

汪吉东, 冯冰, 李传哲, 等. 中国几种典型土壤酸碱缓冲容量测定方法的比较[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1452-1458.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.06.014

中国几种典型土壤酸碱缓冲容量测定方法的比较

汪吉东^{1,2,3}, 冯冰¹, 李传哲¹, 徐聪¹, 吴迪¹, 王磊¹, 张辉^{1,2},
许仙菊^{1,2}, 艾玉春^{1,2}, 张永春^{1,2}

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2.农业农村部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014; 3.江苏大学农业装备工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 通过测定土壤酸碱缓冲容量, 可以评价土壤抗酸化能力, 了解土壤酸化过程, 为修复酸化土壤提供依据。以中国部分典型地域的潮土、红壤及太湖地区水稻土为对象, 对测定土壤酸碱缓冲容量的酸碱滴定法和培养法进行比较分析, 探索适合测定不同土壤类型土壤酸碱缓冲容量的方法。结果显示, 使用无 CO₂ 蒸馏水、CaCl₂ (0.01 mol/kg) 浸提土壤(土水质量比为1.0:2.5), 运用 HCl 和 NaOH 滴定法分析的 pH(H₂O)、pH(CaCl₂) 在突变范围内与酸碱加入量呈极显著线性相关 ($P < 0.01$; CaCl₂ 浸提的红壤 pH 除外)。利用 CaCO₃ 和 H₂SO₄ 培养法分析则发现, 初始反应为酸性的土壤, 其 pH 值与酸碱加入量呈显著的线性相关关系 ($P < 0.05$), 但潮土和乌栅土除外。研究表明, 以无 CO₂ 蒸馏水进行浸提, 运用 HCl 和 NaOH 进行滴定的方法测定土壤酸碱缓冲容量对不同土壤类型都具有较好的适应性。利用该方法对长期不同施肥条件下太湖地区水稻土酸碱缓冲容量进行测定发现, 各施肥处理土壤酸碱缓冲容量为 19.6~24.8 mmol/kg; 太湖地区黄泥土酸碱缓冲容量受土壤有机质含量及阳离子交换量的影响, 增施猪粪和施用过磷酸钙是提高该土壤酸碱缓冲能力的重要举措。

关键词: 土壤酸化; 酸碱缓冲容量; 测定方法; 红壤; 水稻土

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)06-1452-07

Comparative study on determination methods for acid buffering capacity of several typical soils in China

WANG Ji-dong^{1,2,3}, FENG Bing¹, LI Chuan-zhe¹, XU Cong¹, WU Di¹, WANG Lei¹, ZHANG Hui^{1,2},
XU Xian-ju^{1,2}, AI Yu-chun^{1,2}, ZHANG Yong-chun^{1,2}

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Experimental Station for Land Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 3. College of Agricultural Equipment Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: By determination of soil acidity buffering capacity (pH_{bc}), the anti-acidification ability of soils can be evaluated and the acidization of soils can be understood, thus provide basis for the remediation of acidified soils. To explore the suitable method for determining pH_{bc} of different soil types, fluvo-aquic soil and red soil from partial typical regions and paddy soil from Taihu Lake region of China were used as the objects, acid-base titration method and culturing method for measuring pH_{bc} were compared and analyzed. The results showed that the pH values of the jump rang analyzed by HCl-

NaOH titration method showed highly significant ($P < 0.01$, except for the red soil extracted by CaCl₂ solution) linear relationship with the volumes of the acid or base added, using CO₂-free deionized water and CaCl₂ solution (0.01 mol/kg) in the leaching of soils, and the mass ratio of soil to solution was 1.0 to 2.5. Analysis on the results of

收稿日期: 2020-02-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0800301-02); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(17)-1001]; 国家自然科学基金项目(41201278)

作者简介: 汪吉东(1979-), 男, 湖北黄石人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤肥力管理研究。(E-mail) jdwang66@163.com

CaCO₃ and H₂SO₄ incubation methods showed that, for the acid soils according to initial reaction, the relationship between the adding amount of acid or base and soil pH values showed significantly linear regression correlation ($P < 0.05$), except for fluvo-aquic soil and Wuzha soil. The results indicated that pH_{bc} detected by the HCl-NaOH titration method showed good adaptability for different soils types, using CO₂-free deionized water in leaching. The pH_{bc} of paddy soil under long-term fertilization conditions in Taihu Lake region determined by the method showed that, the pH_{bc} ranged from 19.6 mmol/kg to 24.8 mmol/kg. The pH_{bc} of yellow soil in Taihu Lake region was affected by content of soil organic matter and cation exchange capacity, and the application of pig manure and superphosphate had positive effects on enhancing soil pH_{bc} .

Key words: soil acidification; acid buffering capacity; determination method; red soil; paddy soil

土壤酸化是土壤质量退化的一种重要形式,其自然过程是缓慢的,但人为活动大大加速了其进程^[1]。土壤酸化是土壤固相(矿物质和有机质)和液相的总碱中和容量(ANC)的减小^[2-4]。农田土壤过度酸化往往会导致作物减产、养分非均衡化、铝及重金属的溶出增加^[5-6],影响生物多样性和危害作物生产安全^[7]。目前,中国耕地普遍面临严重的酸化退化,与20世纪80年代相比,主要耕地土壤pH平均降幅超过0.5个单位,且pH下降趋势不减^[8]。中国太湖地区水稻土酸化加速趋势则更为严重^[1,9]。

土壤酸化与土壤酸强度及土壤的酸碱缓冲能力密切相关^[10]。土壤对酸碱的缓冲性能是土壤的基本性质之一,忽视土壤酸碱缓冲的变化而单纯地将土壤酸度增加定义为土壤pH下降具有很大的局限性^[11]。然而土壤酸碱缓冲体系较为复杂,不同初始pH土壤中的酸碱缓冲体系物质不同,以硅酸盐、铁铝氧化物及碳酸盐等单一缓冲物质为主,同时包含有机质、盐基离子等^[12-13],因此仅通过土壤的pH值来评估土壤的酸碱缓冲能力往往存在很大的偏差。

土壤酸碱缓冲容量是研究土壤酸度变化及开展酸化土壤修复的重要参数^[14-17]。目前酸碱缓冲容量的测定方法也较多,但主要为直接对土壤进行强酸(盐酸或硝酸)或强碱滴定的方法^[18-20],以及利用石灰及硫酸进行添加培养的方法^[21]。对于中国某些缓冲体系下的典型土壤,虽然有利用强酸和强碱进行滴定的相关报道^[18-19],但该方法应用于不同缓冲体系土壤的适应性如何还有待探讨,而且从酸化土壤修复角度考虑,在利用石灰及硫酸培养的测定方法时,酸化修复剂石灰的添加可直接评价酸化修复材料的添加效果,也可以直接用于酸化土壤修复。无论对于哪种方法,目前尚缺少系统的方法学比较。因此对中国不同典型土壤进行酸碱缓冲容量的比较研究不仅具有一定的理论意义,而且可以较为准确地获得酸碱缓冲容量参数,从而达到精准修复和改

良酸化土壤的目的,因此也具有较强的现实意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤情况

1.1.1 不同初始pH土壤来源 红壤采自江西省南昌市,系当地典型代表性土壤;潮土采自江苏省徐州市,系当地典型代表性土壤;黄泥土采自江苏省常熟市霞山镇大义管理区长隆村;白土采自江苏省宜兴市周铁镇徐渎村;乌栅土采自江苏省溧阳市别桥镇周家湾村。供试土壤基本理化性状如表1所示。

1.1.2 相同初始pH土壤的不同施肥处理 土壤取自苏州市望亭镇,为重壤质黄泥土,试验前耕层(0~15 cm)土壤有机质含量24.20 g/kg,全氮含量1.43 g/kg,全磷含量4.28 g/kg,速效磷含量8.4 mg/kg, pH 6.80。试验设不施肥对照(CK)、氮磷钾配施处理(OPT)、无氮肥处理(OPT-N)、无磷肥处理(OPT-P)、无钾肥处理(OPT-K)。氮肥、磷肥、钾肥用量分别为纯氮161.0 kg/hm²、P₂O₅ 119.0 kg/hm²、K₂O 135.3 kg/hm²,分别以尿素、过磷酸钙、氯化钾施入。增施猪粪处理在上述处理基础上增加施用猪粪(折合N 57.5 kg/hm²、P₂O₅ 31.0 kg/hm²、K₂O 17.8 kg/hm²)。上述处理连续施肥26年。

1.2 酸碱滴定法

1.2.1 无CO₂蒸馏水浸提法 分别取14只玻璃烧杯,依次编号,在每个烧杯中称取上述土样5.0 g,在1~7号烧杯中分别加入0.5 ml、1.0 ml、2.0 ml、3.0 ml、4.0 ml、5.0 ml、6.0 ml 0.1 mol/L HCl;在9~14号烧杯中分别加入0.5 ml、1.0 ml、2.0 ml、3.0 ml、4.0 ml、5.0 ml、6.0 ml 0.1 mol/L NaOH;8号烧杯中不加酸碱。分别向各烧杯中加入无CO₂蒸馏水,使总体积达到20.0 ml,摇匀放置72 h,每日间歇摇动3~4次,最后1次摇动后放置2 h,用pH计测定pH,以pH为纵坐标、酸碱加入量为横坐标作图。

1.2.2 以CaCl₂替代无CO₂蒸馏水浸提法 操作同

方法 1.2.1, 以 0.01 mol/L CaCl_2 替代无 CO_2 蒸馏水 进行测定。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soils

土壤类别	pH	有机质含量 (g/kg)	碳酸盐含量 (g/kg)	无定形态铁 含量 (g/kg)	无定形态铝 含量 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
潮土	8.01	21.6	20.70	1.06	0.41	20.40	86.2	12.0	63.0
乌栅土	7.54	28.1	2.67	1.89	0.84	18.90	112.3	20.8	63.4
白土	5.52	18.7	0.25	1.98	2.02	6.31	108.1	37.7	62.8
黄泥土	6.86	29.7	0.58	1.81	0.65	15.30	144.8	24.2	99.7
红壤	5.23	3.14	0.23	2.47	1.38	5.43	76.10	9.85	97.10

1.3 酸碱培养法

称取试验土壤 50 g, 放入聚氯乙烯塑料封口袋中, 分别加入不同量的 H_2SO_4 和 CaCO_3 , 加入量 (以 1 kg 土壤的阳离子交换量计) 分别为 0 cmol/kg、2 cmol/kg、4 cmol/kg、8 cmol/kg、16 cmol/kg、32 cmol/kg, 其中 CaCO_3 以蒸馏水悬浮液形态加入, 将不同量的 H_2SO_4 和 CaCO_3 加入袋中充分搅拌均匀, 封口后于室温保存 30 d, 取出土壤风干, 磨细过 2 mm 筛后按水土质量比 2.5 : 1.0 混合, 分析 pH。在线性范围内, 分析滴定曲线的相关性。相关计算公式:

$$pH_{bc} = [(5-b)/m] - [(8-b)/m]^{[21]}$$

式中, pH_{bc} 为试验结束时的酸碱缓冲容量, b 为截距, m 为斜率。

2 结果与分析

2.1 不同酸碱滴定法的滴定曲线

由图 1A、图 1B 可以看出, 以无 CO_2 蒸馏水与 CaCl_2 浸提各土壤所得酸碱滴定曲线相似, 当酸碱加入量 ≤ 2.5 cmol/kg 时, 土壤 pH 与酸碱加入量呈较明显的线性趋势; 随着酸碱加入量增加, 各土壤 pH 出现突变, pH 值变幅呈减小趋势, 其中初始 pH 呈碱性的潮土及乌栅土 pH 变幅更小。用 CaCO_3 和 H_2SO_4 培养后进行 pH 测定处理 (图 1C), 结果显示, 潮土及乌栅土在加入不同用量 CaCO_3 后, 土壤 pH 保持稳定, 因此 pH 在添加 CaCO_3 后不存在突跃。向初始 pH 呈酸性的白土、黄泥土及红壤浸提液中添加不同浓度的 CaCO_3 和 H_2SO_4 培养后, 测定所得酸碱滴定曲线与无 CO_2 蒸馏水测定法、 CaCl_2 浸提法相似, pH 都有明显的突变。

2.2 不同土壤不同测定方法的酸碱缓冲容量

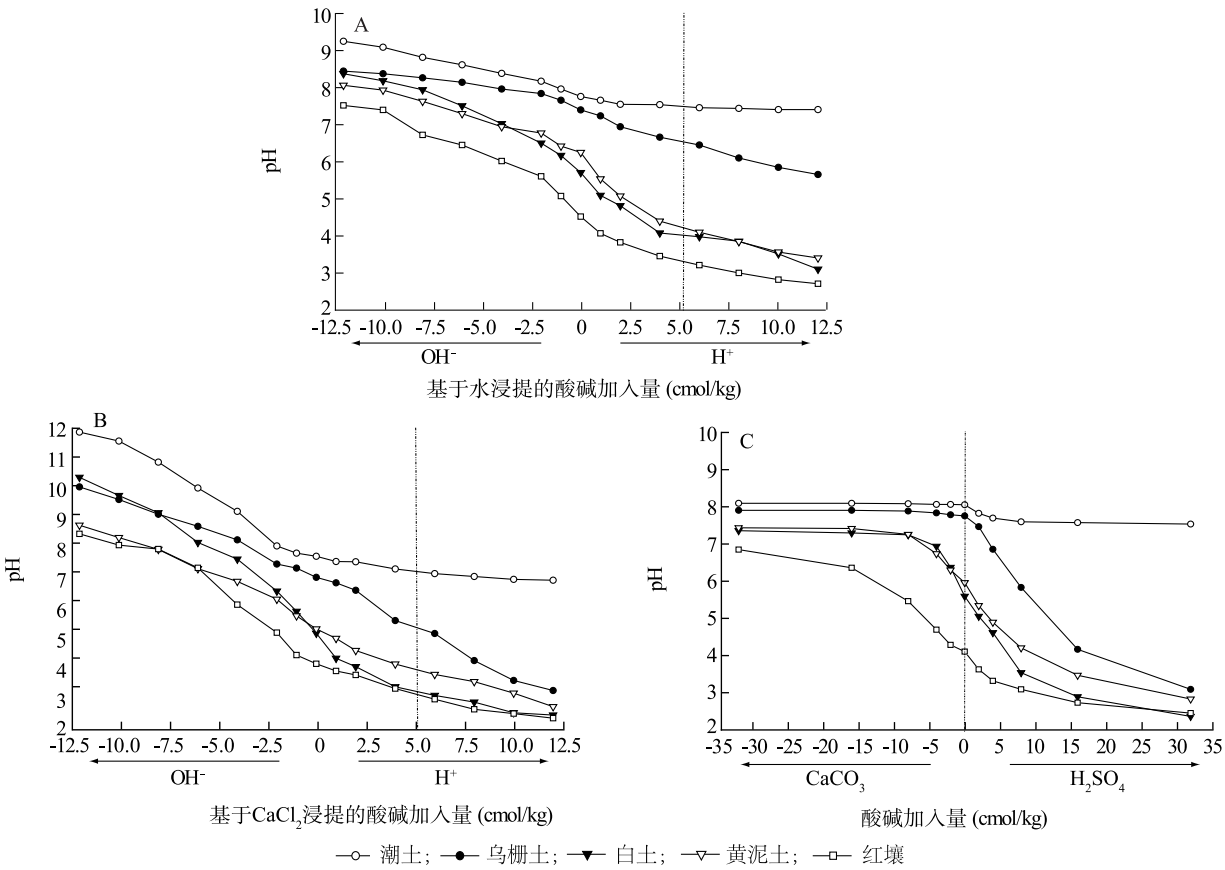
对不同土壤采用直接滴定法和通过 CaCO_3 及

H_2SO_4 培养后进行滴定处理, 在 pH 突跃范围 (酸碱加入量小于 2.5 cmol/kg) 内进行 pH 与酸碱加入量的线性拟合 (图 2), 获得线性方程的 a 值和 b 值, 并对 a 值求倒数, 获得酸碱缓冲容量 (表 2)。结果表明, 用 H_2O 浸提土壤所得 pH 与 HCl 和 NaOH 滴定的结果呈显著 ($P < 0.05$) 线性相关, 线性拟合方程的决定系数为 0.964 ~ 0.999, 用 CaCl_2 浸提后绘制的各土壤酸碱曲线中除红壤外, 其余 4 种土壤都呈极显著 ($P < 0.01$) 线性相关。

经 CaCO_3 和 H_2SO_4 处理后所得酸碱滴定曲线显示, 初始 pH 呈酸性的白土、黄泥土及红壤, 其土壤 pH 与 CaCO_3 和 H_2SO_4 添加量呈极显著 ($P < 0.01$) 线性相关, 其决定系数为 0.987 ~ 0.992, 但潮土、乌栅土则相关性不显著, 线性拟合方程的决定系数分别为 0.815、0.778 (表 2), 表明在 pH 大于 7.5 时, CaCO_3 添加对有石灰反应的潮土及乌栅土 pH 的影响较弱。

用不同方法获得的土壤酸碱缓冲容量存在差异, 但对于潮土和乌栅土, H_2O 浸提获得的值与 CaCl_2 浸提获得的值之间变异系数差异较小。对于白土和黄泥土, H_2O 浸提、 CaCl_2 浸提及 CaCO_3 培养法差异较大, 但不同测定方法处理下各土壤间的酸碱缓冲容量大小趋势基本一致。而对于红壤, H_2O 浸提法获得的酸碱缓冲容量与 CaCO_3 培养法获得的酸碱缓冲容量差异较大, 且以 CaCO_3 培养法测得的红壤酸碱缓冲容量高于白土和黄泥土, 这可能是由于红壤中的铁铝氧化物比盐基离子及硅酸盐等具有更强的缓冲能力。通过以上分析可知, CaCO_3 及 H_2SO_4 培养法不适合测定初始 pH 呈碱性的土壤酸碱缓冲容量, 而对于 pH 呈微酸性的土壤, 3 种方法都能获得较好的滴定拟合。对土壤反应呈较强酸性的红壤, CaCl_2 浸提法不能获得显著的线性拟合 ($P >$

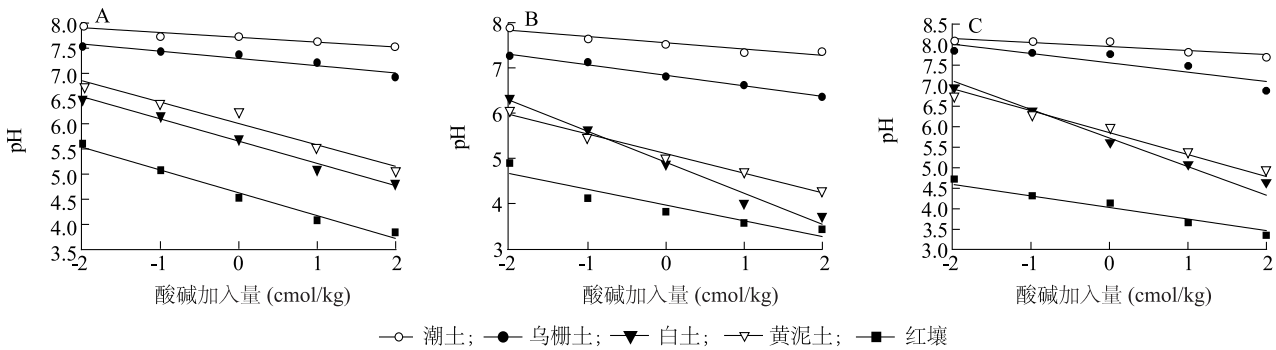
0.05),而 H₂O 浸提与 CaCO₃培养法虽然都呈极显著 ($P<0.01$)线性拟合,但数值差异较大(表 2)。



A 为无 CO₂蒸馏水测定法;B 为 CaCl₂浸提法;C 为 CaCO₃和 H₂SO₄添加培养法。横坐标值为正、负分别表示加入酸、碱。

图1 不同方法的酸碱滴定曲线

Fig.1 Acid-base titration curve of different determination methods



A 为无 CO₂蒸馏水测定法;B 为 CaCl₂浸提法;C 为 CaCO₃和 H₂SO₄添加培养法。横坐标值为正、负分别表示加入酸、碱。

图2 不同酸碱缓冲容量测定方法在 pH 突变范围内 pH 值与酸碱加入量的拟合

Fig.2 Fitting curves of pH value of the jump range and adding amount of acid or base by different acid-base buffering capacity determination methods

2.3 太湖地区黄泥土长期不同施肥条件下的土壤酸碱缓冲容量

对长期不同施肥处理的土壤进行 H₂O 浸提酸

碱滴定,获得线性方程 a 值和 b 值见表 3,各处理的线性方程决定系数为 0.968~0.999,都呈极显著 ($P<0.01$)线性相关。各处理土壤的酸碱缓冲容

量为 19.6~24.8 mmol/kg,以不施氮肥处理最高,纯化肥裂区(CT)及增施猪粪裂区(MT)不施氮肥处理的酸碱缓冲容量分别为 23.4 mmol/kg、24.8 mmol/kg,而不施过磷酸钙处理酸的碱缓冲容量最低,分别为 19.6 mmol/kg、21.9 mmol/kg。在纯化

肥裂区(CT)和增施猪粪裂区(MT),土壤的酸碱缓冲容量平均值分别为 21.6 mmol/kg、23.8 mmol/kg,表明增施猪粪对土壤提高酸碱缓冲能力作用明显。

表 2 土壤酸碱滴定曲线在突变范围的直线拟合结果及酸碱缓冲容量

Table 2 Linear fitting results of acid-base titration curves within the jump range and pH buffer capacities

土壤	H ₂ O 浸提				CaCl ₂ 浸提				加入 CaCO ₃ 培养			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	酸碱缓冲容量 (mmol/kg)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	酸碱缓冲容量 (mmol/kg)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	酸碱缓冲容量 (mmol/kg)
潮土	0.104	7.78	0.999**	96.2	0.114	7.62	0.983**	87.7	0.049	7.99	0.815	/
乌栅土	0.244	7.45	0.994**	41.0	0.233	6.88	0.989**	42.9	0.110	7.58	0.778	/
白土	0.443	5.70	0.988**	22.6	0.687	4.95	0.982**	14.6	0.598	5.75	0.991**	16.7
黄泥土	0.406	6.06	0.964**	24.6	0.434	5.14	0.990**	23.0	0.466	5.89	0.992**	21.4
红壤	0.454	4.66	0.982**	22.0	0.349	4.00	0.895	/	0.342	4.04	0.987**	29.3

**表示相关性极显著($P<0.01$)。

表 3 不同施肥处理土壤酸碱滴定曲线线性部分的回归方程和相关系数

Table 3 Regression equations and correlation coefficients of linear part of titration curves by different fertilizer treatments

类别	处理	$Y=a+bx$			酸碱缓冲容量 (mmol/kg)
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	
纯化肥处理(CT)	CK	7.336	-0.471	0.975**	21.3
	OPT-N	7.528	-0.427	0.970**	23.4
	OPT-P	7.026	-0.511	0.968**	19.6
	OPT-K	7.260	-0.465	0.971**	21.5
	OPT	7.290	-0.448	0.973**	22.3
增施猪粪处理(MT)	MCK	7.135	-0.420	0.997**	23.8
	MOPT-N	7.036	-0.403	0.994**	24.8
	MOPT-P	6.865	-0.457	0.985**	21.9
	MOPT-K	6.815	-0.416	0.980**	24.0
	MOPT	6.793	-0.407	0.999**	24.6

Y:pH 值;*x*:酸碱加入量;CK:设不施肥对照;OPT:氮磷钾配施处理;OPT-N:无氮肥处理;OPT-P:无磷肥处理;OPT-K:无钾肥处理;MCK、MOPT-N、MOPT-P、MOPT-K、MOPT 为增施猪粪条件下的相应处理。**表示相关性极显著($P<0.01$)。

2.4 黄泥土土壤酸碱缓冲容量与不同理化性状的依变关系

黄泥土土壤酸碱缓冲容量与其他不同理化性状指标的相关性分析见表 4,结果显示,太湖地区黄泥土的土壤酸碱缓冲容量与土壤有机质、总氮含量呈显著($P<0.05$)相关,与土壤 Olsen-P 含量及阳离子交换量呈极显著($P<0.01$)相关,但与 pH 及碱解氮

含量的相关性不显著。

3 讨论

各供试土壤在 HCl 和 NaOH 滴定下,用无 CO₂ 蒸馏水浸提所得酸碱滴定曲线,在 pH 为 3.5~8.5 时均成直线,与已有研究中对潮土^[20]及水稻土^[22]进行酸碱滴定的结果类似。

表 4 黄泥土土壤酸碱缓冲容量与其他参数的相关性分析
Table 4 Correlation coefficient between yellow soil buffering capacity and other soil parameters

参数	相关系数						
	pH_{bc}	pH	TN 含量	OM 含量	AN 含量	Olsen-P 含量	CEC
pH_{bc}		-0.118	0.424 *	0.458 *	0.334	0.813 **	0.871 **
pH	-0.118		-0.749 **	-0.452 *	-0.394 *	-0.210	-0.491 **
TN 含量	0.424 *	-0.749 **		0.427 *	0.699 **	0.401 *	0.722 **
OM 含量	0.458 *	-0.452 *	0.427 *		0.189	0.360	0.591 **
AN 含量	0.334	-0.394 *	0.699 **	0.189		0.320	0.510 **
Olsen-P 含量	0.813 **	-0.210	0.401 *	0.360	0.320		0.749 **
CEC	0.871 **	-0.491 **	0.722 **	0.591 **	0.510 **	0.749 **	

pH_{bc} : 酸碱缓冲量; TN: 全氮; OM: 有机质; AN: 碱解氮; Olsen-P: 有效磷; CEC: 阳离子交换量。*、** 分别表示相关性显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。

用 $CaCl_2$ 浸提所得酸碱滴定曲线在 pH 为 3.5~8.5 时也呈类似趋势, 但用 $CaCl_2$ 浸提红壤所得 pH 与酸碱加入量并未达到显著线性相关。国外常用 $CaCl_2$ 浸提的方法测得的 pH 来衡量土壤的酸碱度及其变化^[19,23], 但对酸性较强的红壤类淋溶土, 钙离子的水解作用可能会产生大量酸, 导致土壤 pH 测定结果存在偏移^[24]。以 $CaCO_3$ 和 H_2SO_4 培养后进行滴定, 初始反应为酸性的土壤, 酸碱滴定曲线在突变范围内存在显著 ($P<0.05$) 的线性相关; 而对于有石灰反应的潮土及乌栅土, 在添加 $CaCO_3$ 后 pH 变幅较小, 不存在突跃, 这可能与潮土及乌栅土的酸碱缓冲容量不同有关^[20]。以上结果表明, $CaCO_3$ 和 H_2SO_4 培养、HCl 和 NaOH 滴定、无 CO_2 蒸馏水浸提的测定法都适用于酸性土壤, 而使用 $CaCl_2$ 浸提不适用强酸性土壤。无 CO_2 蒸馏水浸提法和 $CaCO_3$ 培养法虽然都能获得较好的线性相关系数, 但考虑到酸性土壤修复问题, 直接进行石灰 ($CaCO_3$) 培养的方法可能要优于 H_2O 浸提、HCl 和 NaOH 滴定的方法, 但石灰 ($CaCO_3$) 培养法由于耗时较长, 有石灰反应, 不适用于土壤酸碱缓冲容量的测定。不同酸碱缓冲容量测定方法获得的参数不同, 因此不同方法的测定值需要根据实验室测定条件与田间实际施用情况差异进行校正。

不同土壤所处的缓冲体系不同。Ulrich 将土壤缓冲体系分为碳酸盐溶解缓冲体系 (pH 为 6.2~9.6)、原生硅酸盐矿物风化缓冲体系 (pH>5.0) 及阳离子交换缓冲体系 (pH 为 4.2~5.0) 等^[12], 各缓冲体系可能存在交叉^[25]。如潮土及有石灰反应的乌栅土主要通过碳酸盐、阳离子交换和有机质等对

外源性酸碱起缓冲作用, 在碳酸盐作用下, 阳离子及有机质的酸碱缓冲作用往往较弱^[20,25]。但本研究中的黄泥土、白土及红壤是以硅酸盐缓冲体系为主导的土壤, 土壤盐基离子、有机质等往往是酸碱缓冲体系的重要来源。通过不同施肥及田间管理措施可以提高土壤酸碱缓冲能力。对太湖地区黄泥土酸碱缓冲容量的分析可知, 土壤酸碱缓冲容量与土壤有机质含量呈显著 ($P<0.05$) 相关, 与土壤有效磷含量及阳离子交换量呈极显著 ($P<0.01$) 相关。由于土壤磷的投入主要为过磷酸钙, Olsen-P 含量的增高说明了外源钙离子投入量的增加, 阳离子交换量与酸碱缓冲容量呈极显著 ($P<0.01$) 相关也表明提高黄泥土的有机质含量和补充盐基离子能够增强土壤酸碱缓冲能力, 增施猪粪和施用过磷酸钙是提高该土壤酸碱缓冲能力的重要措施。

本研究结果表明: (1) 酸碱滴定法适用于潮土、红壤及太湖地区水稻土酸碱缓冲容量的测定, 以无 CO_2 蒸馏水浸提优于使用 $CaCl_2$ 浸提; $CaCO_3$ 和 H_2SO_4 培养法仅适用于酸性土壤酸碱缓冲容量的测定。无论酸碱滴定法或 $CaCO_3$ 和 H_2SO_4 培养法, 都需与田间实际操作建立相应的校正系数。(2) 利用酸碱滴定法测得太湖地区长期不同施肥条件下黄泥土的酸碱缓冲容量为 19.6~24.8 mmol/kg。土壤酸碱缓冲容量和土壤有机质含量及阳离子交换量显著相关。增施猪粪、过磷酸钙可提升土壤有机质含量和阳离子交换量, 能增加黄泥土的土壤酸碱缓冲容量。

参考文献:

[1] ZHU Q C, LIU X, HAO T, et al. Modeling soil acidification in

- typical Chinese cropping systems[J]. *Science of the Total Environment*, 2018(613/614):1339-1348.
- [2] VRIES W D, BREEUWSMA A. Relative importance of natural and anthropogenic proton sources in soils in the Netherlands[J]. *Water Air & Soil Pollution*, 1986, 28(1/2): 173-184.
- [3] 王代长,蒋 新,卞永荣,等. 酸沉降下加速土壤酸化的影响因素[J]. *生态环境学报*, 2002, 11(2): 152-157.
- [4] BAILEY V L, FANSLER S J, STEGEN J C, et al. Linking microbial community structure to β -glucosidic function in soil aggregates[J]. *Isme Journal*, 2013, 7(10): 2044-2053.
- [5] CAPUTO J, BEIER C M, SULLIVAN T J, et al. Modeled effects of soil acidification on long-term ecological and economic outcomes for managed forests in the Adirondack region (USA)[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 565: 401-411.
- [6] TIAN D, NIU S. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition[J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 10(2): 1714-1721.
- [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] XIA X, YANG Z, YU T, et al. Detecting changes of soil environmental parameters by statistics and GIS: a case from the lower Chang jiang plain, China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, 181: 116-128.
- [9] ZHU H H, WU J S, HUANG D Y, et al. Improving fertility and productivity of a highly-weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw[J]. *Plant & Soil*, 2010, 331(1/2): 427-437.
- [10] 戎秋涛,杨春茂,徐文彬. 土壤酸化研究进展[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(4): 396-401.
- [11] LESTURGEZ G, POSS R, NOBLE A, et al. Soil acidification without pH drop under intensive cropping systems in Northeast Thailand[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, 114(2): 239-248.
- [12] ULRICH B. Natural and anthropogenic component of soil acidification[J]. *Z Pflanzenernähr Bodenk*, 1986, 149: 702-717.
- [13] CAI Z, WANG B, XU M, et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(2): 260-270.
- [14] 汪吉东,张 辉,张永春,等. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1178-1185.
- [15] 李 志,袁颖丹,张学玲,等. 不同干扰程度对山地草甸土壤有机质及酸度的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(9): 285-288.
- [16] 赵 敏,范 琼,邓爱妮,等. 酸性土壤改良对土壤镉形态改变及数仔菜镉含量的影响[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(6): 1089-1094.
- [17] 于 兵,门明新,刘需珈,等. 有机酸对重金属污染土壤的淋洗效果[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(13): 284-287.
- [18] 姜 军,徐仁扣,赵安珍. 用酸碱滴定法测定酸性红壤的 pH 缓冲容量[J]. *土壤通报*, 2006(6): 1247-1248.
- [19] XU J M, TANG C, CHEN Z L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(4): 709-719.
- [20] 黄 平,张佳宝,朱安宁,等. 黄淮海平原典型潮土的酸碱缓冲性能[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2392-2396.
- [21] TARKALSON D D, PAYERO J O, HERGERT G W, et al. Acidification of soil in a dry land winter wheat-sorghum/corn-fallow rotation in the semiarid U.S. Great Plains[J]. *Plant & Soil*, 2006, 283(1/2): 367-379.
- [22] 成杰民,胡光鲁,潘根兴. 用酸碱滴定曲线拟合参数表征土壤对酸碱缓冲能力的新方法[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(3): 569-573.
- [23] 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, 1998.
- [24] TANG C, RAPHAEL C, RENGEL Z, et al. Understanding sub-soil acidification: effect of nitrogen transformation and nitrate leaching[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2000, 38(4): 837-849.
- [25] 汪吉东,戚冰洁,张永春,等. 长期施肥对砂壤质石灰性潮土土壤酸碱缓冲体系的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(4): 1031-1036.

(责任编辑:陈海霞)