

DOI: 10.11766/trxb201804230159

近 25 年来典型红壤区土壤 pH 变化特征 ——以江西省余江县为例*

张忠启¹ 茆 彭¹ 于东升^{2†} 徐 莉¹

(1 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏徐州 221116)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘 要 近些年中国南方红壤区土壤酸化问题的受关注程度有所下降, 但酸化一直是红壤生态系统面临的主要问题之一, 查明土壤 pH 时空演变特征对该地区制定合理高效的农业和环境管理措施具有重要意义。基于江西省余江县 1982 年和 2007 年的土壤采样数据, 分析了全县两个采样时期的土壤 pH 空间分布格局及近 25 年来的演变趋势。结果表明, 余江县土壤 pH 已由 1982 年的 5.66, 降至 2007 年的 4.74。从土壤类型来看, 潮土的 pH 下降幅度最大, 达到 1.02, 水稻土和红壤的下降幅度较为接近, 分别为 0.89 和 0.88; 从土地利用方式来看, 林地和水田 pH 降幅分别为 1.00 和 0.92, 旱地降幅为 0.82。从全县范围来看, 绝大部分地区土壤 pH 出现大幅下降, 中北部和西南部的部分地区下降幅度较突出; 相对于 1982 年, 2007 年土壤 pH 降幅分别以 0.8 ~ 1.2 和 0.4 ~ 0.8 区间为主, 分别占全县面积的 73.82% 和 15.46%; 全县土壤 1982 年以微酸等级为主, 而 2007 年除全县近 13.0% 的区域土壤已成为强酸土壤外, 其余大部分地区土壤也已接近强酸等级。可见, 自全国第二次土壤普查以来近 25 年间, 余江全县及各土壤类型和土地利用方式的土壤 pH 大幅下降, 土壤酸化形势严峻, 亟需采取相应措施加以应对。

关键词 土壤 pH; 时空变异; 土壤类型; 土地利用; 红壤区

中图分类号 S153.4 文献标识码 A

pH 作为一种重要的土壤基本属性, 不仅是土壤形成过程中多种因子综合作用的结果, 而且是土壤许多理化性质的综合反映^[1]。土壤 pH 的高低制约着土壤生物化学性质及营养物质的有效性、作物对营养元素的吸收、作物的生长发育等诸多方面, 同时对区域生态环境有着深刻影响^[2]。因此, 研究土壤 pH 的时空变化特征对区域土壤资源的永续利用、高效管理及生产力提升具有重要意义。

自然状态土壤的 pH 主要受成土因子控制, 其酸化过程十分缓慢, pH 每变化一个单位通常要上

百年乃至上千年的时间^[3]。当前我国土壤“南酸北碱”的整体格局是在整体气候格局的背景下通过漫长的地质大循环和生物小循环作用后形成的^[4]。从全国范围来看, 作为我国重要耕作区的南方红壤区在自然和人为因子双重作用下, 已成为我国土壤酸性较高的区域, 土壤酸化已成为该地区农业生产的重要制约因素。同时, 南方红壤区水热条件较好, 是我国以稻米为主的重要粮食产区, 维持该地区较好的土壤质量, 不仅对该区域农业可持续发展意义重大, 而且可为保障全国粮食安全做出

* 国家自然科学基金项目(41201213, 41571206)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(Y20160008)资助
Supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41201213, 41571206), and Foundation of State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (No. Y20160008).

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dshyu@issas.ac.cn

作者简介: 张忠启(1978—), 男, 博士, 副教授, 主要从事土壤资源与环境相关研究。E-mail: zhangzq128@126.com

收稿日期: 2018-04-23; 收到修改稿日期: 2018-07-20; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-08-30

重要贡献。因此,对南方红壤区土壤pH开展相关研究十分必要。然而,近些年红壤区的土壤学相关研究多集中在土壤碳氮循环、水土流失、重金属污染、肥力提升及土壤颗粒吸附机理等相关问题上^[5-9],而对于土壤酸化这一长期存在的重要问题的关注度大幅下降,相关研究成果也相对较少。然而,赵其国等^[10]指出红壤区的酸化问题一直是南方地区面临的主要农业与生态环境问题之一,而且存在进一步恶化的可能,需要土壤学者给予关注。因此,查明南方红壤区土壤酸化的时空格局和演变特征,进而为该地区农业管理部门制定合理的土壤治理措施提供参考,同时使更多学者关注红壤区土壤酸化问题并持续开展研究,以更好地促进该地区农业持续发展与生态环境建设,这不但对我国,而且对世界亚热带和热带地区的农业经济发展,有着重大的推动与指导意义。鉴于此,本文以南方红壤区具有代表性的江西省余江县为研究区,基于该地区1982年和2007年两个采样时期的土壤采样数据,通过经典统计、地统计和栅格运算等方法,分析了全县的土壤pH的时空变异特征,并对比了不同时期各土壤类型、土地利用方式之间的土壤pH

异同,进而定量评价了自第二次全国土壤普查以来典型红壤地区土壤pH的演变特征,结果可为南方红壤区土壤酸化控制和耕地质量提升提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

余江县(116°41′~117°09′E, 28°04′~28°37′N)处于江西省东北丘陵山区向鄱阳湖平原过渡区域,总面积约927 km²。该地区属亚热带湿润季风气候,光热充足,降水充沛,年均温为17.6℃,多年平均降水量为1758 mm。余江县地形以低丘为主,南北多高丘,其中丘陵面积占78%,平原占22%^[11]。成土母质有红砂岩、第四纪红色黏土、页岩和河流冲积物等;土壤类型以红壤和水稻土为主,约占全县总面积的90%以上,潮土亦有零星分布(江西省余江县土壤普查办公室,1986)。其土地利用以水田、旱地、林地为主,三种土地利用方式分别占总面积的39%、13%和38%(中国土地利用数据库,2005)。该地区主要作物有水稻、油菜、花生、红薯和芝麻等。

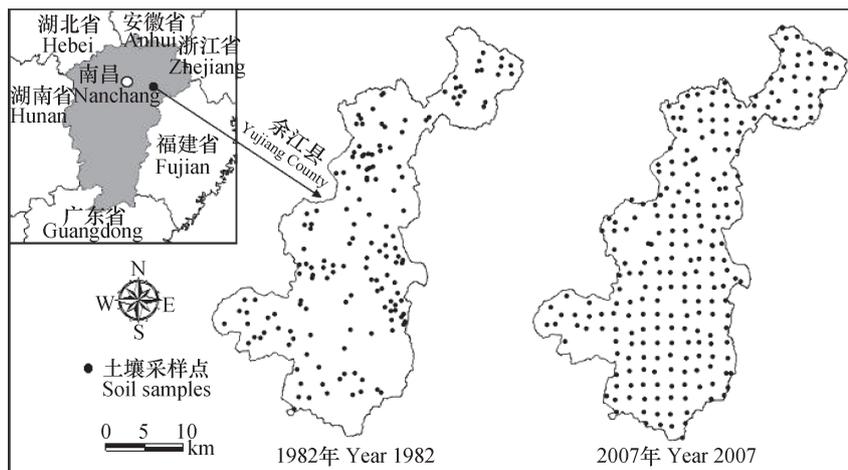


图1 余江县地理位置及土壤采样点分布图

Fig. 1 Location of Yujiang County and soil sampling sites distribution maps in 1982 and 2007

1.2 数据来源

本研究共使用了1982年和2007年两个时期的土壤采样点pH数据。其中,1982年各采样点pH数据源自余江县全国第二次土壤普查结果,由于此次土壤采样点未记录经纬度信息,故本研究根据采样时记录的以重要地物为参照的位置信息及采样

点周围的环境因子信息确定其空间位置,共选用可确定空间位置的土壤表层(0~20 cm)样点154个(图1)。其中水稻土、潮土和红壤三种土壤类型的样点数分别为109、4和41;水田、旱地和林地三种土地利用方式的样点数量分别为100、26和28。2007年余江县土壤调查是基于2 km×2 km网

格进行的系统采样, 采样点位于各网格中心位置附近, 共得到表层(0~20 cm)土壤样品236个。其中水稻土、潮土和红壤三种土壤类型的样点数分别为143、5和88; 水田、旱地和林地3种类型样点数分别为153、40和43个。两个时期的土壤采样点均是在大约100 m²的范围内采集3~5个土壤样品, 经混合均匀后用四分法取大约1 000 g土样带回实验室进行预处理, 同时记录采样点周围的相关环境信息。两个采样时期的土壤pH均采用电位法(水土比2.5:1)进行测定^[12]。

1.3 土壤pH的空间预测和时间演变

两个采样时期的余江县土壤pH空间分布均采用Kriging内插方法得到。该方法将土壤pH数据视为区域化变量, 以半方差函数为基本工具, 对未采样区域的土壤pH进行最优无偏估计, 其原理及相关公式见有关文献^[13]。两个时期的土壤pH空间插值的不确定性采用预测RMSE值进行评价, 该值通过采样点的交叉检验(Cross-validation)获得。为表征1982—2007年期间土壤pH时间变异特征, 本研究将两个时期的土壤pH空间预测图进行栅格叠

加运算, 得到研究区两时期土壤pH变化图, 进而对pH变化情况进行分段统计及对比。

1.4 数据统计分析

两采样时期的土壤pH数据统计分析使用SPSS 19.0, 半方差函数及理论模型拟合利用地统计学软件GS⁺ 9.0, 两时期的土壤pH空间插值图及栅格叠加运算是在ArcGIS 9.3下完成。

2 结果与讨论

2.1 不同采样时期的土壤pH总体统计特征

1982年和2007年的土壤pH统计结果如表1所示。1982年全县土壤pH均值为5.66, 最小和最大值分别为4.90和6.30, 极差为1.4。而2007年pH均值仅为4.74, 较1982年降低了0.92个pH单位, 最小和最大值分别为3.93和6.28, 极差为2.35, pH变化范围较1982年出现大幅增加。从pH变异系数来看, 两时期的pH均为低等变异强度, 但2007年的变异强度高于1982年, 说明经过近25年来演变, 土壤pH数据的波动性呈增加趋势。

表1 1982年和2007年土壤采样点pH描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil pH data of soil sampling sites in 1982 and 2007

年份 Year	样点数 Sample size	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	方差 SD ¹⁾	变异系数 CV ²⁾	偏态系数 Skewness	峰度系数 Kurtosis
1982	154	4.90	6.30	5.66	0.31	0.05	-0.29	-0.54
2007	236	3.93	6.28	4.74	0.46	0.10	0.77	0.92

注: 1) 标准差; 2) 变异系数。下同 Note: 1) Standard deviation; 2) Coefficient of variation. The same below

2.2 不同时期各种土壤类型和土地利用方式的土壤pH

从两采样时期各土壤类型和各土地利用方式的土壤pH来看, 所有土壤类型和土地利用方式均出现不同程度的下降。从土壤类型来看(表2), 1982年潮土pH最高, 达到5.98, 其次是水稻土(5.69); 而红壤pH最低, 仅为5.52。2007年潮土、水稻土和红壤的pH分别为4.96、4.80和4.64, 分别较1982年降低了1.02、0.89和0.90, 降幅为17.1%、15.6%和15.9%。罗明^[14]研究了红壤区1982—2000年期间多种土壤属性的变化, 也指出红壤区土壤pH整体呈下降趋势, 这与本研究的结果一致。从1982—2007年共25年期间各土壤类型pH数据分析可以得出, 潮

土的pH降幅略高于水稻土和红壤, 该结果与郭治兴等^[3]在广东省的研究结果有所差异, 其认为由于潮土具有较强的酸缓冲性能, 故潮土酸化程度低于其他土壤类型, 这仅是从土壤本身的自然属性加以理解, 有学者指出土壤开发利用方式及其相应人为管理措施的影响对土壤pH的影响更为重要^[15], 同时所在区域的酸沉降强度也不容忽视^[16]。此外, 余江县红壤和水稻土的pH变幅较为接近, 这表明作为全县最主要的两种土壤类型—水稻土和红壤, 尽管其土壤水分条件和酸碱缓冲能力存在差异, 但近些年在土壤自然过程、人为管理措施及区域酸沉降等条件的共同作用下, 两者均出现快速酸化, 且酸化速度整体上未出现较大差异。

表2 余江县1982年和2007年各土壤类型pH统计

Table 2 Statistics of soil pH data in 1982 and 2007 in Yujiang County relative to soil type

土壤类型 Soil types	1982年 Year1982		2007年 Year 2007		
	样点数 Sample size	均值 ± 标准差 Mean ± SD	样点数 Sample size	均值 ± 标准差 Mean ± SD	较1982年变化 Change from 1982
水稻土Paddy soil	109	5.69B ± 0.29	143	4.80a ± 0.27	-0.89
潮土Alluvial soil	4	5.98A ± 0.26	5	4.96a ± 0.08	-1.02
红壤Red soil	41	5.52C ± 0.32	88	4.64b ± 0.45	-0.88

注：不同大写字母表示1982年各土壤类型间pH值差异显著 ($P < 0.05$)；不同小写字母表示2007年各土壤类型间pH差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The different capital letters represent significant difference of pH among the various soil types in 1982 ($P < 0.05$)；the different small letters represent significant difference of pH among the various soil types in 2007 ($P < 0.05$)

从水田、旱地和林地三种主要土地利用方式来看(表3)，1982年水田的土壤pH最高，为5.74，其次是旱地，为5.55，而林地的pH最低，仅为5.47。2007年水田、旱地和林地土壤的pH分别降至4.82、4.72和4.54，较1982年分别降低了0.92、0.83和1.0，降幅分别为16.0%、15.0%和18.3%。从分析结果可以看出：一方面，林地的土壤pH在两采样时期均略低于水田和旱地土壤，姬钢^[17]也有相近的研究结果，这可能是由于林地较大的凋落量及根系生物量，提高了林地凋落物的分解速率^[18]，从而分解产生更多酸性物质并加速土壤酸化；同时林下土壤微生物量和碳源代谢能力更高，微生物较强的呼吸作用，也可促进土壤酸化现

象^[19]。另一方面，从水田和旱地两种主要耕作类型来看，水田长期处于还原状态有利于酸碱缓冲调节，其土壤pH理应高于旱地土壤，本研究区两采样时期的水田和旱地土壤均符合这一规律。但需要指出的是，在同等酸沉降条件下，由于水田是余江县最重要的耕地类型和农业收入来源，为保持水稻高产，长期保持较高的化肥施用量，特别是高强度的氮肥施用加快了水田土壤的酸化速度^[20]，这可能是水田土壤pH大幅降低的重要原因，导致2007年的水田pH较1982年的下降速率均高于旱地红壤。可见，改善包括施肥措施在内的农业管理模式已成为该地区缓解土壤酸化、保持农业持续发展的迫切需要。

表3 余江县1982年和2007年各土地利用方式pH统计

Table 3 Statistics of soil pH data of in 1982 and 2007 in Yujiang County relative to land-use pattern

土地利用 Landuse	1982年 Year 1982		2007年 Year 2007		
	样点数 Sample size	均值 ± 标准差 Mean ± SD	样点数 Sample size	均值 ± 标准差 Mean ± SD	较1982年变化 Change from 1982
水田Paddy field	100	5.74A ± 0.27	153	4.82a ± 0.28	-0.92
旱地Dry land	26	5.55B ± 0.32	40	4.72a ± 0.44	-0.83
林地Forest land	28	5.47B ± 0.39	43	4.47b ± 0.59	-1.00

注：不同大写字母表示1982年各土地利用方式间pH值差异显著 ($P < 0.05$)；不同小写字母表示2007年各土地利用方式间pH差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The different capital letters represent significant difference of pH among the various land-use patterns in 1982 ($P < 0.05$)；the different small letters represent significant difference of pH among the various land-use patterns in 2007 ($P < 0.05$)

2.3 不同时期的土壤pH空间分布特征

基于两时期土壤采样数据，通过Kriging方法

得到的pH空间分布如图2所示。从整体上看，两时期余江县北部山区和部分南部丘陵区的pH均较

低，这与该地区林地较多和部分旱作坡耕地的存在有较大关系。中部低丘陵地区是该县主要的农业耕作区，水田和旱地交错分布，其中水田面积比例较大，由于水田长时间处于淹水状态，土壤透气性差，土壤中的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等离子氧化而释放出 H^+ 速率较慢，故其土壤pH整体高于旱地和林地土壤^[21]。该县南部地区的土地利用方式从1982年到2007年经历了一定的波动，20世纪70~80年代为增加耕地，该地区部分丘陵山区的林地被开垦为耕地，到90年代中后期在国家政策调整的背景下，在保留部分条件相对较好的耕地外，其余坡耕地开始退耕还林，这些地区又恢复林地植被，利用方式的转变带来管理措施的不同，导致该地区土壤pH也随之出现波动，这在图2中余江县南部地区土壤pH变化中得到反映。

从土壤pH插值图的面积分段统计结果（图3）来看，两采样时期的土壤pH分布区间存在较大差异。其中，1982年土壤pH主要分布在5.50~5.75和5.75~6.00两个区间，分别占全县面积的65.72%和

22.40%，仅有8.60%的面积pH低于5.5，按照我国土壤酸碱度分级标准^[2]，该时期全县近90%区域处于微酸性土壤等级。而2007年土壤pH主要分布在4.50~4.75和4.75~5.00两个区间，其面积比例分别为48.74%和32.54%，此外pH低于4.50的面积比例也达到12.8%，这说明该区域土壤整体酸化程度较1982年大大提高，除了一部分地区已成为强酸性土壤外，其余的大部分地区土壤为酸性且已接近强酸性等级。

2.4 不同时期的土壤pH变化特征

通过对两时期土壤pH空间预测图的栅格叠加运算得到了全县土壤pH变化图（图4）。由图中可以看出，1982年至2007年全县绝大部分地区pH呈现降低趋势，其中余江县中北部地区的土壤pH降低幅度相对较大，降幅达到了0.8~1.2个pH单位，这与该地区的林地分布广、局部有一定数量的坡耕旱地分布有关。而西南部局部地区的pH值降幅为0.4~0.8个pH单位，这与该地坡耕旱地分布较为集中有一定关系。从1982年至2007年共25年的时间来看，全县整体出现了较大幅度的降低，大部分地区的降低幅度在0.8~1.2个pH单位，其中在中北部和中东部的局部地区降低幅度超过1.2个pH单位。

基于栅格叠加运算的pH变化面积比例和平均变化值如表4所示。从变化结果来看，全县土壤pH平均降低了0.97，其中降幅超过1.2个pH单位的面积占比为9.25%，而降幅为0.8~1.2个pH单位和0.4~0.8个pH单位两区间的面积比例最高，分别为73.82%和15.46%，两者之和为全县面积的89.28%，数据表明全县土壤pH整体大幅降低。虽然近些年在当地农业管理部门的宣传和指导下，农户采取了一定缓解土壤酸化的管理措施，但从结果来看，这些措施并未能明显遏制土壤酸化趋势。分

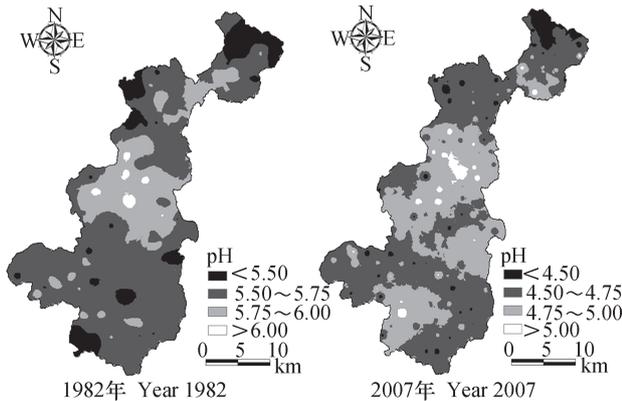


图2 余江县1982年和2007年土壤pH空间分布图
Fig. 2 Spatial distributions of soil pH in 1982 and 2007 in Yujiang County

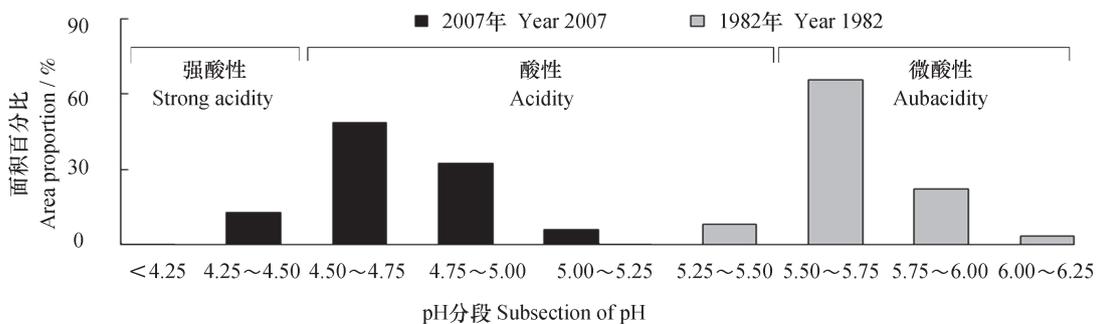


图3 余江县1982年和2007年不同时期土壤pH分段统计
Fig. 3 Segmented statistics of soil pH in 1982 and 2007 in Yujiang County relative to time period

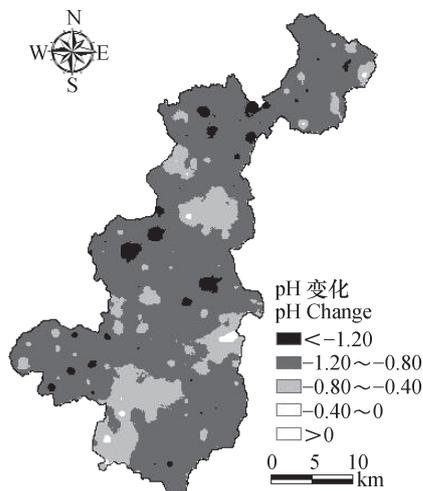


图4 余江县1982年—2007年土壤pH变化分布图

Fig. 4 Spatial variation distribution of soil pH with time period in 1982—2007 in Yujiang County

析结果表明,南方红壤区的各土壤类型和土类利用方式的pH均表现为快速下降,这对该地区今后的农业生产造成的影响不可忽视,需要引起农业生产部门的重视。

2.5 红壤酸化原因及对区域农业生产和生态环境的影响

土壤通常对酸碱有一定的缓冲能力,在自然条件下其酸化速度非常缓慢。已有研究表明,红壤区近些年的土壤酸化主要与农业管理与大气酸沉降有较大关系^[3]。其中土壤管理措施中的施肥影响较大,我国自20世纪80年代开始大量使用化肥,且施肥量逐年增加,其中氮肥施入量最多,氮肥的大量施用对土壤pH影响较大,成为红壤区土壤酸化的重要原因,且随着氮肥的用量和施用年限的增加,土壤酸化程度逐渐加剧。刘绍贵等^[21]研究表明,余江县每公顷农田化肥总施用量由1982年的277.12 kg增加至2002年的607.00 kg,其中氮肥施用量自1982年的150.82 kg增加至2002年的234.47 kg,并呈逐年增加趋势,在作物对氮素吸收过程中会释放出较多的 H^+ ,进而造成土壤酸化。另一方面,酸沉降加速了红壤酸化进程,目前我国南方红壤丘陵区大部分

处于酸雨控制区,江西省属于世界三大酸雨严重区域^[22],其中余江所属的鹰潭地区又是江西省酸雨较突出地区。何纪力等^[23]对江西省1985年至1999年的气象监测数据统计发现,江西省历年酸雨pH平均值最小的地区为鹰潭市,pH低至4.17;叶永红等^[24]对鹰潭地区的多年酸雨数据统计表明,2007年鹰潭地区降水的pH仅为4.07,较2002年大幅降低,可见长时间的酸雨对余江县土壤酸化的影响亦不容忽视。

余江县土壤自第二次土壤普查以来快速酸化,对区域农业生产及生态环境造成较大威胁。首先,作物均存在较适宜其生长的pH范围,当pH超出其所能忍受的范围时,作物的生长就会受到影响:一方面,作物对Ca、Mg、P、K等营养元素吸收的减少,造成其生长不良^[25];另一方面,土壤pH下降可使土壤中Al、Mn、Fe及Cu、Ni等元素的溶解度大幅度提高,进而可导致作物对某些营养元素的过剩吸收而中毒^[26]。其次,大多数土壤微生物均对酸较为敏感,对土壤pH有较高要求,酸性较强的土壤对微生物的活动很不利,将会导致土壤中微生物数量减少且活性受到抑制,进而会影响到土壤有机质的分解和土壤中碳、氮、磷、硫的循环,这显然对于作物的生长十分不利。再者,土壤酸化必然会造成区域水体酸化,酸化水体的恢复则需要一个漫长的过程,这不仅对有限淡水资源构成威胁,也会造成水生生物乃至区域河流和湖泊生态系统的破坏^[2,10]。可见,由于红壤地区土壤的pH本来就偏酸性,酸化的进一步发展不仅使土壤中养分的供应严重失调,进而造成作物的生长受阻,产量和品质下降,而且对区域生态环境也构成重要威胁。

3 结论

通过1982年和2007年两时期的土壤pH数据,分析了余江县土壤酸度的变化特征。结果表明余江县土壤整体呈快速酸化趋势,1982年土壤pH为5.66,而2007年则降至4.74。从全县三种主要的土

表4 余江县1982年—2007年土壤pH变化区间占全县面积比例

Table 4 Statistics of the soil pH variations in area ratio from 1982 to 2007 in Yujiang County relative to time period

各pH变化区间占全县面积比例						pH变化均值 Average variation of pH
Proportion of each pH variation section to the total area/%						
<-1.2	-1.2~-0.8	-0.8~-0.4	-0.4~0	0~0.4	>0.4	
9.25	73.82	15.46	0.60	0.88	0	-0.97

壤类型的pH变化来看, 潮土pH下降幅度最大, 达到1.02, 水稻土和红壤下降幅度较为接近, 分别为0.89和0.88。余江县主要的土地利用方式中, 林地下降幅度最大, 其次是水田, 而旱地的降幅相对较小。从全县土壤pH变化的空间分布格局来看, 两时期均是北部地区和南部局部地区土壤pH较低, 而中部地区pH相对较高; 从土壤酸化趋势来看, 全县大部分地区土壤pH均出现降低, 其中余江中北部和西南部的部分地区下降幅度较大。从土壤pH变化的面积统计来看, 相对于1982年, 2007年土壤pH降幅的主要分布区间为0.8~1.2, 占全县面积的73.82%, 降幅高于1.2个pH单位的面积比例达到9.25%。按照我国土壤酸碱度分级标准来看, 余江县土壤已从1982年的微酸为主, 变至2007年的大部分地区接近强酸等级, 且部分地区进入强酸状态。可见, 南方红壤区的土壤酸化形势已十分严峻, 将对该地区今后的农业生产和区域生态环境造成严重影响, 亟需引起农业管理部门的重视, 积极采取措施缓解土壤酸化带来的不利影响。

参考文献

- [1] 赵其国. 中国土壤科学战略发展研究的新思路——土壤学战略发展研究的顶层设计与路线图. 生态环境学报, 2013, 22 (10): 1639—1646
Zhao Q G. New ideas of strategic development research of Chinese soil science—Top design and roadmap of strategic development of soil science (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22 (10): 1639—1646
- [2] 曾希柏. 红壤酸化及其防治. 土壤通报, 2000, 31 (3): 111—113
Zeng X B. Acidification of red soils and control methods (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31 (3): 111—113
- [3] 郭治兴, 王静, 柴敏, 等. 近30年来广东省土壤pH值的时空变化. 应用生态学报, 2011, 22 (2): 425—430
Guo Z X, Wang J, Chai M, et al. Spatiotemporal variation of soil pH in Guangdong Province of China in past 30 years (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22 (2): 425—430
- [4] Zhao J, Dong Y, Xie X B, et al. Effect of annual variation in soil pH on available soil nutrients in pear orchards. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31: 212—216
- [5] Wu X, Liu H F, Fu B J, et al. Effects of land-use change and fertilization on N₂O and NO fluxes, the abundance of nitrifying and denitrifying microbial communities in a hilly red soil region of southern China. Applied Soil Ecology, 2017, 120: 111—120
- [6] Wu X L, Wei Y J, Wang J G, et al. Effects of erosion degree and rainfall intensity on erosion processes for Ultisols derived from quaternary red clay. Agriculture Ecosystems and Environment, 2017, 249: 226—236
- [7] Zhang D, Wang X X, Zhou Z G. Impacts of small-scale industrialized swine farming on local soil, water and crop qualities in a hilly red soil region of subtropical China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14: 1—17
- [8] 王明伟. 保护性管理方式对红壤肥力和玉米产量的影响. 南京: 南京农业大学, 2015
Wang M W. Effect of conservation management on red soil fertility and maize yield (In Chinese). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015
- [9] 周琴, 姜军, 徐仁扣. Cu (II)、Pb (II) 和Cd (II) 在红壤胶体和非胶体颗粒上吸附的比较. 土壤学报, 2018, 55 (1): 131—138
Zhou Q, Jiang J, Xu R K. Adsorption of Cu (II), Pb (II), and Cd (II) on colloidal and non-colloidal particles in two red soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2018, 55 (1): 131—138
- [10] 赵其国, 黄国勤, 马艳. 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策. 生态学报, 2013, 33 (24): 7615—7622
Zhao Q G, Huang G Q, Ma Y. The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (24): 7615—7622
- [11] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 等. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. 土壤学报, 2003, 40 (3): 344—352
Li Z P, Zhang T L, Chen B Y, et al. Soil organic matter dynamics in a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40 (3): 344—352
- [12] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法. 北京: 科学出版社, 2012
Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [13] Liu T L, Juang K W, Lee D Y. Interpolating soil properties using kriging combined with categorical

- information of soil maps. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (4): 1200—1209
- [14] 罗明. 低丘红壤区土壤特性时空变异及影响因素研究. 南京: 南京农业大学, 2007
Luo M. Spatio-temporal variation and its influencing factors of selected soil properties of the red soil in low hill region (In Chinese). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007
- [15] 杨东伟. 水田改旱作后土壤性态与土壤类型演变研究. 杭州: 浙江大学, 2014
Yang D W. Evolution of soil characteristics and soil types after land-use conversion from paddy field to upland (In Chinese). Hangzhou: Zhejiang University, 2014
- [16] Guo X, Li H Y, Yu H M, et al. Drivers of spatio-temporal changes in paddy soil pH in Jiangxi Province, China from 1980 to 2010. *Scientific Reports*, 2018, 8 (1): 2702
- [17] 姬钢. 不同土地利用方式下红壤酸化特征及趋势. 北京: 中国农业科学院, 2015
Ji G. Acidification characteristics and trend of red soil under different land uses (In Chinese). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015
- [18] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响. *应用与环境生物学报*, 2003, 9 (4): 346—351
Lin B, Liu Q, Wu Y, et al. Effect of forest litters on soil physical and chemical properties in subalpine coniferous forests of western Sichuan (In Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*. 2003, 9 (4): 346—351
- [19] Wang Y, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Carbon metabolism of soil microbial communities of restored forests in Southern China. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11: 789—799
- [20] Zhu Q C, Liu X J, Hao T X, et al. Modeling soil acidification in typical Chinese cropping systems. *Science of the Total Environment*, 2018, 613/614: 1339—1348
- [21] 刘绍贵, 张桃林, 王兴祥, 等. 江西省余江县土壤肥力变化和驱动因素与对策研究. *土壤通报*, 2006, 37 (5): 869—874
Liu S G, Zhang T L, Wang X X, et al. Driving factors and countermeasure for the temporal-spatial variability of soil fertility in Yujiang County of Jiangxi Province (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (5): 869—874
- [22] 张桃林, 潘剑君, 刘绍贵, 等. 集约农业利用下红壤地区土壤肥力与环境质量变化及调控—江西省南昌市郊区和余江县案例研究. *土壤学报*, 2007, 44 (4): 584—591
Zhang T L, Pan J J, Liu S G, et al. Changes in soil fertility and environmental quality in red soil region under intensive agricultural use and their control—A case study of the suburbs of Nanchang City and Yujiang County in Jiangxi Province (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44 (4): 584—591
- [23] 何纪力, 龙刚, 黄云. 江西省酸雨时空分布规律研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2007
He J L, Long G, Huang Y. Research of the tempo-spatial distribution of acid rain in Jiangxi Province (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2007
- [24] 叶永红, 周迅, 刘林. 江西省鹰潭市地下水水化学类型变化与成因. *桂林理工大学学报*, 2015, 35 (2): 269—273
Ye Y H, Zhou X, Liu L. Evolution and genesis of groundwater hydrochemical type in Yingtan of Jiangxi (In Chinese). *Journal of Guilin University of Technology*, 2015, 35 (2): 269—273
- [25] 余涛, 杨忠芳, 唐金荣, 等. 湖南洞庭湖区土壤酸化及其对土壤质量的影响. *地学前缘*, 2006, 13 (1): 98—104
Yu T, Yang Z F, Tang J R, et al. Impact of acidification on soil quality in the Dongting Lake region in Hu-nan Province, South China (In Chinese). *Earth Science Frontiers*, 2006, 13 (1): 98—104
- [26] 朱祖祥. 土壤学 (上册). 北京: 农业出版社, 1983
Zhu Z X. *Pedology (the first volume)* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1983

Characteristics of Soil pH Variation in Typical Red Soil Region of South China in the Past 25 Years

—A Case Study of Yujiang County, Jiangxi Province

ZHANG Zhongqi¹ MAO Peng¹ YU Dongsheng^{2†} XU Li¹

(¹ School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

(² State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Recent years have witnessed less attention paid on soil acidification in the red soil region of Southern China, though it remains to be one of the main problems in the red soil ecosystem. So it is of great significance to explore temporal-spatial variability of soil pH in designing reasonable measures for agriculture and environmental management in the region. Analysis was done of the data of soil sampling in Yujiang in 1982 and 2007 for spatio-temporal distribution and variation of soil pH in the region during the two sampling periods and trend of the variation in the past 25 years. Results showed that the soil pH in Yujiang County has been obviously declining since the 2nd National Soil Survey. It declined from 5.66 in 1982 to 4.74 in 2007. Among the main types of soils that Yujiang has, fluvo-aquic soil dropped the most or by 1.02 in soil pH, and was followed quite closely by paddy soil and red soil, which did by 0.89 and 0.88 respectively. Among the main land use patterns, paddy field and upland field declined by 1.00, 0.92 and 0.82, respectively. Among the regions of the county, most declined sharply, especially parts in the central-northern and southwestern regions, which accounted for 68.13% and 84.54% of the total land area of Yujiang County, respectively. Compared with 1982, 2007 saw soil pH in the two parts dropping by 0.4 ~ 0.8 and 0.8 ~ 1.2, separately. Furthermore, the county was dominated by weakly-acid soil in 1982, while about 13.0% of the county's soil turned to be strongly-acid in 2007, with the remaining being nearly the same, that is, strongly-acid. All the findings in this study indicate that the soil in Yujiang county, regardless of soil types and land use patterns, declined in pH by a large margin in the 25 years from 1982 to 2007. So the situation of soil acidification is very serious in the county, calling urgently for effective remediation measures.

Key words Soil pH; Spatio-temporal variability; Soil type; Land use; Red soil region

(责任编辑：檀满枝)