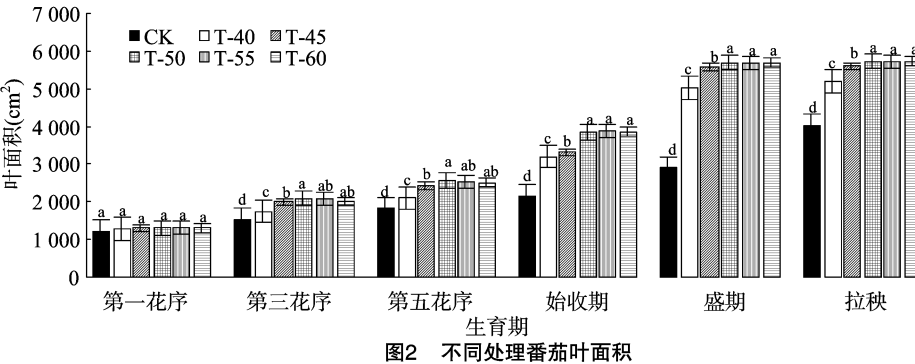
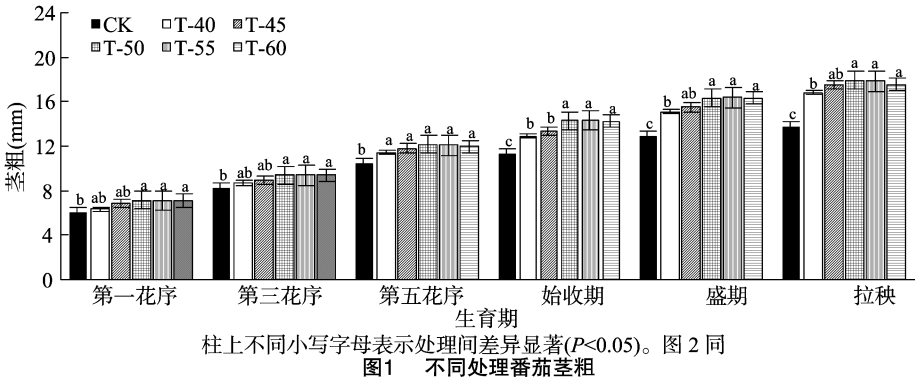
研究发现,在番茄不同生育期,随着蚯蚓发酵液施用量增加,番茄茎粗和株高均表现先增加,在 T-50 处理处达到最大值,后略有减小的趋势。T-55、T-60 处理间番茄茎粗和叶面积差异不显著,高于 T-40 与 T-45,均显著高于 CK,在盛

表 3 不同处理土壤养分

处理	pH 值	EC 值 (mS/cm)	有机质含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	有效钾含量 (mg/kg)	有效氮含量 (mg/kg)
CK	8.28a	0.45a	5.40d	33.21f	152.48f	40.85f
T-40	8.21a	0.43a	5.59d	67.84e	267.65e	50.84e
T-45	8.17a	0.38a	6.62c	87.95d	282.13d	67.26d
T-50	8.07a	0.34a	8.97b	101.68c	304.59c	75.73c
T-55	8.11a	0.33a	9.88a	122.07b	379.51b	77.84b
T-60	8.08a	0.31a	10.15a	128.95a	405.45a	86.99a

注:数据采用 LSD 方差分析方法,同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

果期 T-50 处理茎粗和叶面积较 CK 增幅为 26.82%、96.15% (图 1、图 2)。说明适量施用蚯蚓发酵液可以促进作



2.3 不同处理对番茄品质的影响

研究发现,番茄果实可溶性蛋白质含量和番茄红素含量随蚯蚓发酵液施用量增加而升高,T-60 处理可溶性蛋白质含量最大,T-45、T-50、T-55、T-60 处理番茄红素含量差异不显著,显著高于 CK。番茄果实可溶性糖、维生素 C、游离氨基酸含量趋势一致,即随蚯蚓发酵液施用量增加先升高后降低,处理间的影响均达到显著性差异水平,其中均以 T-50 处理最高,分别为 16.40 g/kg、108.69 mg/100 g、6.56 mg/kg,

较 CK 增幅分别为 35.54%、80.13%、48.08% (表 4)。果实硝酸盐和可滴定酸含量随蚯蚓发酵液施用量增加先降低后升高,其中均以 T-50 处理最低,处理间硝酸盐含量差异均显著,T-40、T-45、T-50、T-55、T-60 处理较 CK 分别减少 19.70%、27.11%、36.15%、30.43%、27.78%,T-50、T-55 处理可滴定酸含量显著高于 CK,分别为 CK 的 0.48 倍、0.54 倍。说明适量施用蚯蚓发酵液可以促进果实糖分、维生素及氨基酸的积累,降低果实硝酸盐和有机酸的累

表 4 不同处理番茄品质

处理	可溶性糖含量 (g/kg)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可溶性蛋白质含量 (mg/100 g)	硝酸盐含量 (mg/kg)	游离氨基酸含量 (mg/kg)	可滴定酸含量 (g/kg)	番红色素含量 (mg/100 g)
CK	12.10d	60.34f	10.48c	141.67a	4.43c	0.48a	4.82b
T-40	14.27c	79.85e	11.32b	113.76b	5.28bc	0.36ab	5.12b
T-45	15.82ab	92.64d	12.03b	103.27c	5.61ab	0.32ab	6.83a
T-50	16.40a	108.69a	13.56a	90.45f	6.56a	0.23b	7.23a
T-55	15.98ab	104.52b	13.68a	98.56e	6.15ab	0.26b	6.92a
T-60	15.23b	99.46c	13.74a	102.32d	6.03ab	0.29ab	7.01a

计,改善果实品质(表 4)。

2.4 不同处理对番茄抗氧化能力的影响

研究发现,蚯蚓发酵液显著提高二苯代苦味酰基自由基(DPPH·)清除能力、Fe<sup>2+</sup>螯合能力及·OH 清除能力(表 5)。DPPH·清除能力与 Fe<sup>2+</sup>螯合能力趋势一致,均随蚯蚓发酵液施用量增加先增大后减小,变现为 T-50>T-55>T-60>T-45>T-40>CK,T-50 DPPH·清除能力与 Fe<sup>2+</sup>螯合能力较 CK 分别增加 59.12%、52.72%。·OH 清除能力则随蚯蚓发酵液施用量增加依次增大,以 T-60 处理最大,为 86.25%,与 T-55 差异不显著,较 CK 增加 60.91%。说明适量施用蚯蚓发酵液可以提高番茄抗氧化能力。

2.5 不同处理对番茄产量的影响

研究发现,番茄的第 1 穗果至第 5 穗果的单果质量和单穗质量趋势表现一致,均随蚯蚓发酵液施用量增加先增大后减少,以 T-50 处理最高,T-55 次之,与 CK 均差异显著。

表 6 不同处理番茄抗番茄单果质量和单穗质量

处理	第 1 穗果		第 2 穗果		第 3 穗果		第 4 穗果		第 5 穗果	
	单果质量	单穗质量	单果质量	单穗质量	单果质量	单穗质量	单果质量	单穗质量	单果质量	单穗质量
CK	102.57f	512.85	108.95f	544.75	109.45f	547.25	101.70e	508.50	102.65e	513.25
T-40	111.25e	556.25	119.82e	599.10	128.68e	643.40	110.58d	552.90	112.65d	563.25
T-45	119.45d	597.25	125.61d	628.05	135.68c	678.40	119.85c	599.25	120.94c	604.70
T-50	138.65a	693.25	143.85a	719.25	159.54a	797.70	144.06a	720.30	141.68a	708.40
T-55	128.56b	642.8	133.59b	667.95	141.25b	706.25	129.24b	646.20	125.36b	626.80
T-60	119.82c	599.10	129.56c	647.80	135.02c	675.10	120.46c	602.30	120.09c	600.45

表 7 不同处理番茄总产量

处理	总产量(kg/hm <sup>2</sup> )				较 CK 增加 (%)
	重复 I	重复 II	重复 III	平均	
CK	74 306	80 682	81 407	78 798	—
T-40	87 519	86 091	88 731	87 447	10.98d
T-45	94 641	90 684	94 364	93 230	18.32c
T-50	109 836	107 918	109 748	109 167	38.54a
T-55	99 513	98 748	97 839	98 700	25.26b
T-60	92 930	93 080	95 219	93 743	18.97c

2.6 不同处理对番茄生长、品质及产量影响的综合评价

利用主成分分析分析不同施用量蚯蚓发酵液对番茄生长、品质及产量的综合影响。结果发现,第 1 主成分和第 2 主成分特征值大于 1,其余主成分特征值均小于 1,而第 1 主成分贡献率为 89.98%,所以选取第 1 主成分作为番茄生长、品质及产量的综合指标(表 8)。根据特征向量确定标准化变量所表达的各主成分的表达式: $y = -0.224 3x_1 - 0.212 3x_2 + 0.201 2x_3 + 0.216 4x_4 + 0.203 1x_5 + 0.217 3x_6 + 0.224 4x_7 + 0.222 8x_8 + 0.218 1x_9 + 0.229 1x_{10} + 0.221 8x_{11} + 0.209 6x_{12} + 0.226 8x_{13} + 0.209 6x_{14} + 217 3x_{15} + 0.223 6x_{16} + 0.228 0x_{17} + 0.212 6x_{18} + 0.209 6x_{19} + 0.222 8x_{20} + 0.226 8x_{21}$ ,构建番茄生长、品质及产量的预测评价模型  $w = 0.899 8y$ 。在 6 个外源处理中,T-50 处理番茄生长、品质及产量综合影响最好,其次是 T-55 处理,再次为 T-60 处理(表 9)。

3 讨论与结论

蚯蚓发酵液是蚯蚓肉体经过微生物菌剂发酵获得的高效有机发酵液料,不仅含有大量的有益微生物,也含有大量的养分<sup>[20-23]</sup>。如研究人员对复合蚯蚓液营养成分进行分析发现,

表 5 不同处理番茄抗氧化能力

处理	DPPH·清除能力 (%)	Fe <sup>2+</sup> 螯合活性 (%)	·OH 清除能力 (%)
CK	43.42f	64.95f	53.60d
T-40	55.29e	74.75e	78.95c
T-45	64.18c	87.50d	79.58c
T-50	69.09a	99.19a	83.98b
T-55	65.94b	98.15b	85.67a
T-60	63.15d	95.36c	86.25a

T-50 处理第 1 穗果至第 5 穗果的单果质量较 CK 分别增加 35.18%、32.03%、45.77%、41.65%、38.02%,其中第 3 穗果增加量最大(表 6)。此外,蚯蚓发酵液显著增加番茄产量,各处理较 CK 增产 10.98%~38.54%,其中 T-50 处理产量最高,其次是 T-55,T-40 最低,并处理间产量差异显著(表 7)。说明适量施用蚯蚓发酵液可以增加番茄的产量。

表 8 番茄因子主成分的特征值和累计贡献率

主成分	特征值	前后特征值差	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	18.896 7	17.652 0	89.98	89.98
2	1.244 7	0.639 6	5.93	95.91
3	0.605 1	0.400 0	2.88	99.77
4	0.205 1	0.156 6	0.98	99.77
5	0.048 4	0.048 4	0.23	100.00
6	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
7	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
8	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
9	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
10	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
11	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
12	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
13	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
14	0.000 0	0.0000	0.00	100.00
15	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
16	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
17	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
18	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
19	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
20	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00
21	0.000 0	0.000 0	0.00	100.00

其含有亮氨酸、酪氨酸等 15 种氨基酸,钾、铁、钙、锌等 10 种矿物质元素,5 种维生素,并含有具有抗病和促进动物生长多肽和可溶性的小分子蛋白<sup>[20]</sup>。本研究所用蚯蚓发酵液含有氨基酸 16 种,总量为 5.253%,N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 总量 7.77%,有机质含量 12.45 g/kg,无重金属。顾卫华和范启松研究表明,蚯蚓有机液肥能够促进柑橘生长,促进柑橘果实膨大增质量,促进果实转色,增加果品质量<sup>[21]</sup>,与黄晓炯在番茄上应用

表 9 番茄因子综合评价

处理	Prin1	综合评价结果	排名
CK	0.698 7	0.628 7	6
T-40	0.749 9	0.674 8	5
T-45	0.773 9	0.696 4	4
T-50	0.816 5	0.734 7	1
T-55	0.796 0	0.716 3	2
T-60	0.785 6	0.706 9	3

注:Prin1 表示主成分 1 评价结果。

结果<sup>[22]</sup>一致。本试验结果表明,随着蚯蚓发酵液施用量的增加,番茄的株高和叶面积呈先增加后降低趋势,其中 T-50 处理对番茄营养生长促进作用最明显,低浓度和高浓度蚯蚓发酵液反而会抑制作物的生长,这与顾卫华和范启松研究结论一致<sup>[21]</sup>。蚯蚓发酵液种含有丰富的大量矿物质元素、有机质和激素以及生长素类物质,有利于植物养分吸收与运转,平衡养分应求,促进了番茄茎粗、叶片的发育,进而促进干物质的积累。改善品质,促进果实内维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、番红色素和游离氨基酸含量的提高,显著降低了果实中硝酸盐和有机酸含量,处理效果为 T-50>T-55>T-60>T-45>T-40>CK,蚯蚓发酵液含有丰富的 N、P、K 素,以及大量微生物,可以利于番茄叶片中光合有机产物的转化、运输和分配,促进番茄果实内有机产物的积累,显著提高番茄的品质,然而施用量过高会对番茄品质产生一定的抑制作用。番茄果实的抗氧化能力也是影响植株产量和品质的重要指标<sup>[23]</sup>,蚯蚓发酵液处理后,番茄果实二苯代苦味酰基自由基清除能力、Fe<sup>2+</sup> 螯合能力及·OH 清除能力显著提高,其中 T-50 DPPH·清除能力与 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力最强,T-60 处理·OH 清除能则最强,表明蚯蚓发酵液对提高番茄果实的抗氧化能力发挥着重要的作用。

有机质是衡量土壤肥力高低的重要标志,是碳源的重要来源,同时也是氮磷素的活化载体<sup>[24-25]</sup>。本研究表明施用蚯蚓发酵液提高土壤有机质含量 3.52%~87.96%,其中 T-60 处理有机质含量最高;土壤速效养分为土壤中作物直接吸收利用的矿物质养分,其含量的高低直接影响着作物地上部,施用蚯蚓发酵液显著提高土壤有效氮、有效磷、有效钾含量,处理间差异显著,均以 T-60 处理最高。蚯蚓发酵液能扩大土壤的养分库,促进土壤中可利用养分氮、磷、钾的释放及利用,促进养分转化,利于作物吸收利用。

果实产量是番茄生产力的最终体现。本研究中,相较于对照,施用蚯蚓发酵液均不同程度地增加了番茄产量,较 CK 增产 10.98%~38.54%,其中 T-50 处理产量最高,可能与蚯蚓发酵液改善土壤理化性状、增强养分有效性、改善果实品质和促进作物生长有关。对番茄施用蚯蚓发酵液肥料效应的主成分分析结果表明,T-50 处理番茄生长、品质及产量综合评价最高,其次是 T-55 处理,T-40 处理综合评价最差。

施用蚯蚓发酵液后土壤有机质、有效氮、有效磷、有效钾含量增加,促进番茄营养生长,增加茎粗和叶面积,提高番茄果实的抗氧化能力,改善果实品质,显著提高单果质量及产量,最适施用量为 750 kg/hm<sup>2</sup>,建议推广使用。

参考文献:

[1]郭世荣,孙 锦,束 胜,等. 我国设施园艺概况及发展趋势[J]. 中国蔬菜,2012(18):1-14.

[2]杨小振,张 显,马建祥,等. 滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报,2014(7):109-118.

[3]谷丽丽. 日光温室土壤栽培黄瓜营养液量化管理技术研究[D]. 泰安:山东农业大学,2012:15.

[4]李 邵,薛绪掌,齐 飞,等. 不同营养液浓度对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(6):1409-1416.

[5]高艳明,李建设,曹云娥. 日光温室番茄滴灌营养液土培试验研究[J]. 西北农业学报,2006,15(6):121-126.

[6]孙 磊,孙景生,刘 浩,等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J]. 灌溉排水学报,2008,27(2):51-54.

[7]蒋卫杰,邓 杰,余宏军. 设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J]. 中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.

[8]叶 静,岳 巍,郑纪慈,等. 污泥复合肥在海涂棉花上的效应[J]. 浙江农业科学,2003(6):45-47.

[9]张恩平,谭福雷,王 月,等. 氮磷钾与有机肥配施对番茄产量品质及土壤酶活性的影响[J]. 园艺学报,2015,42(10):2059-2067.

[10]黄 燕,汪 春,衣淑娟. 液体肥料的应用现状与发展前景[J]. 农机化研究,2006(2):198-200.

[11]周倩倩. 沼液及两种微生物肥料对枸杞生长、品质及产量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012:56.

[12]《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.

[13]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:45-67.

[14]Manda K D, Adams C, Ercal N. Biologically important thiols in aqueous extracts of spices and evaluation of their *in vitro* antioxidant properties[J]. Food Chemistry,2010,118(3):589-593.

[15]赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998:237.

[16]王 柳,张福漫,魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(12):225-229.

[17]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:75.

[18]李美娟,陈国宏,陈衍泰. 综合评价中指标标准化方法研究[J]. 中国管理科学,2004,12(1):45-48.

[19]法洁琼,张振文. 甘肃河西走廊产区主栽酿酒葡萄品质比较研究[J]. 北方园艺,2013(3):26-30.

[20]许 兴,郑国琦,杨 娟,等. 宁夏不同地域枸杞多糖和总糖含量与土壤环境因子关系的研究[J]. 西北植物学报,2005,25(7):1340-1344.

[21]顾卫华,范启松. 蚯蚓肥在柑橘上应用的试验报告[J]. 南方农业,2015,9(6):52-53.

[22]黄晓炯. 坤之缘蚯蚓液肥在番茄上的应用肥效试验[J]. 上海蔬菜,2015(1):77-78.

[23]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,2012:25.

[24]袁 超,赵 爽,徐 柯,等. 海南东寨港红树林沉积物中有机质的分布特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):263-266.

[25]李枝桦,伞金辉,陈兴位,等. 云南植烟土壤有机质与养分的关系及主要养分的空间变化[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):220-224.