

师杨杰, 靳红梅, 管益东, 等. 生物腐殖酸对番茄产量、品质和土壤养分含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(8): 1739-1746.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.08.014

生物腐殖酸对番茄产量、品质和土壤养分含量的影响

师杨杰^{1,2}, 靳红梅^{2,3}, 管益东¹, 盛良全⁴, 朱燕云^{2,3}, 朱 宁^{2,3}

(1.南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044; 2.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 3.江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 江苏 南京 210095; 4.阜阳师范大学, 安徽 阜阳 236037)

摘要: 为探明生物腐殖酸对番茄植株生长性状、果实产量和品质及土壤养分含量的影响, 本研究以金陵露比番茄品种为试验材料, 设置 3 个处理: 对照、每株根施生物腐殖酸 37.5 mg、每株根施生物腐殖酸 150.0 mg。结果表明, 根施生物腐殖酸可以显著促进番茄植株生长, 明显改善果实品质, 当生物腐殖酸施用水平为每株 150.0 mg 时, 番茄部分生长性状指标、产量和品质指标(番茄红素含量除外)最佳。与对照相比, 生物腐殖酸施用量为每株 150.0 mg 时, 番茄植株的株高、茎粗、SPAD 值显著提高, 果实单株产量、单位面积产量明显提升, 果实维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量显著增加。生物腐殖酸施用对总氮、速效磷、有效钾、有机质等土壤养分含量无显著影响。综合考虑各项指标, 每株根施生物腐殖酸 150.0 mg 对番茄植株生长和果实发育促进效果最显著。

关键词: 番茄; 生物腐殖酸; 施用水平; 产量; 品质

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)08-1739-08

Effects of biological humic acid on tomato yield, quality and soil nutrient content

SHI Yang-jie^{1,2}, JIN Hong-mei^{2,3}, GUAN Yi-dong¹, SHENG Liang-quan⁴, ZHU Yan-yun^{2,3}, ZHU Ning^{2,3}

(1.School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3.Jiangsu Collaborative Innovation Center for Organic Solid Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China; 4.Fuyang Normal University, Fuyang 236037, China)

Abstract: To explore the effects of biological humic acid (BHA) on tomato plant growth characteristics, fruit yield and quality, and nutrient content of soil, this study used Jinling Ruby tomato as the experimental material, and set up three treatments: control, root application of BHA at 37.5 mg per plant, root application of BHA at 150.0 mg per plant. The results showed that root application of BHA could significantly promote tomato plant growth and improve fruit quality. When the application level of BHA was 150.0 mg per plant, the indices of some growth traits, yield and quality indices (except lycopene content) of tomato were the best. Compared with the control, the plant height, stem diameter and SPAD value at 150.0 mg per plant application level were significantly improved, the fruit weight per plant and the yield per square meter

were significantly improved, and the contents of vitamin C, soluble sugar and soluble protein in fruits were significantly increased. The application of BHA had no significant effect on the content of soil nutrients such as total nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter. Taking all indicators into account, root application of 150.0 mg BHA per plant had the most significant effect on promoting the growth of tomato plant and

收稿日期: 2022-12-21

基金项目: 江苏省重点研发计划社会发展项目(BE2022788); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(20)1011]

作者简介: 师杨杰(1998-), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 研究方向为有机废弃物高效转化与利用。(E-mail) 20201248130@nuist.edu.cn

通讯作者: 朱 宁, (E-mail) ning.zhu@jaas.ac.cn

fruit development.

Key words: tomato; biological humic acid; application level; yield; quality

番茄属于茄科茄属植物,因其风味独特、营养价值较高深受消费者青睐,在现代设施园艺的发展中具有较高的经济效益^[1]。中国番茄年产量约 5.5×10^7 t,占蔬菜总产量的 7% 左右^[2]。番茄含有丰富的营养物质,包括维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、番茄红素等,食用番茄及其衍生品有许多益处^[3],番茄优质高产的协同提高已成为满足市场需求的重要途径^[4]。因此,研发能够提高番茄产量和品质的新型肥料对推动番茄产业可持续发展具有重要意义。

腐殖酸是有机物质在物理化学和微生物作用下形成的一类富含多种活性官能团的高分子非均相聚合物^[5],具有离子交换性、渗透性、亲水性、吸附性、络合性等特点^[6],起到改良土壤结构、提高肥效、改善产品品质、促进植株生长的作用,如孙向春等^[7]利用矿源腐殖酸降低了土壤 pH 和容重,提高了土壤速效养分含量;宋挚等^[8]将矿源腐殖酸应用于葡萄种植,显著提高了葡萄的可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量等。目前大多数研究所用的腐殖酸是通过化学方法从泥炭、褐煤和风化煤中提取获得的^[9-11]。除少量黄腐酸外,大部分矿物腐殖酸生物活性较低,且具有较高的分子量、较少的螯合性和亲水性基团,短时间内很难被土壤微生物分解利用。生物腐殖酸是一种新型绿色高效肥料,主要以有机废弃物为原料,经过微生物发酵产生。生物腐殖酸相对分子质量小、含有活性基团(如羧基和羟基等)多,易被植物吸收利用。除有机质和 N、P、K 等营养物质外,生物腐殖酸中还含有多种有益功能微生物和对植物生长有利的生物活性组分,如氨基酸、有机酸、类黄酮等,具有促进作物增产和提高作物品质的效果^[12-13]。但关于生物腐殖酸在番茄栽培中的应用研究鲜有报道,且生物腐殖酸对番茄植株生长、果实发育以及土壤养分含量的影响尚不清楚。

本研究拟以金陵露比番茄品种为试验材料,研究不同根施水平下生物腐殖酸对番茄植株生长性状、果实产量和品质及土壤养分含量的影响,以期为高效栽培优质番茄提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于江苏省南京市江宁区,地理位置为

31°42'N, 118°55'E, 属北亚热带季风气候,年平均气温为 17.1 °C,年平均降水量为 1 294.2 mm。试验地土壤类型为潮土,其 pH 为 5.90、电导率(EC)为 98.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、有机质含量为 29.41 g/kg、总氮含量为 1 930.00 mg/kg、碱解氮含量为 130.00 mg/kg、速效磷含量为 9.74 mg/kg、有效钾含量为 367.71 mg/kg。

1.2 供试作物与材料

1.2.1 供试作物 供试番茄品种为金陵露比,该品种为樱桃型番茄,全生育期约为 90 d。

1.2.2 供试生物腐殖酸制备方法 生物腐殖酸发酵复合菌剂由拟康氏木霉、裂褶菌、哈茨木霉、绒毛木霉、深绿木霉按照一定比例组成,均为本实验室保存菌种。

1.2.2.1 复合菌剂制备 将上述 5 株菌活化后于 28 °C 培养 7~10 d,待菌丝长满整个平板后,刮取菌丝表面孢子加入到适量无菌水中,并用涡旋仪充分振荡制成孢子悬液,采用血球计数板法计算获得孢子含量,然后用无菌水稀释孢子悬液,调整孢子含量为 1 ml 1×10^7 个,将各菌株孢子悬液等量混合均匀,获得复合液体菌剂。

1.2.2.2 生物腐殖酸制备 采用固体发酵方式制备,发酵底物为麦麸和豆饼,两者质量比为 1.0 : 0.8,混合物料含水率调整为 70%,pH 为 6,复合菌剂接种量为 1 g 1×10^7 个孢子(干基),于 28 °C 发酵 15 d。

1.2.2.3 生物腐殖酸提取 发酵结束后,采用提取液(0.1 mol/L NaOH+0.1 mol/L $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$,体积比为 1 : 1)按照 1 : 10(质量体积比)从发酵物料中提取腐殖酸,室温下振荡 2 h,4 000 r/min 离心 10 min,提取上清液,固体渣按照上述操作重复 3 次提取过程,合并上清液即为腐殖酸。

1.3 试验设计与管理

试验时间为 2022 年 4~7 月。在志清农产品专业合作社进行穴盘嫁接育苗。采取大小行起垄定植,大行距 75 cm、小行距 54 cm、株距 43 cm。试验区域划分为 9 个小区,每个小区长 11.0 m、宽 1.5 m、面积为 16.5 m^2 ,每小区定植 60 株番茄。番茄苗定植前,有机肥基施,鸡粪有机肥(有机质含量为 297.63 mg/g、总氮含量为 17.68 mg/g)施

用量为 15 t/hm^2 , 钙镁磷肥(购自湖北金明珠化肥有限公司, P_2O_5 含量 $>12\%$, 氧化镁含量为 8% , 氧化钙含量为 25%) 施用量为 750 kg/hm^2 , 复合肥(购自江苏华昌化工股份有限公司, N 含量 + P_2O_5 含量 + K_2O 含量 $\geq 45\%$) 施用量为 750 kg/hm^2 , 硼肥(购自上海益田生物科技有限公司, 纯度 $\geq 98\%$) 施用量为 15 kg/hm^2 。定植后, 施用内生菌根菌剂(南京翠京元生物科技有限公司产品, 1 ml 有效繁殖体数 ≥ 70 个) 15 kg/hm^2 。设置 2 种生物腐殖酸用量, 分别为每株 37.5 mg (T1) 和 150.0 mg (T2), 分别在番茄苗定植和第一穗果坐果后施用, 施用方式为根施, 以不施用腐殖酸为对照 (CK), 每个处理 3 个平行小区。

1.4 样品采集与测试方法

1.4.1 样品采集与预处理 番茄果实采集: 于采收期在每个小区随机采摘色泽、硬度和成熟度相同的 10 个番茄果实, 放入保温箱, 12 h 内运送至实验室, 擦净果实后, 在冰浴条件下用研钵充分研磨获得匀浆样品, 保存于 $0\sim 4\text{ }^\circ\text{C}$ 的冰箱待测。

土壤样品采集: 分别在拉秧期、坐果期、盛果期和采收期, 采用 5 点取样法取土壤样品, 用土钻取 $0\sim 10 \text{ cm}$ 的土壤样品, 保存于自封袋中, 12 h 内将采集的土样运回实验室, 均匀分为 2 部分: 一部分保存于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱, 另一部分置于阴凉通风处风干, 风干后研磨过 100 目筛待测。

1.4.2 测定方法 生物腐殖酸成分测定: 总氮含量测定采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法^[14]; 总磷含量测定采用过硫酸钾-钼锑抗分光光度法^[15]; 总钾含量测定采用火焰光度计法^[16]; 游离氨基酸含量采用自动氨基酸分析仪测定^[17]; 多糖含量测定采用硫酸-蒽酮比色法^[18]; 参照《水溶肥料 钙、镁、硫、氯含量的测定》(NY/T 1117-2010)^[19] 测定钙、镁元素含量。

植株生长指标测定: 每个小区随机选取 10 株番茄, 分别在拉秧期、坐果期、盛果期和采收期测定番茄植株的株高和茎粗, 用皮尺测量株高, 用游标卡尺测量茎粗, 用便携式叶绿素测定仪测定 SPAD 值。

番茄产量指标测定: 在番茄第一穗果采收期, 每个小区选取 10 株计算其穗果数并测定其单株产量, 这 10 株番茄穗果的总质量与总个数比值即为单果质量。

番茄品质指标测定: 可溶性糖含量测定采用硫酸-蒽酮比色法^[20]; 采用南京建成生物工程科技有限

公司生产的试剂盒测定维生素 C (Vc) 含量(比色法); 采用南京建成生物工程科技有限公司生产的试剂盒测定可溶性蛋白含量(考马斯亮蓝法); 采用氢氧化钠碱溶液滴定法测定可滴定酸(总有机酸)含量^[21]; 可溶性糖含量与总有机酸含量的比值即为糖酸比; 参照《番茄制品中番茄红素、叶黄素、胡萝卜素含量的测定 超高效液相色谱法》(GB/T 41133-2022)^[22] 测定番茄红素含量。

土壤养分指标测定: 采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质 (SOC) 含量, 采用凯氏定氮法测定总氮 (TN) 含量, 采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测定速效磷 (AP) 含量, 采用冷 HNO_3 浸提-火焰光度法测定有效钾 (AK) 含量^[23]。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 处理数据, 采用 SPSS Statistics 26.0 进行不同样本数据之间的差异显著性分析, 采用 Duncan 法 ($\alpha=0.05$) 进行多重比较, 采用 Origin 2019b 进行作图。

2 结果与分析

2.1 生物腐殖酸成分分析

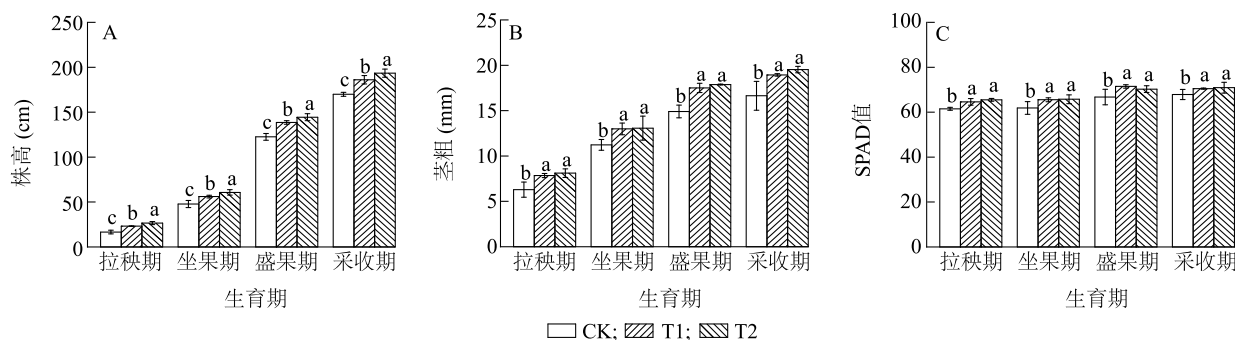
生物腐殖酸不仅具有良好的生物活性, 还包含植物生长所需要的营养元素, 如有机质、氮、磷、钾、氨基酸、糖类等, 对作物生长发育具有重要作用。本研究中制备得到的液体生物腐殖酸中腐殖酸含量为 16.14 g/L , 总氮、总磷、总钾含量分别为 56.64 g/L 、 11.82 g/L 、 2.60 g/L , 总养分含量达 86.85 g/L , 这明显高于尾菜水热法制备的腐殖酸中总养分含量(约为 1.00 g/L)^[24]。本研究中生物腐殖酸游离氨基酸含量和多糖含量分别为 1.11 g/L 、 3.96 g/L , 而刘秋梅等^[25] 制备的木霉氨基酸有机肥的氨基酸水解原液中氨基酸总量仅为 0.13 g/L , 低于本研究水平, 这可能是因为本研究腐殖酸发酵原料中豆饼蛋白质在功能菌株作用下分解产生氨基酸^[26]。复合菌剂中裂褶菌在固态发酵中可以产生裂褶多糖, 这会进一步增加腐殖酸中的糖类含量^[27]。生物腐殖酸中钙、镁含量分别为 11.15 mg/L 、 2.04 mg/L , 可以给植物提供适当的矿物元素。另外, 制备生物腐殖酸所用到的微生物也会产生代谢活性组分, 这些组分同样可以作用到植物上, 调节植物的生长发育。

2.2 生物腐殖酸对番茄植株生长性状的影响

由图 1 可知, 生物腐殖酸对番茄植株生长的促进

效果明显。与 CK 相比,T1、T2 处理株高显著增加,分别增加了 4.68%~39.56% 和 13.84%~60.14%。在不同番茄生育期,T1、T2 处理的株高总是显著高于 CK,且高施用水平(T2 处理)番茄株高显著高于低施用水平(T1 处理)。施用生物腐殖酸同时增加了番茄植株茎粗,与 CK 相比,T1、T2 处理茎粗显著增加了 13.82%~24.80% 和 16.38%~28.93%。不同生物腐殖

酸施用水平下番茄植株茎粗无显著差异。同时,施用腐殖酸促进了番茄植株叶片中叶绿素的积累,与 CK 相比,T1 处理和 T2 处理 SPAD 值分别显著增加了 3.90%~7.06% 和 4.49%~6.52%。这表明不同施用水平下生物腐殖酸均可促进番茄植株生长发育,使植株保持较强生长势,并且高施用水平下生物腐殖酸效果更好。



图中不同小写字母表示同一生育期不同处理之间差异显著($P < 0.05$)。CK:清水对照;T1:每株番茄根施生物腐殖酸 37.5 mg;T2:每株番茄根施生物腐殖酸 150.0 mg;T1、T2 处理分别在番茄苗定植和第一穗果坐果后施用 2 次生物腐殖酸,每次生物腐殖酸施用量相同。

图 1 不同生物腐殖酸施用水平对番茄株高、茎粗、SPAD 值的影响

Fig.1 Effects of different levels of biological humic acid (BHA) application on plant height, stem diameter and SPAD value of tomato

2.3 生物腐殖酸对番茄产量的影响

生物腐殖酸施用对番茄产量的影响如表 1 所示。由表 1 可知,生物腐殖酸对番茄果实产量有明显的提升效果,且不同腐殖酸施用水平下提升作用存在差异。与 CK 相比,T1、T2 处理单果质量显著增加($P < 0.05$)。与 CK 相比,T2 处理单株产量和单位面积产量显著增加,分别增加了 21.24% 和 13.96%。以上结果表明,施用适量的生物腐殖酸不仅促进了番茄植株的生长,还显著提高了番茄果实产量。

表 1 不同生物腐殖酸施用水平对番茄产量的影响

Table 1 Effects of different levels of biological humic acid (BHA) application on tomato yield

处理	单果质量 (g, 1 个)	单株产量 (g, 1 株)	单位面积产量 (g/m ²)
CK	17.48±2.27b	51.74±2.80b	199.82±4.10b
T1	21.12±0.38a	52.16±5.41b	185.56±23.20b
T2	22.09±0.39a	62.73±4.05a	227.72±8.52a

CK、T1 处理、T2 处理见图 1 注。

2.4 生物腐殖酸对番茄品质的影响

由图 2 可知,施用生物腐殖酸后,番茄果实品质得到了极大的改善。与 CK 相比,T1 处理和 T2 处

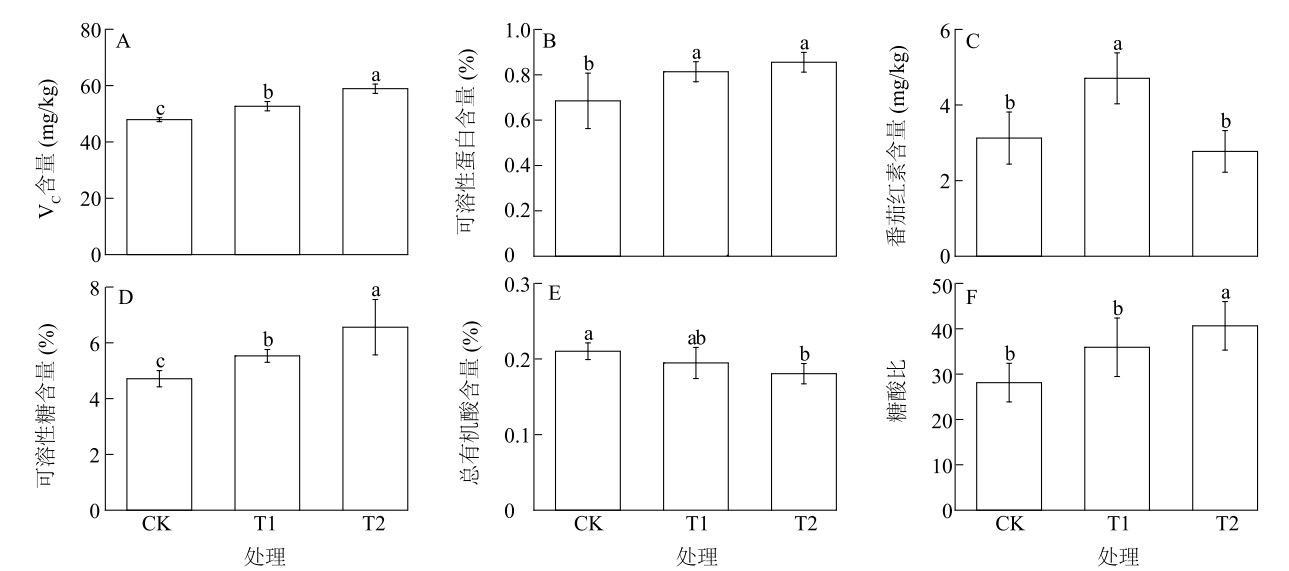
理的 Vc 含量显著增加,分别增加了 9.98% 和 22.99%,并且 T2 处理 Vc 含量显著高于 T1 处理 Vc 含量。与 CK 相比,T1、T2 处理的可溶性蛋白含量也显著增加,分别增加了 18.69% 和 24.82%,但 T1 处理和 T2 处理之间可溶性蛋白含量无显著差异。施用生物腐殖酸后,番茄果实的番茄红素得到了一定改善,T1 处理的番茄红素含量较 CK 增加了 50.48%,T2 处理的番茄红素含量与 CK 无显著差异。施用生物腐殖酸还增加了番茄的可溶性糖含量,同时降低了番茄的总有机酸含量,与 CK 相比,T1、T2 处理的可溶性糖含量分别显著增加了 17.39% 和 39.18%,T2 处理的总有机酸含量显著下降了 12.86%。生食果实的糖、酸含量以及糖酸比共同决定了其风味,与 CK 相比,T1、T2 处理的糖酸比分别增加了 27.73% 和 44.52%,这表明施用生物腐殖酸改善了番茄的风味。

2.5 生物腐殖酸对土壤养分含量的影响

腐殖酸富含多种活性基团,可以作为调理剂作用于土壤,其能改善土壤团粒结构、提高土壤有机质含量和土壤养分含量^[28]。施用生物腐殖酸对番茄田土壤养分含量影响如表 2 所示。本研究在番茄苗

定植和第一穗果坐果后施用 2 次生物腐殖酸,分别于番茄拉秧期、坐果期、盛果期、采收期采集并测定土壤养分含量,结果发现,不同生物腐殖酸施用水平下生物腐殖酸对土壤有机质、总氮、速效磷、有效钾含量均无明显提升作用,这可能是因为施用的生物腐殖酸相对分子质量较小,大部分被番茄植株吸收利用,残留于土壤中的腐殖酸量较少,未达到提升土

壤养分含量的作用。而孙向春等^[7]、刘艳等^[29]施用的矿源腐殖酸提升了土壤速效养分含量,这可能是因为矿源腐殖酸多为大相对分子质量腐殖酸,在土壤中具有很好的残留效应,并且二者施用的矿源腐殖酸量(600~1 200 kg/hm²)高于本研究中施用的生物腐殖酸量。



图中不同小写字母表示各处理之间差异显著($P<0.05$)。CK、T1 处理、T2 处理见图 1 注。

图 2 不同生物腐殖酸施用水平对番茄品质的影响

Fig.2 Effects of different levels of biological humic acid (BHA) application on tomato quality

表 2 不同生物腐殖酸施用水平对番茄田土壤养分含量的影响

Table 2 Effects of different application levels of biological humic acid (BHA) on soil nutrient content in tomato fields

采样时期	处理	有机质含量 (g/kg)	总氮含量 (%)	速效磷含量 (mg/kg)	有效钾含量 (mg/kg)
拉秧期	CK	17.54±1.37a	0.22±0a	165.15±18.12a	77.96±13.59a
	T1	17.87±0.85a	0.23±0.02a	177.53±6.85a	119.86±39.68a
	T2	17.42±0.83a	0.22±0a	166.76±13.96a	85.27±13.80a
坐果期	CK	17.89±1.19a	0.23±0.02a	161.74±17.76a	88.27±4.70a
	T1	17.56±1.17a	0.22±0.02a	147.50±41.27a	78.78±10.28a
	T2	17.13±0.83a	0.21±0.01a	172.17±8.93a	74.54±14.62a
盛果期	CK	18.22±1.31a	0.21±0a	175.50±6.83a	79.50±11.34a
	T1	17.27±0.60a	0.20±0.02a	153.62±24.68a	90.09±18.02a
	T2	17.90±0.88a	0.21±0.02a	175.61±6.92a	87.60±5.45a
采收期	CK	16.88±1.12a	0.19±0a	164.12±14.01a	70.87±7.70a
	T1	16.83±1.29a	0.20±0.01a	159.79±17.96a	71.48±3.35a
	T2	16.29±1.24a	0.18±0a	148.71±9.76a	70.46±10.56a

不同字母表示各处理之间差异显著($P<0.05$)。CK、T1、T2 处理见图 1 注。

3 讨论

本研究制备出来的生物腐殖酸不仅含有植物所需的多种养分,还含有氨基酸、糖类、钙、镁等营养物质,而矿源腐殖酸一般只含腐殖酸、氮、磷、钾等成分^[30-31]。本研究中,不同施用水平下生物腐殖酸均能显著提高番茄植株的株高、茎粗和叶片 SPAD 值,其中较高施用水平的生物腐殖酸对番茄植株株高的提升效果最明显。高原等^[32]将腐殖酸应用于辣椒种植,显著促进了辣椒植株的生长和辣椒的干物质积累;王云赫等^[33]将腐殖酸施用于小麦,小麦的株高、叶片叶绿素含量最高增幅分别为 8.54%、3.74%,其研究结果均与本研究结果相似。有研究表明,腐殖酸对植物根系的刺激作用是其促进植物生长的直接原因^[34],这种刺激作用主要表现为腐殖酸促进植株根长度和侧根数量的增加,植物生长所需养分主要是通过根部吸收,发达的根系使得植物可以吸收更多可利用的养分促进自身生长。本研究中的生物腐殖酸聚合程度低、相对分子质量小,更容易刺激植株根系生长和根系细胞质膜分泌 H⁺-ATP 酶,提高酶活性,使得植株吸收更多养分,促进番茄植株生长^[35]。有研究表明,腐殖酸能够提高植物对微量元素的吸收,并且能够抑制分解叶绿素蛋白酶的活性,维持较高的叶绿素含量,提高植株叶片光合作用的能力^[36-37]。本研究中,根施生物腐殖酸可能通过促进番茄植株根系对微量元素的吸收,提高了植株叶片中的叶绿素含量。

本研究中,施用生物腐殖酸能达到提升番茄果实产量和改善果实品质的效果,其中每株 150.0 mg 施用水平下生物腐殖酸对番茄果实产量提升效果显著。丁守鹏等^[38]将矿源腐殖酸粉应用于番茄栽培发现,当腐殖酸施用量为 600 kg/hm²时,其对番茄生长、产量、品质提升效果最好,植株株高、茎粗、叶片叶绿素含量明显提高,番茄产量、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、糖酸比明显增加;周丽等^[39]将矿源腐殖酸应用于苹果种植,当腐殖酸用量为 600 kg/hm²时,苹果的单果质量、产量显著提高,果实维生素 C 含量、可溶性糖含量、糖酸比明显增加。这 2 种矿源腐殖酸对作物品质的提升效果均低于本研究。分析其原因可能是生物腐殖酸中存在氨基酸等小分子物质,这些小分子物质被番茄植株吸收利用后,以类激素的方式调节番茄植株体内的新陈代谢

过程,包括植物中碳水化合物的储存和转移等^[40]。另外,生物腐殖酸促进番茄植株对钙、镁元素的吸收,这些矿物元素的综合效应共同影响着番茄果实的产量和品质^[41]。还有研究表明,分次施用腐殖酸对植株促生效果优于一次性施用^[31],这可能也是本研究中生物腐殖酸对番茄促生效果较明显的原因。

研究结果表明,腐殖酸能提高土壤有机质、总氮、速效钾、速效磷等养分含量,达到提高土壤养分含量、改善土壤结构的效果^[42-49]。本研究中,施用生物腐殖酸并未达到显著提升土壤养分含量的效果,这可能是因为生物腐殖酸施用量较低(2.7 kg/hm²和 10.9 kg/hm²),而孙海燕等^[50]和 Hu 等^[51]将腐殖酸用于提升土壤质量时,其腐殖酸用量为 390.0~1 500.0 kg/hm²。另外,由于土壤生态系统本身具有一定的稳定性,肥料对土壤结构及养分含量的影响大多是一个长期作用的结果^[52]。Li 等^[53]连续 3 年在花生田开展腐殖酸施用试验,结果表明,腐殖酸提高了花生田土壤总氮、总磷、全钾、有机质等养分含量,并且在第三年表现出最大效应。与之相比,本研究中生物腐殖酸施用周期仅为 3 个月,因此短期内较低施用水平下生物腐殖酸难以对土壤产生显著影响。

4 结论

本试验测定了制备的生物腐殖酸的养分含量,并通过大田试验探究了不同根施水平下生物腐殖酸对番茄植株生长性状、番茄果实产量和品质以及番茄田土壤养分含量的影响。结果表明,生物腐殖酸不仅含有氮、磷、钾等养分,还含有氨基酸、糖类、钙、镁等营养物质;不同根施水平下生物腐殖酸均能促进番茄植株生长、改善番茄果实品质,但 2 种施用水平下生物腐殖酸对土壤养分含量提升作用并不明显。综合考虑,每株根施 150.0 mg 可作为生物腐殖酸在番茄上的最佳施用水平。

参考文献:

- [1] 王归鹏,王文元,袁泽南,等. 全有机营养栽培对樱桃番茄养分吸收、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(10): 128-137.
- [2] 李红斌,陈建,章斌. 有机微生物复合肥对连作樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(10): 23-24.
- [3] MIRIAM D, STEINGSS C B, CHERUBINO L, et al. Effects of a

- plant-derived biostimulant application on quality and functional traits of greenhouse cherry tomato cultivars[J]. *Food Research International*, 2022, 157:11218.
- [4] GAO F C, LI H J, MU X G, et al. Effects of organic fertilizer application on tomato yield and quality: a meta-analysis[J]. *Applied Sciences*, 2023, 13(4):2184.
- [5] JUDITH S, PETER B, KARSTEN K, et al. Molecular features of humic acids and fulvic acids from contrasting environments[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(3):1330-1339.
- [6] MILNE C J, KINNIBURGH D G, VAN R W H, et al. Generic NICA-Donnan model parameters for metal-ion binding by humic substances[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(5):958-971.
- [7] 孙向春,冯涛,殷晓燕,等. 腐植酸对土壤理化性质及洋葱产量的影响[J]. *蔬菜*, 2022(2):27-31.
- [8] 宋挚,郭新送,范仲卿,等. 腐植酸等碳替代有机肥对葡萄产量、品质及土壤养分的影响[J]. *华北农学报*, 2022, 37(3):158-167.
- [9] JIANYUAN J, SHUIQIN Z, LIANG Y, et al. Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1):17502.
- [10] 周丽平,袁亮,赵秉强,等. 不同分子量风化煤腐殖酸对玉米植株主要代谢物的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(1):142-148.
- [11] 邓爱妮,罗金辉,苏初连,等. 碱性含腐植酸营养液对樱桃番茄产质量影响及其改土效果[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(5):1282-1290.
- [12] GERKE J. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: a review[J]. *Agronomy*, 2018, 8(5):76.
- [13] 曾维爱,曾敏,周航,等. 腐植酸和硫酸铁配施改良偏碱畑田土壤的研究[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3):170-173.
- [14] 上海市环境监测中心. 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法: HJ 636-2012[S]. 北京:环境保护部, 2012:1-14.
- [15] 北京市环保监测中心,上海市环境监测中心. 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法:GB/T 11893-1989[S]. 北京:国家技术监督局,1989:1-8.
- [16] 国际标准化组织. 水质 钠和钾的测定 第1部分 原子吸收光谱法测定钠:ISO 9964-1-1993[S]. 日内瓦:国际标准化组织,1993:1-4.
- [17] 北京国家化肥质量监督检验中心. 水溶肥料游离氨基酸含量的测定:NY/T 1975-2010[S]. 北京:中国农业出版社,2010:1-7.
- [18] 张述伟,宗营杰,方春燕,等. 萘酚比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(7):196-200.
- [19] 北京国家化肥质量监督检验中心,济南农业部肥料质量监督检验测试中心. 水溶肥料 钙、镁、硫、氯含量的测定:NY/T 1117-2010[S]. 北京:中国农业出版社,2010:1-14.
- [20] 高继国,郭春绒. 普通生物化学教程实验指导[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [21] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [22] 上海市质量监督检验技术研究院. 番茄制品中番茄红素、叶黄素、胡萝卜素含量的测定 超高效液相色谱法:GB/T 41133-2022[S]. 北京:国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会,2022:1-12.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [24] 周朱梦. 尾菜水热处理条件优化及其液相产物中腐殖酸特性研究[D]. 南京:南京农业大学,2021.
- [25] 刘秋梅,陈兴,孟晓慧,等. 新型木霉氨基酸有机肥研制及其对番茄的促生效果[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(10):3314-3322.
- [26] YANY X, ZHANG Y J, GAO J L, et al. Intracellular and extracellular sources, transformation process and resource recovery value of proteins extracted from wastewater treatment sludge via alkaline thermal hydrolysis and enzymatic hydrolysis[J]. *The Science of the Total Environment*, 2022, 852:158512.
- [27] SUTIVISED SAK N, LEATHERS T D, NUNNALLY M S, et al. Production of the bioactive polysaccharide Schizophyllan from renewable cellulosic materials[J]. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2012, 244:7727.
- [28] 孔令冉,董雯昕,杨天一,等. 腐植酸在改良和培肥土壤中的作用[J]. *腐植酸*, 2019(1):7-12.
- [29] 刘艳,唐亚福,杨越超,等. 大颗粒活化腐植酸肥对苹果土壤团聚体和有机碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2022, 33(4):1021-1026.
- [30] 侯献飞,苗吴翠,李强,等. 腐植酸水溶肥对花生生长发育及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(7):1598-1605.
- [31] 陈倩,李秉毓,张鑫,等. 腐植酸分次施用明显提高富士苹果产量、品质和氮素利用率[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(4):757-764.
- [32] 高原,郭晓青,李福德,等. 基施黄腐酸肥料情况下减施化肥提高设施辣椒产量和品质[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(3):594-602.
- [33] 王云赫,范仲卿,郭新送,等. 腐植酸对不同筋度小麦品种生长特性、产量和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2022, 42(10):1240-1246.
- [34] CALVO P, NELSON L, KLOEPPER J W. Agricultural uses of plant biostimulants[J]. *Plant and Soil*, 2014, 383(1/2):3-41.
- [35] DE H D, MARTA F, VICTORIA F, et al. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11:493.
- [36] 侯晓娜. 黄腐酸和聚天冬氨酸对蔬菜氮素吸收及肥料氮转化的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
- [37] 张玲. 黄腐酸和甜菜碱对苹果抗旱生理及果实产量品质的

- 影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [38] 丁守鹏,张国新,姚玉涛,等. 腐植酸肥料对滨海盐碱地土壤性状及番茄生长和品质的影响[J]. 河北农业科学,2021,25(6):65-70.
- [39] 周丽,高进华,解学仕,等. 含腐植酸土壤调理剂对酸性土壤改良苹果产量及品质的影响[J]. 腐植酸,2022(4):47-51.
- [40] WANG J W, ZHANG J, LI J, et al. Exogenous application of 5-aminolevulinic acid promotes coloration and improves the quality of tomato fruit by regulating carotenoid metabolism[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12:683868.
- [41] 金宁,肖雪梅,郁继华,等. 不同品种番茄果实矿质元素含量评价[J]. 甘肃农业大学学报,2020,55(4):76-84.
- [42] COLPAS-CASTILLO F, DUNOYER A T, CAMARGO J M. Agricultural soils strengthening employing humic acids and its effect on plant growth chilli pepper and eggplant[J]. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2018, 30(11):941-945.
- [43] YANAN L. Research progress of humic acid fertilizer on the soil[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1549(2):022004.
- [44] 黄占斌,郝文静,冯泽坤,等. 腐植酸在土壤改良和污染修复中的应用现状及研究展望[J]. 水土保持通报,2022,42(2):354-361.
- [45] 李夏雯,卢树昌. 调理剂对旱直播稻土壤物理性状、氮素吸收与迁移的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(22):216-222.
- [46] 范琼,冯剑,邹冬梅,等. 碱性液体肥对树仔菜-土壤重金属生物有效性及积累迁移的影响[J]. 南方农业学报,2022,53(12):3336-3345.
- [47] 雷菲,王莉,刘海林,等. 腐殖酸缓释氮肥对糯玉米产量、氮肥利用率及土壤细菌多样性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):271-275.
- [48] 卜晓莉,姬慧娟,马青林,等. 生物炭-泥炭复合基质对马缨杜鹃生长和生理的影响[J]. 植物资源与环境学报,2021,30(5):58-68.
- [49] 王彩虹,郝水源. 长期施用腐殖酸复合微生物肥对小麦生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(7):100-105.
- [50] 孙海燕,孙义卓,周变,等. 化肥减量配施腐植酸生物肥对土壤生物学性质和玉米干物质质量的影响[J]. 应用生态学报,2022,33(3):677-684.
- [51] HU Y W, LI Q K, SONG C J, et al. Effect of humic acid combined with fertilized on the improvement of saline-alkali land and cotton growth[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2021(2):1279-1294.
- [52] 郝翔翔,邹文秀,韩晓增. 长期不同利用方式对黑土剖面中有机质化学组成的影响[J]. 土壤学报,2022,59(5):1228-1237.
- [53] LI Y, FANG F, WEI J L, et al. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three-year experiment[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1):12094.

(责任编辑:陈海霞)