

近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化*

郭治兴^{1**} 王 静² 柴 敏¹ 陈泽鹏³ 詹振寿¹ 郑武平⁴ 魏秀国⁵

(¹ 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650; ² 广东省科学技术职业学校, 广州 510650; ³ 广东省烟草公司, 广州 510610;

⁴ 广东烟草梅州市有限公司, 广东梅州 514011; ⁵ 广东省商学院, 广州 510320)

摘 要 基于广东省第二次土壤普查(20 世纪 80 年代)以及 2002—2007 年广东省土壤 pH 数据,对期间土壤 pH 的时空变化进行了研究.结果表明:研究期间,广东省土壤 pH 空间分布格局基本一致;除珠江三角洲和清远、韶关部分地区土壤为弱碱性外,其他地区土壤以酸性为主;土壤 pH 变化整体表现为酸化,土壤 pH 平均值由 5.70 降至 5.44.除潮土 pH 变化以增大为主外,其他土壤类型的 pH 均呈降低趋势,以赤红壤、水稻土和红壤 pH 的降幅尤为严重,石灰土 pH 值的降低趋势和降低面积比例均最明显.广东省土壤酸化主要受土壤本身特性和酸雨等自然因素以及不合理施肥和城市化等人为因素的影响;另外,由于工业化和矿山开发,还导致局部地区土壤 pH 值有所上升.

关键词 土壤 pH 时空变化 广东省

文章编号 1001-9332(2011)02-0425-06 **中图分类号** S153.4 **文献标识码** A

Spatiotemporal variation of soil pH in Guangdong Province of China in past 30 years. GUO Zhi-xing¹, WANG Jing², CHAI Min¹, CHEN Ze-peng³, ZHAN Zhen-shou¹, ZHENG Wu-ping⁴, WEI Xiu-guo⁵ (¹Guangdong Institute of Eco-environmental and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China; ²Guangdong Vocational School of Science and Technology, Guangzhou 510650, China; ³Guangdong Tobacco Company, Guangzhou 510610, China; ⁴Meizhou Branch of Guangdong Tobacco Company, Meizhou 514011, Guangdong, China; ⁵Guangdong University of Business Studies, Guangzhou 510320, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(2): 425-430.

Abstract: Based on the 1980s' soil inventory data and the 2002-2007 soil pH data of Guangdong Province, the spatiotemporal variation of soil pH in the Province in past 30 years was studied. In the study period, the spatial distribution pattern of soil pH in the Province had less change (mainly acidic), except that in Pearl River Delta and parts of Qingyuan and Shaoguan (weak alkaline). The overall variation of soil pH was represented as acidification, with the average pH value changed from 5.70 to 5.44. Among the soil types in the Province, alluvial soil had an increased pH, lateritic red soil, paddy soil, and red soil had a large decrement of pH value, and lime soil was most obvious in the decrease of pH value and its area percentage. The soil acidification was mainly induced by soil characteristics, some natural factors such as acid rain, and human factors such as unreasonable fertilization and urbanization. In addition, industrialization and mining increased the soil pH in some areas.

Key words: soil pH; spatiotemporal variation; Guangdong Province.

新中国成立以来,特别是改革开放的近 30 年来,随着快速发展的工业化、城市化、农业集约化以及社会经济的不断发展,人口、资源、环境与发展之间的矛盾日益突出,土壤资源的数量逐渐减少,质量

不断退化,出现了土壤侵蚀、土壤酸化、盐碱化等土壤生态环境问题,这些均对我国粮食安全及人体健康带来了不良影响^[1-3].目前,土壤环境质量变化已成为土壤学及环境科学的研究热点和战略需要^[4],土壤酸化是土壤质量退化的一个重要指标,也是严重的世界性生态环境问题之一,土壤酸化在我国南方已相当严重^[5].

土壤酸碱性是土壤许多化学性质的综合反映,

* 国家自然科学基金资助项目(40601092)、广东省科技计划项目(2008A060204003)、广东省关键领域重点突破项目(2007A020905001)和广东省烟草专卖局 2009 年科技开发项目资助。

** 通讯作者. E-mail: zxguo@163.com

2010-07-14 收稿,2010-11-18 接受.

自然状态下的土壤酸碱性主要受成土因子控制,其酸碱变化的过程十分缓慢,pH每变化一个单位往往需要非常漫长的时间^[6].广东省特别是珠江三角洲地区是我国高强度经济发展地区之一,快速的城市化过程以及不合理的农业生产方式使该地区的生态环境受到了人为活动的强烈干扰,土壤酸碱性空间分布和演变方向,特别是土壤酸化进程发生了剧烈改变.本文通过对比20世纪80年代以及2002—2007年广东省土壤pH值,研究了土壤pH的时空变化,分析了不同土壤类型pH的变化,并初步探讨了土壤pH值变化的自然影响因素和人为驱动因子,以期对耕地质量建设和土壤酸化控制对策的制定提供理论指导^[7].

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

广东省位于我国南部,气候类型包括中亚热带、南亚热带和北热带,土壤水平地带性明显,由北而南呈现出红壤、赤红壤、砖红壤的纬向分布(图1).红壤(中亚热带地区的典型地带性土壤)地区主要位于广东省境内的24°00′—24°50′N,占全省土地面积的19.3%;赤红壤地区主要位于广东省中部,占全省土地面积的38.1%,北与红壤南界相接,南与砖红壤相邻,其南界线位于21°30′—22°00′N附近,赤红壤是红壤与砖红壤之间的过渡类型,其富铁铝化作用较砖红壤弱,但强于红壤;砖红壤(热带地区的典型地带性土壤)面积占全省土地面积的4.9%.水稻土是广东省耕地面积最大的土壤类型,遍布全省各地,占全省土地面积的26.6%.

广东省属高温多雨地区,矿物质和有机质化学

风化和分解以及淋溶作用均很强烈,因此全省绝大部分自然土壤均属酸性和强酸性^[8].

1.2 数据来源与处理

对广东省第二次土壤普查的1:100万土壤pH图(图2)进行数字化,得到20世纪80年代广东省pH数据.1:100万土壤pH图根据实地调查的传统制图方法绘制,此次调查共记载了19392个采样点(表1).

2002—2007年广东省土壤pH数据源于广东省土壤肥力调查、耕地地力调查和土壤污染调查等多个项目,共3836个样点,土壤pH的平均值为5.43、标准误为0.02、标准差为1.15、最大值为9.40、最小值为3.31、中位数为5.12、众数为4.00、方差为1.32、峰度为-0.58、偏度为0.68,每个采样点均通过GPS定位,土壤pH的空间分布采用克里格方法实现点到面的空间插值^[9-10].pH分级采用第二次土壤普查中的分级方法,将土壤pH分为5级:≤4.5、4.5~5.5、5.5~6.5、6.5~7.5和≥7.5(图3).

通过求算2002—2007年广东省土壤pH空间分布图与第二次土壤普查pH空间分布图的差值,可获取2个时期土壤pH的空间变化图.利用ArcGIS 9.3软件分别制作广东省2个时期土壤pH空

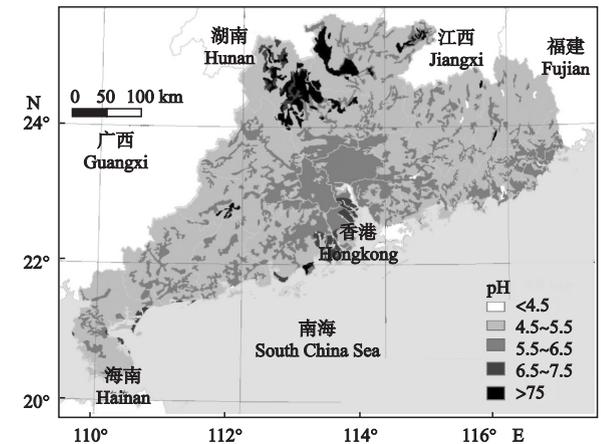


图2 20世纪80年代广东省土壤pH值的分布

Fig. 2 Distribution of soil pH in Guangdong Province in the 1980s.

表1 广东省第二次土壤普查的土壤pH值样点概况

Table 1 Sample survey of soil pH in Guangdong Province in second soil survey

土壤类型 Soil type	样本数 Sample number	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)
水稻土 Paddy soil	19392	5.8	0.3	4.4
旱地土壤 Upland soil	2667	5.9	0.4	6.5
自然土壤 Natural soil	2612	5.2	0.4	7.3
全部 Total	24671	5.7	2.0	34.9

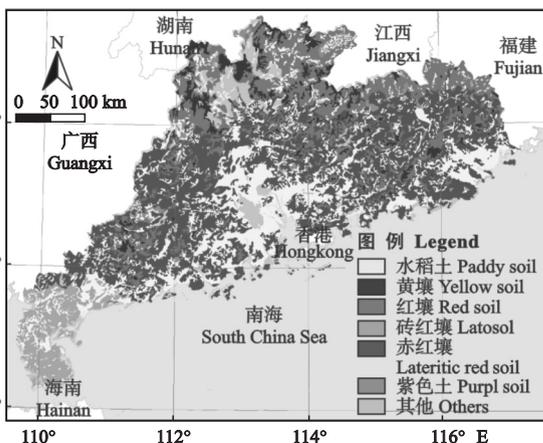


图1 20世纪80年代广东省土壤类型分布

Fig. 1 Distribution of soil types in Guangdong Province in the 1980s.

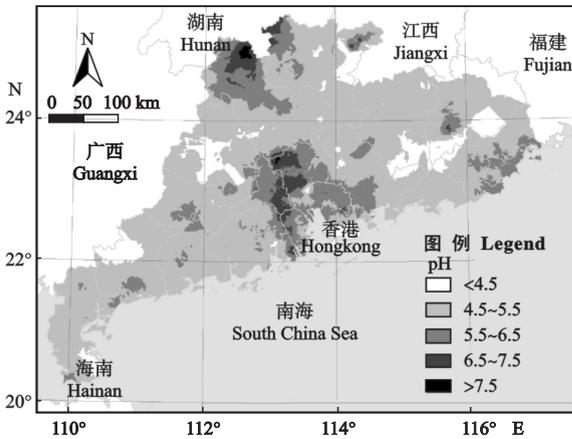


图 3 2002—2007 年广东省土壤 pH 值的分布

Fig. 3 Distribution of soil pH in Guangdong Province in 2002—2007.

间分布图,将数据叠加并按级别相减,本文认为处于同一级别的 pH 值没有发生变化,相减的值为负值和正值表示 pH 值分别有所降低和升高。

将两个时期的 pH 值空间数据与土壤类型空间数据叠加,得到不同土壤类型的 pH 空间变化.将 2 个时期的 pH 空间分布叠加并分类统计,得出 pH 变化的面积转移矩阵。

2 结果与分析

2.1 广东省土壤 pH 值的时空变化

研究期间,广东省土壤 pH 值的空间分布格局基本相同.20 世纪 80 年代全省 97% 的面积、2002—2007 年全省 95% 的面积处于酸性和强酸性范围 ($pH < 6.5$),中性范围 ($6.5 < pH < 7.5$) 的土壤面积仅占全省土地面积的 2% ~ 3%。

20 世纪 80 年代至 2007 年间,广东省土壤 pH 值总体呈降低趋势,土壤采样点的 pH 平均值由 5.7 降至 5.44. 第二次土壤普查以来 pH 变化相当明显, $pH < 4.5$ 的土地面积在 20 世纪 80 年代时仅 473 km^2 , 而到 2002—2007 年已增至 18097 km^2 , $pH > 7.5$ 的土地面积从 5446 km^2 减至 349 km^2 (表 2)。除部分地区 pH 值升高外,全省大部分地区土壤 pH 值稳中有降(表 3)。研究期间,全省 58.6% 的土壤 pH 保持在同一级别;31.4% 的土壤 pH 发生了酸化,在发生酸化的土壤中 85% 只降低了一个级别;仅 10% 的土壤 pH 值升高,主要分布在珠江三角洲和清远、韶关部分地区(图 4)。

2.2 广东省不同土壤类型 pH 值的变化

研究期间,除潮土外,广东省其他土壤类型 80% 以上面积的 pH 值保持不变或降低(表 4)。其

表 2 广东省土壤 pH 变化的转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of soil pH in Guangdong Province (km^2)

1980s	2002—2007					合计 Total
	<4.5	4.5 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	>7.5	
<4.5	49	15462	2539	46	1	18097
4.5 ~ 5.5	387	87854	28085	1075	2096	119497
5.5 ~ 6.5	37	12011	12869	1589	2804	29310
6.5 ~ 7.5	0	1403	3071	406	501	5381
>7.5	0	195	37	73	44	349
合计 Total	473	116925	46601	3189	5446	172634

表 3 广东省土壤 pH 级别变化的面积及百分比

Table 3 Area and percentage of soil pH grade changes in Guangdong Province

pH 级别变化 Change of pH grade	面积 Area (km^2)	百分比 Percentage
-4	1	0
-3	2142	1.2
-2	6418	3.7
-1	45637	26.4
0	101222	58.6
1	15542	9.0
2	1477	0.9
3	195	0.1

土壤 pH 值降低的面积合计 54198 km^2 , 持平的为 101222 km^2 , 升高的为 17214 km^2 Total area with soil pH descend, unchanged and ascend was 54198, 101222, 17214 km^2 , respectively.

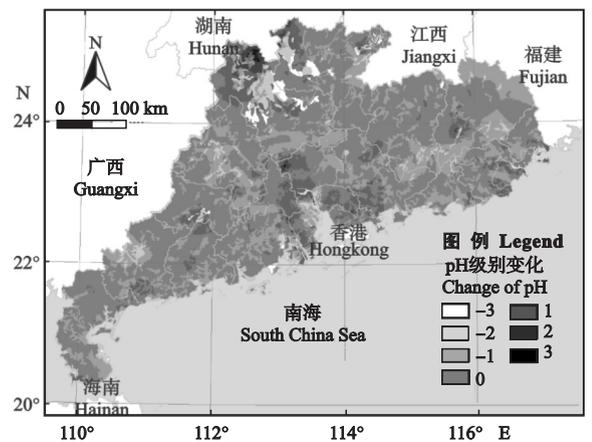


图 4 广东省土壤 pH 值级别变化的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of soil pH grade changes in Guangdong Province.

中,占广东省土地面积 83.7% 的赤红壤、水稻土和红壤 pH 的降幅分别为 25.8%、43.9% 和 26.6%;石灰土 pH 值无论是降低趋势还是降低面积所占比例均最明显,降低面积占该土壤类型总面积的 77.2%;潮土的 pH 值总体呈上升趋势,63.5% 的潮土面积的 pH 值升高了 1 个级别(图 5)。从图 6 可以看出,除潮土外,其他土壤类型 pH 级别构成的峰值均向左偏移,即 pH 值总体上变低。

表4 研究区不同土壤类型 pH 值级别的变化

Table 4 Changes of pH grade of different soil types in Guangdong Province (km²)

土类 Soil type	pH 值级别的变化 Change of pH grade							合计 Total
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	
赤红壤 Lateritic red soil	0	181	1247	15446	42816	5628	165	65495
水稻土 Paddy soil	0	311	2138	17341	21383	3720	229	45134
红壤 Red soil	0	224	508	8116	21196	2462	636	33220
黄壤 Yellow soil	0	42	58	1320	5511	1356	243	8588
砖红壤 Latosol	0	0	39	1546	6523	323	0	8431
石灰土 Lime soil	0	1232	1883	555	646	349	87	4752
紫色土 Purple soil	1	106	153	660	853	315	50	2149
潮土 Alluvial soil	0	0	0	28	524	1044	48	1644
合计 Total	1	2096	6026	45012	99452	15197	1458	169413

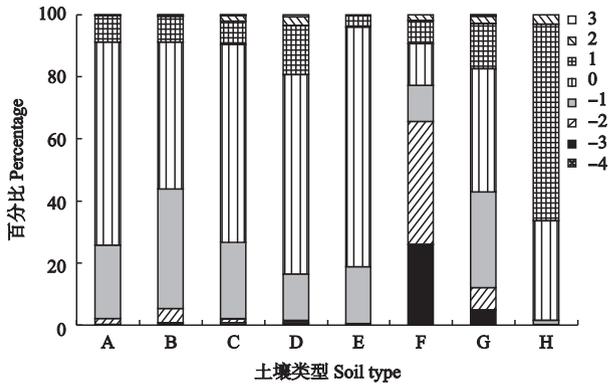


图5 广东省不同土壤类型 pH 值级别变化百分比

Fig. 5 Percentage of pH grade changes of different soil types in Guangdong Province.

A: 赤红壤 Lateritic red soil; B: 水稻土 Paddy soil; C: 红壤 Red soil; D: 黄壤 Yellow soil; E: 砖红壤 Latosol; F: 石灰土 Lime soil; G: 紫色土 Purple soil; H: 潮土 Alluvial soil. 下同 The same below.

3 讨论

土壤酸碱性的形成受自然和人为因素的影响。从土壤形成的历史过程看, pH 值的长期时空变化主要取决于自然因素, 如我国土壤的南酸北碱格局就是由于长期的自然因素影响所致, 但较短时间内 pH 的剧烈变化则主要受人为因素的干扰。

3.1 自然因素对土壤 pH 空间分布的影响

3.1.1 土壤本身特性对 pH 分布的影响 土壤处于中性和酸性 ($5 < \text{pH} < 7.5$), 特别是中性 ($6.5 < \text{pH} < 7.5$) 范围时, 对酸性物质的输入较敏感^[11]。广东省绝大部分土壤 $\text{pH} < 7.5$, 因此对酸性物质的输入较敏感。

土壤本身抵制酸碱变化的能力以土壤的物质组成和地球化学性质为基础, 因此不同类型土壤的酸碱缓冲性能有所差异^[11]。一般认为, 潮土的酸缓冲性能较强, 因此, 广东省的潮土成为全省土壤变酸的唯一例外。研究期间, 66.4% 潮土的 pH 值有所升

高。水稻土被认为酸缓冲性能较弱, 本研究区 95% 水稻土 $\text{pH} < 6.5$ 。应当采取增施有机肥、调整化肥中各成份的比例等有效措施对导致土壤酸化的因素加以控制, 否则土壤 pH 值可能会继续下降。

3.1.2 酸雨 酸性降雨是引起土壤 pH 值下降的一个重要因素^[12]。中国几个重酸雨区都在江南地区, 该地区分布的土壤主要是酸性的红壤类土壤^[13]。红壤对酸的缓冲性能很弱, 当有酸雨进入时, 其 pH 值极易降低^[14]。2008 年, 广东省城市降水酸度较强, pH 均值为 4.88, 酸雨频率 48.5%; 城市降水 pH 均值在 4.47 (广州) ~ 6.37 (河源), 61.9% 的城市受酸雨污染 ($\text{pH} < 5.6$), 广州等 9 个市属于重酸雨区 ($\text{pH} < 4.5$ 或 $4.5 < \text{pH} < 5$ 且酸雨频率 $> 50\%$), 这些酸性降雨加快了广东省土壤 pH 值下降速度^[15]。

3.2 人类活动对土壤 pH 值空间分布的影响

3.2.1 不合理的农作方式 大量使用化肥是引起土壤 pH 值下降的重要原因。近 30 年来, 广东省大量使用化肥, 1980 年化肥施用量 $333 \times 10^4 \text{ t}$ ^[16], 2008 年达 $711 \times 10^4 \text{ t}$ ^[17], 而同期的耕地面积则由 $6.19 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 下降到 $4.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[16]。化肥主要成分为氯化钾、氯化铵、过磷酸钙, 这些生理酸性肥料的长期大量使用, 造成土壤 pH 值下降^[18-19]。广东省土壤 pH 值下降的区域主要集中在耕地集中的农村地区 (图 4)。

不合理的种植方式和管理方式也会造成严重的土壤酸化^[20]。与 20 世纪 80 年代相比, 2002—2007 年广东省 43.9% 的水稻土 pH 降低了至少一个级别, 除自然因素外不合理的种植方式也是一个重要的影响因子^[21]。

3.2.2 城市化及矿山开发 20 世纪 80 年代以来, 广东省特别是珠江三角洲地区社会经济高速发展, 城市化、工业化进程不断加快, 是我国经济最发达的地区之一。在珠三角城市化过程中, 排放的大量建筑废

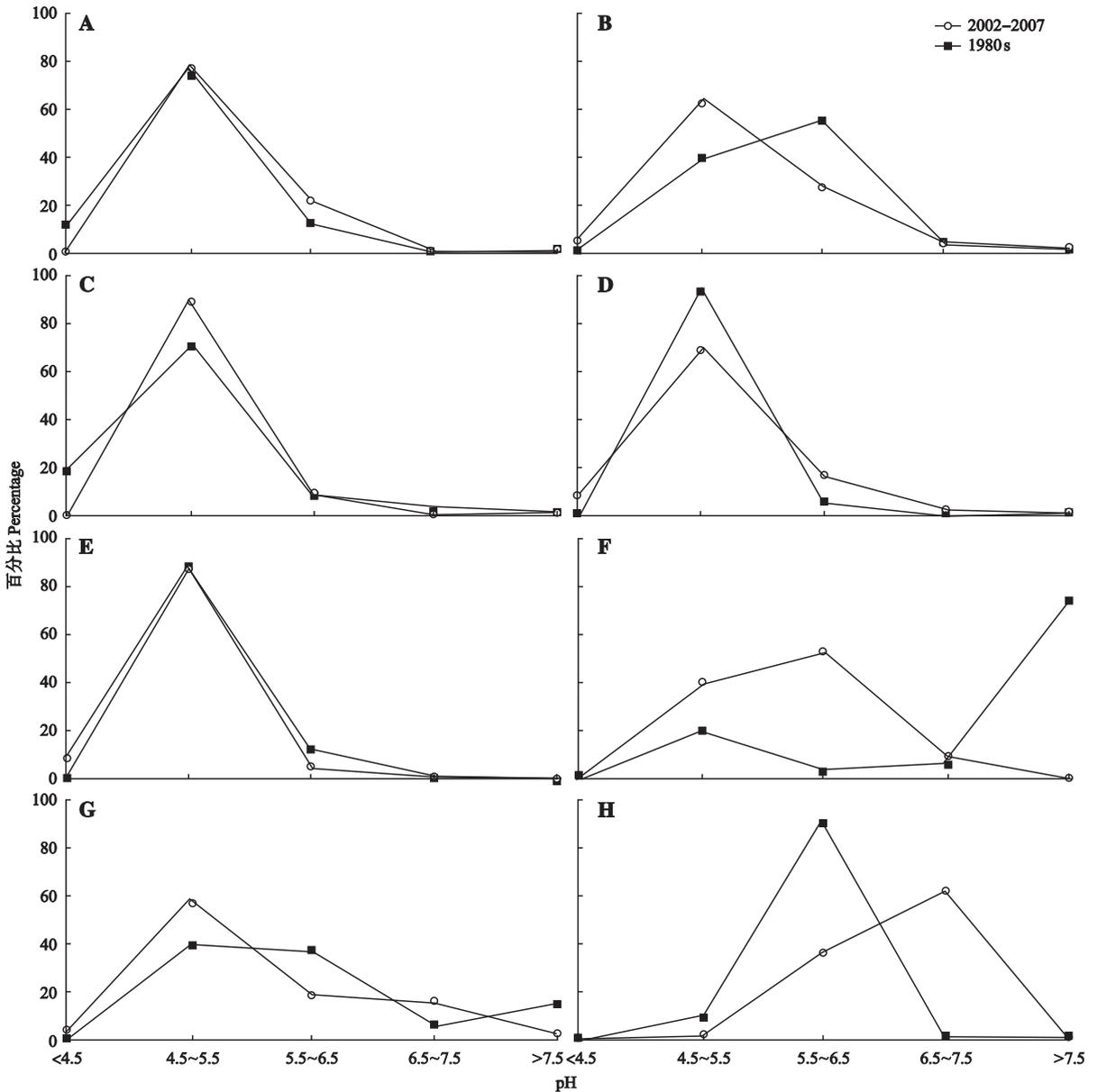


图 6 两个时期广东省不同土壤类型 pH 级别组成的对比

Fig. 6 Comparison of pH grades of different soil types in two periods.

弃物、水泥、砖块和其他碱性混合物等进入周围土壤后向土壤中释放其所含的 Ca, 混凝土风化也向土壤中释放 Ca, 加之大量含碳酸盐的灰尘和沉降进入土壤, 最终导致城市土壤趋向碱性, 与自然土壤差异明显, 使土壤 pH 有所上升(图 4)。清远、韶关等地区大量矿山的开发也导致大量碱性物质的扩散, 使这些区域的 pH 有所升高。

4 结 论

研究期间, 广东省土壤 pH 值空间分布格局基本相同, 全省土壤 pH 值稳中有降, 58.6% 的土壤 pH 值保持在同一级别内, 但全省 31.4% 土壤的 pH

值发生了酸化, 在发生酸化的土壤中, 近 85% 降低了一个级别。全省 10% 土壤的 pH 值有所升高, 这些区域主要分布在珠江三角洲和清远、韶关部分地区。占广东省土地面积 83.7% 的赤红壤、水稻土和红壤的 pH 值降幅分别为 25.8%、43.9% 和 26.6%, 需采取一定的酸化控制对策。只有潮土的 pH 值总体呈升高趋势。

土壤 pH 值时空变化是一个非常复杂的问题, 影响因子众多, 不同地区导致土壤酸碱性变化的主导因素各不相同, 不同土壤类型的酸碱缓冲性能也存在差异。因此, 需要根据客观数据进行定量分析^[22], 以进一步明确具体原因。

参考文献

- [1] Zhao Q-G (赵其国), Luo Y-M (骆永明), Teng Y (滕应). Strategic thinking on soil protection in China. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2009, **46**(6): 1140–1145 (in Chinese)
- [2] Zhao Q-G (赵其国), Luo Y-M (骆永明), Teng Y (滕应), *et al.* Development of the current domestic and international environmental protection and its research progress. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报) 2009, **46**(6): 1146–1154 (in Chinese)
- [3] Zhao Q-G (赵其国). Improving knowledge of soil, innovating modern pedology. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **45**(5): 771–777 (in Chinese)
- [4] Zhao Q-G (赵其国). Strategic thinking of soil science in China. *Soils* (土壤), 2009, **41**(5): 681–688 (in Chinese)
- [5] Wang Z-G (王志刚), Zhao Y-C (赵永存), Liao Q-L (廖启林), *et al.* Spatio-temporal variation and associated affecting factors of soil pH in the past 20 years of Jiangsu Province, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(2): 720–727 (in Chinese)
- [6] Xu R-K (徐仁扣), Coventry DR. Soil acidification as influenced by some agricultural practices. *Agro-Environmental Protection* (农业环境保护), 2002, **21**(5): 385–388 (in Chinese)
- [7] Wang C-S (王长松), Chen L-P (陈莉萍), Kong X-Y (孔祥英), *et al.* Spatial and temporal distribution of pH value in soil over the last 30 years of Yizheng, Jiangsu Province. *Jiangsu Agricultural Sciences* (江苏农业科学), 2007(3): 223–224 (in Chinese)
- [8] Guangdong Office of Soil Survey (广东省土壤普查办公室). Soil of Guangdong. Beijing: China Science and Technology Press, 1993 (in Chinese)
- [9] Douaik A, Meirvenne MV, Tóth T. Soil salinity mapping using spatio-temporal kriging and Bayesian maximum entropy with interval soft data. *Geoderma*, 2005, **128**: 234–248
- [10] Guo Z-X (郭治兴), Chen Z-P (陈泽鹏), Zhan Z-S (詹振寿), *et al.* Soil fertilizer mapping by spatial interpolation. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2009, **25**(23): 274–278 (in Chinese)
- [11] Chadwick OA, Chorover J. The chemistry of pedogenic threshold. *Geoderma*, 2001, **100**: 321–353
- [12] Hicks WK, Kuylenstierna JC, Owen A, *et al.* Soil sensitivity to acidification in Asia: Status and prospects. *Ambio*, 2008, **37**: 295–303
- [13] Larssen T, Carmichael GR. Acid rain and acidification in China: The importance of base cation deposition. *Environmental Pollution*, 2000, **110**: 89–102
- [14] Yang A (杨昂), Sun B (孙波), Zhao Q-G (赵其国). The distribution of China's acid rain, causes and impact on soil environment. *Soils* (土壤), 1999, **31**(1): 13–18 (in Chinese)
- [15] Guangdong Environmental Protection Bureau (广东省环境保护厅). Public Report of Environmental Status for Guangdong Province in 2008 [EB/OL]. (2009-06-15) [2010-06-06]. http://www.gdepb.gov.cn/zwxx/hbzkgb/2008gongbao/200906/t20090615_62874.html (in Chinese)
- [16] Statistics Bureau of Guangdong Province (广东省统计局). Guangdong Statistical Yearbook of 2005. Beijing: China Statistics Press, 2006 (in Chinese)
- [17] Statistics Bureau of Guangdong Province (广东省统计局). Guangdong Statistical Yearbook of 2009. Beijing: China Statistics Press, 2009 (in Chinese)
- [18] Gudmundsson T, Björnsson H, Thorvaldsson G. Organic carbon accumulation and pH changes in an Andic Gleysol under a longterm fertilizer experiment in Iceland. *Catena*, 2004, **56**: 213–224
- [19] Lu Y-H (鲁艳红), Yang Z-P (杨曾平), Zheng S-X (郑圣先), *et al.* Effects of longterm application of chemical fertilizer, pig manure, and rice straw on chemical and biochemical properties of reddish paddy soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(4): 921–929 (in Chinese)
- [20] Li H (李菡), Sun A-Q (孙爱清), Guo H-J (郭恒俊). Effects of different planting patterns on farmland soil quality in Yellow River alluvial plain of Shandong Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 365–372 (in Chinese)
- [21] Zhong J-H (钟继洪), Yu W-M (余炜敏), Luo B-S (骆伯胜), *et al.* The cultivated land soil quality change and mechanism in the Pearl River Delta. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2009, **18**(5): 1917–1922 (in Chinese)
- [22] Heuvelink GBM, Webster R. Modelling soil variation: Past, present, and future. *Geoderma*, 2001, **100**: 269–301

作者简介 郭治兴,男,1966年生,博士,研究员.主要从事3S技术以及计算机和数学在生态学、环境学和土壤学等自然资源相关领域的应用研究. E-mail: zxguo@163.com

责任编辑 杨弘
