

彭玉娇, 崔学宇, 邵元元, 等. 不同树龄沙田柚果园土壤肥力、叶片养分和土壤细菌群落的特征[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 348-354.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.02.010

不同树龄沙田柚果园土壤肥力、叶片养分和土壤细菌群落的特征

彭玉娇¹, 崔学宇¹, 邵元元¹, 杨艳丽¹, 杜 潇¹, 贾书刚¹, 刘书田¹, 区燕丽²

(1. 南宁师范大学/广西地标作物大数据工程技术研究中心/北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室/广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001; 2. 容县土肥植保经作站, 广西 容县 537500)

摘要: 通过分析不同树龄沙田柚果园土壤肥力和果树叶片营养成分的变化, 以期对沙田柚果园精准施肥管理提供理论依据。选择广西壮族自治区玉林市容县 12 个不同树龄的沙田柚果园, 对沙田柚果园土壤肥力指标及果树叶片营养成分含量进行测定, 利用高通量测序技术对土壤细菌群落进行测序。结果表明, 12 个沙田柚果园土壤呈酸性, pH 值、有机质含量、土壤全氮含量随着沙田柚树龄的增加而增加, 不同树龄沙田柚果园土壤之间的土壤有效镁含量、有效硫含量和有效硼含量没有显著差异, 树龄 ≥ 21 年的沙田柚果园土壤全钾含量和交换性钙含量最高; 不同树龄沙田柚果树叶片氮含量无显著差异, 5~10 年树龄沙田柚果树叶片磷含量、钾含量、硫含量最高, ≥ 21 年树龄沙田柚果树叶片钙含量最高, 11~15 年树龄沙田柚果树叶片镁含量和硼含量最高。共获得 15 903 个操作分类单元(OTUs), 沙田柚果园土壤中细菌至少涵盖 31 个门、42 个纲、101 个目、180 个科、347 个属、222 个种。在门水平上分析可知, 变形菌门、放线菌门和绿弯菌门是优势菌门, 随着沙田柚栽培时间的增加, 放线菌门的相对丰度持续提高, 酸杆菌门、疣微菌门的相对丰度持续降低。沙田柚果园土壤肥力随树龄变化明显, 树龄、土壤因子改变了沙田柚栽培果园土壤中细菌的群落结构。

关键词: 沙田柚; 树龄; 土壤; 叶片营养; 高通量测序

中图分类号: S666.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)02-0348-07

Characteristic of soil fertility, leaf mineral nutrients and bacterial community in Shatian pomelo orchards of different tree ages

PENG Yu-jiao¹, CUI Xue-yu¹, SHAO Yuan-yuan¹, YANG Yan-li¹, DU Xiao¹, JIA Shu-gang¹, LIU Shu-tian¹, OU Yan-li²

(1. Guangxi Geographical Indication Crops Research Center of Big Data Mining and Experimental Engineering Technology/Key Laboratory of Environment Change and Resources Utilization of Beibu Gulf, Ministry of Education/Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 2. Soil Fertilizer, Plant Protection and Economic Crops Station of Rong County, Rong County 537500, China)

Abstract: The changes of soil fertility, leaf mineral nutrients contents in orchards of Shatian pomelo with different

收稿日期: 2020-08-14

基金项目: 广西科技重大专项(桂科 AA17204077); 广西一流学科(地理学)建设项目; 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室系统基金项目(GTEU-KLOP-X1820, GTEU-KLOP-X1819)

作者简介: 彭玉娇(1991-), 女, 吉林松原人, 硕士, 助理研究员, 主要从事沙田柚品质研究。(E-mail) 1356346392@qq.com

通讯作者: 崔学宇, (E-mail) yaoyuan200452@163.com

tree ages were analyzed to provide theoretical basis for accurate fertilizing management in orchards of Shatian pomelo. 12 Shatian pomelo orchards with different tree ages were selected in Rong County of Yuling City in Guangxi Zhuang Autonomous Region to determine the soil fertility indices and leaf nutrients contents in orchards of Shatian pomelo. Meanwhile, high-throughput sequencing technique was adopted to sequence the soil bacterial com-

munity. The results showed that, soils of 12 orchards were acidic, pH value, organic matter content and soil total N content increased with the increasing of tree ages. There were no significant differences in available Mg content, available S content and available B content between soils of Shatian pomelo orchards with different tree ages. The contents of total K and interchangeable Ca were the highest in orchards with the tree age of more than 21 years. There was no significant difference in leaf N content between Shatian pomelo trees with different ages. The contents of P, K and S in leaves of Shatian pomelo were the highest in the group with the tree ages of five to ten years, the content of Ca in leaves of Shatian pomelo was the highest in the group with more than 21 years tree age, and the contents of Mg and B in leaves of Shatian pomelo were the highest in the group with 11–15 years tree age. A total of 15 903 operational taxonomic units (OTUs) were obtained in this study, including at least 31 phyla, 42 classes, 101 orders, 180 families, 347 genera and 222 species of bacteria in soils of Shatian pomelo orchards. Proteobacteria, Actinobacteria and Chloroflexi were the dominant phyla at the phylum level. With the increase of cultivation time of Shatian pomelo, the relative abundance of Actinobacteria increased persistently, while the relative abundance of Acidobacteria and Verrucomicrobia continued to decrease. The soil fertility of Shatian pomelo orchards changed with the tree ages obviously. Therefore, the bacterial community structure of Shatian pomelo orchards was changed by tree ages and soil factors.

Key words: *Citrus grandis* var. *shatinyu*; tree-age; soil; leaf nutrient; high throughput sequencing

沙田柚 (*Citrus grandis* var. *shatinyu*) 原产于广西容县, 是中国传统的栽培名柚^[1], 2004 年, 国家质检总局批准了容县对沙田柚原产地的地域保护申请。由于沙田柚种植有较高的经济效益, 因而沙田柚种植业得到了容县政府的大力推广, 容县政府网站上的相关数据显示, 截至 2019 年, 容县沙田柚栽培面积超过 14 000 hm², 产量达到 2.2×10⁵ t, 产值超过 1.8×10⁹ 元, 是容县农民重要的收入来源。由于容县政府对沙田柚种植的大力支持, 对于 0.33 hm² 连片的果园给予一定的补贴, 近年来沙田柚种植面积迅速增加。在这一背景下, 如何“提质增效”是沙田柚种植的关键问题。种植多年生果树的土壤普遍存在退化的问题^[2], 在果树管理上, 农户经常施用的肥料中氮、磷含量普遍较高, 中微量元素施用量不足^[3]。合理的果园施肥管理对于维持果园土壤健康和提高果实品质有重要作用^[4]。由于果树有种植年限过长的特点, 土壤细菌和果树之间的相互作用造成果树栽培微生态改变, 会导致果园地力衰退^[5], 因此有必要对沙田柚种植土壤进行调查, 从而为解决沙田柚果园施肥的合理化提供理论和数据支持。

研究发现, 果树树龄影响着果园的土壤养分和叶片营养^[6-7], 对琯溪蜜柚果园的研究发现, 土壤肥力随树龄增长的变化明显, 不同元素含量在不同树龄叶片中不同^[2]。对库尔勒香梨果园的研究发现, 不同树龄果园土壤有不同的营养状态, 因此推荐的施肥量不同^[8]。对葡萄果园的研究发现, 树龄同样

影响着果园可利用的土壤营养元素含量^[9]。对宁夏枸杞、香榧的研究发现, 种植年限影响了土壤细菌的群落结构^[5,10]。

目前, 容县沙田柚果园的土壤养分状况仍然未知, 土壤养分、叶片营养及土壤细菌群落和沙田柚果树树龄的关系并不清晰。因此, 本研究通过测定不同树龄沙田柚果园土壤肥力、叶片营养和土壤细菌多样性, 以期对沙田柚果园精细管理和精准施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2019 年 12 月初, 于沙田柚收获后且未施冬肥前, 在广西壮族自治区容县沙田柚种植核心区域自良镇“沙田柚王国”范围内选择不同树龄 (5~10 年、11~15 年、16~20 年、21 年及以上, 分别用 A、B、C、D 表示) 的果树园 12 个, 每个果园选择长势均一的沙田柚果树, 采集土壤及果树叶片样本, 每个果园选 3 株果树, 取样区域基本涵盖容县沙田柚栽培核心区域。

1.2 样本采集

1.2.1 土壤样本的采集 在选取的沙田柚果树树冠范围内, 采集远离施肥点的样本 (沙田柚 11 月初收获, 收获前未施肥, 即本研究所选果园在 2 个月内均未施肥), 去除表面杂物后, 每株果树沿“S”形路线取 5 个点, 采集深度为 0~30 cm, 3 株果树合计采集 15 个点的样本, 将 15 个点的样本充分混合后作

为 1 个样本,等量分为 4 份备用。

1.2.2 叶片样本的采集 在采集土壤样本的同时采集叶片样本,按照东、南、西、北方向取营养枝条上第 3 张大小均一、无病虫害的叶片,每株果树采集 20 张叶片,每个果园共采集 3 株果树的 60 张叶片作为 1 个样本备用。

1.3 测定项目和方法

委托上海齐一生物科技有限公司完成土壤及叶片相关指标的测定。所有土壤指标检测均参照中华人民共和国农业行业标准《土壤检测》(2006)完成,其中 pH 值的检测方法参照 NY/T1121.2-2006《土壤检测 第 2 部分:土壤 pH 值的测定》,有机质含量的检测方法参照 NY/T1121.6-2006《土壤检测 第 6 部分:土壤有机质的测定》,交换性钙、镁含量的检测方法参照 NY/T1121.13-2006《土壤检测 第 13 部分:土壤交换性钙和镁的测定》,有效硼含量的检测方法参照 NY/T1121.8-2006《土壤检测 第 8 部分:土壤有效硼的测定》,全磷含量的检测方法参照 NY/T88-1988《土壤全磷测定法》,全钾含量的检测方法参照 LY/T1234-2015《森林土壤钾的测定》。沙田柚叶片的检测方法参照 NT/T 2017-2011《植物中氮、磷、钾的测定》及 LY/T 1270-1999《森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定》,土壤细菌 16S rDNA 的 V4 区域的高通量测序委托北京诺禾致源科技股份有限公司完成。

1.4 数据处理方法

用 Excel 2007 录入基础数据,用 SPSS 23 软件进行计算。

2 结果与分析

2.1 不同树龄沙田柚果园土壤肥力的差异

由表 1 可知,12 个沙田柚果园的 pH 值为 3.42~

6.45,平均值为 5.03,所有果园均呈酸性,有机质含量为 17.60~48.80 g/kg,平均值为 29.68 g/kg;随着沙田柚果树树龄的增加,土壤 pH 值、土壤有机质含量有增加的趋势。

由表 2 可知,12 个沙田柚果园土壤中全氮含量为 1.14~2.33 g/kg,平均值为 1.88 g/kg,土壤中全氮含量随着树龄的增加而增加;土壤中全磷含量为 0.05~0.44 g/kg,平均值为 0.17 g/kg,在树龄为 16~20 年的沙田柚果园土壤中全磷最低;土壤中全钾含量为 5.32~20.30 g/kg,平均值为 13.97 g/kg。沙田柚果园土壤中交换性钙、有效镁含量随着果园种植年限的增加而增加,各树龄沙田柚果园土壤中有效镁、有效硫、有效硼含量差异没有达到显著水平。各树龄沙田柚果园土壤中交换性钙含量为 0.30~2.55 g/kg,平均值为 1.35 g/kg;各树龄沙田柚果园土壤中有效镁含量为 0.19~0.37 g/kg,平均值为 0.28 g/kg;各树龄沙田柚果园土壤中有效硫含量为 0.035~0.089 g/kg,平均值为 0.070 g/kg;各树龄沙田柚果园土壤中有效硼含量为 0.31~2.57 mg/kg,平均值为 0.99 mg/kg。

表 1 沙田柚果园土壤 pH 值及有机质含量

Table 1 Soil pH value and organic content in Shatian pomelo orchards

树龄(年)	pH 值	有机质含量(g/kg)
5~10	3.97±0.47c	19.93±1.38c
11~15	4.72±0.24bc	23.07±3.23c
16~20	5.61±0.14ab	32.50±1.87b
≥21	5.83±0.41a	43.23±2.78a
平均值	5.03±0.27	29.68±2.92

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 沙田柚果园土壤中各元素的含量

Table 2 Soil nutrient contents in Shatian pomelo orchards

树龄(年)	全氮含量(g/kg)	全磷含量(g/kg)	全钾含量(g/kg)	交换性钙含量(g/kg)	有效镁含量(g/kg)	有效硫含量(g/kg)	有效硼含量(mg/kg)
5~10	1.56±0.21b	0.16±0.06a	8.22±1.45c	0.57±0.24c	0.24±0.04a	0.071±0.008a	0.93±0.53a
11~15	1.73±0.06b	0.17±0.06a	15.93±0.19ab	0.80±0.25c	0.26±0.02a	0.067±0.019a	1.23±0.66a
16~20	2.11±0.07a	0.11±0.01b	13.70±2.23b	1.67±0.14b	0.30±0.05a	0.074±0.021a	0.90±0.11a
≥21	2.13±0.10a	0.23±0.08a	18.03±1.16a	2.37±0.14a	0.31±0.03a	0.067±0.016a	0.88±0.15a

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同树龄沙田柚叶片营养元素含量的差异

由表 3 可以看出,沙田柚叶片氮含量为1.95%~3.04%,平均值为 2.38%;叶片磷含量为0.07%~0.15%,平均值为 0.11%;叶片钾含量为1.01%~2.26%,平均值为 1.63%。叶片氮含量在不同树龄沙田柚之间的差异没有达到显著水平,叶片磷含量整体上随着种植年限的增加而降低,叶片钾含量在树龄为16~20 年的沙田柚中最低。沙田柚叶片钙含

量为20.40~62.00 g/kg,平均值为 42.57 g/kg,且叶片钙含量随着树龄的增加而增加;沙田柚叶片镁含量为1.55~4.15 g/kg,平均值为 2.74 g/kg,其中11~15 年树龄沙田柚的叶片镁含量最高;沙田柚叶片硫含量为3.55~7.05 g/kg,平均值为 4.71 g/kg,大致随着树龄的增加而下降;沙田柚叶片硼含量为41.40~173.00 mg/kg,平均值为 104.63 mg/kg。

表 3 沙田柚叶片中的大量、中量元素含量

Table 3 Major elements and medium elements contents in leaves of Shatian pomelo

树龄(年)	氮含量 (%)	磷含量 (%)	钾含量 (%)	钙含量 (g/kg)	镁含量 (g/kg)	硫含量 (g/kg)	硼含量 (mg/kg)
5~10	2.40±0.33a	0.13±0.009a	1.97±0.22a	30.70±3.34b	2.29±0.50b	5.38±0.34a	73.97±16.62b
11~15	2.35±0.18a	0.11±0.003ab	1.61±0.26a	43.07±3.01a	3.19±0.37a	5.12±0.36a	127.83±28.45a
16~20	2.30±0.10a	0.11±0.007ab	1.30±0.29b	46.43±6.67a	2.91±0.34a	4.13±0.35b	111.73±13.54a
≥21	2.46±0.13a	0.09±0.010b	1.61±0.19a	50.07±9.01a	2.55±0.55b	4.22±0.47b	104.97±17.49a

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同树龄沙田柚果园土壤细菌群落多样性的差异

本研究共获得965 720条序列,其中有效序列数907 625条,有效序列数量占比为 93.98%。获得的碱基数合计为366 083 764 nt,平均 G+C 含量为56.84%,所有样本的操作分类单元(OTUs)数合计为15 903个,这些 OTUs 至少涵盖 31 个门、42 个纲、

101 个目、180 个科、347 个属、222 个种。不同树龄沙田柚果园土壤的细菌 α 多样性指数见表 4,可以看出,细菌物种覆盖率均≥98.5%,证明本研究的测序量可准确反映不同样本的细菌多样性,土壤细菌的物种数、群落丰富度指数和物种丰富度指数均以16~20 年树龄的沙田柚果园土壤最高。

表 3 沙田柚果园土壤细菌的 α 多样性指数

Table 3 α diversity indices of the soil bacteria in orchards of Shatian pomelo

树龄 (年)	物种数 (个)	菌群多样性指数 (Shannon 指数)	辛普森指数 (Simpson 指数)	群落丰富度指数 (chao 1)	物种丰富度指数 (ACE)	覆盖率 (%)
5~10	1 064	7.764	0.978	1 279.666	1 274.560	98.6
11~15	1 181	8.232	0.988	1 397.195	1 401.629	98.5
16~20	1 335	8.835	0.995	1 509.459	1 502.601	98.7
≥21	1 059	8.322	0.991	1 218.686	1 217.363	98.8

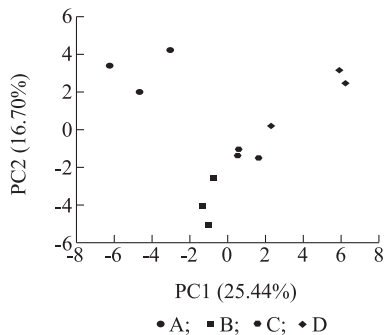
2.4 不同树龄沙田柚果园土壤细菌群落结构的差异

基于 OTUs 水平的主成分分析(PCA)结果见图 1,其中 PC1、PC2 共解释了 42.14%的变量,不同树龄的 4 组样本分别处于不同象限中,证明种植年限显著改变了土壤细菌的群落结构。

2.5 不同树龄沙田柚果园土壤的细菌群落组成

由图 2 可以看出,在土壤细菌门分类水平上,相对丰度排名前 10 的类群分别是变形菌门(Pro-

teobacteria)(相对丰度为29.72%~43.12%)、放线菌门(Actinobacteria)(相对丰度为12.18%~26.43%)、绿弯菌门(Chloroflexi)(相对丰度为8.43%~21.22%)、酸杆菌门(Acidobacteria)(相对丰度为8.10%~16.85%)、拟杆菌门(Bacteroidetes)(相对丰度为1.86%~6.46%)、厚壁菌门(Firmicutes)(相对丰度为1.93%~4.44%)、硝化螺旋菌门(Nitrospirae)(相对丰度为0.91%~2.51%)、芽单胞菌门(Gemmatimonadetes)(相对丰度为1.42%~3.98%)、Latesci-

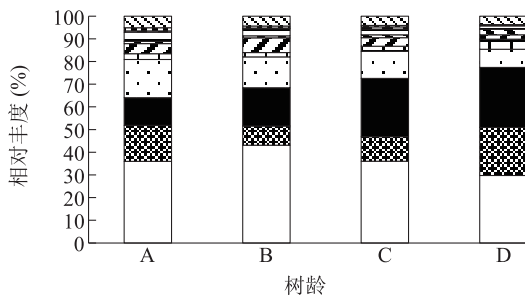


A: 5~10 年树龄; B: 11~15 年树龄; C: 16~20 年树龄; D: ≥21 年树龄。

图 1 沙田柚果园土壤细菌群落结构的主成分分析结果

Fig.1 Principal component analysis results of soil bacterial community structure in orchards of Shatian pomelo

bacteria(暂无中文名)(相对丰度为0.28%~1.00%) 和疣微菌门(Verrucomicrobia)(相对丰度为0.04%~1.40%)。其中变形菌门、放线菌门和绿弯菌门是优势菌门,这3个菌门的相对丰度之和为64.06%~77.39%。对相对丰度排名前10的菌门进行具体分析发现,随着沙田柚栽培时间的增加,放线菌门的相对丰度持续提高,酸杆菌门、疣微菌门的相对丰度持续降低。



□ 变形菌门; ■ 绿弯菌门; ■ 放线菌门; □ 酸杆菌门; □ 厚壁菌门; ■ 拟杆菌门; ■ 硝化螺旋菌门; □ 芽单胞菌门; ■ Latescibacteria; ■ 疣微菌门; ■ 其他

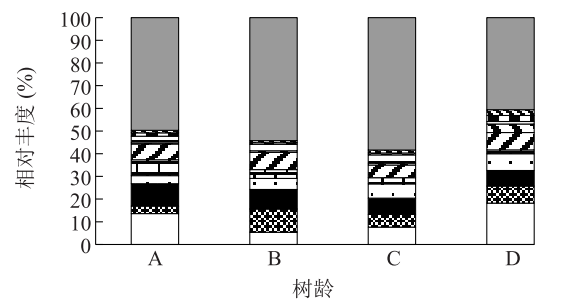
A: 5~10 年; B: 11~15 年; C: 16~20 年; D: ≥21 年。

图 2 不同树龄沙田柚果园土壤细菌在门分类水平的比较

Fig.2 Comparison of bacteria in orchards with different tree ages at phylum level

由图 3 可以看出,在土壤细菌目分类水平上,相对丰度排名前 10 的类群分别是纤维杆菌目(Ktedonobacterales)(相对丰度为5.37%~18.19%)、黄单胞菌目(Xanthomonadales)(相对丰度为3.27%~10.22%)、根瘤菌目(Rhizobiales)(相对丰度为

6.88%~9.87%)、弗兰克氏目(Frankiales)(相对丰度为3.60%~7.38%)、酸杆菌目(Acidobacteriales)(相对丰度为1.68%~7.01%)、未知的 α -变形菌(unidentified_alphaproteobacteria,未鉴定到目水平)(相对丰度为5.59%~7.62%)、棒状菌目(Corynebacteriales)(相对丰度为0.50%~3.76%)、黏球菌目(Myxococcales)(相对丰度为1.13%~2.89%)、梭菌目(Clostridiales)(相对丰度为0.72%~1.53%)和硝化螺旋菌目(Nitrospirales)(相对丰度为0.90%~2.52%)。随着栽培时间的增加,根瘤菌目、酸杆菌目的相对丰度持续降低,弗兰克氏目和棒状菌目的相对丰度持续提高。



□ 纤维杆菌目; ■ 黄单胞菌目; ■ 根瘤菌目; □ 弗兰克氏目; ■ 酸杆菌目; ■ 未知的 α -变形菌(未鉴定到目水平); □ 棒状菌目; ■ 黏球菌目; □ 梭菌目; ■ 硝化螺旋菌目; ■ 其他

A: 5~10 年; B: 11~15 年; C: 16~20 年; D: ≥21 年。

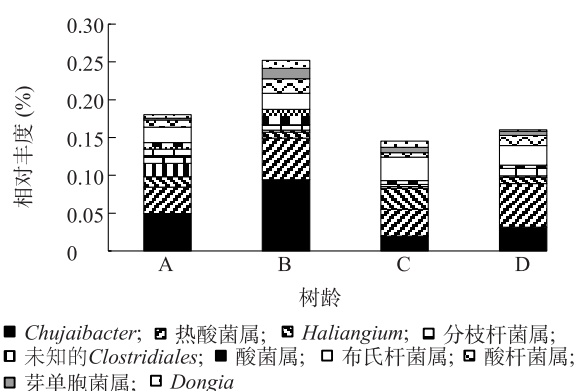
图 3 不同树龄沙田柚果园土壤细菌在目分类水平的比较

Fig.3 Comparison of bacteria in orchards with different tree ages at order level

对不同样本中的主要菌属(相对丰度>1%)进行分析,如图 4 所示,在土壤细菌属分类水平上,相对丰度排名前 10 的细菌类群,在树龄为 5~10 年的沙田柚果园土壤中主要有 7 个菌属,在树龄为 11~15 年的沙田柚果园土壤中主要有 8 个菌属,在树龄为 16~20 年的沙田柚果园土壤中主要有 6 个菌属,在树龄大于 21 年的沙田柚果园土壤中主要有 7 个菌属。有 3 个属的菌群在所有沙田柚果园土壤中均为主要菌属,这 3 个属分别是 *Chujaibacter*(暂无中文名)(相对丰度为1.97%~9.41%)、热酸菌属(*Acidothermus*)(相对丰度为3.47%~5.78%)和布氏杆菌属(*Bryobacter*)(相对丰度为2.02%~3.11%)。

3 讨论

本研究在广西壮族自治区玉林市容县沙田柚核



A: 5~10年; B: 11~15年; C: 16~20年; D: ≥21年。

图4 不同树龄沙田柚果园土壤细菌在属分类水平的比较

Fig.4 Comparison of bacteria in orchards with different tree ages at genus level

心种植区自良镇进行样品采集,并对沙田柚果园土壤养分进行了分析。有研究发现,pH值显著影响了作物对养分的利用^[11-12]。曹胜等^[13]研究发现,适合柑橘类水果生长的pH值为5.50~6.50,在本研究中,沙田柚栽培土壤的pH值均呈酸性,随着树龄的增加,土壤pH值呈现增大趋势,说明容县的果农对沙田柚的种植管理普遍存在有针对地改良土壤pH值的情况,可能是生产上施用石灰造成的。土壤有机质含量是衡量土壤养分的一个重要指标^[14-15],参考土壤养分标准^[2],容县沙田柚果园土壤有机质含量较高,产生这一结果的原因是容县政府大力推广有机肥替代化肥的项目,对果农有直接的肥料补贴。对容县沙田柚果园土壤的交换性钙、有效镁含量进行调查发现,交换性钙、有效镁含量同样随着种植年限的增加而增加,这一结果可能与前人大量报道土壤交换性钙、有效镁缺乏限制了柑橘品质的提升^[3,16]后果农近年来在施肥过程中更有意识地提高中微量元素肥料的用量有关。

叶片营养是树体营养的一个重要表现^[17]。在本研究中,果实采摘后不同树龄沙田柚果树叶片氮含量没有显著差异。低树龄沙田柚果树的叶片磷、钾含量最高,叶片钙、镁、硼含量最低,这一结果可能与不同树龄沙田柚根系吸收养分后的运输差异有关,高树龄果树木质部电导率的降低,使养分运输能力与低树龄果树间产生了差异^[18-19]。果树的叶片营养直接影响了果树的光合能力,进而影响果树的生长和果实品质^[20-23]。参照雷靖等^[2]关于柚类叶片营养的标准,本研究中沙田柚果树叶片氮、磷和

镁元素普遍缺乏,应在采摘后适当补充。

对沙田柚果园土壤细菌的研究发现,种植年限可以显著改变土壤细菌的群落结构。对土壤细菌多样性的分析发现,16~20年树龄沙田柚果园土壤中细菌多样性最高,而树龄高于20年的果园土壤中细菌多样性出现下降,但是该果园土壤有机质含量最丰富,因此应该采用深翻、加松土剂等方式对果园土壤进行恢复。低树龄果园土壤中细菌多样性同样低于其他树龄果园,对于这些果园,应该加强有机肥的施用,提高土壤养分含量。对沙田柚栽培土壤细菌群落组成的研究发现,变形菌门、放线菌门和绿弯菌门是沙田柚栽培土壤的优势菌门,这一结果与前人关于单一沙田柚果园土壤的研究结果类似^[24]。

4 结论

广西壮族自治区玉林市容县沙田柚果园土壤的整体pH值呈酸性,随着树龄的增加,pH值、有机质含量呈现增大趋势。容县沙田柚果园土壤主要养分含量随着树龄的增加整体呈现增大趋势,沙田柚果树叶片营养成分对沙田柚果园土壤肥力的反馈结果较为复杂,仍需进一步研究。不同树龄果园土壤的细菌群落结构和多样性存在差异,16~20年树龄果园土壤细菌多样性指数最高,变形菌门、放线菌门和绿弯菌门是沙田柚栽培土壤的优势菌门。此外,细菌门的丰富度受到土壤理化性质的影响。

参考文献:

- [1] 彭玉娇,崔学宇,崔婷婷,等. 不同大小沙田柚品质差异及其分子机理探究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 50-55.
- [2] 雷靖,孙冠利,庄木来,等. 琯溪蜜柚园土壤肥力和叶片营养随树龄的变化[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 166-172.
- [3] 李清华,王飞,何春梅,等. 平和琯溪蜜柚施肥现状调查分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(12): 2059-2064.
- [4] 木合塔尔·扎热,吴正保,马合木提·阿不来提,等. 不同树龄骏枣树养分吸收差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1141-1148.
- [5] 叶雯,李永春,喻卫武,等. 不同种植年限香榧根际土壤微生物多样性[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 2783-3792.
- [6] 张东,赵娟,韩明玉,等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析[J]. 园艺学报, 2014, 41(11): 2179-2187.
- [7] FERNANDEZ-MOYA J, MURILLO R, PORTUGUEZ E, et al. Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America [J]. Forest Systems, 2013, 22(1): 123-133.

- [8] 丁邦新,刘雪艳,何雪菲,等. ‘库尔勒香梨’园测土配方推荐施肥研究[J]. 果树学报,2019,36(8):1020-1028.
- [9] 赵 峥,褚长彬,周德平,等. 上海郊区不同树龄葡萄园土壤养分特征研究[J]. 果树学报, 2017,34(11):1435-1442.
- [10] 肖龙敏,唐 明,张好强. 不同种植年限宁夏枸杞根际微生物的群落多样性[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6):31-39, 163.
- [11] 黄雁飞,黄玉溢,陈桂芬,等. 广西主要火龙果园土壤养分调查及评价[J]. 西南农业学报, 2017,30(9):2035-2040.
- [12] 冷 虹,谭启玲,胡承孝. 椪柑品质因树龄的变化及其与叶片-土壤养分含量的关系[J]. 中国南方果树, 2016,45(2):16-22.
- [13] 曹 胜,欧阳梦云,周卫军,等. 湖南温州蜜柑果实矿质养分与土壤养分、pH 的多元分析与模拟[J]. 果树学报, 2019, 36(8):1029-1039.
- [14] KUNLANIT B, VITYAKON P, PUTTASO A, et al. Mechanisms controlling soil organic carbon composition pertaining to microbial decomposition of biochemically contrasting organic residues: evidence from midDRIFTS peak area analysis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 76(1):100-108.
- [15] QIU L P, WEI X R, MA T, et al. Effects of land-use change on soil organic carbon and nitrogen in density fractions and soil $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in semiarid grasslands[J]. Plant & Soil, 2015, 390(1/2):419-430.
- [16] 黄绿林. 平和县山地琯溪蜜柚果园土壤养分评价[J]. 中国南方果树, 2015,44(2):63-65.
- [17] 陈瑞国,彭 超,刘广路,等. 不同年龄慈竹养分地上空间分布特征及叶养分与土壤肥力关系[J]. 四川农业大学学报,2017, 35(3):353-358.
- [18] YUAN Z Y, CHEN H Y H. Fine root biomass, production, turnover rates, and nutrient contents in boreal forest ecosystems in relation to species, climate, fertility, and stand age: literature review and Meta-analyses[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2010, 29(4):204-221.
- [19] HUBBARD R M, BOND B J, RYAN M G. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees[J]. Tree Physiology, 1999, 19(3):165-172.
- [20] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,等. 库尔勒香梨叶片营养诊断研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(2):177-185.
- [21] 徐 超,王雪梅,陈波浪,等. 不同树龄库尔勒香梨叶片养分特征分析[J]. 经济林研究,2016,34(3):22-29.
- [22] 朱 婧,陈东晓,何天养,等. 生草栽培对赣南地区晚脐橙土壤微量元素及叶片营养吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2019, 47(20):172-176.
- [23] 黄秋凤,谢蜀豫,曹慕明,等. 夜间补光对巨峰葡萄春果叶片营养及果实品质的影响[J]. 南方农业学报,2019, 50(4):781-787.
- [24] 彭玉娇,崔学宇,谭梦超,等. 不同立地条件沙田柚果园土壤微生物多样性分析[J]. 南方农业学报,2020,51(5):1136-1144.

(责任编辑:徐 艳)