

彭柱青, 金胜昔, 梁晓敏, 等. 不同微生物菌剂对温州蜜柑果实产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 91-97.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.05.012

不同微生物菌剂对温州蜜柑果实产量及品质的影响

彭柱青, 金胜昔, 梁晓敏, 武松伟, 胡承孝

园艺植物生物学教育部重点实验室/新型肥料湖北省工程实验室/
华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070

摘要 为指导微生物菌剂在柑橘的合理施用并提高柑橘果实的产量及品质, 采用田间试验的方法比较分析3种微生物菌剂及其复合菌剂对温州蜜柑土壤肥力、树体营养、果实品质及产量的影响。结果显示: 与不施微生物菌剂相比, 施用微生物菌剂能提高温州蜜柑果实可溶性固形物含量、固酸比及维生素C含量, 复合菌剂相较于单菌处理更能改善温州蜜柑果实品质、稳定产量; 不同微生物菌剂提高了土壤有机质和速效氮、磷、钾含量及脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性; 通过线性混合模型分析, 叶片全磷、土壤磷酸酶及速效磷是显著影响温州蜜柑果实品质的重要指标。研究结果表明, 不同微生物菌剂都有改善土壤磷活化、提高土壤有效磷、促进树体对磷的吸收并最终改善果实品质的效果, 其中复合微生物菌剂效果更显著。

关键词 微生物菌剂; 温州蜜柑; 土壤肥力; 磷有效性; 果实品质

中图分类号 S666.106⁺.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)05-0091-07

柑橘作为世界三大水果之一, 其种植面积逐年扩增。然而, 我国柑橘施肥状况调查表明, 氮、磷、钾肥过量施用的面积分别占 57.3%、76.6% 和 69.1%^[1], 施肥量已远远超过柑橘树体需求量, 由此导致肥料利用率低、土壤酸化板结、树体生长和抗性衰退、果实品质产量下降等问题越来越严重^[2], 亟需在减少肥料用量的同时修复和改善土壤、满足树体营养需求、提高果实品质和产量。

微生物菌剂既能够改善土壤理化性质、提高微生物活性及酶活性, 又能够促进养分利用、提升作物产量、品质及其抗病能力。目前微生物菌剂已应用于苹果、猕猴桃、香蕉、砀山酥梨、甜瓜、西瓜、葡萄等, 但有关微生物菌剂对柑橘果实品质、产量的作用鲜有报道。因此, 本研究采用田间试验, 探究3种微生物菌剂及其复合菌剂对柑橘养分吸收、果实品质、产量的影响, 以为微生物菌剂在柑橘上的应用提供理论依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验地点及材料

2016年9月至2017年12月, 分别在华中农业大

学试验柑橘园和武汉市蔡甸区索河柑橘园开展田间试验, 供试土壤均为黄棕壤, 华中农业大学试验柑橘园土壤理化性状: pH 6.42、碱解氮 52.32 mg/kg、速效磷 20.11 mg/kg、速效钾 204.65 mg/kg、有机质 18.64 g/kg; 蔡甸区索河柑橘园土壤理化性状: pH 6.51、碱解氮 82.60 mg/kg、速效磷 17.68 mg/kg、速效钾 129.12 mg/kg、有机质 20.18 g/kg。供试柑橘分别为8年生温州蜜柑和5年生温州蜜柑。

供试微生物菌剂为枯草芽孢杆菌(K)、多粘芽孢杆菌(D)、放线菌(F)、复合菌剂(H), 由华中农业大学农业微生物学国家重点实验室梁运祥教授团队提供(枯草芽孢杆菌 3 000 亿 CFU/g、多粘芽孢杆菌 10 亿 CFU/g、放线菌 10 亿 CFU/g、复合菌剂 30 亿 CFU/g); 柑橘专用肥(N-P₂O₅-K₂O: 13-6-16, 有机质 20%, 含中微量元素), 由湖北省武汉欣悦作物营养有限公司生产。

1.2 试验方法

试验均设置5个处理: 4种微生物菌剂和不施用菌剂的对照处理。华中农业大学试验柑橘园: 每处理3个重复、每小区3棵树, 2016年12月施用柑橘专用肥 1 kg/株, 于花期、坐果期、果实膨大期、果实收获

收稿日期: 2022-05-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1000102)

彭柱青, E-mail: 1215783164@qq.com

通信作者: 胡承孝, E-mail: hucx@mail.hzau.edu.cn

期分4次追施尿素0.98 kg/株、磷酸二氢铵0.61 kg/株、硝酸钾1.61 kg/株;4种微生物肥料施用量为枯草芽孢杆菌0.1 g/株、多粘芽孢杆菌10 g/株、放线菌150 g/株、混合菌150 g/株,2017年3月以灌根方式施入土壤。武汉市蔡甸区索河柑橘园:每处理4个重复、每小区3棵树,2017年3月施柑橘专用肥2 kg/株,果实膨大期施柑橘专用肥壮果;微生物菌剂施用同华中农业大学试验柑橘园。

1.3 测定指标及方法

采用苯酚钠次氯酸钠比色法^[3]测定土壤脲酶活性。土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[3],土壤磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法测定^[4]。土壤碱解氮含量测定采用碱解-扩散法,土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗显色分光光度法,土壤速效钾采用醋酸铵提取-火焰光度法测定,土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法^[5]。植物全氮含量测定采用硫酸双氧水消化-半微量蒸馏法。植物全磷含量测定采用硫酸双氧水消化-钼锑抗比色法。植物全钾含量测定采用硫酸双氧水消化-火焰光度法^[5]。维生素C含量采用2,6-二氯酚测定法^[5];可溶性固形物含量使用PAL-1手持折光测糖仪(Atago, Japan)测定^[6]。可滴定酸含量:吸取柑橘果实纯果汁1 mL于锥形瓶中,加入约10 mL水,滴加2滴酚酞指示剂,用标准碱(NaOH)滴定法测定^[6]。

1.4 数据分析

试验数据使用Excel 2013和SPSS 19.0进行处理与统计分析,运用LSD与Duncan法进行多重比较,并采用Prism 5.0 R语言进行绘图。

为比较不同菌剂对土壤理化性质、酶活性与叶片氮磷钾含量对温州蜜柑果实品质的影响,本研究采用单因子方差分析分别对2处取样地点的温州蜜柑果实品质进行分析,其中果品品质指标作为响应因子,采用不同的菌剂类型作为固定因子。在构建模型前,分别检验了响应因子的正态性与模型的方差齐性。当F检验发现存在显著差异时,采用Duncan法进行多重比较,以明确差异来源。

采用线性混合模型比较不同试验地果品质量的潜在环境响应机制。其中,果品品质(V_c 含量、可溶性固性物含量、可滴定酸、固酸比)作为响应因子;土壤理化性质、叶片理化性质与土壤酶含量作为固定因子,取样地点作为随机因子。以膨胀方差因子值(variance inflation factor, VIF)值作为衡量模型共线性的标准,以避免固定因子共线性对模型稳健性产

生影响;当所有因子 $VIF < 5$ 时,认为模型不存在明显共线性;如不满足条件,则依次删除VIF值最高的因子直至满足要求。为筛选最优模型,分别计算所有潜在子模型AICc值并进行排序;当存在模型的AICc值与最小AICc值之差($\Delta AICc$) < 2 时,则将所有满足条件的模型进行平均并作为最优模型,并计算不同因子相对重要性;如不存在 $\Delta AICc < 2$ 的模型,则以AICc值最小的模型作为最优模型。

线性混合模型构建采用R 3.6.3中lme4与lmerTest包进行;VIF值计算采用car包进行;模型筛选与平均采用R 3.6.3 MumIn包进行。

2 结果与分析

2.1 微生物菌剂对温州蜜柑果实品质的影响

1)武汉市蔡甸区索河柑橘园。不同微生物菌剂均提高了温州蜜柑果实可溶性固形物含量(图1A),其中,枯草芽孢杆菌(K)、复合菌剂(H)分别提高9.13%、12.34%;而不同微生物菌剂降低了温州蜜柑果实可滴定酸含量,其中多粘芽孢杆菌(D)使果实可滴定酸含量降低至0.35%,降低了28.57%;不同微生物菌剂处理温州蜜柑果实固酸比均高于对照,其中多粘芽孢杆菌(D)、复合菌剂(H)处理温州蜜柑果实固酸比分别提高了50.40%、52.06%。尽管不同微生物菌剂处理温州蜜柑果实Vc含量无显著变化,多粘芽孢杆菌(D)、放线菌(F)、复合微生物菌剂(H)处理仍然使温州蜜柑果实Vc含量依次提高5.78%、8.36%、10.06%。

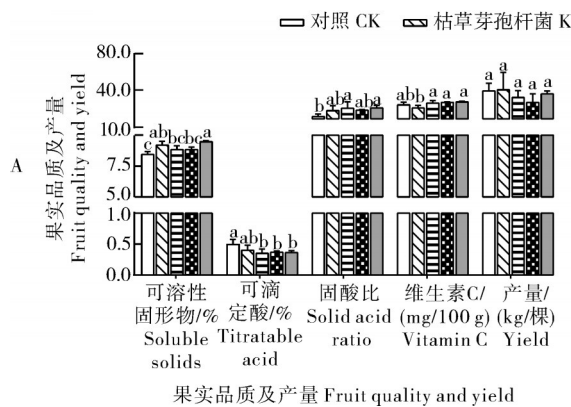
2)华中农业大学试验柑橘园。所有微生物菌剂处理使温州蜜柑果实可溶性固形物含量均有所提高(图1B),其中放线菌(F)、复合菌剂(H)处理温州蜜柑果实可溶性固形物含量分别显著提高11.89%、20.48%;使温州蜜柑果实可滴定酸含量均有所降低,其中多粘芽孢杆菌(D)处理温州蜜柑果实可滴定酸含量最低(0.43%),显著降低了30.64%;温州蜜柑果实固酸比均高于对照,其中多粘芽孢杆菌(D)、复合菌剂(H)处理温州蜜柑果实固酸比分别显著提高了57.06%、59.21%;温州蜜柑果实Vc含量均高于对照,其中放线菌(F)、复合微生物菌剂(H)处理温州蜜柑果实Vc含量分别显著提高28.85%、27.97%。

综合两地试验结果,微生物菌剂都不同程度地改善了温州蜜柑果实品质,其中复合微生物菌剂(H)平均提高了温州蜜柑果实可溶性固形物16.41%、固酸比55.63%、Vc含量19.02%,多粘芽孢

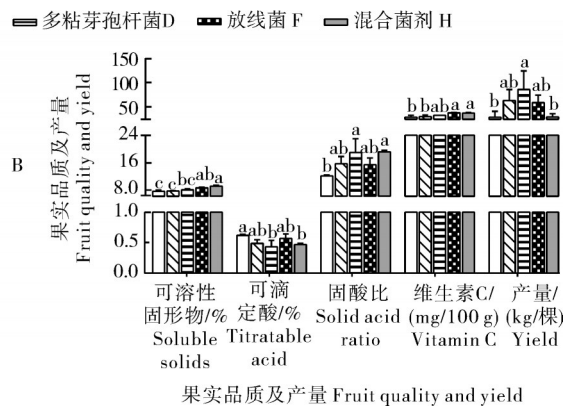
杆菌(D)使温州蜜柑果实可滴定酸平均降低29.60%、固酸比平均提高53.73%，放线菌(F)平均提高了温州蜜柑果实Vc含量18.60%，表明复合微生物菌剂和多粘芽孢杆菌的效果更好。

2.2 微生物菌剂对温州蜜柑产量的影响

对于武汉市蔡甸区索河柑橘园,不同微生物菌



剂处理温州蜜柑果实产量无显著差异。对于华中农业大学试验柑橘园,多粘芽孢杆菌(D)处理使温州蜜柑产量显著提高193.55%,其他处理与对照相比并无显著差异。由此说明,施用微生物菌剂短期内对温州蜜柑产量影响不大(图1)。



对照 CK; 枯草芽孢杆菌(K): *Bacillus subtilis*; 多粘芽孢杆菌(D): *Bacillus polymyxa*; 放线菌(F): *Actinomyces*; 复合菌剂(H): Compound microbial inoculants. 下同。The same as follows.

图1 不同菌剂对武汉市蔡甸区索河柑橘园(A)和华中农业大学试验柑橘园(B)温州蜜柑果实品质和产量的影响
Fig.1 Effects of different microbial inoculants on citrus orchard in Suohe Town, Caidian District (A) and citrus orchard in Huazhong Agricultural University (B) yield and quality of satsuma mandarin fruit

2.3 微生物菌剂对温州蜜柑叶片氮、磷、钾含量的影响

1)武汉市蔡甸区索河柑橘园。枯草芽孢杆菌(K)显著提高温州蜜柑叶片钾含量26.69%;放线菌(F)显著提高温州蜜柑叶片含氮量34.48%;复合微生物菌剂(H)分别显著提高了温州蜜柑叶片氮、磷含量28.28%和11.76%;但多粘芽孢杆菌(D)对温州蜜

柑叶片大量养分无显著影响(图2A)。

2)华中农业大学试验柑橘园。枯草芽孢杆菌(K)显著提高温州蜜柑叶片钾含量32.26%;放线菌(F)显著提高温州蜜柑叶片含氮量23.31%,且叶片含磷、钾含量也有一定程度提高;复合微生物菌剂(H)显著提高温州蜜柑叶片磷含量;但多粘芽孢杆菌(D)对温州蜜柑叶片氮、磷、钾含量无显著影响(图2B)。

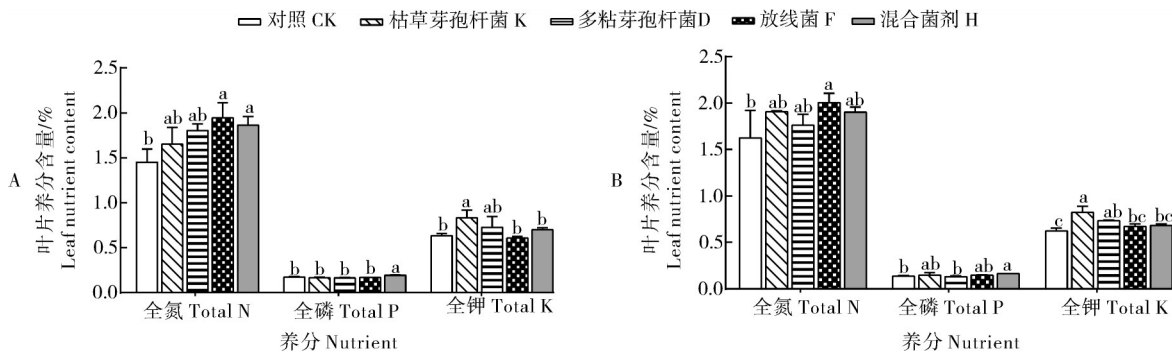


图2 不同菌剂对武汉市蔡甸区索河柑橘园(A)和华中农业大学试验柑橘园(B)温州蜜柑叶片养分含量的影响
Fig.2 Effects of different microbial inoculants on citrus orchard in Suohe Town, Caidian District (A) and citrus orchard in Huazhong Agricultural University (B) nutrient contents in leaves of satsuma mandarin

综合两地试验结果,枯草芽孢杆菌(K)显著提高温州蜜柑叶片含钾量,放线菌(F)显著提高温州蜜柑叶片含氮量,复合微生物菌剂(H)显著提高温州蜜

柑叶片磷含量以及明显提高了叶片氮含量。因此,不同微生物菌剂促进柑橘养分吸收的效果不同,复合微生物菌剂对促进柑橘养分吸收的作用更大。

2.4 微生物菌剂对温州蜜柑土壤肥力的影响

1) 土壤有机质和速效氮、磷、钾含量。对于武汉市蔡甸区索河柑橘园, 枯草芽孢杆菌(K)、多粘芽孢杆菌(D)、放线菌(F)依次显著提高土壤速效磷含量 125.23%、68.67%、69.69%; 复合微生物菌剂(H)则显著提高土壤速效氮、磷及有机质含量 18.33%、83.82%、17.15%(表1)。对于华中农业大学试验柑橘园, 枯草芽孢杆菌(K)显著提高土壤速效钾含量 57.89%、有机质含量 89.74%; 多粘芽孢杆菌(D)依次显著提高土壤速效氮、磷及有机质含量 43.45%、

119.52%、107.50%; 放线菌(F)显著提高土壤速效氮、磷、钾以及有机质含量分别为 26.90%、180.72%、94.07%、81.85%; 复合微生物菌剂(H)显著提高土壤速效氮、磷、钾及有机质含量分别为 24.50%、121.02%、92.09%、91.12%(表1)。

综合两地试验结果, 各单一微生物菌剂都能够提高土壤速效氮(碱解氮)、磷、钾及有机质含量, 但以复合微生物菌剂(H)更能整体提高土壤有机质和速效氮、磷、钾含量。

表1 不同菌剂对温州蜜柑土壤速效氮(碱解氮)、磷、钾及有机质含量的影响

Table 1 Effect of different microbial inoculants on the available(alkali hydrolyed) nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter of the soil

地点 Site	处理 Treatment	碱解氮/(mg/kg) Alkali hydrolyed nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium	有机质/(g/kg) Organic matter
蔡甸区索河镇 Suohe Town, Caidian District	CK	71.58±2.13b	11.81±1.24b	114.91±13.60b	15.86±0.79b
	K	78.40±9.36ab	26.60±5.68a	129.90±20.35ab	18.10±1.64ab
	D	74.26±9.81ab	19.92±5.06a	151.88±8.78a	16.44±0.69ab
	F	75.54±1.17ab	20.04±4.40a	108.91±9.98b	17.76±1.84ab
	H	84.70±2.92a	21.71±1.45a	133.39±22.08ab	18.58±1.41a
华中农业大学 Huazhong Agricultural University	CK	33.83±0.36c	7.99±0.21c	75.94±0.87b	5.07±0.27b
	K	46.03±5.26ab	16.46±0.62b	119.90±41.97a	9.62±2.03a
	D	48.53±0.86a	17.54±0.95b	109.41±31.19ab	10.52±0.40a
	F	42.93±1.23b	22.43±2.30a	147.38±26.23a	9.22±0.27a
	H	42.12±1.13b	17.66±0.41ab	145.88±26.40a	9.69±2.39a

注: 同列数据后不同字母表示在0.05水平差异显著, 下同。Note: Different letters indicate significant different at the 0.05 level in the same column, the same as below.

2) 土壤酶活性。对于武汉市蔡甸区索河柑橘园, 多粘芽孢杆菌(D)显著提高土壤磷酸酶活性 94.54%, 放线菌(F)显著提高土壤脲酶活性 79.69%, 复合微生物菌剂(H)显著提高土壤脲酶、磷酸酶活性 78.12%、89.09%(表2)。对于华中农业大学试验柑橘园, 枯草芽孢杆菌(K)显著提高土壤磷酸酶、蔗糖酶活性 100%、575.49%; 多粘芽孢杆菌(D)显著提高土壤脲酶、磷酸酶活性 31.82%、111.11%; 放线菌(F)显著提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性 18.18%、119.44%、449.02%; 复合微生物菌剂(H)依次显著提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性达 48.48%、133.33%、599.51%(表2)。

综合两地试验结果, 多粘芽孢杆菌(D)通过提高磷酸酶活性而提高土壤磷有效性, 放线菌(F)通过提高脲酶活性而促进土壤有机态氮转化、释放, 枯草芽孢杆菌(K)的作用因土壤而异, 复合微生物菌剂(H)能显著提高脲酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性, 整体提升

土壤肥力。

2.5 果实品质环境因子响应分析

表3结果显示, 土壤磷酸酶含量对果实维生素C含量呈显著正响应, 叶片全钾含量(TK)对果实维生素C含量呈显著负响应, 说明土壤磷酸酶对提升温州蜜柑果实维生素C具有一定积极意义。叶片全磷含量(TP)与果实可溶性固形物呈显著正相关, 但与可滴定酸呈显著负相关, 意味着叶片全磷(TP)对果实品质具有广泛影响, 其作用主要体现在增加果实可溶性固形物而降低可滴定酸含量; 果实固酸比与土壤磷酸酶含量及叶片全磷(TP)均无显著关联, 而土壤速效磷对果实固酸比呈显著正响应, 说明土壤速效磷可能对调节果实固酸比具有潜在积极意义。

3 讨论

本研究结果表明, 复合菌剂处理不仅使温州蜜柑果实可溶性固形物含量增加、可滴定酸含量降低、

表 2 不同菌剂对温州蜜柑土壤酶活性的影响
Table 2 Effect of different microbial inoculants on the soil enzyme activity

地点 Site	处理 Treatment	脲酶活性 Urease	磷酸酶活性 Phosphatase	蔗糖酶活性 Invertase
蔡甸区索河镇 Suohe Town, Caidian District	CK	0.64±0.05b	0.55±0.15b	8.06±1.59ab
	K	0.73±0.06b	0.70±0.15ab	7.77±2.95b
	D	0.80±0.13b	1.07±0.45a	10.78±1.51a
	F	1.15±0.05a	0.90±0.15ab	6.95±0.69b
	H	1.14±0.08a	1.04±0.19a	9.79±1.33ab
华中农业大学 Huazhong Agricultural University	CK	0.66±0.05c	0.36±0.01b	2.04±0.41c
	K	0.60±0.01c	0.72±0.17a	13.78±1.15ab
	D	0.87±0.01b	0.76±0.03a	1.43±0.49c
	F	0.78±0.06b	0.79±0.05a	11.20±3.25b
	H	0.98±0.07a	0.84±0.05a	14.27±0.09a

表 3 果实品质性状指标的环境响应分析
Table 3 Environmental response analysis of fruit quality

果实品质 Fruit quality	环境影响因子 Environmental response	预估值 Forecasts	标准误 Standard error	矫正标准误 Corrected standard error	Z/ <i>t</i> ¹⁾	P
维生素 C Vitamin C	(Intercept)	26.991	6.209		4.347	0.000 213
	磷酸酶 Phosphatase	6.715	2.726		2.463	0.020 794
	叶片全氮 Total N	5.062	2.837		1.784	0.086 245
	叶片全钾 Total K	-12.482	5.927		-2.106	0.045 394
可溶性固形物 ²⁾ Soluble solids	(Intercept)	5.652 9	0.938	6.237 2	6.024	0.000 818
	叶片全磷 Total P	18.040	5.802	7.379 4	3.109	0.015 997
可滴定酸 ³⁾ Titratable acid	(Intercept)	0.821	0.154		5.336	0.001 770
	叶片全磷 Total P	-2.302	0.952		-2.418	0.045 970
固酸比 ²⁾ Solid acid ratio	(Intercept)	1.030	8.148	8.516 0	0.121	0.903 700
	叶片全磷 Total P	71.916	50.824	53.313 5	1.349	0.177 400
	磷酸酶 Phosphatase	4.802	4.568	4.734 3	1.014	0.310 500
	速效磷 Available phosphorus	0.384	0.144	0.151 6	2.535	0.011 200

注:1)Z:AICc 小于 2 的多个模型平均值,t:AICc 大于 2,1 个模型的最优值;2)存在多个 ΔAICc<2 的模型,最终模型为所有 ΔAICc<2 的平均模型;3)未发现 ΔAICc<2 的模型,最终模型为 AICc 值最低的最优模型。Note:1)Z: Multiple model mean T with AICC less than 2, t: AICC greater than 2, the optimal value of one model; 2)There are several models with ΔAICc less than 2. And the final model is the average model of all ΔAICc less than 2; 3)Not found. The final model is the optimal model with the lowest AICC value.

固酸比提高,还使果实维生素 C 含量提高,在提高温州蜜柑果实品质、稳定产量方面,相较于单菌处理,复合菌剂处理效果更佳、更全面。这与于会平等^[7]在西瓜上以及库永丽等^[8]在猕猴桃上的复合菌剂试验结果一致。

通过线性混合模型分析,发现叶片全磷、土壤磷酸酶、土壤速效磷是影响温州蜜柑果实品质的重要指标。而只有混菌处理相对于对照组能显著提高 2 个试验地中柑橘叶片全磷含量;在土壤磷酸酶和速效磷方面,不同微生物菌剂处理相对于对照均有大

幅度提高,说明微生物菌剂施用是通过促进土壤磷活性进而提高果实品质,混菌处理更有效。孔跃^[9]在番茄上施用微生物菌剂后,微生物肥料能提高原有土壤速效磷含量、促进土壤磷的活化、提高土壤的供磷能力,从而改善番茄品质,减轻番茄病害。Wu等^[10]在红肉脐橙上施用磷肥后,增加了其果实中的可溶性固形物,使其固酸比提高,并使其果实中可溶性糖的积累增加。黄春辉等^[11]发现猕猴桃果实品质与叶片磷含量呈极显著正相关关系,证明了叶片磷含量的提高对果实品质具有提升作用。Cao等^[12]也发现成熟草莓果实中可溶性固形物含量与磷含量呈正相关。这些结果说明微生物菌剂提高果实品质与促进土壤磷活化而改善植株磷营养紧密相关。

在两地均发现土壤N、P、K有效性和酶活因微生物菌剂的施用而得到明显提高。施用微生物菌剂抵御了有害微生物,使有益微生物分泌胞外酶进而加速分解土壤有机质或肥料,产生植物可利用的养分^[13];或者施用的微生物本身具有溶磷、解钾等功能而使土壤养分增加,刘红波等^[14]报道了类似结果。其中,复合微生物菌剂菌剂对土壤养分和酶活的整体效果最显著,这可能是因为它含有多种微生物,能更全面地提高土壤脲酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性,加速土壤养分运转,使土壤氮磷钾养分加速释放,从而提高温州蜜柑树体养分,稳定温州蜜柑产量并提高其果实品质。这与马凤捷等^[15]的研究结果一致。

综上,尽管施用几种微生物菌剂并没有显著提高温州蜜柑果实产量,但因显著促进土壤磷的活化和吸收而改善了果实品质,尤其是复合菌剂效果更佳。

参考文献 References

- [1] 雷靖,梁珊珊,谭启玲,等.我国柑橘氮磷钾肥用量及减施潜力[J].植物营养与肥料学报,2019,25(9):1504-1513.LEI J, LIANG S S, TAN Q L, et al.NPK fertilization rates and reducing potential in the main citrus producing regions of China [J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2019, 25(9):1504-1513(in Chinese with English abstract).
- [2] YANG M, LONG Q, LI W L, et al.Mapping the environmental cost of a typical citrus-producing county in China: hotspot and optimization [J/OL].Sustainability, 2020, 12(5): 1827 [2022-05-13].<https://doi.org/10.3390/su12051827>.
- [3] 关松萌.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:310-312.GUAN S M.Soil enzyme and its research method [M].Beijing: Agricultural Publishing Press,1986:310-312(in Chinese).
- [4] 曹慧,孙辉,杨浩,等.土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J].应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.CAO H, SUN H, YANG H, et al.Progress in soil enzyme activity and its indication of soil quality [J].Chinese journal of applied & environmental biology, 2003, 9(1): 105-109 (in Chinese with English abstract).
- [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2008:25-362.BAO S D.Soil agrochemical analysis [M].3rd ed.Beijing: China Agriculture Press,2008:25-362(in Chinese).
- [6] 李合生,孙群,赵世杰.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.LI H S, SUN Q, ZHAO S J.Experimental principles and techniques of plant physiology and biochemistry [M].Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese).
- [7] 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.YU H L, XU G Y, LU X Q, et al.Effects of microbial agents on soil microenvironment and fruit quality of continuous cropping watermelon [J].Journal of fruit science, 2020, 37(7): 1025-1035 (in Chinese with English abstract).
- [8] 库永丽,徐国益,赵骅,等.腐植酸复合微生物肥料对高龄猕猴桃园土壤改良及果实品质的影响[J].华北农学报,2018,33(3):167-175.KU Y L, XU G Y, ZHAO H, et al.Effects of humic acid compound microbial fertilizer on soil improvement and fruit quality of kiwifruit orchard [J].Acta agriculturae boreali-sinica, 2018, 33(3): 167-175 (in Chinese).
- [9] 孔跃.生物有机肥对番茄及小白菜生长与品质影响效应的研究[D].武汉:华中农业大学,2007.KONG Y.Study on the effect of bio-organic fertilizer on growth and quality of tomato and pakchoi [D].Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007 (in Chinese with English abstract).
- [10] WU S W, LI M, ZHANG C M, et al.Effects of phosphorus on fruit soluble sugar and citric acid accumulations in citrus [J].Plant physiology and biochemistry, 2021, 160: 73-81.
- [11] 黄春辉,曲雪艳,刘科鹏,等.‘金魁’猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J].果树学报,2014,31(6):1091-1099.HUANG C H, QU X Y, LIU K P, et al.Analysis of soil physical and chemical properties, leaf nutrition and fruit quality of ‘Jinkui’ macaque peach orchard [J].Journal of fruit science, 2014, 31(6): 1091-1099 (in Chinese with English abstract).
- [12] CAO F, GUAN C Y, DAI H Y, et al.Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits [J].Scientia horticulturae, 2015, 195: 183-187.
- [13] 李忠,江立庚,唐荣华,等.连作对花生土壤酶活性、养分含量和植株产量的影响[J].土壤,2018,50(3):491-497.LI Z, JIANG L G, TANG R H, et al.Effects of continuous cropping on soil enzyme activity, nutrient content and plant yield of peanut [J].Soils, 2018, 50(3): 491-497 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘红波,乔志刚,王永铭,等.不同微生物菌肥对结球白菜产量和品质的影响[J].北方农业学报,2020,48(6):45-49.LIU H B, QIAO Z G, WANG Y M, et al.Effects of different microbial fertilizer on yield and quality of heading cabbage [J].Journal of

- northern agriculture, 2020, 48(6): 45-49(in Chinese with English abstract).
- [15] 马凤捷,蔡立群,刘垠霖,等.不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质及土壤养分和酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2021(2): 69-77.MA F J, CAI L Q, LIU Y L, et al.Effects of different microbial agents on quality, soil nutrients and enzyme activities of Hami melon [J].Soil and fertilizer science in China, 2021(2): 69-77(in Chinese with English abstract).

Effects of microbial inoculants on yield and quality of satsuma mandarin fruit

PENG Zhuqing, JIN Shengxi, LIANG Xiaomin, WU Songwei, HU Chengxiao

*Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education/
Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer, Hubei Province/*

Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The effects of three kinds of microbial inoculants and its compound inoculants on the soil fertility, tree nutrition, fruit quality and yield of satsuma mandarin were compared and analyzed with field trials to guide the rational application of microbial inoculants in citrus and to improve the yield and quality of citrus fruit. The results showed that the application of microbial inoculants increased soluble solids, solid acid ratio and vitamin C of satsuma mandarin fruit compared with no application of microbial agents. Compound microbial inoculants improved the fruit quality and stabilized the yield of fruit compared with single bacterial treatment. Different microbial inoculants increased the contents of soil organic matter, available nitrogen, phosphorus and potassium, the activities of urease, phosphatase and sucrase. Through linear mixed model analysis, the total phosphorus, soil phosphatase and available phosphorus in leaf were the important indexes significantly affected the quality of satsuma mandarin fruit. It is indicated that different microbial inoculants can improve the activation of soil phosphorus, increase the soil available phosphorus, promote the phosphorus uptake by the tree, and finally improve the fruit quality, among which the compound microbial inoculants have more significant effects.

Keywords microbial inoculant; satsuma mandarin; soil fertility; phosphorus availability; fruit quality

(责任编辑:张志钰)