

汪晓燕,郭 熙,赵小敏.近 30 年江西省耕地肥力质量时空演变规律[J].江苏农业科学,2018,46(6):284-288.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.073

近 30 年江西省耕地肥力质量时空演变规律

汪晓燕,郭 熙,赵小敏

(江西农业大学江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室,江西南昌 330045)

摘要:以 1985 年第二次土壤普查和 2012 年测土配方施肥项目收集的大量土壤样品为基础,基于 GIS 技术,选取江西省 1985、2012 年 2 期耕地肥力质量评价相关数据,以 50 m × 50 m 栅格为评价基础单元,以综合指数法为评价方法评价江西省 2 个时期耕地肥力综合质量,分析了从 1985 年至 2012 年江西省耕地肥力综合质量的时空变化特征。结果表明,1985 年耕地肥力质量等级占主要比例的为Ⅳ等地,2012 年耕地肥力质量等级占主要比例的为Ⅱ等地;2 期耕地质量等级分布规律相似,耕地质量等级都是从中部平原地区到赣南山区逐步降低;从 1985 年至 2012 年江西省土壤养分含量普遍提升,使得江西省耕地肥力质量等级普遍提高,较大面积的Ⅲ、Ⅵ等耕地转换为Ⅰ、Ⅱ等耕地,特别是中部地区耕地肥力质量等级提高程度明显。

关键词:耕地肥力质量;时空演变;江西省

中图分类号: S158.5;S159.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0284-05

粮食是关系国计民生和经济安全的重要保障,而粮食的单位面积产量和质量很大程度上受到土壤肥力的影响。所谓土壤肥力指的是土壤能够提供植物生长必需养料的能力,是保障粮食生产的根本^[1]。耕地肥力质量的综合评价在指导农业生产、提供农业管理决策中具有重要的意义。目前,相关学者研究了农田尺度下耕地肥力质量的时空变异特性^[2-4],

收稿日期:2016-10-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361049);土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(编号:0812201202)。

作者简介:汪晓燕(1993—),女,江西浮梁人,硕士研究生,主要从事土地利用规划等研究。E-mail:Wangxian27@163.com。

通信作者:赵小敏,教授,博士生导师,主要从事土壤遥感与信息、土地资源利用等研究。E-mail:zhaoxm889@126.com。

的学习,主动学习一些先进的施肥技术,积极参与政府为发展低碳农业组织的活动,在实现化肥施用碳减排、发展低碳农业的道理上贡献自己的一份力量。

参考文献:

- [1] 谢淑娟. 低碳经济背景下现代农业发展模式探讨[J]. 广东社会科学,2012(5):17-25.
- [2] 王佳宁. 组合模型在我国农用地化肥施用量预测中的应用[J]. 城市地理,2016(22):165.
- [3] 李 禾. 有关专家指出:中国过量使用化肥和农药已到极限[J]. 现代农业装备,2004(12):64.
- [4] 栾 江,仇焕广,井 月,等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报,2013(11):1869-1878.
- [5] 邓明君,邓俊杰,刘佳宇. 中国粮食作物化肥施用的碳排放时空演变与减排潜力[J]. 资源科学,2016(3):534-544.
- [6] 张灿强,王 莉,华春林,等. 中国主要粮食生产的化肥削减潜力及其碳减排效应[J]. 资源科学,2016(4):790-797.
- [7] 洪业应. 基于投入视角的农业碳排放时序特征及因素分解研究——以西南岩溶山区重庆市为例[J]. 上海农业学报,2015

并揭示了耕地肥力属性具有较好的空间相关性,而且与水肥管理措施有关;近年来,在区域尺度上有关耕地肥力质量时空演变的研究较多,主要集中市县域尺度^[5-18],以及在黄淮海冲积平原区^[19]、珠江三角洲^[20]、黄土高原区^[21]、太湖流域^[22]、红壤小区域等小流域地区^[23-27],主要揭示了耕地肥力属性在空间上的演变规律以及区域因素如土壤类型、气候、地形、地貌、土地利用类型、土壤侵蚀等对其空间变异的影响;在省级尺度上开展耕地肥力属性及综合质量时空变化的研究相对较少^[15]。本研究以江西省耕地肥力质量研究对象,在全国第二次土壤普查(1985 年)数据和图件^[28]、农业部“测土配方施肥项目”中 2012 年采集的大量土壤样品的基础上,采用 GIS 技术,分析 1985—2012 年江西省耕地肥力质量的时空变化情况,有助于了解江西省耕地肥力的现状和变化,以期更好

(4):125-129.

- [8] Huang J, Hu R, Cao J, et al. Training programs and in-the-field guidance to reduce China's overuse of fertilizer without hurting profitability[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2008, 63(5): 165A-167A.
- [9] 徐春春. 稻农化肥施用的心态与行为研究[D]. 扬州:扬州大学,2008.
- [10] 李团胜,李函娇,杨才玉,等. 西安地区农作物生产过程中碳排放估算[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2014(3): 400-404.
- [11] 张小有,黄冰冰,张继钦,等. 农业低碳技术应用与碳排放结构、强度分析——基于江西的实证[J]. 农林经济管理学报,2016(6):710-716.
- [12] 张 霞,蔡宗寿,李 欢. 我国化肥生产能源消费现状分析[J]. 现代化工,2014(10):12-15.
- [13] 陈 舜,逯 非,王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J]. 生态学报,2015(19):6371-6383.
- [14] 李 波. 我国农地资源利用的碳排放及减排政策研究[D]. 武汉:华中农业大学,2011.

地指导农业生产,实现耕地的可持续利用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江西省地处 24°29′14″N ~ 30°04′41″N, 113°34′36″E ~ 118°28′58″E 之间,位于中国东南长江中下游南岸。东邻浙江省、福建省,南连广东省,西毗湖南省,北连湖北省、安徽省。全省土地面积 $1.7 \times 10^5 \text{ km}^2$,辖 11 个地级市。江西属亚热带季风性气候区,全年雨量充沛,年均降水量 1 341 ~ 1 940 mm,无霜期长。地貌类型以山地、丘陵为主,山地面积占全省土地总面积的 36%,丘陵占 42%,主要山脉多沿省域边缘分布,北部较为平坦,东西南部三面环山,中部丘陵起伏,成为一个整体向鄱阳湖倾斜而往北开口的巨大盆地。全境有大小河流 2 400 余条,赣江、抚河、信江、修河、饶河为江西五大河流,鄱阳湖是中国第一大淡水湖。主要土壤类型为红壤、水稻土、黄壤和山地黄棕壤。粮食作物以水稻为主,其次为甘薯、小麦,还盛产油菜、油茶、茶叶、黄麻、苎麻和柑橘等。

1.2 数据来源与处理

本研究所采用的数据主要包括:(1)1985 年的土壤属性数据来源于第二次土壤普查资料,将 1985 年 1 : 50 万土壤图数字化后与第二次土地资源调查的耕地分布图进行叠加,获得有机质、全氮、有效磷、速效钾等耕地肥力数据;(2)基于 2012 年测土配方施肥 17 682 个样点的土壤养分数据,采用克里金插值法(Kriging)获得土壤分布图并与耕地分布图斑进行叠加,获得 2012 年耕地肥力数据。

1.2.1 土壤样品理化性质分析方法 有机质采用重铬酸钾-硫酸溶液-油浴法;全氮采用凯氏定氮法;有效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法;速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度法。

1.2.2 统计分析 数据统计分析在 SPSS 17.0 中进行;耕地肥力综合质量指数的空间插值利用克里金插值法,空间插值以及相关的空间分析在 ArcGIS9.3 中进行。

表 1 江西省耕地肥力质量综合评价指标体系及量化标准

指标	权重	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级		6 级	
		指标值	分值	指标值	分值	指标值	分值	指标值	分值	指标值	分值	指标值	分值
有机质(g/kg)	0.35	>40	100	>30 ~ 40	90	>20 ~ 30	70	>10 ~ 20	50	>5 ~ 10	30	≤5	10
全氮(g/kg)	0.25	>2.0	100	>1.5 ~ 2.0	90	>1.0 ~ 1.5	80	>0.75 ~ 1.00	65	>0.50 ~ 0.75	45	≤0.5	20
有效磷(mg/kg)	0.22	>100	100	>40 ~ 100	90	>20 ~ 40	75	>10 ~ 20	60	>5 ~ 10	40	≤5	20
速效钾(mg/kg)	0.18	>200	100	>150 ~ 200	85	>100 ~ 150	65	>50 ~ 100	50	>30 ~ 50	30	≤30	10

1.4.2 评价因子量化处理 由于不同耕地肥力指标实测值之间的量纲不一致,因此,需要对各个评价因子属性值进行量化处理,将指标的实测值转换为分值,以利于不用属性之间的计算与综合。本研究采用赋值法对评价因子进行量化处理,评价因子级别临界值参照第二次土壤普查确定的因子级别划分标准划分为 6 个级别,并按 100 分制标准赋分(表 1)。

1.4.3 耕地肥力质量指数模型 研究表明,耕地综合肥力质量指数模型是一种较优的耕地肥力质量评级模型。因此,本研究利用耕地综合肥力质量模型进行耕地综合肥力质量的计算,计算公式为:

$$LQI = \sum (p_i \times w_i)。$$
 (2)

式中:LQI 为综合耕地肥力质量指数; p_i 为第 i 项耕地肥力质

1.3 半方差函数

半方差函数 $\gamma(h)$ 也被称作半变异函数,它是地统计学中研究土壤变异性的关键函数,是抽样距离 h 样本值方法数学期望的一半,是用来反映土壤性质在不同距离 h 观测值之间的变化,即描述不同土壤性质在空间上连续变异情况的函数,具体计算公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2。$$
 (1)

式中:设 $Z(x)$ 为一随机函数,并满足二阶平稳假设; $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i + h)$ 分别指 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实际观测值 [$i = 1, 2, N(h)$], $N(h)$ 指以 h 为间距的样本成对数目。

$\gamma(h)$ 主要包括 3 个重要的参数:基台值(Sill)、块金值(C0)、变程(Range)。块金值是指最小采样距离下变量的测量误差和变异性;基台值用 $C0 + C$ 表示指半变异函数 $\gamma(h)$ 随着距离 h 的增大而增加到一个相对稳定的常数;而变程指的就是半变异函数 $\gamma(h)$ 由最初的块金值达到基台值的 h 的变化范围。块金基台比($C0/Sill$)和变程对半方差函数的结构具有重要的意义。块金基台比表示空间变异性程度^[29],可以用来度量空间自相关的变异所占的比例,如果块金基台比 < 25% 表明具有强烈空间自相关性,如果块金基台比是 25% ~ 75% 表明具有中等的空间自相关性,如果块金基台比 > 75% 表明具有较弱的空间自相关性。一般认为,较高的空间自相关性说明空间变异受土壤母质、地形、气候等非人为的结构性因素影响强烈,而较低的空间自相关性表明更多的受随机因素的影响,则说明区域内空间变异更多的来自诸如施肥、管理水平、灌溉条件等非结构性随机因素。

1.4 耕地肥力质量指标体系构建

1.4.1 评价指标体系构建及其权重确定 本研究主要选取有机质、全氮、有效磷、速效钾 4 个指标来表征耕地肥力质量^[6,30]。采用层次分析法结合专家打分法来确定各指标的权重,指标体系与权重见表 1。

量评价因子的标准化值; w_i 为第 i 项耕地肥力质量评价因子的权重。 LQI 取值为 0 ~ 100,其值越高,表明耕地肥力质量越高。

根据江西省在 1985 年以后的近 30 年间 LQI 的变化范围,将耕地综合肥力分为 4 个等级,将耕地肥力质量按照 10 分的级差分为 4 个等级,LQI > 80 为 I 级;70 < LQI ≤ 80 为 II 级;60 < LQI ≤ 70 为 III 级;LQI ≤ 60 为 IV 级。

2 结果与分析

2.1 耕地肥力质量各指标的时空变化特征

2.1.1 耕地肥力质量各指标级别的描述性统计 从表 2 可以看出,对比 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量因子级

别,1985 年,土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的平均级别分别为 3.087、3.028、4.620、3.210;2012 年,土壤有机质、全氮、有效磷级别的平均值均有所下降,即质量有所上升,上升将近 1 个级别,而 2012 年速效钾的级别下降 0.49 个级别。从这 2 个时期的变异系数的统计值来看,1985 年有效磷的变异系数最低,为 18.96%,速效钾的变异系数最高,为 37.98%;2012 年,速效钾变异系数最低,为 14.16%,全氮最高,为 27.63%,各耕地肥力质量因子的变异系数均属于中等强度变异。

表 2 不同时期耕地肥力质量因子的描述性统计

年份	肥力质量因子	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数 (%)
1985 年	有机质	1	6	3.087	1.013	32.82
	全氮	1	6	3.028	1.088	35.93
	有效磷	1	6	4.620	0.876	18.96
	速效钾	1	6	3.210	1.219	37.98
2012 年	有机质	1	4	2.350	0.626	26.64
	全氮	1	5	2.360	0.652	27.63
	有效磷	1	5	2.450	0.588	24.00
	速效钾	1	4	3.700	0.524	14.16

2.1.2 耕地肥力质量各指标时空变化特征 根据江西省 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量因子级别,采用克里金插值法得到 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量因子级别的空间分布(图 1)。

从图 1-a、图 1-e、表 3 可以看出,1985 年江西省的土壤

有机质含量大多数处于 3 级(>20~30 g/kg),占全省耕地面积的 31.22%;而 2012 年,土壤有机质含量有了明显提高,将近 60%的耕地中有有机质含量等级在 1 级和 2 级(>30 g/kg),并且有机质含量等级均在 4 级以上,没有明显的低值区域,分布比较均匀。等别提升较大的区域主要为沿江平原区和西部丘陵山地区。

从图 1-b、图 1-f、表 3 可以看出,1985 年江西省耕地中全氮含量大部分处在 3 级(>1.0~1.5 g/kg),占全省耕地面积的 36.56%;至 2012 年,全省耕地土壤全氮含量主要以 2、3 级为主,占将近 90%的耕地面积,并且也没有 6 级的分布;从空间分布来看,中部平原区耕地全氮等级有很明显的提升。

从图 1-c、图 1-g、表 3 可以看出,1985 年江西省有效磷等级主要集中在 5 级,占总面积的 45.06%,等级比较高的区域主要集中在偏北部;2012 年,有效磷等级主要集中在 2 级和 3 级,低量级只有 0.01%的分布。从空间变化来看,从 1985 年至 2012 年,除了少量零星的区域有效磷等级有所下降,大部分地区有效磷含量有明显的上升趋势,特别是中部地区。

从图 1-d、图 1-h、表 3 可以看出,1985 年江西省速效钾等级主要集中在 4 级,占总面积的 36.63%;相比 1985 年,2012 年速效钾含量属于丰富级有所下降,1 级由原来的 11.09%下降到 1.2%,2 级由原来的 21.7%下降到 11.53%。从空间分布来看,2012 年速效钾含量出现了低值区域,主要分布在南岭丘陵山地区。

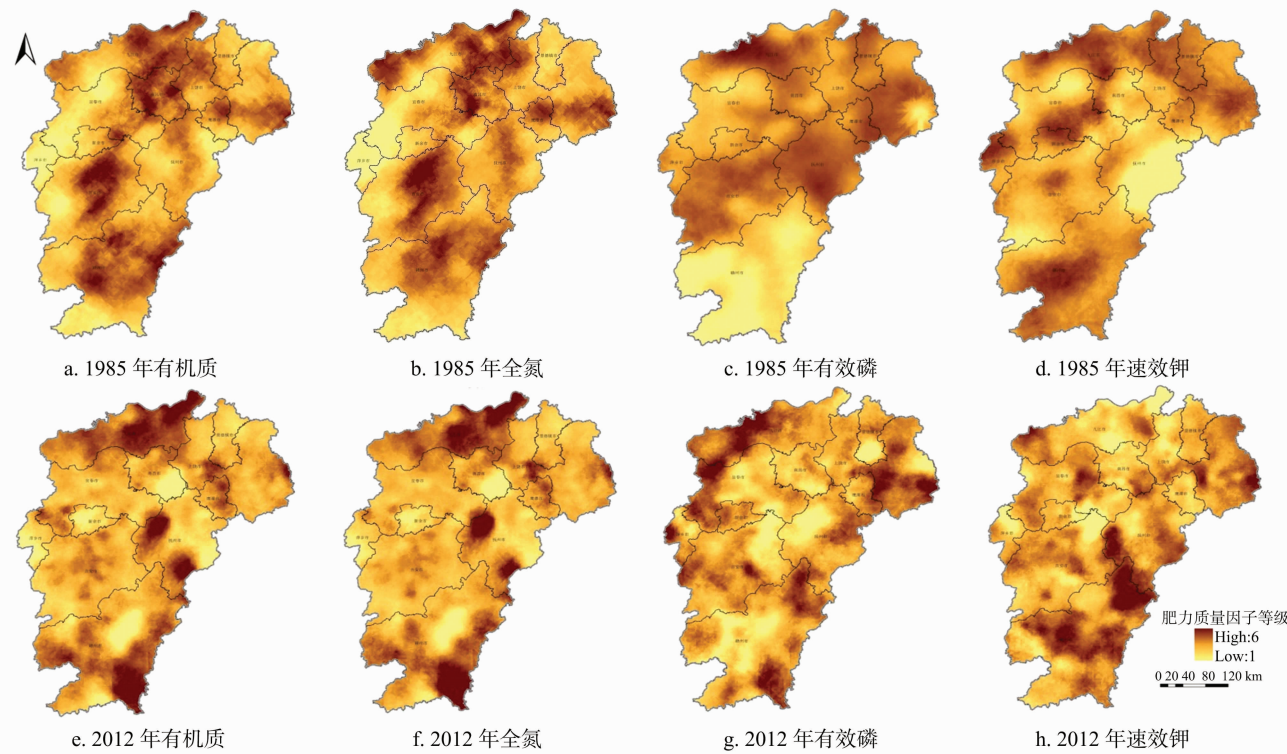


图1 江西省 1985、2012 年土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量分布

2.2 耕地肥力质量综合指数时空变化特征

2.2.1 耕地肥力综合质量的统计特征 江西省 1985、2012 年耕地肥力质量综合指数的描述性统计见表 4。2012 年耕地肥力质量综合指数与 1985 年相比有较显著的提高。平均值、

最大值、最小值均有所提高。在耕地综合肥力状况提高的同时,2012 年的变异系数为 17.64%,小于 1985 年的 18.23%,表明江西省耕地肥力质量的变异减小,样点间的整体差异减小。

表 3 不同时期单因子耕地肥力质量评价等级面积比例汇总

肥力质量因子	等级比例(%)											
	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级		6 级	
	1985 年	2012 年	1985 年	2012 年	1985 年	2012 年	1985 年	2012 年	1985 年	2012 年	1985 年	2012 年
有机质	6.61	6.42	24.40	53.41	31.22	37.49	26.25	2.68	9.44		2.08	
全氮	5.83	5.67	30.89	57.96	36.56	31.69	22.06	4.36	4.03	0.32	0.64	
有效磷	0.55	2.83	2.75	54.66	7.53	41.38	28.02	1.12	45.06	0.01	16.09	
速效钾	11.09	1.20	21.70	11.53	17.89	30.06	36.63	57.21	12.11		0.59	

表 4 江西省 1985、2012 年耕地肥力质量综合指数描述性统计

年份	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)
1985 年	92.5	23.3	66.54	12.13	18.23
2012 年	98.2	25.1	73.47	12.96	17.64

2.2.2 耕地肥力质量综合指数空间变异性 本研究分别对江西省 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量综合指数进行半方差分析,以便了解江西省近 30 年来耕地肥力综合质量空间变异的演变状况,拟合的半方差函数图及模型参数见表 5。从表 5 可以看出,1985、2012 年江西省耕地肥力质量综合指数半方差函数的块金基台比分别为 0.621、0.501,均呈现中等强度空间自相关,2012 年块金基台比相对小于 1985 年,反映出较弱的空间自相关程度。同时通过比较 2 个时期耕地肥力质量的变程可知,2012 年的变程为 16.54 km,小于 1985 年的变程的 23.6 km,呈现出较强的空间变异。表明江西省近 30 年来,耕地肥力质量的空间变异增强,且随着整体耕地肥力水平提高,耕地肥力水平的空间变异更多受到人为管理因素的影响。

表 5 耕地肥力质量综合指数半方差函数的理论模型及相关参数

年份	理论模型	块金值	基台值	块金基台比	变程 (km)	决定系数
1985 年	指数模型	0.012 8	0.033 9	0.621	23.6	0.175
2012 年	指数模型	0.025 6	0.051 3	0.501	16.54	0.852

2.2.3 耕地肥力质量空间分布的演变 根据 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量综合指数,采用克里金插值法得到江西省这 2 个时期的耕地肥力质量综合指数空间分布以及这 2 个时期的耕地肥力质量综合指数变化。从表 6、图 2-a 可知,1985 年江西省耕地肥力质量综合指数以Ⅳ等地居多,占全省总面积的 36.09%;Ⅱ等、Ⅲ等地分别占 27.11%、28.45%;Ⅰ等地只有少量分布,占总面积的 8.35%。2012 年,全省耕地肥力等级有了较大的变化,主要是出现了大幅度的耕地肥力质量等级的提高,从 2012 年江西省耕地肥力质量综合评价结果(图 2-b)和统计结果可以看出,2012 年,江西省耕地肥力质量等级主要为Ⅱ等地,占总耕地面积的 50.92%,Ⅰ等地的面积也大幅提高,占总面积的 23.44%;Ⅲ等地和Ⅳ等地的比例有所下降,特别是Ⅳ等地,只占总面积的 0.33%(表 6),等级较高的耕地占了绝大部分,从空间分布来看,与 1985 年耕地肥力质量等级分布类似,耕地肥力质量高的区域主要为鄱阳湖周边的平原区域和沿浙赣线的平原与盆地,2012 年耕地肥力质量高的区域更为广阔分布。

表 6 江西省耕地肥力质量综合评价结果

级别	1985 年		2012 年	
	面积(hm ²)	比例(%)	面积(hm ²)	比例(%)
Ⅰ等	258 003.50	8.35	724 177.43	23.44
Ⅱ等	837 461.57	27.11	1572 855.68	50.92
Ⅲ等	878 739.34	28.45	781 862.31	25.31
Ⅳ等	1 114 935.91	36.09	10 244.89	0.33

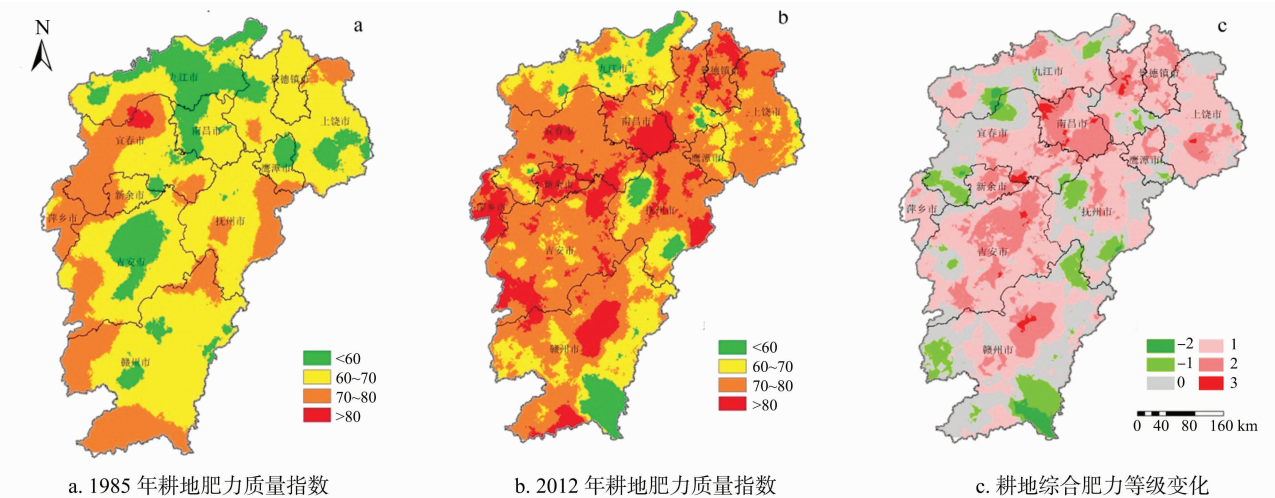


图2 1985、2012 年江西省耕地肥力质量指数演化空间分布

2.2.4 耕地综合肥力等级变化趋势 对江西省 1985、2012 年耕地肥力质量综合等级进行分析,从表 7、图 2-c 可以看出,江西省的耕地大部分出现了耕地肥力质量等级变化,而且

变化的区域中,绝大部分耕地肥力质量等级是提高的,等级提升的耕地面积为 2 013 265.59 hm²,占耕地总面积的 65.17%;提高程度较大的区域是中部平原区和赣东北中低丘

陵区;耕地肥力质量等级降低的耕地面积较少,占总耕地面积 10.37%,零星分布于丘陵和山区;耕地肥力质量等级没有发生变化的耕地面积为 755 716.44 hm², 占总耕地面积的 24.46%,基本呈现比较均匀的分布,有部分集中于赣抚中游河谷阶地与丘陵区。

表 7 江西省耕地肥力质量各等级面积变化情况			
变化类别	等别变化	面积(hm ²)	比例(%)
等别提升	3	296 189.82	9.59
	2	722 901.22	23.40
	1	994 174.55	32.18
无变化	0	755 716.44	24.46
等别下降	-1	279 652.84	9.05
	-2	40 604.65	1.31

3 结论

本研究通过选取土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾 4 个评价因子对江西省 1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量进行综合评价,并根据评价结果对江西省近 30 年土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和耕地肥力综合质量时空变化特征进行了分析。分析结果,1985 年与 2012 年土壤有机质、全氮、有效磷含量等级均有所提升,有机质、全氮大多为 3 级向 2 级转变,有效磷级别提升较大,1985 年有效磷级别主要集中在 5 级,占 45.06%,2012 年 5 级只有 0.01% 分布,主要集中在 2 级,比例为 54.66%,提升的区域主要为中部平原区,而速效钾含量等级却有一定程度的下降,级别为 1、2 级比例由 32.79% 下降至 12.73%,下降区域主要集中在南岭丘陵山地区。1985 年耕地综合肥力等级主要集中在Ⅳ等地,为 36.09%,随耕地综合肥力等别的提升,所占总面积的比例越来越小,Ⅰ等地仅占 8.35%;2012 年Ⅰ等、Ⅱ等地的面积比例达 74.26%,Ⅳ等地面积比例仅占 0.33%。1985、2012 年 2 个时期的耕地肥力质量等级分布规律比较相似,耕地肥力质量综合指数高的区域主要为鄱阳湖周边的平原区域和沿浙赣线的平原与盆地,2012 年,耕地肥力质量综合指数高的区域更为广阔分布。江西省近 30 年来,耕地肥力质量的空间变异增强,且随着整体耕地肥力水平的提高,耕地肥力水平的空间变异更多地受到人为管理因素的影响。

参考文献:

[1] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报,2006,26(3):901-913.

[2] 卢树昌,新一楠,王小波. 天津市农田土壤肥力质量现状及演变分析[J]. 湖北农业科学,2013,52(7):1546-1548.

[3] 刘文杰,苏永中,陈生云,等. 临泽绿洲农田土壤肥力质量时空变化特征[J]. 中国沙漠,2012,32(1):132-139.

[4] 杨玉建,全雪芹,阮怀军. 基于田间数据的土壤肥力质量综合评价[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊2):151-156.

[5] 张玲娥,双文元,云安萍,等. 30 年间河北省曲周县土壤速效钾的时空变异特征及其影响因素[J]. 中国农业科学,2014,47(5):923-933.

[6] 张玲娥. 典型县域耕地肥力质量时空演变规律及驱动力分析[D]. 北京:中国农业大学,2014.

[7] 唐秀美,潘瑜春,秦元伟,等. 滨海集约农区耕地质量演变趋势研

究——以山东省广饶县为例[J]. 自然资源学报,2013,28(2):277-286.

[8] 张贝尔,黄标,张晓光,等. 近 30 年华北平原粮食主产区土壤肥力质量时空演变分析——以山东禹城市为例[J]. 土壤,2012,44(3):381-388.

[9] 蒋端生,曾希柏,张杨珠,等. 湖南宁乡耕地肥力质量演变趋势及原因分析[J]. 土壤通报,2010,41(3):627-632.

[10] 刘燕,刘宇庆,左海军,等. 扬州市邗江区耕地肥力质量状况分析[J]. 安徽农学通报,2009,15(7):99-100,98.

[11] 苏建平,黄标,丁峰,等. 江苏省如皋市 30 年来土壤肥力质量演变分析[J]. 土壤通报,2009,40(1):66-71.

[12] 张庆利,史学正,潘贤章,等. 江苏省金坛市土壤肥力的时空变化特征[J]. 土壤学报,2004,41(2):315-319.

[13] 张连金,赖光辉,孔颖,等. 基于因子分析法的北京九龙山土壤质量评价[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):7-14.

[14] 杜锟,严思维,张广帅,等. 蒋家沟泥石流滩地不同堆积时期土壤肥力质量演变特征[J]. 应用与环境生物学报,2015,21(4):762-769.

[15] 赵小敏,邵华,石庆华,等. 近 30 年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征[J]. 土壤学报,2015,52(4):723-730.

[16] 潘佩佩,王晓旭,杨桂山,等. 经济快速发展地区耕地质量时空变化格局研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(4):65-70.

[17] 刘婵. 上海城郊土壤肥力质量时空变化特征研究[D]. 上海:上海师范大学,2014.

[18] 朱永磊. 河北主要土壤肥力质量时空变异及评价研究[D]. 保定:河北农业大学,2014.

[19] 张世熔,黄元仿,李保国,等. 黄淮海冲积平原区土壤速效磷、钾的时空变异特征[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(1):3-8.

[20] 钟继洪,余炜敏,骆伯胜,等. 珠江三角洲耕地土壤质量演化及其机制[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1917-1922.

[21] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):38-41.

[22] 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.

[23] Jiang H L, Liu G S, Wang R, et al. Spatial variability of soil total nutrients in a tobacco plantation field in central China [J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2012, 43(14):1883-1896.

[24] 韩丹,程先富,谢金红,等. 大别山区江子河流域土壤有机质的空间变异及其影响因素[J]. 土壤学报,2012,49(2):403-408.

[25] 廖超林,刘杰,张杨珠,等. 湘南紫色丘陵耕作区土壤肥力质量空间变异研究[J]. 农业现代化研究,2012,33(4):502-507.

[26] 刘杰,张杨珠,罗尊长,等. 湘南丘岗红壤地区土壤肥力质量指标的空间变异特征[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2012,38(1):96-101.

[27] 王洪杰,史学正,李宪文,等. 小流域尺度土壤养分的空间分布特征及其与土地利用的关系[J]. 水土保持学报,2004,18(1):15-18,42.

[28] 江西省土地利用管理局,江西省土壤普查办公室. 江西土壤[M]. 北京:中国农业科技出版社,1991.

[29] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5):1501-1511.

[30] 邵华,石庆华,赵小敏. 基于 GIS 的江西省耕地土壤质量评价研究[J]. 江西农业大学学报,2008,30(6):1137-1141.