

· 热带作物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20230078



主持人: 徐 冉

# 基于因子-聚类分析的火龙果园土壤养分状况评价

王庆萱<sup>1</sup>, 阮云泽<sup>1</sup>, 赵鹏飞<sup>2</sup>

(1. 海南大学热带作物学院, 海口 570228; 2. 深圳诺普信农化股份有限公司, 广东 深圳 518102)

**摘要:** 为了解海南省火龙果产区土壤养分现状, 调查测定了 184 个土壤样品的营养成分水平, 通过单个营养指标等级评估和因子聚类方法进行全面评估。等级评价结果表明: 调研区域土壤酸化现象较严重, pH < 6.5 的酸性土壤占 72.82%, 土壤碱解氮含量普遍较低, 在调研的全部地块中, 碱解氮含量处于缺乏状态(碱解氮小于 0.01 mg·kg<sup>-1</sup>); 速效钾、全氮和有机碳在部分地块含量较低, 分别为 23.37%、23.37% 和 33.7%, 处于低及以下等级水平; 土壤速效磷含量最高, 处于中等及以上等级地块的比例占 100%。因子分析表明, 测定的 6 项养分指标可提取出 2 个公因子, 其中, 因子 1 和因子 2 表征的全氮、有机碳、速效钾、碱解氮、pH 是作为主要影响火龙果园土壤综合营养状况的因子。通过对土壤营养综合指数 IFI(Integrated fertility index)的聚类分析了解, 海南省火龙果园土壤 IFI 值范围为-0.904 ~ 1.405, 均值为-0.171, 其中仅有 41.3% 的土壤处于中等及以上肥力水平。乐东、东方、三亚、陵水这四个海南火龙果主要果园地区中, 东方和陵水的土壤 IFI 值有 80.33%、50% 的土壤处于低等肥力水平; 三亚地区有 61.9% 的土壤 IFI 值处于中等以上肥力水平; 整体来说, 海南省火龙果园大部分地区(除三亚外)土壤肥力状况处于中等以下水平。

**关键词:** 火龙果园; 土壤养分; 因子分析; 聚类分析

中图分类号: S158.2;S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054(2024)02-0150-07

王庆萱, 阮云泽, 赵鹏飞. 基于因子-聚类分析的火龙果园土壤养分状况评价 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(2): 150-156. doi: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20230078

土壤养分的评估是衡量其中养分含量的关键<sup>[1-3]</sup>。土壤养分的动态变化由于受到自然环境和人类活动的共同影响, 致使其平衡性受到影响, 作为人为对土壤养分后期投入的关键因素, 评估土壤养分便成了必要的前提工作。此外, 同时也为保证土壤可持续发展提供了支持。这种做法有助于将资源浪费和环境污染降低到最小。在农业科学上, 通过各种指数对土壤养分的丰度和肥力进行观察和测量的评估方法发挥着至关重要的作用。因此, 评估土壤养分对于提升环境平衡性和土壤可持续发展至关重要<sup>[4-5]</sup>。近年来, 国内外对土壤养分评价方法的探讨研究涌现出诸多方法, 包括国外主要采用的多变量指标克里格法<sup>[6]</sup>、土壤质量动力学方法<sup>[7]</sup>、土壤质量综合评分法<sup>[8]</sup>等, 以

及国内比较常用的灰色关联分析<sup>[9]</sup>、因子-聚类分析<sup>[10]</sup>、主成分分析法<sup>[11]</sup>、模糊综合评判法<sup>[12]</sup>等。特别是因子分析, 通过压缩维度来获取主要公共因素用来解释初始数据含义, 通过旋转因子轴等方法来增强公共因子对原始变量的解释能力<sup>[12-13]</sup>。火龙果作为新兴果树, 种植技术尚属初步阶段。果农在给火龙果施肥时, 往往会盲目效仿他人或根据自身的经验进行操作, 这可能会造成土壤养分的失衡。这种失衡会对火龙果的产量和质量产生严重影响。目前, 还未有学者对海南地区火龙果种植地的土壤养分以及养分充足程度进行评估, 且经过了一定时间间隔, 海南火龙果主产区土壤养分状况如何变化并不清楚<sup>[14]</sup>。因此, 笔者通过对 184 个火龙果基地土壤的碱解氮、有效磷、速效

收稿日期: 2023-06-03

修回日期: 2023-06-29

基金项目: 基于单一作物全产业链的本硕博一体化创新型人才培养暨科研攻关合作(RH2100002782)

第一作者: 王庆萱(1997-), 男, 海南大学热带作物学院 2019 级硕士研究生。E-mail: 811019951@qq.com

通信作者: 阮云泽(1974-), 女, 教授。研究方向: 土壤-微生物互作。E-mail: yunzeruan@163.com

钾、全氮、有机碳、pH 等 6 个指标进行因子-聚类分析与土壤养分等级评价,旨在为海南火龙果的高产优产提供基础数据和理论支持。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 研究区域为海南省东部和西部的火龙果主产区,该区域地处 108°48'20.201"E, 18°38'52.468"N; 108°44'56.724"E, 19°4'21.223"N。全年无霜冻,气候温和、温差小日照充足,年平均气温 24~25℃,年均降雨量约 1 100 mm,蒸发量约 2 000 mm,年均日照时数 8 h,干燥季节和多雨季节有显著差别,基本土壤种类为花岗岩发育而来的红色壤土<sup>[10]</sup>。以“S”型五点混合采样法,从每个测试点收集 0~20 cm 深度的土壤样本。3 个地

块被选为每个园区的样本区域。

**1.2 测定方法** 按照文献<sup>[15]</sup>的方法进行土壤化学检测:土壤 pH 通过水提取电势法(水与土的比例为 2.5:1.0)进行检测,碱解氮(AN)含量通过碱解扩散法检测,有效磷(AP)含量通过盐酸-氟化铵法检测,有效钾(AK)含量通过乙酸铵萃取-火焰光度计法测试,全氮(TN)用开式法测定,土壤有机碳(SOC)用重铬酸钾氧化-分光光度法测定。

**1.3 土壤养分等级评估** 结合全国第二次土壤普查的养分分级指导标准,结合早期研究对火龙果园养分评级的方法<sup>[16-17]</sup>,对被调查地区的单个养分指标进行普通等级评估。土壤养分分级标准详见表 1。

表 1 火龙果园划分土壤营养含量丰缺的标准

指标	极低	低	中等	高	极高
pH	<5.0	5.0~6.5	6.5~7.5	7.5~8.5	>8.5
AN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<50.0	50.0~100.0	100.0~150.0	150.0~200.0	>200.0
AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<5.0	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~40.0	>40.0
AK/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<50.0	50.0~100.0	100.0~150.0	150.0~250.0	>250.0
TN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<500	500~750	750~1500	1500~2000	>2000
SOC/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<2900	2900~8700	8700~14500	14500~26100	>26100

注: AN碱解氮; AP速效磷; AK速效钾; TN全氮; SOC有机碳,下同。

**1.4 因子分析** 利用因子分析判断评估土壤指标的旋转因子特征值和特征向量;然后依据因子组成的累计贡献率选出关键因子成分<sup>[18-20]</sup>。在此基础上,得到各因子成分的分值,并通过综合分数公式计算得出各检测点的土壤养分综合评估值(*IFI*)<sup>[21-25]</sup>。数据处理流程包括:(1)选择评价指标;(2)进行评价指标间的关联性分析;(3)对原始评价指标进行标准化处理;(4)对处理后的指标执行因子分析;(5)使用提取出的因子作为新指标,算出其相关 *IFI* 值。

$$IFI = \lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \dots + \lambda_m F_m, \quad (1)$$

式中,*IFI* 是指综合评分值, $\lambda$  代表相关因子的贡献率,*F* 是对应的因子。聚类分析是基于土壤养分综合评价 *IFI*,使用组内链接法对土壤样本进行集群分析,以评估其养分水平。

**1.5 数据处理** 原始数据整理和养分等级评价用

Excel 2007 软件,因子分析和集群分析用 SPSS 20.0 软件。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤养分状况** 从表 2 可以看出,海南省火龙果园土壤的平均 pH 值为 5.76,范围在 3.33~7.7 之间,变异系数为 16.49%,变异系数较小。土壤碱解氮、速效磷、速效钾的平均值分别为 28.58、154.3、176.19 mg·kg<sup>-1</sup>,变异系数都较大,分别为 32.09%、74.47%、62.92%。土壤全氮平均值为 1580 mg·kg<sup>-1</sup>,且变幅较大,变异系数达 68.35%;土壤有机碳平均值为 15300 mg·kg<sup>-1</sup>,变异系数极大,达到了 81.31%。

**2.2 土壤营养观测** 从表 1 和表 3 来看,调查的 184 个区域中有 72.82% 的土壤 pH 低于 6.5,强酸性土壤比例达到 25.54%。土壤速效磷含量最高,

表 2 对火龙果园土壤养分的描述性统计分析

土壤指标	极差	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%
pH	4.37	3.33	7.7	5.76	0.95	16.49
AN(mg·kg <sup>-1</sup> )	58.32	14.81	73.13	28.58	9.17	32.09
AP(mg·kg <sup>-1</sup> )	732.6	26.5	759.1	154.3	114.91	74.47
AK(mg·kg <sup>-1</sup> )	579.35	11.85	591.2	176.19	110.86	62.92
TN(mg·kg <sup>-1</sup> )	6600	200	6800	1580	1080	68.35
SOC(mg·kg <sup>-1</sup> )	63300	1100	64400	15300	12440	81.31

表 3 火龙果园地不同层次营养成分构成 %

指标	极低	低	中等	高	极高
pH	25.54	47.28	26.63	0.54	0
AN	96.74	3.26	0	0	0
AP	0	0	0	0	100
AK	7.61	15.76	26.09	28.8	21.74
TN	7.07	16.3	34.24	18.48	23.91
SOC	5.98	27.72	21.2	25.54	19.57

处于中等及以上等级(大于 10 mg·kg<sup>-1</sup>)地块比例占 100%;土壤全氮与速效钾含量处于中等偏上等级,其中土壤全氮含量大于 750 mg·kg<sup>-1</sup>的地块比例占 76.63%,土壤速效钾含量大于 100 mg·kg<sup>-1</sup>的地块比例占 76.63%;土壤有机碳含量比例较为均衡,中等以下(小于 8 700 mg·kg<sup>-1</sup>)的地块比例占 33.7%,中等等级(8 700 ~ 14 500 mg·kg<sup>-1</sup>)地块比例占 21.2%,中等以上(大于 14 500 mg·kg<sup>-1</sup>)比例占 45.11%;土壤碱解氮含量最低,有 96.74%的土壤碱解氮含量小于 50 mg·kg<sup>-1</sup>,表明多数地块的碱解氮含量处于较缺乏或更低水平。

**2.3 土壤养分进行因子分析的数据检验** 土壤指标之间有一定关联性,这是进行因子分析的关键依据<sup>[26]</sup>。在进行因子分析之前,有必要对各种土壤营养指标进行关联性评估。从表 4 可知,土壤有机碳与 pH、速效钾、全氮均呈极显著正相关性;土壤全氮与 pH 值、速效磷和速效钾呈显著正相关;与此同时,土壤中碱解氮与 pH 值、速效磷呈显著负相关。最具相关性的是土壤有机碳与全氮,关联系数为 0.939。这表明在所调查的火龙果园里,土壤营养标准之间存在一定程度的关联性,所有这些标准都适用于因子分析。通过 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)-巴特利球形度检验之后,原始数据

KMO 值为 0.529 大于 0.5,因子的贡献率相对较高,因此适用于因子分析;对球形检验的统计值为 472.498,与概率 sig 小于 0.05 相一致,这也表明数据适合进行因子分析。变量的共同度是指在原有变量信息中,公共因子提取的程度,它反映了公共因子对原始变量方差的贡献比例。本研究的平均变量共同度为 0.607,因此通过因子分析得出的结论相对准确可靠。

表 4 火龙果园土壤养分之间的关联性

指标	pH	AN	AP	AK	TN
AN	-0.002*				
AP	-0.173	-0.329**			
AK	0.126	0.092	-0.09		
TN	0.202**	-0.095	0.233**	0.291**	
SOC	0.218**	-0.017	0.136	0.268**	0.939**

**2.4 土壤营养成分因子分析** 在对上述相关分析的基础上,对测量到的 6 项指标进行因子分析。研究结果显示(表 5),具有特征值 ≥ 1 的公共因子

表 5 旋转因子载荷矩阵及累计贡献

项目	P1	P2
AN	0.011	0.704
AP	0.089	-0.825
AK	0.517	0.304
pH	0.415	0.334
TN	0.929	-0.248
SOC	0.929	-0.153
特征值	2.202	1.436
方差贡献率/%	36.7	23.937
累计方差贡献率/%	36.7	60.637

有 2 个, 它们的特征值分别是: 2.202、1.436, 其方差贡献率依次为 36.700%、23.937%。前 2 个公因子累计贡献率为 60.637%, 所以, 这 2 个公共因子可以用来替代原来的 6 个评价指标来进行全面的分析。

从表 5 中可以看出, 因子 1 在全氮、有机碳和速效钾 3 个指标上具有较高的负荷, 负荷值分别为 0.929、0.929 和 0.517, 表明第一因子主要表示全氮、有机碳和速效钾 3 个指标的信息; 因子 2 在碱解氮、速效钾和 pH 指标上具有较高的负荷, 因子负荷值分别为 0.704、0.304 和 0.334, 这表明因子 2 主要表示了土壤中的碱解氮含量。因子负荷值分别为 0.704、0.304 和 0.334, 这表明因子 2 主要表示了土壤中的碱解氮、速效钾、pH 的含量。

根据表 6, 可以将得出的特征向量和经过标准化的数据相乘, 从而得到因子得分的计算公式:

$$F_1=0.037z_1+0.004z_2+0.253z_3+0.207z_4+0.419z_5+$$

$$0.423z_6,$$

$$F_2=0.484z_1-0.563z_2+0.232z_3+0.248z_4-0.129z_5-0.063z_6,$$

式中:  $z_1 \sim z_6$  为标准化的 pH、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、有机碳。

接下来, 利用公式(1)来计算每个土壤样本的综合分数  $IFI$ 。在这个研究中, 具体的模型如下:

$$IFI=0.367F_1+0.239F_2, \quad (2)$$

**2.5 土壤营养成分聚类分析** 根据公式(2)来计算相应的  $IFI$  值。然后, 采用欧氏距离作为衡量土壤营养差异程度的依据, 并使用组间联接法对火龙果园土壤营养水平的亲疏相似度进行系统聚类, 从而将 184 个样本的  $IFI$  值划分为 3 个等级, 其中 I 级为:  $IFI$  值在 0.88 ~ 1.41, 属于高等肥力等级; II 级为  $IFI$  值在 0.04 ~ 0.75, 属于中等肥力等级; III 级为  $IFI$  值在 -0.9 ~ 0.01, 属于较低的肥力等级。文章等级的高低都是相对的。根据这种等级划分, 分别统计海南省调查的火龙果园土壤营养在各级别所占的比例, 从表 7 可知, 海南省 184 个火龙果土壤取样点中, 有 4.35%、36.96% 的土壤养分处于 I 级和 II 级, 有 58.7% 的土壤养分处于 III 级, 说明海南火龙果土壤肥力总体略差, 需要重点培肥。从表 7 还可看出, 海南火龙果分布较为集中的乐东、东方、三亚、陵水 4 个区域的土壤养分条件有所不同。根据综合得分, 从三亚采集的 21 个样点, 土壤养分综合得分相对较高, 其中

表 6 因子得分系统矩阵

项目	P1	P2
AN	0.037	0.484
AP	0.004	-0.563
AK	0.253	0.232
pH	0.207	0.248
TN	0.419	-0.129
SOC	0.423	-0.063

表 7 海南火龙果土壤肥力综合指标值及不同肥力等级土壤所占比例

取样点	样本数	变幅	平均值	标准差	不同土壤肥力所占比例/%		
					I	II	III
乐东	60	-0.66 ~ 1.41	0.07	0.44	6.67	45	48.33
东方	61	-0.9 ~ 0.88	-0.2	0.35	1.64	18.03	80.33
三亚	21	-0.42 ~ 1.16	0.26	0.41	9.52	52.38	38.1
陵水	12	-0.55 ~ 0.7	0.03	0.39	0	50	50
万宁	6	-0.37 ~ 0.58	0.33	0.33	0	83.33	16.67
琼海	6	-0.56 ~ -0.25	-0.395	0.13	0	0	100
澄迈	6	0.28 ~ 1.18	0.575	0.3	16.67	83.33	0
文昌	3	-0.35 ~ 0.18	-0.15	0.24	0	33.33	66.67
儋州	3	-0.2 ~ 0.19	-0.01	0.16	0	33.33	66.67
海口	3	-0.68 ~ -0.41	-0.5	0.12	0	0	100
临高	3	0.23 ~ 0.42	0.35	0.08	0	100	0

9.52%的土壤养分为Ⅰ级, 52.38%为Ⅱ级, 38.1%为Ⅲ级, 显示三亚地区火龙果土壤养分状况较好。与之相反, 东方采集的61个样点中, 土壤养分综合得分最低, 80.33%的土壤养分为Ⅲ级, 表明东方区域火龙果土壤养分状况较差。从乐东地区收集的60个样点中, 6.67%的土壤为Ⅰ级, 45%的土壤为Ⅱ级, 48.33%的土壤处于Ⅲ级状态。陵水的12个土壤样本中, 分别有50%和50%的土壤处于Ⅱ级、Ⅲ级状态, 表明乐东和陵水两地火龙果土壤养分状态处于中等状态。

### 3 讨论

通过因子分析和聚类分析, 将火龙果园中的6个土壤营养指标降维成2个综合指数。其中, 因子1主要反映了土壤全氮、有机碳和速效钾的含量, 贡献率为36.7%, 作为主要影响土壤向植物提供养分能力的因素。养分等级分析揭示了火龙果园土壤中这3种养分的缺失, 23.37%的地块速效钾、全氮含量不足, 33.7%的地块有机碳含量缺乏。火龙果园种植主要采取多年连作而施肥管理较为简单, 长期不使用或少使用有机肥, 导致有机质逐年减少<sup>[27]</sup>。尽管火龙果农户氮素投入量较大, 但仍存在土壤缺氮现象。由于氮在土壤中的转化和迁移能力强, 在潮湿高温强降雨的条件下, 地区土壤质为沙土, 多砾石, 大量氮元素随降雨而流失, 部分氮素经反硝化作用转化成损失至大气, 致使环境损害和资源浪费<sup>[28-32]</sup>。火龙果连续种植导致土壤酸度随时间增长而加剧<sup>[30]</sup>。调查结果表明, pH小于6.5的强酸性土壤占72.82%, 最低pH达到3.33。这种现象与该地区多年的连续种植有关。另外, 农户普遍过量使用复合肥和尿素, 大量氮肥输入导致铵态氮转化为硝酸盐, 释放出许多氢离子, 这些离子进一步导致土壤pH值降低<sup>[33]</sup>。

在对海南火龙果园土壤营养状况进行研究时, 笔者仅对土壤样品中的部分养分含量进行分析, 并没有涉及相应的施肥量与产量, 这导致无法全面地检验土壤养分、施肥量与产量之间的关系。此外, 未能详细考虑其他可能影响土壤肥力的物理、生物、环境等因素, 只能部分地解释海南火龙果园土壤养分的现状, 因此, 还需进一步地深入研究。

综上所述, 本研究结果表明, 海南火龙果园土

壤肥力状况包括: 土壤酸性严重, 碱解氮浓度偏低, 速效钾浓度中等偏低, 全氮和有机碳含量中等, 而磷含量较高。全氮、有机碳和速效钾是限制土壤肥力的主要指标。因此, 建议在海南省大部分火龙果种植区关注土壤酸化问题, 对酸性土壤采取合理的改良措施, 如使用石灰或土壤调理剂来提高土壤pH值, 并通过施用有机肥与氮、磷、钾化肥的配合, 保持和提高土壤pH水<sup>[34]</sup>。另外, 有针对性采取平衡施肥措施, 增加土壤有机物质量, 并根据各个地区的养分短缺情况调整氮、磷、钾肥输入比例。在氮肥不足的果园, 适当增加氮肥施用; 在磷含量高的果园, 减少或停用磷肥; 钾肥不足的果园, 适时补充钾肥。同时关注采用减肥增效关键技术, 保持土壤养分均衡, 加强病虫害预测预报, 指导种植户精准施药; 使用植物诱导免疫剂、生物农药、杀虫灯、诱虫色板、性诱剂、微生物菌剂等绿色高效产品; 控制除草剂和植物生长调节剂使用; 构建完善的耕地肥力监控体系, 对土壤的理化特性、养分状态等农田品质变化情况进行实时跟踪, 定期公开农田品质监测结果, 为科学施肥提供建议, 大力推广测土配方施肥, 发布主要作物施肥配方, 引导农户应用缓控释肥、作物专用肥、水溶肥料、微生物肥料等新型肥料产品<sup>[35]</sup>。坚持“减法”和“加法”相结合, 推进化学农药化肥减量, 打造绿色、生态海南农产品品牌, 提高农产品附加值和竞争力, 推动海南火龙果产业的持续健康发展。

### 参考文献:

- [1] 任艳芳, 何俊瑜, 张艳超, 等. 贵州省开阳茶园土壤养分状况与肥力质量评价[J]. 土壤, 2016, 48(4): 668-674.
- [2] 吕小娜, 庞凤, 李廷轩, 等. 四川省凉山州新植烟区土壤养分状况分析及综合评价[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 691-697.
- [3] 于寒青, 徐明岗, 吕家珑, 等. 长期施肥下红壤地区土壤熟化肥力评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1772-1778.
- [4] 张俊伶, 张江周, 申建波, 等. 土壤健康与农业绿色发展: 机遇与对策[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 783-796.
- [5] SMITH J L, HALVORSON J J, PAPENDICK R I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(3): 743-749.
- [6] 李鑫, 张文菊, 邬磊, 等. 土壤质量评价指标体系的构建及评价方法[J]. 中国农业科学, 2021, 54(14): 3043-

- 3056.
- [7] DORAN J W, PARKIN T B. Defining and assessing soil quality[M]// DORAN J W. Defining Soil Quality for A Sustainable Environment. Washington, D C: SSSA Spec. Pub, 1994: 3-21
- [8] 许瑶, 肖亨, 伍钧, 等. 基于灰色关联分析法的 Cd 污染土壤-植物系统安全生产评价[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(5): 1051 - 1059.
- [9] 徐帆, 蒋梦丹, 柴伟国, 等. 不同种源三叶青的农艺性状和品质性状的因子分析和聚类分析[J]. *浙江理工大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(3): 408 - 415.
- [10] 赵瑞芬, 程滨, 滑小赞, 等. 基于主成分分析的山西省核桃主产区土壤肥力评价[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(6): 61 - 68.
- [11] 吴小芳, 张振山, 范琼, 等. 海南省果园土壤肥力综合评价研究[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(7): 2109 - 2118.
- [12] VISCONTI F, DE PAZ J M, RUBIO J L. Principal component analysis of chemical properties of soil saturation extracts from an irrigated Mediterranean area: implications for calcite equilibrium in soil solutions[J]. *Geoderma*, 2009, 151(3/4): 407 - 416.
- [13] CHEN J, LU F, ZOU Y, et al. Evaluation of soil nutrients about typical economic forest lands of low hilly areas in eastern part of Zhejiang Province[J]. *Earth and Environmental Science*, 2017, 61: 1 - 6.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版.北京: 中国农业出版社, 2000:39-103.
- [15] 程玉, 徐敏, 熊睿, 等. 氮肥施用量对火龙果枝条生长及养分积累的影响[J]. *热带生物学报*, 2018, 9(4): 427 - 432.
- [16] 庞观胜, 谭施北, 吴浩, 等. 广东、广西和海南菠萝主产区土壤养分状况调查[J]. *广东农业科学*, 2013(18): 40 - 42.
- [17] 吴浩, 习金根. 海南省万宁市菠萝土壤养分状况比较研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(34): 16592 - 16646.
- [18] 杨文娜, 任嘉欣, 李忠意, 等. 主成分分析法和模糊综合评价法判断喀斯特土壤的肥力水平[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(6): 1307 - 1313.
- [19] 郭继阳, 张汉卿, 杨越, 等. 基于因子-聚类分析的菠萝园土壤养分状况评价[J]. *土壤通报*, 2019, 50(1): 137-143.
- [20] 柴冠群, 秦松, 范成五, 等. 贵州主要火龙果产地土壤肥力特征与评价[J]. *现代园艺*, 2018(17): 13 - 15.
- [21] 陈欢, 曹承富, 张存岭, 等. 基于主成分-聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(3): 610 - 617.
- [22] 殷冬梅, 张幸果, 王允, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 507 - 512.
- [23] 赵华富, 周国兰, 刘晓霞, 等. 贵州茶区土壤养分状况综合评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(3): 30 - 34.
- [24] 戴余波, 张丽萍, 李国明, 等. 热带作物耕地土壤养分分析及肥力评价[J]. *现代农业科技*, 2017(18): 155 - 157.
- [25] 殷红慧, 张家征, 徐天养, 等. 文山烟区主要植烟土壤养分综合评价与分析[J]. *云南农业大学学报*, 2014, 29(6): 888 - 895.
- [26] 江福英, 吴志丹, 尤志明, 等. 闽东地区茶园土壤养分肥力质量评价[J]. *福建农业学报*, 2012, 27(4): 379 - 384.
- [27] 宋勤飞, 牛素贞, 陈正武, 等. 基于主成分分析的花溪古茶树立地土壤养分评价[J]. *浙江农业学报*, 2017, 29(11): 1844 - 1853.
- [28] 陈明智. 菠萝园土壤肥力退化的调查[J]. *土壤肥料*, 2002(6): 29 - 31.
- [29] 周伟, 吕腾飞, 杨志平, 等. 氮肥种类及运筹技术调控土壤氮素损失的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(9): 3051 - 3058.
- [30] 刘汝亮, 王芳, 王开军, 等. 控释氮肥侧条施用对东北地区水稻产量和氮肥损失的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 252 - 256.
- [31] 王敬, 程谊, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响[J]. *土壤学报*, 2016, 53(2): 292 - 304.
- [32] 潘忠成, 袁溪, 李敏. 降雨强度和坡度对土壤氮素流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(1): 9 - 13.
- [33] 刘新宇, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 296 - 303.
- [34] 王蕊, 王百群, 王昊, 等. 长期施用氮磷肥对壤土钾素的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 53 - 58.
- [35] 杨丽娟, 李天来, 付时丰, 等. 长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 549 - 553.

## Soil nutrient evaluation of pitaya orchards based on factor and cluster analysis

WANG Qingxuan<sup>1</sup>, RUAN Yunze<sup>1</sup>, ZHAO Pengfei<sup>2</sup>

(1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228;

2. Shenzhen Novozymes Agrochemical Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518102, China)

**Abstract:** In order to investigate the current soil nutrient status of pitaya orchards in Hainan Province, 184 soil samples were collected and analyzed by using 6 soil nutrient indices. Their nutrient indices were graded each and then comprehensively evaluated based on factor and cluster analyses. The results showed that soil acidification was evident in most of the pitaya fields under survey, with 72.82% of the pitaya fields at pH < 4.5 and pH 5.0-6.5. The soil ammonium nitrogen content was generally low, less than 0.01 mg/kg in 100% of the total pitaya fields. The contents of available potassium, total nitrogen and organic carbon were low in some fields, 23.37%, 23.37% and 33.7%, respectively, which were at the low or below levels. The soil available phosphorus content was the highest, and the proportion of plots in medium grade and above accounted for 100%. Factor analysis showed that two common factors could be extracted from the six nutrient indexes measured, among which total nitrogen, organic carbon, available potassium, ammonium nitrogen and pH were listed in factors 1 and 2 that mainly affected the comprehensive soil nutrient status of pitaya orchards. Cluster analysis of the soil nutrient comprehensive index IFI showed that the soil IFI values of the pitaya orchards in Hainan Province ranged from -0.904 to 1.405 with an average value being -0.171, of which only 41.3% of the soil was at medium or above fertility levels. In Ledong, Dongfang, Sanya and Lingshui which were pitaya major producers, the soil IFI values were at low fertility level in 80.33% and 50% of the pitaya orchards in Dongfang and Lingshui, respectively. In Sanya, the soil IFI values were above medium fertility level in 61.9% of the pitaya orchards. Overall, the soil fertility status in most areas of the pitaya orchards in Hainan Province (except Sanya) was below the medium level.

**Keywords:** pitaya orchard; soil nutrient; factor analysis; cluster analysis

(责任编辑:潘学峰)