

# 生物有机肥替代化肥对樱桃番茄产量、品质及土壤理化性质的影响

蒋强<sup>1</sup>, 刘子凡<sup>2</sup>, 王燕武<sup>2</sup>, 杨谨瑛<sup>1</sup>, 廖道龙<sup>3</sup>, 钟勇<sup>1</sup>, 曹元鑫<sup>1</sup>, 黄慧俐<sup>1</sup>

(1. 百色市现代农业技术研究推广中心 广西百色 533612; 2. 海南大学热带作物学院 海口 570228;

3. 海南省农业科学院蔬菜研究所 海口 571100)

**摘要:**为探究氮、磷、钾养分含量相同条件下,生物有机肥替代化肥对樱桃番茄产量、品质及土壤理化性质的影响,以樱桃番茄乐粉3号为试材,设不施肥(NF)、常规施肥(CF)、生物有机肥替代18%化肥(18%BF)和替代36%化肥(36%BF)4个处理,测定果实的产量、品质及土壤肥力指标,采用主成分分析法研究生物有机肥替代化肥对土壤肥力的综合影响。结果表明,CF、18%BF和36%BF处理之间的产量、维生素C含量与糖酸比均显著高于NF处理;NF、CF和18%BF处理的硝酸盐含量均高于36%BF处理。36%BF处理的土壤速效钾含量、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性均显著高于CF,土壤肥力综合得分最高。综上,36%BF处理能在保障樱桃番茄产量的前提下提升其品质,提高土壤肥力,是适合在樱桃番茄生产中推广应用的化肥减施模式。

**关键词:**生物有机肥;化肥减施;替代;樱桃番茄;产量;品质;土壤肥力

中图分类号:S641

文献标识码:A

文章编号:1673-2871(2023)10-071-07

## Effects of bio-organic fertilizer application as partial replacement for chemical fertilizers on yield, quality and soil fertility of cherry tomatoes

JIANG Qiang<sup>1</sup>, LIU Zifan<sup>2</sup>, WANG Yanwu<sup>2</sup>, YANG Jinying<sup>1</sup>, LIAO Daolong<sup>3</sup>, ZHONG Yong<sup>1</sup>, CAO Yuanxin<sup>1</sup>, HUANG Huili<sup>1</sup>

(1. Baise Modern Agricultural Technology Research and Promotion Center, Baise 533612, Guangxi, China; 2. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China; 3. Institute of Vegetables, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, Hainan, China)

**Abstract:** To provide a reference for chemical fertilizer application reduction in vegetable field, the effects of substituting chemical fertilizer with bioorganic fertilizer under the same nutrient content of N, P and K on yield, quality of cherry tomato, and soil fertility were studied. Four treatments on field experiment were conducted, no fertilization (NF), conventional fertilization (CF), 18% proportions of bioorganic fertilizer instead of chemical fertilizer (18%BF) and 36% bioorganic fertilizer replacement (36%BF). Yield and quality of cherry tomato during fruiting stage and the soil physical and chemical properties and enzyme activities of the mixed soil were measured. The comprehensive score of soil fertility were analyzed by principal component analysis (PCA). The results showed that yield, vitamin C content and sugar-acid ratio of CF, 18%BF and 36%BF treatments were significantly higher than those of NF treatment. Nitrate content among NF, CF and 18%BF treatment was higher than that of 36%BF treatment. Soil available potassium content and acid phosphatase activity of 36% BF, sucrase activity of 18%BF and 36%BF, the content of alkali-hydrolyzed nitrogen of 36%BF were significantly higher than those of CF. The comprehensive score of 36%BF was the highest among four treatments by principal component analysis (PCA). In conclusion, 36%BF could improve the quality of cherry tomatoes and soil fertility while ensuring yield, which was a fertilization model worth to promote in cherry tomatoes planting.

**Key words:** Bio-organic fertilizer; Fertilizer reduction; Replacing; Cherry tomato; Yield; Quality; Soil fertility

收稿日期:2023-05-05;修回日期:2023-07-16

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科AB23026077);百色市农技项目(451000220451500004677)

作者简介:蒋强,男,农艺师,主要从事农业技术与推广工作。E-mail:qiang881028@126.com

通信作者:刘子凡,男,教授,主要从事热带作物高效栽培研究。E-mail:jiangxilaobao@163.com

百色市右江河谷地区是广西番茄的主要种植区,番茄生产是当地农民经济收入的主要来源。樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)是广西“南菜北运”的主要蔬菜之一,在生长过程中需肥量大,为了获得高额的经济效益,农民普遍盲目增加化肥用量,导致土壤养分的内在平衡遭到破坏,土壤肥力衰退,并造成环境污染<sup>[1]</sup>,严重影响番茄产业的健康发展。生物有机肥兼具传统有机肥和功能微生物的双重作用,所含的大量有机质可为土壤微生物提供充足能源,施用后有利于土壤微生物生长和繁殖,促进微生物介导的土壤中难溶性养分转化<sup>[2]</sup>,生物有机肥替代化肥可改良土壤环境<sup>[3]</sup>,保障农业的可持续发展<sup>[4]</sup>。但是,在樱桃番茄生产中如何降低化肥用量、提高肥料利用率,尚无明确的依据。因此,探究生物有机肥替代化肥对樱桃番茄产量、品质和土壤理化性质的影响,对我国蔬菜化肥减量与提质增效技术的实施具有重要意义。有机肥部分替代氮肥可提高番茄叶片的相对叶绿素含量和氮素含量,促进番茄生长<sup>[5]</sup>,增加土壤有益微生物数量、酶活性及改善团粒结构<sup>[6]</sup>,提高番茄产量和品质<sup>[7-8]</sup>。有机肥替代化肥的比例并非越高越好,适宜比例的有机肥替代有利于氮、磷、钾元素的矿化释放,有利于植物吸收利用土壤养分<sup>[9]</sup>,不当比例的替代会造成土壤脲酶活性和供氮能力降低,从而造成作物减产<sup>[10]</sup>。赵跃等<sup>[10]</sup>研究发现,生物有机肥部分替代化肥相对常规施肥虽能减弱番茄前期长势,但对番茄全生育期生长无明显影响;土壤的速效氮、磷、钾含量虽有所降低,但土壤 pH 和电导率显著提高,有利于番茄果实品质改善<sup>[11]</sup>。温延臣等<sup>[12]</sup>研究认为,在等量养分投入条件下进行有机肥替代化肥,作物产量与单施化肥无明显差异,但土壤有机碳和全氮含量显著提高。有机肥替代化肥的施肥措施,能减少在同等养分投入条件下化肥施用造成的土壤污染<sup>[13]</sup>。适宜比例的有机肥替代化肥对作物有稳产、增产和提质的作用<sup>[14-15]</sup>,但有机肥替代化肥比例过高,则会造成作物减产<sup>[16]</sup>。王西亚等<sup>[17]</sup>研究发现,低比例有机肥替代化肥对马铃薯产量没有影响,而高比例替代会降低马铃薯产量。研究表明,有机肥替代化肥的比例在 20%或 30%时,番茄产量可显著提升<sup>[18-19]</sup>。以作物产量来确定替代比例毋庸置疑,但是实际生产中还需考虑产品的品质和高产的可持续性。土壤肥力是保障作物高产稳产的前提,因此,在保证作物产量的基础上,研究提升产品品质和土壤肥力的最佳有机肥替代比例

就显得尤为重要。孙加亮等<sup>[20]</sup>研究发现,有机肥替代化肥的比例在 20%时,促进水稻生长和养分吸收、提高土壤质量的作用最好。目前,有关有机肥替代等量氮、磷、钾养分对番茄产量、品质及土壤肥力等方面影响的研究鲜见报道。笔者以樱桃番茄为研究对象,在氮、磷、钾养分等量的前提下,设置 18%和 36% 2 种生物有机肥替代化肥比例,以常规施肥和不施肥为对照,分析其对产量、品质和土壤肥力的影响,以期筛选出一种既可保障番茄产量又能提升品质和维持或改善土壤肥力的最佳生物有机肥替代比例,为我国蔬菜化肥减量与提质增效技术实施提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2020 年 8 月至 2021 年 7 月在广西百色市现代农业技术研究推广中心(简称:研究推广中心)试验基地进行,属南亚热带季风气候,年均气温 23 °C,全年日照 1 906.6 h,年均降水量 1 114.9 mm。试验地土壤基本性质:pH 6.20,有机质含量( $w$ ,后同) 10.40 g · kg<sup>-1</sup>,全氮含量 0.72 g · kg<sup>-1</sup>,全磷含量 0.59 g · kg<sup>-1</sup>,全钾含量 3.96 g · kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量 57.26 mg · kg<sup>-1</sup>,速效磷含量 36.92 mg · kg<sup>-1</sup>,速效钾含量 165.84 mg · kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 材料

供试番茄品种为乐粉 3 号,属粉红色樱桃番茄品种,种子购自广西百色市田阳区当地市场,所种植嫁接苗由广西田阳忠信农业科技有限公司培育。尿素(N 含量≥46.0%,中海石油化学股份有限公司)、稀土磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量≥18.0%,湖南百田新型肥料化工有限公司)、氯化钾(K<sub>2</sub>O 含量≥60.0%,中化化肥有限公司)和生物有机肥(有益活菌数≥0.2 亿个·g<sup>-1</sup>,有机质含量≥45%,氨基酸含量≥10%,腐殖酸含量≥10%,氮含量 1.8%,磷含量 1.4%,钾含量 1.8%,湖南百田新型肥料化工有限公司),均购自广西百色市田阳区当地市场。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 共设 4 个处理,分别为不施肥(NF)、常规施肥(CF,全部施用化肥)、有机替代率为氮 18.0%、磷 19.3%、钾 15.1%(18%BF)和有机替代率为氮 36.0%、磷 38.6%、钾 30.2%(36%BF),CF 处理的施肥量由研究推广中心番茄栽培课题组长期调研获得,18%BF 和 36%BF 处理设置是依据课题组前期预试验研究结果,除 NF 处理外,其余各处

理施氮、磷、钾量一致(表1)。各处理均设4次重复,小区随机区组排列,每小区间设宽0.6 m隔离带,防止串水串肥。

表1 生物有机肥部分替代化肥各处理的养分投入量  
Table 1 The nutrient input of each treatment of bio-organic fertilizer partially replaced chemical fertilizer (kg·hm<sup>2</sup>)

处理	化肥养分			生物有机肥养分		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
NF	0	0	0	0	0	0
CF	430.8	312.0	514.5	0	0	0
18%BF	353.3	251.7	437.0	77.5	60.3	77.5
36%BF	275.7	191.6	359.1	155.1	120.4	155.4

2020年10月21日种植樱桃番茄种苗,种植方式与当地习惯保持一致,为大垄双行,垄宽100 cm,垄上种植2行,行距为80 cm,垄间行距为130 cm,株距为25 cm。各施肥处理分别扣除生物有机肥氮、磷和钾含量后用相应的化肥补足。基肥一次性施入全部的有机肥、磷肥及30%氮肥和钾肥,起垄后挖沟条施;追肥分别在2020年11月12日、2020年12月8日和2021年1月19日进行,氮肥和钾肥的施用量按总量的20%、30%、20%计算,肥料均为溶于水后浇施,如果基肥中含氮或钾超过基肥应施氮、钾的30%时,则在第一次的氮、钾追肥量中减去基肥中超出施用量的氮或钾30%。其他管理按生产上常规进行。

1.3.2 土壤样品采集 以五点采样法采集土壤样品,分别在结果初期(2021年1月5日)、结果盛期(2021年2月25日)和结果末期(2021年3月26日)于垄上2株番茄正中位置采集0~20 cm耕层土壤,自然风干后,剔除杂物,过筛后用于土壤养分的测定。同时,每个处理选取3株番茄,挖出,去除根系附近较大的土壤团块,小心抖动并收集黏附在根表面的土壤,用于土壤酶活性测定。

1.3.3 测定指标及方法 产量测定:果实成熟后开始采摘,分小区分批记录,称质量获得各小区产量。

品质测定:于番茄结果盛期,每小区采取成熟度基本一致且无病虫害的番茄2穗果约500 g,带回实验室。果实维生素C含量采用2,6-二氯靛酚滴定法测定<sup>[21]</sup>,可溶性糖含量采用硫酸-蒽酮比色法测定<sup>[22]</sup>,可滴定酸含量采用NaOH滴定法测定<sup>[23]</sup>,硝酸盐含量采用紫外分光光度法测定<sup>[24]</sup>,糖酸比=可溶性糖含量/可滴定酸含量。

土壤理化性质测定:参考鲍士旦<sup>[25]</sup>的方法,土壤容重采用环刀法测定,pH采用电极法测定(水土质

量比为1:2.5);有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用火焰光度计法测定。土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;酸性磷酸酶活性采用试剂盒法测定;蔗糖酶活性采用硝基水杨酸法测定。

#### 1.4 统计分析

采用Excel 2010进行数据整理;采用DPS 9.01进行相关性分析和主成分分析;采用Duncan's新复极差法进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物有机肥替代化肥对番茄产量与品质的影响

由表2可知,CF、18%BF和36%BF处理的产量和维生素C含量均显著高于NF处理,但三者之间无显著差异;CF与36%BF和18%BF处理的糖酸比均无显著差异,但三者均显著高于NF处理,且36%BF和18%BF处理之间差异显著;NF、CF和18%BF处理间的硝酸盐含量无显著差异,但三者均显著高于36%BF处理。说明与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥对番茄产量无负面影响,而其中有机肥替代化肥氮36.0%、磷38.6%、钾30.2%能降低果实硝酸盐含量,提升果实品质。

表2 不同处理对番茄产量与品质的影响

Table 2 Effect of different treatments on yield and quality of tomato

处理	产量/(t·hm <sup>2</sup> )	w(维生素C)/(μg·g <sup>-1</sup> )	糖酸比	w(硝酸盐)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
NF	58.20 b	209.73 b	10.02 c	0.72 a
CF	61.91 a	230.27 a	10.71 ab	0.71 a
18%BF	62.00 a	231.73 a	10.40 b	0.73 a
36%BF	63.41 a	237.60 a	11.26 a	0.30 b

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

### 2.2 生物有机肥替代化肥对土壤理化性质的影响

由表3可知,不同处理间的容重和pH均无显著差异;有机肥替代处理的有机质和速效磷含量均显著高于NF处理,而NF和CF处理之间及CF、18%BF和36%BF之间均无显著差异;36%BF和CF处理的碱解氮含量显著大于NF处理,而18%BF和NF处理间及18%BF、CF和36%BF处理之间均无显著差异;36%BF和CF处理的速效钾含量显著高于NF处理,而18%BF与NF和CF处理的速效钾含量均无显著差异。除土壤容重的变异系

表3 有机肥部分替代化肥对土壤理化性质的影响

Table 3 Effect of bio-organic fertilizer partially replaced chemical fertilizer on physical and chemical properties of soil

处理	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	pH	w(有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(碱解氮)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效磷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
NF	1.24±0.05 a	6.35±0.19 a	10.42±0.46 b	59.53±6.91 b	27.97±4.86 b	210.4±9.54 c
CF	1.24±0.07 a	5.90±0.52 a	13.08±2.12 ab	79.40±13.28 a	43.54±6.81 ab	262.9±21.65 b
18%BF	1.23±0.02 a	5.63±0.06 a	13.47±1.63 a	68.30±7.61 ab	46.23±6.38 a	256.1±22.71 bc
36%BF	1.23±0.05 a	5.74±0.19 a	15.18±0.95 a	78.84±5.02 a	51.39±2.86 a	356.3±41.86 a
变异系数/%	0.56	5.38	15.09	13.26	23.85	22.55

数小于5.00%及pH的变异系数接近5.00%外,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量的变异系数均明显大于5.00%,说明不同处理对土壤理化性质的影响存在差异。

### 2.3 生物有机肥替代化肥对土壤酶活性的影响

由表4可知,脲酶、酸性磷酸酶和蔗糖酶活性的变异系数均大于10.00%,其中蔗糖酶活性的变异系数最大,为31.75%,而过氧化氢酶活性的变异系数最小,仅为9.03%;36%BF处理的脲酶活性显著高于CF处理,而36%BF、18%BF和NF处理间及

NF、CF和18%BF处理间的脲酶活性均无显著差异;36%BF处理的酸性磷酸酶活性显著高于NF和CF处理,而NF、CF和18%BF处理间及18%BF与36%BF处理间的酸性磷酸酶活性均无显著差异;18%BF和36%BF处理的蔗糖酶活性均显著高于NF和CF处理,36%BF处理的蔗糖酶活性显著高于18%BF处理,而NF和CF处理间的蔗糖酶活性无显著差异;有机肥部分替代化肥对土壤中过氧化氢酶活性的影响不一致。由此可见,生物有机肥部分替代化肥可提高土壤脲酶、酸性磷酸酶和蔗糖酶

表4 有机肥部分替代化肥对土壤酶活性的影响

Table 4 Effect of bio-organic fertilizer partially replaced chemical fertilizer on enzymatic activity of soil

处理	脲酶活性/(mg·g <sup>-1</sup> ·24 h <sup>-1</sup> )	酸性磷酸酶活性/(mg·g <sup>-1</sup> ·24 h <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶活性/(mg·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	蔗糖酶活性/(mg·g <sup>-1</sup> ·24 h <sup>-1</sup> )
NF	406.77±45.76 ab	21.31±1.60 b	53.93±5.67 ab	6.87±0.43 c
CF	374.90±17.86 b	22.98±0.69 b	46.49±4.48 b	7.08±0.46 c
18%BF	454.10±1.31 ab	26.38±1.94 ab	57.90±1.69 a	10.59±0.52 b
36%BF	479.58±10.61 a	31.59±0.45 a	51.94±2.76 ab	13.08±0.67 a
变异系数/%	10.94	17.74	9.03	31.75

活性,促进土壤有机质转化。

### 2.4 土壤肥力指标的相关性分析

选取变异系数远大于5.00%的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量及4个土壤酶活性指标进行相关性分析。由表5可知,有机质含量与碱解氮和速效磷含量呈极显著正相关;碱解氮含量与速效磷

含量呈极显著正相关,与速效钾含量呈显著正相关;速效磷含量与速效钾含量呈极显著正相关,与蔗糖酶活性呈显著正相关;速效钾含量与酸性磷酸酶和蔗糖酶活性呈显著正相关;脲酶活性与蔗糖酶活性呈显著正相关;酸性磷酸酶活性与蔗糖酶活性呈极显著正相关。说明各肥力指标在土壤物质代

表5 土壤主要指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of soil main indexes

指标	有机质含量	碱解氮含量	速效磷含量	速效钾含量	脲酶活性	酸性磷酸酶活性	过氧化氢酶活性	蔗糖酶活性
有机质含量	1.000							
碱解氮含量	0.756**	1.000						
速效磷含量	0.823**	0.796**	1.000					
速效钾含量	0.572	0.662*	0.739**	1.000				
脲酶活性	0.476	0.250	0.509	0.445	1.000			
酸性磷酸酶活性	0.524	0.132	0.462	0.609*	0.466	1.000		
过氧化氢酶活性	0.004	-0.391	-0.028	-0.295	0.518	0.061	1.000	
蔗糖酶活性	0.452	0.168	0.595*	0.685*	0.673*	0.811**	0.189	1.000

注:\*表示显著相关(p<0.05),\*\*表示极显著相关(p<0.01)。

谢与能量转化过程中密切相关,也说明各数据反映的信息存在一定程度的重叠,若直接用这些数据评价土壤综合肥力,必然会影响评价结果的客观性。

## 2.5 土壤肥力的综合评价

选取变异系数大于 5.00% 的 8 个指标进行标准化后再进行主成分分析(PCA),提炼出影响土壤综合肥力的主要因子群进行土壤肥力综合评价。由表 6 可知,前 3 个主成分的累计方差贡献率为 89.380%,说明前 3 个主成分已基本能反映原始数据的信息量,其中,第一主成分(PC1)的方差贡献率达 54.490%,占主导地位,第二主成分(PC2)的方差贡献率为 22.650%,第三主成分(PC3)的方差贡献率为 12.230%。

表 6 供试土壤的主成分特征值

Table 6 Principal component eigenvalues of experimental soil

指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分	综合权重系数
有机质含量(X1)	0.402	-0.125	0.307	0.255
碱解氮含量(X2)	0.331	-0.465	0.333	0.130
速效磷含量(X3)	0.432	-0.139	0.233	0.260
速效钾含量(X4)	0.413	-0.164	-0.280	0.172
脲酶活性(X5)	0.326	0.405	0.271	0.339
酸性磷酸酶活性(X6)	0.347	0.234	-0.499	0.202
过氧化氢酶活性(X7)	0.000	0.637	0.465	0.225
蔗糖酶活性(X8)	0.381	0.312	-0.353	0.263
特征值	4.360	1.810	0.980	
方差贡献率/%	54.490	22.650	12.230	
累计方差贡献率/%	54.490	77.140	89.380	

以 3 个主成分对应特征值的方差贡献率建立主成分综合模型  $F=0.255X_1+0.130X_2+0.260X_3+0.172X_4+0.339X_5+0.202X_6+0.225X_7+0.263X_8$ 。该综合模型 8 个指标的权重系数均为正数,说明为正效应,平均值为 0.231,大于平均值的指标依次为脲酶活性、蔗糖酶活性、速效磷含量和有机质含量(表 6)。

根据主成分分析原理,综合得分值  $F=(54.49 \times F_1+22.65 \times F_2+12.23 \times F_3)/89.38$ 。由表 7 可知,4 个处理土壤的综合肥力排名为 36%BF>18%BF>CF>NF。可见,不施肥和常规施肥会使土壤肥力退化,

表 7 土壤综合肥力评价

Table 7 Comprehensive fertility evaluation of soil

处理	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F$	综合排名
NF	-2.413	0.261	0.206	-1.377	4
CF	-0.687	-1.612	0.167	-0.805	3
18%BF	0.428	0.932	0.359	0.546	2
36%BF	2.672	0.420	-0.732	1.636	1

而有机肥替代化肥氮 18.0%、磷 19.3%、钾 15.1%和有机肥替代化肥氮 36.0%、磷 38.6%、钾 30.2%均可使土壤肥力得到改善。

## 3 讨论与结论

笔者的研究结果表明,18%BF 和 36%BF 处理与常规施肥 CF 相比,番茄产量无显著差异,有机肥对番茄产量的提升效果取决于土壤地力水平<sup>[26]</sup>,可能与生物有机肥替代后土壤速效养分含量未增加有关,但 36%BF 处理能显著降低果实的硝酸盐含量,说明生物有机肥替代量必须达到一定程度方能显著降低硝酸盐含量,提升果实品质,这一点与殷琳毅等<sup>[27]</sup>在芥菜上的研究结果基本一致。

化肥富含速效养分,能迅速提高土壤速效养分含量,但易淋溶<sup>[28]</sup>;有机肥为缓效肥,可持续提高土壤速效养分含量<sup>[29]</sup>。说明化肥与有机肥的作用存在差异,二者配合施用能产生一定的互作效应,使得土壤养分相互协调,但只有合适的比例,才能一方面有效富集化肥中的速效养分,另一方面又能由有机肥缓慢腐解释放养分,满足作物生长发育需要的养分供给<sup>[29]</sup>。前人研究发现,有机肥与化肥配施能提高土壤 pH<sup>[30]</sup>,提升土壤酸碱缓冲量<sup>[31]</sup>。笔者在研究中发现,相对常规施肥,有机肥替代部分化肥对土壤 pH 无显著影响,可能与外来有机质进入土壤后分解较多的有机酸有关<sup>[32]</sup>;对土壤有机质含量也无明显影响,原因主要是试验地有机质含量丰富,外来有机物料施入土壤后引起正激发效应,促进土壤原来的有机质矿化和更新<sup>[33]</sup>;但与不施肥处理相比,有机肥替代部分化肥处理会使土壤有机质含量明显提升。

生物有机肥中虽含有一定量的速效养分,但笔者研究中的有机肥是等量替代化肥氮、磷、钾,因此在一定程度上不会因有机肥的直接施用而增加土壤速效养分含量。有机肥替代化肥相对于常规施肥 CF 未能提高土壤碱解氮含量,原因可能是生物有机肥虽然对土壤养分转化有一定促进作用,但是有机肥施入土壤带来的大量新鲜有机质利于土壤微生物活动,土壤微生物活性增强可能吸取了有机肥中的养分,造成养分损失,从而导致土壤速效养分下降<sup>[34]</sup>;外来有机物料进入土壤使得微生物大量繁殖<sup>[35-36]</sup>,继而争抢氮素。施加的有机肥分解会产生有机酸,对土壤磷具有明显的“活化”作用,有机肥对磷也有明显的固持作用,因此,有机肥替代化肥可促使土壤中速效磷含量提高<sup>[37]</sup>,但提升效果不

明显,与前人研究结果不一致<sup>[38]</sup>,可能与有机肥对土壤养分的响应存在地区差异有关<sup>[39]</sup>;有机肥替代18%化肥处理未能增加土壤速效钾含量,替代36%化肥处理可显著提高速效钾含量,主要是由于有机肥施用量达到一定程度后土壤阳离子交换量得到明显提高,继而减少钾素固定量<sup>[32]</sup>。

土壤酶是土壤的重要组成部分,在一定程度上可反映土壤肥力状况。土壤脲酶活性可表征微生物代谢氮素的能力,反映土壤微生物活力<sup>[40]</sup>,其中,蔗糖酶活性与土壤有机质含量紧密相关,能表征土壤肥力状况。生物有机肥含有功能微生物和大量有机质,其中所含的微生物能分泌一定数量的酶,为土壤微生物提供充足的营养物质,促进其繁殖,进而增强土壤酶活性。有机肥配施比例越大,土壤酶活性越高<sup>[41]</sup>。笔者的研究中,有机肥替代部分化肥与常规施肥CF处理的土壤脲酶活性相对不施肥处理未明显提高,主要原因是施用尿素后,底物的存在一定程度上抑制了脲酶活性<sup>[3]</sup>;有机肥替代36%化肥处理相对不施肥和常规施肥处理,土壤酸性磷酸酶活性显著提高,这与施用有机肥促进作物根系代谢,使根系分泌物增多,微生物繁殖速率加快,继而有利于土壤酸性磷酸酶活性的提升有关<sup>[42]</sup>。主成分分析结果表明,生物有机肥替代化肥对土壤综合肥力影响的主要因子为脲酶活性、蔗糖酶活性、速效磷含量和有机质含量,与李司童等<sup>[28]</sup>的研究结果存在差异,可能与笔者施用的有机肥种类不同有关。此外,从主成分分析的综合得分来看,生物有机肥替代化肥能提高土壤肥力,其中36%BF处理的综合得分最高,说明该处理能明显提升番茄地的土壤肥力,保障番茄产业的健康可持续发展。

综上所述,采用生物有机肥替代化肥中的36.0%氮、38.6%磷和30.2%钾,能在保障樱桃番茄产量的前提下改善果实品质,提高土壤肥力,可作为适合樱桃番茄生产的化肥减施模式在生产中推广应用。

### 参考文献

- [1] 赵银厚,张桂莲,谭明星.设施蔬菜施肥存在的问题及对策[J].中国果菜,2012(1):16-17.
- [2] 李小萌,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.
- [3] 朱利霞,曹萌萌,桑成琛,等.生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J].四川农业大学学报,2022,40(1):67-72.
- [4] 孙若梅.绿色农业生产:化肥减量与有机肥替代进展评价[J].重庆社会科学,2019(6):35-45.
- [5] 张新建,宁晓光,郑桂亮,等.有机肥替代化肥对土壤肥力及番茄产量和品质的影响[J].中国农学通报,2020,36(14):59-63.
- [6] 刘中良,高俊杰,谷端银,等.有机肥替代化肥对土壤环境和番茄品质的影响[J].南方农业学报,2020,51(2):357-363.
- [7] 李吉进,邹国元,宋东涛,等.有机肥和化肥对番茄产量和品质的影响[J].土壤通报,2009,40(6):1330-1332.
- [8] 聂大杭,陈蕾蕾,刘淑艳.不同氮肥、有机肥用量对比对番茄产量及养分分布的影响[J].中国农学通报,2022,38(21):32-35.
- [9] 乔丙颖,胥婷婷,张洋,等.青海高原地区有机肥替代对青稞产量、养分吸收量和土壤肥力的影响[J].青海大学学报,2022,40(6):9-15.
- [10] 赵跃,黄楠,刘继培,等.生物有机肥替代化肥对番茄产量和品质及土壤养分的影响[J].中国农技推广,2019,35(2):57-59.
- [11] 唐宇,包慧芳,詹发强,等.化肥减施条件下配施生物有机肥对番茄生长及品质的影响[J].新疆农业科学,2019,56(5):841-854.
- [12] 温延臣,张曰东,袁亮,等.商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2136-2142.
- [13] 李岩.农业土壤污染对环境的影响及治理措施[J].农业灾害研究,2021,11(2):128-129.
- [14] 孙志祥,李敏,韩上,等.有机肥部分替代化肥和秸秆还田对双季稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响[J].安徽农业大学学报,2020,47(6):1012-1016.
- [15] 裴雪霞,党建友,张定一,等.化肥减施下有机替代对小麦产量和养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(10):1768-1781.
- [16] 徐汉亿,周祥,孙进,等.施用商品有机肥对沿海地区小麦产量及耕地质量的影响[J].大麦与谷类科学,2019,36(6):34-37.
- [17] 王西亚,赵士诚,仇少君,等.有机肥部分替代化肥对马铃薯生长和土壤肥力的影响[C]//金黎平,吕文河.马铃薯产业与绿色发展(2021).2021中国马铃薯大会论文集,哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2021:435-436.
- [18] 刘长旭,张静,张云霞,等.化肥减量条件下配施有机肥对设施番茄产量和品质的影响[J].山东农业科学,2021,53(2):79-82.
- [19] 濮小英.化肥与有机肥单施、配施对番茄产量对比试验研究[J].农民致富之友,2019(14):153.
- [20] 孙加亮,田丽云.有机肥等氮量替代部分化肥对水稻产量及土壤养分含量的影响[J].农业与技术,2022,42(7):24-27.
- [21] 吴春艳.水果中维生素C含量的测定及比较[J].武汉理工大学学报,2007,29(3):90-91.
- [22] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].3版.北京:高等教育出版社,2004.
- [23] 宁开桂.无机及分析化学[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [24] 杨锚,邵华,金芬,等.新鲜蔬菜和水果中硝酸盐紫外分光光度法的测定[J].华中农业大学学报,2009,28(1):102-105.
- [25] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [26] 陈剑,齐文,蒋海凌,等.茭白叶堆肥不同用量对番茄生长、产量、品质及土壤肥力的影响[J].中国瓜菜,2023,36(6):69-76.
- [27] 殷琳毅,李进,袁春新,等.生物有机肥替代化肥对土壤及芥菜产量、品质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(1):85-89.

- [28] 李司童,毛凯伦,韦成才,等.蚯蚓粪肥替代部分化肥对连作烟田土壤肥力的影响及评价[J].华北农学报,2018,33(S1):238-245.
- [29] 林治安,赵秉强,袁亮,等.长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J].中国农业科学,2009,42(8):2809-2819.
- [30] SINGH A, AGRAWAL M, MARSHALL F. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(12): 1733-1740.
- [31] 张永春,汪吉东,沈明星,等.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J].土壤学报,2010,47(3):465-472.
- [32] 杨忠赞,迟凤琴,隋虹均,等.基于多元线性回归研究有机肥替代对土壤养分及产量的影响[J].东北农业科学,2021,46(2):37-42.
- [33] 吴长昊.化肥有机替代比例对皖北夏玉米生长、养分吸收及土壤肥力的影响[D].安徽凤阳:安徽科技学院,2017.
- [34] 芦海灵,郭中义,卫双玲.有机无机肥配施对芝麻产量及土壤性质的影响[J].新疆农业科学,2021,58(3):467-473.
- [35] GU L M, LIU T N, ZHAO J, et al. Nitrate leaching of winter wheat grown in lysimeters as affected by fertilizers and irrigation on the North China Plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(2):374-388.
- [36] CAI Z C, QIN S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Geoderma, 2006, 136(3/4): 708-715.
- [37] 赵晓齐,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响[J].土壤学报,1991,28(1):7-15.
- [38] 张毅博,韩燕来,吴名字,等.生物炭与有机肥施用对黄褐土土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J].中国农学通报,2018,34(13):113-118.
- [39] 王雪苗,陈书,王露,等.有机替代施肥模式对广安市广安区肥效试点土壤理化性质的影响[J].现代农业科技,2021(4):164-166.
- [40] 于跃跃,郭宁,闫实,等.有机肥替代化肥对土壤肥力和玉米产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(3):148-154.
- [41] 刘增兵,束爱萍,刘光荣,等.有机肥替代化肥对双季稻产量和土壤养分的影响[J].江西农业学报,2018,30(11):35-39.
- [42] 龚伟,颜晓元,王景燕.长期施肥对土壤肥力的影响[J].土壤,2011,43(3):336-342.