

张小英,李嘉昱,王 叶,等.微生物菌剂对百香果生长发育及果实产量品质的影响[J].江苏农业科学,2024,52(13):155-160.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.13.020

微生物菌剂对百香果生长发育及果实产量品质的影响

张小英^{1,2},李嘉昱^{1,2},王 叶^{1,2},张子雄^{1,2},滕 尧³,陈彩霞^{1,2},龙秀琴^{1,2}

(1. 贵州省植物园,贵州贵阳 550004, 2. 国家林业与草原局西南喀斯特山地生物多样性保护重点实验室,贵州贵阳 550004;
3. 贵州省山地资源研究所,贵州贵阳 550001)

摘要:为研究微生物菌肥对百香果生长发育、果实产量及品质的影响,以贵寒 1 号百香果为研究对象,设置 3 个处理:不施用微生物菌剂(CK)、施用稀释 100 倍的微生物菌剂(A1)、施用稀释 200 倍的微生物菌剂(A2)和施用稀释 500 倍的微生物菌剂(A3),测定叶片光合特性、根系生长状况、果实产量及品质等指标。结果表明,A1、A2 处理可有效促进植物的生长发育和光合特性,使植株根长、根表面积、根体积、根系数量分别提高 9.87%~17.79%、4.69%~9.63%、19.37%~257.58%、43.67%~143.36%,叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度分别提高 24.83%~34.88%、27.86%~45.90%、63.01%~107.96%、37.25%~110.37%。在产量品质方面,果实产量提高 27.10%~41.36%,可溶性固形物、可食率提高 3.64%~5.45%、30.36%~47.34%。进一步运用隶属函数综合分析表明 A1 处理效果最佳,该结果为微生物菌剂在百香果幼苗生长上的应用提供了理论基础和科学依据。

关键词:百香果;微生物菌剂;生长发育;叶绿素含量;光合特性

中图分类号:S667.904 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)13-0155-06

百香果 (*Passiflora edulis* Sims) 是西番莲科 (Passifloraceae) 西番莲属 (*Passiflora*) 多年生藤本植物,广泛种植于热带和亚热带地区,以百香果为原料加工的食品、化妆品、保健品、药品等达数 10 种,食品主要包括果汁、饮料、干制品、罐装产品及发酵产品等^[1],行业影响和经济效益逐渐凸显。由于可耕作土

地紧缺,生产中普遍存在百香果连作现象^[2-3],致使土壤板结、微生物种群失衡^[4]、植株生长发育不良、产量与品质下降^[5]等一系列问题频发,严重限制了百香果产业的健康发展。因此,亟需寻找一条绿色环保且高效的防控途径。近年来,微生物菌剂已成为新型农业的理想肥料,已成功替代了化学肥料及农药,具有增产提质、节约成本、减轻病害等作用^[6]。

微生物菌剂简称 PGPR,是含有 1 种或多种功能菌株,能为植物健康生长提供所需养分或具有防治病虫害作用的菌剂^[7]。部分 PGPR 抑制病菌的繁殖主要是通过抢占湿度大、根系分泌物多的作物根际部位,争夺根系分泌物和根际土壤的营养。此外,PGPR 还可以通过分泌抗生素,如吩嗪、硝基吡咯菌素、苯二酚等,抑制土壤致病微生物的繁殖^[8]。微生物菌剂具有活化有机质、增强土壤酶活力、增

收稿日期:2024-01-18

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD1100303);贵州省植物园青年基金项目(编号:黔植物园[2022]01号、黔科合基础-ZK[2022]一般292、黔科合基础-ZK[2024]一般625、黔林科合[2023]06号、黔科院J字[2023]16号、黔植科合[2023]02号)。

作者简介:张小英(1994—),女,甘肃平凉人,硕士,研究实习员,主要从事果树生理与分子生物学研究。E-mail:1419914500@qq.com。

通信作者:陈彩霞,高级工程师,主要从事果实栽培与遗传育种研究。E-mail:408906990@qq.com;龙秀琴,研究员,主要从事果树栽培学研究,E-mail:565358995@qq.com。

量、养分及烤烟产质量的影响[J].河南农业科学,2017,46(10):54-59.

[9]刘 健,段志超,周冀衡,等.不同前作植烟土壤有效态微量元素养分性质分析[J].湖南农业科学,2012(15):50-52.

[10]嵯其翠,宋文静,董建新,等.不同前作对烟田土壤养分、酶活性及烤烟生长的影响[J].中国烟草科学,2018,39(1):64-71.

[11]李琼芳.不同连作年限冬根际微生物区系动态研究[J].土壤通报,2006,37(3):563-565.

[12]张新慧,张恩和,王永捷,等.不同前茬对当归药材产量及品质的影响[J].中药材,2010,33(11):1678-1680.

[13]吴发明,王化东,李 硕,等.不同前茬收获时间和耕作方式对党参田生产力的影响[J].西北农业学报,2015,24(4):157-162.

[14]董怀军,尚虎山.不同主产药材茬口对白条党参产量的影响[J].农业科技与信息,2016(10):80-81.

[15]杜传莉.红壤旱地棉田间作和稻草覆盖的生理生态效应研究[D].南昌:江西农业大学,2011.

加作物产量、促进生长发育、改善果实营养品质、减少环境污染等众多优势^[9]。研究发现,微生物菌剂可显著提升金银花、铁皮石斛的产量及品质^[10-11],还可以改善土壤性状,促进叶片光合作用,进而提高枸杞产量及品质^[12]。微生物菌剂还可促进辣椒、草莓、西瓜、香蕉生长发育,提高产量且抑制真菌病害发生^[13-17]。然而,微生物菌剂在百香果田间应用及研究方面鲜有报道,因此,本研究通过施用不同浓度梯度微生物菌剂对百香果植株生长发育、产量品质的影响,明确对产量及品质有提质增效作用的最佳微生物菌剂浓度,旨在为微生物菌剂在百香果苗木繁育、提质增效上的应用提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为百香果贵寒 1 号(贵认果 20220006)扦插苗。微生物菌剂,购自贵州中堂科技股份有限公司,有效成分为固氮菌、解磷菌、解钾菌、枯草芽孢杆菌、光合细菌等混合菌剂,有效活菌数 ≥ 10 亿 CFU/mL。该菌剂主要是灌根施用,主要功能是在根系土壤中固氮、解磷、解钾并促进植物根系吸收,提高基肥肥效,提高植物自身免疫力和抗逆能力,增强植物光合作用等。

1.2 试验方法

试验采用随机区组设计,共设 4 个处理,每个处理重复 3 次。各处理除微生物菌剂不同外,其他底肥、追肥方式同正常百香果栽培管理方式,分别为空白对照(CK),不施用微生物菌剂,正常栽培管理;处理 1(A1),施用稀释 100 倍的微生物菌剂;处理 2(A2),施用稀释 200 倍的微生物菌剂;处理 3(A3),施用稀释 500 倍的微生物菌剂。本试验于 2022 年 3—10 月在贵州省植物园百香果种质资源圃中进行,2022 年 6 月将扦插幼苗移至体积为 0.471 m^3 的栽培盆中,有机肥施入量为 5 kg/盆 。定植缓苗 5 d 后开始处理,每隔 15 d 处理 1 次,共处理 10 次。

1.3 指标测定

1.3.1 叶绿素 a、叶绿素 b 含量测定 取成熟叶片,利用 95% 乙醇提取各处理叶片 a、叶绿素 b,并利用分光光度计测定其含量。

1.3.2 根冠比、相对含水量的测定 待 10 次处理完成后,采用根系扫描仪测定根表面积、根体积、总根长和根尖数。分别称取地上部分和地下部分的鲜重,根据公式计算根冠比:根冠比 = 地下部分鲜

重/地上部分鲜重;利用打孔器在各处理叶片两侧对称的位置打取叶圆片共 120 片,称重,记录鲜重(FW),将样品置烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下 10 min 杀青,再于 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重,记录干重(DW),根据公式计算相对含水量:相对含水量 = $(FW - DW)/FW \times 100\%$ 。

1.3.3 净光合速率、呼吸速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等光合指标的测定 使用 Li-6800 光合仪测定叶片净光合速率、呼吸速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度及光合参数等指标。

1.3.4 果实产量测定 在植株生长发育时期,每隔 10 d 统计花芽数量,并在百香果花期每天对花进行标记和授粉,5 d 后统计坐果率,在百香果成熟期,分别于 7 月、8 月、9 月测产。

1.3.5 果实品质测定 每个处理随机抽取果实 10 个,先称取全果质量,随后将果肉与果皮分离,称量果皮质量,计算可食率;果实可溶性固形物含量使用 PAL-1 手持数显折光仪测定。

1.4 数据分析

使用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理及作图,使用 SPSS 22.0 进行相关性分析及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 微生物菌剂对百香果地上部分生长及植株含水量的影响

由图 1-A 可知,施用微生物菌剂的幼苗株高、茎粗及叶片数都有明显提高。由图 1-B 可知,A1 处理条件下植株含水量最低,这可能由于 A1 处理条件下叶片数量增多,光合速率增强,消耗了水分,积累了有机物^[18]。

2.2 微生物菌剂对百香果幼苗根系生长及根冠比的影响

由图 2 可知,与 CK 相比,3 种处理下百香果幼苗根系更加健壮,且随浓度增加须根特别是吸收根数量增加。进一步通过根系扫描仪测定结果(表 1)可知,与 CK 相比,A1、A2 处理的根表面积、根体积显著增大($P < 0.05$)。进一步通过根长测定发现 $A2 > A1 > CK > A3$,表明 A2 处理促进了根系的生长。根系数量测定发现,A1 处理显著高于 CK($P < 0.05$),表明 A1 处理促进了根尖的生长,即吸收根数量增加,吸收利用土壤养分增多,更有利于植株生长。进一步通过根冠比分析发现,A1 处理下根冠比最大。综上所述,A1 处理更有利于百香果扦插苗根系生长。

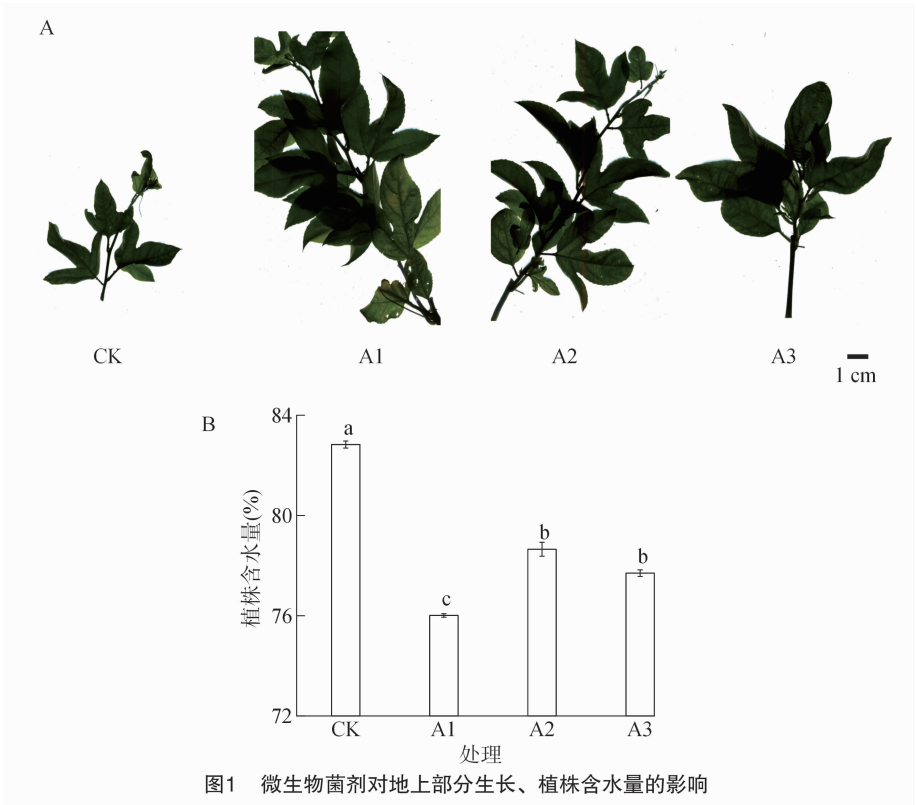


图1 微生物菌剂对地上部分生长、植株含水量的影响

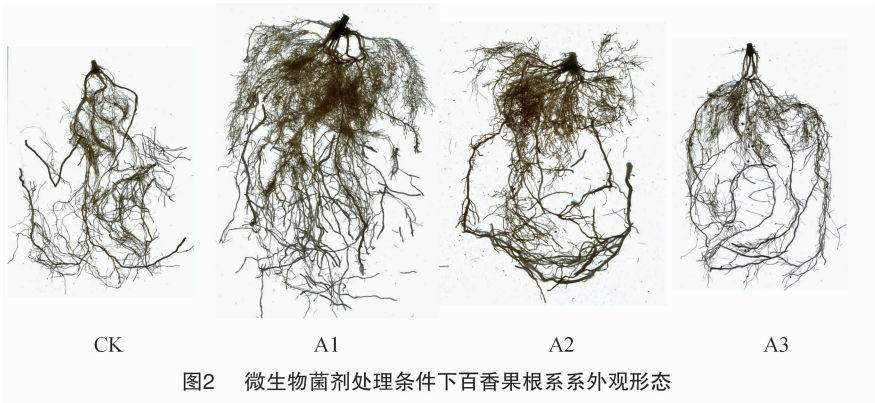


图2 微生物菌剂处理条件下百香果根系外观形态

表 1 微生物菌剂对百香果幼苗根系生长的影响

处理	根长 (cm)	根表面积 (cm ²)	根体积 (cm ³)	根系数量 (条)	根冠比
CK	1 551.67 ± 99.97b	493.73 ± 21.23c	19.05 ± 1.56bc	2 359 ± 56c	0.34 ± 0.02b
A1	1 827.83 ± 114.43a	541.30 ± 17.69a	68.12 ± 4.78a	5 741 ± 99a	0.41 ± 0.11a
A2	1 704.88 ± 133.62ab	516.87 ± 7.99b	22.74 ± 2.03b	4 188 ± 83b	0.25 ± 0.02c
A3	1 312.55 ± 141.75c	484.07 ± 30.23c	19.31 ± 1.42bc	1 874 ± 46d	0.21 ± 0.04d

注:同列数据后标有不同小写字母表示数据间差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.3 微生物菌剂对百香果植株光合特性的影响

由表 2 可知,与 CK 相比,A1 和 A2 处理的百香果总叶绿素含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量均显著升高,A1 处理最为显著,分别增加 50.67%、53.49%、45.54%、5.47%,而

A3 处理无明显变化。综上所述,微生物菌剂可促进叶片色素含量的升高,但浓度较低时效果不明显。

由表 2 可知,与 CK 相比,微生物菌剂明显促进了百香果幼苗净光合速率和胞间 CO₂ 浓度升高,以 A1 处理最为显著,分别较 CK 增加 108%、110%。

蒸腾速率测定结果表明,A1 处理与 CK 差异达到极显著水平($P>0.05$),较 CK 增加 396%,进一步通过气孔导度分析发现 A1 处理的气孔导度最高,达 77.67 mmol/(m²·s),其次为 A2 处理,分别较 CK 增加 506%、254%。综上所述,微生物菌剂促进了百香果幼苗光合作用,以 A1 处理最为显著。

同时,通过分析微生物菌剂对百香果植株光合作用光化学反应的影响发现,微生物菌剂处理条件

下电子传递效率、 F_v/F_m 、光化学猝灭系数均大于 CK,非光化学猝灭系数在 A1、A2 处理条件下显著高于 CK,但 A3 处理条件下较 CK 降低。其中,A1 处理显著提高了幼苗电子传递效率、 F_v/F_m 、非光化学猝灭系数、光化学猝灭系数($P>0.05$),分别比 CK 增加 332%、127%、47.81%、905%。A2 处理显著增加非光化学猝灭系数($P>0.05$),比 CK 增加了 33.53%。

表 2 微生物菌剂对百香果植株光合特性的影响

处理	总叶绿素含量 (mg/L)	叶绿素 a 含量 (mg/L)	叶绿素 b 含量 (mg/L)	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	胞间 CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)
CK	1.73 ± 0.05c	1.12 ± 0.02bc	0.61 ± 0.03c	1.82 ± 0.02bc	4.65 ± 0.30d	98.90 ± 1.22d
A1	2.61 ± 0.04a	1.72 ± 0.04a	0.89 ± 0.02a	1.92 ± 0.03a	9.67 ± 0.59a	208.06 ± 4.86a
A2	2.28 ± 0.05b	1.49 ± 0.04b	0.78 ± 0.01b	1.92 ± 0.01a	7.58 ± 0.44b	157.61 ± 3.19b
A3	1.81 ± 0.05c	1.21 ± 0.03c	0.65 ± 0.02c	1.86 ± 0.02b	5.95 ± 0.05c	124.06 ± 7.79c
处理	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	电子传递效率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	F_v/F_m	非光化学猝灭系数	光化学猝灭系数
CK	0.24 ± 0.01b	12.81 ± 1.76bc	19.08 ± 0.37d	0.24 ± 0.03c	1.75 ± 0.16c	0.03 ± 0.01d
A1	1.19 ± 0.08a	77.67 ± 7.99a	82.41 ± 5.16a	0.54 ± 0.01a	2.59 ± 0.40a	0.30 ± 0.03a
A2	0.21 ± 0.03bc	45.32 ± 1.61b	56.36 ± 0.44b	0.36 ± 0.02b	2.34 ± 0.28b	0.23 ± 0.02b
A3	0.12 ± 0.03c	14.26 ± 1.26c	27.80 ± 3.78c	0.32 ± 0.02bc	1.07 ± 0.51d	0.08 ± 0.01c

2.4 微生物菌剂对百香果果实产量的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,随着微生物菌剂浓度的升高,百香果花芽数量分别增加 2.63%、10.53%、21.05%,坐果率分别增加 6.65%、14.83%、17.55%,

果实产量依次提高 3.99%、27.10%、41.36%,综上所述,微生物菌肥具有促生花芽、提高坐果率和果实产量的作用。

表 3 微生物菌肥对百香果果实产量的影响

处理	花芽数量 (个/棵)	坐果率 (%)	果实产量 (kg/hm ²)
CK	38.00 ± 4.23d	68.42 ± 3.96d	10 340.33 ± 37.59d
A1	46.00 ± 2.76a	80.43 ± 3.69a	14 616.79 ± 26.93a
A2	42.00 ± 5.62b	78.57 ± 2.99b	13 142.88 ± 38.42b
A3	39.00 ± 6.98c	72.97 ± 4.63c	10 753.07 ± 41.20c

2.5 微生物菌剂对百香果果实品质的影响

由表 4 可知,与 CK 相比,随着处理浓度升高,百香果可溶性固形物分别增加 1.21%、3.64%、5.45%,可食率分别增加 22.25%、30.36%、

47.34%,而仅 A1 处理提高了百香果单果重和纵径,3 种微生物菌剂处理抑制了果实横径的生长,可能与 ABA 调控果实膨大等机制有关。

表 4 微生物菌肥对百香果果实品质的影响

处理	单果重 (g)	纵径 (cm)	横径 (cm)	可溶性固形物含量 (%)	可食率 (%)
CK	60.68 ± 3.29c	6.09 ± 0.28b	5.57 ± 0.22a	16.5 ± 0.27d	39.10 ± 3.62d
A1	67.51 ± 4.63a	6.12 ± 0.23a	5.48 ± 0.31b	17.4 ± 0.23a	50.97 ± 2.86b
A2	64.23 ± 2.39b	6.06 ± 0.19c	5.27 ± 0.23d	17.1 ± 0.19b	57.61 ± 3.13a
A3	55.04 ± 3.99d	6.08 ± 0.33bc	5.45 ± 0.16c	16.7 ± 0.22c	47.80 ± 5.02c

2.6 隶属函数综合评价分析

运用隶属函数法评价不同微生物菌剂处理的百香果幼苗生长及光合特性的影响,结果(表 5)表明,A1 处理在根冠比、根长、根表面积、根体积、根尖数、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量、

叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率等指标的隶属值均为 1.00,明显高于 CK 及其他处理。各指标平均隶属值为 A1 > A2 > CK > A3,表明 A1 处理效果最佳。

表 5 微生物菌剂对百香果植株生长及光合特性影响的隶属函数分析

处理	隶属值									
	株高	含水量	根冠比	根长	根表面积	根体积	根系数量	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	总叶绿素含量
CK	0.40	1.00	0.65	0.46	0.17	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
A1	0.65	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A2	1.00	0.39	0.20	0.76	0.57	0.08	0.60	0.63	0.59	0.62
A3	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.15	0.13	0.09

处理	隶属值									
	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	胞间 CO ₂ 浓度	蒸腾速率	气孔导度	电子传递 速率	F_v/F_m	NPQ	qP	花芽数量	坐果率
CK	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00
A1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A2	0.95	0.54	0.00	0.50	0.59	0.40	0.84	0.74	0.50	0.85
A3	0.41	0.23	0.02	0.02	0.14	0.27	0.00	0.19	0.13	0.38

处理	隶属值							排序
	果实产量	单果重	纵径	横径	可溶性 固形物	可食率	平均	
CK	0.00	0.45	0.50	1.00	0.00	0.00	0.20	3
A1	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	0.64	0.92	1
A2	0.66	0.74	0.00	0.00	0.67	1.00	0.55	2
A3	0.10	0.00	0.33	0.60	0.22	0.47	0.16	4

3 讨论

土壤中的微量元素 95% 以不溶态形式存在,不能被植物吸收利用,而微生物菌剂中含有大量的有机酸类物质,能够将植物所需的矿质元素快速溶解为可吸收的营养元素,大大提高了土壤的供肥能力。在本研究中发现,施用微生物菌剂处理条件下植株株高、根冠比、茎粗、根长、根表面积及根体积均有不同程度的提高,以 A1 处理最为显著。与苹果^[19]、猕猴桃^[20]、香梨^[21]、葡萄^[22]等多种果树上的研究结果一致。可能主要是微生物菌剂中的固氮菌、解磷菌及解钾菌等微生物,可利用空气中的氮并释放土壤中不易被植物吸收的磷和钾^[23],此外菌肥中的枯草芽孢杆菌等有益微生物可在土壤中长期存活,可利用土壤中的有机物产生次生代谢物,其中,含有大量的生长素类物质,可促进植物的快速生长^[24-25]。

在前期多项研究中均发现光合细菌促进植物生长主要是通过产生铁载体、5 - 氨基乙酰丙酸 (5 - ALA)、核苷酸、氨基酸、ACC 脱氨酶和 IAA 等多种促生长机制。通过对产铁载体沼泽红假单胞菌的研究发现,Rhodopseudomonas palustris CQV97 能够产生异羟肪酸型铁载体,为进一步研究光合细菌制剂防治病害、促进植物生长发育机制奠定了基础^[26]。此外,在豇豆上的研究发现,在 As 胁迫条件下,R. palustris CS₂ 和 R. faecalis SS 均显著提高了根长和地上部长度^[27]。在黄瓜上的研究发现,接种 R. palustris G5 显著增加黄瓜枝条高度、叶绿素含量、根活力以及 SOD 和 POD 活性^[28]。本研究发现,施用微生物菌剂后百香果幼苗叶片净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、气孔导度电子传递效率、 F_v/F_m 及光化学猝灭系数均升高,且以 A1 处理最为显著,可能的原因是光合细菌通过产生 IAA 和 5 - 氨基乙酰丙酸、溶磷、调节乙烯合成等直接促进

植物生长^[18]。

花芽数量及坐果率是影响果实产量的重要因素,本研究结果发现,A1 处理对产量提升作用最显著,较 CK 增产 41.36%,其次为 A2、A3 处理,分别较 CK 增加 3.99%、27.10%,这与何嘉等的研究结果^[29]相似。在品质方面,A1、A2 处理对可溶性固形物和可食率都有显著提升,与铁皮石斛^[11]和枸杞^[12]上的研究结果一致。

综上所述,对百香果幼苗施用微生物菌剂不仅可提高株高、叶片数、茎粗、根表面积、根体积及其吸收根的数量,还可提高叶片净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、气孔导度电子传递效率、 F_v/F_m 及光化学猝灭系数及果实产量和品质,且均以 A1 处理效果最佳。可见微生物菌剂对植物的促生作用是多方面、多层次的,下一步将继续研究微生物菌剂在连作障碍及对大苗培育、根际分泌物的影响,以期为微生物菌剂促生作用的分子水平研究奠定基础。

参考文献:

- [1] Rinaldi M M, Costa A M, Faleiro F G, et al. Conservação pós-colheita de frutos de *Passiflora setacea* DC. submetidos a diferentes sanitizantes e temperaturas de armazenamento[J]. Brazilian Journal of Food Technology, 2017, 20: e2016046.
- [2] 谭仲廷. 贵州百香果连作障碍发生机理研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022: 1-2.
- [3] 蔡国俊, 谭仲廷, 吴凤婵, 等. 连作对‘台农 1 号’百香果农艺性状的影响[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2021, 39(6): 51-56.
- [4] 胡海军, 吴亚男, 鄂洋, 等. 设施园艺作物连作障碍研究进展[C]//全国设施园艺产业发展与安全高效栽培技术交流会论文集汇编. 武汉, 2015: 39-44.
- [5] 刘妍, 刘兆新, 何美娟, 等. 不同栽培方式对连作花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 花生学报, 2018, 47(2): 41-46.
- [6] 戴文君. 微生物菌剂对望天树苗木生长及肥力效应的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2018: 4-8.
- [7] Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria[J]. Annual Review of Microbiology, 2009, 63: 541-556.
- [8] 石惠惠, 张旭升. 微生物菌肥对辣椒地连作障碍的治理效果研究[J]. 上海蔬菜, 2023(3): 28-30.
- [9] 武杞蔓, 张金梅, 李玥莹, 等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展[J]. 生物技术通报, 2021, 37(5): 221-230.
- [10] 王琳, 胡凯基, 及华, 等. 微生物菌剂对金银花生长和品质的调控[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2817-2823.
- [11] 胡晓晓, 俞春英, 江建铭. 不同生物菌剂对铁皮石斛生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(8): 1712-1714.
- [12] 吕亮雨, 樊光辉, 付全, 等. 生物有机肥对盐碱地土壤及枸杞生理特性、产量品质的影响[J]. 北方园艺, 2023(3): 97-104.
- [13] 唐艳领. 微生物肥在设施辣椒连作障碍克服中的应用研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014: 1-4.
- [14] 杨肖芳, 郭瑞, 姚燕来, 等. 微生物菌剂对连作地块草莓生长、土壤养分及微生物群落的影响[J]. 核农学报, 2023, 37(6): 1253-1262.
- [15] 赵珉琳, 陶刚, 卯婷婷, 等. 微生物制剂对草莓重要真菌病害的作用研究[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(3): 456-462.
- [16] 于会丽, 徐国益, 路绪强, 等. 微生物菌剂对连作西瓜土壤微环境及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(7): 1025-1035.
- [17] 柳晓磊, 齐钊, 闫臻, 等. 复合微生物菌剂与氨基酸水溶肥组合施用对香蕉土壤理化性质及微生物群落的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 151-158.
- [18] 王艺蒙. 不产氧光合细菌促植物生长机制研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2019: 4-7.
- [19] 王爱玲, 段国琪, 田时敏, 等. 减氮施肥微生物菌肥对“富士”苹果品质和光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2022(18): 16-22.
- [20] 潘丽珊, 任春光, 苏文文, 等. 不同抗病诱导剂对猕猴桃褐斑病田间防效及果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 154-164.
- [21] 穆凯代斯罕·伊萨克. HPS 微生物菌肥对库尔勒香梨园土壤、叶片和果实品质的影响研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022: 1-2.
- [22] 杨昌钰. 水分胁迫与微生物菌肥添加对设施栽培葡萄生长发育及土壤微生物环境的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021: 1-4.
- [23] 裴豹. 多种解磷、解钾、固氮菌混合发酵制备菌糠菌肥的研究[D]. 天津: 天津大学, 2014: 1-4.
- [24] 雷晶晶. 枯草芽孢杆菌 B2 在烟株和根围土壤中的定殖分析及微生态效应[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2022: 1-7.
- [25] 候婷婷, 于德水, 何鑫, 等. 复合微生物菌剂对大豆生长发育、结瘤和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(10): 65-72.
- [26] 胡碧惠, 赵春贵, 杨素萍. 铁对产铁载体的沼泽红假单胞菌光合色素与铁载体合成的影响[J]. 微生物学报, 2014, 54(4): 408-416.
- [27] Batool K, Tuz Zahra F, Rehman Y. Arsenic-Redox transformation and plant growth promotion by purple nonsulfur bacteria *Rhodopseudomonas palustris* CS₂ and *Rhodopseudomonas faecalis* SS5[J]. BioMed Research International, 2017, 2017: 6250327.
- [28] Ge H L, Liu Z H, Zhang F L. Effect of *Rhodopseudomonas palustris* G5 on seedling growth and some physiological and biochemical characteristics of cucumber under cadmium stress[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2017: 816.
- [29] 何嘉, 马婷慧, 白小军, 等. 微生物菌剂对枸杞生长发育、产量品质及土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 149-154.