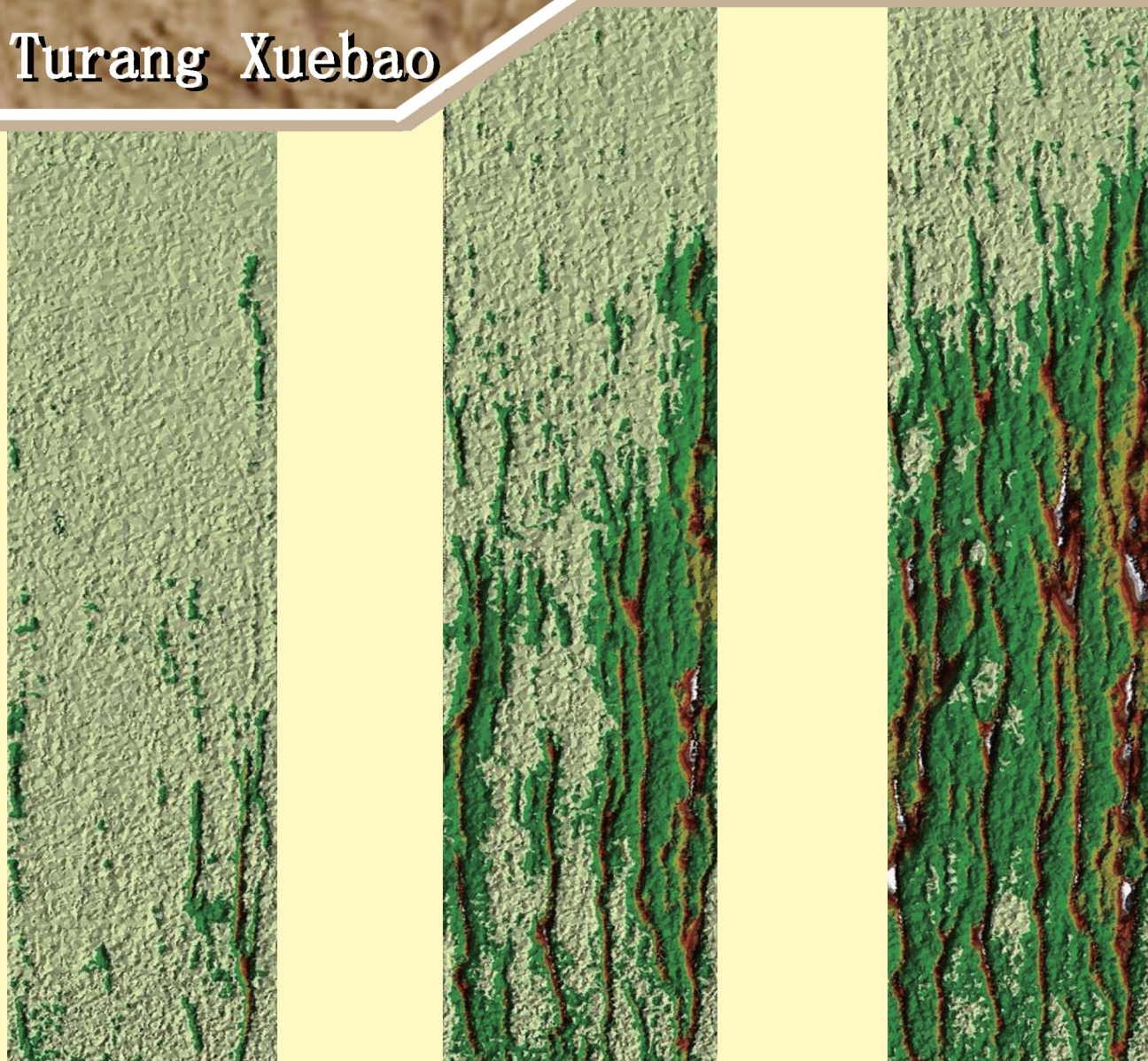


ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



土壤学报

第五十二卷

第一期

二〇一五年一月

科学出版社



中国土壤学会  
科学出版社

主办  
出版

2015

第52卷 第1期

Vol.52 No.1

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枫生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊,1948年创刊)

第52卷 第1期 2015年1月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 1 Jan., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址：南京市北京东路71号 邮政编码：210008  
电话：025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址：北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总 发 行 科 学 出 版 社  
地址：北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717  
电话：010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址：北京399信箱 邮政编码：100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

# 积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究\*

王媛华<sup>1,2</sup> 段增强<sup>1†</sup> 赵宇<sup>1</sup> 董金龙<sup>1,2</sup> 汤英<sup>1,2</sup> 李汛<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要** 为探求设施内土壤积盐酸化与露地酸化的区别, 人为模拟酸化和盐基淋失(自然洗盐)过程, 分析洗盐前后土壤酸度特征的变化。结果表明: 洗盐使电导值、有效钙(A-Ca)、交换性酸(EA)、有效阳离子交换量(CEC)、活性锰(Ac-Mn)含量均显著降低, 活性铁铝(Ac-Fe、Ac-Al)含量、盐基饱和度(BSP)保持稳定或显著增高, pH显著升高。洗盐前后, 土壤的EA、Ac-Al和Ac-Fe均随着pH的降低显著增高, 而Ac-Mn、CEC均随着pH的降低显著下降; 在出现一定量EA以后, BSP随pH降低显著下降, 表明积盐酸化与露地酸化本质相同。但在等量酸加入时, 设施内积盐土壤耕层酸化更快, 酸害更严重, 且易积盐, 在治理酸化时须避免引入更多的盐分, 以防加重盐害。

**关键词** 酸化; 次生盐渍化; 设施土壤; pH; 盐基饱和度

**中图分类号** S151.9; S153.4

**文献标识码** A

在露天环境中, 无论是自然酸化, 还是人为因素导致的酸化, 酸化过程中均伴随有交换性酸增加, 盐基饱和度下降等现象。出现这些特征的主要原因是盐基离子的大量淋失以及氢离子的不断生成或大量输入<sup>[1-5]</sup>。而在设施栽培过程中, 过量施用氮肥及生理酸性肥料等原因使土壤表现出快速酸化的趋势<sup>[6-8]</sup>, 且伴随有大量过剩肥料的累积<sup>[9-11]</sup>, 由于土壤被设施覆盖, 缺少雨水淋洗, 如果土壤地下水位较高, 所需灌溉水少, 则灌溉水不足以将土壤中累积的可溶性盐淋洗出耕作层; 而设施内强烈的蒸发和蒸腾作用, 却可将地下水中的矿质成分带到耕作层, 使土壤发生次生盐渍化<sup>[12]</sup>。因此地下水位较高地区设施土壤的酸化是一种积盐酸化, 不存在盐基离子的大量淋失过程, 在土壤酸度特征方面可能会与露地酸化存在差异。在进行土壤酸害评估时, 若直接套用露地酸害评判标准, 可能会对制订合理的风险应对措施产生不利影响。因此, 本研究以红壤为自然酸化土壤的典型并用其作为参照, 以设施栽培中常见三种土壤(潮土、褐土

和水稻土)为研究对象, 人为制备不同pH梯度的土壤, 观察洗盐前后土壤酸度特征的变化, 探求盐基离子除去与否对土壤酸化过程及酸度特征的影响, 找出积盐酸化与露地酸化过程的差异。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试土壤

本研究以江西余江的第四纪红壤、安徽和县县的潮土、山东寿光的褐土、江苏太仓的水稻土为研究对象。采样地区均为当地典型的设施蔬菜栽培区, 所取土壤则为该区域内设施附近的露地土壤, 按“梅花五点法”选点, 取0~20 cm土壤, 混匀。样品采回后经除杂、风干, 过1 mm筛保存。供试土壤部分理化性质(饱和持水量、酸碱缓冲容量、阳离子交换量(CEC)、钙饱和度(Ca-SP)、交换性酸含量(EA)、电导率(EC)、pH(H<sub>2</sub>O)、pH(CaCl<sub>2</sub>))参见文献[13], 其他基本性质见表1。

\* 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B04)、国家自然科学基金项目(41401257)和江苏省自然科学基金项目(BK20141054)共同资助

† 通讯作者, E-mail: zqduan@issas.ac.cn

作者简介: 王媛华(1986—), 女, 湖北荆州人, 博士研究生, 主要从事温室土壤的酸化与次生盐渍化研究。E-mail: ahwang@issas.ac.cn

收稿日期: 2014-04-01; 收到修改稿日期: 2014-09-02

表 1 供试土壤的基本性质  
Table 1 Basic properties of the test soils

土壤类型 Soil type	BSP (%)	A-Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ac-Fe (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ac-Al (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ac-Mn (cmol kg <sup>-1</sup> )
红壤 Red soil	12.19	0.43	73.33	124.0	1.00
潮土 Fluvo-aquic soil	100	11.70	51.93	43.27	5.25
褐土 Cinnamon soil	100	8.75	27.49	39.07	6.10
水稻土 Paddy soil	100	16.90	60.41	31.05	6.95

注: BSP, 盐基饱和度; A-Ca, 有效钙; Ac-Fe, 活性铁; Ac-Al, 活性铝; Ac-Mn, 活性锰 Note: BSP, base saturation percentage; A-Ca, available calcium; Ac-Fe, active iron; Ac-Al, active aluminum; Ac-Mn, active manganese

## 1.2 试验设计

根据土壤的酸碱缓冲容量调节加入的氢氧化钙或硝酸量,以制备不同 pH 梯度的土壤,酸碱添加量见表 2。具体操作:首先用滴管向土壤中均匀加入一定量的碱或酸溶液,补充水分到 60% WHC,混匀,装盆,置于 25 °C 恒温培养室内培养。花盆表面用黑色塑料薄膜覆盖,以制造黑暗条件并减少水分散失。每个 pH 梯度设 3 个重复。培养 15 d 后,每隔 2 d 取样,测定 pH(H<sub>2</sub>O),观察 pH(H<sub>2</sub>O)是否达

到稳定。待 pH(H<sub>2</sub>O) 稳定后,每个处理每重复取 400 g 土样,均分成两份,一份风干磨细过 1 mm 筛,此为积盐土壤;另一份置于 1 L 的塑料烧杯中,加去离子水至 1 L 刻度线,搅拌 1 min,静置,测定上清液的 EC,倾去上清液,再重复这一过程直至上清液 EC 约为各自原始土壤 EC(即未做任何处理的土壤)的 2 倍为止,然后倾去上清液,将土壤风干,过 1 mm 筛,此为洗盐土壤。

表 2 各处理 OH<sup>-</sup> 或 H<sup>+</sup> 添加量  
Table 2 OH<sup>-</sup> or H<sup>+</sup> amendment rate in each treatment

土壤类型 Soil type	OH <sup>-</sup> 或 H <sup>+</sup> 添加量 OH <sup>-</sup> or H <sup>+</sup> added (mmol kg <sup>-1</sup> )			
	pH1 ≈ 6.5	pH2 ≈ 5.5	pH3 ≈ 4.5	pH4 ≈ 3.5
红壤 Red soil	-286.0	-171.6	-57.2	57.2
潮土 Fluvo-aquic soil	57.2	171.6	228.8	343.2
褐土 Cinnamon soil	28.6	57.2	114.4	171.6
水稻土 Paddy soil	57.2	343.2	629.2	858.0

注: OH<sup>-</sup> 的加入量用负值表示 Note: OH<sup>-</sup> amendment rate is expressed as negative value

## 1.3 分析方法

pH 用 PHS-3C 型酸度计测定,液土比为 5:1。EC 用 DDS-11A 型电导仪测定,液土比为 5:1。Ac-Fe、Ac-Al、Ac-Mn 均采用常规方法测定<sup>[14]</sup>;由于土壤中含有大量可溶性盐,为得到相对准确的交换性盐基离子组成,先用 50 °C 的 50% 酒精溶液反复淋洗以除去可溶性盐<sup>[14]</sup>,再用 EDTA-醋酸铵法浸提上 ICP 测定 K、Na、Ca、Mg;EA 用 1 mol L<sup>-1</sup> KCl 淋洗法测定<sup>[14]</sup>;CEC 为交换性盐基离子与交换性酸的总和<sup>[14]</sup>。A-Ca 含量采用 EDTA-醋酸铵法<sup>[14]</sup>直接浸提风干土,滤液上 ICP 测定钙,是交换性钙和可溶性钙的总和。BSP 是交换性盐基离子总和占 CEC 的百分比。

## 1.4 数据处理

数据采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析,多重比较用 Duncan 法( $p < 0.05$ )。由于表中数据量较大,文中未将标准差列出。

## 2 结果

### 2.1 洗盐对各指标的影响

积盐处理数据表明,在酸化或碱化的过程中,如果不去除生成的盐,会发生积盐现象,使 EC 增加 2.01 倍 ~ 58.67 倍,增加程度与酸或碱加入量成正比。通过洗盐,将各 pH 梯度土壤 EC 调节至与原始土壤 EC 近似这一过程,可使土壤中 EC 降低 54.29% ~ 98.10%,且降低幅度总体随酸或碱加入

量增加而增加;pH( $H_2O$ )和 pH( $CaCl_2$ )分别相对于洗盐前增高了 0.83%~27.16%和 0.34%~15.06%,且增加幅度随 pH 的降低而增加;EA 含量相对于洗盐前减少了 11.54%~100%,且降低幅度随 pH 的降低而减少;A-Ca 含量相对于洗盐前减少了 13.95%~88.79%,且降低幅度总体随 pH 的降低而增大;Ac-Al 含量相对于洗盐前变化无规律,变化幅度为 -27.24%~14.62%;Ac-Fe 含量相对于洗盐前增加了 0.56%~14.25%;Ac-Mn 含量相对于洗盐前增加了 2.78%~88.83%,但红壤在 pH( $H_2O$ )大于 4.38 时,洗盐使 Ac-Mn 含量增加了 2.78%~88.83%;CEC 相对于洗盐前降低了 3.12%~34.61%;BSP 相对于洗盐前增加了 0.28%~92.33%,且增加幅度总体随 pH 的降低而增高,红壤在 pH( $H_2O$ )大于 4.38 时,洗盐使 BSP 降低了 0.37%~1.14%。

## 2.2 积盐与洗盐处理间的异同

相同点:随着 pH 的降低,EA、Ac-Al 和 Ac-Fe 含量显著增高,而 Ac-Mn 含量、CEC 总体显著下降。在出现一定量 EA 以后,BSP 开始下降。

不同点:随着 pH 降低,积盐处理 A-Ca 含量和 EC 增加显著;洗盐处理 A-Ca 含量则显著降低,EC 始终小于  $200 \mu S cm^{-1}$ 。

## 2.3 红壤与潮土、褐土及水稻土的区别

红壤 EA 出现的 pH 临界值较高,在 pH( $H_2O$ )为 6.76(pH( $CaCl_2$ )=6.43)时仍能检测出 EA;而在潮土、褐土和水稻土上,pH( $H_2O$ )要分别小于 5.87、6.46、6.02(pH( $CaCl_2$ )分别小于 5.81、6.13 和 6.12)时才可检测出 EA。红壤中任意 pH 下的 Ac-Al 含量显著高于其他三种土壤;而 Ac-Mn 含量总体显著低于其他三种土壤。积盐处理红壤的 A-Ca 含量随着  $Ca(OH)_2$  添加量增多而增多,加硝酸对 A-Ca 含量无影响(表 1,表 3);而在其余三种土壤上,积盐处理 A-Ca 含量均随着硝酸添加量增多而逐渐增加。洗盐对红壤各指标的影响程度相对其他三种土壤较弱。

## 3 讨 论

本研究中,用洗盐的方式来模拟自然界淋洗条件下盐基离子淋出土体的过程,而不洗盐的处理(积盐)用来模拟设施内酸化与次生盐渍化伴生的过程。四种土壤的数据表明在酸化或碱化的过程中,如果不将可溶性盐去除,则会使土壤的 EC 增大

几倍到几十倍,说明无论碱化与酸化过程,均可与次生盐渍化现象伴生。在本研究中,由于未考虑作物吸收养分离对土壤盐分积累和土壤酸度的影响,也未考虑土壤矿物溶解对快速酸化与慢速酸化的响应差异,观察到的酸化和次生盐渍化程度较田间实际有所夸大,但酸化与次生盐渍化伴生这一现象是真实存在的。因为向土壤中引入酸时,引入的  $H^+$  会与碳酸盐、土壤胶体反应释放出其他的阳离子,一般以钙为主,占 80% 以上<sup>[1]</sup>(表 3),其次是镁,在极度酸化的情况下,还有大量铝的释放<sup>[1]</sup>(表 3),同时,酸根离子残留在土壤中,使土壤中盐分含量增高,EC 增大(表 3)。在无淋洗或淋洗强度弱、植物吸收能力不够强,蒸发和蒸腾作用又较强的情况下,可溶性盐分会积累在耕层土壤中<sup>[12]</sup>,从而观察酸化与次生盐渍化伴生的现象。因此,在地下水位较浅的设施土壤剖面上,可以观察到 EC 随土壤深度加深而明显降低,而 pH 逐渐增大、交换性酸含量逐渐降低的现象。而在相邻露地上,虽然也能观察到 pH 随土壤深度加深而增大的现象,但变化幅度较设施土壤小,且整个剖面 EC 差异较小<sup>[9]</sup>。这主要是因为长期的农业生产中,作物吸收盐基离子不返还、酸雨、过量氮肥施用等因素也会使土壤发生缓慢的酸化<sup>[6]</sup>,但在强淋溶作用下,释放到土壤溶液中的钙、镁、铝离子随水向下迁移,淋洗出土体,使整个剖面 EC 均一化,维持在一个较低的水平<sup>[1,3,5]</sup>。

交换性酸及活性铝可以随水流失(表 3),表明在淋洗条件下交换性酸及活性铝会随水向下迁移,使上层土壤酸化程度减弱,下层土壤酸化加强,但剖面 pH 整体下降较慢;而在积盐条件下酸化效应主要集中在表层,耕层土壤酸化速率会因此加快,酸害更为严重,但下层土壤的酸化较弱。在实际生产中,设施栽培条件下引入酸的速率均高于露地条件下<sup>[6,15-18]</sup>,因此在一二年内也可观察到设施土壤剖面快速酸化的现象<sup>[7,9]</sup>。

对于露地酸化土壤,无论是人为因素导致的酸化还是自然酸化,强淋溶是必要条件之一,酸化过程均伴随着盐基离子的大量淋失、盐基饱和度下降,氢饱和度增加,铝活性增强等现象<sup>[1,3,5]</sup>。而对于积盐酸化土壤,由于生成的可溶性盐部分积累在土壤中,所以土壤溶液中仍存在大量的阴、阳离子,可能会对酸化过程中盐基饱和度的变化产生影响。本研究结果表明,积盐条件下,交换性酸也易累积,洗盐后,交换性酸损失率可达 11.54%~100%,且损

表 3 各处理洗盐前后各指标的变化

Table 3 Variations of the ten indices of treatments as affected by leaching

土壤类型 Soil type	处理 ⑤	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )		pH( $\text{H}_2\text{O}$ )		pH( $\text{CaCl}_2$ )		EA ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )		CEC ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	
		积盐⑥	洗盐⑦	积盐	洗盐	积盐	洗盐	积盐	洗盐	积盐	洗盐
红壤①	pH1	586d	98b*	6.64d	6.76d*	6.43d	6.35d*	0.07a	0.09a	11.29d	9.53c*
	pH2	367b	124d*	5.43c	5.53c*	5.18c	5.20c	0.15a	0.20a	7.78b	6.54a*
	pH3	178a	81a*	4.38b	4.48b*	3.98b	4.03b	3.90b	3.45b*	7.06a	6.26a*
	pH4	468c	112c*	3.64a	3.96a*	3.56a	3.66a*	7.56c	6.13c*	8.02c	6.90b*
潮土②	pH1	1 272a	161c*	7.09d	7.24d*	6.82d	6.98d*	0.00a	0.00a	23.24d	22.09d*
	pH2	2 706b	139b*	5.87c	6.64c*	5.81c	6.27c*	0.03a	0.00a	20.18c	19.55c
	pH3	3 307c	123a*	4.70b	5.65b*	4.73b	5.22b*	0.48b	0.14a*	16.85b	15.80b*
	pH4	4 374d	124a*	3.34a	4.18a*	3.33a	3.83a*	7.48c	4.79b*	15.90a	13.09a*
褐土③	pH1	561a	87b*	6.46d	6.52d	6.13d	6.17d	0.05a	0.00a*	17.73c	14.82c*
	pH2	1 101b	73a*	5.50c	5.95c*	5.33c	5.50c*	0.13a	0.04a*	13.88b	13.12b*
	pH3	1 779c	72a*	4.23b	4.85b*	4.11b	4.30b*	1.14b	0.68b*	12.42a	11.76a*
	pH4	2 546d	93c*	3.59a	4.27a*	3.53a	3.77a*	4.44c	3.20c**	13.51a	11.99a*
水稻土④	pH1	1 127a	128b*	7.07d	7.30d*	6.88d	6.95d	0.00a	0.00a	32.43d	28.60d*
	pH2	3 965b	149c*	6.02c	6.81c*	6.12c	6.44c*	0.10a	0.00a	22.74c	19.06c*
	pH3	5 498c	109a*	4.65b	5.88b*	4.80b	5.32b*	0.43b	0.13b*	13.45a	12.65b*
	pH4	6 591d	125b*	3.12a	3.97a*	3.24a	3.55a*	9.38c	4.06c*	15.67b	10.25a*

土壤类型 Soil type	处理	BSP (%)		A-Ca ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )		Ac-Al ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )		Ac-Fe ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )		Ac-Mn ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	
		积盐	洗盐	积盐	洗盐	积盐	洗盐	积盐	洗盐	积盐	洗盐
红壤	pH1	99.41d	99.04d	6.73d	5.01d*	113.6a	115.6a	74.65a	79.04a*	0.94a	1.00ab
	pH2	98.07c	96.95c*	4.24c	3.45c*	120.7a	118.0b	72.92a	81.42ab*	1.00a	1.00ab
	pH3	44.74b	44.91b	1.64b	1.31b*	126.4a	122.5c	75.60a	83.57bc*	1.24b	1.06b*
	pH4	5.74a	11.04a*	0.43a	0.37a	126.5a	126.0d	74.35a	84.95c*	1.09ab	0.94a*
潮土	pH1	100c	100b	12.50a	10.20d*	41.48a	43.89a*	49.55a	53.99a*	5.22b	5.34c
	pH2	99.85c	100b	14.00c	8.65c*	43.15b	46.73b*	49.64a	55.75b*	5.46c	5.31c
	pH3	97.15b	99.11b*	14.37d	6.62b*	45.43c	46.23b	51.67a	55.43b*	4.64a	3.79b*
	pH4	52.96a	63.37a*	13.53b	3.74a*	69.38d	61.79c*	65.13b	71.66c*	4.64a	1.73a*
褐土	pH1	99.72c	100c	8.66a	7.35d*	37.96a	34.57a*	25.79a	25.52a	5.82c	5.04d*
	pH2	99.06c	99.68c	8.80a	6.35c*	37.16a	37.35a	26.71b	26.86ab	5.89c	4.73c*
	pH3	90.82b	94.19b*	8.69a	5.04b*	40.80b	40.62b	25.70a	27.49bc*	4.67a	3.64b*
	pH4	67.14a	73.32a*	9.10b	3.64a*	47.90c	46.30c	26.95b	28.86c*	4.88b	2.70a*
水稻土	pH1	100c	100b	17.13a	14.60d*	31.23a	35.80a*	58.89a	64.23a*	6.92c	6.58c
	pH2	99.56c	100b	20.43b	9.43c*	33.89b	36.54a*	59.93a	65.69a*	6.76c	6.55c
	pH3	96.80b	98.95b*	24.67c	6.39b*	39.38c	39.44b	65.60b	71.25b*	5.98b	3.12b*
	pH4	40.14a	60.19a*	26.57d	3.00a*	60.06d	43.70c*	79.39c	84.56c*	5.70a	0.64a*

注: EC, 电导率; pH( $\text{H}_2\text{O}$ ), 水浸提测定的 pH; pH( $\text{CaCl}_2$ ), 0.01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> 浸提测定的 pH; EA, 交换性酸; CEC, 阳离子交换量; BSP, 盐基饱和度; A-Ca, 有效钙; Ac-Fe, 活性铁; Ac-Al, 活性铝; Ac-Mn, 活性锰。同一列中不同的字母表示不同 pH 梯度土壤之间达到新复极差测验 5% 显著水平, \* 表示该指标在洗盐前后的差异达到新复极差测验 5% 显著水平 Note: EC, electric conductivity; pH( $\text{H}_2\text{O}$ ), soil pH determined in soil-water suspension; pH( $\text{CaCl}_2$ ), soil pH determined in 0.01 mol L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> suspension; EA, exchangeable acid; CEC, cation exchange capacity; BSP, base saturation percentage; A-Ca, available calcium; Ac-Fe, active iron; Ac-Al, active aluminium; Ac-Mn, active manganese. Different letters within the same column indicate significant difference between soils different in pH according to Duncan's new multiple range test,  $p < 0.05$ . The asterisk (\*) indicates significant difference in a certain index between soils with and without leaching according to Duncan's new multiple range test,  $p < 0.05$ .

① Red soil; ② Fluvo-aquic soil; ③ Cinnamon soil; ④ Paddy soil; ⑤ Treatment; ⑥ With salt; ⑦ No salt

失率随着 pH 降低而降低,导致洗盐后盐基饱和度相比洗盐前增加了 0.28%~92.33%,且增加幅度随 pH 降低而增高。说明在酸盐共生时,盐的存在对盐基饱和度的影响较小,而交换性酸的积累使积盐条件下的盐基饱和度更低。在田间状况下,相邻露地的盐基饱和度应高于设施内积盐酸化土壤,而交换性酸量应绝对低于设施内积盐酸化土壤,范庆锋等<sup>[7]</sup>和李廷轩等<sup>[9]</sup>的调查数据均支持上述观点。无论土壤是否积盐,随着土壤 pH 的降低,交换性酸含量和活性铝含量逐渐增加,盐基饱和度在交换性酸出现以后均随着 pH 的降低而逐渐减小,说明积盐酸化与露地酸化在本质上并无大的差异。

综上所述,积盐酸化虽然不存在盐基离子的大量淋失,但酸化的本质仍是交换性酸的增加,盐基饱和度的下降,与露地酸化本质上无大的差异。但在积盐条件下,pH 下降幅度更大,酸化速率更快。在交换性酸量还不足以对作物生长造成威胁时,应多关注盐的危害;而对于已发生酸害的土壤,在治理酸害时要尽量采用盐基离子引入量少的方法,以免加重盐害。而在露地条件下,施用含有大量盐基离子的酸缓冲物质不仅可以有效缓解酸害<sup>[19]</sup>,还可以补充作物生长所需的养分。

## 4 结 论

随着 pH 的降低,积盐处理与洗盐处理 EA、Ac-Fe、Ac-Al 均显著增高;Ac-Mn、CEC 均显著下降;BSP 在 EA 出现以后,随 pH 降低而显著降低,表明积盐酸化与露地酸化在本质上相同。酸化与积盐现象可以伴生,因此在积盐酸化土壤上,除了要关注酸害还要关注盐的毒害。

## 参 考 文 献

- [1] 于天仁,陈志诚. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990: 96—132. Yu T R, Chen Z C. Chemical processes in soil genesis (In Chinese). Beijing: Science Press, 1990: 96—132
- [2] 王代长,蒋新,卞永荣,等. 酸沉降下加速土壤酸化的影响因素. 土壤与环境, 2002, 11(2): 152—157. Wang D Z, Jiang X, Bian Y R, et al. The factors of influence accelerating soil acidification under acidic deposition (In Chinese). Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(2): 152—157
- [3] 梁骏,郑有飞,李璐,等. 模拟酸雨对油菜大田土壤酸化及 K、Na、Ca、Mg 溶出的影响. 环境科学研究, 2008, 21(2): 56—62. Liang J, Zhang Y F, Li L, et al. Effect of simulated acid rain on acidification and dissolution of potassium, sodium, calcium and magnesium in the rape plantation soil (In Chinese). Research of Environmental Sciences, 2008, 21(2): 56—62
- [4] 张俊平,张新明,曾纯军,等. 酸雨对生态系统酸化影响的研究. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 245—249. Zhang J P, Zhang X M, Zeng C J, et al. Studying advances of effects of acid rain on acidifying of ecosystem (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(Suppl): 245—249
- [5] 袁颖红,樊后保,李燕燕,等. 模拟氮沉降对土壤酸化和土壤盐基离子含量的影响. 应用与环境生物学报, 2011, 17(4): 461—466. Yuan Y H, Fan H B, Li Y Y, et al. Effects of simulated N deposition on soil acidification and content of base cations (In Chinese). Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2011, 17(4): 461—466
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327: 1008—1010
- [7] 范庆锋,张玉龙,陈重,等. 保护地土壤酸度特征及酸化机制研究. 土壤学报, 2009, 46(3): 466—471. Fan Q F, Zhang Y L, Chen Z, et al. Acidity characteristics and acidification mechanism of soils in protected fields (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(3): 466—471
- [8] 范庆锋,张玉龙,陈重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 值的影响. 水土保持学报, 2009, 23(1): 103—106. Fan Q F, Zhang Y L, Chen Z. Effects of protected field vegetable cultivation on soil salinity accumulating and pH (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(1): 103—106
- [9] 李廷轩,张锡洲,等. 设施栽培条件下土壤质量演变及调控. 北京: 科学出版社, 2011: 38—49. Li T X, Zhang X Z, et al. Evolution and regulation of soil quality under greenhouse conditions (In Chinese). Beijing: Science Press, 2011: 38—49
- [10] 黄绍文,王玉军,金继运,等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性及肥力状况. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 906—918. Huang S W, Wang Y J, Jin J Y, et al. Status of salinity, pH and nutrients in soils in main vegetable production regions in China (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(4): 906—918
- [11] 李爽,张玉龙,范庆锋,等. 不同灌溉方式对保护地土壤酸化特征的影响. 土壤学报, 2012, 49(5): 909—915. Li S, Zhang Y L, Fan Q F, et al. Effect of irrigation mode on soil acidification in protected field (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(5): 909—915
- [12] Sonneveld C, Voogt W. Plant nutrition of greenhouse crops. New York: Springer Science + Business Media, 2009: 6—8
- [13] 王媛华,段增强,董金龙,等. 可溶性盐对土壤 pH 测定的影响及消除初探. 土壤学报, 2014, 51(6): 1298—1308. Wang A H, Duan Z Q, Dong J L, et al. Effect of soluble salts on determination of soil pH and its elimination (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(6): 1298—1308
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 142—195. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analysis of physical and chemical properties of soil (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and

- Technology Press, 1978; 142—195
- [15] Vitousek P M, Naylor R, Crews T, et al. Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 2009, 324: 1519—1520
- [16] Shi W M, Yao J, Yan F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 83: 73—84
- [17] Qiu S J, Ju X T, Ingwersen J, et al. Changes in soil carbon and nitrogen pools after shifting from conventional cereal to greenhouse vegetable production. *Soil & Tillage Research*, 2010, 107: 80—87
- [18] Shen W S, Lin X G, Shi W M, et al. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land. *Plant Soil*, 2010, 337: 137—150
- [19] 孟红旗, 吕家珑, 徐明岗, 等. 有机肥的碱度及其减缓土壤酸化的机制. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(5): 1153—1160. Meng H Q, Lü J L, Xu M G, et al. Alkalinity of organic manure and its mechanism for mitigating soil acidification (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(5): 1153—1160

## SPECITICITY OF SOIL ACIDIFICATION AFFECTED BY SALT ACCUMULATION

Wang Aihua<sup>1,2</sup> Duan Zengqiang<sup>1\*</sup> Zhao Yu<sup>1</sup> Dong Jinlong<sup>1,2</sup> Tang Ying<sup>1,2</sup> Li Xun<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

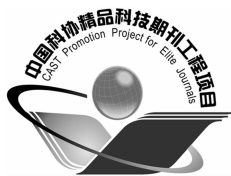
(2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract** To explore differences between soil in open-field without salt accumulation and soil in greenhouse with salt accumulation in acidification, simulation of soil acidification and salt leaching was conducted of the soils for analysis of changes in soil acidity caused by salt leaching. Results showed that salt leaching lowered electric conductivity (EC), available Ca (A-Ca), exchangeable acid (EA), effective cation exchange capacity (CEC) and active manganese (Ac-Mn) significantly, had little effect on or increased active aluminium (Ac-Al) and iron (Ac-Fe), base saturation percentage (BSP) and pH significantly. The EA, Ac-Al and Ac-Fe increased significantly, while the Ac-Mn and CEC decreased significantly with a decrease in pH of soil with and without salt accumulation. Moreover, when a certain amount of EA appeared, BSP declined significantly with lowering pH. All these indicated that acidifications in the two soils are the same in nature, but when an equal amount of acid was added into the two soil, acidification of the plow layer of the soil with salt accumulated in greenhouse was accelerated, bringing about more severe acid damage and making the soil liable to have salt accumulation. It is, therefore, suggested that in managing soil acidification in greenhouses, it is essential to avoid introduction of more salt so as to prevent aggravation of salt damage.

**Key words** Acidification; Secondary salinization; Greenhouse soil; pH; Base saturation percentage

(责任编辑:陈德明)





# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

## 目 次

### 综述与评论

农业土壤学研究:侯光炯学术思想形成之考察——纪念侯光炯先生诞辰 110 周年..... 申丽娟 丁恩俊 陈绍兰等(1)

土壤多样性研究趋势与未来挑战 ..... 任圆圆 张学雷(9)

土壤磷酸盐氧同位素分析方法和应用研究进展 ..... 张 晗 王佳妮 郭庆军等(19)

### 研究论文

土壤制图中多等级代表性采样与分层随机采样的对比研究 ..... 杨 琳 朱阿兴 张淑杰等(28)

河南省典型淋溶土土系划分研究 ..... 鞠 兵 吴克宁 李 玲等(38)

黄土坡面细沟侵蚀发育过程与模拟 ..... 吴淑芳 刘政鸿 霍云云等(48)

黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征 ..... 高晓东 吴普特 张宝庆等(57)

科尔沁沙丘-草甸相间地区表土饱和和导水率的土壤传递函数研究 ..... 孙 丽 刘廷玺 段利民等(68)

砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响 ..... 张 磊 齐瑞鹏 张应龙等(77)

稳定同位素 <sup>202</sup>Hg 稀释技术测定土壤汞有效性——与化学提取方法比较..... 郑顺安 徐志宇 王 飞等(87)

土壤提取液中酰基高丝氨酸内酯的气相色谱-质谱检测方法优化 ..... 生弘杰 宋 洋 卞永荣等(95)

复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究 ..... 陈励科 马婷婷 潘 霞等(104)

污染区千金子和酢浆草根际土壤中 PAHs 结合态残留的梯度分布 ..... 王意泽 高彦征 彭安萍等(112)

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响 ..... 章明清 李 娟 孔庆波(120)

湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究 ..... 谭德水 江丽华 谭淑樱等(128)

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的静态迁移研究 ..... 徐 进 徐力刚 丁克强等(138)

菇菜套作对土壤微生物群落的影响 ..... 陈 敏 王军涛 冯有智等(145)

黄土高原油松根际土壤酶活性及真菌群落多样性研究——以黄龙山林场为例 ..... 褚洪龙 李 莎 唐 明(154)

硅介导番茄青枯病抗性的土壤定量蛋白质组学研究 ..... 陈玉婷 林威鹏 范雪滢等(162)

有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响 ..... 许小伟 樊剑波 陈 晏等(174)

氮素富集对青藏高原高寒草甸土壤有机碳迁移和累积过程的影响 ..... 李林森 程淑兰 方华军等(183)

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究 ..... 何翠翠 王立刚 王迎春等(194)

火烧和保留采伐剩余物对土壤有机碳矿化的影响 ..... 吴君君 杨智杰 刘小飞等(203)

### 研究简报

碳氮稳定同位素检测能力的验证——2013 年实验室间比对分析结果的汇总 ..... 曹亚澄 韩 勇 唐昊冶等(212)

土壤厚度的划分标准与案例研究 ..... 易 晨 李德成 张甘霖等(220)

积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究 ..... 王媛华 段增强 赵 宇等(228)

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究 ..... 张 智 王伟妮 李 昆等(234)

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响 ..... 李宗超 胡 霞(242)

### 信息

《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓 ..... (241)

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

Agricultural soil science research: Formation of Hou Kuangchun's academic thought—Celebrate 110th anniversary of Mr Hou Kuangchun's birth ..... Shen Lijuan, Ding Enjun, Chen Shaolan, et al. (8)

Study on pedodiversity: Status quo and future challenges ..... Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei (17)

Advance in study on method for oxygen isotopic analysis of phosphate in soil and its application ..... Zhang Han, Wang Jiani, Guo Qingjun, et al. (26)

**Research Articles**

A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping ..... Yang Lin, Zhu A-xing, Zhang Shujie, et al. (37)

Classification of Typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy ..... Ju Bing, Wu Kening, Li Ling, et al. (47)

Development of rill erosion on loess slope and its simulation ..... Wu Shufang, Liu Zhenghong, Huo Yunyun, et al. (55)

Spatial variability of available soil moisture and its seasonality in a small watershed in the hilly region of the Loess Plateau ..... Gao Xiaodong, Wu Pute, Zhang Baoqing, et al. (66)

Prediction of saturated hydraulic conductivity of surface soil in sand-dune-and-meadow interlaced region of Horqin with pedo-transfer functions method ..... Sun Li, Liu Tingxi, Duan Limin, et al. (75)

Effects of amendment of aeolian sandy soil and loess with soft sandstone on soil water retention curve and evaporation ..... Zhang Lei, Qi Ruipeng, Zhang Yinglong, et al. (85)

Comparison between stable isotope <sup>202</sup>Hg dilution technique and chemical extraction in determining Hg availability in two typical soils of China ..... Zheng Shunan, Xu Zhiyu, Wang Fei, et al. (94)

Optimization of determination of N-acyl-homoserine lactones in soil solution with Gas-Chromatography-Mass Spectrometry ..... Sheng Hongjie, Song Yang, Bian Yongrong, et al. (102)

Sorption behavior of oxytetracycline in complex contaminated soil and its effects on desorption of heavy metals in the soil ..... Chen Like, Ma Tingting, Pan Xia, et al. (111)

Gradient distribution of bound-PAH residues in different layers of rhizosphere soils of moleplant and wood sorrel growing in polluted regions ..... Wang Yize, Gao Yanzheng, Peng Anping, et al. (118)

Soil P desorption characteristics and their effects on total P concentration in percolating water in fields under vegetable-rice rotation system ..... Zhang Mingqing, Li Juan, Kong Qingbo (127)

Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake region ..... Tan Deshui, Jiang Lihua, Tan Shuying, et al. (137)

Static transfer of phosphorus in the soil-water-plant system of beach wetlands in Poyang Lake ..... Xu Jin, Xu Ligang, Ding Keqiang, et al. (144)

Changes in soil microbial community in response to tomato-*Agaricus bisporus* interplanting ..... Chen Min, Wang Juntao, Feng Youzhi, et al. (152)

Soil enzyme activity and fungal community diversity in rhizosphere of *Pinus tabulaeformis* Carr. growing on Loess Plateau— A case study of Huanglongshan forest farm ..... Chu Honglong, Li Sha, Tang Ming (161)

Soil quantitative proteomic analysis of silicon-mediated resistance of tomato (*Solanum lycopersicum*) to *Ralstonia solanacearum* ..... Chen Yuting, Lin Weipeng, Fan Xueying, et al. (172)

Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China ..... Xu Xiaowei, Fan Jianbo, Chen Yan, et al. (181)

Effects of nitrogen enrichment on transfer and accumulation of soil organic carbon in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau ..... Li Linsen, Cheng Shulan, Fang Huajun, et al. (192)

Effect of long-term fertilization on labile organic matter in and carbon pool management index of black soil ..... He Cuicui, Wang Ligang, Wang Yingchun, et al. (202)

Effect of prescribed burning and reservation of logging residues on soil organic carbon mineralization ..... Wu Junjun, Yang Zhijie, Liu Xiaofei, et al. (210)

**Research Notes**

Testing of proficiency for measurement of carbon and nitrogen stable isotopes ..... Cao Yacheng, Han Yong, Tang Haoye, et al. (218)

Criteria for partition of soil thickness and case studies ..... Yi Chen, Li Decheng, Zhang Ganlin, et al. (227)

Specificity of soil acidification affected by salt accumulation ..... Wang Aihua, Duan Zengqiang, Zhao Yu, et al. (233)

Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan Province ..... Zhang Zhi, Wang Weini, Li Kun, et al. (240)

Effects of shrub (*Caragana microphylla* Lam) encroachment on soil porosity of degraded sandy grassland ..... Li Zongchao, Hu Xia (248)

**Cover Picture:** Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)