

不同浸提剂提取的土壤磷铝与油茶各器官磷铝含量的相关分析^①

王 慧^{1,2}, 袁 军^{1,2*}, 刘繁灯^{1,2}, 吴方圆^{1,2}

(1 中南林业科技大学经济林培育与保护省部共建教育部重点实验室, 长沙 410004;

2 经济林培育与利用湖南省高校‘2011’协同创新中心, 长沙 410004)

摘 要: 采用 Mehlich3、ASI、Bray、DTPA、HCl 等 5 种浸提方法测定油茶林地土壤磷、铝含量, 并分析其与叶片等器官磷、铝含量的关系。结果表明: ASI 法提取的磷含量最高, 平均值达 4.12 mg/kg, Bray 法提取的磷含量最低; 铝提取量依次为 HCl-Al > Bray-Al > M3-Al > ASI-Al > DTPA-Al。5 种方法提取的磷、铝含量分别存在较好的正相关关系。油茶叶片的磷含量和铝含量最高, 其中铝含量达 14.22 g/kg, 是其他器官铝含量的 11.5 ~ 28.1 倍。叶片磷含量与 HCl-P、叶片铝含量与 HCl-Al 分别呈显著正相关。该研究表明 0.01 mol/L HCl 提取法具有应用于同时测定土壤磷、铝含量和评价其对油茶生物有效性的可行性。

关键词: 油茶; 提取方法; 有效性; 养分分析

中图分类号: S151.9 **文献标识码:** A

铝是土壤中最丰富的金属元素, 在 pH<5 的酸性土壤条件下, Al^{3+} 等活性铝严重抑制植物的生长发育^[1], 并导致磷被固定而形成难溶的铝磷化合物(Al-P)等形式, 使得有效磷的含量非常低^[2-3]。油茶是我国重要的食用木本油料树种, 广泛分布并大量种植在南方酸性红壤地区, 被证实为耐低磷和铝超累积植物^[3-5], 磷、铝对油茶生长发育的作用成为目前研究的热点课题, 而准确且简便地测定和评价油茶林地土壤磷、铝含量成为首要的技术问题。近年来, 国内外对土壤元素有效态提取进行了很多研究, 主要集中在不同提取方法对土壤中元素的提取能力和提取元素含量与作物吸收的相关性两个方面^[6-8]。不同测定方法的主要差异是浸提剂不同, 目前应用于酸性土壤元素的提取剂有 0.1 mol/L 的 HCl、Mehlich3(M3)和 ASI 等, 这些方法之间虽然存在一定的相关性, 但测得的土壤中有有效元素含量相差很大, 且与植物总吸收量之间相关性差异亦很大^[7-8], 所以寻找与油茶对磷、铝的效应相关性较好的方法, 对正确地评价油茶林地土壤磷、铝含量水平以及指导施肥具有十分重要的意义。为此, 本研究选取了湖南省 40 个油茶林地土壤和对应植株的叶片和果实样本, 测定浸提剂提取林地磷、铝含量

和叶片、果实的磷、铝含量, 分析油茶林地土壤磷、铝含量与树体器官含量之间的相关关系, 以为油茶的磷、铝便捷测定和磷养分管理等提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在湖南省内 20 个主要油茶生产县市选择 40 个成熟林样地(图 1), 每个样地 20 m × 20 m。2015 年 10—11 月采集油茶林地土壤及植物样本。土壤样品采用 S 形布点法采集, 采集深度为 0 ~ 40 cm, 每个林地采集约 1 kg 混合样装入土袋带回实验室, 摊在牛皮纸上风干, 剔除土壤中石砾及根系, 用木锤敲碎土壤过 10 目尼龙网筛, 装塑料瓶中备用。

在每个样地选择标准株 5 株, 在每个标准株东南西北 4 个方向外侧中部采集 2 年生叶片 20 片及果实 8 个, 用保鲜袋封装。回实验室后将植物样品分为叶片、果皮、种皮和种仁, 分别用去离子水洗净, 叶片剪除叶柄后, 置于 105 °C 烘箱杀青 30 min, 然后烘 6 h 后用粉碎机粉碎, 装自封袋备用。

1.2 样品处理

1.2.1 土壤样品处理 按照全国农业技术推广服

基金项目: 国家自然科学基金项目(31400582)资助。

* 通讯作者(yuanjunchina@126.com)

作者简介: 王慧(1992—), 女, 湖南株洲人, 硕士研究生, 研究方向为经济林栽培育种。E-mail: 445641289@qq.com

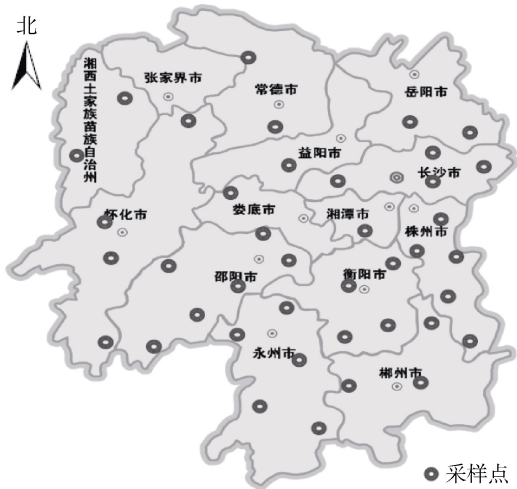


图 1 采样点分布图

务中心等确定的 Mehlich3(以下简称 M3)、ASI、Bray^[9]、DTPA^[10]、HCl 等 5 种方法对土壤样品进行

浸提,浸提剂成分见表 1。称取待测土样 15.00 g,装入 250 ml 塑料瓶中,用分液器加 50 ml 不同浸提剂,将塑料瓶置于恒温往复振荡机(温度 25℃,转速 200 r/min)上振荡 1 h,然后用定量滤纸干过滤,再将滤液过孔径 0.45 μm 的滤膜待测。

1.2.2 植物样品处理 参照张轶^[11]的方法,称取 0.150 0 g 植物样品,加入 5 ml 98% 浓 H₂SO₄,放置过夜后将消煮管置于消解仪(DTD-40D 型)中加热,待浓 H₂SO₄ 发白烟后升高温度,加热至溶液呈均匀棕黑色时取下,稍冷后加 6 滴 30% H₂O₂,再消煮约 10 min,稍冷后继续滴加 H₂O₂再消煮,如此重复数次,每次滴加的 H₂O₂ 逐次减少,消煮至溶液清亮,再升高温度加热约 10 min。冷却后,用去离子水将消煮液无损转移入 100 ml 容量瓶中,冷却至室温后定容待测。

表 1 不同浸提方法提取剂成分

提取方法	提取剂配制
M3	0.2 mol/L CH ₃ COOH + 0.25 mol/L NH ₄ NO ₃ + 0.015 mol/L NH ₄ F + 0.13 mol/L HNO ₃ + 0.001 mol/L EDTA
ASI	0.25 mol/L NaHCO ₃ + 0.01 mol/L EDTA + 0.01 mol/L NH ₄ F
Bray	0.03 mol/L NH ₄ F + 0.025 mol/L HCl
DTPA	0.005 mol/L DTPA + 0.01 mol/L CaCl ₂ + 0.1 mol/L TEA
HCl	0.01 mol/L HCl

1.3 磷、铝含量检测

土壤提取液和植物待测液中的磷、铝含量均用电感耦合等离子发射光谱仪(ICAP6300, Thermofisher, 美国)参照技术手册测定,标准液购自国家有色金属及电子材料分析测试中心。用 M3、ASI、Bray、DTPA、HCl 提取的土壤磷、铝含量分别用 M3-P、ASI-P、Bray-P、DTPA-P、HCl-P 和 M3-Al、ASI-Al、Bray-Al、DTPA-Al、HCl-Al 表示。

1.4 数据处理

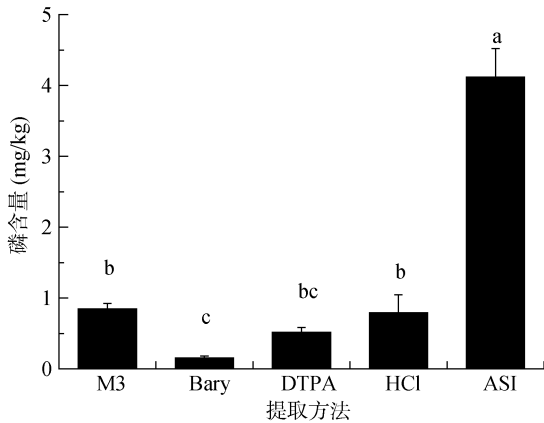
利用 Excel 2010、SPSS 17.0 进行数据处理和分析,图表制作用 Origin 8.5 完成。

2 结果与分析

2.1 油茶林地土壤磷、铝含量

从图 2 中可以看出,5 种浸提方法提取的油茶林地土壤磷含量存在差异,ASI 提取的磷含量最高,平均值达 4.12 mg/kg,显著高于其他 4 种方法提取的磷($P<0.05$);M3、DTPA 和 HCl 的提取量不存在统计学差异;而常用于酸性土壤检测的 Bray 法提取得到的磷含量最低,仅为 ASI 提取量的 3.8%,且显著低于

其他 4 种方法提取的磷($P<0.05$)。5 种不同方法的铝提取量存在显著差异(图 3),以 HCl 提取的量最大,达到 628.08 mg/kg,是最小值(DTAP 提取量)的 13.3 倍。ASI 提取的磷含量显著高于常用于酸性土壤有效磷检测的 Bray 法,可能与 ASI 等浸提剂不容易被碳水化合物化合物影响有关;而土壤铝含量以 HCl-Al 最大,可能其他几种浸提剂具有螯合作用有关^[6]。



(柱上方不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同)

图 2 不同提取方法测定的磷含量

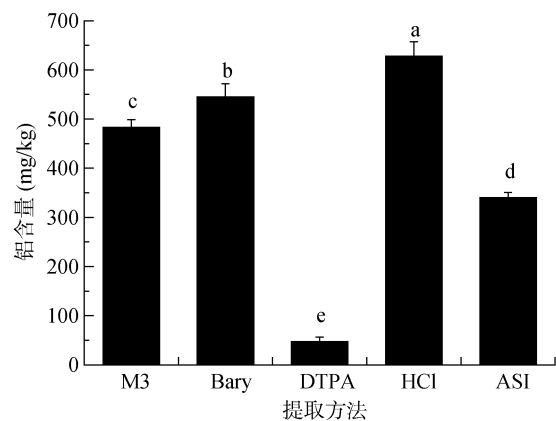


图 3 不同提取方法测定的铝含量

分析不同浸提方法提取的土壤磷、铝含量之间的

关系,结果表明(表 2):除 DTPA 与 HCl 提取的磷含量相关性不显著外,5 种方法提取的磷含量呈显著或极显著正相关,其中 ASI-P 与 M3-P、Bray-P 和 DTPA-P 的相关系数均达到了 0.6 以上。除 DTPA-Al 与 M3-Al 外,5 种方法提取的铝含量也存在显著或极显著相关;DTPA-P 与 Bray-Al、DTPA-Al、ASI-Al 之间及 ASI-P 与 DTPA-Al 之间呈显著正相关;HCl-P 与 Bray-Al 呈极显著负相关,而 HCl-P 与 M3-Al、ASI-Al,Bray-P 与 M3-Al 分别呈显著负相关。5 种方法提取的磷含量和铝含量各自具有较好的相关关系,表明这 5 种方法均提取到了磷、铝元素的某些共同形态,而哪些形态容易被油茶有效利用吸收将需要进一步研究^[13-15]。

表 2 不同提取方法测得的土壤磷含量与铝含量的相关分析

项目	M3-P	Bray-P	DTPA-P	HCl-P	ASI-P	M3-Al	Bray-Al	DTPA-Al	HCl-Al	ASI-Al
M3-P	1									
Bray-P	0.447**	1								
DTPA-P	0.305*	0.286*	1							
HCl-P	0.409**	0.473**	-0.156	1						
ASI-P	0.639**	0.683**	0.692**	0.465**	1					
M3-Al	-0.142	-0.281*	0.195	-0.280*	-0.185	1				
Bray-Al	-0.029	-0.186	0.407**	-0.389**	-0.012	0.905**	1			
DTPA-Al	0.074	0.086	0.794**	-0.166	0.407**	0.189	0.351**	1		
HCl-Al	-0.073	-0.112	0.304*	-0.036	0.045	0.879**	0.861**	0.334*	1	
ASI-Al	-0.105	-0.163	0.465**	-0.263*	0.055	0.722**	0.762**	0.444**	0.730**	1

注: *表示相关性达到 $P < 0.05$ 显著水平; **表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平,下同。

2.2 油茶不同器官磷、铝含量

图 4 表明,油茶叶片和种仁的磷含量最高,分别达到 20.35 mg/kg 和 20.09 mg/kg,显著高于果壳和种壳的磷含量 ($P < 0.05$),而种壳磷含量最低,仅为叶片磷含量的 57.4%;油茶叶片中铝含量也最高,达 14.22 g/kg,显著高于果壳(1.24 g/kg)、种壳和种仁铝含量,是种壳含量的 28.1 倍(图 5),这说明油茶主要将吸收的铝富集在叶片中^[5]。

2.3 土壤磷、铝含量与油茶各器官磷、铝含量的相关分析

对油茶叶片、果壳、种皮和种仁的磷含量与不同提取方法的土壤磷提取量进行相关分析(表 3),发现除叶片、果壳磷含量与 DTPA-P,种壳磷含量与 Bray-P 呈负相关外,其他不同器官的磷含量与各提取量之间均呈正相关,其中果壳磷含量与 HCl-P 呈极显著相关,叶片磷含量与 HCl-P,果壳磷含量与 Bray-P、ASI-P,种仁磷含量与 HCl-P 呈显著相关。表 4 表明,叶片铝含量同 M3-Al、Bray-Al、HCl-Al 呈显著正相

关,其中与 HCl-Al 的相关系数最大;种壳的铝含量与 5 种不同提取方法铝提取量均呈负相关,而种仁铝含量与 DTPA-Al 呈显著负相关。在不同植物的研究中,不同浸提剂提取的磷等元素含量可能与吸收量相关,但也可能不相关,这可能与元素是否是限制性因子、取样部位的影响有关^[16-17]。

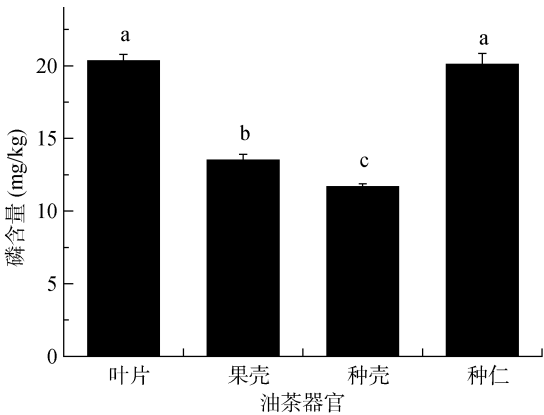


图 4 不同油茶器官的磷含量

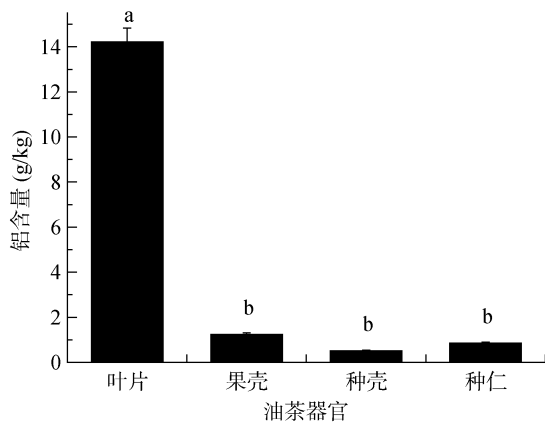


图 5 不同油茶器官的铝含量

分析油茶不同器官磷含量与铝含量之间的相关关系(表 5)，发现其叶片磷含量与果壳磷含量存在显著正相关关系；果壳铝含量与种壳、种仁的铝含量均

呈显著正相关；果壳磷含量与叶片的铝含量、种仁的铝含量存在极显著正相关关系，而种壳中的磷含量与果壳、种壳铝含量呈显著正相关。

3 结论

本研究发现 ASI 提取的磷含量最高，Bray 法提取量最低；而土壤铝含量以 HCl-Al 最高，DTPA-Al 最低；5 种方法提取的磷含量和铝含量各自具有较好的相关关系；果壳磷含量与多种磷提取方法呈显著或极显著相关，说明种壳可作为油茶磷养分水平诊断备选部位；油茶叶片磷含量、铝含量分别与 HCl-P、HCl-Al 呈显著相关，表明 0.01 mol/L HCl 可以应用于同时提取油茶林地土壤的磷和铝，其测定值在评价其对油茶的生物有效性中具有可行性。

表 3 不同提取方法测得的土壤磷含量与油茶不同器官磷含量的相关关系

	M3-P	Bray-P	DTPA-P	HCl-P	ASI-P
叶片磷含量	0.162	0.126	-0.027	0.215*	0.174
果壳磷含量	0.310	0.354*	-0.066	0.629**	0.406*
种壳磷含量	0.053	-0.079	0.028	0.078	0.047
种仁磷含量	0.121	0.104	0.172	0.359*	0.171

表 4 不同提取方法测得的土壤铝含量与油茶不同器官铝含量的相关关系

	M3-Al	Bray-Al	DTPA-Al	HCl-Al	ASI-Al
叶片铝含量	0.283*	0.298*	-0.243	0.311*	0.222
果壳铝含量	0.159	0.204	-0.072	0.055	0.304
种壳铝含量	-0.394*	-0.376*	-0.092	-0.292	-0.015
种仁铝含量	0.109	0.009	-0.318*	0.057	0.040

表 5 油茶不同器官磷含量与铝含量的相关分析

	叶片磷含量	果壳磷含量	种壳磷含量	种仁磷含量	叶片铝含量	果壳铝含量	种壳铝含量	种仁铝含量
叶片磷含量	1							
果壳磷含量	0.320*	1						
种皮磷含量	-0.160	0.085	1					
种仁磷含量	-0.102	0.378*	0.037	1				
叶片铝含量	-0.115	0.647**	0.266	0.099	1			
果壳铝含量	-0.103	0.000	0.429*	0.111	0.179	1		
种壳铝含量	-0.175	-0.047	0.378*	-0.026	-0.067	0.452**	1	
种仁铝含量	0.135	0.396*	0.172	-0.018	0.186	0.418**	0.277	1

参考文献：

[1] 李学垣, 黄巧云, 胡红青, 等. 酸性土壤中活性铝的形态与铝毒[J]. 华中农业大学学报, 1995, 14(4): 356-362

[2] He G,Zhang J, Hu X, et al. Effect of aluminum toxicity and phosphorus deficiency on the growth and photosynthesis of oil tea (*Camellia oleifera* Abel.) seedlings inacidic red soils[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(4): 1285-1292

[3] 袁军. 油茶低磷适应机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013

[4] Zeng Q L, Chen R F, Zhao R F, et al. Aluminum could be transported via phloem in *Camellia oleifera* Abel[J]. Tree Physiology, 2013, 33(1): 96-105

- [5] Chen R F, Shen R F, Gu P, et al. Investigation of aluminum-tolerant species in acid soils of south China[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 39(9/10): 1493–1506
- [6] 刘庆,夏江宝,陆兆华,等. 黄河三角洲不同土地利用土壤有效态微量元素提取与丰缺评价[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 124–135
- [7] Liu J, Liao Z, Hu C, et al. Relationships between Mehlich-3, ASI and routine methods of soil available nutrients analysis for paddy soils in China[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2011, 9(1): 516–520
- [8] 张洋洋, 鲁剑巍, 王箬, 等. 不同提取方法测定的土壤钾的有效性比较研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 600–608
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014
- [10] 陆欣春, 邹文秀, 韩晓增, 等. 黑土锌有效度的物理化学研究法[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 985–994
- [11] 张韞. 土壤、水、植物理化分析教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011
- [12] Pradhan A K, Beura K S, Das R, et al. Evaluation of extractability of different extractants for zinc and copper in soils under long-term fertilization[J]. Plant, Soil and Environment, 2015, 61(5): 227–233
- [13] 黄丽媛, 袁军, 吴泽龙, 等. 油茶林地土壤铝的含量和化学形态分析[J]. 经济林研究, 2016, 34(3): 79–83
- [14] 曾其龙, 陈荣府, 赵学强, 等. 油茶根系吸收铝导致生长介质酸化[J]. 土壤, 2012, 44(5): 834–837
- [15] 邵兴华, 郭连金, 张建忠, Olsen P 评估植物有效磷的有效性, 土壤 P 吸附参数及它们间的关系[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(4): 1–4
- [16] 冷虹, 谭启玲, 胡承孝, 等. 椴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
- [17] 郭宏, 杜毅飞, 王海涛, 等. 黄土高原苹果园土壤和叶片养分状况分析——以陕西省黄陵县为例[J]. 土壤, 2015, 47(4): 682–689

Soil Aluminum and Phosphorus Contents Extracted by Different Methods, and Their Correlations with Aluminum and Phosphorus Contents in Different Organs of *Camellia oleifera*

WANG Hui^{1,2}, YUAN Jun^{1,2*}, LIU Fandeng^{1,2}, WU Fangyuan^{1,2}

(1 Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees, Ministry of Education, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2 Hunan Provincial '2011' Cooperative Innovation Center of Cultivation and Utilization for Non-Wood Forest Trees, Changsha 410004, China)

Abstract: Different extractants of Mehlich3, ASI, Bray, DTPA and HCl were employed to determine the contents of phosphorous and aluminum contents in soils and in different organs of *Camellia oleifera*, and their correlations were also analyzed. The results showed that ASI obtained the highest soil phosphorus content (4.12 mg/kg), while Bray got the lowest content. The contents of extracted soil aluminum were in an order of HCl-Al>Bray-Al>M3-Al>ASI-Al>DTPA-Al. Soil phosphorus and aluminum contents determined by different extractants had significant positive correlation. Phosphorus and aluminum contents in *Camellia oleifera* leaves were highest, aluminum content was up to 14.22 g/kg, 11.5–28.1 times of those in other organs. There were significant positive correlations between Phosphorus content in *Camellia oleifera* leaves HCl-P, and aluminum content in leaves and HCl-Al. This study suggests that 0.01 mol/L HCl extraction can be applied to simultaneously measure soil phosphorus and aluminum contents, and to evaluate their bioavailability to *Camellia oleifera*.

Key words: *Camellia oleifera*; Extraction; Availability; Nutrient analysis