

## 土壤碳酸盐间接测定方法研究及其应用

彭洪翠<sup>1,2</sup>, 肖和艾<sup>1\*</sup>, 吴金水<sup>1</sup>, 苏以荣<sup>1</sup>, 李新爱<sup>1,2</sup>, 唐国勇<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态重点实验室, 长沙 410125;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 通过添加  $\text{CaCO}_3$  内标法及与中和滴定法进行比较, 提出了采用 C/N 分析仪测定的土壤总 C 量与重铬酸钾氧化法测定的有机 C 量差值估算土壤碳酸盐含量的方法。采用该方法对广西环江县喀斯特低山区石灰岩发育的土壤和湖南沅江平原湖区湖积物形成的土壤的碳酸盐含量进行了分析。结果表明, 石灰岩发育的土壤, 林地、旱地和稻田含碳酸盐的土样占总土样数的比例依次为 50.0%、43.7% 和 2.1%, 其土壤碳酸盐平均含量分别为 134、15.7 和 37.1 g/kg。湖积物形成的土壤, 新垦旱地、熟化旱地和稻田土样 100% 含碳酸盐, 其土壤碳酸盐平均含量分别为 73.3、46.6 和 37.7 g/kg。成土母质和土地利用方式对土壤碳酸盐含量有明显的影响。

**关键词:** 土壤碳酸盐; 测定方法; 石灰性土壤; 湖积物形成土壤

**中图分类号:** S153

土壤碳酸盐含量是土壤性质的一个重要指标。土壤中碳酸盐含量多少直接影响土壤团粒的形成和土壤发育以及土壤养分的存在形态和有效性, 反映了土壤的环境质量<sup>[1-5]</sup>。以碳酸盐为主要存在形态的土壤无机 C 库在全球陆地 C 循环中占有重要地位, 全球土壤无机 C 库量约 700~1000 Pg, 我国土壤无机 C 库量约为 60 Pg, 相当于全球的 1/20~1/15<sup>[6-7]</sup>。已有研究发现在碱性和高碳酸盐的土壤中, Pb、Zn、Cd、Cu 等重金属元素活度低<sup>[2]</sup>, 因此碳酸盐对于缓解土壤重金属污染有一定作用。土壤的淋溶程度、发生发育的程度、酸碱度、盐基饱和度、吸附的阳离子种类、土壤结构、土壤微生物区系以及盐土改良时土壤是否会碱化和碱化程度等都与碳酸盐含量有关。对于石灰性土壤通常把  $\text{CaCO}_3$  在剖面中的淋溶和淀积特征作为判断土壤形成、分类和肥力状况的指标之一。张玉庚等<sup>[8]</sup>提出碳酸盐含量可作为褐土分类的指标之一。此外, 碳酸盐含量和淀积特征作为环境变化指示参数在古土壤和古环境气候变迁研究中也具有重要意义<sup>[9-12]</sup>。

土壤中无机碳酸盐主要是难溶性的方解石 ( $\text{CaCO}_3$ ) 和白云石 ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), 一般以方解

石为主。在盐碱土中则含有少量易溶性碳酸盐 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$ )。测定土壤无机碳酸盐的方法很多, 目前通用的主要是中和滴定法和气量法<sup>[1]</sup>。中和滴定法即向土壤中加入一定量标准酸, 使之与碳酸盐反应, 过量的酸再用标准碱溶液回滴, 通过消耗的酸来计算碳酸盐含量。该方法存在的问题是, 由于土壤溶液有一定的缓冲性, 指示剂颜色变化迟钝, 滴定终点很难辨别, 测定误差较大。气量法即加一定量酸于土壤, 反应产生的  $\text{CO}_2$  用气体装置收集并测量其体积, 根据产生的  $\text{CO}_2$  量计算土壤碳酸盐含量。但此法干扰因素多, 需要同时测定大气压及温度, 量取气体体积在操作上不方便, 操作繁琐。

此外, 还有许多方法, 如李忠海等<sup>[13]</sup>提出的  $\text{CO}_2$  传感器法, 先将土壤酸化, 产生的  $\text{CO}_2$  利用  $\text{CO}_2$  传感器电化学电池的原理测定分压, 利用 Nernst 方程计算土壤碳酸盐含量。Loeppert 等<sup>[13]</sup>向土壤中加入醋酸溶解碳酸盐, 然后测定溶液 pH, 根据外加  $\text{CaCO}_3$  的量与相应溶液 pH 值的关系来计算土壤碳酸盐的含量。教剑英<sup>[15]</sup>采用 1 mol/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液作提取剂, 用原子吸收光谱法 (或 EDTA 络合滴定法) 测定土壤提取液中的 Ca 和 Mg 含量, 再分别换算出

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-426)、国家自然科学基金重点项目 (40235057) 和国家重点基础研究发展规划项目 (G1999011802, 2002CB412503) 共同资助。

\* 通讯作者 (haxiao@isa.ac.cn)

作者简介: 彭洪翠 (1980—), 女, 湖北秭归人, 硕士研究生, 主要从事土壤与环境生态的研究。E-mail: penghongcui@163.com

土壤中  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{MgCO}_3$  的含量。陈景奎等<sup>[16]</sup>采用扩散法测定土壤碳酸盐含量, 在土壤中加入磷酸溶液, 产生的  $\text{CO}_2$  用一定量  $\text{NaOH}$  溶液吸收, 多余的碱用标准酸滴定, 根据消耗的酸碱溶液体积计算土壤碳酸盐含量。Zougagh 等<sup>[17]</sup>提出了利用连续流压电检测法测定土壤碳酸盐含量。以上这些方法不是操作过程繁琐, 就是测定结果精确度低, 重复性差。可见, 目前还没有统一的测定土壤碳酸盐的经典方法。

本文通过在土壤中添加  $\text{CaCO}_3$  内标法及与中和滴定法比较研究, 建立了土壤碳酸盐间接测定法, 即采用 C/N 分析仪测定的土壤总 C 量与重铬酸钾氧化法测定的有机 C 量的差值估算土壤碳酸盐含量。并应用本文建立的方法, 对广西环江喀斯特低山区石灰岩发育的土壤 (740 个) 和湖南沅江湖区湖积物形成的土壤 (631 个) 碳酸盐含量进行了测定, 分析了这两种类型土壤碳酸盐含量分布特征及主要原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

采自广西环江县喀斯特低山区石灰岩母质发育的土壤表层 (0 ~ 20 cm) 样品 740 个, 其中稻田、旱地和林地土样分别为 341 个、311 个和 88 个, 土壤  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  分别为 5.5 ~ 7.4、3.8 ~ 7.1 和 3.8 ~ 7.4。采自湖南沅江县大同平原湖区湖积物形成的土壤表层 (0 ~ 20 cm) 样品 631 个, 其中稻田、熟化旱地和新垦 (3 ~ 5 年) 旱地土样分别为 532 个、76 个和 23 个, 土壤  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  分别为 7.2 ~ 7.9、7.1 ~ 7.9 和 7.6 ~ 7.9。采集的土样风干后, 碾碎过 100 目筛, 置聚乙烯袋中密封保存备用。

### 1.2 测定方法

**1.2.1 中和滴定法** 参照文献[1]方法略有改进。具体操作: 称取 2.00 ~ 5.00 g 风干过 100 目筛的土样, 放入 250 ml 烧杯中, 根据土样量用滴定管缓慢加入 20 ~ 80 ml 1.0 mol/L HCl 溶液, 放置过夜, 彻底反应。将烧杯置于可调温电炉上小火加热, 煮沸 3 ~ 5 min 以除去溶液中  $\text{CO}_2$ , 冷却后用 0.4  $\mu\text{m}$  滤纸过滤, 并用去  $\text{CO}_2$  去离子水洗涤 3 ~ 5 次, 收集所有滤液。滤液中加入 3 ~ 5 滴酚酞指示剂, 滤液经微加热后, 趁热用 1.0 mol/L NaOH 溶液滴定至粉红色即为终点。

土壤碳酸盐含量:  $\text{SIC} = (C_1V_1 - C_2V_2) \times 0.05/W \times 1000$

其中: SIC 为“ $\text{CaCO}_3$  相当量”表示土壤碳酸盐含量, 单位为 g/kg。  $C_1$ 、 $C_2$  分别为 HCl 和 NaOH 溶液的浓度 (mol/L);  $V_1$ 、 $V_2$  分别为 HCl 和 NaOH 溶液的体积 (ml);  $W$  为土样质量 (g); 0.05 为  $1/2\text{CaCO}_3$  摩尔质量 (kg/mol)。

**1.2.2 间接法** 土壤总 C (TC) 含量采用 C/N 分析仪 (Vario MAX) 测定。取 0.2000 g 风干后过 100 目筛的土样于合金坩锅中, 装有土样的坩锅在燃烧管中于 900 °C 高温下通入纯  $\text{O}_2$  使土样中所有的 C 转化  $\text{CO}_2$ , 经纯化去除不稳定的卤素元素等气体, 以纯氦为载气, 用热导检测器 (TCD) 测定总  $\text{CO}_2$ -C 含量, 以烘干土含 C 质量分数计。

土壤有机 C (SOC) 含量测定采用重铬酸钾氧化法<sup>[1]</sup>。

土壤碳酸盐含量:  $\text{SIC} = (\text{TC} - \text{SOC}) \times 100/12$   
其中: SIC 为“ $\text{CaCO}_3$  相当量”表示土壤碳酸盐含量, 以烘干土含  $\text{CaCO}_3$  质量分数计; TC (g/kg) 为土壤总 C 含量; SOC (g/kg) 为土壤有机 C 含量; 100 为  $\text{CaCO}_3$  分子量; 12 为 C 分子量。

**1.2.3 外加  $\text{CaCO}_3$  的回收率测定** 为比较两种方法对外加  $\text{CaCO}_3$  测定的准确度, 采用外加分析纯  $\text{CaCO}_3$  测定其回收率。选择采自广西环江的稻田和林地土壤各 1 个为代表, 稻田土壤 pH 值为 6.1、有机 C 含量为 19.0 g/kg, 不含碳酸盐; 林地土壤 pH 值为 7.3, 有机 C 含量为 36.7 g/kg, 碳酸盐含量为 582 g/kg。中和滴定法测回收率: 每个土样称取风干土 3.00 g 各 15 份, 分别加入 0、0.50、1.00、1.50 和 2.00 g 分析纯  $\text{CaCO}_3$ , 设 3 次重复, 按上述方法测定。间接法测回收率: 每个土样称取风干土样 0.2100 g 各 21 份, 分别加入 0、0.030、0.060、0.120、0.180、0.240 和 0.300 g 分析纯  $\text{CaCO}_3$ , 设 3 次重复, 按上述方法测定。

外加碳酸钙的回收率 (%):  $R_{\text{CaCO}_3} = (\text{测定的 } \text{CaCO}_3 \text{ 量} / \text{加入的 } \text{CaCO}_3 \text{ 量}) \times 100\%$

**1.2.4 中和滴定法与间接法测定土壤碳酸盐含量比较** 选择采自广西环江碳酸盐含量较高的代表性土样 27 个, 其中林地、旱地和稻田土样各为 19、5 和 3 个。分别用中和滴定法与间接法测定土壤碳酸盐含量, 每个处理设 3 次重复。比较两种测定方法的精准度。

1.2.5 土壤 pH 值测定 采用蒸馏水(土水比 1:2.5) 浸提 15 min, 用 Mettler-toledo 320 pH 计测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 中和滴定法与间接法测定的外加 $\text{CaCO}_3$ 的回收率

表 1 结果表明, 中和滴定法测定的外加  $\text{CaCO}_3$  的回收率随添加  $\text{CaCO}_3$  量的增多而降低。对于测定的稻田和林地土壤, 当添加的  $\text{CaCO}_3$  量为 143 g/kg 和 250 g/kg 时, 外加  $\text{CaCO}_3$  的回收率为 96.7% ~ 98.5%; 当添加的  $\text{CaCO}_3$  量为 333 g/kg 时, 外加

$\text{CaCO}_3$  在稻田和林地土壤中的回收率分别下降到 94.3% 和 95.2%; 而当添加的  $\text{CaCO}_3$  量为 400 g/kg 时, 回收率分别下降到 91.2% 和 92.2%。这说明当土壤  $\text{CaCO}_3$  含量 > 300 g/kg 时, 采用中和滴定法测定的土壤  $\text{CaCO}_3$  含量结果将偏低。此外, 除林地土壤外加  $\text{CaCO}_3$  量为 333 g/kg 和 400 g/kg 时其回收率的标准差较小 (0.18% ~ 0.47%) 外, 采用中和滴定法测定的回收率的标准差都相对较大 (1.13% ~ 2.12%), 表明该方法的重复性相对较差。由此可见, 采用中和滴定法测定土壤  $\text{CaCO}_3$  含量的结果其准确度和重复性均较差。

表 1 中和滴定法测定的外加  $\text{CaCO}_3$  的回收率

Table 1 Recovery of added  $\text{CaCO}_3$  measured with the neutralization titration method

土样号	土壤类型	土样重量 (g)	加入 $\text{CaCO}_3$ 量 (g)	测定的 $\text{CaCO}_3$ 含量* (g/kg)	$\text{CaCO}_3$ 理论含量 (g/kg)	回收率* (%)
D001	稻田土	3.00	0.50	139 ± 1.9	143	97.8 ± 1.32
		3.00	1.00	244 ± 4.5	250	97.5 ± 1.80
		3.00	1.50	314 ± 5.1	333	94.3 ± 1.53
		3.00	2.00	365 ± 4.5	400	91.2 ± 1.13
D361	林地土	3.00	0.50	141 ± 2.8	143	98.5 ± 1.41
		3.00	1.00	242 ± 7.1	250	96.7 ± 2.12
		3.00	1.50	317 ± 2.0	333	95.2 ± 0.47
		3.00	2.00	369 ± 0.9	400	92.2 ± 0.18

\* 数据为 3 次重复的平均数 ± 标准差, 下同。

表 2 结果表明, 采用间接法测定的加入  $\text{CaCO}_3$  的含量与  $\text{CaCO}_3$  理论含量非常接近。对于稻田土壤

当加入  $\text{CaCO}_3$  的含量为 123 ~ 582 g/kg 时,  $\text{CaCO}_3$  的回收率为 99.1% ~ 100.0%; 对于林地土壤当加入

表 2 间接法测定的外加  $\text{CaCO}_3$  的回收率

Table 2 Recovery of added  $\text{CaCO}_3$  measured with the indirect method

土样号	土壤类型	土样重量 (g)	加入 $\text{CaCO}_3$ 量 (g)	测定的 $\text{CaCO}_3$ 含量 (g/kg)	$\text{CaCO}_3$ 理论含量 (g/kg)	回收率 (%)
D001	稻田土	0.2146	0.0301	122 ± 2.5	123	99.1 ± 1.13
		0.2157	0.0601	217 ± 0.0	218	99.4 ± 0.98
		0.2160	0.1205	354 ± 2.4	358	98.9 ± 0.20
		0.2163	0.1804	452 ± 4.2	455	99.3 ± 0.52
		0.2157	0.2403	527 ± 1.1	527	100.0 ± 0.07
		0.2159	0.3003	577 ± 5.5	582	99.2 ± 1.18
D361	林地土	0.2296	0.0298	113 ± 5.4	115	98.5 ± 0.73
		0.2375	0.0601	204 ± 10.2	200	100.9 ± 0.86
		0.2091	0.1202	370 ± 10.8	365	101.3 ± 0.47
		0.2080	0.1800	474 ± 9.7	464	102.1 ± 0.11
		0.2021	0.2401	555 ± 0.6	543	102.2 ± 0.18
		0.1942	0.3000	624 ± 3.2	607	102.7 ± 0.09

CaCO<sub>3</sub> 的含量为 115 ~ 607 g/kg 时, CaCO<sub>3</sub> 的回收率为 98.5% ~ 102.7%。且两个土壤测定的回收率的标准差均较小(为 0.11% ~ 1.18%)。这说明间接法测定的土壤 CaCO<sub>3</sub> 含量的结果不仅准确度高,且重复性好。此外,该方法与以往测定土壤碳酸盐的方法比较,避免了土壤中硫酸钙(石膏)等酸性盐对碳酸盐测定的影响以及土壤中的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 是否被完全提取(如原子吸收光谱法),也避免了 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 是否被完全反应的问题(如中和滴定法)。

## 2.2 中和滴定法与间接法测定的土壤碳酸盐含量的相关性

采用中和滴定法与间接法分别对广西环江县喀斯特低山区 27 个土样的碳酸盐含量进行了测定。结果表明,2 种方法测定的结果之间具有极显著的相关性,其相关系数  $r = 0.8936^{**}$  (图 1)。图 1 结果

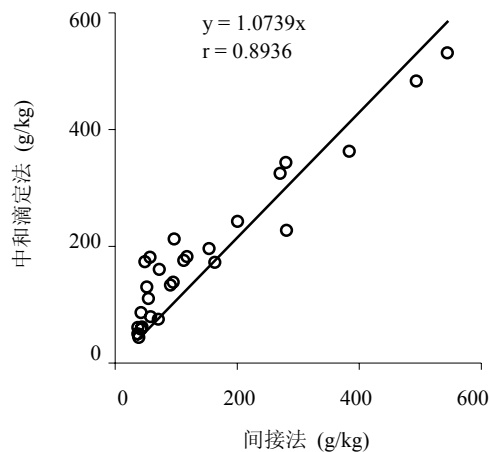


图 1 中和滴定法与间接法测定的土壤碳酸盐含量的相关性

Fig. 1 Relationship between neutralization titration and indirect method in soil carbonate content

还表明,当土壤碳酸盐含量较低(<200 g/kg)时,采用中和滴定法测定的大部分土壤的碳酸盐含量偏高。这可能与所加的盐酸不仅能和碳酸盐反应,还能和土壤中其他弱酸盐(如醋酸盐等)反应有关。而当土壤碳酸盐含量较高(>300 g/kg)时,采用中和滴定法测定的土壤碳酸盐含量偏低。这可能与土壤中碳酸盐含量较高时,盐酸很难与 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 彻底反应完全有关。这与上述采用中和滴定法测定外加 CaCO<sub>3</sub> 回收率时,当添加的 CaCO<sub>3</sub> 含量 > 300 g/kg 时回收率降低的结果是一致的。

## 2.3 广西环江喀斯特低山区和湖南沅江平原湖区土壤碳酸盐含量特征

表 3 结果表明,广西环江喀斯特低山区稻田土壤中仅有 2.1% 土样含碳酸盐,其含量范围为 5.40 ~ 95.4 g/kg,平均含量为 37.1 g/kg。旱地土壤中有 43.7% 的土样含有碳酸盐,其含量范围为 5.00 ~ 85.6 g/kg,平均含量为 15.7 g/kg。林地土壤中 50.0% 的土样含有碳酸盐,其含量范围为 6.60 ~ 660 g/kg,平均含量为 134 g/kg。这表明在喀斯特地区石灰岩发育的稻田土壤中含碳酸盐土样占总土样的比例很小,大部分(98%)稻田土样不含碳酸盐,这可能与稻田土地利用和耕作管理方式有利于碳酸盐分解转化为 CO<sub>2</sub> 而释放有关。林地土壤中含碳酸盐土样占总土样的比例(50.0%)略大于旱地土壤(43.7%),但林地土样碳酸盐平均含量比旱地土样高 8.6 倍,这表明当林地开垦为旱地经熟化后,土壤中大约有 90% 的碳酸盐分解转化为 CO<sub>2</sub> 而释放出来。本研究测定的石灰岩发育的林地土壤碳酸盐含量与 Campillo 等<sup>[18]</sup>报道的西班牙南部干旱半干旱地区土壤碳酸盐含量(70.0 ~ 778 g/kg)较接近。

表 3 广西环江和湖南沅江土壤碳酸盐含量状况

Table 3 Contents of total carbonate in soils from Huanjiang, Guangxi and Yuanjiang, Hunan

土壤来源	土地利用	土样数	含碳酸盐土样数	含碳酸盐土样比例	碳酸盐含量范围	碳酸盐平均含量
				(%)		
广西环江	稻田	341	7	2.1	5.40 ~ 96.4	37.1 ± 31.4
	旱地	311	136	43.7	5.00 ~ 85.6	15.7 ± 12.8
	林地	88	44	50.0	6.60 ~ 660	134 ± 183
湖南沅江	稻田	532	532	100.0	4.40 ~ 144	37.7 ± 14.1
	熟化旱地(长期)	76	76	100.0	20.7 ~ 111	46.6 ± 16.4
	新垦旱地(3~5年)	23	23	100.0	63.2 ~ 80.2	73.3 ± 4.2

湖南沅江湖积物形成的土壤 100% 含有碳酸盐。稻田土壤的碳酸盐含量范围为 4.40 ~ 144 g/kg, 平均含量为 37.7 g/kg。熟化旱地土壤碳酸盐含量范围为 20.7 ~ 111 g/kg, 平均含量为 46.6 g/kg。新垦旱地土壤碳酸盐含量范围为 63.2 ~ 80.2 g/kg, 平均含量为 73.3 g/kg (表 3)。这表明旱地和稻田经过长期耕作和熟化后, 土壤中的碳酸盐不断分解转化为 CO<sub>2</sub> 而释放, 使碳酸盐含量降低。新垦旱地经长期耕作熟化后土壤碳酸盐平均含量下降 36.4%, 而熟化旱地改为稻田后土壤碳酸盐平均含量下降 19.1%。这与土地利用方式对石灰岩土壤的碳酸盐含量变化影响的规律是基本一致的, 但土地利用方式对湖积物形成土壤碳酸盐含量变化的影响程度小于石灰岩发育的土壤。本研究的湖积物形成的土壤碳酸盐含量, 与朱礼学等<sup>[2]</sup>报道的四川盆地及川西高原河谷地带土壤碳酸盐含量 (50 ~ 150 g/kg) 以及何建新等<sup>[19]</sup>报道的江苏省沿江地区长江三角洲沉积物形成的土壤耕层碳酸盐含量 (平均为 29.4 g/kg) 比较接近。

综上所述, 成土母质和土地利用方式对土壤碳酸盐含量有明显的影响。广西环江石灰岩发育的林地土壤的碳酸盐平均含量明显高于湖南沅江湖积物形成的新垦旱地土壤。但是, 土地利用方式的改变对石灰岩发育的土壤碳酸盐含量的影响远大于湖积物形成的土壤。这可能与两种类型土壤中碳酸盐的来源不同有关。贾宇平等<sup>[20]</sup>研究表明黄土高原丘陵耕地土壤碳酸盐含量较高, 而林地和草地土壤碳酸盐含量较低。他们认为翻耕一方面使土壤矿物风化作用增强, 土壤中的 Ca 在矿物分解时分离出来, 另一方面促进了土壤有机质的周转, 使处在半干旱地区碱性、富 Ca 条件下土壤有机 C 向 CaCO<sub>3</sub> 转化。这与本文研究结果是不同的。说明土地利用方式对亚热带区石灰岩发育的土壤和湖积物形成的土壤碳酸盐含量变化的影响与黄土高原丘陵土壤存在明显的差异。

### 3 结论

采用 C/N 分析仪测定的总 C 量与氧化法测定的有机 C 量的差值可用于估算土壤碳酸盐含量。该方法测定的结果精确度高, 测定速度较快, 适合于大批量样品分析。石灰岩发育的土壤碳酸盐含量高于湖积物形成的土壤, 土地利用方式对石灰岩发育的

土壤碳酸盐含量的影响大于湖积物形成的土壤。

### 参考文献:

- [1] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999: 30-33, 201-205
- [2] 朱礼学, 邓泽锦. 土壤 pH 值及 CaCO<sub>3</sub> 在多目标地球化学调查中的研究意义. 物探化探计算技术, 2001, 23 (2): 140-143
- [3] Moustakas NK, Barouchas PE. Free oxide distribution in poorly and well drained soils developed on calcareous alluvial deposits. *Pedosphere*, 2003, 13 (4): 345-351
- [4] 刘秀明, 王世杰, 冯志刚, 孙承兴. 石灰土物质来源的判别—以黔北、黔中几个剖面为例. *土壤*, 2004, 36 (1): 30-36
- [5] 郭玉文, 加藤诚, 宋菲, 张玉龙, 曾思伟, 王得楷. 黄土高原黄土团粒组成及其与碳酸钙关系的研究. *土壤学报*, 2004, 41 (3): 362-368
- [6] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究. *科学通报*, 1999, 15 (5): 330-332
- [7] 潘根兴. 中国干旱性地区土壤发生性碳酸盐及其在陆地系统碳转移上的意义. *南京农业大学学报*, 1999, 22 (1): 51-57
- [8] 张玉庚, 张学雷. 碳酸盐作为褐土分类指标的初探. *土壤*, 1990, 22 (2): 98-100
- [9] 赵景波. 黄土中古土壤 CaCO<sub>3</sub> 淀积层及其意义. *西安工程学院学报*, 1998, 20 (3): 46-49
- [10] 赵景波. 风化淋滤带地质新理论—CaCO<sub>3</sub> 淀积深度理论. *沉积学报*, 2000, 18 (1): 29-35
- [11] 胡雪峰, 鹿化煜. 黄土高原古土壤成土过程的特异性及发生学意义. *土壤学报*, 2004, 41(5): 669-675
- [12] 谭红兵, 马海州, 张西营. 碳酸盐研究与其记录的环境变化. *盐湖研究*, 2003, 11 (4): 20-27
- [13] 李忠海, 何明, 陈建华. 用二氧化碳传感器测定土壤中的碳酸盐. *中南林学院学报*, 1992, 12 (1): 68-73
- [14] Loeppert RH, Hallmark CT, Koshy MM. Routine procedure for rapid determination of soil carbonates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 1030-1033
- [15] 教剑英. 用氯化铵提取法测定石灰性土壤中碳酸盐含量. *土壤*, 1994, 26 (2): 105-108
- [16] 陈景奎, 陈世勇, 段立珍. 扩散法测定土壤碳酸盐总量. *安徽农业技术师范学院学报*, 1999, 13 (1): 27-31
- [17] Zougagh M, Rios A, Valcárcel M. Direct determination of total carbonate salts in soil samples by continuous-flow

- piezoelectric detection. *Talanta*, 2005, 65: 29-35
- [18] Campillo MC, Torrent J, Loeppert RH. The reactivity of carbonates in selected soils of southern Spain. *Geoderma*, 1992, 52 (1/2): 149-160
- [19] 何建新, 朱汉娴, 钱惠祥, 朱士忠, 宋金华, 张振涛. 多效硅肥在江苏省沿江地区水稻上的应用. *中国稻米*, 1994, (2): 23-24
- [20] 贾宇平, 段建南. 土地利用方式对黄土丘陵土壤  $\text{CaCO}_3$  含量及分布的影响. *土壤通报*, 2003, 34 (4): 319-321

## An Indirect Method for Determination of Soil Total Carbonate

PENG Hong-cui<sup>1,2</sup>, XIAO He-ai<sup>1</sup>, WU Jin-shui<sup>1</sup>, SU Yi-rong<sup>1</sup>, LI Xin-ai<sup>1,2</sup>, TANG Guo-yong<sup>1,2</sup>

( 1 *Key Laboratory of Subtropical Agriculture Ecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;* 2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China* )

**Abstract:** A new indirect method for determination of soil carbonate was proposed and established by comparing with neutralization titration method in measuring the recovery of added  $\text{CaCO}_3$ . First, soil total carbon content (TC) was measured with the elemental analyzer (Vario MAX C/N), and then soil organic carbon content (SOC) with the potassium dichromate oxygenation method. And finally, based on difference between TC and SOC, soil carbonate content (SIC) was estimated. Using the indirect method, total carbonate in calcareous soil and lacustrine sediment soil from Guangxi and Hunan in subtropical China was determined. Results indicated that only some of the calcareous soil samples contain carbonates. The proportion of soil samples which contain carbonate in woodland, upland, and paddy soil was 50.0%, 43.7% and 2.1%, respectively. The carbonate contents of these woodland, upland and paddy soil were 134, 15.7 and 37.1 g/kg, respectively. All of the lacustrine sediment soil samples contained carbonate with average carbonate contents of 73.3, 46.6 and 37.3 g/kg, respectively in upland cultivated for three to five years, upland cultivated for a long time and paddy soil. The impact of land use and soil parent on the soil carbonates content is significant.

**Key words:** Soil carbonate, Determination method, Calcareous soil, Lacustrine sediment soil