

川南丘陵区近 30 a 来土壤养分时空变化

王珊¹, 廖桂堂², 熊鸿焰³, 罗侯勇⁴, 张玘⁵, 代光银⁵

(1. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641112; 2. 宜宾市农业局, 四川 宜宾 644000;
3. 宜宾市南溪区科技局, 四川 宜宾 644100; 4. 内江市市中区政府, 四川 内江 641000; 5. 内江市农业局, 四川 内江 641000)

摘要: [目的] 通过研究川南丘陵区区域尺度上土壤养分的空间分异特征和时间变化特点, 为该区域的土壤质量管理和农业可持续发展服务。[方法] 基于 GIS 技术和地统计学方法, 分析 1982—2011 年川南丘陵区宜宾市南溪区长兴镇耕地土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾的时空变化情况。[结果] (1) 研究区 5 种土壤指标中, 有效磷的变异系数最高, 其余指标变异系数在 22.18%~37.03%, 属中等程度变异。(2) 结构分析表明, 1982 年时土壤养分的块基比为 25%~75%, 属中等变异, 结构因素和人为因素对其都有影响; 到了 2011 年, 各指标空间自相关性变弱, 人为因素占主导作用。(3) 克里格插值显示, 研究区近 1/2 区域土壤氮素偏高, 全氮和碱解氮含量在高等级及以上面积分别占 39.26% 和 47.94%; 磷素虽略有上升, 但有 52.68% 的区域有效磷含量在 5 mg/kg 以下, 属严重缺磷; 钾素含量在中上等级区域面积减少, 大部分在中下水平, 甚至出现了极低水平。[结论] 经过近 30 a 土地利用后, 整体上研究区土壤养分北高南低, 且呈重氮, 轻磷, 忽钾的态势, 研究区以南要注意控制氮肥的输入, 补充磷、钾肥。

关键词: 川南丘陵区; 土壤养分; 时空变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0289-07

中图分类号: S158.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.054

Spatial and Temporal Change in Soil Nutrients in Hilly Area of Southern Sichuan Basin in Past 30 Years

WANG Shan¹, LIAO Guitang², XIONG Hongyan³, LUO Houyong⁴, ZHANG Ding⁵, DAI Guangyin⁵

(1. College of Geography and Resource Sciences, Neijiang Normal

University, Neijiang, Sichuan 641112, China; 2. Yibin Agriculture Bureau,

Yibin, Sichuan 644000, China; 3. Nanxi Science and Technology Bureau, Yibin,

Sichuan 644100, China; 4. The People's Government of Sichuan Neijiang Shizhong District,

Neijiang, Sichuan 641000, China; 5. Neijing Agriculture Bureau, Neijiang, Sichuan 641000, China)

Abstract: [Objective] The spatial and temporal changes in soil nutrients in hilly area of Southern Sichuan basin was investigated in order to provide support for the soil quality management and the agricultural sustainable development. [Methods] Using the data of the second soil survey in 1982 and the soil fertility monitoring data in 2011, the article analyzed spatial and temporal changes in soil nutrients in Changxing township, Yibin City under the SPSS 17.0 and ArcGIS 9.3 platforms. [Results] (1) Among the five soil indicators, the highest coefficient of variation was available phosphorus, the rest indexes varied between 22.18% to 37.03%, indicating a moderate variation. (2) Semivariogram analyses indicated that the nugget/sill of soil nutrients ranged from 25% to 75% in 1982, showing a medium variation. Both of the structural and human factors had influence on it. In 2011, the spatial autocorrelation of each index was weak, and the human factor played a dominant role. (3) The ordinary Kriging interpolation showed that nearly half of the study area have high nitrogen, and the area with total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen content in high grade and above accounted for 39.26% and 47.94% respectively. Although phosphorus increased slightly, the content of available phosphorus below 5 mg/kg accounted for 52.68% of the area, indicating a serious phosphorus deficiency. The potassium content in the area of an upper-middle class reduced, mostly in the middle and

收稿日期: 2014-04-30

修回日期: 2014-06-20

资助项目: 四川省教育厅项目“四川典型植烟区连作对农田土壤生态环境影响研究”(15ZB0273); 内江师范学院青年教师项目(14ZB05)

第一作者: 王珊(1983—), 女(汉族), 四川省崇州市人, 硕士, 讲师, 主要从事土壤环境质量与可持续发展方向研究。E-mail: wangsh1983@qq.com。

lower levels, or even extremely low levels. [Conclusion] After nearly 30 years of land use, the soil nutrient in the northern area is higher than in the south, with more emphasis on nitrogen and little on phosphorus and potassium fertilizer. More efforts should be devoted to limiting inputs of nitrogen and adding phosphorus and potassium in the south of the study area.

Keywords: hilly area of Southern Sichuan basin; soil nutrients ; spatial-temporal change

了解土壤养分的现状及动态变化,是实施精准农业和防治土壤肥力退化的前提,对有效利用农业投入、保护农业生态环境具有重要意义,同时也为构建生态高值农业产业体系奠定基础^[1]。国内外关于土壤养分的时空变异性分析,主要针对不同区域进行了不同尺度下的研究,如 Córdova 等^[2]以英国洛桑试验站土壤氮为研究对象,对其空间变异性进行了分析;高小红等^[3]以新疆为研究区,探讨了干旱区冲积平原绿洲土壤养分的时空变异特点;刘欣等^[4]、刘晓林等^[5]探讨了黑龙江省巴彦县和云南建水县土壤养分的空间变异性;胡瑞芝等^[6]对比研究了湖南省农田土壤近 30 a 的变化趋势;赵业婷等^[7]、武婕等^[8]利用 GIS 技术分别研究了陕西省兴平市和山东省微山县农田土壤有机质空间变化特点。这些研究揭示了土壤养分时空变异性与土壤类型、地形、地貌、耕层质地、施肥状况、土地利用类型等因素的密切关系。此外,土壤养分的时空变异还是造成作物产量甚至作物品质变异的主要因素^[9-10]。

综上所述,近年来,针对土壤养分的时空变异中,大多学者逐渐倾向于从县域尺度进行研究,而川南丘陵区地势起伏,田块小、多且分散,加之引起土壤养分变化的因素复杂,因此从更小范围对土壤养分情况进行研究,更有利于指导区域土壤质量的提升。宜宾市南溪区是川南地区的传统农业大县,经过近 30 a 的农业发展,尤其是农业产业结构调整,区域内农业开发剧烈,土地利用、施肥水平等人类活动都发生了变化,但对该区域的土壤养分空间变异研究较少。因此,本文以宜宾市南溪区长兴镇为研究对象,利用 GIS 和地统计学相结合的方法,以 1982 和 2011 年的数据为参考,探讨和研究川南丘陵地区区域尺度上土壤养分的空间分异特征和时间变化特点,以期为该区域的土壤质量管理和农业可持续发展服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南溪区位于成渝经济区、长江上游重要港口城市、川滇黔结合部商贸文化和物流中心宜宾市的北部,是该市的“副中心”,面积 704 km²,人口 42 万。全区以低山丘陵为主,地势北高南低,属亚热带湿润

型季风性气候区,年均降雨量 1 072.7 mm,有效积温 9 600 °C,无霜期 351 d。长兴镇地处南溪区东北部,是省级农业暨榨菜标准化示范镇、川南城市菜园和南溪区的后勤保障基地,拥有耕地面积 1 280 hm²,森林覆盖率 29.5%。全镇土壤类型以水稻土和紫色土为主,由侏罗纪遂宁组、蓬莱镇组和沙溪庙组母质发育而成,主要种植水稻、油菜、玉米、榨菜、蔬菜、核桃、麻竹等。

1.2 土壤样品的采集与测试方法

数据来源:全国第二次土壤普查(1982 年)和 2011 年土壤肥力监测资料。采样方法:根据区域内土壤类型、土地利用等因素,在尽量靠近 1982 年原采样处,以 6.67~13.33 hm² 为一个采样单元,在每个采样单元中,用 GPS 记录中心点位置,按“S”形布 15~20 个样点,进行多点混合,取样深度 0—20 cm,共 243 个土壤样品(图 1)。实验室内,测定土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾的含量,测定方法均为常规方法^[11]。



图 1 土壤采样点分布

1.3 数据分析和统计方法

数据分析采用常规统计分析和地统计分析。常规统计分析使用 SPSS 17.0 软件,插值分析使用 ArcGIS 9.3 软件中 Geostatistical Analyst 模块的 Kriging 插值法。

2 结果与分析

2.1 土壤养分常规统计分析

对土壤指标进行常规统计分析(表 1),从均值上可以看出,除速效钾外,1982—2011 年土壤养分均有不同程度的增加,其中有机质、全氮及碱解氮含量明

显提高,增长率分别为 47.16%,57.78%,52.41%;有效磷增幅小,仅为 1.12%。

变异系数表示土壤特性空间变异性的 大小,一般情况下,该值在 0%~10% 之间属于弱变异强度,在 10%~100% 属于中等变异强度,100% 以上属于强变异强度。

表 1 土壤养分含量的描述性统计

指标	有机质/(g·kg ⁻¹)		全氮/(g·kg ⁻¹)		碱解氮/(mg·kg ⁻¹)		有效磷/(mg·kg ⁻¹)		速效钾/(mg·kg ⁻¹)	
	1982	2011	1982	2011	1982	2011	1982	2011	1982	2011
均值	16.88	24.84	0.90	1.42	75.52	115.10	6.26	6.33	104.02	98.05
最大值	27.36	38.90	1.49	2.52	96.00	186.00	29.00	30.30	162.00	237.00
最小值	6.04	9.40	0.31	0.61	35.00	33.90	2.00	0.10	36.00	15.00
极差	21.32	29.50	1.18	1.91	61.00	152.10	27.00	30.20	126.00	222.00
标准差	6.25	6.56	0.33	0.41	17.93	25.53	6.26	5.55	34.25	33.73
变异系数/%	37.03	26.41	36.67	28.87	23.74	22.18	100.09	87.71	32.93	34.40

本研究中,除 1982 年有效磷的变异系数高达 100.09%,为强变异程度外,其余指标范围在 23.74%~37.03%,属中等变异强度。2011 年土壤变异系数在 22.18%~87.71%,也属中等变异强度,该值最大的仍为有效磷,速效钾次之,有机质、全氮、碱解氮变异较小。除速效钾外,变异系数的降幅从大到小分别为:有机质>全氮>有效磷>碱解氮。虽然有效磷、速效钾的变异系数较大,但其降幅却低于有机质及全氮。

2.2 土壤养分空间结构分析

采用 3 σ 准则剔除特值,再利用地统计学原理,对 1982,2011 年土壤养分进行半方差分析,得到各养分最优拟合模型和参数(表 2)。块金值表示由试验误差和小于试验取样尺度引起的变异,其大小直接限制了空间内插的精度。总的来看,所有模型的块金值均

为正值,说明存在由采样误差、短距离变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应。基台值通常表示系统内总的变异,块基比(块金值/基台值)是指由随机性因素引起的空间变异占系统总变异的 比例,常用其表征土壤特性的空间相关程度。若该比值越小,说明由随机部分引起的空间变异性程度越小;相反,则由空间自相关部分引起的空间变异性程度越大。当该比值在 <25%,25%~75% 和 >75% 这 3 种范围内时,分别表明土壤属性空间相关性为强烈、中等和很弱^[12]。根据表 2 可知,除速效钾外,1982 年土壤养分的块基比在 25%~75%,为中等变异;而到了 2011 年,各指标块基比都增高,接近或超过 75%,表明气候、母质、地形等内在结构因子对养分的空间变异性影响变弱,而施肥、耕作措施、种植制度、土地利用方式等人为因素对其影响更强烈。

表 2 不同年份土壤养分半方差函数模型及其相关参数

项目	模型		块金值		基台值		块基比/%		变程/m	
	1982	2011	1982	2011	1982	2011	1982	2011	1982	2011
有机质	高斯	高斯	24.92	31.87	41.76	44.25	59.67	72.02	438.27	599.35
全氮	指数	高斯	0.07	0.15	0.12	0.20	58.33	75.00	602.09	645.19
碱解氮	高斯	高斯	0.06	0.04	0.09	0.05	66.67	80.00	668.76	675.16
有效磷	孔空	高斯	0.21	0.88	0.31	1.04	67.74	84.62	655.54	738.20
速效钾	高斯	球形	0.16	0.13	0.19	0.15	84.21	86.67	611.88	688.76

变程体现了随机变量在空间上自相关的尺度,同时表示了空间内插的极限距离,在此范围内的内插是有意义的。从变程上看,整体范围在 438.27~738.20 m,超过了本研究中土壤样点的平均距离 300~400 m,故各样点在空间变异范围内具有很好的代表性,该取样尺度满足研究需求。

从 1982—2011 年,各养分指标的变程都有不同

程度的增大,在增幅上有机质>有效磷>速效钾>全氮>碱解氮,其中有机质的变程最小,但其增幅却最大。说明长期的耕作、种植制度、施肥等措施对土壤不同属性自相关性的影响不尽相同。

2.3 土壤养分空间分布特征

利用普通克里格插值方法预测未测点数值并进行插值,生成土壤养分的空间变异图(图 2)。

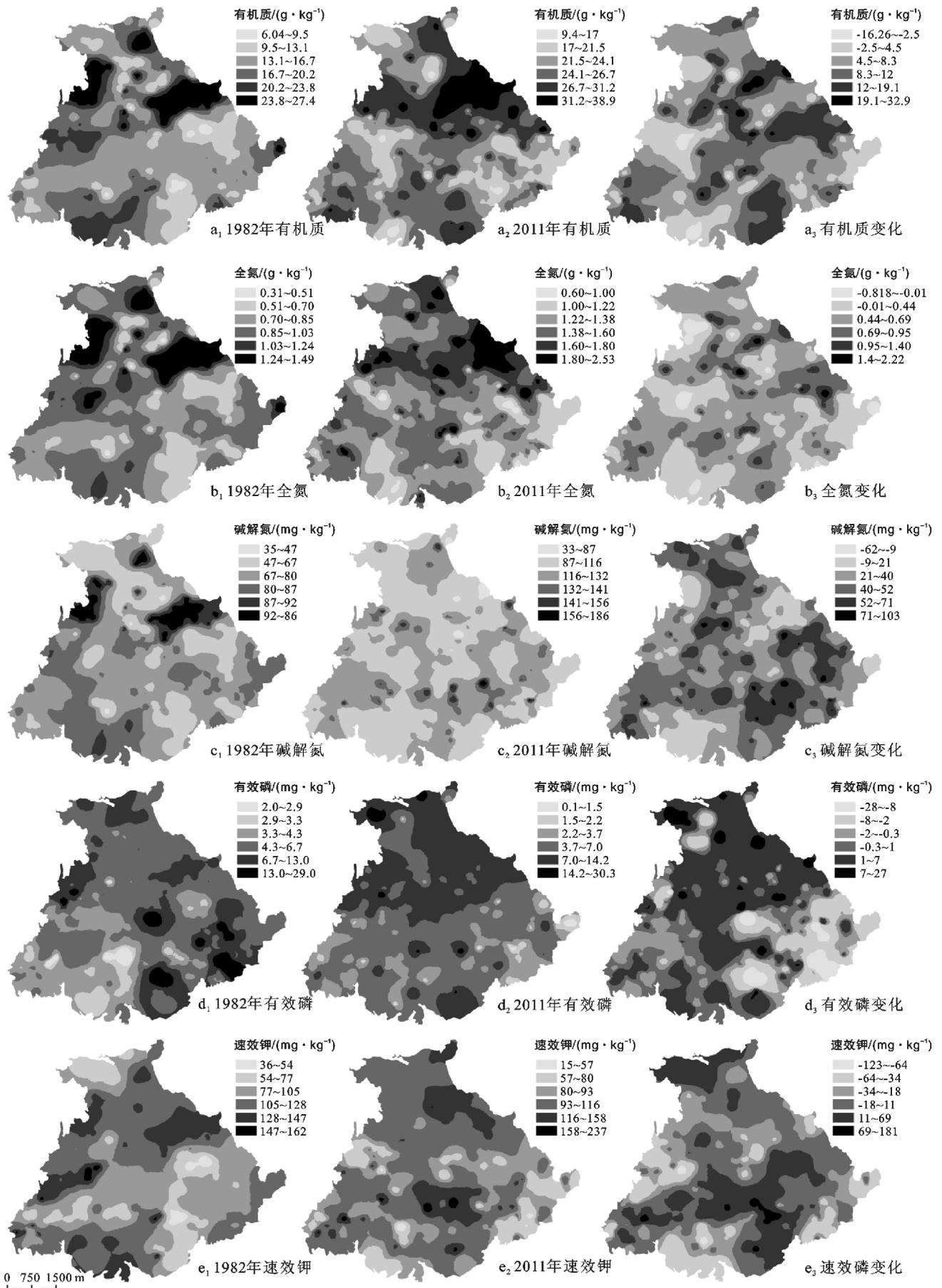


图 2 近 30 a 来土壤养分含量空间分布

从图 2(a₁—a₂)可以看出,研究区 1982 和 2011 年有机质含量分布不一致,1982 年时其含量以研究区以东的庆林村、西部的新庙村和东岩村交界以及西南方的天台村较高,东南方向的东升村含量最低,中部地区含量居中;2011 年时有机质含量高的区域有所增加,主要分布在研究区的东北方向,包括东岩村北、长春村、庆林村和岫云村;含量偏低的范围减小,零星分布在东岩、东升、新生等村落。根据图 2(b₁—b₂),1982 年土壤全氮与有机质空间分布有相似,也以研究区以东的庆林村、西部的新庙村和东岩村交界含量最高,向南降低;2011 年全氮空间分布较有规律,整体呈北高南低的特点,大致以东岩—长春—庆林村一线为界。在碱解氮的变化上(c₁—c₂),1982 年时分布大多呈斑块状,规律性差;但到了 2011 年,高值区域较集中,整体呈片状分布在除天台村以外的东岩—长春—庆林以南区域。有效磷(d₁—d₂)的空间分布在两个时间段有相似,都呈北高南低的特点。1982 年时南北含量的分界线大致也以东岩—长春—庆林村为界,该界限以南区域大部分土壤有效磷含量在 5 mg/kg 以下;到了 2011 年,一方面该分界线有所南移,降到东岩—红德—尖山—新生村一线,另一方

面该界限以南区域有效磷含量进一步降低,普遍在 3 mg/kg 以下。而对于速效钾(e₁—e₂),1982 和 2011 年含量分布较相似,也呈北高南低的特点,但 2011 年空间分布显示研究区以南速效钾含量低于 100 mg/kg 范围较 1982 年有较大增加。

2.4 土壤养分时空变异特征

为了更好地反映出 1982—2011 年近 30 a 间土壤养分含量的增减情况,利用 ArcGIS 软件得到了 1982 与 2011 年差值图(图 2),颜色越深表示差值越大。

从图 2(a₃—e₃)可以看出研究区近 30 a 来土壤有机质、全氮、碱解氮含量增加明显,原来基底差的地方,增幅大;而基底好的区域却相反。有效磷含量在研究区北有大幅度提高,南方区域不仅增幅小,且集中了负增长明显的水口、天台、先锋、新民、新生村等。研究区大部分地方速效钾含量都降低,下降最严重的是位于研究区中部和南部的庆林、新生、长春、先锋、天台等村。图 3 可以反映出两个时间段养分含量的变化情况,但并不能完全说明土壤养分的盈亏,因此,本文依据“全国第二次土壤普查养分分级标准”(表 3),对土壤养分空间分布进行等级划分,得到不同等级的养分所占比例(表 4)。

表 3 全国第二次土壤普查养分分级标准

项目	极高(I)	高(II)	中上(III)	中下(IV)	低(V)	极低(VI)
有机质/(g·kg ⁻¹)	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
全氮/(g·kg ⁻¹)	>2	1.5~2	1~1.5	0.75~1	0.5~0.75	<0.5
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	<30
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30

从表 4 中可知,1982 年研究区分别有 79.84% 和 20.16% 的面积有机质含量处于中级和低级水平,2011 年这一比例变成了 72.02% 和 1.64%,并新增高等级面积占 26.34%。在全氮的含量上,1982 年研究区全氮含量缺失极高(I)和高(II)等级,中、低等级水平所占比例分别为 65.70%,27.27%,还有极小比例含量极低(VI),大部分区域含量适中;2011 年该区域没有了 VI 等级,出现了 I, II 等级,这部分区域占到整体面积的 39.26%。整体来看,中低等级所占面积下降,高等级比例增加。碱解氮变化与全氮相似,1982 年只有中上(III)、中下(IV)和低(V)等级,且以中下水平所占比例最大,但 2011 年出现除极低水平以外的 5 个等级,所占比例最大为高等级,占 42.15%,整个研究区有近 1/2 的面积超过中等水平。

与有机质、全氮、碱解氮一样,1982 年研究区土壤有效磷也缺失 I, II 等级,从 1982—2011 年,处于低水平级所占比例从 42.80% 降到 18.11%,中等及以上水平所占比例从 25.92% 上升到 44.86%,涨幅超过 70%,甚至有少部分研究区域含量达到了高等级。但可以发现,虽然低等级所占面积降幅超过 50%,但处于极低水平的面积增幅也超过了 10%。总体来看,近 30 a 来,该区域有效磷的含量空间变异大,整体增加并不明显,有 1/2 的区域甚至还处于严重缺磷(<5 mg/kg)状态。在速效钾的等级变化上,整个研究区超过 80% 的面积处于中等水平,但从数据的变化可以看出,高含量(II, III)区域的面积在下降,而低含量(IV, VI)区域面积上升,整体多处于中下(IV)水平。

表 4 研究区土壤养分分级比例情况

%

项目	年份	极高(I)	高(II)	中上(III)	中下(IV)	低(V)	极低(VI)
有机质	1982	0	0	30.87	48.97	20.16	0
	2011	0	26.34	51.44	20.58	1.64	0
全氮	1982	0	0	30.99	34.71	27.27	7.02
	2011	9.09	30.17	43.39	13.64	3.72	0
碱解氮	1982	0	0	15.29	60.74	23.97	0
	2011	5.79	42.15	28.10	23.55	0.41	0
有效磷	1982	0	0	6.58	19.34	42.80	31.28
	2011	0	2.46	18.11	26.75	18.11	34.57
速效钾	1982	0	8.64	65.02	16.05	10.29	0
	2011	0	4.94	44.03	45.68	4.53	0.82

3 讨论

影响土壤特性空间变异的因素主要包括母质、地形和人类活动等。但在气候条件一致的区域内,生态系统经过长期自身演替和人为干扰后,由母质等结构性因素的差异引起的空间变异将逐渐减小,而人类活动的干扰对土壤性质有着深远影响^[13]。本研究中,各指标的块基比随时间变化普遍在 75% 以上,也说明了人为因素是该区域土壤养分变化的主要原因。全国第二次土壤普查时,土地利用方式单一,耕地施肥量相对较小,种植密度和土地利用强度低。经过近 30 a 的发展,有机质含量较低的土壤在人为耕作管理下,基础地力出现提升,这主要是外源有机物的输入比过去有所增加,尤其是作物秸秆,由过去的燃料转变为肥料、饲料后再还田,大大促进了土壤有机质品质的改善和数量的提高^[6]。国家实施的测土配方工程使有机肥施入量进一步增加,农田施肥更加合理,也导致土壤中有机质含量的提高。

相关分析表明,土壤全氮、碱解氮的增加与有机质变化分别呈极显著和显著正相关(表 5),说明土壤氮素的提高与有机质增加密切相关;另一方面不同的土地利用方式不仅使土地覆盖变化,还会影响土壤养分的累积。2000 年以后,研究区对种植业内部结构进行了调整,常规的水稻—小麦轮作改为了水稻—油菜/玉米,而后一种种植方式更有利于土壤养分的提高^[14]。此外,从 2005 年起,长兴镇开始大力发展现代农业,东岩—长春—庆林以北地区主要种植核桃,以南则重点发展榨菜、蔬菜和麻竹产业。榨菜和蔬菜都是需肥性大的作物,尤喜氮肥,氮素化肥使用量的增加也提高了土壤中氮的含量。但调查中发现,当地农民常施的氮肥为尿素,这种肥料不能被直接吸收,只有当铵态氮转化为硝态氮时才会被植物利用,若条件不适合,氮的转化就会受限制,从而造成氮的积

累^[15]。田间管理中要根据作物的需肥量和土壤氮素水平,控制氮肥的输入,避免“过剩”氮造成区域水体污染和环境恶化。

表 5 土壤各养分指标间的相关系数

项目	有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾
有机质	—	0.998**	0.894*	0.049	0.380
全氮	0.998**	—	0.891*	0.008	0.383
碱解氮	0.894*	0.891*	—	-0.167	-0.067
有效磷	0.049	0.008	-0.167	—	0.343
速效钾	0.380	0.383	-0.067	0.343	—

注: * 表示相关性显著($p < 0.05$); ** 表示相关性极显著($p < 0.01$)。

化学肥料的施用对土壤中氮、磷、钾的增加具有重要作用^[6],当前土壤有效磷平均含量比第二次土壤普查时略有提高,但变异系数大,研究区以南有近 1/2 区域还处于严重缺磷的状态,说明研究区农田土壤磷素供应的不平衡。出现这种情况,一方面与磷在土壤中的移动性差,当季利用率低有关;另一方面这些区域大部分土壤表现为酸性($pH < 5.5$),个别地方甚至达到强酸性($pH < 4.5$)^[16],对磷的吸附能力较弱,施入土壤中的磷肥大部分转化为固定态磷,有效性差。速效钾的含量普遍下降,与速效磷相同的是也以研究区以南区域下降最为突出。长兴镇土壤主要侏罗纪遂宁组、蓬莱镇组和沙溪庙组母质发育而来,土壤普遍缺乏速效磷和速效钾^[17],加之这些下降的区域也是榨菜和麻竹的主要生产地,榨菜的菜头尤喜沙溪庙组下的生态环境,对其中的磷、钾吸收量大、效应好^[18];而麻竹生长一则对钾的需求量本来就大,二来该地区降水大,钾易通过地表径流损失^[19-20];再有蔬菜的复种指数高,土壤基底差,随着产量的提高,对钾的需求增加,土壤中速效钾的消耗也相应增加^[21],在长期“重氮、轻磷、忽钾”的施肥观念下,并不能满足作

物需要,造成土壤中钾素含量急剧下降。土壤中磷、钾元素的含量可能会成为制约作物生长的一个因素。

4 结论

(1) 1982—2011 年近 30 a 间,研究区土壤养分除速效钾含量略有下降外,其余土壤养分指标均呈上升趋势,尤以氮素含量增长最快。各项指标增加值分别为有机质 47.16%,全氮 57.78%,碱解氮 52.41%,有效磷 1.12%,而速效钾减少了 5.74%。

(2) 5 种土壤指标中,有效磷的变异系数最高,其余指标不同年度变异系数范围在 22.18%~37.03%,属中等程度变异。整体上来看,随着时间的推移,在人为因素的作用下,研究区养分呈明显北高南低的特点,各指标空间分布相似,土壤性质向均一化方向发展。

(3) 经过近 30 a 土地利用后,研究区土壤有机质含量明显提高,以中上等级为主,并出现了高等级;无论是全氮还是碱解氮,都有近 1/2 区域含量超过中上等级,田间管理中这些区域要控制氮肥的输入,防止施肥过量带来的环境压力;而有效磷的含量整体增加并不明显,有近 1/2 的区域还处于严重缺磷的状态;钾素中上及以上等级区域面积减少,大部分集中在中下水平。

(4) 研究区土壤养分要注意减氮、增磷、补钾,根据各村农业发展,并结合作物需肥性、土壤肥力水平及目标产量合理施肥,平衡有机肥和化肥施用量,提高肥料利用率,以达到增产增收的目的。

[参 考 文 献]

- [1] 赵其国,黄季焜,段增强. 我国生态高值农业的内涵、模式及其研发建议[J]. 土壤, 2012, 44(5): 705-711.
- [2] Córdova C, Sohi S P, Lark R M, et al. Resolving the spatial variability of soil N using fractions of soil organic matter[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 147(1): 66-72.
- [3] 高小红,罗格平,陈曦. 干旱区冲积平原绿洲土壤养分的时空变异性研究:以新疆农八师 121 团为例[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 814-820.
- [4] 刘欣,王红梅,廖丽君. 黑龙江省巴彦县土壤养分空间变异规律与格局分析[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 86-90.
- [5] 刘晓林,李文峰,杨林楠,等. 基于 ArcGIS 地统计分析模块的土壤养分空间变异分析:以云南省建水县为例[J]. 土壤通报, 2012, 43(6): 1432-1437.
- [6] 胡瑞芝,王书伟,林静慧,等. 湖南省典型农田土壤养分现状及近 30 年变化趋势[J]. 土壤, 2013, 45(4): 585-590.
- [7] 赵业婷,齐雁冰,常庆瑞,等. 渭河平原县域农田土壤有机质时空变化特征[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 1048-1053.
- [8] 武婕,李玉环,李增兵,等. 南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1596-1605.
- [9] Kravchenko A, Bullock D G. Spatial variability of soybean quality data as a function of field topography(I): Spatial data analysis[J]. Crop Science, 2002, 42(3): 804-815.
- [10] Eghball B, Schepers J S, Negahban M, et al. Spatial and temporal variability of soil nitrate and corn yield: Multifractal analysis[J]. Agronomy Journal, 2003, 95(2): 339-346.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000: 107-108, 147-194.
- [12] 张世文,王胜涛,刘娜,等. 土壤质地空间预测方法比较[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 332-339.
- [13] 司建华,冯起,鱼腾飞,等. 额济纳绿洲土壤养分的空间异质性[J]. 生态学杂志, 2009, 28(12): 2600-2606.
- [14] 陈浮,濮励杰,曹慧,等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 236-245.
- [15] 崔贝,王纪华,杨武德,等. 冬小麦—夏玉米轮作区土壤养分时空变化特征[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2471-2482.
- [16] 王珊,廖桂堂,熊鸿焰,等. 川南地区耕地土壤 pH 时空变化分析:以宜宾市南溪区长兴镇为例[J]. 内江师范学院学报, 2013, 28(2): 52-55.
- [17] 刘世全,张明. 区域土壤地理[M]. 成都:四川大学出版社, 1997: 229-232.
- [18] 李正积,付平都,庞在祥,等. 涪陵榨菜菜头品质与地质背景关系的研究[J]. 四川地质学报, 1994, 14(2): 149-160.
- [19] 林电,黄慧德,程宁宁,等. 麻竹营养规律的研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 364-367.
- [20] 邱尔发,陈卓梅,郑郁善,等. 土壤垦复对山地麻竹林地表养分流失动态的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1017-1021.
- [21] 阿拉腾希胡日,曾希柏,白玲玉,等. 不同土地利用方式对农田土壤养分含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(4): 492-495.