

化肥减量配施生物有机肥对设施番茄产量、品质及土壤肥力的影响

谢福平^{1,2} 毛涛¹

(¹张掖市耕地质量建设管理站, 734000, 甘肃张掖; ²张掖市种子管理局, 734000, 甘肃张掖)

摘要 为探索化肥减量配施生物有机肥对设施番茄产量、品质及土壤肥力的影响, 找到适宜甘肃河西地区设施番茄最佳施肥方式, 采用田间试验, 设置6个施肥处理(CK1: 不施肥, CK2: 单施化肥, T1: 化肥减氮20%+生物有机肥, T2: 化肥减氮40%+生物有机肥, T3: 化肥减氮60%+生物有机肥, T4: 化肥减氮80%+生物有机肥), 分析不同处理对番茄生长、光合特性、产量、品质及土壤肥力指标的影响。结果表明, 不同氮肥减量配施生物有机肥处理株高、茎粗和叶面积均高于CK1, 其中CK2处理株高和叶面积均最高, 但与T1和T2处理无显著差异。叶片净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)随有机肥替代比例的升高(T1~T4)整体呈先升高后降低的趋势, 气孔导度(G_s)和相对叶绿素含量(SPAD值)整体呈逐渐降低趋势, 叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)呈先降低后增高的趋势, 叶片的 P_n 和 T_r 均在T2处理时达到最大值, C_i 在T2处理最小。T1、T2相较其他处理显著提高了产量、单果重、单果直径和可溶性糖含量, 相较CK2处理显著降低了可滴定酸和硝酸盐含量, T2处理降低幅度最大。氮肥减量配施生物有机肥(T1~T4)处理可以增加土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量。与CK2相比, T1、T2处理经济效益分别提高13.53%和10.80%。因此, 化肥减氮20%~40%+生物有机肥是提高河西地区设施番茄产量、品质及土壤肥力的最佳方案。

关键词 设施番茄; 氮肥减施; 生物有机肥; 光合特性; 产量; 品质; 土壤肥力

番茄作为大宗蔬菜的重要组成部分, 广受消费者的青睐, 在乡村振兴中发挥举足轻重的作用。但是, 在番茄生产过程中种植户往往采用传统的大水大肥栽培管理措施, 长期单施化肥和化学肥料过量施用成为生产的常态, 这不仅降低了水肥利用率, 使大量养分残留在土壤和水体, 造成资源浪费和环境污染, 还会导致土壤理化性状恶化、土地盐渍化加重、根际生态环境恶化、番茄生长受限、产量和品质下降等问题, 严重制约了番茄产业的绿色高质量发展^[1-2]。

2024年中央一号文件进一步提出, 扎实推进化肥农药减量增效, 推广种养循环模式和推进农业绿色发展。生物有机肥作为新型肥料, 兼具微生物肥和有机肥双重功效, 在提升土壤肥力、补充作物生长所需养分、增加作物产量、提高果实品质中发挥重要作用^[3-4]。有机肥替代部分化肥, 不仅能够消减化肥过量施用带来的负面影响, 还能提高土壤质量, 改善土壤微环境, 为作物营造良好的生长环境, 有机肥与化肥配施比例对作物生产和土壤肥力

的影响已成为近年研究的热点^[5-6]。目前, 学者们关于生物有机肥在作物生长特性、产量、品质及土壤肥力相关方面已做了大量研究^[7]。韩秀丽等^[8]通过生物有机肥替代化肥对葡萄生长与土壤肥力的影响试验表明, 生物有机肥替代部分化肥是实现果园高效、安全和持续生产的有效途径; 王振龙等^[9]的研究表明, “化肥减氮50%+生物有机肥”是实现菊芋高效生产的安全高效施肥方式。有机肥氮替代30%~40%化肥氮是实现湖北贝母高效栽培的最佳替代比例^[10]。在蔬菜方面的研究表明, 生物有机肥替代化肥对韭菜^[11]、莴笋^[12]、蒜苗^[13]、西兰花^[14]、黄瓜^[15]和辣椒^[16]生长、产量及品质提升方面效果较好。汪自松等^[17]研究发现, 化肥减量不超过30%时, 增加适量的有机肥, 产量可以提高8.4%~10.6%; 而化肥减量达到50%时, 施用适量的有机肥, 樱桃番茄产量表现出下降的趋势。王冰清等^[18]研究也表明, 化肥减量配施有机肥可提高黄瓜、苦瓜和甘蓝的可溶性糖和维生素C(Vc)含量。而土壤中过量的氮肥导致氮代谢旺盛, 消耗更多的碳骨

作者简介: 谢福平, 主要从事耕地质量提升方面的研究, E-mail: 937611730@qq.com

毛涛为通信作者, 主要从事肥料施用技术推广及耕地质量提升技术推广工作方面的研究, E-mail: 398847709@qq.com

基金项目: 市科技计划项目(ZY2023BJ26, ZY2024BJ14)

收稿日期: 2025-02-25; 修回日期: 2025-03-12; 网络出版日期: 2025-03-27

架和还原力,降低植物同化速率,影响光合产物输出,最终降低果实品质。然而,不同地域土壤养分供应和作物所需水、肥、气和热也存在差异。目前,在张掖地区学者们关于化肥减量配施生物有机肥在番茄栽培施用效果方面的研究报道相对较少,因此,本文结合当地设施蔬菜生产实际,以设施番茄为研究对象,通过化肥减量配施生物有机肥处理对设施番茄生长、光合特性、产量、品质及土壤肥力指标的影响及相关性分析,找到适宜甘肃河西地区设施番茄化肥减量最佳生物有机肥替代比例,为该区域科学施肥、高效栽培和健康可持续蔬菜产业发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2023–2024年在甘肃省张掖市甘州区党寨镇蔬菜种植基地连栋温室内(38.83114°N, 100.43245°E)进行,番茄于2023年9月12日定植,2024年4月6日拉秧。当地海拔1487m,属温带大陆性干旱气候,多年平均气温7℃,年均无霜期156d,全年降水量118.4mm,降水集中在每年6–9月。试验地地势平坦,土壤肥力均匀,水肥一体灌溉设施配套完善,前茬作物为娃娃菜。土壤耕层(0–20cm)基本理化性状为pH 8.34、有机质16.50g/kg、全氮0.74g/kg、碱解氮99.00mg/kg、有效磷32.54mg/kg、速效钾102.00mg/kg。

1.2 试验材料与试验设计

供试番茄品种为“劲宝1848”(由武威百利种苗有限公司供苗),该品种产量高,品质优,抗性强,是温室大棚主栽品种。供试生物有机肥为土秀才复合微生物肥,有效活菌数(枯草芽孢杆菌)≥2.0亿/g,有机质含量≥45.0%,氮含量2.0%,由山东土秀才生物科技有限公司生产。供试肥料氮肥尿素(N 46.0%)、磷肥过磷酸钙(P₂O₅ 16.0%)和钾肥硫酸钾镁(K₂O 24.0%)购于当地农资公司。

试验采用随机区组设计,共设置6个处理,分别为不施肥(CK1)、单施化肥(CK2)、化肥减氮20%+生物有机肥(T1)、化肥减氮40%+生物有机肥(T2)、化肥减氮60%+生物有机肥(T3)和化肥减氮80%+生物有机肥(T4)。其中,CK2处理的氮肥用量依据当地番茄常规种植施用量,遵循等氮量原则,设置T1、T2、T3和T4生物有机

肥替代处理。垄作覆膜种植,垄宽0.80m,垄间距0.45m,每垄种植2行,株距×行距为0.45m×1.05m,每个处理设置3次重复,共设18个小区,单个小区面积30m²。生物有机肥和磷肥在播种前一次性全部施入,尿素和硫酸钾镁2/3作为底肥,1/3在番茄生育期内随水分5次滴入。管理方法参考日常田间管理,各处理施肥量见表1。

表1 不同处理施肥量

处理 Treatment	有机肥 Organic fertilizer	化肥N N-fertilizer	化肥P P-fertilizer	化肥K K-fertilizer
CK1	0	0	0	0
CK2	0	345	260	300
T1	3450	276	260	300
T2	6900	207	260	300
T3	10 350	138	260	300
T4	13 800	69	260	300

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株生长指标、产量及品质 于番茄盛果期,每个处理选择3株长势一致且具有代表性的番茄植株测定生长指标。株高为主茎基部到主茎顶端的距离;用DWKC-2038游标卡尺(杭州德力西)测定距离地面1cm处的茎粗。在测定株高和茎粗的同时,记录整个植株叶片数量。用刻度尺测量生长点向下第2片叶片的长和宽,叶面积=叶长×叶宽×0.78^[19]。

自番茄果实采收起进行累计测产,记录每个处理每次采收的果实数量及产量,最后计算平均单果质量和总产量。采收期间,于2024年1月25日,每个小区选取5株具有代表性的番茄第四序果用天平称量,计算单果重,用游标卡尺测量果实横径并用于番茄品质指标测定。采用硫酸-蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量;采用钼蓝比色法测定V_c含量;采用分光光度法测定番茄红素含量;采用酸碱滴定法测定可滴定酸含量;采用3,5-二硝基水杨酸显色法测定硝酸盐含量^[20]。

1.3.2 光合特性 在番茄盛果期,选择晴天早晨9:00–10:30,用LI-6400XT光合仪(美国)测定番茄叶片蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、光合速率(P_n)、胞间CO₂浓度(C_i)等参数,每个处理3次重复;每个处理选择长势一致且具有代表性的5株番茄植株,用手持叶绿素仪(SPAD-502 Plus,

日本)测定番茄生长点向下第 2 片叶片的相对叶绿素含量 (SPAD 值), 每个叶片测定 3 次, 取其均值。

1.3.3 土壤样品采集与测定 于番茄盛果期在各小区 0~20 cm 土层, 采用“S”形 5 点混样法进行土壤混合样品采集, 土壤于室内风干、研磨、过 2 mm 筛后装袋测定土壤理化指标。

采用重铬酸钾容量法外加硫酸亚铁滴定法测定土壤有机质含量; 采用浓硫酸消煮-凯氏定氮法测定全氮含量; 采用碱解扩散法测定碱解氮含量; 采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定有效磷含量; 采用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量^[21]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件分析与处理数据, 运用 SPSS 21.0 软件对试验数据进行方差分析和相关性分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对番茄生长性状的影响

由表 2 可知, 所有施肥处理的番茄株高均高于不施肥处理 (CK1), 其中单施化肥处理 (CK2) 株高最高 (179.43 cm), 与 CK1、T3 和 T4 处理差异显著 ($P < 0.05$, 下同), 但与 T1 和 T2 处理差异不显著, CK2 处理较其他处理株高增幅达 0.86%~9.32%。在茎粗方面各处理表现为 T1 > T3 > CK2 > T4 > T2 > CK1, 各处理间差异不显著。不同处理番茄叶面积为 13.18~16.59 cm², 具体表现为 CK2 > T1 > T2 > T4 > T3 > CK1, 所有处理均与 CK1 处理达到显著差异水平, 但 CK2、T1 和 T2 处理间差异不显著, 不同处理番茄植株的叶片数量在 15 片左右, 各处理与 CK1 处理间叶片数量差异不显著。以上结果说明生物有机肥替代部分化肥可以促进番茄生长, 在 T1 和 T2 处理下效果较好。

表 2 不同处理对番茄生长性状的影响

Table 2 Effects of different treatments on tomato growth traits

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	叶片数 Number of leaves
CK1	164.13±1.13c	13.93±0.25a	13.18±0.09c	15.33±0.33a
CK2	179.43±0.67a	14.23±0.34a	16.59±0.36a	15.33±0.33a
T1	177.90±2.43ab	14.48±0.08a	16.37±0.33a	15.67±0.33a
T2	176.10±1.85ab	14.18±0.23a	16.08±0.17ab	15.33±0.33a
T3	173.13±1.21b	14.38±0.20a	15.37±0.25b	15.67±0.33a
T4	167.97±1.39c	14.22±0.17a	15.40±0.26b	15.33±0.33a

同列不同小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著, 下同。

Different lowercase letters in same column indicate significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

2.2 不同施肥处理对番茄光合特性和 SPAD 值的影响

由表 3 可知, 番茄叶片 P_n 和 T_r 随有机肥替代比例的升高 (T1~T4) 整体呈先升高后降低的趋势, G_s 和 SPAD 值随有机肥替代比例的升高整体呈逐渐降低趋势, C_i 随有机肥替代比例的升高呈先降低后升高的趋势。番茄叶片的 P_n 和 T_r 均在 T2 处理时达到最大值, 相较其他处理增幅分别达

3.80%~43.25%和 1.65%~82.84%。叶片的 G_s 介于 0.60~0.70 mol/(m²·s), 各处理间差异不显著。T2 处理的 C_i 最小 (254.37 μmol/mol), CK1 处理最大 (295.68 μmol/mol), T2 处理与 CK2、T1 处理差异不显著, 相较其他处理显著, T2 处理较其他处理降幅达到 1.07%~13.97%。所有有机肥替代化肥处理中叶片 SPAD 值在 T1 处理下达到最大值, 与 CK2 和 T2 处理差异不显著, 与其他处理差异显

表 3 不同处理对番茄光合特性的影响

Table 3 Effects of different treatments on the photosynthetic characteristics of tomatoes

处理 Treatment	P_n [μmol/(m ² ·s)]	G_s [mol/(m ² ·s)]	C_i (μmol/mol)	T_r [mmol/(m ² ·s)]	SPAD 值 SPAD value
CK1	8.44±0.16d	0.61±0.03a	295.68±4.28a	3.03±0.31c	46.63±1.88d
CK2	11.94±0.08ab	0.67±0.02a	272.16±5.55bc	5.36±0.29a	63.43±1.19a
T1	12.09±0.22a	0.70±0.02a	257.11±8.23c	5.45±0.10a	61.93±1.53a
T2	12.55±0.05a	0.67±0.02a	254.37±1.66c	5.54±0.27a	59.70±0.96ab
T3	11.32±0.07bc	0.62±0.02a	279.02±6.40ab	4.28±0.33b	57.00±1.53bc
T4	11.16±0.47c	0.60±0.05a	287.68±4.85ab	4.31±0.08b	53.73±1.32c

著。所以，增施生物有机肥可提高番茄叶片光合能力，整体分析 T1 和 T2 处理下效果较好。

2.3 不同施肥处理对番茄产量及其相关因素的影响

由表 4 可知，生物有肥替代化肥可以提高番茄单果重、单果直径和产量，所有有机肥替代处理均高于 CK1 和 CK2 处理。番茄单果重随着有机肥替代比例的升高呈先升高后降低的趋势，T1 和 T2 处理显著高于其他处理，T1 和 T2 处理间差异不显著，T1、T2 处理分别较 CK1 处理提高 16.31% 和 18.09%，分别较 CK2 处理提高 6.86% 和 8.49%。番茄单果直径所有有肥替代处理间差异不显著，T1 处理最高，达 86.54 mm，分别较 CK1 和 CK2 处理显著提高 64.68% 和 21.85%。番茄产量介于 52.03~75.37 t/hm²，T1 和 T2 处理显著高于其他处理，T1 和 T2 处理间差异不显著，T1 和 T2 处理分别较 CK1 处理提高 43.57% 和 44.86%，分别较 CK2 处理提高 15.56% 和 16.60%。所以，增施生物有机肥可

表 4 不同处理对番茄产量及其相关因素的影响

Table 4 Effects of different treatments on tomato yield and its related factors

处理 Treatment	单果重 Single fruit weight (g)	单果直径 Single fruit diameter (mm)	产量 Yield (t/hm ²)
CK1	224.86±2.57c	52.55±1.28c	52.03±0.92d
CK2	244.76±1.44b	71.02±1.35b	64.64±1.02c
T1	261.54±2.97a	86.54±1.02a	74.70±0.80a
T2	265.54±2.83a	85.16±0.66a	75.37±0.74a
T3	251.42±2.05b	85.46±2.21a	68.77±0.77b
T4	245.54±1.12b	85.23±0.77a	66.31±0.57bc

表 5 不同处理对番茄品质的影响

Table 5 Effects of different treatments on the quality of tomato

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar (%)	可溶性蛋白 Soluble protein (g/100g)	V _c (mg/kg)	番茄红素 Lycopene (mg/kg)	可滴定酸 Titratable acidity (%)	硝酸盐 Nitrate (mg/kg)
CK1	2.48±0.08c	0.33±0.01a	94.93±0.84f	0.85±0.02c	0.32±0.01c	85.19±1.06d
CK2	4.30±0.05b	0.33±0.02a	112.15±0.46e	1.01±0.04b	0.48±0.01a	207.98±1.28a
T1	4.51±0.03a	0.35±0.02a	150.20±0.55a	1.27±0.01a	0.43±0.01b	158.55±0.96b
T2	4.60±0.06a	0.35±0.01a	141.16±0.51b	1.35±0.03a	0.33±0.01c	139.30±1.92c
T3	4.22±0.06b	0.34±0.02a	125.26±0.50c	1.32±0.03a	0.35±0.02c	135.45±1.85c
T4	4.21±0.05b	0.33±0.02a	115.28±0.50d	1.28±0.02a	0.34±0.01c	135.30±0.58c

分析 T1 和 T2 处理相对较好。

2.5 不同施肥处理对土壤肥力的影响

由表 6 可知，有机质含量随着有机肥替代化肥比例的升高呈现逐渐升高的趋势，所有有机肥替代处理相较 CK1 处理有机质含量增幅达 11.16%~32.48%，相较 CK2 处理增幅达 4.42%~24.45%。土

提高番茄产量，整体分析 T1 和 T2 处理下有利于增产。

2.4 不同施肥处理对番茄品质的影响

由表 5 可知，番茄可溶性糖、可溶性蛋白、V_c、番茄红素、可滴定酸和硝酸盐含量等指标整体呈先升高后降低的变化规律。与 CK1 或 CK2 处理相比，所有有机替代处理 (T1~T4) 均提高了番茄可溶性糖、可溶性蛋白、V_c 和番茄红素含量，与单施化肥处理 (CK2) 相比均降低了可滴定酸和硝酸盐含量，但是均高于不施肥处理 (CK1)。番茄可溶性糖含量在 T2 处理达到最大值，较 CK1 和 CK2 处理分别提高了 85.48% 和 6.98%，除 T1 处理外与其他处理均达到显著差异。番茄可溶性蛋白介于 0.33~0.35 g/100g，T1、T2 处理含量最高，相较其他处理差异不显著。V_c 含量所有处理表现为 T1>T2>T3>T4>CK2>CK1，T1 处理最高 (150.20 mg/kg)，T2 处理次之 (141.16 mg/kg)，T1 和 T2 间差异显著，与其他处理相比差异显著，相较 CK1，T1、T2 处理分别提高 58.22% 和 48.70%，相较 CK2，T1、T2 处理分别提高 33.93% 和 25.87%。番茄红素所有有机肥替代化肥处理间差异不显著，但与 CK1 和 CK2 处理差异显著，其中番茄红素在 T2 处理含量最高 (1.35 mg/kg)，较 CK1 和 CK2 处理分别提高 58.82% 和 33.66%。可滴定酸含量 T2 处理最低，CK2 最高，T2 处理较 CK2 处理降低 31.25%。硝酸盐含量 T4 处理最低，CK2 最高。以上数据说明增施生物有机肥可提高番茄品质，整体

壤全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量在 T1、T2 处理达到最大值，且显著高于 CK1 处理，T1 处理全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较 CK1 提高 31.88%、41.79%、24.64% 和 61.66%，T2 处理较 CK1 分别提高 35.29%、41.27%、22.17% 和 56.83%。T1 和 T2 处理土壤全氮与 CK2 处理差异

显著，分别较 CK2 处理提高 7.23%和 10.84%。T1 和 T2 处理土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量与 CK2 差异不显著，说明有机肥替代化肥处理可以提高土壤养分含量。

表 6 不同处理对土壤质量的影响
Table 6 Effects of different treatments on soil quality

处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	碱解氮 Available hydrolyzable nitrogen (mg/kg)	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	速效钾 Available potassium (mg/kg)
CK1	14.87±0.23f	0.68±0.01d	82.80±1.44c	32.34±0.21d	75.67±1.20d
CK2	15.83±0.26e	0.83±0.01c	116.25±1.45a	39.39±0.26a	118.00±1.73ab
T1	16.53±0.15d	0.89±0.02ab	117.40±2.03a	40.31±0.38a	122.33±1.76a
T2	17.43±0.24c	0.92±0.03a	116.97±0.78a	39.51±0.38a	118.67±0.88a
T3	18.57±0.20b	0.84±0.01bc	115.63±1.19a	37.46±0.22b	113.67±1.45b
T4	19.70±0.23a	0.79±0.01c	110.87±1.50b	36.49±0.31c	105.67±1.76c

2.6 不同施肥处理对番茄经济效益的影响

生物有肥替代化肥可以提高番茄经济效益（表 7）。随着有机肥替代比例的增加，经济效益呈逐渐降低的趋势。与 CK2 处理相比，T1、T2 处理分别

增收 68 780 和 62 440 元/hm²，分别较 CK2 处理提高 13.53%和 10.80%。然而，T3、T4 处理经济收益分别较 CK2 处理降低 2060 和 33 440 元/hm²。所以，增施生物有机肥可提高番茄经济收益，整体分

表 7 不同处理对番茄经济效益的影响
Table 7 Effects of different treatments on economic benefits of tomato

处理 Treatment	总产值 Total output value	肥料费用 Fertilizer input				经济收益 Economic income	较 CK2 增收 Increase over CK2
		化肥 N N-fertilizer	化肥 P P-fertilizer	化肥 K K-fertilizer	有机肥 Organic fertilizer		
CK1	416 240				0	416 240	
CK2	517 120	1875	2438	4375	0	508 433	
T1	597 600	1500	2438	4375	12 075	577 213	68 780
T2	602 960	1125	2438	4375	24 150	570 873	62 440
T3	550 160	750	2438	4375	36 225	506 373	-2060
T4	530 480	375	2438	4375	48 300	474 993	-33 440

番茄市场价格为 8000 元/t，尿素价格为 2500 元/t，过磷酸钙价格为 1500 元/t，硫酸钾镁价格为 3500 元/t，生物有机肥价格为 3500 元/t。Tomato market price is 8000 yuan/t, urea price is 2500 yuan/t, superphosphate price is 1500 yuan/t, potassium magnesium sulfate price is 3500 yuan/t, bio-organic fertilizer price is 3500 yuan/t.

析 T1 和 T2 处理相对较好。

3 讨论

3.1 氮肥减量配施生物有机肥对番茄生长、产量和品质的影响

氮是植物生长的必需营养元素之一，在生长发育过程中至关重要，氮肥合理施用不仅能够促进番茄植株生长，提高番茄产量和品质，还能增加番茄植株氮素积累和促进干物质的生成^[22]。本研究结果表明，氮肥减量配施生物有机肥处理番茄株高、茎粗和叶面积均高于 CK1 处理，其中 T1 和 T2 处理对番茄株高和叶面积的影响较大，株高较 CK1 处理分别增加 8.39%和 7.30%，叶面积较 CK1 处理分别增加 24.20%和 22.00%，但与 CK2 处理无显著差异。此结果与祝海燕等^[23]的研究结果相似。

氮肥减量配施生物有机肥处理在提高番茄产量和品质方面也发挥重要作用。本研究结果表明，氮肥减量配施生物有机肥相较 CK1 和 CK2 处理显著提高了番茄产量、单果重、单果直径、番茄红素、V_c和可溶性糖含量，相较 CK2 处理显著降低了可滴定酸和硝酸盐含量。此结果与前人^[23-24]的研究结果基本一致。这主要是因为不施肥处理没有充足养分输入，番茄在缺素情况下产量也随之降低，在等养分含量投入的情况下，单施化肥处理增产效果和品质低于有机肥配施处理，可能是在番茄生长过程中生物有机肥矿化养分得以逐渐释放，能充分满足番茄品质形成关键时期养分需求，而化肥养分释放较快，在生育后期无法满足番茄生长需求。还有可能是因为生物有机肥拥有丰富的微生物活菌，施入土壤后改善了土壤酶活性，提高了微生物种群

和数量,进而改善了土壤环境,番茄养分利用率提高所致^[9]。

3.2 氮肥减量配施生物有机肥对番茄光合特性的影响

光合作用是植物将无机物转化为有机物,为生命活动提供物质能量的基础,叶片 SPAD 值和光合特性是反映光合作用强弱的关键指标^[25]。本研究结果表明,番茄叶片 P_n 和 T_r 随有机肥替代比例的升高整体呈先升高后降低的趋势, G_s 和 SPAD 值随有机肥替代比例的升高整体呈逐渐降低趋势, C_i 随有机肥替代比例的升高呈先降低后升高的趋势,在 T1 和 T2 处理下效果较好。此结果可能是适宜有机肥替代化肥比例下土壤养分供应改善了番茄生理生化特性,促使番茄对水、肥、气和热等资源能够协调、优化和高效利用,从而提高叶片 SPAD 值和光合作用^[26]。

3.3 氮肥减量配施生物有机肥对土壤肥力的影响

土壤肥力全面反映了土壤特性,是揭示土壤动态变化最敏感的指标,是土壤物理、化学及生物学性质的综合表现^[27]。大量研究^[28-29]表明,有机肥含有各种生物活性物质及多种菌类,对提高土壤质量、促进团粒结构形成、改善根系微生态环境、增加土壤酶及微生物活性、促进植物根系发育和养分吸收具有积极作用。本研究表明,氮肥减量配施生物有机肥可以增加土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量,有机质含量相较 CK1 和 CK2 处理增幅分别达 11.16%~32.48%和 4.42%~24.45%,在 T1 和 T2 处理下达到最大值。因此,氮肥减量配施生物有机肥能提高设施番茄产量的主要原因是提高了土壤肥力。

4 结论

综上所述,氮肥减量配施生物有机肥不仅促进了番茄生长、提升了光合特性,改善了土壤肥力,提高了产量和品质,还增加了经济收益,当化肥减氮 20%~40%并配施生物有机肥可作为河西地区设施番茄最佳施肥方式。

参考文献

[1] 雷波,陈炜,马英杰.甘肃省蔬菜产业现状及高质量发展对策研究.北方园艺,2024(20):1-8.
[2] 张俊峰,颜建明,张玉鑫,等.生物有机肥部分替代化肥对日光温室番茄生长与光合特性及肥料利用率的影响.北方园艺,2022(11):44-50.
[3] 杨天杰,王玉鑫,王佳宁,等.不同基质生物有机肥防控番茄

土传青枯病及促生效果研究.土壤,2021,53(5):961-968.
[4] 沈德龙,曹凤明,李力.我国生物有机肥的发展现状及展望.中国土壤与肥料,2007(6):1-5.
[5] 孔德宁,康国栋,李鹏,等.化肥减施条件下配施有机肥对旱地紫色土有机碳活性组分的影响.生态学杂志,2021,40(4):1073-1080.
[6] Liu H F, Zhang J Y, Ai Z M, et al. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem. Agriculture Ecosystems & Environment, 2018, 265: 320-330.
[7] 王超,刘欣宇,赵宝龙,等.生物有机肥对温室番茄品质和土壤肥力的影响.北方园艺,2024(16):32-40.
[8] 韩秀丽,李嘉伟,张杰,等.生物有机肥替代化肥对葡萄生长与土壤肥力的影响.中国农业科技导报,2024,26(4):195-205.
[9] 王振龙,宿翠翠,周琦,等.氮肥减量配施有机肥对菊芋产量、品质及土壤质量的影响.作物杂志,2023(5):104-109.
[10] 李大荣,李小玲,周武先,等.有机肥替代部分化肥对湖北贝母生长及土壤性质的影响.中国农业科技导报,2025,27(3):216-226.
[11] 何东霞,颜建明,何志学,等.生物有机肥部分替代化肥对韭菜生长生理及肥料利用率的影响.西北农业学报,2020,29(6):958-967.
[12] 成零.生物有机肥替代部分化肥对茼蒿生长和产量的影响.特种经济动植物,2024,27(6):13-15.
[13] 朱代强.生物有机肥部分替代化肥对蒜苗生长生理、养分吸收、产量及品质的影响.兰州:甘肃农业大学,2018.
[14] Priyanka S T, Kerketta A, Topno E S, et al. Effect of nano zeolite, nano micronutrients and biocapsules on plant growth, head yield and quality of broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*). International Journal of Environment and Climate Change, 2022: 58-65.
[15] 刘长庆,李天玉,王德科,等.生物有机肥在黄瓜上的应用效果研究.西北农业学报,2006,15(1):180-182.
[16] 王瑶.生物肥部分替代化肥对基质栽培辣椒生长生理和养分利用的影响.兰州:甘肃农业大学,2018.
[17] 汪自松,秦玉秀,沈伟,等.化肥减量配施有机肥对樱桃番茄土壤生物学特性及产量、品质的影响.中国土壤与肥料,2024(2):58-64.
[18] 王冰清,尹能文,郑棉海,等.化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和品质的影响.中国农学通报,2012,28(1):242-247.
[19] 翟鹏飞,李受鹏,覃丽霞,等.秸秆与生物炭配施对樱桃番茄生长及产量品质的影响.分子植物育种,2022,20(21):7216-7223.
[20] 李合生.植物生理生化实验原理和技术.北京:高等教育出版社,2000:246-249.
[21] 鲍士旦.土壤农化分析.3版.北京:中国农业出版社,2000.
[22] 赵耀东,张传忠.氮肥减量施加生物炭对花生幼苗生理特性及根系生长的影响.江苏农业科学,2023,51(22):100-106.
[23] 祝海燕,田素波,李春雷,等.化肥减量配施生物有机肥对口感型番茄生长及品质的影响.江苏农业科学,2023,51(19):125-130.
[24] 李蒙,朱思远,袁童瑶,等.生物有机肥对基质肥力、酶活性及番茄生长和品质的影响.西南农业学报,2023,36(6):1260-1270.
[25] 张树衡,丁德东,何静,等.两种生物肥料配施对再植花椒生长及光合特性的影响.西北农业学报,2021,30(9):1355-1364.
[26] 郑剑超,张巨松,闫曼曼,等.氮肥追施模式对遮阴下棉花光

- 合效率及产量的影响. 干旱区研究, 2016, 33(5): 1036-1042.
- [27] Karlen D L, Mausbach M J, Doran J W, et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(1): 4-10.
- [28] 柳玲玲, 王文华, 杨再刚, 等. 不同生物有机肥对钩藤产量、品质及土壤生物性状的影响. 中国土壤与肥料, 2018(3): 116-121.
- [29] 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. 四川农业大学学报, 2022, 40(1): 67-72.

Effects of Reducing Chemical Fertilizer Combined with Bio-Organic Fertilizer on Yield, Quality, and Soil Fertility of Greenhouse Tomato

Xie Fuping^{1,2}, Mao Tao¹

(¹Cultivated Land Quality Management Station of Zhangye City, Zhangye 734000, Gansu, China;

²Zhangye Seed Administration Bureau, Zhangye 734000, Gansu, China)

Abstract To explore the effects of reducing chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizer on the yield and quality of tomato, and soil fertility, and to identify an optimal fertilization method for greenhouse tomatoes in the Hexi region of Gansu Province, a field experiment was conducted with six fertilization treatments: CK1 (no fertilization), CK2 (single application of chemical fertilizer), T1-T4 (20%, 40%, 60%, 80% nitrogen reduction combined with bio-organic fertilizer). The effects of different treatments on tomato growth, photosynthetic characteristics, yield and quality, and soil fertility indicators were analyzed. The results showed that the tomato plant height, stem diameter and leaf area under the integrated fertilization treatments were higher than those in CK1. The tomato plant height and leaf area of CK2 were the highest, but there was no significant difference between T1 and T2 treatments. The net photosynthetic rate (P_n) and transpiration rate (T_r) of tomato leaves showed an overall trend of first increasing and then decreasing with the increase of bio-organic fertilizer substitution ratio (T1-T4), but stomatal conductance (G_s) and SPAD value showed gradually decreased trend. The intercellular CO_2 concentration (C_i) of leaves showed a trend of first decreasing and then increasing. The P_n and T_r of tomato leaves reached the maximum values under T2 treatment. The C_i reached the minimum value under T2 treatment. Compared with other treatments, T1 and T2 significantly increased tomato yield, single fruit weight, single fruit diameter, and soluble sugar content. There was no significant difference between T1 and T2. However, compared with CK2, they significantly reduced titratable acid and nitrate content with T2 showing the largest reduction. The treatment of reducing nitrogen fertilizer combined with bio-organic fertilizer (T1-T4) increased soil organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and available potassium content. Compared with CK2, the economic benefits of T1 and T2 increased by 13.53% and 10.80%, respectively. Therefore, reducing nitrogen fertilizer by 20%-40% combined with bio-organic fertilizer is the optimal strategy to improve the yield, quality, soil fertility and economic benefits of greenhouse tomato in the Hexi region.

Key words Greenhouse tomato; Nitrogen fertilizer reduction; Bio-organic fertilizer; Photosynthetic characteristic; Yield; Quality; Soil fertility