

文章编号: 1674-7054(2022)01-0036-06



# 基于主成分分析的海南橡胶园土壤化学肥力的评价

唐贤慧<sup>1,2</sup>, 郭澎涛<sup>2</sup>, 罗微<sup>2</sup>, 茶正早<sup>2</sup>, 杨红竹<sup>2</sup>,  
贝美容<sup>2</sup>, 刘锐金<sup>2</sup>, 何长辉<sup>2</sup>

(1. 海南大学 热带作物学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海口 571101)

**摘要:** 为了掌握海南岛橡胶园土壤肥力状况, 科学管理胶园, 以海南省主要植胶市县 144 份土壤样品的数据为基础数据, 采用主成分分析方法, 以 5 项因子(土壤 pH 值、有机质、全氮、速效磷和速效钾)为评价指标, 对胶园土壤化学肥力进行了评价与分析。结果表明: (1) 主要植胶市县土壤化学肥力综合得分 (IFI) 为 -9.08 ~ 16.79, 依据综合得分结合 ward 聚类法可将海南岛橡胶园土壤肥力划分为高 (IFI: 3.29 ~ 16.79)、中 (IFI: -1.8 ~ 2.74)、低 (IFI: -9.08 ~ -2.0) 3 个肥力水平; (2) 各市县橡胶园土壤化学肥力存在较大差异, 琼中县和琼海市肥力较高, 屯昌县和儋州市胶园土壤肥力处于中等水平, 临高县和澄迈县土壤化学肥力较低, 而白沙县胶园土壤肥力出现两级分化; (3) 土壤有机质和全氮是海南省橡胶园土壤化学肥力的主要限制因子, 其次为速效钾。

**关键词:** 橡胶园; 土壤肥力; 主成分分析

中图分类号: S 794.1; S 365 文献标志码: A

引用格式: 唐贤慧, 郭澎涛, 罗微, 等. 基于主成分分析的海南橡胶园土壤化学肥力的评价 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(1): 36-41. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.01.006

天然橡胶是重要的工业原料, 也是十分重要的战略物资, 特别在航空航天和军工业中发挥着不可替代的作用。天然橡胶主要来源于橡胶树, 而橡胶树是典型的资源约束性树种, 对生长环境具有很高的要求, 在我国主要分布于水热资源较好的海南、云南和广东<sup>[1-2]</sup>。海南岛是我国橡胶树的主要种植区, 种植面积占全国种植面积的一半。海南岛虽地处热带, 但橡胶树种植区仍然位于北纬 18° 以北, 属于非典型植胶区, 即植胶区环境并不非常适宜橡胶树的生长, 为此人为管理措施在保证天然橡胶稳产和高产方面发挥着极为重要的作用。为保障人为管理措施的合理实施首先必需掌握橡胶园的土壤肥力状况。我国自从 20 世纪 50 年代初期开始大规模植胶。为促进我国天然橡胶事业的发展, 从开始植胶至 20 世纪 90 年代, 研究人员<sup>[3-4]</sup>陆续开展了一些土壤肥力

评估工作。进入 21 世纪, 自 2006 年开始至 2012 年结束, 海南农垦依托“农业部测土配方施肥补贴项目”以及“海南垦区胶园土壤地力提升技术研发与示范推广”项目开展了橡胶园地力评价工作, 期间一些学者进行了橡胶园土壤肥力评估的研究<sup>[5-7]</sup>。如吴敏等<sup>[5]</sup>以土壤 pH、有机质、大量元素、微量元素和土壤酶为评价指标, 采用模糊数学方法对海南岛土壤肥力进行了评价, 发现海南岛橡胶园土壤肥力综合质量指数介于 0.30 ~ 0.66 之间, 土壤肥力属于中等偏下水平。唐群锋等<sup>[7]</sup>进一步以更加全面的评价指标体系(理化性状、立地条件、剖面性状、养分状况)结合特尔斐法、模糊数学理论和层次分析法对海南农垦花岗岩类多雨区的橡胶园土壤肥力进行了评价, 发现土壤有机质和有效磷含量已不能满足研究区橡胶树正常生长的需要。虽然前人已经在海南岛开展了一些较为完善

收稿日期: 2021-04-20

修回日期: 2021-12-02

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-34-GW-ZP2)

第一作者: 唐贤慧 (1996-), 女, 海南大学热带作物学院 2018 级硕士研究生. E-mail: 1126862782@qq.com

通信作者: 罗微 (1968-), 男, 研究员. 研究方向: 热带土壤与农业信息技术. E-mail: rkylw@163.com

的橡胶园土壤肥力评价研究,但这些研究至少是 7 年前开展的<sup>[8-9]</sup>, 他们的评价结果只能反映当时的土壤肥力状况<sup>[10-11]</sup>; 而且当时的土壤化学肥力随时间推移, 受到了施肥以及其他人为管理因素的影响, 已发生较明显的变化, 当年的土壤化学肥力与橡胶树当年的生长和产胶关系极为密切<sup>[12]</sup>。定期对橡胶园的土壤化学肥力进行评价, 可为橡胶树的合理施肥和科学管理提供可靠依据。主成分分析是一种对数据进行降维的多变量统计方法<sup>[13-14]</sup>。它利用正交变换方法将一组存在相关性的多个变量转化为少数几个可以反映原始全部变量绝大部分信息的综合变量(主成分), 这些转换后的综合变量之间互不相关, 但能够反映全部指标综合信息的综合指标, 使分析结果更加简明清晰且有说服力<sup>[15-16]</sup>。因此, 本研究利用主成分分析方法结合化学肥力指标对海南岛橡胶园进行肥力评价。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 海南橡胶主产区主要有 7 个市县(澄迈县、临高县、儋州市、屯昌县、琼海市、琼中县和白沙县), 各市县年平均气温、年平均降水量、成土母质及土壤类型等基本情况见表 1。

表 1 研究区海南各市县基本情况

市(县)	年平均气温/℃	年平均降水量/mm	成土母质	土壤类型
澄迈县	23.8	1786.1	花岗岩	砖红壤
临高县	23.5	1417.8	玄武岩	砖红壤
儋州市	23.2	1815.0	花岗岩	砖红壤
屯昌县	23.5	1960.0	花岗岩	砖红壤
琼海市	24.0	2042.6	花岗岩	砖红壤
琼中县	22.0	2445.0	花岗岩、砂质岩	砖红壤
白沙县	22.0	1725.0	花岗岩	砖红壤

**1.2 样品采集及化学分析** 从每个市县中挑选 1~3 个乡镇采集土壤样品(表 2), 每个镇选取 10~12 个胶园, 每个胶园按照“S”形选取 8 个采样点, 采集 0~20 cm 土层的土壤混合为 1 个土壤样品, 共采集 144 个土壤样品。

土壤样品采集完毕后送至实验室内自然风干, 研磨过筛(孔径 1 mm)。土壤 pH 采用电位法测定; 土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热

表 2 土壤样品分布信息

市(县)	采样乡镇	土壤样品数量/个
澄迈县	中兴镇、仁兴镇	12
临高县	和舍镇	12
儋州市	雅星镇、兰洋镇、和庆镇	36
屯昌县	南坤镇、新兴镇	12
琼海市	龙江镇、石壁镇	18
琼中县	黎母山镇、湾岭镇	18
白沙县	七坊镇、牙叉镇、打安镇	36

法测定; 土壤全氮采用半微量凯氏定氮仪蒸馏法测定; 土壤速效磷采用 HCL-NH<sub>4</sub>F 浸提钼蓝比色法测定; 土壤速效钾采用醋酸铵浸提火焰光度计法测定<sup>[17]</sup>。

**1.3 方法** 主成分分析评价方法对海南省主要植胶区的土壤肥力的主要评价<sup>[18-19]</sup>过程为: (1) 土壤肥力评价指标的确定; (2) 土壤化学肥力评价指标的标准化和协方差矩阵的建立; (3) 特征值、主成分贡献率和累计贡献率的计算以及主成分个数的确定; (4) 因子载荷矩阵的建立和主成分得分系数的计算; (5) 综合得分的计算和评价等级的确定<sup>[20]</sup>。

**1.3.1 土壤肥力评价指标的确定** 本研究选择土壤 pH、有机质全氮、速效磷和速效钾为评价指标(表 3)。

表 3 橡胶园土壤相关性分析

	pH	有机质	全氮	速效磷	速效钾
pH	1.000 0	-0.201 0*	-0.183 0*	0.057 3	-0.095 5
有机质		1.000 0	0.896 6**	-0.030 3	0.072 3
全氮			1.000 0	-0.040 8	0.097 1
速效磷				1.000 0	0.075 6
速效钾					1.000 0

注: \*表示显著性相关( $P < 0.05$ ); \*\*表示极显著性相关( $P < 0.01$ )。

**1.3.2 土壤化学肥力评价指标的标准化和协方差矩阵的建立** 为了消除各项指标之间在量纲化和数量级上的差别, 对指标数据进行标准化, 标准化公式为:

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

式中,  $x_i$  为原始数值,  $\bar{x}$  为原始值的平均值,  $s$  为原始

变量的标准偏差。根据标准化数据矩阵建立协方差矩阵  $R(R_{ij}=R_{ji})$ , 其可反映标准化变量之间相关关系密切程度,  $R$  值越大, 说明变量之间相关性越强, 其中,  $R_{ij}(i, j=1, 2, \dots, p)$  是原始变量  $X_i$  与  $X_j$  的相关系数。

**1.3.3 特征值、主成分贡献率和累计贡献率的计算以及主成分个数的确定** 利用 SAS 软件计算协方差矩阵  $R$  的特征向量(表 4)和特征值(表 5), 然后根据特征值计算每个主成分的贡献率以及累计贡献率。根据累积贡献率大于 85% 的原则<sup>[21]</sup>, 提取 4 个前成分。其中, 第一主成分贡献率为 40.11%; 第二主成分贡献率为 21.44%; 第三主成分贡献率为 19.71%; 第四主成分贡献率为 16.88%; 这 4 个主成分可以集中原始变量的 98.14%。

表 4 特征向量

	R1	R2	R3	R4	R5
1	-0.3889	-0.0595	0.69148	0.60583	0.00561
2	0.9493	-0.05997	0.20638	0.0342	0.22669
3	0.9486	-0.05086	0.20261	0.0728	-0.22631
4	-0.0755	0.74283	0.49435	-0.44508	-0.00362
5	0.1931	0.71553	-0.42402	0.52048	0.00713

表 6 因子载荷与主成分得分系数矩阵

项目	因子载荷				主成分得分系数			
	1	2	3	4	1	2	3	4
pH	-0.38892	-0.0595	0.6914	0.6058	-0.6156	-0.1284	1.5571	1.4759
有机质	0.94934	-0.0599	0.2063	0.0342	1.5027	-0.1294	0.4647	0.0833
全氮	0.9486	-0.0508	0.2026	0.0728	1.5016	-0.1098	0.4563	0.1774
速效磷	-0.0755	0.7428	0.4944	-0.4451	-0.1195	1.6031	1.1132	-1.0843
速效钾	0.1931	0.7155	-0.4240	0.5205	0.3056	1.5442	-0.9548	1.2680

**1.3.5 综合得分的计算和评价等级的确定** 根据主成分得分系数矩阵(表 6), 可得出每个主成分综合得分线性表达式:

$$F1 = -0.6156X_1 + 1.5027X_2 + 1.5016X_3 - 0.1195X_4 + 0.3056X_5;$$

$$F2 = -0.1284X_1 - 0.1294X_2 - 0.1098X_3 + 1.6031X_4 + 1.5442X_5;$$

$$F3 = 1.5571X_1 + 0.4647X_2 + 0.4563X_3 + 1.1132X_4 - 0.9548X_5;$$

$$F4 = 1.4759X_1 + 0.0833X_2 + 0.1774X_3 - 1.0843X_4 + 1.2680X_5;$$

表 5 各主成分的方差贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	1.9953	39.91%	39.91%
2	1.0735	21.47%	61.38%
3	0.9860	19.72%	81.10%
4	0.8425	16.85%	97.95%
5	0.1027	2.05%	100%

**1.3.4 因子载荷矩阵的建立和主成分得分系数的计算** 因子载荷是主成分  $Z_i$  与原始指标  $X_i$  的相关系数  $R(Z_i, X_i)$ , 揭示了主成分与各土壤养分指标之间的相关程度。由因子载荷矩阵(表 6)可知, 第一主成分主要由土壤有机质、全氮影响; 第二主成分主要由速效磷和速效钾影响; 第三和第四主成分都主要由 pH 影响。因子载荷矩阵并不是主成分得分系数, 主成分得分系数是各自因子载荷向量除以各自因子特征值的算数平方根<sup>[22]</sup>, 即:

$$Y_i = \frac{R_i}{\sqrt{\lambda_i}},$$

式中,  $R_i$  为因子载荷,  $\lambda_i$  为对应特征根。主成分得分系数见表 5。

式中,  $X_1 \sim X_5$  分别代表标准化的土壤 pH、有机质、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量。

根据主成分贡献率, 海南省橡胶园土样的综合评价模型为  $IFI=0.3991F1+0.2147F2+0.1972F3+0.1685F4$ 。IFI 值越高, 说明土壤肥力高, 反之, 则表示土壤肥力低。依据综合指数, 采用 ward 聚类法对海南橡胶园土壤肥力进行等级划分。

## 2 结果与分析

### 2.1 橡胶园土壤化学肥力评价结果 采用 ward

聚类法可将海南岛橡胶园土壤化学肥力划分为高(I类)、中(II类)、低(III类)3个等级。第I类土壤样本数为37个,占全部样本的25.69%,*IFI*变化范围为3.29~16.79;第II类土壤样本数有51个,占全部样本的35.42%,*IFI*变化范围为-1.8~2.74;第III类土壤样本数为56个,占全部样本的38.89%,*IFI*变化范围为-9.08~-2.0。

对不同肥力等级的土壤肥力指标进行多重比较(表7),可见第I类土壤pH显著( $P < 0.05$ )高于第II类和第III类;第I类土壤有机质含量最高,均值为 $20.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且与第II类、第III类土壤有机质存在显著差异( $P < 0.05$ ),第II类土壤有机质与第III类土壤有机质也存在显著差异( $P < 0.05$ );土壤全氮、速效磷、速效钾含量由大到小均依次为: I > II > III。其中,第I类与第II类均有显著差异( $P < 0.05$ ),第II类与第III类也存在显著差异( $P < 0.05$ ),速效磷除外。

表7 海南省橡胶园不同肥力等级土壤养分指标

指标名称	I(高肥力)	II(中等肥力)	III(低肥力)
pH	5.13+0.09a	4.96+0.03b	4.86+0.28b
有机质/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	20.6+0.93a	16.09+0.43b	12.67+2.94c
全氮/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.94+0.04a	0.76+0.02b	0.6+0.13c
速效磷/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	33.13+11.23a	10.86+2.42b	6.54+0.95b
速效钾/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	55.61+4.30a	45.62+2.92b	31.6+1.81c

注:不同字母表示差异水平显著( $P < 0.05$ )。

海南省橡胶园土壤养分指标与橡胶树适宜种植土壤养分范围(pH 4.5~5.5、有机质 $20\sim 25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 $0.8\sim 1.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $5\sim 8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $40\sim 60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )相比<sup>[1]</sup>,I、II、III类土壤pH均在适宜种植范围内;就土壤有机质而言,只有第I类土壤达到适宜种植范围,第II类、第III类均小于 $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的适宜标准( $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ );土壤全氮含量与土壤有机质相似,也只有第I类于适宜范围,而第II类、第III类均低于阈值标准( $0.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ );第I类、第II类土壤速效磷含量高于适宜上限( $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),含量比较丰富,第III类土壤速效磷含量为 $6.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,处于正常范围( $5\sim 8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );第I类土壤速效钾含量为 $55.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,处于 $40\sim 60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的正常值( $40\sim 60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )范围内,第

II类土壤速效钾含量为 $45.62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,虽然也处于适宜值范围之内,但已经比较接近该范围的下限值,3类土壤对比说明第II类土壤速效钾含量有逐渐缺乏的趋势,而第III类土壤的速效钾含量为 $31.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,低于适宜种植范围。由上述分析结果可以看出,有机质和全氮是海南岛橡胶园土壤化学肥力的主要限制因子,其次是速效钾。这和主成分分析的结果也是相一致的,即影响第一主成分的主要是有机质和全氮,而影响第二主成分的是速效钾和速效磷。

本研究采集的土壤样品中有82.64%的样点土壤有机质含量低于 $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,说明海南省主要植胶区县土壤有机质很缺乏,其主要原因可能是有机肥投入量少。施肥情况调查表明,受访农户中施有机肥的用户不足10%,而且施有机肥的方式多数是将杂草或枯枝落叶堆填在施肥穴中,该方式投入的有机质含量较低。土壤全氮与有机质呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),相关系数为0.897。因此,土壤有机质含量偏低是造成全氮含量缺乏的原因之一。李彭怡等<sup>[24]</sup>统计2014~2016年广东省茂名市橡胶园土壤养分情况,结果表明,橡胶园有机质含量有88.25%样品表现缺乏,低于全氮含量正常指标的样品也高达82.02%<sup>[24]</sup>。宋艳红等<sup>[25-26]</sup>也发现,随着橡胶种植年限延长,土壤有机质呈下降趋势,种植30a橡胶林地土壤有机质含量低至 $14.51 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

采集的土壤样品中有47.92%的土壤样点速效钾含量低于正常养分含量,原因可能是钾肥投入量少。施肥农户绝大部分施用肥料为15-15-15复合肥,开割橡胶树标准施肥量约为 $2 \text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$ <sup>[27]</sup>,按照养分配比计算,钾元素投入量应为 $0.5 \text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$ 。调查问卷结果表明,开割橡胶树钾元素投入量为 $0.267 \text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$ ,大约为标准投入量的50%;且钾肥的价格偏高。因此,没有农户单施钾肥或在施用复合肥的基础上追施钾肥。其次,橡胶林生态系统中的钾元素除了满足橡胶树正常生长外,大部分被生产割胶和采种带走,其余部分则因高温多雨导致淋溶和水土流失造成土壤钾元素损失<sup>[28]</sup>,导致土壤中速效钾含量降低。

**2.2 胶园土壤肥力状况** 各市县植胶区的土壤化学肥力综合得分以及相应肥力等级如表8所示。从表8可以看出,澄迈县、临高县橡胶园土壤

肥力整体偏低,高肥力水平占比均不足10%。儋州市、屯昌县大部分土壤化学肥力维持在中等水平。琼海市、琼中县土壤肥力状况较好,高肥力水

平分别占44.44%、50%。白沙县土壤肥力呈两极化,高肥力水平和低肥力水平占比均较大。

表8 海南省各市县土壤肥力综合值及肥力分布频率

市县	IFI范围	IFI均值	IFI分级频率		
			I (高肥力)	II (中等肥力)	III (低肥力)
			3.29 ~ 16.79	-1.8 ~ 2.74	-9.08 ~ -2.0
澄迈县	-9.08 ~ 3.29	-5.16	9.1	27.27	63.63
临高县	-6.81 ~ 3.33	-3.19	8.33	50.0	41.67
儋州市	-6.47 ~ 4.22	-1.56	13.51	51.35	35.14
屯昌县	-4.29 ~ 4.45	-0.74	16.67	41.67	41.67
琼海市	-4.03 ~ 5.71	1.71	44.44	33.33	22.22
琼中县	-3.84 ~ 6.94	2.78	50.0	16.67	33.33
白沙县	-3.44 ~ 16.79	2.50	30.56	25.0	44.44

### 3 结论

(1)本研究采用主成分分析和 ward 聚类法对海南岛橡胶园土壤化学肥力进行综合平价,评价结果较好地反映海南省橡胶园土壤肥力的实际状况。不同市县橡胶园土壤化学肥力存在较大差异,其中琼中县和琼海市土壤化学肥力最高,屯昌县和儋州市大部分胶园土壤化学肥力处于中等水平,临高县和澄迈县胶园土壤化学肥力最低,白沙县胶园土壤肥力出现两级分化,高土壤肥力与低土壤肥力所占比例都比较高。

(2)橡胶园土壤肥力评价结果和主成分分析结果都表明,土壤有机质和全氮是海南岛橡胶园土壤化学肥力的主要限制性因子,速效钾是次级限制性因子。在今后的橡胶园土壤肥力管理中,应注重有机肥、氮肥和钾肥的投入以培肥土壤,保证天然橡胶的稳产和高产。

### 参考文献:

[1] 何康, 黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培[M]. 广州: 广东科技出版社, 1987.

[2] 祁栋灵, 王秀全, 黄月球, 等. 天然橡胶产业提升探析——我国橡胶树栽培及胶园管理存在问题及建议[J]. 热带生物学报, 2011, 2(1): 72-77.

[3] 张玲玲, 兰天, 朱治强, 等. 海南热带砖红壤有机组分对植胶与橡胶连作的响应[J]. 热带生物学报, 2016, 7(2): 204-210.

[4] 丘秀灵, 刘正富, 阮云泽, 等. 海南胶园土壤肥力评价及

影响因素分析[J]. 广东农业科学, 2009, 36(9): 81-85.

[5] 吴敏, 何鹏, 韦家少. 海南岛胶园土壤肥力的综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2009(2): 1-5.

[6] 何向东, 吴小平. 海南垦区胶园肥力演变探研[J]. 热带农业科学, 2002(1): 16-22.

[7] 唐群锋, 吴炳孙, 曹启民, 等. 海南乌石农场橡胶园地力评价与土壤养分空间分布特征[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(11): 116-121.

[8] 唐群锋, 郭澎涛, 刘志崑, 等. 基于 FMT-AHP 的海南农垦花岗岩类多雨区橡胶园地力评价[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4435-4445.

[9] 杜忠杰, 林电, 许杰, 等. 海南省橡胶园土壤养分状况研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(11): 73-77.

[10] 华元刚, 林钊沐, 茶正早, 等. 胶园土壤化学肥力演变及与橡胶树营养关系的研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(3): 397-401.

[11] 杨熙, 林电, 余爱, 等. 海南省主要橡胶园土壤养分限制因子[J]. 热带作物学报, 2009, 30(12): 1746-1751.

[12] 李金涛, 李守岭, 王晓媛, 等. 胶园间作土壤养分及土壤肥力的综合评价[J]. 江西农业学报, 2020, 32(9): 73-79.

[13] CHANDRAKALA M, SRINIVASAN R, KUMARK S, et al. Land suitability evaluation for rubber in the tropical humid region of Kerala, India [J]. Current Journal of Applied Science and Technology, 2019, 35(5): 1-9.

[14] 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.

[15] 刘洪鹤, 赵玉明, 王秀颖, 等. 土壤肥力评价方法探讨[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(3): 62-66.

[16] 张亚鸽, 史彦江, 吴正保, 等. 基于主成分分析的枣园土壤肥力综合评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1156-1160.

[17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业

- 科技出版社, 2000.
- [18] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173 – 180.
- [19] 杨晓娟, 王海燕, 刘玲, 等. 东北过伐林区不同林分类型土壤肥力质量评价研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1553 – 1560.
- [20] 李洁, 滑磊, 任启文, 等. 冀西北 3 种植被恢复类型土壤理化性质差异及肥力评价[J]. 生态环境学报, 2020, 29(8): 1540 – 1546.
- [21] 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.
- [22] 夏建国, 李廷轩, 邓良基, 等. 主成分分析法在耕地质量评价中的应用[J]. 西南农业学报, 2000, 13(2): 51 – 55.
- [23] 陈玉芹, 胡永亮, 张丽萍, 等. 基于主成分和聚类分析的德宏橡胶林土壤肥力评价[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1461 – 1467.
- [24] 李彭怡, 黄庆锋, 谢黎黎, 等. 茂名垦区橡胶园土壤养分分析[J]. 中国热带农业, 2018(2): 65 – 68.
- [25] 宋艳红, 史正涛, 王连晓, 等. 热带地区橡胶林土壤退化特征及演变[J]. 林业资源管理, 2018(2): 91 – 97.
- [26] BRASCHI I, CIAVATTA C, GIOVANNINI C, et al. Combined effect of water and organic matter on phosphorus availability in calcareous soils [J]. *Nutrient Cycling in Agro Ecosystems*, 2003, 67(1): 67 – 74.
- [27] 王大鹏, 王秀全, 成镜, 等. 海南植胶区养分管理现状与改进策略[J]. 热带农业科学, 2013, 33(9): 22 – 27.
- [28] 邢慧, 蒋菊生, 麦全法. 橡胶林钾素研究进展[J]. 热带农业科学, 2012, 32(4): 42 – 48.

## Evaluation of soil chemical fertility in Hainan rubber plantations based on principal component analysis

TANG Xianhui<sup>1,2</sup>, GUO Pengtao<sup>2</sup>, LUO Wei<sup>2</sup>, CHA Zhengzao<sup>2</sup>, YANG Hongzhu<sup>2</sup>,  
BEI Meirong<sup>2</sup>, LIU Ruijin<sup>2</sup>, HE Changhui<sup>2</sup>

(1. Tropical Crops College, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Rubber Research Institute,  
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China)

**Abstract:** A good understanding of soil fertility in the rubber plantations in Hainan Province is very important to well manage the rubber plantations for higher rubber yield through fertilizer application. In this study 144 soil samples were collected from rubber plantations in major rubber producing cities and counties of Hainan Province, and their soil pH, and contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium were determined to evaluate and analyze the soil chemical fertility of rubber plantations by using the principal component analysis (PCA). The results showed that the values of the integrated fertility index (IFI) of the soil chemical fertility in the main rubber producing areas ranged from -9.08 to 16.79. According to the IFI values and the Ward's method, the soil fertility of rubber plantations in Hainan Island can be divided into three levels: high (IFI: 3.29 ~ 16.79), medium (IFI: -1.8 ~ 2.74) and low (IFI: -9.08 ~ 2.0). The soil chemical fertility varied greatly in the rubber plantations in different major rubber producing cities and counties, higher in Qiongzong and Qionghai, moderate in Tunchang and Danzhou and lower in Lingao and Chengmai, and the soil chemical fertility in the rubber plantations in Baisha was highly different. Soil organic matter and total nitrogen are the main limiting factors for soil chemical fertility in the rubber plantations in Hainan Province, followed by available potassium. It is suggested that organic fertilizer and potassium fertilizer should be applied to improve the soil chemical fertility in the rubber plantations of different cities/counties of Hainan Province.

**Keywords:** rubber; soil fertility; principal component analysis

(责任编辑: 刘文杰 责任编辑: 叶 静)