

生物有机肥用量对日光温室辣椒生长、产量及品质的影响

闫文涛¹, 张建金², 张婧¹, 刘天栋¹, 李静¹, 张潇丹¹, 颀建明¹

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 靖远县农业技术推广中心 甘肃靖远 730600)

摘要: 研究生物有机肥用量对辣椒生长、品质和产量的影响, 为辣椒生产中合理施用生物有机肥提供技术依据。以日光温室越冬茬辣椒为试材, 以不施有机肥为对照, 设置增施 300、600、900、1200 kg·667 m² 生物有机肥用量。结果表明, 定植后 90、120、150 d 的辣椒增施不同用量生物有机肥后株高显著高于对照, 分别提高了 4.62%~12.47%、3.14%~12.46%、5.26%~11.23%; 增施不同用量生物有机肥后, 果实维生素 C、可溶性糖及可溶性蛋白含量, 单果质量、产量和经济效益均显著提高, 较对照分别提高 3.39%~7.26%、17.13%~40.83%、14.17%~31.67%、8.07%~20.28%、7.02%~13.56% 和 6.18%~8.33%。900 kg·667 m² 与 1200 kg·667 m² 处理的辣椒产量与果实营养品质均显著高于对照。综合考虑经济效益, 900 kg·667 m² 为当地日光温室辣椒生产中生物有机肥适宜用量。

关键词: 辣椒; 生物有机肥; 产量; 品质

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)08-086-06

Bio-organic fertilizer dosage affects growth, yield and quality of pepper in solar greenhouse

YAN Wentao¹, ZHANG Jianjin², ZHANG Jing¹, LIU Tiandong¹, LI Jing¹, ZHANG Xiaodan¹, XIE Jianming¹

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Jingyuan Agricultural Technology Extension Center, Jingyuan 730600, Gansu, China)

Abstract: This research was conducted to study the effect of the amount of bio-organic fertilizer on the growth, quality and yield of pepper, and to provide technical basis for rational application of bio-organic fertilizer in pepper production. The overwintering pepper in the solar greenhouse was used as the test material, with application rates of 300, 600, 900 and 1200 kg·667 m² of biological organic fertilizer. No organic fertilizer application was used as control. The results showed that the plant height of the treatments with different dosages of bio-organic fertilizer increased by 4.62%-12.47%, 3.14%-12.46% and 5.26%-11.23% than that of the control after 90, 120 and 150 days post transplant. Fruit vitamin C, soluble sugar and soluble protein contents, fruit weight, yield and economic benefits were significantly increased after adding of different biological organic fertilizer, the rates were 3.39%-7.26%, 17.13%-40.83%, 14.17%-31.67%, 8.07%-20.28%, 7.02%-13.56% and 6.18%-8.33%, respectively. The yield and fruit nutritional quality of 900 kg·667 m² and 1200 kg·667 m² treatments were significantly higher than those of the control. Considering the economic benefits, 900 kg·667 m² is the appropriate amount of bio-organic fertilizer for pepper production in local solar greenhouse.

Key words: Pepper; Bio-organic fertilizer; Production; Quality

肥料是重要的农业生产资料, 合理施肥是作物增产最有效的途径^[1], 然而农户在农业生产中为追求高产和高效益, 不断加大化肥投入导致肥料利用率降低、作物品质下降、土壤板结等问题, 不仅影响农业生产, 而且造成了环境污染和资源浪费^[2-3]。为

改善化肥过量所导致的环境污染问题, 农业部于 2015 年出台了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》, 明确规定 2020 年农作物化肥施用零增长, 提出采用有机肥部分替代化肥、精准减量施肥等措施来解决化肥与农业可持续发展的平衡关系^[4]。在

收稿日期: 2022-01-12; 修回日期: 2022-04-08

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0201005); 甘肃省瓜菜产业技术体系专项资金(GARS-GC-1); 甘肃省引导科技创新发展专项资金(2018ZX02)

作者简介: 闫文涛, 男, 在读硕士研究生, 主要从事园艺设施栽培与环境调控研究。E-mail: 531829105@qq.com

通信作者: 张婧, 女, 讲师, 主要从事设施蔬菜栽培与品质调控研究。E-mail: zj@gsau.edu.cn

此背景下,生物有机肥对环境友好、绿色安全、资源节约等优点受到广泛关注^[5]。生物有机肥含有益微生物,可改善土壤理化性质,调控土壤微生物群落结构,减少土传病害的发生,并且具有肥效长久、营养全面和有机质丰富的特点^[6]。已有研究表明,合理施用生物有机肥可促进黄瓜根系生长、提高叶片叶绿素含量、显著增加黄瓜产量^[7]。刘翠玲等^[8]研究表明,施用生物有机肥能有效促进尖椒、油菜两种蔬菜的发育,使其生长健壮,叶片深绿肥厚,与不施生物有机肥相比分别增产 20.81%和 24.06%。李杰等^[9]研究表明,与单施化肥相比,配施生物有机肥能够明显改善花椰菜的品质、提高肥料利用率和光合效率,其中 80%常规施肥+生物有机肥效果最佳。刘方春等^[10]研究表明,生物有机肥可增加土壤有机质含量、改善土壤环境、提高蔬菜品质。Marcotel 等^[11]研究发现,增施生物肥有利于改善土壤理化性质,提高土壤微生物数量及土壤转化酶、磷酸酶、过氧化物酶和脲酶活性。

辣椒(*Capsicum annuum* L.)为茄科辣椒属植物^[12],其因丰富的营养物质和独特的口感成为广受大众喜爱的蔬菜和调味品^[13-14]。过去 10 年中,全球辣椒产量增长了 35.34%,2019 年栽培面积共计 199 万 hm^2 ;其中我国辣椒占世界总面积的 40%(FAO, 2019),已成为全球最大的辣椒生产、消费和出口国。随着辣椒市场需求的逐渐增加,设施越冬栽培面积日益增大,但前人对其研究多集中在抗逆增产、缓解连作障碍等方面,关于增施生物有机肥对辣椒生长和品质影响的研究鲜有报道。笔者以国内设施栽培辣椒品种华美 105 为试验对象,研究增施生物有机肥对辣椒生长、产量及果实品质的影响,为日光温室辣椒生产中生物有机肥的合理施用提供技术依据。

1 材料与试验方法

1.1 试验地概况

试验地点位于甘肃省白银市靖远县大坝高科技农业园区,海拔约 1418 m,属于温带半干旱气候,年均气温 8.9 $^{\circ}\text{C}$ 左右,年均降水量 240 mm,年蒸发量 1634 mm,年均日照时数 2696 h,无霜期 165 d。日光温室辣椒生产为当地农业主导产业。

1.2 材料

供试辣椒品种为华美 105,由酒泉市华美种子有限责任公司提供,该品种耐寒性好,适宜设施越冬栽培。供试生物有机肥由甘肃绿能农业科技股

份有限公司生产(有效活菌数 ≥ 0.2 亿 $\text{CFU}\cdot\text{g}^{-1}$,有机质 $\geq 40\%$,水分 $\leq 30\%$);施用化肥为硫酸钾复合肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=30:5:5$,总养分 $\geq 40\%$)和磷酸二铵($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=18:46:0$,总养分 $\geq 64\%$,海藻酸的质量分数 ≥ 500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),以上肥料作基肥。追肥为氨基酸水溶肥(氨基酸 ≥ 100 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)和氨基酸复合肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=16:6:26$),供试土壤理化性状:pH 值 7.32,EC 值 250.2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,碱解氮含量(w ,后同) 17.78 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量 23.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 179.73 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,设置 5 个处理,以不施有机肥为对照(CK),设置增施 300 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T1)、600 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T2)、900 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T3)、1200 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ (T4)共 4 个生物有机肥用量。小区面积为 9.62 m^2 ,每处理 4 次重复。各处理于 2021 年 2 月 24 日追施氨基酸水溶肥 30 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$,于 3 月 10 日、3 月 23 日、4 月 6 日、4 月 21 日、5 月 5 日、5 月 19 日各追施氨基酸水溶肥 30 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 和氨基酸复合肥 15 $\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 。化肥用量与当地传统用量一致,见表 1。

表 1 试验各处理施肥量 ($\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$)

处理	化肥			生物有机肥	追肥		
	N	P_2O_5	K_2O		N	P_2O_5	K_2O
CK	30.2	23.5	3.75	0	30	11.25	48.75
T1	30.2	23.5	3.75	300	30	11.25	48.75
T2	30.2	23.5	3.75	600	30	11.25	48.75
T3	30.2	23.5	3.75	900	30	11.25	48.75
T4	30.2	23.5	3.75	1200	30	11.25	48.75

注:氨基酸水溶肥追肥 7 次;氨基酸复合肥追肥 6 次,表中各处理所呈现值为总量。

于 2020 年 9 月 17 日育苗。定植前(10 月 15 日)将生物有机肥作基肥一次性施入,并翻入土壤。采用垄膜栽培,垄宽 0.90 m,垄高 0.24 m,垄长 7.40 m。于 11 月 27 日进行一垄双行定植,株距 0.37 m,每垄定植 41 株。选取长势一致的植株挂牌,于定植后 30 d(2020 年 12 月 27 日)开始测定相关指标,每 30 d 测定 1 次。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长指标 采用卷尺、电子游标卡尺测定株高、茎粗和果实横纵径。

1.4.2 叶绿素荧光参数 采用叶绿素荧光成像仪(IMAPING-PAM,德国)测定各处理辣椒生长点以下第 5 片叶片的最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学效率(Φ_{PSII})、非光化学淬灭系数(NPQ)和光化学

淬灭系数(q_p)。

1.4.3 光合参数测定 在植株开花期,选择生长朝向一致的3片真叶(植株生长点以下第4片叶),利用光合仪(CIRAS-2,英国)测定其净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)。

1.4.4 果实品质指标 于盛果期(定植后90 d)选取成熟度一致的果实测定品质指标^[15],采用2,6-二氯酚靛酚钠染色法测定维生素C含量,采用考马斯亮蓝G-250溶液法测定可溶性蛋白含量,采用蒽酮-硫酸比色法测定^[16]可溶性糖含量。

1.4.5 产量 在辣椒采收期,收获并记录每个处理的产量折算成每667 m²产量,统计果实数量,计算

单果质量。

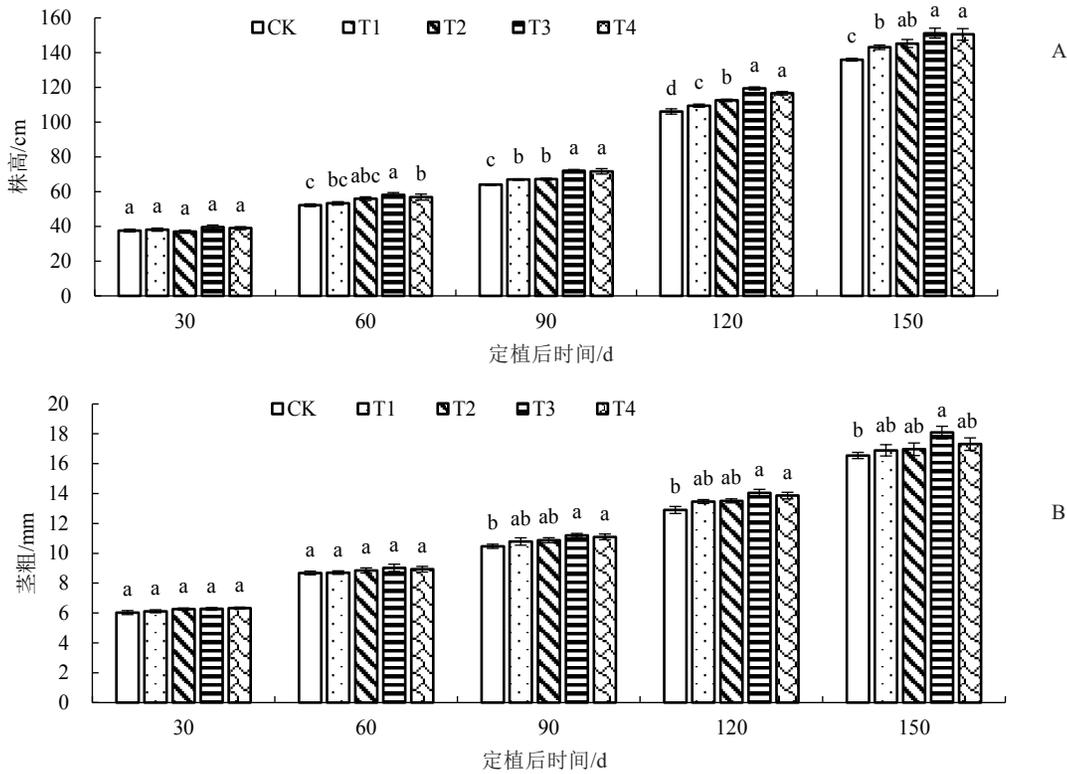
1.5 数据分析

采用 IBM SPSS Statistics 26.0 进行统计学分析,利用 Excel 2021 进行制图和数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生物有机肥施肥量对辣椒生长的影响

由图1可以看出,与CK相比,生物有机肥处理后辣椒株高有不同程度的提升,定植60 d后,生物有机肥处理的辣椒株高均高于CK。由图1-A所示,定植后120 d, T1~T4处理的辣椒株高均与CK达到差异显著水平,分别提高3.14%、6.00%、



注:图中不同小写字母表示同一时间不同处理间在0.05水平差异显著。下同。

图1 不同生物有机肥施肥量对辣椒株高、茎粗的影响

12.46%和9.82%。由图1-B所示,定植30~60 d时,与CK相比,各生物有机肥处理对辣椒茎粗无显著影响。定植后120 d, T3和T4处理辣椒茎粗增长幅度显著高于CK处理,分别增加8.91%和7.44%。

2.2 不同生物有机肥施肥量对辣椒光合作用的影响

由表2可看出,与CK相比,生物有机肥处理辣椒叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)均有所提高,

表2 辣椒光合参数

处理	净光合速率(P_n)/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度(G_s)/($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度(C_i)/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率(T_r)/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
CK	20.82±2.14 c	760.60±47.59 c	389.00±5.59 a	10.08±0.37 a
T1	22.76±1.29 bc	906.40±135.97 bc	376.20±6.11 ab	10.76±0.34 a
T2	25.54±0.48 ab	1 165.40±116.46 ab	362.00±4.36 b	10.94±0.50 a
T3	28.16±0.38 a	1 405.60±126.71 a	362.00±5.35 b	11.12±0.67 a
T4	28.10±0.39 a	1 393.40±122.39 a	361.60±5.99 b	11.24±0.57 a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间在0.05水平差异显著。下同。

胞间 CO₂ 浓度(C_i)则呈降低趋势。T2、T3 和 T4 处理下辣椒叶片的净光合速率和气孔导度均与 CK 达到差异显著水平,其中 T3 处理最高,较 CK 分别增加 35.25%和 84.80%。T2、T3 和 T4 处理辣椒胞间 CO₂ 浓度显著低于 CK,其中 T4 胞间 CO₂ 浓度最低,较 CK 降低 7.04%。生物有机肥处理下,辣椒叶片蒸腾速率(T_r)随生物有机肥用量的增加呈上升趋势,但各处理间无显著差异。

2.3 不同生物有机肥施肥量对辣椒叶绿素荧光参数

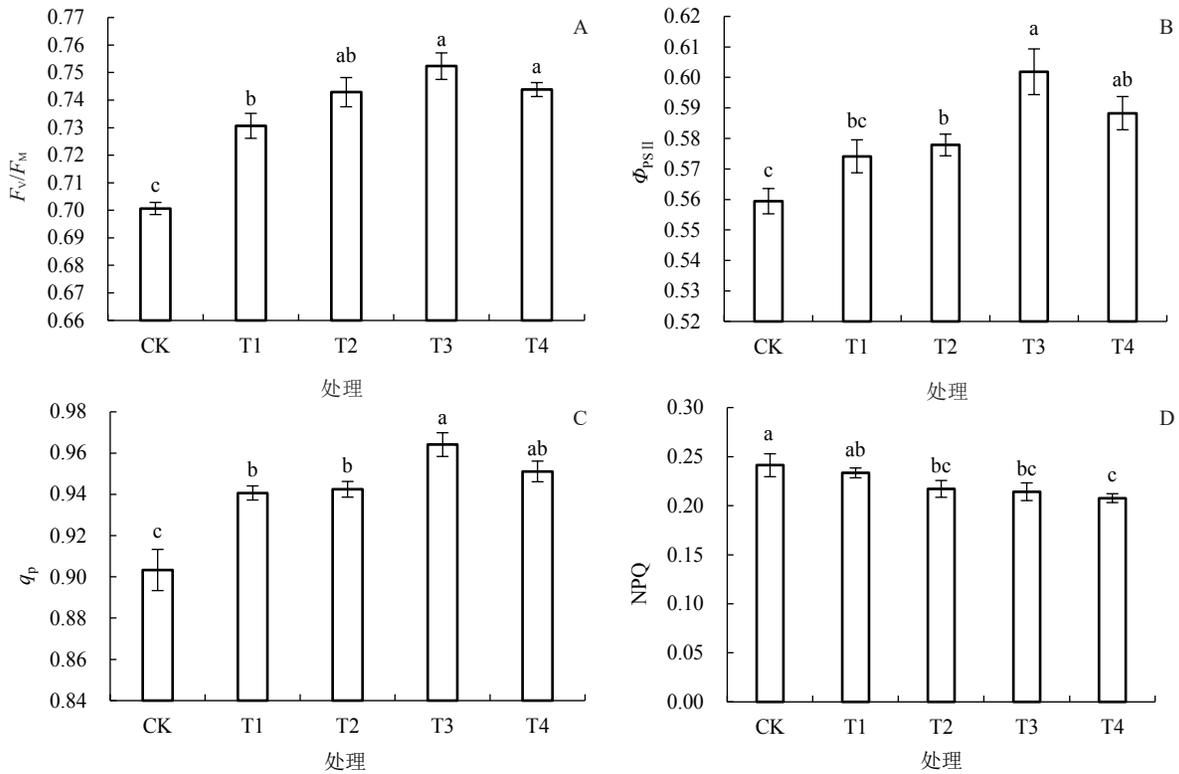


图 2 辣椒叶绿素荧光参数

2.4 不同生物有机肥施肥量对辣椒外观品质的影响

由表 3 可以看出,生物有机肥处理对辣椒外观品质均有不同程度的影响。辣椒果实纵、横径在 T3 处理下均显著高于 CK 与 T1,较 CK 分别增加 24.81%和 15.87%,较 T1 分别增加 22.52%和 15.76%。T3 处理下辣椒单果质量最大,显著高于 CK,较 CK 增加 20.28%。

表 3 不同生物有机肥施肥量对辣椒外观品质的影响

处理	果实纵径/cm	果实横径/mm	单果质量/g
CK	23.10±0.91 b	29.61±1.39 b	41.51±0.57 c
T1	23.53±1.24 b	29.64±1.11 b	44.86±0.09 b
T2	26.00±1.69 ab	30.20±2.19 ab	46.37±0.54 b
T3	28.83±1.16 a	34.31±0.66 a	49.93±0.45 a
T4	27.53±0.59 a	31.85±1.28 ab	48.61±0.59 a

的影响

由图 2 所示,随着生物有机肥用量的增加,辣椒叶片的叶绿素荧光参数 F_v/F_m、Φ_{PSII}、q_p 均有不同程度的提高, NPQ 则呈降低趋势。与 CK 相比,生物有机肥处理辣椒叶片的 F_v/F_m、Φ_{PSII}、q_p 分别增加 4.28%~7.36%、2.63%~7.60%和 4.14%~6.73%。其中 T3 处理辣椒 F_v/F_m、Φ_{PSII}、q_p 均高于其他处理,且显著高于 CK。T2、T3 和 T4 处理的辣椒叶片 NPQ 显著低于 CK,分别降低 9.99%、11.19%和 13.89%。

2.5 不同生物有机肥施肥量对辣椒营养品质的影响

由表 4 可知,生物有机肥可有效改善辣椒果实营养品质。生物有机肥处理的辣椒果实维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白含量均显著高于 CK。其中 T3 处理的辣椒果实维生素 C、可溶性蛋白和可溶性糖含量均最高,较 CK 分别增加 7.26%、31.67%和 40.83%。

表 4 不同生物有机肥施肥量对辣椒营养品质的影响

处理	w(维生素 C)/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性蛋白)/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性糖)/%
CK	4.13±0.03 c	1.20±0.06 c	6.54±0.22 c
T1	4.27±0.05 b	1.37±0.04 b	7.66±0.15 b
T2	4.34±0.01 ab	1.38±0.06 b	8.19±0.12 ab
T3	4.43±0.04 a	1.58±0.03 a	9.21±0.60 a
T4	4.37±0.06 ab	1.39±0.02 b	8.38±0.42 ab

2.6 不同生物有机肥施用量对辣椒产量及经济效益的影响

从表 5 可以看出,增施 300~1200 kg·667 m² 生物有机肥可不同程度提高辣椒产量,其中 T3 处理产

量最高,较 CK 增产 13.56%,T4 处理较 T3 处理产量略有降低,但无显著性差异。表明在一定施用范围内,适宜生物有机肥用量有助于辣椒产量的提高。

与 CK 相比,各生物有机肥处理纯收入均显著

表 5 不同施肥处理对辣椒产量与经济效益的影响

处理	产量/(kg·667 m ²)	比 CK+/%	总产值/(元·667 m ²)	成本/(元·667 m ²)	纯收入/(元·667 m ²)
CK	8 835.44±42.77 c		31 807.58±153.97 c	7 645.6	24 161.98±153.97 b
T1	9 455.44±88.48 b	7.02	34 039.58±318.53 b	8 245.6	25 793.98±318.53 a
T2	9 656.84±46.33 b	9.30	34 764.63±166.79 b	8 845.6	25 919.03±166.79 a
T3	10 033.68±60.21 a	13.56	36 121.26±216.74 a	9 445.6	26 175.66±216.74 a
T4	9 916.84±83.23 a	12.24	35 700.63±299.63 a	10 045.6	25 655.03±299.63 a

注:辣椒价格按照每次售出的平均值 3.6 元·kg⁻¹;生物有机肥 2 元·kg⁻¹;磷酸二铵 3.75 元·kg⁻¹;硫酸钾复合肥 6.75 元·kg⁻¹;氨基酸水溶肥 5.3 元·kg⁻¹;氨基酸复合肥 5.25 元·kg⁻¹。

高于 CK,分别提高 6.75%、7.27%、8.33%和 6.18%。

3 讨论与结论

在农业生产中,合理有效地施肥是为了促进作物生长,提高作物产量,改善作物品质^[17]。张奇等^[18]研究表明,生物有机肥充足的养分有利于作物养分吸收,从而促进作物生长并提高产量。闫鹏科等^[19]研究发现,合理施加生物有机肥可显著提高枸杞产量,改善枸杞品质,从而获得更高的经济效益。本试验结果表明,生物有机肥处理下的辣椒较对常规施肥的株高、茎粗、单果质量和产量都有所提高,表明生物有机肥能促进辣椒生长,提高产量,这与孔祥波等^[20]、刘玉英等^[21]和罗希榕等^[22]的研究结果一致。其原因可能是生物有机肥提高了土壤微生物区系丰度,从而产生更多影响植物生长和健康的可利用营养物质,促进作物生长^[23]。

光合作用是植物生长过程中生理代谢及物质积累的基本途径^[24]。本试验结果表明,增施 600~1200 kg·667 m² 生物有机肥可显著提高辣椒叶片的光合速率,其原因可能是施加生物有机肥可有效促进 CO₂ 在土壤中的释放,从而提高了辣椒叶片的光合速率。此外,增施生物有机肥对辣椒叶片气孔导度均有不同程度的提高,可能的原因是增施生物有机肥可促进 CO₂ 更易进入叶肉细胞,对 CO₂ 底物进行有效供应。气孔因素和非气孔因素是造成光合作用速率降低的原因,若光合速率和气孔导度与胞内 CO₂ 浓度变化方向相反,则说明光合速率下降受到非气孔因素限制^[25-26]。本试验中,增施生物有机肥 600~1200 kg·667 m² 可显著提高净光合速率和气孔导度,与胞间 CO₂ 浓度变化趋势相反,表明增施生物有机肥可能是通过调节非气孔因素进而提高辣椒的光合作用效率,这与李杰等^[9]和李蒙等^[27]的

研究结果一致。

叶绿素荧光特性是反映植物叶片在光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递及转化的变量或常数值,反映植物的内在性的特点^[28-29]。研究表明在叶绿素荧光参数的变化中, F_v/F_m 值越大,植株最大光化学量子产量越高; q_p 反映了光系统 II 反应中心的开放程度, q_p 值越大,植株获得的最大光能转换效率越高^[30],NPQ 反映了光系统 II 反应中心通过热能形式耗散的光能。本试验结果表明,生物有机肥处理的辣椒叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和 q_p 值均显著高于 CK,而 NPQ 值相对于 CK 处理均有所降低,说明生物有机肥能有效增大辣椒叶片 PSII 反应中心的开放程度与活性,增强 PSII 的电子传递能力,减少光合作用中热能形式的耗散,保证了辣椒叶片光合作用的高效运行,在一定范围内促进光合产物的合成^[31-32],这与张朝轩等^[33]、陈娜等^[34]的研究结果相似。

蔬菜品质与施肥密切相关,养分的不足或过量均对蔬菜的生长发育及品质产生不利影响^[35],通过调整施肥量及改变施肥方式可有效改善蔬菜品质。李停锋等^[36]在研究生物有机肥对土壤肥力及西瓜品质的影响中发现,生物有机肥可有效改善土壤的理化性质,缓解土壤肥力,可显著提升西瓜的维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白含量。孔祥波等^[20]研究表明,生物有机肥可显著促进生姜植株生长,改善生姜品质,提高根茎干物质和挥发油等的含量。本试验结果表明,相较于 CK,生物有机肥处理辣椒维生素 C 含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量均有不同程度的提升,这与张俊峰等^[37]的研究结果相似。其原因可能是生物有机肥提高了必需元素浓度,促进了辣椒果实次生代谢产物的合成与积累^[38],并且生物有机肥肥效缓慢,N 养分以 NH₄⁺ 或

氨基酸形式供给作物吸收,减少了光合产物和能量消耗,增加了营养物质积累,从而提高了作物产量与品质。

综上所述,增施生物有机肥可有效促进日光温室辣椒植株生长,增强光合作用能力,提高果实产量,改善品质。在保证辣椒高产、高品质的同时,增施 900 kg·667m²生物有机肥(T3)能够获得最大经济收益。

参考文献

- [1] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [2] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1480-1493.
- [3] 王腾飞,谭长银,曹雪莹,等.长期施肥对土壤重金属积累和有效性的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(2):257-263.
- [4] 金书秦,张惠,唐佳丽.化肥使用量零增长实施进展及“十四五”减量目标和路径[J].南京工业大学学报(社会科学版),2020,19(3):66-74.
- [5] 许景钢,孙涛,李嵩.我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J].作物杂志,2016(1):1-6.
- [6] 付丽军,张爱敏,王向东,等.生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J].中国土壤与肥料,2017(3):1-5.
- [7] 曹丹,宗良纲,肖峻,等.生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2587-2592.
- [8] 刘翠玲,梁志杰,滕芳超.生物有机肥在蔬菜上的应用及其经济效益分析[J].中国园艺文摘,2017,33(7):34-35.
- [9] 李杰,贾豪语,颀建明,等.生物肥部分替代化肥对花椰菜产量、品质、光合特性及肥料利用率的影响[J].草业学报,2015,24(1):47-55.
- [10] 刘方春,邢尚军,马海林,等.生物肥对冬枣生物学特性及产量和品质的影响[J].水土保持学报,2010,24(6):222-226.
- [11] MARCOTE I, HERNANDEZ T, GARCIA C, et al. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation[J]. Bioresource Technology, 2001, 79(2): 147-154.
- [12] 李素霞,谢朝阳,季斌,等.不同改良剂在镉与硝酸盐复合污染下对辣椒品质的影响[J].西南农业学报,2011,24(4):1480-1483.
- [13] 彭强,梁银丽,陈晨,等.土壤含水量对结果期温室辣椒生长及果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(1):154-160.
- [14] 李莉萍,王军,段泽敏.有机肥、无机肥与微肥配施对色素辣椒生长发育及产量的影响[J].热带作物学报,2009,30(11):1602-1607.
- [15] 曹永康,颀建明,何志学,等.钾肥水平对辣椒生长、品质和产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2018,53(6):50-55.
- [16] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [17] 鲁艳红,廖育林,周兴,等.长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响[J].土壤学报,2015,52(3):597-606.
- [18] 张奇,张振华,陈雅玲,等.施用生物有机肥对土壤特性、作物品质及产量影响的研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(15):71-76.
- [19] 闫鹏科,常少刚,孙权,等.施用生物有机肥对枸杞产量、品质及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):112-118.
- [20] 孔祥波,徐坤.不同肥料对生姜产量及叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):367-372.
- [21] 刘玉英,罗云米,李戎,等.有机无机肥施用对结球甘蓝形态、产量及品质的影响[J].中国农学通报,2016,32(4):44-47.
- [22] 罗希榕,罗银,李唐燕,等.生物有机肥不同施肥配方对连作辣椒生长发育及产量的影响[J].耕作与栽培,2018(6):5-8.
- [23] YE L, ZHAO X, BAO E C, et al. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):177.
- [24] 曲成闯,陈效民,张志龙,等.施用生物有机肥对黄瓜连作土壤有机碳库和酶活性的持续影响[J].应用生态学报,2019,30(9):3147-3154.
- [25] WINTER K, SCHRAMM M J. Analysis of stomatal and nonstomatal components in the environmental control of CO₂ exchange in leaves of *Welwitschia mirabilis*[J]. Plant Physiology, 1986, 82(1):173-178.
- [26] 刘超杰,郭世荣,束胜,等.醋糟基质粉碎程度对辣椒幼苗生长和光合能力的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):330-334.
- [27] 李蒙,张梦媛,龚守富,等.生物有机肥添加量对番茄幼苗生长的影响[J].中国土壤与肥料,2021(5):119-125.
- [28] 李佳佳,孔珂,王书吉,等.干旱-复水对西红柿光合叶绿素荧光及水分利用效率的影响[J].中国农村水利水电,2021(8):145-150.
- [29] 李君霞,秦娜,朱灿灿,等.谷子黄叶色突变体光合特性研究[J].核农学报,2021,35(9):1964-1970.
- [30] 余凯凯,宋喜娥,高虹,等.不同施肥水平下多效唑对马铃薯光合及叶绿素荧光参数的影响[J].核农学报,2016,30(1):154-163.
- [31] TATSUMI K, KUWABARA Y, MOTOBAYASHI T. Photosynthetic light-use efficiency of rice leaves under fluctuating incident light[J]. Agrosystems, Geosciences & Environment, 2020, 3(1):e20030.
- [32] MATTHEWS J S A, VIALET-CHABRAND S R M, LAWSON T. Diurnal variation in gas exchange: the balance between carbon fixation and water loss[J]. Plant Physiology, 2017, 174(2):614-623.
- [33] 张朝轩,杨天仪,吴淑杭,等.微生物肥料对土壤生态及葡萄叶片叶绿素荧光特性的影响[J].天津农业科学,2011,17(1):92-95.
- [34] 陈娜,王有科,李捷,等.微生物有机肥对枸杞叶绿素荧光参数的影响[J].干旱区研究,2014,31(2):317-321.
- [35] 袁亭亭,宋小艺,王忠宾,等.嫁接与施肥对番茄产量及氮、磷、钾吸收利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):131-136.
- [36] 李停锋,李雯,郭君钰,等.生物有机肥对连作压砂田土壤肥力及西瓜品质的影响[J].中国土壤与肥料,2020(5):109-116.
- [37] 张俊峰,颀建明,张玉鑫,等.生物有机肥部分替代化肥对日光温室黄瓜产量、品质及肥料利用率的影响[J].中国蔬菜,2020(6):58-63.
- [38] HAFEZ M, POPOV A I, RASHAD M. Integrated use of bio-organic fertilizers for enhancing soil fertility-plant nutrition, germination status and initial growth of corn (*Zea mays* L.)[J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 21:101329.