

DOI: 10.11766/trxb201705110109

# 土壤的石灰反应强度估测CaCO<sub>3</sub>含量和pH研究\*

——以山西省黄土性母质土壤为例

李超<sup>1</sup> 张凤荣<sup>1†</sup> 张天柱<sup>1</sup> 王秀丽<sup>2</sup> 靳东升<sup>3</sup>

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

(2 河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002)

(3 山西省农业科学院农业环境与资源研究所, 太原 030006)

**摘要** pH和CaCO<sub>3</sub>含量是土壤常规分析的两个测定指标,但其室内测定均需借助相应的仪器设备完成,耗时费力。以山西省土系调查采集的110个典型土壤剖面的426个发生层土样的野外测定的石灰反应强度和实验室测定的土壤pH、CaCO<sub>3</sub>含量、交换性钠饱和度(Exchangeable Sodium Percentage, ESP)数据为基础,尝试建立石灰反应强度与pH、CaCO<sub>3</sub>含量之间的定量关系模型。结果表明:北方黄土性母质土壤,当pH<9.0时, CaCO<sub>3</sub>含量是影响土壤pH的重要因素,二者的回归拟合最优关系符合幂函数曲线;当pH>9.0时, CaCO<sub>3</sub>与pH之间无明显关系。石灰反应强度在一定程度上可以半定量地反映pH或CaCO<sub>3</sub>含量,但其确定的pH或CaCO<sub>3</sub>含量尚是一个范围,并非精确值。同时,从发生学意义角度,土壤中CaCO<sub>3</sub>含量高低对形态学研究具有重要意义,在这种情况下,如果需要用pH或CaCO<sub>3</sub>含量来确定准确的土壤系统分类类型(如确定土体是否为酸性、具有钙积层/钙积现象等),为慎重起见建议还是以实验室的准确测定数据为准;对于非碱化(pH<9.0)、野外有泡沫反应的北方黄土性母质土壤,无论泡沫反应强弱和CaCO<sub>3</sub>含量高低,土壤pH基本稳定在8.51±0.49,这一pH范围对作物生长基本没有制约,如果仅从pH或CaCO<sub>3</sub>含量是否影响作物生长角度考虑,无需实验室测定pH或CaCO<sub>3</sub>含量。

**关键词** 石灰反应强度; pH; CaCO<sub>3</sub>; 黄土; 山西省

**中图分类号** S159 **文献标识码** A

土壤pH和碳酸盐相当物含量(主要是CaCO<sub>3</sub>,因此通常称为CaCO<sub>3</sub>含量)是土壤常规分析的两个测定指标,反映了区域气候和土壤形成母质对土壤形成和土壤性质的影响,也影响着土壤养分的有效性,对农业生产具有重要影响<sup>[1-3]</sup>。pH和CaCO<sub>3</sub>含量的测定均有相应的野外测定方法,常用的野外估测方法分别为比色法和盐酸滴定法,但两种方法估测的pH和CaCO<sub>3</sub>含量结果均不够准确,因此,往往还需在室内借助相应实验仪器完成准确测定<sup>[4-9]</sup>。

相关研究表明,目前实验室测定pH和CaCO<sub>3</sub>含量所采用的各种方法均存在一定误差<sup>[4, 10-13]</sup>。在特定区域、特定类型土壤上是否有必要进行pH和CaCO<sub>3</sub>含量的实验室准确测定,是一个值得探讨的问题。

CaCO<sub>3</sub>含量在一定程度上决定了pH和石灰反应强度,总体上表现为CaCO<sub>3</sub>含量越高,石灰反应越强,pH越高(一般在pH<8.2~8.5)。虽然一些研究建立了CaCO<sub>3</sub>与pH之间的定量模型<sup>[14-15]</sup>,但有研究指出在不同地区、不同成土因素和不同土

\* 国家自然科学基金项目(41671216)和国家科技基础性工作专项(2014FY110200)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41671216) and the National Science and Technology Basic Work (No.2014FY110200)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: frzhang@cau.edu.cn

作者简介: 李超(1991—),男,河北邢台人,博士研究生,研究方向为土壤地理、土地可持续利用。E-mail: lichaoongda@163.com

收稿日期: 2017-05-11; 收到修改稿日期: 2017-06-29; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2017-07-10

壤类型下,两者之间的定量模型可能是不同的<sup>[16]</sup>。此外,至今尚未见到有关CaCO<sub>3</sub>含量与石灰反应强度之间定量关系的研究报道。

石灰反应、pH、碳酸盐相当物含量是中国土壤系统分类检索中的三个指标<sup>[17]</sup>,石灰反应强度是在野外采用1:3稀盐酸滴定细土后观察产生的气泡多少和听到的声音强弱来确定<sup>(1)</sup>、<sup>[18]</sup>,而pH和CaCO<sub>3</sub>含量则需要在实验室分别采用电位计法和气量法测定获取<sup>[19]</sup>。对于特定区域,如果能够建立石灰反应强度与pH、CaCO<sub>3</sub>含量之间的定量关系模型,无疑可节省实验室测定pH和CaCO<sub>3</sub>含量的时间和成本,也有益于野外初步确定某些石灰性土壤的系统分类类型。

为此,本研究以2015—2016年间在山西省调查采集的110个代表性土壤剖面的426个发生层土样野外测定的石灰反应强度和实验室测定的pH、CaCO<sub>3</sub>含量数据为基础,尝试建立三者之间的定量关系模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 山西省概况

山西省地处中纬度地带的内陆,地理位置34°36′~40°44′ N, 110°15′~114°32′ E,南北长约682 km,东西宽约385 km,总面积15.67万km<sup>2</sup>。地势东北高西南低,总的地势轮廓是“两山夹一川”,地貌类型可划分为山地、丘陵和盆地,其中,山地和丘陵合计占全省总面积的80.1%。年均气温介于4.2~14.2℃,降水量介于358~621 mm,夏季6—8月降水量约占全年的60%<sup>[20]</sup>。山西省是黄土高原的一部分,黄土覆盖比例高达66.6%。山区岩石主要有酸性岩类、碳酸盐类、硅质岩类、中性和基性岩类等<sup>[21]</sup>,但即使山区也普遍受黄土降尘影响<sup>[22]</sup>。山西省发生学土壤类型主要有棕壤、褐土、栗钙土、栗褐土、盐碱土、潮土等,合计共有土种351个<sup>[23]</sup>。

### 1.2 土壤调查与采样

在对山西省相关气候、水文、地质、地形地貌、土地利用、成土母质、土壤发生学类型等因素及其空间分布特征进行充分分析的基础上,考虑样点布设的均匀性和可靠性、交通可达性,基于目标

采样方法对调查样点进行布设。2015年5月—2016年9月,对布设的调查样点开展了实地调查,共调查土壤剖面110个(图1),大致覆盖了102个土种,合计采集了发生层样品426个。

### 1.3 分析方法

石灰反应强度<sup>(1)</sup>、<sup>[18]</sup>的野外测定方法为,在野外用手捏碎土壤,用少量水湿润后,滴加10%稀盐酸观察气泡产生多少和声音强弱。分级为:1)无,没有细气泡产生;2)弱,有微气泡产生,但听不到声音;3)中,有气泡产生,泡沫声微弱;4)强,有明显气泡产生,听到泡沫声,泡沫声微弱;5)极强,反应剧烈,泡沫溢出,声音明显,肉眼往往可见碳酸盐颗粒。

土样经风干、去杂、比色、研磨、过不同孔径筛后,分别测定机械组成、pH、CaCO<sub>3</sub>含量、阳离子交换量(Cation Exchange Capacity, CEC)、盐基饱和度(Base Saturation, BS)、全盐量和交换性钠饱和度(Exchangeable Sodium Percentage, ESP)。其中,土壤pH采用电位法(水土比为2.5:1)测定,CaCO<sub>3</sub>含量采用气量法测定,具体的测定方法详见文献<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据处理与统计方法

按照“平均值±3倍标准差”方法剔除异常值,借助Microsoft EXCEL 2013、IBM Statistics SPSS23.0软件进行数据处理、回归分析,统计CaCO<sub>3</sub>含量、pH、石灰反应强度之间的数量与函数关系<sup>[14-16, 24]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 石灰反应强度、CaCO<sub>3</sub>含量和pH描述性统计

依据石灰反应强度野外观察结果,426个发生层土样中,102个无石灰反应,52个为弱石灰反应,25个为中石灰反应,121个为强石灰反应,126个为极强石灰反应。

依据实验室测定结果,426个发生层土样的CaCO<sub>3</sub>含量范围为0.1~251.3 g kg<sup>-1</sup>,平均含量为56.1 g kg<sup>-1</sup>,标准差为43.17 g kg<sup>-1</sup>,变异系数为76.93%。pH范围为6.00~10.28,平均值为8.36,标准差为0.68,变异系数为8.06%。两者总体上属中等变异程度,具有良好的分异性,能够反应统计

(1) 张甘霖,李德成.野外土壤描述与采样手册.北京:科学出版社,2017(待版)

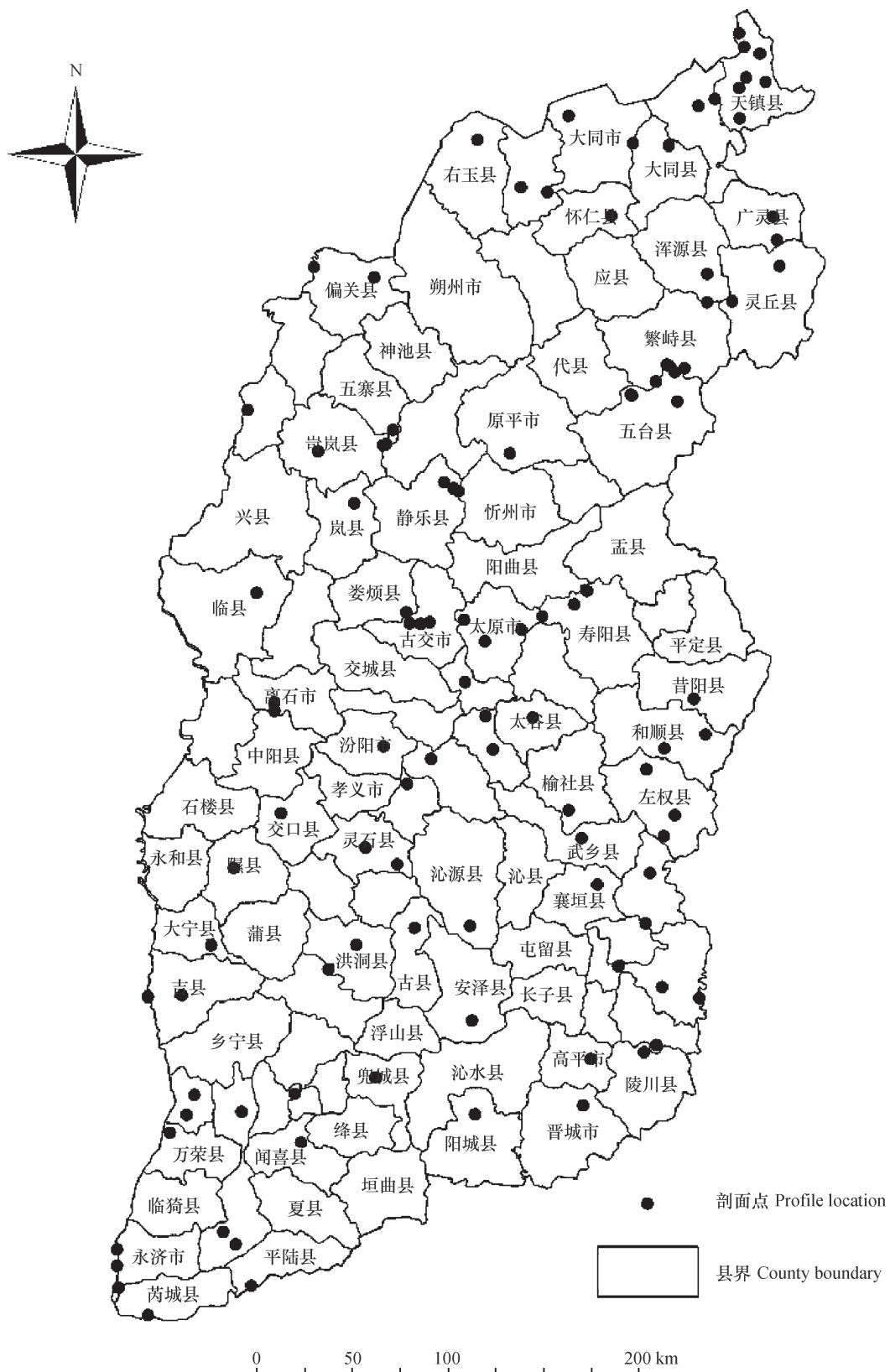


图1 土壤剖面点位置示意图

Fig. 1 Distribution map of the studied soil profiles

样本在区域尺度上的变异性。

从空间分布来看，pH较低（pH < 8）、CaCO<sub>3</sub>含量较低的剖面多分布于中山（海拔800 m以上）及以上山地，这主要是因为该地区海拔高，降雨量较大，土壤中CaCO<sub>3</sub>淋溶较彻底，主要土壤类型包括棕壤、暗棕壤、山地草甸土等。pH介于8.0~9.0的剖面多分布于低山丘陵地区，由于该地区海拔相对较低，降雨量也较低，土壤中CaCO<sub>3</sub>淋溶不彻底，主要土壤类型为褐土、潮土等。pH > 9.0的剖面多分布于地势低洼、土体受地下水影响明显的地区，地表多见板结特征和碱蓬等指示植被，主要为碱化土壤。

2.2 pH与CaCO<sub>3</sub>含量的关系

由pH与CaCO<sub>3</sub>含量测定数据的散点图（图2）可以看出，二者之间并非简单的线性关系：1）pH < 9时，pH随着CaCO<sub>3</sub>含量的增加而增加，但CaCO<sub>3</sub>含量变化引起的pH升幅逐渐平缓乃至消失，表明当pH < 9时，CaCO<sub>3</sub>含量变化对pH的影响明显，二者之间具有显著的相关性（*p* < 0.01），回归拟合最优关系符合幂函数曲线（表1）；2）pH > 9时，二者之间不存在显著相关关系，这是由于pH > 9的土壤多是碱化土壤，此时pH主要受交换性钠含量影响<sup>[26]</sup>。

运用自然断点法将426个发生层土样按照pH分

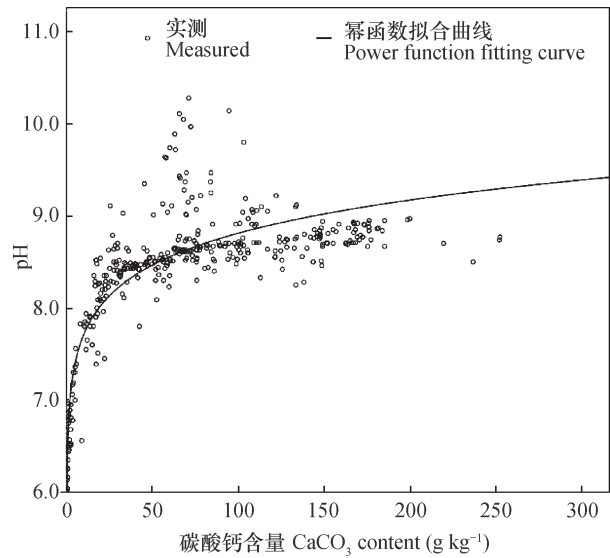


图2 土壤pH与CaCO<sub>3</sub>含量关系散点图

Fig. 2 Scatter plot of soil pH and CaCO<sub>3</sub> content

为 < 7.40、7.40 ~ 8.59、8.59 ~ 9.00和 > 9.00四级，分析pH与CaCO<sub>3</sub>含量之间的定量关系。pH < 9的三个级别下，pH与CaCO<sub>3</sub>含量之间具有极显著的相关性（*p* < 0.01），且不同级别的pH与CaCO<sub>3</sub>含量之间呈现出的数学关系不尽相同，其中pH < 7.40、pH介于8.59 ~ 9.00时的最优回归关系符合一元三次方程模型；pH介于7.40 ~ 8.59的回归拟合最优关系符合幂函数曲线（表1）。

表1 基于pH自然断点的pH与CaCO<sub>3</sub>含量之间最优回归模型

Table 1 Optimal regression models for relationship between pH and CaCO<sub>3</sub> content relative to pH

pH范围 (y)	土样数	最优回归方程	相关系数 <i>r</i>
pH range	Soil number	Optimal regression mode	Correlation
< 7.40	46	pH=5.971+0.571x <sup>3</sup> -0.083x <sup>2</sup> +0.003x	0.887**
7.40 ~ 8.59	137	pH=e <sup>(2.149-0.905/x)</sup>	0.742**
8.59 ~ 9.00	189	pH=8.718-0.003x <sup>3</sup> +3.516 × 10 <sup>-5</sup> x <sup>2</sup> -9.454 × 10 <sup>-8</sup> x	0.585**
> 9.00	54	pH=7.792+0.051x <sup>3</sup> -0.001x <sup>2</sup> +1.652 × 10 <sup>-6</sup> x	0.386
pH < 9.0土样	372	pH=6.744x <sup>0.055</sup>	0.934**
全部土样	426	pH=6.756x <sup>0.058</sup>	0.875**

2.3 CaCO<sub>3</sub>含量与石灰反应强度的关系

供试的372个非碱化的发生层土样（ESP < 5%，pH < 9）不同石灰反应强度级别的pH和CaCO<sub>3</sub>含量的描述性统计和分析结果见表2，可以看出，随着石灰反应强度的增加，pH、CaCO<sub>3</sub>含量均值逐渐升高，且各石灰反应强度级别之间，土样

的pH、CaCO<sub>3</sub>含量均表现出显著差异水平，表明用石灰反应强度来反映土壤pH和CaCO<sub>3</sub>含量是可信的（表2）。

需要指出的是，并非只要土体中含有CaCO<sub>3</sub>，就一定具有石灰反应。《中国土壤系统分类检索》（第三版）中石灰性定义中CaCO<sub>3</sub>相当物含量要

表2 不同石灰反应强度的pH与CaCO<sub>3</sub>含量的描述性统计特征Table 2 Descriptive statistics of soil pH and CaCO<sub>3</sub> content relative to lime reaction intensity

石灰反应强度 Lime reaction intensity	土样数 Soil number	pH			CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		
		最小值 Min	最大值 Max	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	最小值 Min	最大值 Max	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
无 No	102	6.00	8.02	7.47 ± 0.64d	0.13	8.87	3.02 ± 2.88e
轻度 Slight	52	8.03	8.37	8.21 ± 0.11c	9.92	57.06	29.29 ± 14.90d
中度 Moderate	25	8.38	8.50	8.46 ± 0.04b	59.23	76.81	69.86 ± 6.50c
强 Intensive	121	8.51	8.65	8.58 ± 0.04b	77.48	96.78	84.87 ± 4.76b
极强 Extremely intensive	72	8.66	8.99	8.80 ± 0.11a	96.86	150.82	115.05 ± 16.63a

注：同列不同小写字母表示组间差异显著 ( $p < 0.05$ )。下同 Note: The different lowercase letters in the same column mean significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). The same below

≥ 10 g kg<sup>-1</sup>，用1:3稀盐酸处理有泡沫反应。这也意味着只有土体中CaCO<sub>3</sub>含量超过一定量，才能观察到石灰反应，本次野外测定无石灰反应的表层土样，在实验室中仍可检测出微量CaCO<sub>3</sub>，这主要是由于山西地处黄土高原地区，表土不断接受由黄土降尘带来的碳酸盐，加上山西省降雨量不高，总体上属于半干旱半湿润地区，土体中CaCO<sub>3</sub>淋洗不及时或不彻底，因此表土可能会残留微量或少量的CaCO<sub>3</sub>。

综合上述石灰反应强度与pH、CaCO<sub>3</sub>含量的统计结果可知，对于非碱化 (ESP < 5%) 的黄土性母质石灰性土壤 (即野外有石灰反应)，无论石灰反应强弱或CaCO<sub>3</sub>含量高低，pH大致稳定在8.51 ± 0.49。

### 3 讨论

本研究试图通过野外快速便捷的石灰反应强度来推测pH和CaCO<sub>3</sub>含量，省去测定pH和CaCO<sub>3</sub>含量的时间和成本，同时在野外初步确定石灰性土壤的系统分类类型。但需要指出的是：第一，由于野外石灰反应强度的分级以定性-半定量为主，其强度的确定具有一定的主观性，准确性高低受操作者的野外实践经验影响，因此在野外进行石灰反应强度测定操作时，务必认真细心，必要时可以由多人分别操作，然后汇总讨论分析确定最后的强度。第二，由表1也可以看出，依据石灰反应强度尚仅能确定pH或CaCO<sub>3</sub>含量的一个对应范围，并非是精确

值。同时，从发生学意义角度，土壤中CaCO<sub>3</sub>含量高低对形态学研究具有重要意义，在这种情况下，如果需要用pH或CaCO<sub>3</sub>含量来确定准确的土壤系统分类类型 (如确定土体是否为酸性、是否具有钙积层/钙积现象等)，为慎重起见建议还是以实验室的准确测定数据为准。

对于非碱化 (pH < 9) 的北方黄土性母质土壤，只要10%稀盐酸滴定时有泡沫反应，无论CaCO<sub>3</sub>含量多少，对应土壤pH基本稳定在8.51 ± 0.49，在该范围的pH对作物生长基本没有制约<sup>[25]</sup>，因此，如果仅从影响作物生长的酸碱度考虑，在野外只要测定石灰反应强度即可，无需实验室再测定pH或CaCO<sub>3</sub>含量；对于野外10%稀盐酸滴定无泡沫反应的北方黄土性母质土壤，考虑到酸化土壤可能对作物正常生长产生影响，仍需根据需要对pH或CaCO<sub>3</sub>含量进行实验室准确测定；碱化 (pH > 9) 的北方黄土性母质土壤多分布于地势低洼、受地下水影响较为严重的地区，地表多可见碱蓬等指示植被和地表板结等地表指示特征，碱化 (pH > 9) 土壤可通过上述地形分布特征和地表指示植被特征进行野外判别，考虑到碱化 (pH > 9) 土壤对作物的制约，碱化 (pH > 9) 土壤还是需要实验室准确测定pH或CaCO<sub>3</sub>含量，以便为科学指导土壤改碱、施肥等提供更为精确的数据支撑。

需要强调的是：本研究选用的供试土样均来自山西省，所得的石灰反应强度与CaCO<sub>3</sub>含量、pH之间的对应关系是否能够代表整个黄土高原或黄土高原其他地区，还有待于进一步的研究验证。

## 4 结 论

北方黄土性母质土壤, 当 $\text{pH} < 9.0$ 时,  $\text{CaCO}_3$ 含量是影响土壤 $\text{pH}$ 的重要因素, 二者的回归拟合最优关系符合幂函数曲线; 当 $\text{pH} > 9.0$ 时,  $\text{CaCO}_3$ 与 $\text{pH}$ 之间没有明显关系。石灰反应强度在一定程度上可以半定量地反映 $\text{pH}$ 或 $\text{CaCO}_3$ 含量, 其确定的 $\text{pH}$ 或 $\text{CaCO}_3$ 含量尚是一个范围, 并非精确值。对于非碱化 ( $\text{pH} < 9.0$ )、野外有泡沫反应的北方黄土性母质土壤, 无论泡沫反应强弱和 $\text{CaCO}_3$ 含量高低, 土壤 $\text{pH}$ 基本稳定在 $8.51 \pm 0.49$ , 这一 $\text{pH}$ 范围对作物生长基本没有制约, 如果仅从 $\text{pH}$ 或 $\text{CaCO}_3$ 含量是否影响作物生长角度考虑, 无需实验室测定 $\text{pH}$ 或 $\text{CaCO}_3$ 含量。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 乔捷娟, 李强, 赵焯, 等. 京津冀接壤区土壤表土层中 $\text{CaCO}_3$ 的分布规律. 地理与地理信息科学, 2009, 25 ( 6 ): 56—59  
Qiao J J, Li Q, Zhao Y, et al. Study on the  $\text{CaCO}_3$  content characteristics in conterminous region of Beijing, Tianjin and Hebei ( In Chinese ). Geography and Geo-Information Science, 2009, 25 ( 6 ): 56—59
- [ 2 ] 郭玉文, 加藤诚, 宋菲, 等. 黄土高原黄土团粒组成及其与 $\text{CaCO}_3$ 关系的研究. 土壤学报, 2004, 41 ( 3 ): 362—368  
Guo Y W, Kato M, Song F, et al. Composition of loess aggregate and its relationship with  $\text{CaCO}_3$  on the Loess Plateau ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41 ( 3 ): 362—368
- [ 3 ] 朱礼学. 土壤 $\text{pH}$ 及 $\text{CaCO}_3$ 在多目标地球化学调查中的研究意义. 四川地质学报, 2001, 21 ( 4 ): 140—143  
Zhu L X. Significance of  $\text{pH}$  value and  $\text{CaCO}_3$  of soil to multipurpose geochemical survey ( In Chinese ). Acta Geologica Sichuan, 2001, 21 ( 4 ): 140—143
- [ 4 ] 邓强, 杨定清, 雷绍荣, 等. 野外土壤 $\text{pH}$ 快速测定方法研究. 四川农业科技, 2016 ( 4 ): 35—38  
Deng Q, Yang D Q, Lei S R, et al. The research on rapid measurement of  $\text{pH}$  in field soil ( In Chinese ). Sichuan Agricultural Science and Technology, 2016 ( 4 ): 35—38
- [ 5 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12  
Bao S D. Soil agro-chemical analysis ( In Chinese ). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 12
- [ 6 ] Zougagh M, R í os A, Valcárcel M. Direct determination of total carbonate salts in soil samples by continuous-flow piezoelectric detection. Talanta, 2005, 65 ( 1 ): 29
- [ 7 ] Sherrod L A, Dunn G, Peterson G A, et al. Inorganic carbon analysis by modified pressure-calimeter method. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66 ( 1 ): 299—305
- [ 8 ] 郑志霞, 张丹, 冯勇建. 碳酸根和碳酸氢根测定方法和自动测定仪. 现代仪器与医疗, 2004, 10 ( 4 ): 44—46  
Zheng Z X, Zhang D, Feng Y J. Method of determination of carbonate and bicarbonate and its automatic test instrument ( In Chinese ). Modern Instruments & Medical Treatment, 2004, 10 ( 4 ): 44—46
- [ 9 ] Mecozzi M, Pietrantonio E, Amici M, et al. Determination of carbonate in marine solid samples by FTIR-ATR spectroscopy. Analyst, 2001, 126 ( 2 ): 144—146
- [ 10 ] 李强, 文唤成, 胡彩荣. 土壤 $\text{pH}$ 的测定国际国内方法差异研究. 土壤, 2007, 39 ( 3 ): 488—491  
Li Q, Wen H C, Hu C R. Difference between international and domestic methods in determining soil  $\text{pH}$  ( In Chinese ). Soils, 2007, 39 ( 3 ): 488—491
- [ 11 ] 郁慧福. 碳酸盐测定方法现状及方法比较. 海洋地质前沿, 2007, 23 ( 1 ): 35—39  
Yu H F. The status and comparisons on methods for determination of carbonate ( In Chinese ). Marine Geology Letters, 2007, 23 ( 1 ): 35—39
- [ 12 ] 彭洪翠, 肖和艾, 吴金水, 等. 土壤碳酸盐间接测定方法研究及其应用. 土壤, 2006, 38 ( 4 ): 477—482  
Peng H C, Xiao H A, Wu J S, et al. An indirect method for determination of soil total carbonate ( In Chinese ). Soils, 2006, 38 ( 4 ): 477—482
- [ 13 ] 洪长桥, 郑光辉, 陈昌春. 苏北滨海土壤碳酸钙含量反射光谱估算研究. 土壤学报, 2016, 53 ( 5 ): 1120—1129  
Hong C Q, Zheng G H, Chen C C. Estimation of  $\text{CaCO}_3$  content in coastal soil of north Jiangsu with reflectance spectroscopy ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2016, 53 ( 5 ): 1120—1129
- [ 14 ] 刘世全, 张世熔, 伍均, 等. 土壤 $\text{pH}$ 与 $\text{CaCO}_3$ 含量的关系. 土壤, 2002, 34 ( 5 ): 279—283  
Liu S Q, Zhang S R, Wu J, et al. Relation between  $\text{pH}$  and  $\text{CaCO}_3$  in soil ( In Chinese ). Soils, 2002, 34 ( 5 ): 279: 283
- [ 15 ] 贺婧, 赵亚平, 关连珠. 土壤中游离 $\text{CaCO}_3$ 对土壤 $\text{pH}$ 及酶活性的影响. 沈阳农业大学学报, 2011, 42 ( 5 ):

- 614—617  
He J, Zhao Y P, Guan L Z. Effect of free calcium carbonate on soil pH and enzyme activities (In Chinese). *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2011, 42 (5): 614—617
- [16] 林卡, 李德成, 张甘霖. 西北黑河流域土壤pH与CaCO<sub>3</sub>相当物含量关系研究. *土壤学报*, 2017, 54 (2): 344—353  
Lin K, Li D C, Zhang G L. Relationships between pH and content of calcium carbonate and equivalents in soil of the Heihe River valley, Northwest China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (2): 344—353
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 第3版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001  
Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. *Keys to Chinese Soil Taxonomy* (In Chinese). 3rd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001
- [18] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996  
Liu G S. *Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles* (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1996
- [19] 张甘霖. 土壤调查实验室分析方法. 北京: 科学出版社, 2012  
Zhang G L. *Soil survey laboratory methods* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [20] 李超, 张凤荣, 王秀丽, 等. 土壤系统分类中土壤水热状况的确定方法及应用研究——以山西省为例. *土壤*, 2017, 49 (1): 177—183  
Li C, Zhang F R, Wang X L, et al. Determination method and application of soil temperature regime and soil moisture regime in Chinese Soil Taxonomy—A case study of Shanxi Province (In Chinese). *Soils*, 2017, 49 (1): 177—183
- [21] 刘耀宗. 山西土壤. 北京: 科学出版社, 1992  
Liu Y Z. *Shanxi Province Soil* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1992
- [22] 胡良军, 邵明安. 从沙尘暴看黄土的沉积及黄土高原的形成. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 24 (2): 148—152  
Hu L J, Shao M A. Relationship between dust-storm and loess accumulation & formation of the Loess Plateau (In Chinese). *Journal of Anhui Normal University (Natural Science)*, 2001, 24 (2): 148—152
- [23] 山西省土壤普查办公室. 山西土种志. 太原: 山西科学技术出版社, 1992  
Soil Survey Office of Shanxi Province. *Soil species records of Shanxi Province* (In Chinese). Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1992
- [24] 刘树庆. 保定市污灌区土壤的Pb、Cd污染与土壤酶活性关系研究. *土壤学报*, 1996, 33 (2): 175—182  
Liu S Q. Relationship between soil Pb and Cd pollution and enzyme activities in waste water irrigated area of Baoding City (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33 (2): 175—182
- [25] 俞仁培, 杨道平, 石万普, 等. 土壤碱化及其防治. 北京: 农业出版社, 1984  
Yu R P, Yang D P, Shi W P, et al. *Soil alkalization and prevention* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1984
- [26] 唐琨, 朱伟文, 周文新, 等. 土壤pH对植物生长发育影响的研究进展. *作物研究*, 2013, 27 (2): 207—212  
Tang K, Zhu W W, Zhou W X, et al. Research progress on effects of soil pH on plant growth and development (In Chinese). *Crop Research*, 2013, 27 (2): 207—212

## The Study of Lime Soil Reaction Intensity Estimates Based on CaCO<sub>3</sub> Content and pH—A Case Study of Soil Developed from Loess Parent Material in Shanxi Province

LI Chao<sup>1</sup> ZHANG Fengrong<sup>1†</sup> ZHANG Tianzhu<sup>1</sup> WANG Xiuli<sup>2</sup> JIN Dongsheng<sup>3</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

(2 College of Resources and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(3 Institute of Agriculture Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, China)

**Abstract** 【Objective】 Soil CaCO<sub>3</sub> content and pH are two common indices in routine soil analysis,

while lime reaction, pH and content of carbonate equivalents are the three important diagnostic indices in the Chinese Soil Taxonomy. However, generally, the determination of soil pH and  $\text{CaCO}_3$  content needs to be done with the help of experimental instruments in lab, which is rather costly and time consuming; Actually, intensity of lime reaction can be measured in field with titration of 1 : 3 dilute hydrochloric acid, which is simple, quick and cheap. Moreover, content of  $\text{CaCO}_3$ , pH and intensity of lime reaction are somewhat interrelated. Therefore, if a model of quantitative relationships between soil  $\text{CaCO}_3$  content, pH and lime reaction intensity can be built up for a specific area, it will no doubt save or spare the time and money needed for determination of soil pH and  $\text{CaCO}_3$  content in lab, and it will help make tentative determination in the field of what type of calcareous soil in the Chinese Soil Taxonomy. The purpose of this paper is to try to establish such a model. **【Method】** Correlation analysis and regression analysis were performed of the data of the 110 typical soil profiles investigated during the provincial soil survey of Shanxi Province, including lime reaction intensities determined in the field, and soil pHs, calcium carbonate contents and ESPs (Exchangeable Sodium Percentage) measured in lab of the soil samples from their 426 genetic horizons, for relationship between calcium carbonate content and soil pH, and statistical analysis was for relationships of lime reaction intensity with soil pH and calcium carbonate content. **【Result】** Results show that in the soil developed from loess parent material in North China with  $\text{pH} < 9$ , content of calcium carbonate is an important factor affecting soil pH, and the optimal relationship between the two fitted with regression accords with an exponential curve, while  $\text{pH} > 9$ , no significant relationship was observed between the two, but lime reaction intensity could be used as indicator, reflecting to a certain extent or semi-quantitatively a range of pH or content of  $\text{CaCO}_3$ , rather than a precise value. Moreover, from the viewpoint of soil genesis, the content of  $\text{CaCO}_3$  is of great significance to the study of soil morphology. So if soil pH or  $\text{CaCO}_3$  is required to define accurately the position of a soil in the Chinese soil Taxonomy (for instance to define whether or not the soil solum is acidic, or has a calcic horizon / calcification, etc.), it is advisable to recommend the use of the more accurate data obtained in lab. In non-alkaline ( $\text{pH} < 9.0$ ) soils derived from loess parent material in North China that have foam reaction in the field, soil pH lingers basically in the range  $8.51 \pm 0.49$ , no matter whether foam reaction intensity or  $\text{CaCO}_3$  content is high or low. Soil acidity in such a range has little restraint on crop growth. Therefore, if it is considered whether crop growth would be affected from the angle of soil pH or  $\text{CaCO}_3$  content only, there is no need to have any lab tests to determine accurate pH or  $\text{CaCO}_3$  content. **【Conclusion】** It is feasible to realize semi-quantitative estimation of soil  $\text{CaCO}_3$  content and pH in soils derived from loess parent material in North China by field testing of lime reaction intensity.

**Key words** Lime reaction intensity; Soil pH;  $\text{CaCO}_3$ ; Loess; Shanxi Province

(责任编辑: 檀满枝)