

吉林西部不同种植年限水稻土酸缓冲性能研究

韩春爽¹, 武俊男¹, 秦治家², 高 强¹, 刘淑霞^{1*}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院/吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118; 2. 吉林省东辽县足民农业站, 吉林 东辽 136615)

摘 要: 种植水稻是盐碱地区改良土壤的一种有效方式, 而选取pH值较低的水稻苗床土已经成为盐碱地区亟待解决的一个主要问题。本文主要针对吉林省西部盐碱地区不同种植年限的水稻土进行理化性质、水溶性盐基离子和酸缓冲性能的测定, 确定影响盐渍水稻土酸缓冲性的主要因素, 寻找水稻育苗土可利用资源。结果表明: 西部不同种植年限盐渍水稻土的酸缓冲容量表现为: 种植60年(壤质黏土) < 50年(壤质黏土) < 35年(壤质黏土) < 45年(壤质黏土) < 20年(壤质黏土) < 45年(黏土) < 25年(黏土), 酸缓冲性主要受土壤碳酸盐、土壤黏粒及土壤碱化度的影响, 种植50年和60年水稻的壤质粘土酸缓冲性较弱, 易于调酸, 可以考虑作为苗床土的供选资源。

关键词: 水稻; 盐碱土; 酸缓冲性能; 苗床土

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2016)02-0056-06

Studies on Acid Buffering Ability of Saline-Alkali Paddy Soil of Different Cultivation Years in Western Jilin Province

HAN Chunshuang¹, WU Junnan¹, QIN Zhijia², GAO Qiang¹, LIU Shuxia^{1*}

(1. College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University / Key Laboratory of Soil Resource Sustainable Utilization for Jilin Province Commodity Grain Bases, Changchun 130118; 2. Zumin Agricultural Station of Dongliao County, Dongliao 136615, China)

Abstract: Rice cultivation was an effective way to improve the soil in saline areas. However, how to select the rice seedbed soil has become a major problem in saline areas. Focused on the different cultivation years of paddy soils, the acid buffering properties, water soluble inorganic salt ions and physical and chemical properties were analyzed to find the key factors for acid buffering properties. The results showed that the acid buffering capacities of saline paddy soil was 60 years of loamy clay < 50 years of loamy clay < 35 years of loamy clay < 45 years of loamy clay < 20 years of loamy clay < 45 years of clay < 25 years of clay. The content of CO_3^{2-} , clay particles and ESP played the important roles in the soil acid buffering ability, and the acid buffering capacity of planting 50 years and 60 years of loamy clay were weaker than others, and their acidity were easy to regulate and control, which could be developed as seedbed soil.

Key words: Rice; Saline soil; Acid buffering properties; Seedbed soil

水稻作为我国第一大粮食作物, 约占粮食总产量的40%。稻米是我国人民赖以生存的食品。水稻生产不仅担负我国粮食安全重任, 并肩负

实现种粮增效、稻农增收和全面推进新农村建设的重大使命, 也是现阶段我国农业和农村经济发展的中心任务之一。人口增加和耕地减少是我国的基本国情, 预计到2030年, 我国人口将达到16亿, 我国农作物的单产需在现有的基础上提高50%以上才能满足粮食的安全供给^[1-3]。近些年来, 为了满足人口不断增长对农产品的需求, 保障国家粮食安全, 吉林省和黑龙江省分别制定了增产50亿kg和100亿kg商品粮的建设规划, 均把松嫩平原盐碱地开发及粮食产量潜能的提升作为实现粮食增产目标的主要支撑性工程。吉林省西

收稿日期: 2015-12-02

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20110202); 吉林省科技引导计划项目(201205057); 公益性行业(农业)科研专项(20110303)

作者简介: 韩春爽(1991-), 女, 在读硕士, 从事植物营养与生态环境研究。

通讯作者: 刘淑霞, 女, 博士, 教授, E-mail: liushuxia2005824@163.com

部是中国土地盐碱化最严重的地区之一,各类盐碱土总面积为170万 hm^2 ,占西部地区总面积的8%,是该地区最具有开发潜力的土地资源。大量的科研和生产实践证明,盐碱地种稻是苏打盐碱地改良利用的最有效途径之一,也是促进农民增收、农业增效及改善生态环境的最佳途径^[4-7]。但是随着水稻种植面积不断扩大,水稻苗床土的选取成为日益突出的问题。水稻秧苗适合于在酸性条件下生长,所以对于苏打盐渍土来说,研究其酸缓冲性能,寻找新的育苗土资源显得十分重要。目前,土壤酸缓冲性能的研究主要集中在南方红壤、林地等一些土壤,大多是为防止土壤酸化而研究^[8-14]。而本研究的目的主要是探究不同水稻种植年限对土壤酸缓冲性能的影响,特别是土壤理化性质对酸缓冲性能的影响程度,试图开发一种新的水稻苗床土,为盐碱地区土壤改良和

水稻生产提供科学依据。因此,笔者通过调查,采集了不同种植年限的水稻土,进行了理化性质、水溶性盐基离子、碱化度及酸缓冲性能的研究,为盐碱地水稻苗床土的开发选取提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试土壤为不同种植年限的盐渍水稻土,采样地点为吉林省前郭县红光农场、红旗农场、莲花泡农场、镇赉县四方坨子农场,样本均为耕层土壤,土样经室内风干、混匀、粉碎后分别过20目及100目筛备用,采样时间为2014年11月,样品信息见表1,土壤养分含量、理化性质、盐基离子含量、机械组成见表2、表3、表4。

表1 供试土壤基本信息

样品标号	采样地点	位置坐标	土地利用现状	种植年限	采样深度(cm)
1	红旗农场二分厂	N 45°02'4869"; E 124°95'5982"H:144.41 m	水田	60年	0~20
2	红旗农场二分厂	N 45°02'2625"; E 124°93'0933"H:135.37 m	水田	50年	0~20
3	红光农场三分厂	N 44°95'8839"; E 124°72'9837"H:136.53 m	水田	45年	0~20
4	红旗农场五分厂	N 44°99'9933"; E 124°92'5906"H:143.3 m	水田	45年	0~20
5	红光农场三分厂	N 44°94'3646"; E 124°72'3654"H:134.85 m	水田	35年	0~20
6	镇赉四方坨子农场	N 45°11'0781"; E 123°84'7627"H:135.3 m	水田	25年	0~20
7	莲花泡农场	N 44°98'8662"; E 124°66'6965"H:134.67 m	水田	20年	0~20

表2 土样基础理化性质

土样标号	pH值	碱解氮(N) (mg/kg)	速效磷(P_2O_5) (mg/kg)	速效钾(K_2O) (mg/kg)	有机质 (g/kg)	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	CEC (cmol/kg)	ESP (%)
1	6.23	100.94	25.86	53.7	8.77d	40.2	16.87	1.30d
2	6.53	75.71	24.21	136.43	6.23e	48.74	17.09	1.41d
3	7.92	126.18	36.54	113.04	13.23b	314.24	23.18	1.82cd
4	8.11	106.35	51.93	82.98	6.36e	147.84	21.5	1.97cd
5	7.95	254.75	52.18	62.93	24.45a	262.74	28.65	2.74b
6	8.25	136.99	13.53	133.08	9.19d	222.74	24.24	9.97a
7	8.08	102.14	17.34	72.96	10.54c	134.54	18.56	2.28bc

注:EC:电导率;CEC:阳离子交换量;ESP:碱化度;不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同

1.2 测定方法

1.2.1 土壤酸缓冲性能测定

每个样品取塑料瓶若干,依次编号,每瓶中称取过20 mm筛的风干土样10.0 g,加入0~600 mmol/L的等梯度酸缓冲液25 mL,摇匀震荡,24 h后测定其pH值,以酸浓度为横坐标,pH值为纵坐

标绘制土壤酸缓冲曲线。

1.2.2 酸缓冲容量测定

采用连续测定法,即取土样10 g,加一定浓度的酸溶液25 mL,振荡2 h后测定其pH值并记录,在没有达到参比标准前,继续加酸5 mL,振荡2 h后测定,如此往复,直到达到参比标准^[15-17]。

表3 供试土壤水溶性盐基离子含量

土样标号	K ⁺ (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	Ca ²⁺ (cmol/kg)	Mg ²⁺ (cmol/kg)	SO ₄ ²⁻ (cmol/kg)	Cl ⁻ (cmol/kg)	CO ₃ ²⁻ (cmol/kg)	HCO ₃ ⁻ (cmol/kg)
1	0.01	0.03	0.79	1.18	8.37	0.15	-	0.047c
2	0.02	0.04	0.84	1.29	9.59	0.18	-	0.05c
3	0.01	0.11	8.73	5.27	60.12	0.38	0.29a	0.59b
4	0.02	0.05	11.02	2.8	115.97	0.34	0.10e	0.70b
5	0.02	0.12	14.64	4.57	159.04	0.23	0.15d	0.52b
6	0.02	0.37	2.73	2.07	36.01	0.28	0.26b	1.10a
7	0.01	0.08	4.59	1.74	52.08	0.38	0.20c	0.64b

注:K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻分别代表土壤水溶性钾、钠、钙、镁离子及硫酸根离子、氯离子、碳酸根离子、重碳酸根离子

1.2.3 土壤基本理化性质测定方法

土壤pH值采用电位法,即土水比1:2.5;土壤有机质用电热板加热-重铬酸钾容量法;阳离子交换量用1 mol/L的醋酸铵交换法,碳酸根、碳酸氢根用双指示剂法,电导率用电位法(土水比1:5);土壤水溶性钾、钠、钙、镁分别用火焰光度计和原子吸收测定,土壤质地采用吸管法^[18]测定。

表4 土壤机械组成

样点 标号	机械组成(%)			质地名称
	2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
1	53.83	15.56	30.61	壤质黏土
2	43.63	14.43	41.94	壤质黏土
3	29.4	18.61	51.99	黏土
4	41.18	22.38	36.44	壤质黏土
5	31.02	28.47	40.51	壤质黏土
6	23.31	14.21	62.48	黏土
7	38.23	29.15	32.62	壤质黏土

2 结果与分析

2.1 不同种植年限水稻土壤的酸缓冲性变化

土壤对酸碱的缓冲性能是土壤本身具有的基本特性之一,土壤对酸的敏感性指标是土壤酸缓冲能力的度量,是土壤质量评价体系中的重要因子^[18]。土壤酸碱缓冲容量的研究可为土壤酸化的预防、控制及修复提供理论基础,还可作为评价酸沉降、施肥和耕作等对土壤影响的依据^[19]。土壤酸缓冲曲线反映了土壤缓冲性能的变化趋势,缓冲曲线越平缓,说明在这个范围内土壤抵抗酸的能力越强^[20]。图1是不同开垦年限水稻土的酸缓冲曲线。由图1可以看出:随着酸加入量的增加,土壤的pH值逐渐下降,但pH值的变化与酸的加入量并不呈现等价变化的趋势。除土样1和2外,不同种植年限的水稻土,其酸缓冲曲线呈现

先平缓后下降的趋势,也就是开始的时候随着酸浓度的增加,pH值变化不明显,是缓冲作用最强的区域,但到达一定的酸度值之后,继续增大酸的浓度,其pH值会呈现很明显的下降趋势,即形成一个酸度的突降。图中土样1和土样2没有形成平缓的曲线区间,可能与样点1、2本身的pH值有关,也说明土样1和土样2的酸缓冲作用较弱。虽然土样1、2没有形成平缓的曲线,但是从图1可以看出:所有土样(含土样1、2)的pH值达到7或以下时,其pH值急剧下降,即在pH=7左右时,所有土样都产生了突降点,在这一点上是相近的,这说明虽然种植年限不同,土壤理化性质不同,但其酸缓冲曲线的突降点相互接近。同时可以看出:对于种植50年的土样2和种植60年的土样1来说,土壤的酸缓冲性能呈现明显的递减,也就是说随着种植年限的增加,土壤盐渍化的程度有所下降,这说明种植水稻可以改良盐碱土壤,但是改良作用需要经过一定的年限。

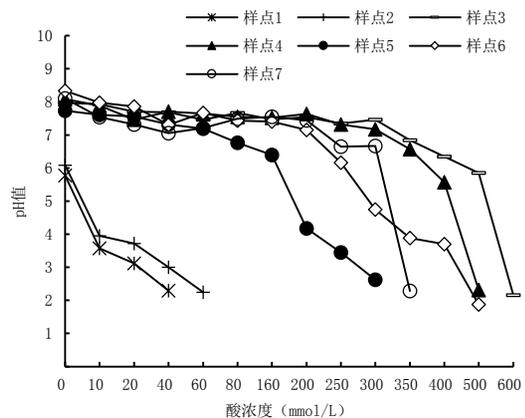


图1 不同种植年限土壤24 h平衡酸缓冲曲线

2.2 不同种植年限水稻土的缓冲容量变化

缓冲容量是表示土壤缓冲能力强弱的指标,即单位土壤到某一pH值时所需要加入的酸量或

碱量,缓冲容量越大,pH值越不易改变,缓冲能力就越强^[20-22]。缓冲容量的测定是在土壤悬浮液中连续加入标准酸或标准碱,测定pH值的变化趋势,以pH值为纵坐标,加酸量为横坐标,绘制缓冲曲线。大量的研究表明,该地区的水稻育苗床土的pH值调到4~4.5对水稻苗期立枯病具有较好的预防效果^[20-22],因此以pH=4为参比值,上下各一个酸度单位计算酸缓冲容量,计算不同参比值下的缓冲容量(表5)。由表5可以看出:对于均为黏土种植25年土样6和种植45年土样3来说,随着种植年限的增加土壤黏粒含量有所下降,土壤的酸缓冲容量也有所下降,且土样间差异显著。其余壤质黏土的酸缓冲容量随着种植年限的增加呈降低趋势。但土样5却并非如此,这可能与土样5中含有较多的有机质有关。由表2可知:土样5的有机质含量远远高于其他土样,有机质在土壤中最主要作用就是改良土壤结构,改善土壤的耕作性和通透性,促进土壤中多余盐分的淋溶,进而降低土壤的盐碱化程度,这也正是种植作物可以改良盐碱土的主要原因。

表5 不同种植年限水稻土土壤缓冲容量

土样标号	不同参比值下土壤缓冲容量 (cmol/kg)		
	pH=5	pH=4	pH=3
1	0.04e	0.16e	0.53f
2	0.09e	0.23e	0.89e
3	1.87b	2.25b	2.63b
4	1.38c	1.63c	1.88c
5	0.71d	0.88d	1.08d
6	4.19a	6.03a	6.92a
7	1.88b	2.25b	2.75b

2.3 影响不同种植年限水稻土缓冲容量的其他因素

2.3.1 土壤质地对酸缓冲容量的影响

土壤质地是根据土壤机械组成划分的土壤类型。尚庆昌^[20]等认为:从不同的土壤质地来看,土壤缓冲能力的大小依次为黏土、壤土和砂土,因为前者的黏粒含量高,相应的阳离子交换量大。通过对不同种植年限的水稻土进行质地分析可知:土样3和6为黏土,其余均为壤质黏土,同时由表5可以看出:土样6的酸缓冲容量最大,表6中土壤黏粒含量与缓冲容量的相关分析也表明,土壤的黏粒含量与土壤的酸缓冲容量呈极显著的正相关。这说明土壤质地对土壤的缓冲性能影响很大。这与黄平等^[27]的研究结果有所不同,但与

刘伟^[19]等学者的研究结论相一致。

2.3.2 土壤碱化度对酸缓冲容量的影响

碱化度是土壤胶体吸附的交换性钠离子占阳离子交换量的百分比。从表2可以看出,在土壤质地相同的情况下,土壤的碱化度随着种植年限的增加而呈降低的趋势,种植60年和50年的土壤碱化度最低。同时从表6中碱化度与酸缓冲容量的相关性分析可以看出,所取土壤的酸缓冲容量与碱化度之间呈显著的正相关,碱化度越高,土壤的缓冲容量越大。由此可知:碱化度对不同种植年限的盐渍水稻土的酸缓冲性的影响是不可忽视的。

2.3.3 土壤碳酸盐、碳酸氢盐对酸缓冲容量的影响

众所周知,苏打盐碱地的得名就是因为其土壤中含有较多的碳酸盐及碳酸氢盐。由于酸进入土壤中首先要中和土壤中的碱性盐离子,所以土壤中的碳酸盐及碳酸氢盐的含量越高,其酸缓冲容量也就会越大。由表3可知:对于同一类型的土壤,随着种植年限的增加,土壤的碳酸盐、碳酸氢盐的含量整体呈下降趋势。从表6的相关分析可以看出,土壤碳酸根、碳酸氢根的含量均与土壤的酸缓冲容量呈显著的正相关,其中碳酸氢盐的含量与土壤酸缓冲容量达到了极显著水平,也就是说碳酸盐、碳酸氢盐的含量越高,土壤的酸缓冲容量就越大。这与黄平等^[28]的研究结果相一致,碳酸盐是影响土壤缓冲容量的主体。

2.3.4 其他因素对酸缓冲容量的影响

土壤阳离子交换性能由土壤胶体性质所决定。土壤胶体的交换性阳离子是土壤产生缓冲性的主要原因之一,王文婧等^[23-25]的研究表明阳离子交换量愈大,缓冲性也愈强。同时大量研究表明^[23-28]:土壤有机质对土壤酸碱缓冲曲线变化起着主要作用,土壤有机质含量虽然仅占土壤的百分之几,但腐殖质含有大量负电荷^[17],可以吸附土壤溶液中的阳离子,影响土壤的阳离子交换量,通过表6可以明确这一点,并且通过表5可以得到进一步的证实,也就是有机质与阳离子交换量之间存在显著的相关性。但从本研究所得的相关分析看出:土壤的酸缓冲容量与土壤有机质和阳离子交换量之间并无显著的相关关系,也就是说,对于苏打盐碱土来说,土壤有机质含量、阳离子交换量的大小并不是影响土壤酸缓冲容量的主要因素。同时从表6中还可以看出:土壤的pH值与土壤碳酸盐、碳酸氢盐间显著相关,可以认为这两项可以直接影响土壤的酸缓冲性能,土壤电

导率的大小则与土壤的酸缓冲容量没有显著的相关关系。为了进一步证实土壤酸缓冲容量与土壤理化性质的关系,笔者做了土壤酸缓冲容量与土壤理化性质间的回归分析:酸缓冲容量(cmol/kg)= $0.273-0.075$ 有机质 $+8.069\text{CO}_3^{2-}+0.435\text{ESP}$,多元回归分析的结果进一步表明:当把所有的因素综合到一起,剔除不显著的因素后,土壤的酸缓冲容量主要受土壤碳酸盐含量、土壤碱化度的影响,

其他影响因素则通过影响碳酸盐含量和土壤碱化度间接影响土壤的酸缓冲容量,有机质与酸缓冲容量之间呈负相关,说明土壤有机质可以减缓土壤的缓冲性,并有利于改良土壤,这与前面的分析结果是吻合的,同时也证明了苏打盐碱水稻土土壤酸缓冲性可以根据土壤碳酸盐、土壤碱化度进行预测。

表6 土壤酸碱缓冲容量与土壤性质及水溶性盐基离子的相关系数

	pH=4 缓冲容量	pH	有机质	EC	CEC	CO_3^{2-}	HCO_3^-	ESP
pH	0.65							
有机质	-0.10	0.33						
EC	0.47	0.76*	0.62					
CEC	0.37	0.68	0.79*	0.85**				
CO_3^{2-}	0.75*	0.83*	0.31	0.86**	0.58			
HCO_3^-	0.90**	0.91**	0.11	0.65	0.58	0.81*		
ESP	0.80*	0.46	0.07	0.63	0.50	0.68	0.64	
粘粒	0.92**	0.45	-0.02	0.33	0.41	0.52	0.76*	0.78*

注:*代表显著相关,**代表极显著相关

3 结论与讨论

3.1 水稻秧苗适宜在酸性条件下生长,所以选择苗田土壤首先应易于调酸,根据试验结果分析可知:吉林省西部不同种植年限盐渍水稻土的酸缓冲容量表现为:种植60年(壤质黏土) $<$ 50年(壤质黏土) $<$ 35年(壤质黏土) $<$ 45年(壤质黏土) $<$ 20年(壤质黏土) $<$ 45年(黏土) $<$ 25年(黏土)。对于不同种植年限的水稻土来说,种植水稻50年和60年的土壤酸缓冲性较弱,易于进行酸度的调节,可以考虑作为育苗床土资源,但是还有待于通过试验进一步验证。

3.2 根据试验分析结果可知:在影响土壤酸缓冲容量的诸多因素中,只有有机质与盐碱土酸缓冲容量之间呈负相关关系,说明有机质对盐碱土的改良有一定的作用,其余因素与酸缓冲容量均呈正相关关系,具体表现为:黏粒 $>$ HCO_3^- $>$ ESP $>$ CO_3^{2-} $>$ pH $>$ EC $>$ CEC,说明不同种植年限的苏打盐渍水稻土的酸缓冲性能主要受土壤碳酸盐、土壤黏粒及土壤碱化度的影响,这也说明本试验选取的土壤处在以碳酸盐和土壤黏粒为主的缓冲体系中,按照廖柏寒等^[28-29]对土壤酸碱缓冲体系的划分,土壤酸碱缓冲过程分为两种机制:一种是由阳离子交换产生的缓冲过程,在反应动力学上有较快的反应速率,称为初级缓冲过程,另一种是由土壤风化产生的缓冲过程,缓冲能力较强,但

动力学上的反应速率较慢,称为次级缓冲过程。而本研究的初级缓冲体系应为土壤的碳酸盐及土壤黏粒含量,而与土壤的阳离子交换量及电导率之间并无显著相关,说明阳离子交换量及电导率对盐碱土酸缓冲性的影响有限。这与廖柏寒的研究结果不符,但与陈翠玲等^[6]的研究结果相一致。同时随着种植年限的增加,同种类型的水稻土的碳酸盐、碱化度及黏粒含量整体呈下降趋势,这说明种植水稻可以改善土壤的盐碱化程度,但需要一定的年限才能看到效果。

参考文献:

- [1] 程式华,胡培松.中国水稻科技发展战略[J].中国水稻科学,2008,22(3):223-226.
- [2] Zhang X, Wang D, Fang F, et al. Food safety and rice production in China[J].Resource Agricultural Modernization, 2005, 26(1): 85-88.
- [3] Wen-Yi Dong, Xin-Yu Zhang, Xiao-Qin Dai.Changes in soil microbial community composition in response to fertilization of paddy soils in subtropical China[J].Applied Soil Ecology, 2014(84): 140-147.
- [4] 李凯,王勇,窦森.吉林省西部土地开发整理重大工程与苏打盐碱地工程改良[J].吉林农业科学,2009,34(1): 20-24.
- [5] 王春裕,王汝镛,李建东.中国东北地区盐渍土的生态分布[J].土壤通报,1999,30(5):193-196.
- [6] 王春裕,武志杰,石元亮,等.中国东北地区的盐渍土资源[J].土壤通报,2004,35(5):643-647.

- [7] 赵兰坡,冯 君,王 宇,等.松嫩平原盐碱地种稻开发的理论与技术问题[J].吉林农业大学学报,2012,34(3):237-241.
- [8] 张永春,汪吉东,沈明星,等.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J].土壤学报,2010,47(3):465-472.
- [9] 徐仁扣,Coventry D R.某些农业措施对土壤酸化的影响[J].农业环境保护,2002,21(5):385-388.
- [10] 王兴祥,李清曼,曹 慧,等.关于植物对红壤的酸化作用及其致酸机理[J].土壤通报,2004,35(1):73-77.
- [11] 刘付程,史学正,于东升.近20年来太湖流域典型地区土壤酸度的时空变异特征[J].长江流域资源与环境,2004,15(6):740-744.
- [12] 李 彬,王志春,马红媛,等.吉林省盐碱地资源与可持续利用对策[J].吉林农业科学,2005,30(5):46-50.
- [13] Xu R K, Coventry D R, Farhoodi A, et al. Soil acidification as influenced by crop rotations, stubble management, and application of nitrogenous fertilizer, Tarlee, South Australia[J].Australian Journal of Soil Research, 2003, 40(3): 483-496.
- [14] Xu R, Zhao A, Li Q, et al. Acidity regime of the red soils in a subtropical region of southern China under field conditions[J]. Geoderma, 2003(115): 75-84.
- [15] 李建国,章明奎,周 翠.浙江省农业土壤酸缓冲性能的研究[J].浙江农业学报,2005,17(4):207-211.
- [16] 陈翠玲,蒋爱凤,任秀娟.潮土地地区不同质地类型土壤对酸缓冲性能的研究[J].河南农业科学,2005(10):64-65.
- [17] 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.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,178-200.
- [19] 刘 伟,尚庆昌.长春地区不同类型土壤的缓冲性及其影响因素[J].吉林农业大学学报,2001,23(3):78-82.
- [20] 尚庆昌,徐 丽.水稻苗床土酸度调节的研究[J].吉林农业大学学报,1983(1):73-85.
- [21] 宫绍斌,郑长艳.水稻旱育苗中立枯病的综合防治[J].农业与技术,2001,2(1):45-47.
- [22] 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.
- [23] 王文婧,戴万宏.安徽主要土壤酸碱性及其酸缓冲性能研究[J].中国农学通报,2012,28(15):67-72.
- [24] 赵国臣,齐春艳,侯立刚,等.吉林省苏打盐碱地水稻生产历史进程与展望[J].沈阳农业大学学报,2012,43(6):673-680.
- [25] Weaver A R, Kissel D E, Chen F, et al. Mapping soil pH buffering capacity of selected fields in the coastal plain[J].Soil Science Society of America Journal, 2004(68): 662-668.
- [26] Aitken R L, Moody P W. The effect of valence and ionic strength on the measurement of pH buffer capacity[J].Australian Journal of Soil Research, 1994(32): 975-984.
- [27] 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.
- [28] 廖柏寒,戴昭华.土壤对酸沉降的缓冲能力与土壤矿物的风化特征[J].环境科学学报,1991,4(11):423-430.
- [29] 王 楠,赵兰坡,周彦明,等.玉米(超)高产与普通生产田土壤酸碱缓冲作用的研究[J].吉林农业科学,2009,34(2):24-27.

(责任编辑:王 昱)