

肖杰,熊康宁,李开萍,等. 喀斯特石漠化治理区不同地形土壤养分与刺梨果实品质相关分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(14):143-147. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.033

# 喀斯特石漠化治理区不同地形土壤养分与刺梨果实品质相关分析

肖杰,熊康宁,李开萍,孙建,王进

(贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心,贵州贵阳 550001)

**摘要:**为揭示石漠化治理区种植刺梨地土壤养分水平与刺梨果实品质间的关系,以中国南方喀斯特石漠化治理区刺梨种植地和其果实为研究对象,研究石漠化治理区不同地形区刺梨种植地土壤养分水平与果实品质的差异性,探讨刺梨种植地土壤养分水平与刺梨果实品质的相关性,并以冗余分析进行土壤养分水平与果实品质的排序。结果表明:石漠化治理区的土壤养分水平、刺梨单果质量、SOD活性在溶蚀洼地、侵蚀洼地和山地坡面具有显著差异( $P < 0.05$ );相关性分析表明总体上存在弱相关,个别土壤养分因子与刺梨果实品质有显著相关关系( $P < 0.05$ );冗余分析排序表明,土壤的全磷、碱解氮和速效磷含量为溶蚀洼地刺梨果实品质的重要影响因子;土壤pH值、全磷含量、全钾含量、有机质含量、碱解氮含量和速效钾含量在侵蚀台地区中可能对刺梨果实维生素C含量和单果质量有影响,山地坡面种植区土壤全氮含量、碱解氮含量、pH值、速效磷含量为影响刺梨果实品质的重要因子。

**关键词:**喀斯特地区;刺梨;土壤养分;果实品质;冗余排序分析;石漠化治理

**中图分类号:**S156 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)14-0143-05

刺梨(*Rosa roxburghii*)学名为缙丝花,属蔷薇科多年生落叶小灌木类果树。其果实近闻有独特香味,品尝时口感酸甜微涩,果实内营养含量丰富,尤其是维生素C含量超过苹果(*Malus pumila*)、葡萄(*Vitis vinifera*)、猕猴桃(*Actinidia chinensis*)等水果的含量,刺梨果实内超氧化物歧化酶(SOD)活性高,具有可利用的经济价值。此外,因刺梨根系浅且发达、喜阳耐旱、较耐寒等优点,被作为石漠化治理区优先选用坡面防治水土流失作用的植物篱树种,从而达到兼顾经济效益和生态效益的经济生态果树,具有广阔的开发利用前景<sup>[1]</sup>。在喀斯特地区,受人为不合理的改造自然因素作用下,植被遭受破坏引起演替等级倒退,地上地下水土发生流失、漏失呈现出碳酸盐岩大片裸露的石质荒漠化现象<sup>[2-3]</sup>,从而使得土壤层较薄、土壤沙粒化、有机质等土壤养分含量减少和土壤微生物多样性降低<sup>[4]</sup>。目前,石漠化治理区多以小流域尺度划分进行综合治理,其中采取以刺梨搭配其他品种果树、农作物的混农林修复手段运用于潜在-轻度石漠化区域,达到巩固水土、促进植被演替进度、农户增加收益的目的。近年来,当地农户为达到良好的经济效益,盲目扩充刺梨的种植规模,这一举措不但忽视对刺梨种植区土壤养分水平的提升和果实品质的优化,而且易引发刺梨种植长远的经济收益和

生态效益的边际递减。

在田间管理和果树栽培中,广泛采用测土配方和果实品质分析诊断技术并取得了良好的反响。基于土壤养分水平与果树果实的品质和产量的分析,发现其存在显著相关性<sup>[5-6]</sup>。植物有机体的代谢和调节,果树生长发育、产量的形成以及果实品质的提高,受制于土壤中养分元素构成的作用<sup>[7]</sup>。正因为如此,在土壤养分贫瘠的石漠化治理区,探究不同地形区刺梨种植地根系层土壤养分因子与果实品质指标的关系,对指导石漠化治理区刺梨种植地合理施肥以及提升果实品质具有重要的现实意义。目前,国内果树工作者做了大量与土壤养分水平和果实品质定量分析的研究,对于苹果园土壤养分水平与苹果品质调控不明的问题,采用典型相关分析、回归分析和线性规划等方法,确定土壤营养成分最佳含量优化方案<sup>[8]</sup>;采取关联性分析研究发现,降低富含在果实中的氮元素,调控果实中P、K、Ca、Fe等元素能有效提高苹果果实品质<sup>[9]</sup>;果实质量除了与土壤养分水平有关之外,还与叶片营养元素的作用有关<sup>[10]</sup>;而国外的果树研究学者在对果树叶片营养和果实品质影响<sup>[11]</sup>、果实营养变化<sup>[12]</sup>、土壤养分水平对果实品质作用<sup>[13-14]</sup>等方面作了深入的研究,这些前人的研究为石漠化治理区刺梨种植地进行土壤改良和施肥优化提供了理论参考。

通过对生态脆弱性环境下的土壤养分状况及其影响生态经济林的果实品质进行研究,有助于认识该环境下土壤系统与植物间耦合作用关系及机理,进而更好地调控土壤肥力与果树生长的平衡供应关系。尽管目前喀斯特地区对刺梨种植地展开了土壤状况<sup>[14-15]</sup>、果实品质评价<sup>[16]</sup>、施肥配方对果树根际土壤作用<sup>[17-18]</sup>等研究较为深入,但涉及喀斯特石漠化治理区刺梨种植地土壤养分水平与果实品质的关系鲜见报道,这为亟待解决石漠化治理区刺梨种植地土壤肥力调控和优

收稿日期:2018-03-30

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0502607);贵州省研究生教育创新计划(编号:黔教研究全GZS字[2016]04号)。

作者简介:肖杰(1991—),男,贵州威宁人,硕士研究生,主要从事喀斯特石漠化土壤养分改良与评价研究。E-mail: mhxj47@163.com。

通信作者:熊康宁,教授,博士生导师,主要从事喀斯特地貌与洞穴、世界遗产申请与保护、石漠化生态治理研究。E-mail: xiongkn@163.com。

化、改善石漠化治理区刺梨果实品质具有应用价值。因此,研究选择中国南方喀斯特亚热带的贵州高原、毕节市撒拉溪朝营小流域潜在-轻度石漠化治理区为研究区,以治理区内不同地形区的刺梨种植地土壤和刺梨果实为研究对象,并对其土壤养分水平和果实品质等指标进行测定,分析刺梨种植地土壤养分水平与刺梨果实品质的关系,探究土壤养分水平对果实品质的影响,明确影响刺梨果实品质的主要土壤养分中矿质元素,为石漠化治理区刺梨种植地土壤养分改良和调控提供参考依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 研究区概况

选择喀斯特高原山地石漠化治理区毕节撒拉溪朝营小流域,该研究区位于贵州省西北部毕节市六冲河流域支流区内,片区内广泛种植天然保护林,以水土保持和石漠化防治为主。研究区地处东经 105°02′~105°08′、北纬 27°11′~27°16′,境内分布二叠系灰岩夹白云岩和砂页岩,为流域内岩石质地构造的主要代表。土壤为地带性黄壤,少部分分布黄棕壤和风化石灰土。年均温在 15℃左右,无霜期为 265 d,年降水量 1 284 mm。该地区潜在与轻度等级石漠化面积占石漠化总

面积的 53.17%,中度与强度等级石漠化面积占石漠化总面积的 11.66%,非石漠化面积占石漠化总面积的 35.17%。小流域内裸岩分布于较陡的坡地上,裸露部分较少且伴有残土覆盖。当地形成的植被类型主要以天然野生植被大白杜鹃(*Rhododendron decorum*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、金丝桃(*Hypericum monogynum*)等藤刺灌丛以及少有分布的青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)等乔木林为主,经济作物则以刺梨、核桃(*Juglans regia*)为主。

### 1.2 样地选取和果实采集

本研究于 2017 年 10 月刺梨果实成熟时进行,根据果树集中分布范围和立地类型进行划分和踏勘,共选择 3 种类型样区,分别是溶蚀洼地种植区、侵蚀台地种植区、山地坡面种植区,同时记录生境信息(表 1)。在每个不同类型的种植区内,根据果树种植实际情况选择 3~5 个样点,以 S 形取样法进行取样,距离果树树冠下 30 cm 处采集土壤,因石漠化地区土壤层较薄,采集的土样在 0~30 cm,将土样进行均匀混合为 1 kg,装入塑封袋内作编号记录;同时对刺梨果树上的挂果进行随机采集,果实质量达 1 kg,装入网袋放泡沫冷保温箱贮存,与采集的土壤样品一并使用载具运回国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心测定。

表 1 研究区 3 种类型样区生境信息

立地类型	海拔(m)	生境信息	伴生植被类型
溶蚀洼地种植区	1 745~1 753	少有裸岩裸露,环绕向低洼地段中心分布	窄叶火棘( <i>Pyracantha angustifolia</i> )、白三叶( <i>Trifolium repens</i> )、蒲公英( <i>Taraxacum mongolicum</i> )
侵蚀台地种植区	1 771~1 785	无裸岩裸露,实行间作种植	核桃、白三叶、金银花( <i>Lonicera japonica</i> )
山地坡面种植区	1 783~1 803	裸岩裸露较多,沿坡面进行种植	白三叶、火棘、黑麦草( <i>Lolium perenne</i> )

### 1.3 土壤养分水平与果实品质测定

将采集的土壤样品剔去石块、杂草等非土壤物质,粉碎过筛 0.149 mm,取得待测土壤样品。土壤养分水平的测定参考相关文献[19],其测定项目为:采用玻璃电极法测定土壤 pH 值,采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量,采用全自动凯氏定氮仪测定土壤全氮含量,采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定土壤全磷含量,使用氢氧化钠熔融-火焰光度计法分析土壤全钾含量,土壤碱解氮、土壤速效磷、土壤速效钾含量分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠浸提-紫外分光光度计法、乙酸铵浸提-火焰光度法;果实品质测定项目为:刺梨果实单果质量采用电子天秤称质量,维生素 C(VC)含量采用液相色谱仪测定<sup>[20]</sup>,总黄酮含量和 SOD 活性采取正交试验超声法<sup>[21-22]</sup>测定。

### 1.4 数据分析与处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,使用 SPSS 22.0

运算单因素方差分析和相关性分析,采用 R 语言 vegan 包进行排序分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种地形区中刺梨地土壤养分与果实品质差异性

表 2 显示,单果质量和 SOD 活性在 3 种地形区分别呈现显著差异( $P < 0.05$ )或极显著差异( $P < 0.01$ ),其单果质量以溶蚀洼地种植区最高(13.97 g/个),以山地坡面种植区最低(12.27 g/kg);SOD 活性以侵蚀台地地区最高,达到 2 487.75 U/g,最低在山地坡面种植区,为 2 321.78 U/g;而 3 种地形区刺梨种植地中的总黄酮和维生素 C 含量差异不显著( $P > 0.05$ )。反观刺梨果实中的单果质量和 SOD 活性,两者受到不同地形区的影响较大( $P < 0.05$ ),而对刺梨果实的总黄酮和维生素 C 含量的影响相对较小( $P > 0.05$ )。

由表 3 可知,溶蚀洼地种植区、侵蚀台地种植区与山地坡

表 2 刺梨果实品质含量指标均值与差异性

立地类型	单果质量(g/个)	总黄酮含量(mg/g)	维生素 C 含量(mg/g)	SOD 活性(U/g)
溶蚀洼地种植区	13.97 ± 2.15	93.86 ± 11.83	1 462.81 ± 271.15	2 444.19 ± 149.08
侵蚀台地种植区	13.13 ± 0.98	94.17 ± 13.31	1 391.00 ± 212.16	2 487.75 ± 119.92
山地坡面种植区	12.27 ± 1.61	95.50 ± 11.43	1 349.01 ± 276.29	2 321.78 ± 274.86
F 值	7.215 **	0.135	1.377	5.375 *

注: \* 表示为显著差异( $P < 0.05$ ), \*\* 表示为极显著差异( $P < 0.01$ ),表 3 同。

面种植区这3种立地类型区中土壤pH值分别为5.71、6.10、6.68,呈极显著差异( $P < 0.01$ );土壤全氮含量以溶蚀洼地种植区最高,达到1.78 mg/kg,以山地坡面种植区最低,达到1.32 mg/kg;土壤全磷含量以溶蚀洼地种植区最高(0.67 mg/kg),侵蚀台地种植区、山地坡面种植区较为接近,分别达到0.45、0.42 mg/kg;土壤全钾含量以侵蚀台地种植区最高(13.68 mg/kg),而以山地坡面种植区最低(6.79 mg/kg);土壤有机质含量在3种地形区中分别为38.49、30.01、17.60 mg/kg,以溶蚀洼地种植区最高、山地坡

面种植区最低;土壤碱解氮含量最高的在溶蚀洼地种植区(84.12 mg/kg),而最低的在山地坡面种植区(72.44 mg/kg);土壤速效磷含量以侵蚀台地种植区最高(26.83 mg/kg),溶蚀洼地种植区最低(15.40 mg/kg);土壤速效钾含量在3种地形区中分别为50.49、91.76、112.61 mg/kg。综上所述,3种地形区中的刺梨种植地均存在显著性差异,3种地形区中土壤养分分布具有异质性特征,并且受地形影响积累土壤养分明显。

表3 刺梨种植地土壤养分水平指标均值与差异性

立地类型	土壤 pH 值	土壤养分含量						
		全氮	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
溶蚀洼地种植区	5.71 ± 0.25	1.78 ± 0.30	0.67 ± 0.08	7.23 ± 1.36	38.49 ± 7.43	84.12 ± 16.87	15.40 ± 4.84	50.49 ± 5.51
侵蚀台地种植区	6.10 ± 0.22	1.65 ± 0.22	0.45 ± 0.16	13.68 ± 2.72	30.01 ± 3.44	79.75 ± 10.97	26.83 ± 8.34	91.76 ± 23.90
山地坡面种植区	6.68 ± 0.26	1.32 ± 0.20	0.42 ± 0.10	6.79 ± 2.36	17.60 ± 3.21	72.44 ± 6.07	20.31 ± 2.77	112.61 ± 5.74
F 值	106.839**	25.712**	77.945**	81.126**	115.595**	6.384*	26.482**	127.597**

## 2.2 不同刺梨种植地土壤养分与刺梨果实品质相关性分析

由表4可知,溶蚀洼地区的土壤速效钾含量与刺梨果实维生素C含量存有显著正相关关系( $P < 0.05$ ),溶蚀洼地区其他土壤养分指标与刺梨果实指标间相关关系在总体上呈现弱相关。在表5中侵蚀台地区土壤有机质含量与刺梨果实单果质量为显著负相关关系( $P < 0.05$ ),土壤速效钾含量与刺梨果实总黄酮含量为显著正相关关系( $P < 0.05$ ),土壤pH值与维生素C含量存在显著正相关关系( $P < 0.05$ ),土壤碱解氮含量与刺梨果实中维生素C含量、SOD活性呈显著负相关( $P < 0.05$ )。表6中相关性结果显示,山地坡面区中的土壤碱解氮含量与刺梨果实SOD活性存有显著负相关关系( $P < 0.05$ ),土壤速效磷含量与刺梨果实总黄酮含量存在显著正相关关系( $P < 0.05$ )。从总体上来说,大部分相关系数为弱相关,刺梨果实品质受土壤养分的影响较弱,可能是由于土壤养分不仅为刺梨植株其他功能器官提供养分生长,还间接影响刺梨果实品质。

表4 溶蚀洼地区土壤养分与刺梨果实品质相关性分析

土壤养分因子	与各品质的相关系数			
	单果质量	总黄酮含量	维生素C含量	SOD活性
土壤pH值	-0.107	-0.001	0.026	-0.109
土壤全氮含量	0.148	-0.300	0.053	-0.018
土壤全磷含量	-0.218	0.139	0.059	-0.072
土壤全钾含量	0.100	0.168	-0.202	0.150
土壤有机质含量	-0.004	-0.211	0.261	0.289
土壤碱解氮含量	0.310	-0.269	0.196	-0.076
土壤速效磷含量	-0.130	-0.096	0.291	0.083
土壤速效钾含量	0.004	-0.060	0.404*	0.130

注: \*表示为显著相关( $P < 0.05$ ), \*\*表示为极显著相关( $P < 0.001$ ),下同。

## 2.3 刺梨种植地土壤养分与刺梨果实品质的RDA排序分析

尽管刺梨果实品质与土壤养分水平的相关性较弱,为了进一步挖掘刺梨果实品质与土壤养分水平之间所蕴含的信息,对刺梨果实品质数据进行去趋势对应分析,以进行单峰或线性模型先行检验。分析结果表明,溶蚀洼地种植区、侵蚀台

表5 侵蚀台地区土壤养分与刺梨果实品质相关性分析

土壤养分因子	与各品质的相关系数			
	单果质量	总黄酮含量	维生素C含量	SOD活性
土壤pH值	-0.106	-0.037	0.394*	-0.026
土壤全氮含量	0.066	-0.093	0.000	-0.154
土壤全磷含量	-0.276	0.233	0.281	-0.294
土壤全钾含量	-0.173	-0.139	0.018	-0.119
土壤有机质含量	-0.415*	-0.025	0.334	-0.342
土壤碱解氮含量	0.126	0.129	-0.088*	-0.386*
土壤速效磷含量	-0.073	0.116	0.156	0.297
土壤速效钾含量	-0.149	0.470*	0.177	-0.141

表6 山地坡面区土壤养分与刺梨果实品质相关性分析

土壤养分因子	与各品质的相关系数			
	单果质量	总黄酮含量	维生素C含量	SOD活性
土壤pH值	0.031	0.072	-0.142	-0.121
土壤全氮含量	0.315	-0.118	0.090	0.264
土壤全磷含量	-0.146	0.183	-0.065	-0.124
土壤全钾含量	0.076	0.193	-0.200	0.238
土壤有机质含量	0.198	-0.302	-0.033	0.026
土壤碱解氮含量	-0.044	0.088	-0.289	-0.419*
土壤速效磷含量	0.110	0.471*	0.214	0.234
土壤速效钾含量	-0.305	0.271	0.207	-0.05

地种植区和山地坡面种植区这三类地形种植区的第一排序轴的长度分别为1.432、0.983、1.236,且均小于3,因此适合基于线性模型的冗余分析(RDA),并以此模型进行解释刺梨种植地土壤养分水平与果实品质的关系。RDA分析结果表明,溶蚀洼地种植区、侵蚀台地种植区和山地坡面种植区的土壤养分因子分别解释了87.41%、86.04%和82.14%的刺梨果实品质信息。

基于冗余排序分析中,箭头之间的夹角代表土壤养分因子间的相关程度,箭头的夹角越小,相关度越高,反之越低;箭头连线长度越长,代表土壤养分因子与刺梨果实品质的相关程度<sup>[23]</sup>。首先看溶蚀洼地种植区(图1-A),RDA1(横轴)

与土壤碱解氮含量呈正相关。刺梨果实 SOC 在 RDA1 的正轴,且与该轴保持平行,刺梨 SOD 与土壤碱解氮对应,受其作用影响较大。与此相反的是,土壤全磷含量和土壤速效钾含量为 RDA1 轴负相关,土壤全磷含量对刺梨果实品质总黄酮的积累有较高的相关性。RDA2(纵轴)中从上到下与 RDA2 排序轴的土壤 pH 值、土壤全氮含量、土壤全钾含量表现出正相关,土壤速效磷含量在下方与刺梨果实单果质量相对应,并受其作用影响较大。在侵蚀台地种植区(图 1-B)中,RDA1 与土壤 pH 值、土壤全磷含量、土壤全钾含量、土壤有机质含量、土壤碱解氮含量和土壤速效钾含量呈负相关,刺梨果实中单果质量和维生素 C 含量与土壤养分因子相对应。RDA2 从上往下看,土壤速效磷含量与刺梨果实 SOD 所在位置相

对应呈正相关,表明侵蚀台地种植区刺梨果实 SOD 活性受土壤速效磷含量影响,而土壤全氮含量与 RDA2 轴呈负相关,刺梨果实总黄酮含量在其中表现出相对的中立性,受其他土壤养分指标的影响较小。在山地坡面种植区(图 1-C)中,RDA1 排序轴从左至右表现为与 RDA1 轴负相关的为土壤碱解氮含量、土壤全磷含量,正相关的土壤养分指标为土壤有机质含量和土壤 pH 值,在 RDA1 轴上表现出土壤碱解氮含量与刺梨果实 SOD 活性有较高的相关性,土壤 pH 值与刺梨果实维生素 C 含量相对应,在 RDA2 轴中从上至下土壤速效磷含量与 RDA2 轴为正相关,与刺梨果实总黄酮含量相对应,而 RDA2 轴下方表现出土壤速效钾含量、全钾含量和全氮含量为负相关,其中土壤全氮含量与刺梨单果质量表现出较高的相关性。

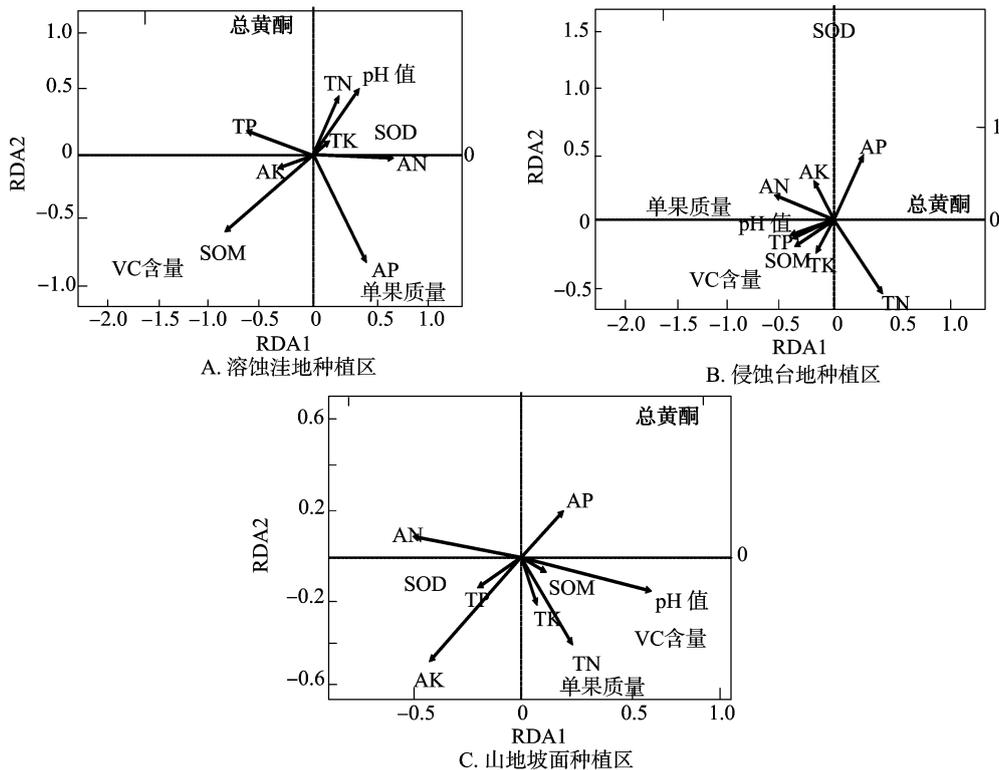


图1 不同地形区刺梨种植地土壤养分与果实品质排序

### 3 结论与讨论

石漠化治理区不同地形的刺梨种植地中,以溶蚀洼地种植区和侵蚀台地种植区的土壤养分水平和刺梨果实品质较高于山地坡面种植区,说明地形对刺梨种植地土壤养分水平和刺梨果实品质有着一定的影响。石质荒漠化是喀斯特系统特定条件下运行的产物,喀斯特作用下形成的溶蚀洼地、侵蚀台地等喀斯特地貌景观受人为不合理的干扰破坏原有生境,出现石质荒漠化。溶蚀洼地种植区一般为喀斯特地区特有的负地形,该地溶蚀洼地受褶皱地质构造条件影响,形成长条形状,降雨容易形成坡面流,挟带凋落物和泥沙沉淀于此<sup>[24]</sup>,可能是构成土壤养分积累的原因,加之地形较为封闭,受人为干扰小,为刺梨果实品质生长提供了良好的条件;侵蚀台地种植区相较于溶蚀洼地种植区的地势较为开阔,较厚土层是当地发展混农林业间作的主要利用地,刺梨种植一般以单作或与核桃间作为主,该地形还是当地羊群放养集散地,放牧强度同

样干扰土壤形状并间接干扰土壤养分水平变化<sup>[25]</sup>,进而影响刺梨生长和果实质量;在山地坡面种植区,种植刺梨主要用于坡面防治水土流失<sup>[26]</sup>,依靠刺梨根系天然形成植物篱作用<sup>[27]</sup>,拦截和巩固裸岩附近泥土,其在该区种植的意义在于生态效益大于经济效益,但在一定条件下裸岩中的石坑易蓄积土壤养分<sup>[28]</sup>,对刺梨生长发育构成一定的影响。本试验研究刺梨地土壤养分水平中单因素方差分析,均表现受地形影响差异显著( $P < 0.001$ ),同样刺梨果实中单果质量和 SOD 活性也受到地形因素的显著影响( $P < 0.05$ ),这些结果支持了上述的解释。

经过相关性分析发现,3 种不同地形的刺梨种植地土壤养分水平与刺梨果实品质指标之间总体上存在弱相关,个别土壤养分因子与刺梨果实品质有显著相关关系。有关研究认为,这是由于土壤养分通过植物根系被吸收而运送到植株其他器官,间接影响植物果实品质<sup>[28-29]</sup>。本研究通过相关性分析发现,溶蚀洼地种植区的土壤碱解氮含量对刺梨果实维生

素 C 含量有影响;侵蚀台地种植区土壤有机质含量影响刺梨单果质量,这与有关研究结论<sup>[8]</sup>一致,土壤速效钾含量影响果实总黄酮含量、土壤 pH 值影响刺梨维生素 C 含量、土壤碱解氮影响刺梨果实维生素 C 含量和 SOD 活性;在山地坡面种植区中,土壤碱解氮含量影响刺梨果实 SOD 活性,而土壤速效磷含量影响刺梨果实总黄酮含量。但本研究仍未引入刺梨叶片营养加以分析,其叶片营养元素在很大程度上反映树体对土壤养分的吸收和利用,引入叶片营养的分析有助于更全面了解叶片营养对果实品质的影响,有待下一步研究继续深入。

为进一步挖掘刺梨种植地土壤养分水平与刺梨果实品质之间的关系,采用冗余分析方法加以定量化表述刺梨地土壤养分水平与刺梨果实品质之间的关系。不同地形种植区的刺梨土壤养分水平与果实品质 RDA 分析表明,溶蚀洼地种植区的土壤全磷、碱解氮和速效磷含量可能是影响刺梨果实的重要因子;侵蚀台地种植区中土壤 pH 值及全磷、全钾、有机质、碱解氮、速效钾含量共同影响刺梨果实维生素 C 含量和单果质量,表明上述土壤养分因子可能对刺梨果实维生素 C 含量和单果质量有较大的影响;山地坡面种植区土壤全氮含量、碱解氮含量、pH 值、速效磷含量为影响刺梨果实品质的重要因子。综上所述,由于土壤养分异质性因素存在,表现出土壤养分水平对刺梨果实的影响在不同地形区具有不一致性。根据上述影响刺梨果实土壤养分因子可知,在果园管理中可尝试加强施肥管控。此外,本试验仅从石漠化土壤环境这一特殊角度研究土壤养分水平与刺梨果实因素,下一步研究应增加土壤微生物、矿质微量元素含量等指标加以探讨,有助于更全面反映土壤环境对刺梨果实品质的影响。

致谢:对参与野外采集土壤样品的曹洋、董晓超和谭桂华同学表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 敖芹,谷晓平,孟维亮. 贵州刺梨研究进展[J]. 耕作与栽培, 2010(6):1-3,7.
- [2] 熊康宁,李晋,龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. 地理学报,2012,67(7):878-888.
- [3] 彭旭东,戴全厚,李昌兰. 中国西南喀斯特坡地水土流失/漏失过程与机理研究进展[J]. 水土保持学报,2017,31(5):1-8.
- [4] 龙健,江新荣,邓启琼,等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [5] Fallahi E, Simons B R. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples[J]. Journal of Tree Fruit Production, 1996,1(1):15-25.
- [6] Chaudhary D R, Arup G S. Soil characteristics and mineral nutrient in wild jatropha population of India[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 25(9):1476-1485.
- [7] 哈地尔·依沙克,马合木提·阿不来提,木合塔尔·扎热,等. 骏枣果园土壤养分对果实品质的影响[J]. 西北林学院学报,2017, 32(6):140-144.
- [8] 张强,魏钦平,刘惠平,等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学,2011,44(8):1654-1661.
- [9] Zhang Q, Li X L, Li M J, et al. Correlation analysis between quality characteristics and fruit mineral element contents in 'Fuji' apples [J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 33(2):212-218.
- [10] 刘同祥,龚榜初,徐阳,等. '次郎'甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的多元分析及优化方案[J]. 林业科学研究,2017,30(5):812-822.
- [11] Sadowski A, Kepka M, Lenz F, et al. Effect of fruit load on leaf nutrient content of apple trees[J]. Acta Horticulturae, 1995(383):67-72.
- [12] Szucs E, Kallay T. Interaction of nutrient supply and crop load of apple trees[J]. International Journal of Horticultural Science, 2008, 14(1/2):33-35.
- [13] Neilsen D, Neilsen G. Nutritional effects on fruit quality for apple trees[J]. New York Fruit Quarterly, 2009, 17(3):21-24.
- [14] Reddy M, Moodley R, Jonnalagadda S B. Elemental uptake and distribution of nutrients in avocado mesocarp and the impact of soil quality[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186(7):4519-4529.
- [15] 杨皓,胡继伟,黄先飞,等. 喀斯特地区金刺梨种植基地土壤肥力研究[J]. 水土保持研究,2015,22(3):50-55.
- [16] 张珍明,张家春,贺红早,等. 喀斯特地区无籽刺梨产地土壤与植株的碳、氮和磷分布特征[J]. 西南农业学报,2016,29(3):618-622.
- [17] 李婕玲,胡继伟,李朝婵. 贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价[J]. 果树学报,2016,33(10):1259-1268.
- [18] 樊卫国,罗燕,吴素芳,等. 氮肥形态及配比对铁核桃根际环境与幼苗生长的影响[J]. 园艺学报,2014,41(3):437-446.
- [19] 罗燕,樊卫国. 不同施磷水平下4种柑橘砧木的根际土壤有机酸、微生物及酶活性[J]. 中国农业科学,2014,47(5):955-967.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000:30-106.
- [21] 王乐乐,安华明. HPLC测定刺梨果实中维生素C含量方法的优化[J]. 现代食品科技,2013,29(2):397-400.
- [22] 王振伟,申森,胡晓冰. 刺梨中黄酮的超声提取及HPLC测定[J]. 湖北农业科学,2014,53(19):4684-4687.
- [23] 王振伟,许镭. 超声波辅助提取刺梨中SOD的工艺研究[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2015,27(1):46-49.
- [24] 赖江山,米湘成. 基于Vegan软件包的生态学数据排序分析[C]//第九届全国生物多样性保护与持续利用研讨会. 厦门:国际生物多样性计划中国委员会,中国科学院生命科学与生物技术局,2010:332-343.
- [25] Zhang W, Chen H S, Wang K L, et al. The heterogeneity and its influencing factors of soil nutrients in peak-cluster depression areas of karst region[J]. Agricultural Sciences in China, 2007(3):322-329.
- [26] 鱼小军,景媛媛,段春华,等. 围栏与不同放牧强度对东祁连山高寒草甸植被和土壤的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(1):252-257,277.
- [27] 颜萍,熊康宁,檀迪,等. 喀斯特石漠化治理不同水土保持模式的生态效应研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2016,34(1):1-7,21.
- [28] Sheng M Y, Xiong K N, Wang L J, et al. Response of soil physical and chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst[J]. Carbonates and Evaporites, 2018, 33(1):15-28.
- [29] 白永超,卫旭芳,陈露,等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. 中国农业科学,2018, 51(1):170-181.