

1984 年以来广东水稻土 pH 变化趋势及影响因素^①

曾招兵^{1,2}, 曾思坚², 刘一锋², 汤建东², 张满红²

(1 广东省农业科学院农业资源与环境研究所, 广州 510640; 2 广东省耕地肥料总站, 广州 510500)

摘要: 利用广东省 1984 年以来的长期定位监测数据, 对全省 20 多年来的水稻土 pH 变化趋势进行了分析。结果表明: 1984 年以来, 全省水稻土整体呈现明显的酸化趋势, 期间水稻土 pH 下降了 0.33 单位, 强酸和酸性土壤的分布频率呈明显的上升趋势, 分别增加了 3.2% 和 21.9%; 珠三角地区的水稻土 pH 下降了 0.54 单位, 明显高于其他区域。单施化肥使土壤 pH 降低, 而长期坚持化肥结合有机肥施用可以提高土壤抵抗酸化的能力, 提高水稻土 pH。重化肥而轻有机肥是导致广东省水田土壤 pH 下降的主要原因, 同时日益严重的酸雨也是加速土壤 pH 下降的重要因素。今后应重视施用有机肥, 减缓水稻土的酸化进程。

关键词: 广东; 水稻土; pH; 变化趋势

中图分类号: S 153.4

土壤 pH 是土壤许多化学性质特别是盐基状况的综合反映, 对土壤中微生物的活性、养分的转化与释放、微量元素的生物有效性以及元素的迁移等均有重要影响。自然状态下的土壤酸碱性主要受成土因子控制, 其变化过程十分缓慢。但随着工业快速发展以及农业生产大量化学物质的不合理投入, 土壤酸化进程明显加快。土壤酸化是耕地质量退化的重要表现形式, 不仅加速土壤养分淋失, 使土壤贫瘠化, 而且某些重金属随土壤 pH 降低而活化, 造成农产品重金属含量增加, 危害农产品质量安全^[1-3]。

广东位于我国东南沿海, 由于高温多雨, 土壤淋溶强烈, 使得全省绝大部分土壤为盐基不饱和的酸性土壤^[4]。改革开放以来现代化工业和农业的迅猛发展使得该地区的生态环境已经受到人为因素的强烈干扰, 在此背景下, 该地区耕地土壤酸化问题受到关注^[5]。水稻土是广东面积最大的耕地土壤类型, 其酸缓冲性能相对其他类型土壤较弱^[6], 相关研究报道却不多。本文利用广东省 1984 年以来建立的土壤长期定位监测点数据对全省水稻土 pH 动态变化趋势及影响因素进行了分析, 这对于今后制定土壤酸化控制对策和耕地质量建设等具有重要的理论指导价值。

1 材料与方法

1.1 自然概况

广东省位于中国大陆南部, 20°13' ~ 25°31'N,

109°39' ~ 117°20'E, 北回归线横贯全省。属热带和亚热带季风气候区, 湿热多雨, 降雨丰沛, 多年平均降水为 1 700 多 mm。全省地势大体是北高南低, 北依南岭, 南临南海。山地、丘陵、平原和台地兼有, 其中以山地和丘陵分布最广。地带性土壤主要为红壤、赤红壤和砖红壤。据省国土部门口径统计, 2008 年全省耕地面积约 283.3 万 hm², 其中水田面积约 195 万 hm², 粮食作物主要以双季稻为主。因气候特征、经济状况等差异习惯于将全省划分为珠三角、粤东、粤西和粤北四大区域, 其中珠江三角洲地区包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山、惠州、肇庆 9 市; 粤东包括汕头、潮州、揭阳、汕尾 4 市; 粤西包括湛江、茂名、阳江 3 市; 粤北包括韶关、河源、梅州、清远、云浮 5 市。

1.2 长期定位一般监测点设置情况

广东省地力监测工作于 1984 年在全省范围内展开。至今, 全省监测点数量稳定在 270 个左右(图 1), 其中水田监测点约 180 个, 期间监测点因经济建设征地等原因虽有调整, 但仍以老监测点为主, 持续 20 年以上的监测点占 50% 以上。部分水田监测点设置了对照区(不施肥)与常规施肥区(农民习惯施肥), 对照区面积 33.3 ~ 66.7 m², 用水泥板或其他材料作隔板, 防止肥、水横向渗透, 常规施肥区 333.3 m² 以上。全省水田监测点分布在除深圳、珠海以外的 19 个地级市 80 多个县(市、区)的粮食主产区, 涉及了该省洪

基金项目: 农业部耕地质量保护项目和广东省粮食专项资助。

作者简介: 曾招兵(1982—), 男, 江西人, 硕士, 助理研究员, 主要从事耕地土壤监测工作。E-mail: zhaobingzeng@163.com



图 1 广东省耕地土壤监测点分布示意图
Fig. 1 Monitoring points of farmland soil in Guangdong Province

积黄泥田、麻砂质田、宽谷砂泥田、河砂泥田、潮砂泥田、洲黏土田等主要水稻土种，兼顾了高、中、低不同的耕地地力水平。

1.3 长期定位重点监测点基本概况

长期定位重点监测点位于广州增城市农科所内，始建于 1987 年，种植制度为稻-稻。土壤为宽谷砂泥田，2002 年的土壤基本性质为：有机质 18.6 g/kg，全氮 1.12 g/kg，碱解氮 85.6 mg/kg，速效磷 19.2 mg/kg，速效钾 13.8 mg/kg，pH 5.9。试验共设置 6 个处理。即：不施肥处理(CK)，氮磷钾施肥处理(NPK)，氮磷施肥处理(NP)，氮钾施肥处理(NK)，磷钾施肥处理(PK)，氮磷钾配施有机肥处理(NPKM)。其中 NPKM 处理化肥氮磷钾投入量分别为 150 kg/hm² (N)、30 kg/hm² (P₂O₅)、75 kg/hm² (K₂O)，猪粪用量为 7 500 kg/hm²，其余处理化肥氮磷钾投入量分别为 150 kg/hm² (N)、49 kg/hm² (P₂O₅)、90 kg/hm² (K₂O)。氮肥施用品种为尿素，磷肥为过磷酸钙，钾肥为氯化钾。每处理小区面积 66.7 m²，三面光水泥砖基分隔，独立排灌。

1.4 采样与检测方法

每年的土壤样品均在晚稻收获后的 11 月中旬采集，采样深度为 0~20 cm。采样时沿着“X”或“S”的路线，采集 15~20 个点组成混合样，经充分混匀后，四分法留取 1 kg。土壤样品分析检测按 NY/T1121.1 规定的方法执行。所有数据采用 Excel 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 变化趋势

2.1.1 全省整体变化趋势 由表 1 可见，“七五”前期全省水稻土 pH 为 5.82，与广东第二次土壤普查的结果一致^[4]，反映全省耕地长期定位监测网设置合理，监测结果代表性强。从“七五”前期到“九五”期间，全省水稻土 pH 呈连续下降趋势，而在“十五”期间小幅回升后又下降。pH 回升可能与此期间全省土壤有机质含量提高^[7]，而使土壤对酸的缓冲能力提高有关。与“七五前”相比，全省水稻土 pH 在“九五”期间开始表现为显著($P < 0.05$)降低趋势，其中“十一五”期间水稻土 pH 下降了 0.33 单位，达到极显著差异水平($P < 0.01$)。不同时期的水田土壤 pH 的变化速率不同，其中 1984—1995 年期间，pH 平均每年下降 0.01 单位，而“九五”期间的土壤 pH 降低速度明显加快，pH 平均每年下降 0.048 单位，“十五”期间 pH 则每年平均回升 0.024 单位，“十一五”期间 pH 每年平均又下降 0.02 单位。通过分析可知，全省水稻土 pH 变化趋势较为复杂，说明影响因素较多。郭治兴等^[5]对广东近 30 年的土壤 pH 变化研究也得出相近的结果，并认为主要是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。

按照全国第二次土壤普查技术规程的指标分级标准，土壤 pH 依据差异分为 6 个等级，依次代表强酸(1 级)pH<4.5、酸性(2 级)pH 4.5~5.5、微酸性

表 1 各时期全省水稻土 pH 平均值
Table 1 Average pH values of paddy soil in different stages of Guangdong Province

| 监测阶段 | 样本数量 | pH | 差异显著性 | |
|----------------|------|-------------|----------------|----------------|
| | | | ($P < 0.05$) | ($P < 0.01$) |
| 七五前(1984—1985) | 186 | 5.82 ± 0.16 | a | A |
| 七五(1986—1990) | 510 | 5.77 ± 0.06 | a | A |
| 八五(1991—1995) | 615 | 5.71 ± 0.10 | ab | A |
| 九五(1996—2000) | 850 | 5.47 ± 0.14 | c | B |
| 十五(2001—2005) | 779 | 5.59 ± 0.06 | bc | AB |
| 十一五(2006—2010) | 626 | 5.49 ± 0.12 | c | B |

(3 级)pH 5.5 ~ 6.5、中性(4 级)pH 6.5 ~ 7.5、微碱性(5 级)pH 7.5 ~ 8.5、碱性(6 级)pH > 8.5。对全省不同监测时期的水田监测点的土壤 pH 进行分级频率统计,如图 2 所示,强酸和酸性土壤的分布频率呈明显的上升趋势,“十一五”分别占 3.8% 和 50%,比“七五前”分别增加 3.2% 和 21.9%;微酸性和微碱性土壤分布频率则呈明显的下降趋势;中性土壤分布频率变化不大,碱性土壤在各个时期均基本没有分布。经统计,

全省水田土壤主要以酸性和微酸性为主,它们在各监测时期的分布频率之和均超过 80%,20 多年来土壤 pH < 6.5 的监测点土壤样品频率上升了 4%,进一步说明全省水稻土整体呈明显的酸化趋势。

2.1.2 不同区域的变化趋势 如图 3 所示,粤北、粤西、珠三角地区的水稻土 pH 变化趋势与全省整体变化趋势相似,均呈“降低-小幅回升-再降低”的趋势,而粤东地区变化更复杂,呈“一波三折”的起

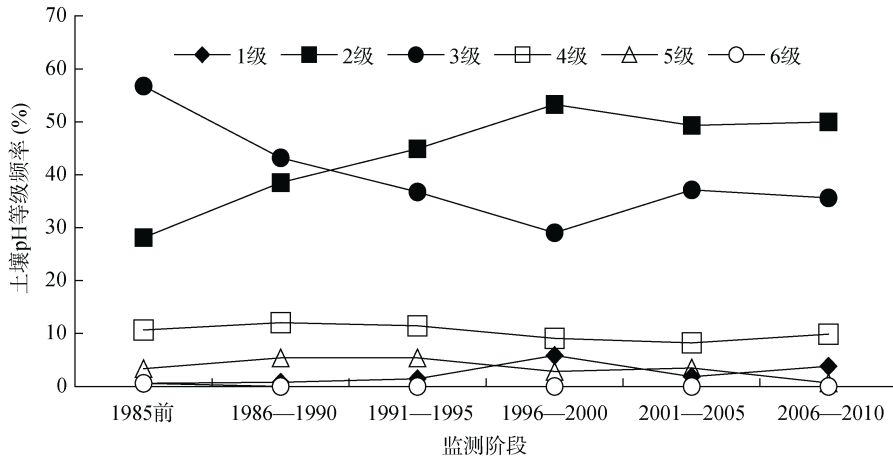


图 2 全省水稻土不同等级 pH 的频率变化趋势

Fig. 2 Frequency change trends of different grades of paddy soil pH in Guangdong Province

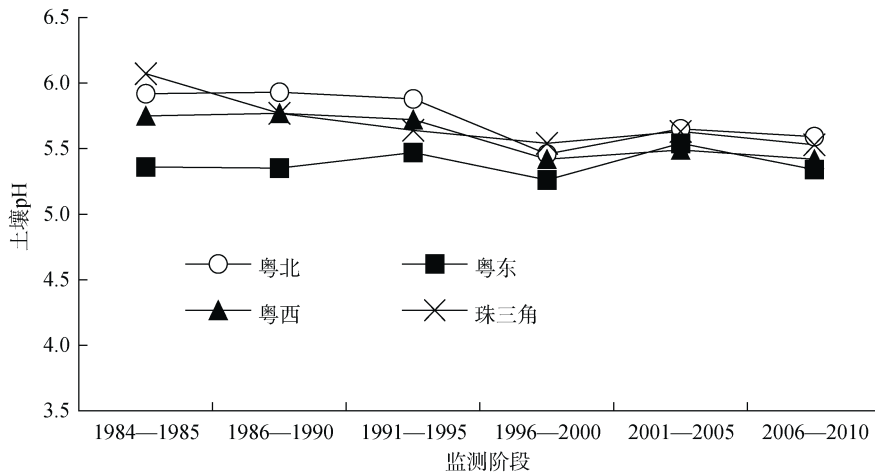


图 3 不同区域稻田土壤 pH 的变化趋势

Fig. 3 Change tendencies of paddy soil pH in different regions of Guangdong Province

伏变化趋势,不同的变化趋势说明影响各区域或各时期水稻土 pH 的主导因素有所差异。“十一五”期间,粤北、粤西和珠三角地区水稻土 pH 平均分别为 5.59、5.42 和 5.53,分别比“七五前”下降 0.33、0.33 和 0.54 单位,粤东各监测阶段的水稻土 pH 均比其他区域低,但变化幅度相对较小,这可能与粤东地区施肥水平一直比其他地区高有关。比较来看,作为广东省乃至全国最发达的珠三角地区的土壤 pH 下降幅度最大,则可能是该地区城市化、工业化以及农业集约化等人为因素的强烈干扰导致了土壤酸化进程加快。

2.2 施肥对土壤 pH 的影响

如表 2 所示,不同施肥处理对土壤 pH 的影响存在显著差异。监测点土壤多年(2002—2011 年)pH 的平均大小顺序是 :NPK<NP<PK<NK<CK<NPKM。与 CK 处理相比,NPK 和 NP 处理的土壤 pH 下降幅度最大,分别降低了 0.28 和 0.27 单位,达到极显著差异水平($P<0.01$);其次 NK 和 PK 处理,分别降低 0.15 和 0.19 单位,亦达到极显著差异水平($P<0.01$);而 NPKM 与 CK 处理相比,则提高了 0.13 单位,达到显著差异水平($P<0.05$);此外,NK 和 NPK 处理之间的 pH 也达到显著差异水平($P<0.05$)。由此可见,单施化肥使土壤 pH 降低,而且不同的氮磷钾养分投入结构对土壤 pH 影响有显著差异,长期坚持化肥结合有机肥施用则可以显著提高水稻土 pH。

表 2 不同施肥处理土壤多年平均 pH
Table 2 Average pH values of different fertilization treatments for many years

| 处理 | pH | 差异显著性 | |
|------|-------------|----------|----------|
| | | $P<0.05$ | $P<0.01$ |
| NPKM | 5.89 ± 0.15 | a | A |
| CK | 5.76 ± 0.19 | b | A |
| NK | 5.61 ± 0.20 | c | B |
| PK | 5.57 ± 0.18 | cd | B |
| NP | 5.49 ± 0.18 | cd | B |
| NPK | 5.48 ± 0.21 | d | B |

因采样等误差因素的影响,各处理年际间的土壤 pH 波动较大,为更直观地反映出各处理土壤 pH 的差异情况,将 2002—2011 年的监测期划分为两个阶段,前阶段为 2002—2006 年,后阶段为 2007—2011 年。由图 4 可见,从两个监测阶段的土壤 pH 比较发现,除 NPKM 处理外,其余处理均比前阶段下降。其中,后阶段 CK 处理的土壤 pH 比前阶段下降 0.16 单位。可见,即使不施肥,水稻土 pH 随着时间依然降低。这表明除施肥外,还有其他因素导致了水田土壤 pH 下降。而后阶段 NPKM 处理的土

壤 pH 比前阶段上升了 0.02 单位,则说明长期施用有机肥提高了土壤抵抗酸化的能力,能使土壤 pH 保持稳定。

然而随着工业快速的发展,水稻种植的养分投入逐渐由化肥取代传统有机肥。据统计,广东有机肥占总投入养分量的比例已由 20 世纪 80 年代初的 40.1% 降到了 8.6%,而化肥投入量增加了 1 倍以上^[7]。多数研究也表明,长期滥施化肥导致土壤 pH 下降,尤其施用硫酸铵、氯化钾、氯化铵等酸性和生理酸性肥料^[8-9]。更有研究指出滥施化肥等农业措施在加剧土壤酸化过程中起主要作用^[10-11]。但适量的化肥结合有机肥施用则可阻止土壤酸化甚至提高酸碱度,如湖南祁阳土壤站试验地经过几十年耕作后,有机无机配合处理区土壤 pH 比对照区高^[12],与本文对重点监测点分析得出的结论一致,其机理应主要是利用有机肥中的有机化合物与土壤中的铝离子发生络合作用减少了活性致酸铝离子含量。因此,今后全省应开展土壤酸化改良措施,延缓和防治土壤 pH 下降。

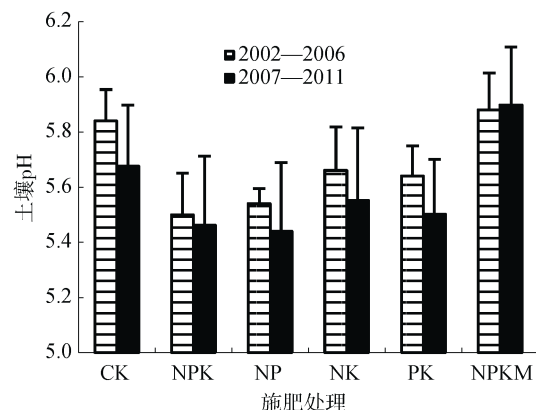


图 4 不同处理的土壤 pH 比较
Fig. 4 Comparison of paddy soil pH values of different treatments

3 结论

1984 年以来,全省水稻土 pH 整体呈现明显的降低趋势,20 多年来土壤 pH 下降了 0.33 单位,pH<6.5 的监测点上升了 4%,强酸和酸性土壤的分布频率呈明显的上升趋势。不同时期或不同区域的土壤 pH 变化趋势有所差异。单施化肥使土壤 pH 降低,而长期坚持化肥结合有机肥施用可以提高土壤抵抗酸化的能力,提高水稻土 pH。重化肥而轻有机肥是导致全省水田土壤 pH 下降的主要原因。因此,今后应重视耕地土壤改良,鼓励粮食生产增施有机肥、施用石灰等酸化改良措施,缓解土壤酸化问题,从而提高耕地粮食生产能力。

参考文献：

- [1] Schrijver AD, Roskams P, Keersmaecker LD, Mussche S, Nachtergale L. Soil acidification along an ammonium deposition gradient in a Corsican Pine stand in northern Belgium[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(1): 427–431
- [2] Mcfoe WW. Sensitivity of soil regions to long term acid precipitation[A] // Sohriner DS. *Atmospheric Sulphur Deposition: Environmental Impact and Health Effects Michigan*[C]. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980
- [3] Kelly JM, Strickland RC. Soil nutrient leaching in response to simulated acid rain treatment. *Water*[J]. *Air and Soil Pollution*, 1987, 34: 167–181
- [4] 广东省土壤普查办公室编著. 广东土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [5] 郭治兴, 王静, 柴敏, 陈泽鹏, 詹振寿, 郑武平, 魏秀国. 近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(2): 426–430
- [6] 王志刚, 赵永存, 廖启林, 黄标, 孙维侠, 齐雁冰, 史学正, 于东升. 近 20 年来江苏省土壤 pH 值时空变化及其驱动力[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 721–727
- [7] 曾招兵, 汤建东, 刘一锋, 张满红, 林碧珊. 广东耕地土壤有机质的变化趋势及驱动力分析[J]. *土壤*, 2013, 45(1): 84–90
- [8] 绍学新, 黄标, 顾志权, 钱卫飞, 金洋, 毕葵森, 严连香. 长三角经济高速发展地区土壤 pH 时空变化及其影响因素[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(2): 114–149
- [9] 张桂兰, 苞德俊, 王英, 李贵宝, 乔文学, 孟繁清. 长期施用化肥对作物产量和土壤性质的影响[J]. *土壤通报*, 1999, 30(2): 64–67
- [10] Summner ME. Acidification[A]//Lal R, Blum WH, Valentin C, Stewart BA. *Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science*[C]. Boca Roton, New York: CRC Press, 1998: 213–218
- [11] Barak P, Jobe BO, Krueger AR, Peterson LA, Laird DA. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin[J]. *Plant and Soil*, 1997, 197: 61–69
- [12] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 徐明岗, 黄晶, 张会民. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 71–78

Change Tendency of Paddy Soil pH in Guangdong Province Since 1984 and Influential Factors

ZENG Zhao-bing^{1,2}, ZENG Si-jian², LIU Yi-feng², TANG Jian-dong², ZHANG Man-hong²

(1 *Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2 *Guangdong General Station for Farmland and Fertilizer, Guangzhou 510500, China*)

Abstract: The change tendency of paddy soil pH was analyzed by using long-term monitoring data of farmland in Guangdong Province, South China. The results showed that the overall variation of paddy soil pH was represented as acidification since 1984, with the average pH value decreased by 0.33 units, and the frequency distribution of strongly acid and acid soil showed a rising trend, increased by 3.2% and 21.9% respectively. The average pH value decreased by 0.54 units in the Pearl River Delta of Guangdong Province, significantly higher than those in the other regions. A single application of chemical fertilizer decreased soil pH value, but mixed application of chemical and organic fertilizers could improve the ability of soil to resist acidification, and improved paddy soil pH value. Heavy application of chemical fertilizers and ignoring the application of organic fertilizer is the main reason for the decline of the pH value of the paddy soil, and increasingly serious acid rain is the important reason for the decline of the soil pH value. We should pay attention to the use of organic fertilizer in the future for the improvement of soil acidification.

Key words: Guangdong, Paddy soil, pH, Change tendency