

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.11.017

# 土壤有机质对交换性酸测定结果的影响<sup>①</sup>

李忠意<sup>1</sup>, 白颖艳<sup>1</sup>, 刘 莉<sup>1</sup>,  
程永毅<sup>1</sup>, 文绍明<sup>2</sup>, 谢德体<sup>1</sup>

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市丰都县农业生态环保检验检测站, 重庆 丰都 408200

**摘要:** 为探讨土壤有机质对两种常用的土壤交换性酸测定方法(BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法和 KCl 淋溶法)结果的影响, 选取了 85 个不同有机质质量分数的酸性土壤并采用 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法和 KCl 淋溶法测定其交换性酸含量. 结果表明, BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量远大于 KCl 淋溶法的测定结果. KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量与土壤 pH 值间的负相关性极有统计学意义( $r = -0.79^{**}$ ), 而 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量与土壤 pH 值间的相关性无统计学意义( $r = -0.08$ ). 但 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量却与土壤有机质质量分数间的正相关性极有统计学意义( $r = 0.94^{**}$ ). 此外, 由 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸进一步计算得到的盐基饱和度与土壤 pH 值间的相关性( $r = 0.69^{**}$ )也大于 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法( $r = 0.25^{*}$ ). 通常土壤酸化越严重, 土壤 pH 值越低, 交换性酸含量越高, 盐基饱和度越低. 可以得出, 土壤有机质会使 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法的测定结果产生较大的正误差, 而对 KCl 淋溶法的影响较小. 由于土壤有机质中的腐殖酸会与 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法中的有机弱碱 TEA 发生反应, 增加 TEA 用量, 从而使计算得到的土壤交换性酸的结果偏高. 因此, 对于高有机质质量分数的酸性土壤, 不宜采用 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测定其交换性酸含量. 但在 KCl 淋溶法中, 由于 K<sup>+</sup> 对 Al<sup>3+</sup> 的交换能力较弱, 使得该方法测得的土壤交换性酸含量偏低. 因此, 可乘以 1.5 左右的校正系数, 以便能真实地反映出土壤交换性酸含量.

**关键词:** 交换性酸测定; BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法; KCl 淋溶法; 土壤有机质

**中图分类号:** P594; S153.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2018)11-0119-08

土壤的自然成土过程是一个缓慢的酸化过程<sup>[1]</sup>. 受土壤发育程度的影响, 酸性土壤主要分布在热带和亚热带地区. 近年来人类活动所导致的气候和土地利用方式变化大大加速了土壤酸化的进程<sup>[2-3]</sup>. 严重的土壤酸化引发一系列的生态环境和农业生产问题<sup>[4]</sup>. 酸沉降<sup>[5-6]</sup>和氮肥过量施用是人类活动加速土壤酸化的主要原因<sup>[7-8]</sup>. 土壤酸化导致盐基养分离子损失, 重金属离子被活化和对植物产生铝毒害等系列问题<sup>[9-13]</sup>. 土壤中氢离子和铝离子数量增加的过程即是土壤酸化的过程. 土壤的交换性酸含量是评价土壤酸化程度的主要指标<sup>[11]</sup>. 其测定原理是用含某种阳离子的盐溶液作为交换剂将土壤胶体上所吸附的 H<sup>+</sup> 和 Al<sup>3+</sup> 交换下来进行测量. 常用的交换剂有非 pH 值缓冲体系盐溶液(KCl, NaCl, BaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> 等)和具有一定 pH 值缓冲能力的盐溶液(NaAc, KAc, CuAc<sub>2</sub> 等)<sup>[14]</sup>. 也可将中性盐和有机弱碱配合使用作为提取剂,

① 收稿日期: 2017-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701256); 重庆市博士后科研项目(Xm2016076); 西南大学本科生创新基金项目(20162402007).  
作者简介: 李忠意(1987-), 男, 博士, 讲师, 主要从事土壤化学研究.

如  $\text{BaCl}_2$ -三乙醇胺(TEA)<sup>[15]</sup>。目前国内外应用最广泛的是采用 KCl 淋溶法测定土壤交换性酸含量<sup>[16-17]</sup>。由于  $\text{K}^+$  的交换能力较弱, KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量较低。杨剑虹等<sup>[15]</sup>建议采用 KCl 淋溶法测量交换性酸应乘以校正系数 1.3~1.7, 但已发表的研究论文中大多并未进行校正。

有研究者采用  $\text{BaCl}_2$ -TEA 作为交换剂来测量土壤交换性酸含量<sup>[18]</sup>。该方法是利用  $\text{Ba}^{2+}$  的强交换能力将土壤吸附的  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  交换出来, 而交换出来的  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  被有机碱 TEA 及时中和, 使交换反应快速而完全。 $\text{BaCl}_2$ -TEA 交换法无需连续淋洗和多次交换, 只需一次平衡交换即可, 操作更为简洁。但该方法的测定原理是基于测定加入的和剩余的 TEA 含量之差来计算出土壤交换性酸含量, 即所消耗的 TEA 含量必须全部用于与  $\text{H}^+$  和  $\text{Al}^{3+}$  水解产生的  $\text{H}^+$  反应。但在实际情况下, 土壤中的组成成分也会与有机碱 TEA 发生中和反应, 从而消耗 TEA, 造成土壤交换性酸测定结果偏高, 但较少发现相关的研究报道。本研究拟探讨  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法和 KCl 淋溶法在不同有机质质量分数酸性土壤上的交换性酸测定结果, 最终揭示土壤有机质质量分数对交换性酸测定结果的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品准备

供试土样为重庆市丰都县酸化改良项目土样, 土壤为施入不同含量有机肥进行培育改良的酸化紫色土和黄壤, 于 2017 年采集。因此, 所得土样为一系列不同有机质质量分数的酸化土壤。所有土样自然风干后过筛备用。

### 1.2 交换性酸测定方法

分别采用  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法<sup>[15]</sup>和 KCl 淋溶法<sup>[19]</sup>两种方法测定土壤的交换性酸含量。

### 1.3 基本理化性质分析

土样基本理化性质采用常规分析方法<sup>[19]</sup>。pH 值测定采用电位法(土水比为 1:2.5); 有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法; 全氮采用半微量凯氏定氮法; 碱解氮采用碱解扩散法; 全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法; 有效磷采用 HCl-NH<sub>4</sub>F 提取—钼锑抗比色法; 全钾采用 NaOH 熔融—火焰光度法; 速效钾采用 NH<sub>4</sub>Ac 提取—火焰光度法; 交换性  $\text{K}^+$ 、交换性  $\text{Na}^+$  采用 NH<sub>4</sub>Ac 交换—火焰光度法; 交换性  $\text{Ca}^{2+}$ 、交换性  $\text{Mg}^{2+}$  采用 NH<sub>4</sub>Ac 交换—原子吸收分光光度法(Z-5000, 日本日立)。

### 1.4 数据处理

KCl 淋溶法交换性酸的计算公式为:

$$\text{土壤交换性酸 cmol(+) / kg} = \frac{c \cdot (V_1 - V_0)}{m \times 10} \times 1000$$

式中:  $V_1$  为样品滴定中 NaOH 消耗量(mL);  $V_0$  为空白滴定中 NaOH 消耗量(mL);  $c$  为 NaOH 标准溶液的浓度(mol/L);  $m$  为土样干质量。

$\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法交换性酸的计算公式为:

$$\text{土壤交换性酸 cmol(+) / kg} = \frac{c \cdot (V_0 - V_1) \times 5}{m \times 10} \times 1000$$

式中:  $V_1$  为样品滴定中 HCl 消耗量(mL);  $V_0$  为空白滴定中 HCl 消耗量(mL);  $c$  为 HCl 标准溶液的浓度(mol/L);  $m$  为土样干质量。

交换性盐基总量 = 交换性  $\text{K}^+$  + 交换性  $\text{Na}^+$  + 交换性  $\text{Ca}^{2+}$  + 交换性  $\text{Mg}^{2+}$ ;

有效阳离子交换量(ECEC) = 交换性酸 + 交换性盐基总量;

盐基饱和度(%) = 交换性盐基/ECEC。

利用 Excel 软件和 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 两种方法在操作上的优劣性

在仅考虑实验操作过程的情况下, 两种土壤交换性酸测定方法各有难易程度和优缺点. 在实验试剂配制方面, KCl 淋溶法采用的是 1 mol/LKCl 作为提取剂, 配制方法简单. 而 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法为 pH=8.0 的 0.25 mol/LBaCl<sub>2</sub> 和 0.055 mol/L TEA 溶液, 由于 TEA 为特别黏稠的液体试剂, 准确量取体积较为困难, 此外还需要用 TEA 或低浓度 HCl 将溶液 pH 值调至 8.0, 所以 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法的提取剂配制更为复杂. 而在滴定剂方面, KCl 淋溶法采用标准碱溶液, 由于标准碱溶液的浓度受空气中 CO<sub>2</sub> 影响较大而易发生变化, 因此标准碱溶液不能长期保存且每次使用前均需进行浓度标定. BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法采用标准酸溶液作为滴定剂, 其性质稳定, 浓度不易发生改变, 可长期保存使用且无需再次标定. KCl 淋溶法采用的是多次连续淋洗后, 滤液还需经高温煮沸排除 CO<sub>2</sub> 后才能进行滴定, 而 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法为一次平衡后直接过滤滴定. 但在实验结束后, BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法中所有与 Ba<sup>2+</sup> 接触过的器皿需用酸洗液浸泡后再进行进一步清洗, 这是由于 Ba<sup>2+</sup> 会与 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 等阴离子生成白色沉淀附着在器皿表面, 造成器皿的污染. 总的来说, BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得土壤交换性酸含量的操作更为简洁, 但该方法无法区分交换性酸中的交换性 H<sup>+</sup> 和 Al<sup>3+</sup> 含量.

### 2.2 土壤基本理化性质

供试土壤的基本理化性质如表 1 和表 2 所示, 土壤 pH 值变化范围为 4.1~5.5, 变幅较小, 但均处于强酸化状态. 土壤有机质质量分数均较高, 且变幅较大, 从最低的 16.3g/kg 至最高的 73.9g/kg. 变幅较大的有机质质量分数有助于明确不同土壤有机质质量分数对土壤交换性酸测得结果的影响. 但唯一不足的是样品的有机质质量分数分布不均, 大多集中在 50~70 g/kg 间(图 1). 各土壤速效养分含量均较为丰富, 碱解氮、有效磷、速效钾质量分数分别为(301±82), (56.5±23.9)和(268±112)mg/kg. 土壤全氮、全磷、全钾质量分数为(3.28±0.92), (1.29±0.52)和(19.2±1.57) g/kg. 土壤交换性盐基离子含量均值从大到小依次为: 交换性 Ca<sup>2+</sup> (4.44±3.19 cmol(+)/kg)、交换性 Mg<sup>2+</sup> (1.52±0.96 cmol(+)/kg)、交换性 K<sup>+</sup> (0.76±0.28 cmol(+)/kg)、交换性 Na<sup>+</sup> (0.14±0.12 cmol(+)/kg)(表 2). 采用 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量为 27.7±7.35 cmol(+)/kg, 而采用 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量为 3.26±1.22 cmol(+)/kg, 可以看出二者的测定结果均值相差达 8 倍以上, 因此有必要探讨两种土壤交换性酸测定方法在高有机质质量分数土壤中的适用性. 由两种交换性酸计算得到的土壤 ECEC 值分别为 34.6±4.84cmol(+)/kg(BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法)和 8.54±3.66 cmol(+)/kg(KCl 淋溶法). 进一步计算得到的盐基饱和度也相差较大, 由 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得交换性酸计算得到的盐基饱和度为 21.3±15.7%, 由 KCl 淋溶法测得交换性酸计算得到的盐基饱和度为 75.8±13.6%.

表 1 土壤养分指标统计表 (n=85)

	pH 值	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮	有效磷 /(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾	全氮	全磷 /(g · kg <sup>-1</sup> )	全钾
均值	4.8	55.3	301	56.5	268	3.28	1.29	19.2
极小值	4.1	16.3	100	5.4	50	0.32	0.16	15.0
极大值	5.5	73.9	477	101.0	545	4.47	2.43	25.3
标准差	0.3	16.3	82	23.9	112	0.92	0.52	1.57
变异系数	0.054	0.294	0.273	0.423	0.420	0.280	0.404	0.082

表 2 土壤阳离子交换性能指标统计表

cmol(+)/kg

	交换性酸		交换性盐基离子				ECEC		盐基饱和度	
	BaCl <sub>2</sub> -TEA	KCl	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	BaCl <sub>2</sub> -TEA	KCl	BaCl <sub>2</sub> -TEA	KCl
	提取	淋溶					提取	淋溶	提取	淋溶
均值	27.70	3.26	0.76	0.14	4.44	1.52	34.60	8.54	21.3%	75.8%
极小值	8.75	0.40	0.21	0.02	0.95	0.70	19.9	4.60	6.6%	45.0%
极大值	34.30	5.65	1.45	0.52	12.50	4.44	42.50	19.00	63.1%	98.1%
标准差	7.35	1.22	0.28	0.12	3.19	0.96	4.84	3.66	15.7%	13.6%
变异系数	0.265	0.376	0.375	0.878	0.718	0.632	0.140	0.429	0.741	0.180

### 2.3 土壤交换性酸与土壤 pH 值相关性分析

本研究中, BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量远大于 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量(图 2). BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法中加入了高容量的有机弱碱 TEA, Ba<sup>2+</sup> 从土壤胶体上交换下来的致酸离子会被 TEA 及时中和, 从而使交换反应不断进行. 而 KCl 淋溶法是利用多次连续淋溶以促进交换反应的正向进行. 理论上无论采取何种方法测定土壤交换性酸含量, 其测定结果应差异不大. 但 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法采用二价的 Ba<sup>2+</sup> 去交换土壤胶体所吸附的致酸离子, 而 KCl 淋溶法是以一价的 K<sup>+</sup> 作为交换阳离子, 尽管所采用 Ba<sup>2+</sup> 的浓度低于 K<sup>+</sup>, 但 Ba<sup>2+</sup> 对 H<sup>+</sup> 和 Al<sup>3+</sup> 的交换能力显著高于 K<sup>+</sup>. 因此, 可能导致 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量大于 KCl 淋溶法. 此外, 土壤的有机质质量分数等其他因素也可能是导致 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测定结果大于 KCl 淋溶法的原因.

土壤交换性酸含量是反映土壤酸化程度的一个容量指标, 而土壤 pH 值是反映土壤酸化程度的一个活性指标. 通常土壤 pH 值越低, 土壤的交换性酸含量越高. 将所测得的土壤 pH 值与两种方法测得的土壤交换性酸含量进行相关性分析可以发现(图 2), BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得土壤交换性酸含量与土壤 pH 值的相关系数为 -0.08, 而 KCl 淋溶法测得土壤交换性酸含量与土壤 pH 值的相关系数为 -0.79, 达到了极有统计学意义水平( $p < 0.01$ ). 所以从与 pH 值相关性的角度考虑, 采用 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量更为合理, 而采用 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得土壤交换性酸含量存在较大误差.

### 2.4 土壤交换性酸与土壤有机质相关性分析

通过 pH 值与土壤交换性酸含量进行相关性分析后发现 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量误差更大. 进一步将土壤有机质与土壤交换性酸进行相关性分析后可以发现 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量与土壤有机质间存在极有统计学意义的正相关性( $r = 0.94^{**}$ ), 而 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量与有机质间的相关性无统计学意义( $r = 0.12$ )(图 3). 所以, 土壤有机质对 BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得的土壤交换性酸含量影响较大, 而对 KCl 淋溶法影响较小. 土壤有机质的主要成分是腐殖酸, 而腐殖酸分子中含有各种功能基团, 包括芳香族和脂肪族化合物上的羧基(R-COOH)和酚羟基(酚-OH)<sup>[20]</sup>. 这些功能基团均会与 TEA 发生反应而消耗 TEA, 造成计算得到的土壤交换性酸结果偏高, 产生误差. 土壤有机质质量分数越高, 误差越大. 所以, BaCl<sub>2</sub>-TEA 提取法测得交换性酸与土壤 pH 值相关性无统计学意义, 反而与土壤有机质质量分数呈极有统计学意义的正相关关系, 也恰好说明了土

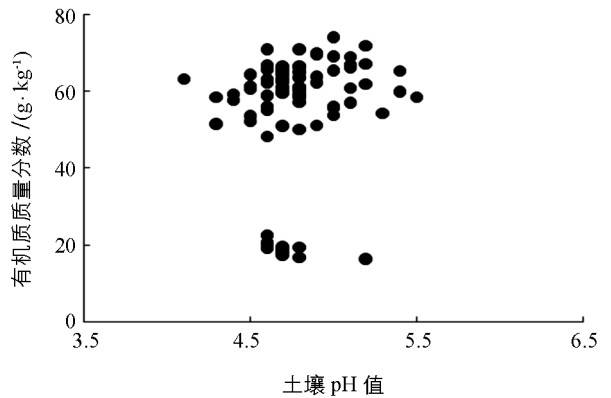
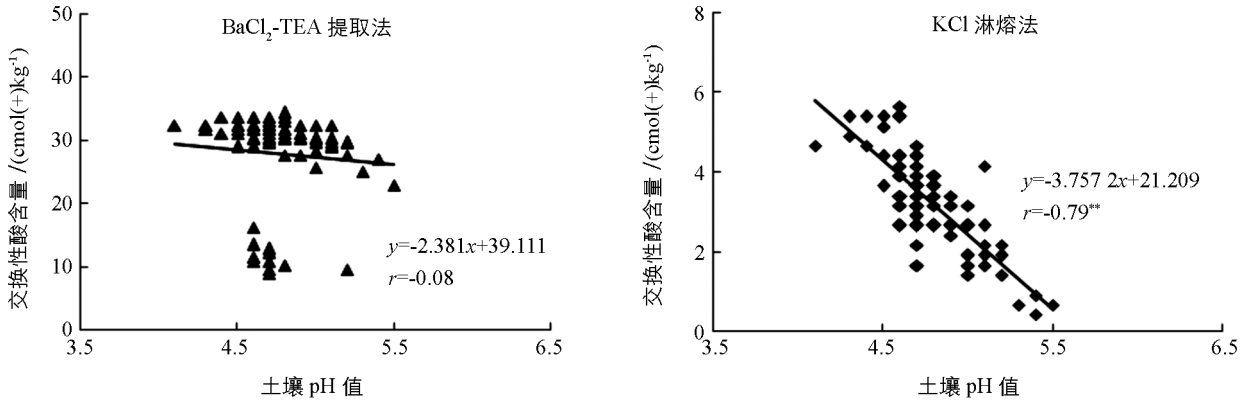


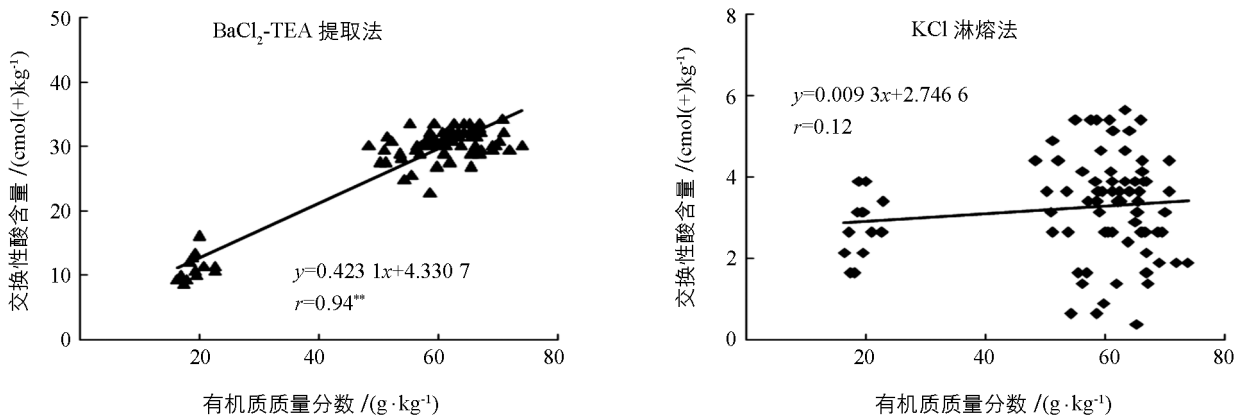
图 1 土壤 pH 值和有机质质量分数分布

壤有机质存在对该方法产生影响, 造成测量结果偏高. 进一步将  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$  提取法与  $\text{KCl}$  淋溶法测得的土壤交换性酸含量差值与土壤有机质质量分数进行相关性分析可以发现二者的正相关性极有统计学意义 ( $r=0.96^{**}$ ) (图 4). 这说明了随着土壤有机质质量分数的增加, 两种方法所测得的结果相差越大. 而在低有机质质量分数的土壤中, 两种方法的测得结果才会彼此接近. 因此不宜采用  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$  提取法测高有机质质量分数酸性土壤的交换性酸含量.



\*\* 指相关性极有统计学意义 ( $p < 0.01$ )

图 2 土壤交换性酸含量与土壤 pH 值的相关性分析



\*\* 指相关性极有统计学意义 ( $p < 0.01$ )

图 3 土壤交换性酸含量与有机质质量分数的相关性分析

## 2.5 土壤盐基饱和度含量分析

未酸化的土壤处于盐基饱和状态, 土壤胶体上的负电荷位点全部被盐基离子 ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) 所占有. 当土壤酸化后, 盐基离子被致酸离子  $\text{H}^+$  和  $\text{Al}^{3+}$  所取代, 造成土壤盐基不饱和. 所以, 土壤酸化越严重, 盐基饱和度越低<sup>[21]</sup>. 将土壤 pH 值与两种交换性酸测定方法计算得到的盐基饱和度进行相关性分析 (图 5). 由  $\text{KCl}$  淋溶法测得的土壤交换性酸计算得到的盐基饱和度与 pH 值相关系数为 0.69, 达到极有统计学意义水平. 而由  $\text{BaCl}_2\text{-TEA}$  提取法测得的土壤交换性酸计算得到的盐基饱和度与 pH 值相关系数为 0.25, 有统计学意义.  $\text{KCl}$  淋溶法测得的土壤交换性酸计算得到的盐基饱和度与 pH 值的相关性更好, 说明由该方法计算得到的盐基饱和度可更好地表征土壤的酸化程度. 所以采用  $\text{KCl}$  淋溶法测定土壤交换性酸含量更为合理.

通常认为当土壤 pH 值  $< 5.0$  时, 土壤盐基饱和度  $< 30\%$ ; 当土壤 pH 值在  $5.0 \sim 5.5$  之间时, 土壤

盐基饱和度在 30%~60% 之间; 当土壤 pH 值在 5.5~6.0 之间时, 土壤盐基饱和度在 60%~80% 之间; 当土壤 pH 值在 6.0~7.0 之间时, 土壤盐基饱和度在 80%~100% 之间<sup>[22]</sup>. 本研究中所用土样 pH 值在 4.8~5.5 之间. 从表 2 和图 5 可以看出, 受土壤有机质质量分数的影响  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法计算得到的盐基饱和度偏低, 而 KCl 淋溶法计算得到的盐基饱和度偏高, 这可能是由于  $\text{K}^+$  的交换能力较弱, 测得的土壤交换性酸含量偏低造成的. 按照杨剑虹等<sup>[15]</sup> 的建议, 对 KCl 淋溶法测得得土壤交换性酸乘以校正系数 1.5, 此时土壤的交换性酸含量从测得的  $3.26 \pm 1.22 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$  增加至  $4.89 \pm 1.84 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ .

由此进一步计算得到的土壤盐基饱和度从  $75.8 \pm 13.6\%$  下降至  $55.2 \pm 19.4\%$ . 将乘以校正系数后的盐基饱和度与土壤 pH 值进行相关性分析(图 6), 二者的相关性水平的正相关性仍极有统计学意义( $r = 0.70^{**}$ ), 而此时的土壤 pH 值与其对应的盐基饱和度才与通常的认识更加吻合.

值得注意的是, 理论上土壤交换性酸是指的土壤胶体所吸附的  $\text{H}^+$  和  $\text{Al}^{3+}$ , 而在实际操作中土壤交换性酸的测量属于操作形态上的定义. 各种测定方法理论上都能将土壤胶体所吸附的  $\text{H}^+$  和  $\text{Al}^{3+}$  交换下来进行测得, 但实际上受土壤性质和反应条件等因素的影响, 真实的交换效果并不知晓. 因此, 尚无标准方法和标准样品来对各种土壤交换性酸测定方法的准确性进行比较和验证. 从通常理解的盐基饱和度和土壤 pH 值的对应范围来说<sup>[22]</sup>, KCl 淋溶法测得土壤交换性酸含量偏低, 需乘以 1.5 左右的系数进行校正. 若仅从盐基饱和度与土壤 pH 值相关性的角度出发, KCl 淋溶法测定土壤交换性酸更为合理, 而  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法受土壤有机质质量分数等因素的影响而存在较大的误差.

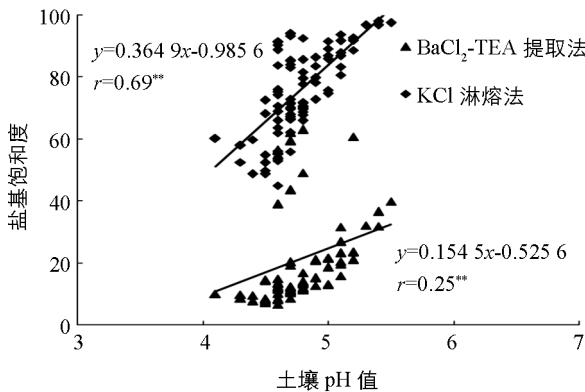


图 5 两种方法测得土壤盐基饱和度与 pH 值的相关性分析, \* 指相关性有统计学意义 ( $p < 0.05$ )

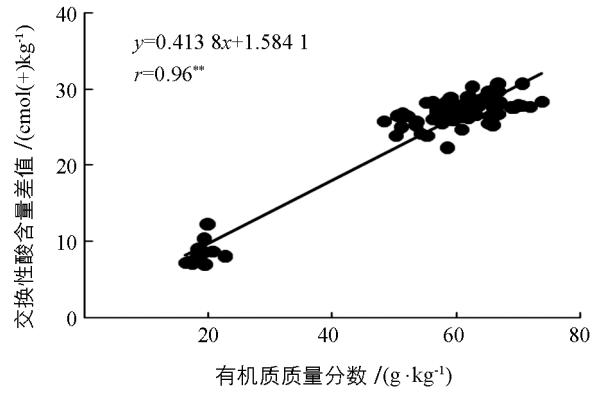


图 4 两种方法测得土壤交换性酸含量差值 ( $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法和 KCl 淋溶法) 与有机质值的相关性分析

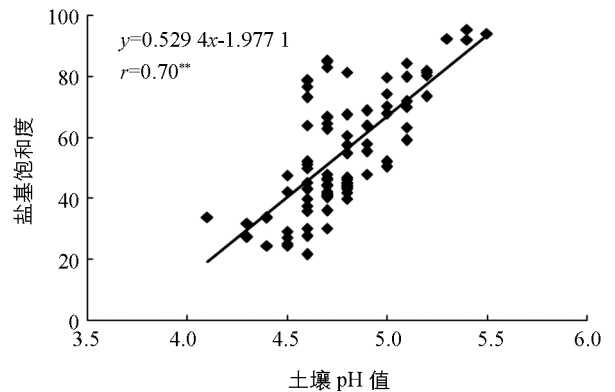


图 6 KCl 淋溶法测得得土壤交换性酸乘以校正系数 1.5 后, 计算得到的土壤盐基饱和度与 pH 值间的相关性分析

### 3 结 论

1) 土壤有机质中的腐殖酸会与  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法中的 TEA 发生反应, 从而使计算得到的土壤交换性酸的结果偏高, 产生误差. 因此, 不宜采用  $\text{BaCl}_2$ -TEA 提取法测定高有机质质量分数酸性土壤的交换性酸含量.

2) 采用 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量及由其计算得到的盐基饱和度与土壤 pH 值的相关性均极有统计学意义, 因此可选用 KCl 淋溶法作为土壤交换性酸的测定方法. 但该方法中由于  $K^+$  对  $Al^{3+}$  的交换能力较弱, 造成测得的土壤交换性酸含量偏低. 因此, 可对 KCl 淋溶法测得的土壤交换性酸含量乘以 1.5 左右的校正系数, 以便能真实地反映出土壤交换性酸含量.

#### 参考文献:

- [1] SLESSAREV E W, LIN Y, BINGHAM N L, et al. Water Balance Creates a Threshold in Soil pH at the Global Scale [J]. *Nature*, 2016, 540: 567–569.
- [2] ZHU Q C, VRIES W D, LIU X J, et al. The Contribution of Atmospheric Deposition and Forest Harvesting to Forest Soil Acidification in China Since 1980 [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 146: 215–222.
- [3] YANG Y H, JI C J, MA W H, et al. Significant Soil Acidification Across Northern China's Grasslands During 1980s–2000s [J]. *Global Change Biology*, 2012, 18: 2292–2300.
- [4] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展 [J]. *土壤*, 2015, 47(2): 238–244.
- [5] BREEMEN N V, BURROUGH P A, VELTHORST E J, et al. Soil Acidification from Atmospheric Ammonium Sulphate in Forest Canopy Throughfall [J]. *Nature*, 1982, 299: 548–550.
- [6] 熊仕娟, 苏静, 闫小娟, 等. 施用硫酸铵对酸性紫色土硝化作用的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(11): 131–136.
- [7] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant Acidification in Major Chinese Croplands [J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008–1010.
- [8] LU X K, MAO Q G, GILLIAM F S, et al. Nitrogen Deposition Contributes to Soil Acidification in Tropical Ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 2014, 20: 3790–3801.
- [9] 梁骏, 郑有飞, 李璐, 等. 酸雨对土壤酸化和油菜中后期生长发育的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1043–1050.
- [10] 王秀青, 李永梅, 谢瑾, 等. 古茶园和现代茶园土壤养分于微生物数量研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(10): 43–50.
- [11] BAQUY M A, LI J Y, XU C Y, et al. Determination of Critical pH and Al Concentration of Acidic Ultisols for Wheat and Canola Crops [J]. *Solid Earth*, 2017, 8: 149–159.
- [12] LOFTON J, GODSEY C B, ZHANG H. Determining Aluminum Tolerance and Critical Soil pH for Winter Canola Production for Acidic Soils in Temperate Regions [J]. *Agronomy Journal*, 2010, 102(1): 327–332.
- [13] 赵凯丽, 蔡泽江, 王伯仁, 等. 不同母质和植被类型下红壤 pH 值和交换性酸的剖面特征 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(23): 4818–4826.
- [14] PANSU M, GAUTHEYROU J. *Handbook of Soil Analysis-Mineralogical, Organic and Inorganic Methods* [M]. New York: Springer, 2003: 678–680.
- [15] 杨剑虹, 王成秋, 代亨林. *土壤农化分析与环境监测* [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [16] 汪文强, 王子芳, 高明, 等. 施氮对紫色土交换性酸及盐基饱和度的影响 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(3): 138–142.
- [17] MASUD M M, GUO D, LI J, et al. Hydroxyl Release by Maize (*Zea mays* L.) Roots Under Acidic Conditions Due to Nitrate Absorption and Its Potential to Ameliorate an Acidic Ultisol [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2014, 14(5): 845–853.
- [18] 李忠意, 程永毅, 杨剑虹. 重庆地区中性紫色土酸化特征 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 234–237.
- [19] 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.
- [20] 陈怀满. *环境土壤学* [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010.

- [21] GOULDING K W T. Soil Acidification and the Importance of Liming Agricultural Soils with Particular Reference to the United Kingdom [J]. *Soil Use and Management*, 2016, 32: 390—399.
- [22] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

## Influence of Soil Organic Matter on the Measurement of Soil Exchangeable Acidity

LI Zhong-yi<sup>1</sup>, BAI Ying-yan<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1</sup>,  
CHENG Yong-yi<sup>1</sup>, WEN Shao-ming<sup>2</sup>, XIE De-ti<sup>1</sup>

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Agroecological and Environmental Testing and Monitoring Station, Fengdu County, Fengdu Chongqing 408200, China

**Abstract:** In order to investigate the effects of soil organic matter on the measurements of soil exchangeable acidities with different extraction methods, the exchangeable acidities of 85 acidic soils with different contents of organic matter were measured by the BaCl<sub>2</sub>-TEA (Triethanolamine) extraction method and the KCl leaching method. The results showed that the contents of soil exchangeable acidity measured by BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction were much higher than those measured by the KCl leaching method. The correlation between soil pH and soil exchangeable acidities measured by the KCl leaching method ( $r=0.79^{**}$ ,  $p<0.01$ ) was better than that measured by the BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction method ( $r=0.08$ ). However, there was a highly significant positive correlation between soil organic matter and soil exchangeable acidities obtained by the BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction method ( $r=0.94^{**}$ ,  $p<0.01$ ). In addition, the correlation between soil pH and base saturation calculated with the KCl leaching method ( $r=0.69^{**}$ ) was higher than that calculated with the BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction method ( $r=0.25^*$ ). Generally, when the soil is acidified, the content of soil exchangeable acidity will increase and the base saturation will decrease. The humic acids in soil organic matter can react with TEA and increase the usage of TEA, thus inducing higher content of soil exchangeable acidities. Therefore, the BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction method is not suitable for the measurement of exchangeable acidity in acidic soil with high content of organic matter. In addition, the soil exchangeable acidity measured by the KCl leaching method was low because of the weakly exchangeable ability of K<sup>+</sup>. Therefore, it is advisable to adjust the content of soil exchangeable acidity measured by the KCl leaching method with a coefficient of 1.5.

**Key words:** measurement of soil exchangeable acidity; BaCl<sub>2</sub>-TEA extraction; KCl leaching; soil organic matter