

# 不同施肥处理对侵蚀性红壤酸性和交换性能的修复效应

和利钊, 张杨珠\*, 刘杰, 廖超林, 黄运湘

(湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:** 为探讨不同施肥处理对侵蚀性红壤的修复效应, 研究了施化肥(NPK)、化肥+有机肥(NPKM)、化肥+土壤调理剂 2 号(NPKR2)与不施肥(CK)处理对不同母质发育的侵蚀性红壤酸性和交换性能的修复效应。结果表明: NPKM 及 NPKR2 处理均可明显提高各种酸性土壤的 pH 缓冲能力, NPK 处理效果则不明显; NPKR2 可改良和降低土壤酸化程度, NPKM 处理则只能增大土壤的 pH 缓冲容量, 对改良土壤酸化的效果不显著; NPKM 处理可提高土壤有机质含量, 但土壤有机质含量与土壤 pH 缓冲能力不成正比; 各施肥处理均能显著降低板页岩红壤、网纹层红壤和均质层红壤铝离子的活性, 但只有 NPKR2 处理能明显降低花岗岩红壤的铝离子活性, 其他施肥处理的效果不明显; 各施肥处理的土壤阳离子交换量(CEC)均差异不大; NPKR2 处理的土壤有效阳离子交换量(ECEC)显著高于其他处理; 不同施肥处理下网纹层红壤和均质层红壤的 ECEC 均显著高于对照, 而花岗岩红壤和板页岩红壤仅 NPKR2 处理有显著提高。

**关 键 词:** 侵蚀性红壤; 施肥; 酸碱缓冲能力; 交换性能; 修复效应

中图分类号: S147.3; S151.9<sup>+</sup>3 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)00-0086-06

## Restoration effect of different fertilizations on the acidic and exchange property of eroded red soil

HE Li-zhao, ZHANG Yang-zhu\*, LIU Jie, LIAO Chao-lin, HUANG Yun-xiang

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to understand the remediation effect of different fertilization structure on eroded soil, a pot experiment was conducted to investigate the restoration effects of Chemical fertilizer (NPK), NPK + Organic fertilizer (NPKM), NPK + Soil conditioner R2 (NPKR2), No fertilization (CK) on the acidic and exchange properties of eroded red soil which developed from different parent materials. The results indicated that treatments of combined application of organic and inorganic fertilizers (NPKM) and combined application of inorganic fertilizer and soil conditioner 2 (NPKR2) could increase pH and buffer capacity significantly while the single fertilizer treatment (NPK) had no obvious effect. Treatment NPKR2 could ameliorate and decrease the acidic property of soil. Treatment NPKM could only increase pH buffer capacity of the soil, but not increase soil pH significantly. Treatment NPKM could increase the content of the organic matter of the soil, but the content of organic matter was not positively related to the pH buffer capacity of the soil. Each treatment could decrease the activity of  $Al^{3+}$  in the soil. Treatment NPKR2 decreased  $Al^{3+}$  in granite red soil significantly while the other two treatments had no obvious effects. Soil CEC of each treatment had little change and ECEC of the soil under treatment NPKR2 was significantly greater than that under the other treatments. ECEC of plethvthic horizon red soil and homogenous layer red soil treated by the fertilizer treatments was higher than that treated by the no fertilizer treatments, only treatment NPKR2 showed significant effect on granite red soil and plate shale red soil.

**Key words:** eroded red soil; fertilization; acid buffer capability; exchange performance; repair effect

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 国家“十一·五”科技支撑计划项目(2009BAD6B005-5, 2008BADA7B02)

作者简介: 和利钊(1985—), 男, 河北衡水人, 硕士研究生, 主要从事退化土壤修复与土壤质量保育研究, helizhao250@163.com;

\*通信作者, zhangyangzhu2006@163.com

土壤酸化是土壤退化的主要表现形式之一<sup>[1-2]</sup>。土壤酸化引起土壤“既酸又瘦”和酸铝毒害,抑制作物生长,导致作物减产<sup>[3-10]</sup>,造成土壤保蓄能力下降,加速有毒元素的释放和活化,从而导致湖泊水体富营养化、水质变劣等<sup>[11-12]</sup>。由此可见,土壤酸化是导致土壤肥力质量和环境质量降低的主要原因之一。红壤是中国热带、亚热带地区重要的旱地土壤资源。红壤酸化已成为中国南方地区农作物生长的重要限制因子<sup>[13]</sup>,并对红壤其他性质造成一系列影响<sup>[14]</sup>;因此,深入开展红壤酸化成因及改良技术的研究,对有效防止土壤酸化及酸化后土壤的恢复重建具有重要的理论和实践意义。笔者选择中国南方几种典型母质发育的红壤的淀积层土壤,研

究不同施肥处理对侵蚀性红壤的酸性和交换性能的影响,以期筛选出适合中国南方侵蚀性红壤的改良措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 材 料

第四纪红土发育的网纹层土壤(W)和均质层土壤(J)均采自湖南农业大学校区;花岗岩风化物发育红壤的淀积层土壤(H)和板岩发育红壤的淀积层土壤(B)采自长沙县金井镇。供试土壤的基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Basic fertility properties of the experimental soil

供试土壤	pH	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )
均质层红壤	5.1	8.2	3.9	140.2	7.76	0.14	0.36	15.57
网纹层红壤	4.9	5.5	2.9	238.1	3.12	0.09	0.34	20.33
板岩红壤	4.4	5.4	0.7	15.5	6.57	0.18	0.23	35.68
花岗岩红壤	5.0	4.6	1.7	41.5	6.46	0.08	0.33	32.07

尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)和作为有机肥的菜枯(含 N 5%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.92%、K<sub>2</sub>O 1.18%)均由市场购得;土壤调理剂 R2 为中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研制。

### 1.2 试验设计

试验于 2008—2011 年在湖南农业大学资源环境学院试验基地进行。每年 5 月种植大豆,10 月上旬收获;每年 10 月中旬种植油菜,次年 5 月收获。试验采用直径 18.5 cm、高 20 cm 的白瓷钵,每盆装风干土 11 kg。每种土壤均设 4 个处理:化肥(NPK)、化肥+有机肥(NPKM)、化肥+土壤调理剂 R2(NPKR2)、不施肥(CK)。试验前未开垦土壤(培肥前)仅作为对比而不设处理。每个处理中除 CK 处理外所施入肥料的氮、磷、钾含量均保持一致。化肥+有机肥(NPKM)处理中扣除有机肥中氮、磷、钾含量余下含量用化肥补足。大豆季每千克土壤施氮肥(N)、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾肥(K<sub>2</sub>O)均为 0.2 g,土壤调理剂 1 g;油菜季每千克土壤施氮肥(N) 0.3 g,磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.15 g,钾肥(K<sub>2</sub>O) 0.2 g,土壤调理剂 1 g。日

常管理按常规作物栽培管理。每季作物收获后用土壤采样器采集耕层(20 cm)土壤约 200 g(本研究仅采用 2009 年油菜收获后所采土样),经自然风干、捶碎,过 2 mm 和 0.25 mm 筛后,用于分析测定土壤有机质、土壤阳离子交换量(CEC)、有效阳离子交换量(ECEC)、土壤 pH 和 ΔpH 以及 pH 缓冲容量。

### 1.3 测定项目与方法

pH 缓冲容量(pHBC)采用酸碱滴定法<sup>[15]</sup>测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土壤 pH 和 ΔpH<sup>[16]</sup>的测定采用电位法(采用 1 mol/L 的 KCl 作为浸提剂所测得土壤的 pH 值与用去 CO<sub>2</sub> 的去离子水做浸提剂所测得土壤的 pH 值之差作为 ΔpH,可作为衡量土壤中可水解的非交换性铝离子数量的指标,从而反映土壤中铝离子活性的大小);土壤阳离子交换量采用乙酸铵(1 mol/L)交换法测定;有效阳离子交换量(包括 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、H<sup>+</sup> 和 Al<sup>3+</sup>)中交换性 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>采用乙酸铵(1 mol/L)交换-火焰分光光度计法测定,交换性 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>采用乙酸铵(1 mol/L)交换-原子吸收法测定,交换性 H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup>采用 KCl 淋洗-NaOH(1 mol/L)滴定法测定<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

数据采用 SPSS13.0 进行统计分析;采用新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥条件下的侵蚀性红壤酸碱滴定曲线特征

由图 1~4 可以看出,无论哪种侵蚀红壤,不同施肥处理土壤的酸碱滴定曲线均表现出较为一致的形态特征,各处理土壤的酸碱滴定曲线均呈近似的直线形。统计分析结果表明,各施肥处理后土壤的酸碱滴定曲线均与土壤 pH 值呈显著的直线负相关,其决定系数( $R^2$ )均大于 0.94,大多数为 0.97~0.99,说明此方法对测定土壤的酸碱缓冲容量具有可行性;无论哪种土壤,NPKR2 处理土壤的滴定曲线均与其他处理土壤的滴定曲线明显不同,相距较远,而其他 4 条曲线的位置较为接近,说明 NPKR2 处理对土壤的酸碱缓冲性能影响较大。

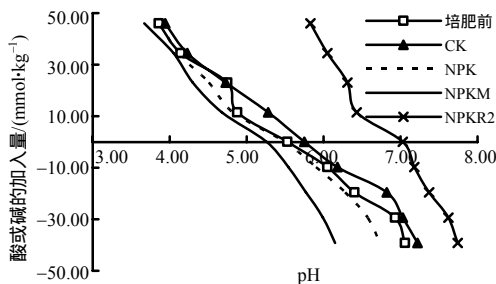


图1 第四纪红土发育的均质层土壤(J)酸碱滴定曲线  
Fig.1 Acid-base titration curve of homogenous red deposition soil(J) developed from quaternary red earth

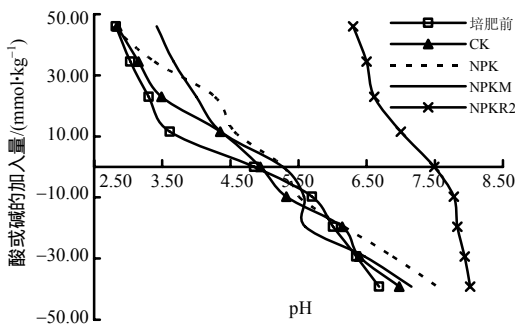


图2 板岩发育红壤的淀积层土壤(B)的酸碱滴定曲线  
Fig.2 Acid-base titration curve of deposition horizon soil(B) developed from slate

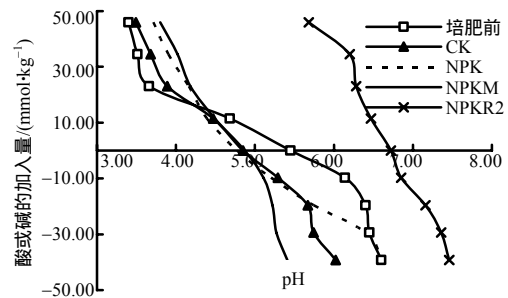


图3 花岗岩母质发育红壤的淀积层土壤(H)的酸碱滴定曲线  
Fig.3 Acid-base titration curve of deposition horizon soil(H) developed from granite

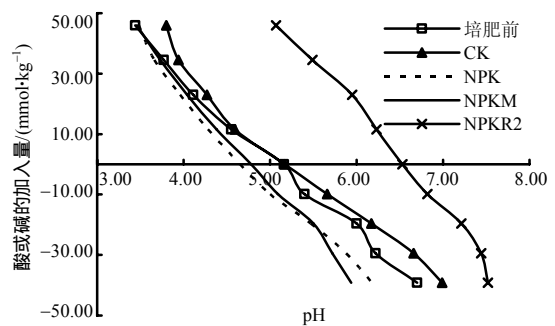


图4 第四纪红土发育的网纹层土壤(W)的酸碱滴定曲线  
Fig.4 Acid-base titration curve of reticulated mottling horizon soil(W) developed from quaternary red earth

### 2.2 不同施肥处理对侵蚀性红壤有机质含量及 pH 缓冲容量的影响

由表 2 可知,所有施肥处理土壤的酸碱滴定结果均可用一元一次方程拟合,拟合度达到极显著相关水平。无论哪种土壤,NPKR2 处理土壤的 pH 缓冲容量都明显高于其他处理,说明 NPKR2 处理可明显提高酸性土壤的 pH 缓冲能力,减轻土壤酸害;NPKM 处理对提高酸性土壤的 pH 缓冲能力也有一定的效果,NPK 处理效果则不明显;无论哪一种土壤,NPKM 处理土壤的有机质明显高于其他处理,但土壤 pH 缓冲容量与土壤有机质含量并不成正比,这与前人的研究结果不同<sup>[18-22]</sup>。笔者分析认为,土壤的 pH 缓冲容量与土壤质地、黏粒和阳离子交换量等均有关,碳酸盐等缓冲体系对其影响均较大,而土壤有机质的贡献只是其中一部分<sup>[23-24]</sup>。

表 2 不同施肥处理侵蚀性红壤的有机质含量和 pH 缓冲容量

**Table 2 Effects of different treatments on the content of organic matter and pH buffer capacity of the eroded red soils**

供试土壤	处理	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	拟合方程	拟合方程相关性(R <sup>2</sup> )	pH 缓冲容量/(mmol·kg <sup>-1</sup> )
J	培肥前	7.76	y = - 24.66x+137.79	0.99	24.66
	CK	8.26	y = - 23.78x+137.11	0.99	23.78
	NPK	8.56	y = - 26.95x+146.51	0.99	26.95
	NPKM	12.28	y = - 32.17x+164.19	0.99	32.18
	NPKR2	8.96	y = - 41.21x+283.79	0.98	41.31
B	培肥前	6.57	y = - 18.59x+89.38	0.96	18.59
	CK	5.44	y = - 19.44x+96.09	0.99	19.44
	NPK	5.84	y = - 18.46x+96.91	0.99	18.46
	NPKM	10.87	y = - 22.30x+114.71	0.97	22.30
	NPKR2	5.54	y = - 42.07x+307.89	0.95	42.07
H	培肥前	6.46	y = - 20.93x+109.52	0.94	20.93
	CK	5.24	y = - 30.33x+147.14	0.98	30.33
	NPK	5.74	y = - 26.65x+134.83	0.96	26.65
	NPKM	11.88	y = - 47.93x+227.53	0.97	47.93
	NPKR2	6.65	y = - 49.15x+330.52	0.98	49.15
W	培肥前	3.12	y = - 25.40x+129.9	0.99	25.40
	CK	2.42	y = - 24.33x+129.62	0.98	24.33
	NPK	3.93	y = - 29.79x+142.78	0.98	29.79
	NPKM	9.16	y = - 32.62x+156.42	0.98	32.62
	NPKR2	3.32	y = - 33.63x+219.57	0.99	33.63

x为土壤的pH值；y为酸或碱的加入量。

2.3 不同施肥处理对侵蚀性红壤 pH 和 ΔpH 的影响

由表 3 可知，各施肥处理的土壤 pH 均以 NPKR2 处理最高，且极显著高于其他处理，说明 NPKR2 施肥处理可显著提高土壤的 pH 值，降低土壤酸性，这与魏岚等<sup>[25]</sup>的研究结果一致；其他施肥处理之间虽稍有差异，但对土壤 pH 值的提高效果均不显著。除板岩红壤外，其他 3 种施肥处理(除 NPKR2 处理外)的土壤 pH 均低于培肥前，说明土壤开垦后若施肥不当很容易导致土壤酸化，对此须

引起重视，各施肥处理的土壤 ΔpH 均小于 CK 处理，说明各施肥处理均能不同程度地降低土壤铝离子的活性；对于不同母质发育的土壤而言，各施肥处理均能较好地降低板页岩红壤、网纹层红壤和均质层红壤的铝离子活性，但只有 NPKR2 施肥处理能明显降低花岗岩红壤的铝离子活性，而其他 2 种施肥处理的效果均不明显，其作用机理还有待进一步研究。

表 3 不同施肥处理侵蚀性红壤的 pH 和 ΔpH

**Table 3 pH and ΔpH of the soils with different treatments**

处理	H		B		W		J	
	pH	pH	pH	pH	pH	ΔpH	pH	pH
培肥前	5	—	4.4	—	4.9	—	5.1	—
CK	4.54Bc	-0.73Bb	4.6Bb	-1.09Bb	5.33Bb	-1.33Cc	6.03Bb	-1.05Bb
NPK	4.72Bbc	-0.70Bb	4.51Bb	-0.54Aa	4.55Cc	-0.89Bb	4.97Dd	-0.60Aa
NPKM	4.77Bb	-0.70Bb	4.7Bb	-0.54Aa	4.65Cc	-0.87ABb	5.19Cc	-0.64Aa
NPKR2	7.07Aa	-0.44Aa	6.51Aa	-0.62Aa	6.76Aa	-0.70Aa	7.03Aa	-0.60Aa

#### 2.4 不同施肥处理对侵蚀性红壤阳离子交换量(CEC)和有效阳离子交换量(ECEC)的影响

由表4可知,不同施肥处理下除板页岩红壤CEC较低外,其他3种母质发育的红壤CEC均差异不大;除各施肥处理花岗岩红壤CEC显著增大,网纹层红壤的NPK处理CEC显著降低外,其他土

壤各施肥处理下CEC均变化不大。土壤ECEC均为施肥处理大于不施肥处理,且均以NPKR2处理土壤的ECEC最大,均显著高于其他处理;各施肥处理的网纹层红壤和均质层红壤ECEC均显著高于不施肥处理,而花岗岩红壤和板页岩红壤仅NPKR2处理有显著效果,其原因有待进一步研究。

表4 不同施肥处理侵蚀性红壤的阳离子交换量和有效阳离子交换量

处理	H		B		W		J	
	CEC	ECEC	CEC	ECEC	CEC	ECEC	CEC	ECEC
CK	10.3Bb	5.4Bb	7.3Bc	4.5Bb	13.1Aa	5.6Bc	12.0	4.8Cc
NPK	11.4Aa	5.4Bb	8.0ABb	4.7Bb	10.4Bb	7.1ABb	11.8	7.9ABb
NPKM	11.5Aa	5.7Bb	8.1ABb	5.0ABb	13.3Aa	7.6Aab	11.7	7.1Bb
NPKR2	11.7Aa	8.0Aa	8.7Aa	6.1Aa	14.0Aa	8.6Aa	11.3	9.6Aa

### 3 小结

本研究结果表明,无论哪种酸性土壤,有机无机肥配合施用(NPKM)以及土壤调理剂2号(NPKR2)处理均可以明显提高酸性土壤的pH缓冲能力,而单施化肥的效果不明显。各施肥处理均能一定程度地降低板页岩红壤、网纹层红壤和均质层红壤的铝离子活性,但只有NPKR2处理能明显降低花岗岩红壤的铝离子活性,其他施肥处理的效果均不明显。NPKR2处理可以明显提高土壤pH,降低土壤酸度,而有机无机肥配合施用(NPKM)则对提高土壤pH的效果不显著。除板页岩红壤外,其他3种母质发育的红壤在不同施肥处理(NPKR2处理除外)后土壤pH均小于培肥前,说明土壤开垦后若施肥不当会导致土壤酸化。不同施肥处理下除板页岩红壤的阳离子交换量(CEC)较低外,其他3种母质发育红壤CEC均差异不大;除施肥处理花岗岩红壤CEC显著增大,NPK处理网纹层红壤的CEC显著降低外,其他土壤各处理间的CEC均变化不大。土壤有效阳离子交换量(ECEC)均为施肥处理大于不施肥处理,且均以NPKR2处理土壤的ECEC最大,显著高于其他处理;各施肥处理网纹层红壤和均质层红壤的ECEC均显著高于不施肥处理,而花

岗岩红壤和板页岩红壤仅NPKR2处理有显著效果。

滥伐森林、土壤耕作管理不当、土地资源过度利用等是导致红壤地区土壤退化的主要原因。修复退化的侵蚀红壤,提高其土壤肥力和生产力,保证红壤地区农业可持续发展和良好生态环境成为了当今非常重要的课题。从本研究结果来看,农业生产中应重视有机无机肥料的配合施用,降低农业生产成本,减少过量施用化肥带来的环境影响。

#### 参考文献:

- [1] Sarah J K, David W, Keith W T, et al. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 1-14.
- [2] Qian C, Cai Z C. Leaching of nitrogen from subtropical soils as affected by nitrification potential and base cations[J]. Plant Soil, 2007, 300: 197-205.
- [3] 王宁, 李九玉, 徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(23): 48-51.
- [4] 何龙飞, 王爱勤, 刘友良, 等. 植物耐铝性机制的研究进展[J]. 广西农业生物科学, 2003, 22(1): 58-62.
- [5] Ma J F, Ryan P R, Delhaize E. Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids[J]. Trends in Plant Science, 2001(6): 273-278.
- [6] 吴甫成, 彭世良, 王晓燕, 等. 酸沉降影响下近20年衡山土壤酸化研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 219-224.
- [7] 雷宏军, 朱端卫, 刘鑫, 等. 酸性土壤在改良条件下

- 磷的吸附-解吸特性[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 636-640.
- [8] 王辉, 董元华, 安琼, 等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究[J]. 土壤, 2005, 37(5): 530-533.
- [9] 张桃林. 中国红壤退化机制与防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [10] 安徽省土壤普查办公室. 安徽土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [11] Ye X M, Hao J M, Duan L, et al. Acidification sensitivity and critical loads of acid deposition for surface waters in China[J]. Science of the Total Environment, 2002, 289: 189-203.
- [12] Duan L, Huang Y M, Hao J M, et al. Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification[J]. Science of the Total Environment, 2004, 330: 187-198.
- [13] 许中坚, 刘广深, 刘维屏. 人为因素诱导下的红壤酸化机制及其防治[J]. 农业环境保护, 2002, 21(2): 175-178.
- [14] 曾希柏. 红壤酸化及其防治[J]. 土壤通报, 2000, 31(3): 111-113.
- [15] 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, 39(6): 1247-1248.
- [16] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 于天仁. 土壤化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 325-364.
- [19] 王敬华, 张效年, 于天仁. 华南红壤对酸雨敏感性的研究[J]. 土壤学报, 1994, 31(4): 348-355.
- [20] Aitken R L, Moody P W. The effect of valence and ionic strength on the measurement of pH buffer capacity[J]. Aust. J. Soil Res., 1994, 32: 975-984.
- [21] 杨光. 保护地土壤酸缓冲性能研究[J]. 辽宁农业科学, 2009(6): 5-8.
- [22] 陈翠玲, 张麦生, 杨雪芹, 等. 潮土和石灰性褐土缓冲性能研究[J]. 河南农业科学, 2004(6): 56-57.
- [23] 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.
- [24] 杨宁, 姜亦梅, 赵兰坡. 吉林省西部不同利用方式苏打盐碱土的缓冲性能研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 196-200.
- [25] 魏岚, 杨少海, 邹献中, 等. 不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(1): 77-81.

责任编辑: 杨盛强