

不同生物菌肥对温室辣椒光合特性及产量和品质的影响

王红玉¹, 陈修斌^{2,3}, 李佳豫², 鄂利锋^{2,3}

(1. 张掖市甘州区农业技术推广中心, 甘肃 张掖 734000; 2. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000; 3. 河西学院河西走廊精准设施园艺工程技术研究中心, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 通过试验探明不同生物菌肥在温室辣椒生产中的适宜种类与用量, 为辣椒的高产优质化生产提供理论依据。以辣椒品种陇椒6号为试材, 设置了施用赛施乐、微生物菌剂、菌护盾、甲壳素、线控1等5个生物菌肥处理, 研究了不同生物菌肥对辣椒光合特性、产量和品质的影响。结果表明, 生物菌肥菌护盾30.0 kg/hm²处理辣椒的光合代谢能力最强, 植株的光合速率、胞间CO₂浓度分别为18.32、232.00 μmol/(m²·s), 分别较对照不施生物菌肥增加4.81、48.00 μmol/(m²·s); 蒸腾速率、气孔导度分别为6.57、315.00 mmol/(m²·s), 分别较对照不施生物菌肥增加3.04、48.00 mmol/(m²·s)。与对照不施生物菌肥相比, 辣椒的株高、茎粗、开展度分别增加21.99、0.53、14.61 cm; 单株产量增加0.23 kg, 折合产量增加8.92 t/hm²; 辣椒果实的品质也最优, 可溶性糖、可溶性固形物、维生素C、可溶性蛋白与游离氨基酸含量均显著高于其他处理。综上所述, 在温室辣椒生产中采用生物菌肥菌护盾30.0 kg/hm², 可有效提高辣椒的产量与品质。

关键词: 生物菌肥; 温室; 辣椒; 光合特性; 产量; 品质

中图分类号: S641.3; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)09-0873-05

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.09.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2025.09.016)

Effect of Different Biofertilizers on the Photosynthetic Characteristic, Yield and Quality of Greenhouse Chili Peppers

WANG Hongyu¹, CHEN Xiubin^{2,3}, LI Jiayu², E Lifeng^{2,3}

(1. Ganzhou District Agricultural Technology Extension Centre, Zhangye Gansu 734000, China; 2. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye Gansu 734000, China; 3. Hexi Corridor Precision Facility Horticulture Engineering Technology Research Centre, Hexi University, Zhangye Gansu 734000, China)

Abstract: An experiment was conducted to identify the suitable type and dosage of biofertilizer in greenhouse chili pepper production, providing a theoretical basis for high-yield and high-quality cultivation. Using the pepper variety Longjiao 6 as material, 5 treatments with different biofertilizers, Saixie, microbial agent, bacterial shield, chitin, and line control 1, were applied to study their effects on photosynthetic characteristics, yield, and quality of chili pepper. Results showed that the treatment with bacterial shield biofertilizer at 30.0 kg/ha exhibited the strongest photosynthetic metabolism capacity. The photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration of pepper plants reached 18.32 and 232.00 μmol/(m²·s), increasing by 4.81 and 48.00 μmol/(m²·s), compared with the control without biofertilizer. The transpiration rate and stomatal conductance were 6.57 and 315.00 mmol/(m²·s), respectively, 3.04 and 48.00 mmol/(m²·s), higher than those in the control. Compared with no biofertilizer, plant height, stem diameter, and canopy width increased by 21.99 cm, 0.53 cm, and 14.61 cm, respectively, single-plant yield increased by 0.23 kg, equivalent to a yield increase of 8.92 t/ha. Fruit quality was also optimal under this treatment, with significantly higher contents of soluble sugar, soluble solid, vitamin C, soluble protein, and free amino acid compared with other treatments. In conclusion, applying bacterial shield biofertilizer at 30.0 kg/ha in greenhouse chili pepper production can effectively improve both yield and quality.

Key words: Biofertilizer; Greenhouse; Pepper; Photosynthetic characteristic; Yield; Quality

收稿日期: 2025-04-07; 修订日期: 2025-08-26

基金项目: 张掖市科技计划-技术研究开发专项(ZY2023JS18); 甘肃省农业农村厅科技支撑项目(KJZC-2024-27)。

作者简介: 王红玉(1985—), 女, 甘肃张掖人, 农艺师, 主要从事农业新技术试验示范推广工作。Email: 280521791@qq.com。

通信作者: 陈修斌(1968—), 男, 河南邓州人, 教授, 硕士, 主要从事设施园艺作物栽培与生理工作。Email: 617190368@qq.com。

张掖市位于河西走廊中段,平均气温 4.1~8.3℃,年降水量 112.3~354.0 mm,年蒸发量 1 648~2 154 mm,光照充足,昼夜温差大,是以农业生产为主的地区。近年来,全市各地认真贯彻实施《张掖市创建全国现代农业示范区行动方案》,大力发展以日光温室为主的设施农业,温室蔬菜种植已成为实现乡村振兴、繁荣农村经济的支柱产业。辣椒 (*Capsicum annuum* L.)是张掖市戈壁温室种植的主要蔬菜种类,但因在生产过程中,盲目施用化肥导致基质次生盐碱化严重,理化性状下降,破坏了基质结构,严重危害农作物生长,影响蔬菜的产量和品质^[1],因此,研究合理的施肥技术对进一步提高蔬菜的产量和品质具有重要的现实意义。

生物菌肥又称微生物肥料,其主要功效是提高土壤肥力和改良土壤^[2-4],已有研究表明,生物菌肥不仅能活化土壤养分,改善土壤环境和提高土壤肥力,还可促进作物养分吸收,提高作物产量和品质^[5-6],增强作物抗病性和抗逆性^[7]。当前有关生物菌肥在农作物应用研究方面,已有王广印等^[8]、阎世江等^[9]、李秀启等^[10]分别研究了生物菌肥对番茄、茄子、西瓜的影响,结果表明,使用生物菌肥在提高作物产量的同时,还能够显著提高作物品质。宋培植^[11]研究表明,减氮 20%配施有机肥和生物菌肥对提高菜心品质与产量有最优效果;杨薇靖等^[12]研究了生物炭基肥在马铃薯上的应用效果,得出生物炭基肥适宜施用量为 900 kg/hm²时可显著提高马铃薯产量。可见,采用适宜的外源生物肥料可以提高作物的产量和品质,但各地由于气候条件、土壤质地与管理技术存在差异,导致结果不尽相同。本试验立足河西走廊戈壁温室环境条件,以辣椒为试材,通过研究不同生物菌肥对辣椒生长及产量品质的影响,以期筛选

出适宜辣椒生长的最适生物菌肥种类与用量,为温室辣椒实现高产优质化生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2024 年 3—10 月在张掖市临泽县倪家营镇李家园桥日光温室蔬菜生产基地进行。温室脊高 4.5 m、长 60 m、跨度 9 m,墙体平均厚度 2 m。采用地下式槽培有机生态型无土栽培形式进行,基质含有机质 14.63 g/kg、碱解氮 221.34 mg/kg、速效磷 187.68 mg/kg、速效钾 236.81 mg/kg,容重 0.52 g/cm³,总孔隙度 48.75%。

1.2 供试材料

供试辣椒品种为陇椒 6 号,由甘肃省农业科学院蔬菜研究所培育。供试生物菌肥种类及来源见表 1。TPS-2 便携式光合仪由英国 Hansatech 公司生产。

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理,试验设计方案见表 1。试验采用随机区组排列,重复 3 次,小区面积 11.05 m²。于 1 月 8 日采用穴盘育苗,3 月 18 日定植,每处理种植 1 畦,畦长 8.5 m,大小行种植,小行距 0.7 m、大行距 1.3 m,株距 40 cm,保苗 38 025 株/hm²。采用膜下滴灌技术,各处理按照不同的生物菌肥用量及推荐方法施用^[13]。辣椒生长过程中的田间与生产管理同常规管理。

1.4 测定项目

1.4.1 叶片光合特性 在辣椒结果中期(6月12日),于 10:00—12:00 时,每处理随机选择 6 株同叶位的叶片,用 TPS-2 便携式光合仪测定净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)及气孔导度(Gs)^[13]。

1.4.2 植株形态性状及产量 在辣椒结果后期(8月10日),每处理随机选 6 株,用卷尺测定株高、

表 1 供试生物菌肥及试验设计方案

处理	肥料种类	用量 (kg/hm ²)	有效成分	来源
A ₁	赛施乐	97.5	N+P ₂ O ₅ +K ₂ O≥50.0	山东荣耀农业科技股份有限公司生产
A ₂	微生物菌剂	22.5	有效活菌数≥5.0亿/mL	郑州格兰克农业科技有限公司生产
A ₃	菌护盾	30.0	有效活菌数≥2.0亿/g	广州生物科技有限公司生产
A ₄	甲壳素	112.5	甲壳素≥10%	阿坤纳斯生物技术有限责任公司生产
A ₅	线控1号	75.0	有效活菌≥2.0亿个/g	山东辰和生物科技有限公司生产
CK	不施生物菌肥	0		

茎粗、开展度; 收获时各处理分别统计结果数、单株产量, 各小区单收计产。

1.4.3 果实品质 果实收获期, 随机选取不同处理的 9 个果实, 测定其品质指标。采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量^[13], 用紫外分光光度法测定可溶性蛋白质含量^[13], 用茚三酮法测定游离氨基酸含量^[13], 用苯酚法测定可溶性糖含量^[13], 用手持折光仪测定可溶性固形物含量^[13], 重复 3 次, 取平均值。

1.5 数据分析

采用 DPS 9.50 和 Excel 2016 软件进行数据计算与分析, 采用 Duncan's 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生物菌肥处理对辣椒光合特性的影响

从表 2 可看出, 施用生物菌肥处理的辣椒光合代谢指标光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度均高于 CK, 均以处理 A₃ 最高, 其中光合速率和叶片胞间 CO₂ 浓度分别为 18.32、232.00 μmol/(m²·s), 较 CK 分别高 4.81、48.00 μmol/(m²·s); 叶片的蒸腾速率和气孔导度分别为 6.57、315.00 mmol/(m²·s), 较 CK 分别高 3.04、68.00 mmol/(m²·s), 均显著高于其他处理。其次是处理 A₅, 光合速率和叶片胞间 CO₂ 浓度分别为 17.21、221.00 μmol/(m²·s), 较 CK 分别高 3.70、37.00 μmol/(m²·s); 叶片的蒸腾速率和气孔导度分别为 5.85、296.00 mmol/(m²·s), 较 CK 分别高 2.32、49.00 mmol/(m²·s)。说明增施不同生物菌肥, 均可提高植株的光合能力, 以处理 A₃ 的辣椒植株的代谢能力最强, 处理 A₅ 次之。

2.2 不同生物菌肥处理对辣椒农艺性状的影响

从表 3 可以看出, 施用不同生物菌肥处理辣椒的农艺性状均高于 CK, 且均以处理 A₃ 最高, 其中株高、茎粗、开展度分别为 112.40、1.98、

49.46 cm, 分别较 CK 增加 21.99、0.53、14.61 cm, 均显著高于其他处理。株高、开展度以处理 A₅ 次之, 分别为 104.33、45.61 cm, 分别较 CK 增加 13.92、10.76 cm; 茎粗以处理 A₄ 次之, 为 1.87 cm, 较 CK 增加 0.42 cm。说明处理 A₃ 能显著促进了辣椒生长, 植株表现出较强生长势。

表 3 不同生物菌肥处理对辣椒农艺性状的影响 cm

处理	株高	茎粗	开展度
A ₁	99.51±4.42 c	1.57±0.25 e	37.48±3.15 e
A ₂	105.54±5.32 b	1.62±0.17 d	41.67±2.65 c
A ₃	112.40±3.76 a	1.98±0.18 a	49.46±4.36 a
A ₄	94.65±4.18 d	1.87±0.21 b	39.64±2.47 d
A ₅	104.33±3.73 bc	1.79±0.19 c	45.61±3.86 b
CK	90.41±2.45 e	1.45±0.13 f	34.85±2.43 f

2.3 不同生物菌肥处理对辣椒产量的影响

由表 4 可知, 施用不同生物菌肥处理辣椒的单株产量和折合产量均高于 CK, 且以处理 A₃ 最高, 其中单株产量为 1.64 kg, 较 CK 高 0.23 kg; 折合产量为 62.43 t/hm², 较 CK 显著增产 8.92 t/hm², 增产率为 16.67%。其次是处理 A₅, 单株产量为 1.57 kg, 较 CK 高 0.16 kg; 折合产量为 59.52 t/hm², 较 CK 增产 6.01 t/hm², 增产率为 11.23%。说明不同生物菌肥所含营养成分存在差异, 导致辣椒植株对养分与水分吸收也不相同, 以处理 A₃ 生长势最强, 可促进同化物质制造、运输与积累,

表 4 不同生物菌肥处理对辣椒产量的影响

处理	单株产量 /(kg/株)	折合产量 /(t/hm ²)	较CK增产 /%	位次
A ₁	1.45±0.12 cd	55.31±0.17 de	3.36	5
A ₂	1.53±0.13 bc	58.15±0.19 c	8.67	3
A ₃	1.64±0.16 a	62.43±0.20 a	16.67	1
A ₄	1.48±0.15 c	56.23±0.17 d	5.08	4
A ₅	1.57±0.12 b	59.52±0.18 b	11.23	2
CK	1.41±0.12 d	53.51±0.18 e		6

表 2 不同生物菌肥处理对辣椒光合特性的影响^①

处理	光合速率(Pn) /[μmol/(m ² ·s)]	蒸腾速率(Tr) /[mmol/(m ² ·s)]	胞间CO ₂ 浓度(Ci) /[μmol/(m ² ·s)]	气孔导度(Gs) /[mmol/(m ² ·s)]
A ₁	14.68±0.42 d	3.86±0.34 d	196.00±6.34 e	268.00±7.53 d
A ₂	16.85±0.65 bc	4.23±0.53 cd	201.00±5.62 d	287.00±8.13 c
A ₃	18.32±0.36 a	6.57±0.48 a	232.00±7.41 a	315.00±9.56 a
A ₄	15.36±0.41 c	4.76±0.43 c	213.00±6.25 c	284.00±8.78 cd
A ₅	17.21±0.38 b	5.85±0.38 b	221.00±5.52 b	296.00±9.63 b
CK	13.51±0.38 e	3.53±0.22 e	184.00±8.25 f	247.00±6.85 e

①表中不同小写字母表示不同处理在 P<0.05 水平上差异显著, 下同。

进一步形成较高的产量, 处理 A₅ 次之。

2.4 不同生物菌肥处理对辣椒品质的影响

从不同生物菌肥处理对辣椒品质指标的影响(表 5)可以看出, 果实的可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白、游离氨基酸含量均以处理 A₃ 最高, 其中可溶性糖含量达 2.64 mg/g, 较 CK 增加 1.29 mg/g; 可溶性固形物含量为 75.3 g/kg, 较 CK 增加 17.7 g/kg; 维生素 C 含量达 1 467.5 mg/kg, 较 CK 增加 253.7 mg/g; 可溶性蛋白含量为 19.65 μg/(g·FW), 较 CK 增加 4.19 μg/(g·FW); 游离氨基酸含量为 154.71 mg/(g·FW), 较 CK 增加 20.46 mg/(g·FW)。除可溶性糖外, 增施生物菌肥处理的品质指标均高于 CK, 说明不同生物菌肥所含营养成分不同, 从而导致辣椒在代谢过程中对营养物质吸收也存在差异, 因此反映在品质指标上的不同。

3 讨论与结论

生物菌肥作为绿色肥料, 能产生对蔬菜生长有益的各种生理活性物质, 刺激和调控蔬菜生长^[14]。本试验中, 采用不同生物菌肥的各处理测得的光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度的数值均高于对照不施生物菌肥处理, 其中生物菌肥菌护盾 30.0 kg/hm² 处理辣椒的光合代谢能力最强, 植株的光合速率、胞间 CO₂ 浓度分别为 18.32、232.00 μmol/(m²·s), 分别较对照不施生物菌肥增加 4.81、48.00 μmol/(m²·s); 蒸腾速率、气孔导度分别为 6.57、315.00 mmol/(m²·s), 分别较对照不施生物菌肥增加 3.04、68.00 mmol/(m²·s)。说明施肥生物菌肥后, 促进了辣椒植株光合作用的进行, 但不同菌肥由于组成成分差异, 从而导致作物对养分吸收不同, 因此产生不同效果, 这与李秀启等^[10]在西瓜上的研究结果相一致。

已有研究表明, 生物菌肥除含有较多有机质外, 还含有特定功能的有益微生物, 不仅能活化土壤养分, 还可促进作物养分吸收, 提高作物产量和品质^[5-6], 本研究条件下, 以采用菌护盾 30.0 kg/hm² 处理的生物菌肥更能够促进辣椒生长, 其辣椒在株高、茎粗、开展度等农艺性状及单株产量上均高于对照不施生物菌肥处理, 其中株高、茎粗、开展度分别增加 21.99、0.53、14.61 cm; 单株产量增加 0.23 kg, 折合产量增加 8.92 t/hm², 增产率为 16.67%。究其原因是采用菌护盾 30.0 kg/hm² 处理的生物菌肥更利于辣椒生长对营养物质的需求, 从而促进了辣椒对养分的吸收及生长势的提高与产量的形成, 这一研究与屈成等^[15]的研究结果相吻合。有研究表明, 可溶性糖是植物的光合产物, 是碳水化合物的主要形式, 在植物的代谢中起着重要的作用^[16]。本试验采用生物菌肥菌护盾 30.0 kg/hm² 处理的辣椒果实的可溶性糖含量达 2.64 mg/g, 显著高于其他处理, 这可能是因为本处理为辣椒的生长发育提供了更多的营养物质, 提高辣椒了叶片光合作用, 进而促进可溶性糖的合成; 辣椒果实的可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白与游离氨基酸含量等品质也显著高于其他处理, 究其原因是生物菌肥菌护盾 30.0 kg/hm² 处理的生物菌肥更能够促进植株的生长发育, 提高了同化物质在植株体内的运转与积累的能力^[17], 从而表现在辣椒产量的增加与品质的提升, 这与陈建生等^[18]、周旋等^[19]在花生与结球甘蓝的研究结果一致。

综上所述, 试验研究的不同生物菌肥均能够促进辣椒的光合作用进行, 利于辣椒植株形态的构建与产量品质的提高。供试的 5 种不同生物菌肥中, 以采用菌护盾 30.0 kg/hm² 处理辣椒的光合

表 5 不同生物菌肥处理对辣椒品质的影响^①

处理	可溶性糖含量 /(mg/g)	可溶性固形物含量 /(g/kg)	维生素C含量 /(mg/kg)	可溶性蛋白含量 /[μg/(g·FW)]	游离氨基酸含量 /[mg/(g·FW)]
A ₁	1.89±0.15 b	70.3±3.5 b	1 244.2±23.2 d	16.52±2.36 de	138.74±4.58 d
A ₂	1.07±0.16 f	62.5±3.1 de	1 368.4±25.6 bc	17.48±1.68 c	146.38±5.05 cd
A ₃	2.64±0.25 a	75.3±2.7 a	1 467.5±32.8 a	19.65±2.03 a	154.71±6.35 a
A ₄	1.67±0.24 c	67.4±1.8 c	1 384.7±43.7 b	18.73±2.16 b	150.64±6.69 b
A ₅	1.24±0.16 e	64.8±2.6 cd	1 301.5±25.7 c	16.47±1.27 d	147.48±5.12 c
CK	1.35±0.13 d	57.6±2.4 e	1 213.8±34.6 e	15.46±1.31 e	134.25±6.32 e

①以上数据均为 3 次重复的平均值。

代谢能力最强、农艺性状最佳、产量最高; 果实的可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白、游离氨基酸等指标的含量也显著高于其他处理。因此, 在温室蔬菜生产中, 使用 30.0 kg/hm² 的菌护盾效果最佳。

参考文献:

- [1] 魏 敏, 朱惠霞, 张玉鑫, 等. 化肥减量配施不同有机肥对辣椒品质和产量的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(11): 1060-1065.
- [2] 黄铨程, 刘景辉, 杨彦明. 生物菌肥对盐碱地燕麦生理特性及土壤速效养分的影响[J]. 北方农业学报, 2018, 46(5): 57-61.
- [3] 苑志强. 生物菌肥对膜下滴灌马铃薯及土壤特性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [4] 张成磊, 陈 平, 林占军. 生物菌肥在设施生产土壤改良中的作用及应用前景[J]. 现代园艺, 2019(21): 204-205.
- [5] 邓 妍, 王娟玲, 王创云, 等. 生物菌肥与无机肥配施对藜麦农艺性状、产量性状及品质的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(7): 1383-1390.
- [6] 阎世江, 柴文臣, 王生武. 生物菌肥与化肥配施对青椒生长、产量及果实品质的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(1): 159-163.
- [7] 武杼华. 不同菌肥对温室连作土壤的短期改良效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [8] 王广印, 郭卫丽, 王胜楠, 等. 秸秆、生物菌肥和土壤调理剂施用对日光温室越冬茬番茄生长、坐果及果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(15): 55-59.
- [9] 阎世江, 田如霞, 张京社, 等. 生物菌肥对茄子生长及品质的影响[J]. 蔬菜, 2019(12): 41-46.
- [10] 李秀启, 尹国红, 郝浩浩, 等. 生物菌肥在西瓜上的施用效果[J]. 长江蔬菜, 2020(4): 71-73.
- [11] 宋培植. 减氮配施有机肥及生物菌肥对菜心品质和产量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022.
- [12] 杨薇靖, 令 鹏, 王兴政, 等. 生物菌肥部分替代化肥在党参上的应用研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(2): 168-172.
- [13] 高俊凤. 植物生理学试验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [14] 瞿云明, 徐小燕. 氰氨化钙处理酸化土壤后配施微生物菌肥对花椰菜的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(5): 115-119.
- [15] 屈 成, 刘 芬, 傅爱斌, 等. 生物菌肥与化肥配施对水稻生长特性及产量的影响[J]. 杂交水稻, 2023, 38(4): 134-139.
- [16] LING L, JIAFENG J, JIANGANG L, et al. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean[J]. Scientific Reports, 2014, 4(1): 5859.
- [17] 孙喜云, 陈 昆, 杨洪霞, 等. 微生物菌肥对饲料型脱毒山药抗病性、品质及产量指标的影响[J]. 中国饲料, 2023(10): 82-85.
- [18] 陈建生, 李文金, 康 涛, 等. 花生上生物菌肥替代化肥减施增效技术研究[J]. 山东农业科学, 2021, 53(7): 73-76.
- [19] 周 旋, 杨嫫玲, 彭建伟, 等. 功能菌型复合肥减施对结球甘蓝产量、品质及经济效益的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(2): 184-192.