

腐植酸生物有机肥对番茄生长、产量及土壤养分的影响

齐鹰博¹ 顾广年¹ 江志阳^{2*}

1 力拓肥料（沈阳）有限公司 沈阳 110016

2 中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110016

摘 要：腐植酸是土壤有机质的重要组成部分，施用腐植酸生物有机肥能提高植物对有效物质的吸收效率，实现作物增产与土壤改良等多重功效。通过施用不同浓度的腐植酸生物有机肥，验证其对番茄生长、产量及土壤养分的提升效果。结果表明，80 kg/亩腐植酸生物有机肥（T2 处理）效果最好。与施用常规肥料（T1 处理）相比，T2 处理的番茄株高增加 8.96%、茎粗增加 17.27%、花序数量增加 18.18%、坐果率提高 8.92%、植株干重增加 13.24%、单果质量增加 12.03%、单株产量增加 16.09%、亩产量增加 18.05%、亩产值增加 32.80%，差异均达显著水平；土壤中有有机质、全氮、速效磷含量分别显著提高 12.25%、21.33% 和 11.46%，对土壤速效钾含量提高效果不明显。

关键词：腐植酸生物有机肥；番茄；产量；土壤养分

中图分类号：TQ444.6, S641.2

文章编号：1671-9212(2025)04-0046-06

文献标识码：A

DOI：10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.04.006

Effects of Humic Acid Bio-organic Fertilizer on Tomato Growth, Yield and Soil Nutrients

Qi Yingbo¹, Gu Guangnian¹, Jiang Zhiyang^{2*}

1 Rio Tinto Fertilizer (Shenyang) Co. Ltd., Shenyang, 110016

2 Shenyang Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016

Abstract: Humic acid is an important component of soil organic matter, and the application of humic acid bio-organic fertilizer can promote the absorption efficiency of nutrients by plants and achieve multiple benefits, such as increased crop yields and soil improvement. By applying different concentrations of humic acid bio-organic fertilizer, the effects on tomato growth, yield and soil nutrients was verified. The results showed that 80 kg/acre of humic acid bio-organic fertilizer (T2 treatment) had the best effect. Compared with the application of conventional fertilizers (T1 treatment), the tomato plant height increased by 8.96%, stem thickness increased by 17.27%, inflorescence number increased by 18.18%, fruit setting rate increased by 8.92%, plant dry weight increased by 13.24%, single fruit weight increased by 12.03%, single plant yield increased by 16.09%, yield per mu increased by 18.05%, and output value per mu increased by 32.80% in T2 treatment, with all changes showing statistically significant differences. The contents of organic matter, total nitrogen and available phosphorus in the soil increased significantly by 12.25%, 21.33% and 11.46%, respectively, but the effect on increasing the content of available potassium in the soil was not significant.

Key words: humic acid bio-organic fertilizer; tomato; yield; soil nutrients

[基金项目] 国家重点研发计划“黑土地土壤障碍消减靶向调理与培肥产品研发与应用”（项目编号 2023YFD1500500）；中国科学院战略性先导科技专项（项目编号 XDA28070304）。

[收稿日期] 2024-10-29

[作者简介] 齐鹰博，女，1994 年，研发专员，主要从事农用微生物肥料研究，E-mail: 18302474327@163.com。* 通讯作者：江志阳，男，高级工程师，E-mail: jiangzhiyang@iae.ac.cn。



番茄作为现代设施园艺中具有较高经济价值的作物,深受消费者青睐^[1]。番茄中富含丰富的营养物质,其中番茄红素具有独特的抗氧化能力,长期食用番茄及其加工制品有诸多好处^[2]。据调查,2023 年我国鲜食番茄产量超过 7200 万吨,居世界第一^[3]。然而,在番茄种植过程中,长期大量施用化肥易导致土壤盐渍化、土壤板结等问题^[4],致使番茄产量和品质下降。腐植酸作为一种富含多种活性官能团的非均一脂肪-芳香族无定形有机高分子混合物,具有离子交换性、渗透性、亲水性、吸附性、络合性等特性,能够改良土壤、促进作物生长、改善作物品质、增强肥效等^[5]。本研究通过设置不同腐植酸生物有机肥施用量,验证其促进番茄生长、提高番茄产量、提升土壤养分含量的应用效果,以期腐植酸生物有机肥在番茄上的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物:番茄,品种为“毛粉 802”。

供试肥料:腐植酸生物有机肥,腐植酸 $\geq 20\%$ 、 $N-P_2O_5-K_2O=25-10-10$ 、有效活菌数(枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌) ≥ 2 亿/克;常规肥料, $N-P_2O_5-K_2O=25-10-10$;均由力拓肥料(沈阳)有限公司生产。

供试土壤:试验田位于内蒙古自治区赤峰市松山区哈拉道口镇哈拉道口村,土质为棕壤土,0~20 cm 土壤基本理化性状为:pH 7.32,有机质 31.86 g/kg,全氮 2.12 g/kg、有效磷 12.56 mg/kg、速效钾 56.7 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于 2022 年 5 月—10 月进行,采用随机区组设计,共设置 6 个处理,分别为:CK(对照),不施用任何肥料;T1,80 kg/亩常规施肥;T2,80 kg/亩腐植酸生物有机肥;T3,20 kg/亩常规肥料+60 kg/亩腐植酸生物有机肥;T4,40 kg/亩常规肥料+40 kg/亩腐植酸生物有机肥;T5,60 kg/亩常规肥料+20 g/亩腐植酸生物有机肥。施肥方式为滴灌。各处理重复 3 次,小区面积 20 m²(长 5 m、

宽 4 m),每次采收均按照小区单独采收、称重、计产,其他栽培管理按照当地常规方式进行。

1.3 测定项目及方法

每个小区采用 5 点随机取样法,分时期测定相关指标:在幼苗期测量株高、茎粗及 SPAD 值(叶绿素含量);在坐果期统计花序数量、坐果率及植株干重;在成熟期测定单果质量、单株产量、亩产量;在采收时,用取土器钻取 0~10 cm 的土壤样品,风干后研磨过筛,测定每个小区的土壤养分含量。

(1)株高:在自然状态下,用卷尺测量从地面到番茄生长最高点的垂直距离。

(2)茎粗:用游标卡尺测量距地面 2 cm 茎基部的直径。

(3)SPAD 值:用叶绿素速测仪(莱恩德 LD-YD 手持式植物养分速测仪)测定穗位叶 SPAD 值,每片叶重复测量 3 次取平均值。

(4)花序数量:开花期逐株统计花序数量。

(5)坐果率:按公式计算,坐果率=(坐果数量/开花数量) $\times 100\%$ 。

(6)植株干重:用 105℃ 恒温干燥箱(笃特 DHG-9053A)烘干番茄植株地上部分后,使用电子天平(舜宇 FA224)称取地上部分重量。

(7)产量:从番茄第 1 穗果采收开始计,每个小区选取 10 株,计算其整个生长期内的穗果数并测定单果质量、单株产量及亩产量。

(8)土壤指标测定:pH 采用玻璃电极法测定;有机质采用重铬酸钾容量法测定;全氮采用凯氏定氮法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定。

1.4 数据统计及分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 11.5 软件进行数据统计和分析。

2 结果分析

2.1 腐植酸生物有机肥对番茄生长的影响

由表 1 可以看出,与 CK 相比,施用腐植酸生物有机肥对番茄植株生长影响显著,其中 T2



处理效果最好。在株高方面,各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK;其中,T2 处理的株高较 CK、T1、T5 处理分别增加 19.2、10.0、7.3 cm,增长率分别为 18.75%、8.96%、6.39%,差异均达显著水平;T2 与 T3、T4 处理差异不显著。在茎粗方面,各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK;其中,T2 处理的茎粗较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别增加 0.23、0.19、0.13、0.15、0.16 cm,增

长率分别为 21.70%、17.27%、11.21%、13.16%、14.16%,差异均达显著水平。在 SPAD 值方面,各处理表现为 T2>T5>T4>T3>T1>CK;其中,T2 处理的 SPAD 值较 CK 显著增加 1.22,增长率为 3.89%;T2 处理与其他处理差异均不显著。综上,T2 处理在株高、茎粗和 SPAD 值等方面效果最好,说明施用腐植酸生物有机肥可显著促进番茄营养生长,为后续生殖生长奠定基础。

表 1 不同处理对番茄幼苗时期形态指标的影响

Tab.1 Effects of different treatments on morphological indicators during the seedling stages of tomatoes

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	SPAD 值
CK	102.40c	1.06d	31.34b
T1	111.60b	1.10b	32.33a
T2	121.60a	1.29a	32.56a
T3	117.80a	1.16b	32.38a
T4	115.60ab	1.14b	32.43a
T5	114.30b	1.13bc	32.44a

注:(1)同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。(2)表中数据为单株平均值,下同。

由表 2 可以看出,与 CK 相比,施用腐植酸生物有机肥对番茄坐果期指标影响显著,其中 T2 和 T3 处理效果最好,以 T2 处理表现更优。在花序数量方面,各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK;其中,T2 处理的花序数量较 CK、T1、T4、T5 处理分别增加 5.5、2.8、1.8、2.0 个,增长率分别为 43.31%、18.18%、10.98%、12.35%,差异均达显著水平;T2 与 T3 差异不显著。在坐果率方面,各处理表现为 T2>T3>T5>T4>T1>CK;其中,T2 处理的坐果率较 CK、T1、T4、T5 处理分别提高

13.83%、8.92%、5.24%、3.60%,差异均达显著水平;T2 与 T3 差异不显著。在植株干重方面,各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK;其中,T2 处理的植株干重较 CK、T1、T4、T5 处理分别增加 9.08、5.57、3.56、3.98 g,增长率分别为 23.55%、13.24%、8.08%、9.12%,差异均达显著水平;T2 与 T3 差异不显著。综上,T2 和 T3 处理在花序数量、坐果率和植株干重等方面效果相当,T2 处理最好,表明腐植酸生物有机肥能为番茄提供更均衡的营养,显著促进番茄生殖生长。

表 2 不同处理对番茄坐果期指标的影响

Tab.2 Effects of different treatments on fruit setting period indicators of tomatoes

处理	花序数量 (个)	坐果率 (%)	植株干重 (g)
CK	12.70c	80.32d	38.56c
T1	15.40b	86.44c	42.07b
T2	18.20a	94.15a	47.64a
T3	17.70a	92.74a	45.56a
T4	16.40b	89.46b	44.08b
T5	16.20b	90.88b	43.66b



2.2 腐植酸生物有机肥对番茄产量和产值的影响

由表 3 可以看出, 与 CK 相比, 施用腐植酸生物有机肥对番茄果实增产效果显著, 其中 T2 处理效果最好。在单果质量方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中, T2 处理的单果质量较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别增加 31.5、22.54、7.91、12.77、16.86 g, 增长率分别为 20.21%、12.03%、4.41%、7.32%、9.89%, 差异均达显著水平。在单株产量方面, 各处理表现为 T2>T3>T5>T4>T1>CK; 其中, T2 处理的单株产量较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别提高 210.43、328.97、167.67、222.75、270.70 g, 增产率分别为 29.40%、16.09%、7.60%、10.35%、12.87%, 差异均达显著水平。在亩产量方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中, T2 处理的

亩产量较 CK、T1、T5 处理分别增加 2520.00、1327.34、1031.34 kg/ 亩, 增长率分别为 40.89%、18.05%、13.48%, 差异均达显著水平; T2 与 T3、T4 处理差异不显著。在亩产值方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中 T2 处理的亩产值较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别提高 6384.8、3860.28、1625.35、2086.20 和 2621.55 元, 增长率分别为 69.07%、32.80%、11.61%、15.40%、20.15%, 差异均达显著水平。虽然亩产量中 T2 处理与 T3、T4 处理差异不显著, 但是 T2 处理亩产量最高, 且单果质量 T2 处理显著高于其他处理, 单果质量越大, 单品价格往往越高, 从而给种植户带来的经济效益越明显。综上, T2 处理效果最好, 不仅为提高番茄产量提供显著保障, 还能明显提升种植收益。

表 3 不同处理对番茄产量和产值的影响

Tab.3 Effects of different treatments on the yield and output value of tomatoes

处理	单果质量 (g)	单株产量 (g)	亩产量 (kg)	亩产值 (元)
CK	155.83d	1834.74d	6162.67d	9244.01e
T1	164.79c	2045.17c	7355.33c	11768.53d
T2	187.33a	2374.14a	8682.67a	15628.81a
T3	179.42b	2206.47b	8237.33a	14003.46b
T4	174.56b	2151.39c	7961.33a	13542.61bc
T5	170.47b	2103.44c	7651.33b	13007.26c

2.3 腐植酸生物有机肥对土壤养分的影响

由表 4 可以看出, 与 CK 相比, 施用腐植酸生物有机肥土壤养分含量明显提升, 其中 T2 处理效果最好。在有机质含量方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中, T2 处理的有机质含量较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别提高 8.80、4.32、1.12、1.58、2.32 g/kg, 增长率分别为 28.61%、12.25%、2.91%、4.16%、6.23%, 差异均达显著水平。在全氮含量方面, 各处理表现为 T2>T3>T5>T4>T1>CK; 其中, T2 处理的全氮含量较 CK、T1、T3、T4、T5 处理分别提高 0.47、0.45、0.15、0.24、0.33 g/kg, 增长率分别为 22.49%、21.33%、6.22%、10.34%、14.79%,

差异均达显著水平。在速效磷含量方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中, T2 处理的速效磷含量较 CK、T1、T5 处理分别提高 2.44、1.54、1.12 mg/kg, 增长率分别为 19.46%、11.46%、8.08%, 差异均达显著水平; T2 与 T3、T4 处理差异不显著。在速效钾含量方面, 各处理表现为 T2>T3>T4>T5>T1>CK; 其中, T2 处理的速效钾含量较 CK 显著提高 2.56 mg/kg, 增长率为 4.52%; T2 处理较其他处理的速效钾含量虽然都有增加, 但均未达到差异显著水平。综上, T2 处理对土壤养分整体提升效果最好, 尤以有机质和全氮含量提升效果最突出, 说明土壤养分状况正在向更丰富、更有效、更可持续的方向发展。

表 4 不同处理对土壤养分的影响
Tab.4 Effects of different treatments on nutrient in soil

处理	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	30.76d	2.09c	12.54c	56.67b
T1	35.24c	2.11c	13.44b	58.26a
T2	39.56a	2.56a	14.98a	59.23a
T3	38.44b	2.41b	14.55a	59.01a
T4	37.98b	2.32b	14.21a	58.94a
T5	37.24b	2.23c	13.86b	58.86a

3 结论与讨论

本试验结果表明,施用不同用量腐植酸生物有机肥对番茄植株生长及果实产量均有明显的促进作用,土壤养分也得到了改善与提升,其中 T2 处理(80 kg/亩腐植酸生物有机肥)效果最明显。与其他处理相比,T2 处理番茄株高增加 6.39%~18.75%,茎粗增加 11.21%~21.70%,花序数量增加 10.98%~43.31%、坐果率提高 3.60%~13.83%,植株干重增加 8.08%~23.55%,单果质量增加 4.41%~20.21%,单株产量增加 7.60%~29.40%,亩产量增加 13.48%~40.89%;同时,土壤中有有机质、全氮、速效磷含量分别显著提高 2.91%~28.61%、6.22%~22.49%、8.08%~19.46%,但速效钾仅较 CK 显著提高 4.52%,与其他处理差异不显著。综上,施用 80 kg/亩腐植酸生物有机肥能够显著提高番茄植株的株高、茎粗、单果质量、单株产量及亩产量,并对土壤有较好的修复改良作用。

腐植酸生物有机肥对番茄生长发育的调控作用。刘美^[6]研究表明,在基质中添加适量腐植酸显著提高了番茄幼苗的株高、茎粗、根冠比、根系活力和壮苗指数,与地上部相比,更利于根系发育,其中腐植酸添加量为 20 g/L 时(T2 处理)效果最好,添加量较大时(T4 处理:40 g/L)各生长指标表现较差。汪亚龙等^[7]研究也表明,矿源黄腐酸钾(2~4 kg/亩)与生物有机肥(300 kg/亩)不同施肥配比量在 1:50~75 的范围内对番茄的株高、茎粗、叶绿素等指标促进效果不同程度高于不

施肥和单独施用生物有机肥处理。王欣英^[8]研究表明,番茄专用生物有机无机缓释肥可以提高番茄叶片 SPAD 值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,但减量处理对番茄生长无显著影响。本研究结果表明,施用不同用量腐植酸生物有机肥与等量常规化肥相比,对番茄植株株高、茎粗和 SPAD 值等均具有一定的促进作用,以施用 80 kg/亩腐植酸生物有机肥效果更好。

腐植酸生物有机肥对土壤养分的改良效果在不同研究中呈现差异化特征。王素桢^[9]研究发现,风化煤生物有机肥+化肥减量 30% 处理的番茄全磷、速效磷、有机质含量显著提高 23.6%~31.3%,对全氮、全钾、速效氮、速效钾含量也有提升,但差异不显著。孙菡如^[10]研究表明,腐植酸生物有机肥能提高盐渍化土壤有机质含量。本研究结果与上述研究既有一致性又存在差异,20~80 kg/亩腐植酸生物有机肥对有机质、全氮含量提升效果显著,40~80 kg/亩腐植酸生物有机肥对速效磷含量提升效果显著,但不同用量腐植酸生物有机肥对速效钾含量提升效果均不显著。

已有研究表明,腐植酸生物有机肥在促进番茄生长、提高番茄产量方面具有显著优势。王素桢^[9]研究发现,施用风化煤生物有机肥(200 kg/亩)+化肥减量 30%(35 kg/亩),可以使番茄株高、茎粗、单果质量分别显著提高 5.1%、10.5% 和 18.8%。汪亚龙等^[7]研究结果证实,矿物源黄腐酸钾(2~6 kg/亩)与生物有机肥料(300 kg/亩)配施可使番茄增产 21.20%~27.14%。王欣英^[8]研制的番茄专用生物有机无机复合肥(施肥量按



照每盆 8 kg 土施用氮素 2.3 g、磷素 1.17 g、钾素 4.08 g) 与生物有机无机普通肥相比, 能显著增加番茄根系体积, 并使番茄产量分别提高 29.04%。本研究结果进一步证实, 施用 80 kg/亩腐植酸生物有机肥与等量常规化肥相比, 单果鲜重显著提高 20.21%, 亩产量提高 40.89%, 增产效果较上述研究更为显著, 凸显了腐植酸生物有机肥在番茄高产栽培中的应用潜力。

本研究未对番茄果实品质（如果形、糖酸比、维生素 C 含量、大小均匀度等）开展深入分析，后续将作为重要方向进行研究，并深入挖掘其内在调控机理，以期为番茄高品质栽培提供系统化的理论指导和优化策略。

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] 生吉萍, 刘灿, 申琳. 有机樱桃番茄与常规番茄的矿物元素与营养物质含量分析[C]. 第十五届全国分子光

谱学术报告会论文集, 2008.

- [3] 董文兰. 番茄品牌如何做好乡村共富“大文章”[OL].
<http://www.brand.zju.edu.cn/2024/1113/c57338a2987512/page.htm>.
- [4] 王雅婷, 陈子平, 陈世金, 等. 腐植酸肥料增产作物与改良土壤研究新进展[J]. 腐植酸, 2023(4): 21~26.
- [5] 成绍鑫 编. 腐植酸类物质概论(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [6] 刘美. 腐植酸在番茄和黄瓜穴盘育苗中的应用研究[D]. 山东农业大学硕士学位论文, 2016.
- [7] 汪亚龙, 钟纯, 余赟, 等. 矿源黄腐酸钾和生物有机肥不同对比对番茄生长和产量的影响[J]. 腐植酸, 2023(3): 51~56.
- [8] 王欣英. 新型生物有机无机缓释肥的研制[D]. 山东农业大学博士学位论文, 2020.
- [9] 王素桢. 风化煤生物有机肥与化肥减施对作物生长和根际微生态的影响[D]. 西北农林科技大学硕士学位论文, 2023.
- [10] 孙菡如. 三种有机肥料对设施番茄生长及土壤环境的影响[D]. 山东农业大学硕士学位论文, 2023.

(上接第 34 页) cof by base exfoliation and deprotonation for enhanced humidity response[J]. Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany), 2024, 20(43): e2403521.

- [24] Maryam A, Jonathan B, Nunzio M, et al. Adsorption, deprotonation, and decarboxylation of isophthalic acid on Cu(III)[J]. *Langmuir: the ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 2019, 35 (22): 7112 ~ 7120.
- [25] Inagawa A, Harada M, Okada T. Charging of the ice/solution interface by deprotonation of dangling bonds, ion adsorption, and ion uptake in an ice crystal as revealed by zeta potential determination [J]. *Journal of Physical Chemistry C*, 2019, 123(10): 6062 ~ 6069.
- [26] Xin Z, Chen R, Lin C, et al. Fe(II)-sodium alginate hydrogel with magnetic biochar-confined for enhanced Cr(VI) reduction and immobilization[J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2025, 13(5): 111111.

117783.

- [27] Xia S, Hu Y J, Liang R, et al. Synchronous removal of Cr(VI) and Cr(III) by MXene confined S-Fe⁰: Cr(VI) reduction transformation and Cr(III) synergistic fixation[J]. Separation and Purification Technology, 2025, 376(P2): 134053.
- [28] Ren L P, Zhao S F, Laghaei M, et al. Synergistic photocatalytic reduction of CO₂ enabled by MIL-101(Cr)-TiO₂-polyimide nanocomposite membranes[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2025, 13(5): 117731.
- [29] Su Y H, Xiao P, Yu L W, et al. Sodium alginate/chitosan/graphene oxide gel beads immobilized *Pseudomonas* YH-1 enhanced the removal of pyrene-chromium co-contamination: performance, transcriptomics insights, and mechanisms[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2025, 13(5): 117712.