

1984—2014 年仪征市农田土壤酸化驱动因素分析

吴政¹, 张富春¹, 刘绍贵¹, 高晖¹, 陈明¹, 范如娟¹, 颜怡¹, 王长松²

(1. 江苏省扬州市耕地质量保护站, 江苏扬州 225101; 2. 仪征市耕地质量管理站, 江苏仪征 211400)

摘要 以仪征市为例, 基于 1984、1994、2005、2014 年仪征市代表性的土壤样品点 pH, 1984 和 2014 年遥感影像数据, 1995—2017 年酸雨频率数据, 1980—2006 年农户施肥数据, 分析 1984—2014 年仪征市农田土壤 pH 时空变化趋势, 并从土地利用方式、酸雨频率和农户施肥行为等 3 方面解析了农田土壤酸化的驱动因素。结果表明: 1984—2014 年, 仪征市农田土壤 pH 显著降低, 呈现酸化趋势, 酸化区域主要集中在仪征市北部和南部; 建设用地扩张占用耕地和道路网络建设、酸雨频率变化、有机肥的施用量减少和化肥施用量的增多是造成仪征市农田土壤酸化的主要驱动因素。

关键词 农田土壤; 酸化; 驱动因素; 仪征市

中图分类号 S153 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)20-0068-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.20.018



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Driving Factors Analysis of Cropland Acidification of Yizheng City from 1984 to 2014

WU Zheng, ZHANG Fu-chun, LIU Shao-gui et al (Yangzhou Station of Farmland Quality Protection, Yangzhou, Jiangsu 225101)

Abstract Taking Yizheng City as an example, based on the representative soil sample point pH values in 1984, 1994, 2005 and 2014, remote sensing image data in 1984 and 2014, acid rain frequency data in 1995-2017, and fertilization data of farmers in 1980-2006, we analyzed the temporal and spatial variation trend of soil pH in Yizheng City from 1984 to 2014, and analyzed the driving factors of cropland soil acidification from three aspects, such as the land use pattern, acid rain frequency, fertilization behavior of farmers and so on. The results showed that from 1984 to 2014, the soil pH of cropland in Yizheng City decreased significantly, showing an acidification trend. The acidification areas mainly concentrated in the north and south parts of Yizheng City. The main driving factors of soil acidification in Yizheng City were the expansion of construction land, the construction of road network, the change of acid rain frequency, the decrease of organic fertilizer application and the increase of chemical fertilizer application.

Key words Cropland; Soil acidification; Driving factors; Yizheng City

土壤酸化是土壤退化的一个重要方面, 农田土壤是农业生产的载体, 是保障粮食生产安全的重要基础。近年来, 工业化和城镇化的发展, 加剧了人类活动与资源环境之间的矛盾, 农田土壤受到人类活动的影响, 呈现酸化的趋势。农田土壤酸化会造成大量营养元素的淋失和土壤肥力下降, 进而严重影响粮食作物生长^[1-2]。我国的农田酸性土壤主要分布在长江以南的广大热带、亚热带地区和云贵川等地, 酸化已经成为制约该区域农田生产力提升的主要障碍因素^[3]。自 20 世纪 80 年代第二次土壤普查以来, 我国开展了县域耕地地力评价、全国测土配方施肥、土壤墒情监测和全国农业污染源普查等行动, 积累了巨量的土壤时空数据^[4]。借助 GIS 技术, 可实现长时间尺度上对农田土壤理化性质的连续监测与空间变化分析, 如李伟峰等^[5]对比分析了江西省 1980—2010 年土壤数据, 结果表明江西省农田土壤总体呈现酸化趋势; 王志刚等^[6]的研究表明, 江苏省 pH 总体空间分布各部位南酸北碱。驱动因素分析有助于回答人类活动对农田土壤 pH 的影响^[7], 并对控制农田土壤酸化提供有针对性的措施与建议。

仪征市是长江下游依江而建的县级市, 优越的地理优势形成了仪征市完善的交通运输网络体系, 为工业化和城镇化的发展提供了基础, 同时长江也为仪征市农业发展提供了水热条件。该研究对比分析 1984—2014 年仪征市农田土壤 pH 的时空变化趋势, 通过收集仪征市的遥感影像、交通规划、环

境监测和农民施肥数据, 探讨影响仪征市农田土壤变化的驱动因素, 为县级尺度农田土壤酸化防控提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 仪征市地处长江三角洲的顶端, 江淮丘陵的尾间, 跨越长江和淮河两大水系, 由谢集三里至古井一线为分水岭, 西界南京市六合区, 东临扬州市邗江区, 北接高邮湖西, 西北与安徽天长市接壤, 南临长江, 与江宁、句容、丹徒隔江相望, 地理坐标为 119°02' ~ 119°22'E、32°14' ~ 32°36'N, 在行政区划上隶属于江苏省扬州市, 下辖 9 个镇。全市地域范围约 857 km² (不包括长江水域)。境内主要地貌类型有丘陵、沙砾石岗地、黄土岗地、河谷平原、沿江平原。区内农业生产以水稻-小麦轮作为主, 一年两熟制, 部分地区实行水稻-油菜轮作。

1.2 数据处理与研究方法

1.2.1 数据来源。 该研究中的数据类型主要包括不同时期的农田土壤样品 pH 数据, 不同时期的遥感影像解译、酸雨监测数据、测土配方施肥数据等, 具体情况如下:

(1) 土壤样品 pH 数据。1984 年土壤 pH 数据来源于第二次土壤普查; 1994 年土壤 pH 数据来源与土壤普查; 2005 年土壤 pH 数据来源于农业部测土配方施肥数据; 2014 年土壤 pH 数据来源于仪征市耕地地力评价数据库。pH 分级参照第二次土壤普查的分级标准与研究区域情况, 分为 3 级: 5.5~6.5 为 1 级, 弱酸性; 6.5~7.5 为 2 级, 中性; 7.5~8.5 为 3 级, 弱碱性。

(2) 遥感影像数据。1984 年遥感影像数据来源于 Landsat 4 TM 数据, 采集日期为 1984 年 10 月 30 日, 由条带号

作者简介 吴政(1977—), 女, 陕西西安人, 农艺师, 硕士, 从事现代农业 3S 技术应用及推广工作。

收稿日期 2019-07-18

120,行编号 38,云量 0.08;条带号 120,行编号 37,云量 0.02 拼接而成。2014 年遥感影像数据来源于 Landsat 8 OLI 数据,采集日期为 2014 年 11 月 18 日,由条带号 120,行编号 38,云量 0.69;条带号 120,行编号 37,云量 19.5 拼接而成。遥感影像数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

(3) 酸雨监测数据。来源于仪征市环境保护局,包括 1995—2017 年的酸雨频率数据。

(4) 农户施肥数据。来源于扬州市耕地质量保护站和仪征市土壤肥力站收集的 1980—2006 年农户肥料投入情况数据和扬州市耕地地力长期监测点位数数据。

1.2.2 研究方法。该研究主要采用的方法为 GIS 空间插值分析和遥感影像解译方法,运用的软件平台为 ArcGIS 10.2, Envi 5.3 和 Sigmaplot 14.0。

(1) GIS 空间插值分析。在 ArcGIS 10.2 中采用 Kring 插值方法,根据 1984、1994、2005、2014 年具有代表性的农田土壤样点 pH,插值得到仪征市 4 个不同时期的 pH 空间分布情况。

(2) 遥感影像解译。从地理空间数据云下载的卫星遥感影像数据已进行了校正,在 ENVI 5.3 软件中,采用监督分类方法,将仪征市的土地利用现状分为耕地、林地、草地、建设用地、水域、未利用地 6 大类,结合百度地图(<https://map.baidu.com/>)和谷歌地图(<http://www.google.cn/maps>)对遥感影像解译结果进行校正。

2 结果与分析

2.1 仪征市农田土壤 pH 时空变化趋势 对比分析 4 个不同时期仪征市农田土壤样品的 pH 化验结果,1984—2014 年仪征市农田土壤 pH 显著降低($P<0.05$),呈现酸化趋势。

(1) 1984 年

(2) 1994 年

(3) 2005 年

(4) 2014 年

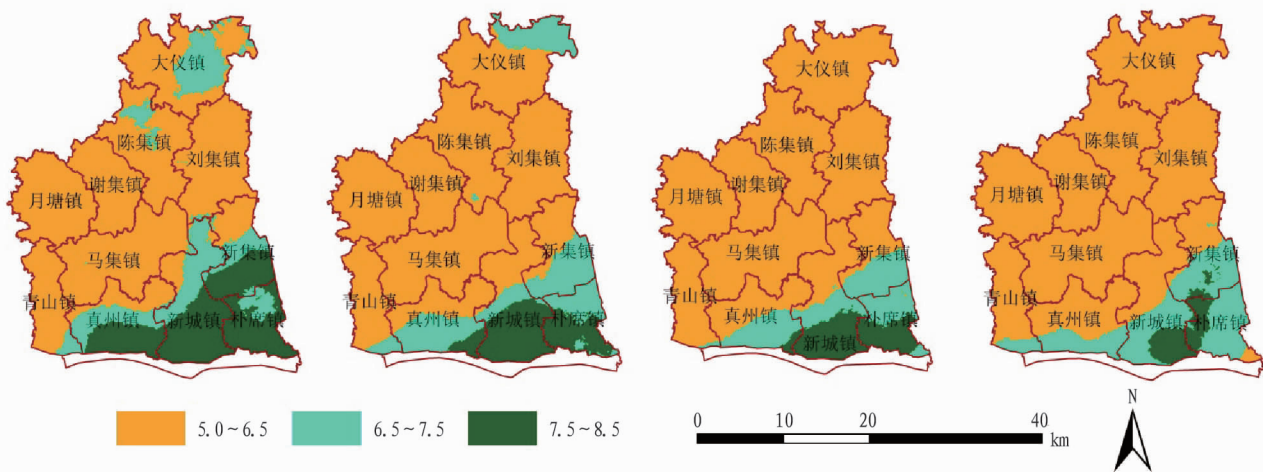


图 1 仪征市不同时期农田土壤 pH 空间分布

Fig.1 Spatial distribution of farmland soil pH in different periods of Yizheng City

1984—2014 年,不同土地利用类型之间的转化面积如表 2 所示。从表 2 可以看出,2014 年建设用地面积为 16 791.73 hm^2 ,其中 10 569.05 hm^2 来自 1984 年的耕地,占比为 62.94%。建设用地主要包括城镇用地、农民村民点、工矿用地和交通设施用地等,这些土地利用方式都会对农田土壤带来污染,如工业“三废”(废渣、废气、废水)排放,生活污水排

表 1 仪征市农田土壤样点 pH 数据描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of farmland soil pH data in Yizheng City

年份 Year	样点数 Number of samples	平均值 Average value	标准偏差 Standard deviation
1984	739	6.62 a	0.80
1994	603	6.43 b	0.71
2005	889	6.15 c	0.80
2014	940	6.08 d	0.67

注:小写英文字母表示在 0.05 水平存在显著的差异

Note: Lowercase English letters indicate significant differences at the 0.05 level

Kring 插值的结果如图 1 所示,4 个不同的时期仪征市农田土壤 pH 主要集中在 5.0~6.5,为弱酸性。1984—1994 年,仪征市北部的大仪镇和东南部的朴席镇,有部分区域 pH 从 6.5~7.5 降低到 5.0~6.5 之间;1994—2005 年仪征市北部的大仪镇农田土壤继续保持了酸化趋势,整个大仪镇农田土壤 pH 都降至 5.0~6.5;2005—2014 年农田土壤 pH 变化主要集中在仪征市南部的真州镇、新城镇和朴席镇,3 个乡镇都出现了部分农田土壤酸化的现象。总体来说,1984—2014 年,仪征市农田土壤酸化区域出现在北部和南部,分别为大仪镇、真州镇、新城镇和朴席镇。

2.2 土地利用对农田土壤酸化的影响 土地利用方式体现了人类活动对土地资源的开发利用过程,遥感影像解译的结果如图 2 所示。总体来说,1984—2014 年仪征市主要的土地利用变化情况表现为:①建设用地扩张是建立在占用耕地的基础上进行的;②对比 1984 年,仪征市在 2014 年已建立了较为完整的南北方向和东西方向的交通网络体系。

放、汽车尾气排放中大量的硫化物和氮化物等^[8]。

在 ArcGIS 10.2 中对比分析 30 年间仪征市建设用地地情况、建设用地扩张占用耕地情况、交通基础设施情况、农田土壤 pH 等级变化情况,如图 3 所示。图 3(a)反映了 1984—2014 年,仪征市建设用地总规模和建设用地占用耕地情况,北部的大仪镇、南部的马集镇和真州镇是建设用地总面积大

且建设用地占用耕地面积大的乡镇;图3(b)表明,2014年仪征市已建立起完整的陆路运输网络,从东西和南北方向贯穿整个仪征市,交通网络类型包括高速公路、国道、省道和铁路,同时仪征市南部的长江,也为仪征市提供了水路运输条件,其中北部的大仪镇、南部的马集镇和真州镇是重要的陆

路运输枢纽;图3(c)结果表明,1984—2014年,农田土壤pH降低级别表示农田土壤酸化情况,酸化情况主要出现在北部的大仪镇、南部的真州镇、新城镇。综合分析图3,建设用地扩张与农田土壤酸化具有较高的空间分布吻合度。

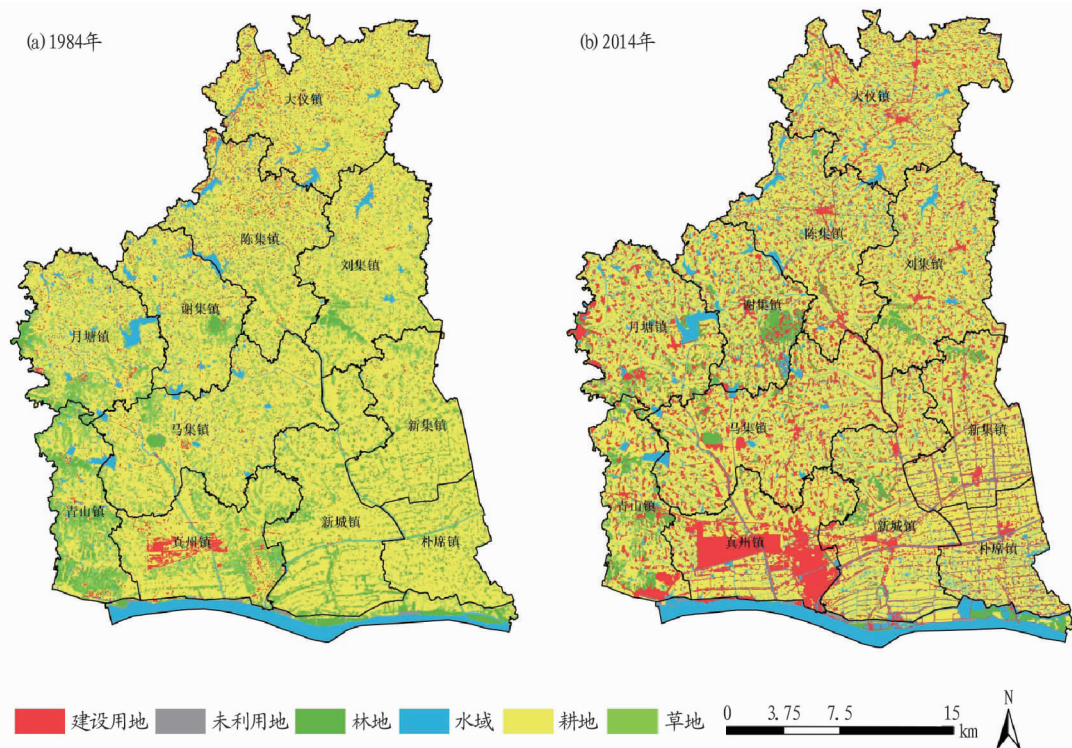


图2 1984和2014年仪征市土地利用空间分布

Fig.2 Spatial distribution of land use in Yizheng City in 1984 and 2014

表2 1984—2014年仪征市不同土地利用类型之间的面积转化

Table 2 Area conversion between different land use types in Yizheng City from 1984 to 2014

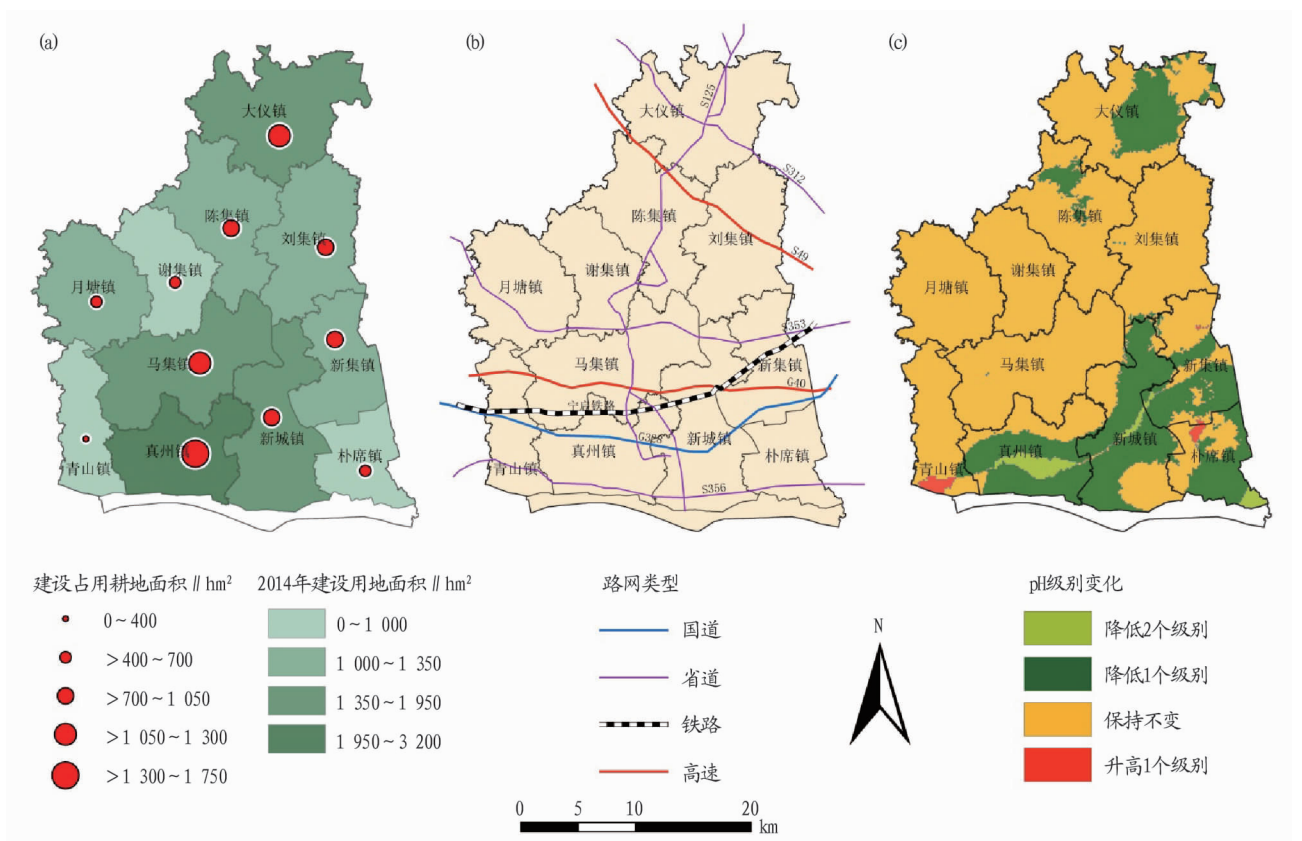
年份 Year	地类 Land use type	2014年						总计 Total
		耕地 Cultivated land	林地 Woodland	草地 Grassland	建设用地 Construction land	水域 Waters	未利用地 Unutilized land	
1984年	耕地 Cultivated land	44 441.31	1 954.35	379.68	10 569.05	7 041.53	73.90	64 459.81
	林地 Woodland	2 875.57	1 141.99	103.54	2 334.40	1 127.47	13.69	7 596.66
	草地 Grassland	4 106.24	880.58	182.23	1 863.24	698.97	11.00	7 742.26
	建设用地 Construction land	2 218.17	75.03	34.35	1 368.94	486.72	5.95	4 189.16
	水域 Waters	1 951.91	108.49	41.89	650.80	3 504.24	19.40	6 276.73
	未利用地 Unutilized land	33.21	2.75	1.21	5.31	32.70	156.28	231.47
	总计 Total	55 626.41	4 163.20	742.90	16 791.73	12 891.63	280.21	90 496.09

2.3 酸雨对农田土壤酸化的影响 酸雨是会加速农田土壤酸化,且造成产量损失^[9]。仪征市环保局的酸雨频率监测数据显示(图4),1996—2005年,仪征市酸雨频率呈现上升趋势,2006—2016年,酸雨频率呈现下降趋势。仪征市酸雨频率上升主要原因在于工业、化工、化石燃料燃烧引起^[9],但随着政府节能减排工作的力度加大,二氧化硫排放量逐年下降,仪征市酸雨频率在“十二五”期间逐渐下降^[10]。图1仪征市农田土壤pH变化的空间分布也显示,1994—2005年,仪

征市农田土壤呈现酸化趋势;但2005—2014年,农田土壤酸化趋势有所缓和,趋于稳定。

2.4 化肥施用对农田土壤酸化的影响 对仪征市农户进行调查显示,1984—2014年仪征市农民施肥的特点如下:一方面是有有机肥施用量逐年减少,另一方面是化肥过量施用。

2.4.1 有机肥施用。从扬州市耕地质量保护站和仪征市土肥站收集的1980—2006年农户施肥调查数据(表3)表明:整体来说,1980—2006年仪征市农户有机肥施用呈现减少趋



注：(a) 1984—2014 年建设用地变化；(b) 2014 年仪征市交通网络；(c) 1984—2014 年仪征市农田土壤 pH 级别变化

Note: (a) Changes in construction land from 1984 to 2014; (b) Yizheng City transportation network in 2014; (c) Changes in pH level of farmland soil in Yizheng City from 1984 to 2014

图 3 1984—2014 年仪征市土地利用类型与农田土壤 pH 级别变化

Fig.3 Changes in land use types and farmland soil pH levels in Yizheng City from 1984 to 2014

势。主要原因在于：一方面，20 世纪 90 年代以来，仪征市农户生猪养殖规模的减少，畜禽粪便来源减少；另一方面，秸秆还田和化肥（复合肥）配施已逐渐取代单纯的使用畜禽粪肥和绿肥，成为农户主要的施肥方式。

2.4.2 化肥施用量。 氨态氮肥中的氨离子在土壤中发生硝化反应并产生 H^+ 是加速农田土壤酸化的主要机制^[11]。孟红旗等^[12] 研究结果表明，施用氮肥（N 处理）和氮磷钾配施（NPK 处理）对比不施肥处理，土壤酸化速率分别为 4.6 倍和 3.2 倍。1988—2014 年仪征市耕地地力长期监测点的数据（表 4）显示，在长期施用化肥的过程中，4 个耕地地力监测点，农田土壤都呈现酸化，pH 降低。

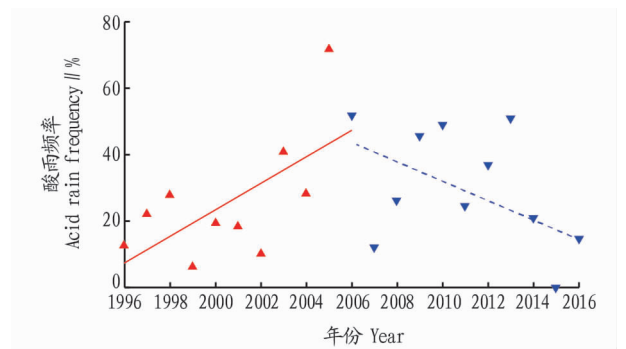


图 4 1996—2016 年仪征市酸雨频率

Fig.4 Acid rain frequency in Yizheng City during 1996—2016

表 3 1980—2006 年仪征市农户肥料投入情况

Table 3 Fertilizer input of farmers in Yizheng City from 1980 to 2006

类别 Category		1980—1985	1986—1990	1991—1995	1996—2000	2001—2006
有机肥 Organic fertilizer	粪尿类	7.95	7.13	7.53	4.13	3.13
	堆沤肥类	32.33	30.98	26.30	14.97	14.75
	绿肥类	22.50	12.13	8.02	—	—
	饼肥类	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03
	秸秆还田类	—	—	1.50	3.75	4.81
	草木灰	0.03	0.03	0.02	—	—
化肥 Chemical fertilizer	复合肥	—	—	0.03	0.07	0.08

t/($hm^2 \cdot a$)

表4 仪征市耕地地力长期定位监测点结果

Table 4 Results of long-term monitoring points of cultivated land fertility in Yizheng City

监测点 Monitoring points	土壤 pH Soil pH			低含量复 合肥用量 Low content of compound fertilizer t/hm ²
	1988年	2005年	下降幅度 Degree of declining//%	
朴席镇田圩村 Tianwei Village, Puxi Town	8.04	7.75	3.61	0.57
谢集镇山北村 Shanji Village, Xieji Town	7.02	6.37	9.26	0.98
马集镇枣林村 Zaolin Village, Maji Town	6.51	6.15	5.53	0.70
大仪镇千棵村 Qiang Village Qiantao Village	6.77	6.21	8.27	0.79

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究分析 1984—2014 年仪征市农田土壤 pH 的空间变化及驱动因素,结果表明:

(1)30 年间,仪征市农田土壤 pH 显著降低,呈现酸化趋势;仪征市北部大仪镇,南部的真州镇,新城镇和朴席镇是主要的酸化区域。

(2)土地利用方式变化、酸雨和农户施肥是影响仪征市农田土壤酸化的主要驱动因素。土地利用方式方面主要体现在建设用地扩张占用耕地和道路网络建设;酸雨方面影响体现在酸雨频率;农户施肥方面主要体现在有机肥的施用量减少和化肥施用量的增多。

3.2 讨论 农田土壤酸化是人为和自然因素综合作用的结果^[5],农田土壤酸化的驱动因素研究可为土壤酸化阻控措施制定提供借鉴意义。农田土壤酸化的阻控措施不仅仅包括

合理调节土地利用方式、严控工业酸性废气排放形成酸雨、科学指导农户施肥,还包括各种酸化改良剂。例如:于天一^[13]研究指出进一步研制并推广环境危害小的中性(碱性)肥料是减少过量施用生理酸性肥料致酸的重要方式。鲁艳红等^[14]研究表明,长期施用化肥条件下配施石灰,可有效缓解稻田土壤酸化。

参考文献

- [1] 张秀,张黎明,龙军,等.亚热带耕地土壤酸化程度差异及影响因素[J].中国生态农业学报,2017,25(3):441-450.
 - [2] 曾勇军,周庆红,吕伟生,等.土壤酸化对双季早、晚稻产量的影响[J].作物学报,2014,40(5):899-907.
 - [3] 袁珍贵,杨晶,郭莉莉,等.酸化对土壤质量的影响及酸化土壤的主要改良措施研究进展[J].农学学报,2015,5(7):51-55.
 - [4] 杭天文,李文西,陈明,等.全国耕地质量大数据平台设计[J].现代农业科技,2016(22):296-298,300.
 - [5] 李伟峰,叶英聪,朱安繁,等.近 30a 江西省农田土壤 pH 时空变化及其与酸雨和施肥量间关系[J].自然资源学报,2017,32(11):1942-1953.
 - [6] 王志刚,赵永存,廖启林,等.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):720-727.
 - [7] 汪吉东,许仙菊,宁运旺,等.土壤加速酸化的主要农业驱动因素研究进展[J].土壤,2015,47(4):627-633.
 - [8] 李继红.我国土壤酸化的成因与防控研究[J].农业灾害研究,2012,2(6):42-45.
 - [9] 张国正,吴洪颜,何小红,等.酸雨对江苏淮北地区大豆产量影响的研究[J].大豆科学,2016,35(2):251-256.
 - [10] 惠学香.扬州地区酸雨现状及成因分析[J].环境监控与预警,2013,5(1):43-46.
 - [11] 徐仁扣,李九玉,周世伟,等.我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施[J].中国科学院院刊,2018,33(2):160-167.
 - [12] 孟红旗,刘景,徐明岗,等.长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J].土壤学报,2013,50(6):1109-1116.
 - [13] 于天一,孙秀山,石程仁,等.土壤酸化危害及防治技术研究进展[J].生态学杂志,2014,33(11):3137-3143.
 - [14] 鲁艳红,廖育林,聂军,等.长期施用氮磷钾肥和石灰对红壤性水稻土酸性特征的影响[J].土壤学报,2016,53(1):202-212.
- (上接第 33 页)
- 参考文献**
- [1] 唐坤,陆继锋.中国烟叶宏观调控体系研究[J].中国烟草科学,2007,28(3):13-15,20.
 - [2] 张永安,周冀衡,黄义德,等.不同时期打顶对上部烟叶物理性状及化学成分的影响[J].安徽农业科学,2006,34(21):5567-5569.
 - [3] 潘和平,杨天沛,王定斌.烤烟不同打顶时期和留叶数对产质量的影响[J].安徽农业科学,2010,38(11):5588-5589,5599.
 - [4] 赵元宽,陈江华.中烟与非·莫技术合作开发优质烟叶的收获和体会(一)[J].烟草科技,2000(7):35-38.
 - [5] 张永安,周冀衡,黄义德,等.我国上部烟叶可用性偏低的原因分析及改善措施[J].安徽农业科学,2004,32(4):783-785,788.
 - [6] PAPPENFUS H D.运用打顶和控制腋芽技术调节烟叶可用性[J].烟草科技,1997(1):39-41.
 - [7] 赵东方.植物生长物质对烤烟生理特性及不同生态区产量品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2008.
 - [8] 王晓宾.带茎烘烤对烤烟上部叶生理生化指标和品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2008.
 - [9] 邵维雄,杨立强,孙艳萍,等.不同留叶数和去除脚叶数对烤烟 KRK26 烟叶产质量的影响[J].安徽农业科学,2011,39(8):4482-4485.
 - [10] DALE HILL,朱显灵,张大鸣.迎接挑战—认识烟叶的质量和可用性[J].烟草科技,1997(1):34-36.
 - [11] 黄一兰,王瑞强,王雪仁,等.打顶时间与留叶数对烤烟产质量及内在化学成分的影响[J].中国烟草科学,2004,25(4):18-22.
 - [12] 张黎明,却志群.不同留叶方式和数目对烤烟生长及产质量的影响[J].河南农业科学,2011,40(9):48-51.
 - [13] 杨虹宇,高家合,唐兵,等.施肥量与留叶数对烟叶产质量及化学成分的影响[J].中国农学通报,2006,22(4):168-170.
 - [14] 高贵,田野,邵忠顺,等.留叶数和留叶方式对上部叶烟碱含量的影响[J].耕作与栽培,2005(5):26-27.
 - [15] 濮瑜,马旭,王恒昊,等.烟草赤星病流行动态与不同打顶时期的相关性[J].湖南农业科学,2010(23):86-89.
 - [16] 戴勋,王毅,张家伟,等.不同留叶数对美引烤烟新品种 NC297 生长及质量的影响[J].中国农学通报,2009,25(1):101-103.