

汉源县耕地利用等别空间分布特征研究

周佳松¹, 夏建国^{2*}, 龙丹² (1. 四川省国土整治中心, 四川成都 610045; 2. 四川农业大学资源学院, 四川成都 611130)

摘要 耕地资源是人类生存和发展的基础性资源, 科学判定耕地空间分布特征, 对促进耕地保护及空间优化布局等方面具有重要意义。选用耕地质量的国家利用等别, 应用空间自相关分析方法探究汉源县耕地利用等别空间分布特征。结果表明: ①汉源县耕地质量状况较好, 耕地利用等别主要分布在7~11等, 7~8等为高等质量地, 占全县耕地面积的10.27%; 9~11等为中等质量地, 占全县耕地面积的89.73%; 高等地主要分布在唐家乡、富春乡、九襄镇等乡镇, 中等地各个乡镇均有分布。②全局自相关结果显示, 全局Moran's I指数为0.648 947, 汉源县耕地质量有显著空间集聚性, 局部自相关结果显示汉源县中部有低—低的低值聚集区和四周有高—高的高值聚集区2个显著相关性区域, 高一低聚集区和低—高聚集区零星分布区域。该研究结果可为调整和补划基本农田、评价更新耕地质量、管理土地资源及农业生产提供科学依据。

关键词 耕地利用等别; 空间自相关分析; 空间分布特征; 汉源县

中图分类号 F301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)08-0084-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Spatial Distribution Characteristics of Cultivated Land Utilization Grade in Hanyuan County

ZHOU Jia-song¹, XIA Jian-guo², LONG Dan² (1. Sichuan Land Consolidation and Rehabilitation Center, Chengdu, Sichuan 610045; 2. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

Abstract Cultivated lands are among the most fundamental resources for the existence and development of mankind. Scientific analysis of the spatial distribution characteristics of cultivated land utilization grade is highly useful in the protection and resource optimization of cultivated lands. Based on the national cultivated land quality grade, the spatial distribution characteristics of cultivated land utilization grade in Hanyuan County was studied by using spatial autocorrelation analysis method. The results showed that ①The cultivated land utilization grade in Hanyuan County was good and mainly distributed from level 7 to 11. Level 7-8 was the high-grade land, accounting for 10.27% of cultivated land area in Hanyuan County, which was mainly distributed in Tangjia, Fuxiang and Jiuxiang towns. Level 9-11 was medium-grade land, up to 89.63% of the cultivated land area in Hanyuan County and distributed in all villages and towns. ②The global autocorrelation results show that the global Moran's I is about 0.648 947, indicating that the quality of cultivated land in Hanyuan County has significant characteristics of spatial agglomeration. The local autocorrelation results show that there are two significant correlation regions, the low-low low value accumulation area in the middle and the high-high high value accumulation area in the surrounding, while the high-low and low-high accumulation areas are scattered sporadically. The research results provide scientific evidence to adjust and rearrange basic farmlands, to evaluate and update the quality of cultivated land, to manage land resources and promote agricultural production.

Key words Cultivated land utilization grade; Spatial autocorrelation analysis; Spatial distribution characteristics; Hanyuan County

耕地是人类赖以生存的基本资源和重要的农业资源。耕地质量可以保证国家粮食安全和农产品质量安全^[1]。从分布范围来看, 我国的耕地质量总体偏低, 呈现优等地分布范围小、数量少, 低等地数量多、分布广泛, 各省域内、省际间的耕地等别存在复杂的分异规律^[2-3]。从空间分布上看, 耕地质量存在空间聚集性差异性的特征。当前, 我国不断推进新型城镇化和工业化进程, 调整农业产业结构, 占用了大量耕地资源^[4]。这致使我国耕地资源数量持续减少, 且减少的大部分属于优质耕地, 加上我国后备耕地资源严重不足, 这些因素加剧了我国经济社会发展与耕地资源保护的矛盾, 严重阻碍我国社会经济的可持续发展。通过开展耕地质量等别监测与评价工作, 我国形成了较齐全的耕地质量数据。对这些数据处理和分析, 掌握耕地资源质量空间分布格局及其动态变化规律, 把握影响空间演变的主要因素, 对优化耕地质量空间布局与合理利用土地等具有重要意义, 同时也为耕地保护和建设提供依据^[5-6]。

众多学者对耕地质量空间分布作出了不同的贡献, 国外学者的研究侧重于较为微观的方面, 主要针对耕地的物理指标、化学指标以及生物指标展开研究^[7-8], 国内学者主要研究

区域尺度大耕地质量等别分布变化、质量空间分布格局、影响因素等方面^[9-10]。总体来看, 目前多是对全国或省级等较大尺度范围的耕地质量空间特性分析研究, 而缺少对县级区域的研究^[11-13]。笔者选用耕地质量等别的国家利用等别, 应用空间自相关分析方法探究汉源县耕地质量等别空间分布格局, 为汉源县调整和补划基本农田、评价更新耕地质量、管理土地资源及农业生产提供科学依据。

1 研究区域概况

汉源县(102°16'~103°01'E、29°05'~29°43'N)辖于四川省雅安市, 位于横断山脉北段的东部边缘, 属川西高原与四川盆地的过渡带。流沙河贯穿南北, 大渡河横贯东西, 形成中部低平, 四周环山的河谷区, 海拔550~4 021 m, 县城海拔低, 由县城向四周海拔逐渐递增, 全县南北长70.1 km, 东西宽71.4 km。东至乐山金口河、眉山洪雅县, 西至泸定县和雅安市石棉县, 南至凉山彝族自治州甘洛县, 北至雅安市荣经县。县城位于富林镇, 距成都市210 km, 距雅安市81 km^[14]。

汉源县耕地质量空间分布特征研究范围是全县行政辖区范围内的所有耕地, 包括水田、旱地。具体范围包括8个乡镇、32个乡镇辖区范围内的耕地, 耕地总面积为28 665.60 hm²。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源 数据来源于2017年汉源县耕地质量等别更新评价数据。

作者简介 周佳松(1978—), 男, 四川眉山人, 高级工程师, 从事国土整治与耕地质量研究。*通信作者, 教授, 从事土地规划与管理研究。

收稿日期 2019-10-05

2.2 研究方法 使用 GIS 软件完成属性数据的编辑、提取、管理以及制作耕地质量利用等别图和离散图;使用 Excel 软件完成等别面积量算统计、制作表格。

2.2.1 GIS 数据管理、提取和空间分析。 GIS 具有数据提取、管理和空间分析的功能,通过提取图件中的属性资料,可以导出 dbf 文件,完成面积的汇总,同时也能为耕地分等提供技术平台,生成耕地质量等别分布图、耕地质量等别离散图,能分析汉源县耕地质量分布特征和空间相关性^[15-17]。

2.2.2 Excel 数据分析。 Excel 有函数和计算的功能,可打开 GIS 空间数据库中输出的 dbf 文件,通过应用其函数和计算功能^[18],计算导出的数据,对数据进行汇总和分析,制作耕地面积汇总表。

2.2.3 空间自相关分析。 空间自相关是指同一分布区域内某些变量之间的相互依赖关系。空间自相关分析能确定某一变量在空间上是否相关及其相关程度。空间自相关度量空间分布需同时根据要素的空间位置和要素属性值度量。最常用空间自相关的指标和方法的是 Moran's I 统计,其统计量一般可分为局部空间自相关、全局空间自相关 2 种^[12]。

(1) 全局自相关。全局空间自相关是对整个区域中地理要素属性值的空间特征描述。全局 Moran's I 指数可分析该区域的总体空间相关性和空间差异的平均程度^[19-20]。故该文选取全局 Moran's I 指数来检测全局空间自相关程度,其计算模型如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: n 为样本量, x_i, x_j 分别为空间位置 i 和 j 上的观测值, w_{ij} 表示空间位置 i 和 j 的邻近关系,当 i 和 j 为邻近的空间位置时 $w_{ij} = 1$;反之 $w_{ij} = 0$ 。全局 Moran's I 的取值介于 $[-1, 1]$ 。标准化 Z 值常用检验全局 Moran's I 指数的显著性水平,其计算公式如下:

$$Z_{\text{score}} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}} \quad (2)$$

式中: $E(I)$ 、 $\text{VAR}(I)$ 分别表示 Moran's I 的期望值和方差。若 Z 值为正且显著时,表明存在正的空间自相关,也就是说相似的观测值(高值或低值)有空间集聚性;若当 Z 值为负且显著时,则表明存在负的空间自相关,并且类似的观测值趋向于分散分布;当 Z 值为零时,不具有相关性,观测值为独立随机分布。

(2) 局部自相关。全局空间自相关是对整个研究区域的总体描述,但由于局部空间的环境、经济、社会等其他因素的不同,其并不能很好的反映,所以需要探讨研究区的局部空间自相关。

在随机分布的假设下,用标准化形式 Z 检验局部 Moran's I 系数的显著性水平。利用 GIS 软件可在 Z 检验的基础上绘制 LISA 图^[21]。

3 结果与分析

3.1 耕地质量利用等别数量分布特征 按照《农用地质量

分等规程》(GB/T 28407-2012),利用 2017 年农用地分等成果及其他相关资料对耕地质量等别评价,取得了汉源县耕地利用等别成果。利用 GIS 软件的数据管理、提取功能,提取图件中的属性资料,生成 2015 年全县耕地国家利用等别图(图 1)。

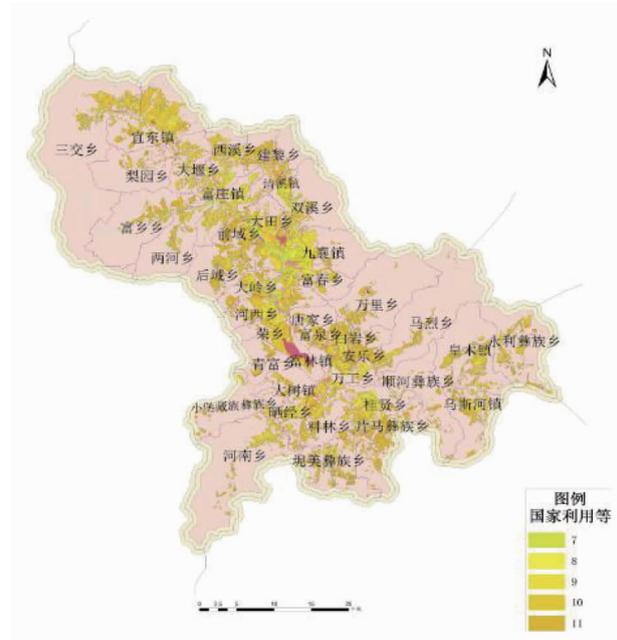


图 1 汉源县 2017 年耕地利用等别

Fig.1 Hanyuan County cultivated land utilization grade in 2017

全国耕地共分为 15 等,按照 13~15 等划分为低等地,9~12 等为中等地、5~8 等为高等地、1~4 等为优等地。汉源县耕地利用等别区间为 7~11 等,为中、高等地。其中以 10 等地分布最多,占全县耕地面积的 44.52%,其面积为 12 706.01 hm^2 ;其次是 11 等地和 9 等地,其面积分别为 5 911.77、7 049.56 hm^2 ,分别占全县耕地面积的 20.62%、24.59%;7 等地和 8 等地较少,其面积分别占全县耕地面积的 8.02%和 2.25%(表 1)。

表 1 2017 年汉源县耕地利用等别面积汇总

Table 1 Summary of cultivated land utilization grade area in Hanyuan County in 2017

国家利用等别 National utilization grade	面积 Area// hm^2	比例 Proportion//%
7	2 352.79	8.02
8	645.47	2.25
9	7 049.56	24.59
10	12 706.01	44.52
11	5 911.77	20.62
合计 Total	28 665.60	100

3.2 耕地质量利用等别区域分布特征 汉源县耕地质量利用等别有明显的差异,乡镇耕地利用等别为 7~11 等,属于中、高等质量耕地(图 1)。汉源县耕地质量等别总体呈中间低、四周高的分布特征,即汉源中部耕地质量高,四周耕地质量低。

如表 2 所示,各乡镇耕地数量差别较大,九襄镇、宜东

镇、桂贤乡、富庄镇耕地数量较多,均大于1 000 hm²,其中以九襄镇耕地数量最多,其余乡镇面积在200~1 000 hm²。从耕地质量利用等别空间分布上来看,汉源县耕地质量9~11等分布广泛,几乎各个乡镇均有分布,只有万工乡无10等地和11等地,西溪乡无11等地。相反7~8等耕地等别分布较为聚集,仅分布在17个乡镇。耕地质量相对较差的区域主要分布在三交乡、建黎乡、片马彝族乡、前域乡、后域乡、富乡乡、坭美彝族乡、永利彝族乡、顺河彝族乡等乡镇,这些乡镇耕地利用等别为9~11等,无7等地、8等地分布。其中三交乡、建黎乡、坭美彝族乡、永利彝族乡、顺河彝族乡耕地质量等别仅为10等、11等,耕地质量相对最差。这些乡镇大多位于高寒山区,大多是高山和坡地,气候潮湿,水源稀少,耕地

数量少,土地贫瘠,土壤质地干硬,自然条件差,土地利用效率和利用程度低。耕地质量较好的区域主要分布在富庄镇、大岭乡、富泉乡、河西乡、西溪乡等乡镇,这些乡镇耕地质量等别虽多为9~11等,但含有少量7等、8等耕地分布。耕地质量相对最好的区域主要分布在九襄镇、唐家乡、富春乡、双溪乡、桂贤乡、大田乡等乡镇,这些区域耕地质量利用等别为7等、8等分布数量相对最多,其中以九襄镇的耕地质量利用等别为7等的数量最多,其耕地质量最好。这些区域内耕地数量多且较为集中,地形坡度较小,临近河流,水利设施比较完善,离建制镇和村庄距离较近,交通便利,土地利用效率和利用程度高。

表2 汉源县耕地利用等别面积分乡镇统计

Table 2 Statistics of cultivated land utilization grade equal area in Hanyuan County

hm²

乡镇名称 Townships	7等 Level 7	8等 Level 8	9等 Level 9	10等 Level 10	11等 Level 11	合计 Total
富林镇 Fulin Township	0.00	0.00	168.78	102.51	1.56	272.86
九襄镇 Jiuxiang Township	1 001.50	81.88	685.38	207.89	220.43	2 197.09
乌斯河镇 Wusihe Township	65.33	1.30	281.30	121.25	185.43	654.61
宜东镇 Yidong Township	29.33	1.58	397.33	1 315.93	278.75	2 022.93
富庄镇 Fuzhuang Township	42.56	61.84	546.64	572.76	11.24	1 235.03
清溪镇 Qingxi Township	0.00	0.00	12.59	341.00	70.22	423.80
大树镇 Dashu Township	0.00	0.00	25.42	166.67	244.03	436.12
皇木镇 Huangmu Township	0.00	0.00	232.86	715.58	36.65	985.09
大田乡 Datian Country	160.31	25.04	346.02	331.68	32.43	895.48
唐家乡 Tangjia Country	206.71	29.46	229.95	161.25	170.20	797.57
富春乡 Fuchun Country	224.17	29.63	111.22	198.55	139.05	702.62
河西乡 Hexi Country	92.74	39.89	397.22	190.01	194.11	913.96
大岭乡 Daling Country	64.51	14.22	178.76	250.89	198.00	706.38
前域乡 Qianyu Country	0.00	0.00	145.68	245.04	424.86	815.58
后域乡 Houyu Country	0.00	0.00	89.20	332.32	314.66	736.18
大堰乡 Dayan Country	0.00	0.00	109.27	363.31	103.18	575.76
两河乡 Lianghe Country	0.00	13.95	44.02	180.12	237.23	475.32
富乡乡 Fuxiang Country	0.00	0.00	13.86	159.06	376.71	549.63
梨园乡 Liyuan Country	0.00	0.00	1.57	99.86	148.09	249.52
三交乡 Sanjiao Country	0.00	0.00	0.00	918.17	28.32	946.49
双溪乡 Shuangxi Country	207.66	131.87	165.89	166.83	5.53	677.79
西溪乡 Xixi Country	40.96	3.32	111.51	678.04	0.00	833.83
建黎乡 Jianli Country	0.00	0.00	0.00	176.64	297.58	474.22
市荣乡 Shirong Country	0.00	0.00	11.53	768.62	20.17	800.32
富泉乡 Fuquan Country	10.48	4.72	120.60	220.57	128.04	484.41
万工乡 Wangong Country	21.02	33.69	247.32	0.00	0.00	302.03
安乐乡 Anle Country	0.00	0.00	35.12	197.72	318.67	551.51
万里乡 Wanli Country	0.00	0.00	0.32	308.51	137.16	445.98
马烈乡 Malie Country	0.00	0.00	84.78	228.91	174.43	488.12
白岩乡 Baiyan Country	25.23	44.47	232.08	251.33	251.09	804.19
青富乡 Qingfu Country	0.00	0.00	7.82	105.15	52.08	165.05
桂贤乡 Guixian Country	145.41	112.67	456.05	428.35	136.55	1 279.03
河南乡 Henan Country	0.00	0.00	88.16	273.34	227.64	589.14
晒经乡 Shaijing Country	8.88	11.60	197.75	250.16	101.95	570.33
料林乡 Liaolin Country	0.00	0.00	82.67	607.47	135.39	825.53
小堡藏族彝乡 Xiaobao Tibetan Yi Country	6.01	4.34	49.02	55.48	87.38	202.23
片马彝族乡 Pianma Yi Country	0.00	0.00	4.08	45.95	814.57	864.59
坭美彝族乡 Nimei Yi Country	0.00	0.00	0.00	518.15	315.08	833.23
永利彝族乡 Yongli Yi Country	0.00	0.00	0.00	407.85	269.75	677.60
顺河彝族乡 Shunhe Yi Country	0.00	0.00	0.00	43.09	161.36	204.44
全县合计 Total	2 352.79	645.47	5 911.77	12 706.01	7 049.56	28 665.60

3.3 耕地利用等别空间分布的相关性分析

3.3.1 耕地利用等别的全局自相关分析。笔者主要运用 Arc GIS 中的 Spatial Statistics 模块计算完成,用 Moran's I 检验汉源县耕地质量是否存在显著的空间自相关,并使用近似正态分布假设来检验其显著性。空间权重是在局域空间自相关分析的基础上,用于度量空间单元之间在位置上的依赖程度^[22]。该研究选择距离权重矩阵参与比较计算。首先作出假设:

H_0 :汉源县耕地质量不存在空间自相关; H_1 :汉源县耕地

质量存在空间自相关。

运用公式(1)(2)对汉源县的耕地质量数据分析,结果如图 2 所示,Moran's I 指数值为 0.648 947,Z 得分为 415.118 970,表明空间分布上存在显著的正相关性,拒绝 H_0 ,接受 H_1 ,即耕地质量存在显著空间聚集性,即低质量等别耕地与低质量等别耕地相邻,反之高质量等别耕地与高质量等别耕地相邻,由此说明汉源县的耕地质量存在较强的空间关联性。

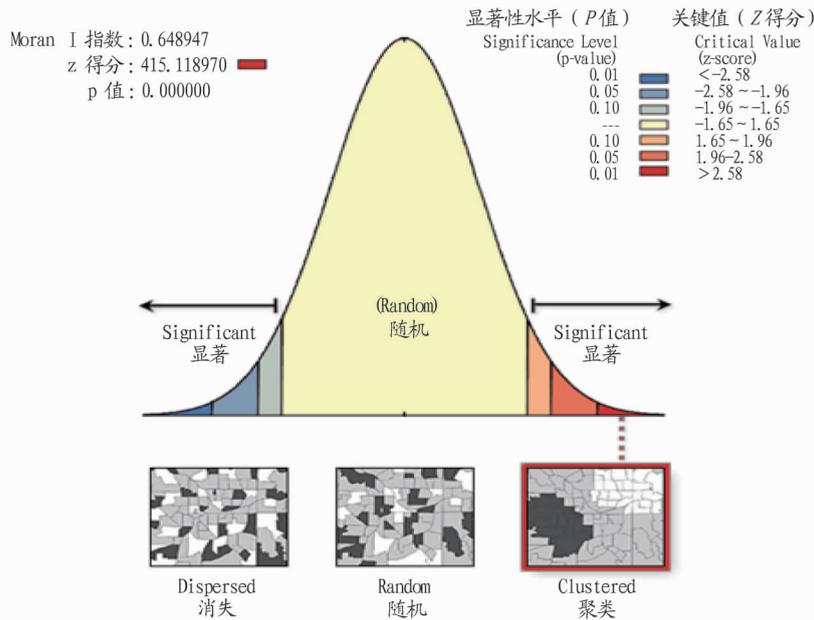


图 2 Moran's I 检验结果

Fig.2 Moran's I index test results

3.3.2 耕地利用等别的局部自相关分析。局部空间自相关是检验具有空间位置某要素的观测值与邻近地区该观测值的空间差异程度,通常用 LISA 聚类图来体现,其目的在于分析全局显著相关的情况下,分析相邻空间单元之间空间变量的相关程度,局部 Moran's I 值是对全局 Moran's I 的分解,反映的是各单元的空间集聚程度。通过计算单元 Moran's I 值,并进行显著性检验,生成局部空间自相关 LISA 聚类分布(图 3)。图 3 中黄色是高一高关联的聚集点,表示该耕地图斑及周围图斑耕地质量利用等别高于全区该观测值的均值,具有较强的空间聚集性;蓝色代表低—低关联聚集点,表示耕地质量利用等别低于全区该观测值的均值,具有较强的空间聚集性;红色和玫红色则是高一低和低—高的关联点,说明这些耕地图斑与周围耕地图斑有较强的空间异质性,空间聚集性不强;而未通过局部 Moran's I 显著性检验的呈灰色,代表具有低空间聚集性。

由图 3 和表 3 可知,汉源县 52.60%的耕地呈无显著空间相关性,这个区域分布较为分散和广泛,各个地区均有分布,多分布在汉源县四周。汉源县耕地有 47.4%具有空间显著相关性,显著相关性主要集中在汉源县中部的乡镇。其中

高一高聚集区的比例最大达 23.71%,分布较为分散,主要分布在前城乡、富乡乡、安乐乡、片马彝族乡等乡镇,有分布在县域四周的空间分布特征。这些是由研究区内中等质量的耕地图斑及其周边耕地质量平均水平中等的耕地图斑组成;其次低—低聚集区比例为 20%,主要分布汉源县中部即在九襄镇、富春镇、大田乡、万工乡、桂贤乡等乡镇,大体趋势是从中部向两边递减,该区域耕地质量等别多为 7 等、8 等,耕地质量高;高一低和低—高 2 个区域的面积总体较小,分别为 2.42%和 0.51%,主要是零星地分布在低—低、高一高 2 种聚集区的附近区域,其空间相关性较小。从表 3 中可得到各聚集区等别面积分布情况,该研究区内高一高聚集区为 10 等、11 等地,且以 11 等较多,利用等别较高,属于中等质量耕地;低—低则主要分布有 7~9 等地,且以 7 等、9 等居多,利用等别较低,质量较好;高一低聚集区为 10 等、11 等地;低—高聚集区为 7~9 等地,多为 9 等地。

4 结论

(1)汉源县耕地质量利用等别分布在 7~11 等,耕地质量总体为中、高等,其中 10.27%的耕地处在高等地水平,89.73%的耕地处在中等地水平,总体耕地质量较好。

表3 LISA 聚类区中等别面积分布情况

Table 3 The distribution of area grades in the LISA clustering region

TYPE	7等 Level 7//hm ²	8等 Level 8//hm ²	9等 Level 9//hm ²	10等 Level 10//hm ²	11等 Level 11//hm ²	合计 Total//hm ²	比例 Proportion//%
高一高 High-High				659.28	6 138.39	6 797.67	23.71
高一低 High-Low				418.30	274.84	693.14	2.42
低一高 Low-High	0.22	3.80	141.70			145.73	0.51
低一低 Low-Low	2 345.45	601.80	3 002.30			5 949.55	20.00
不显著 Not significant	7.12	39.87	2 767.77	11 628.43	636.33	15 079.53	52.60
合计 Total//hm ²	2 352.79	645.47	5 911.77	12 706.01	7 049.56	28 665.60	100.00
比例 Proportion//%	8.02	2.25	24.59	44.52	20.62	100.00	

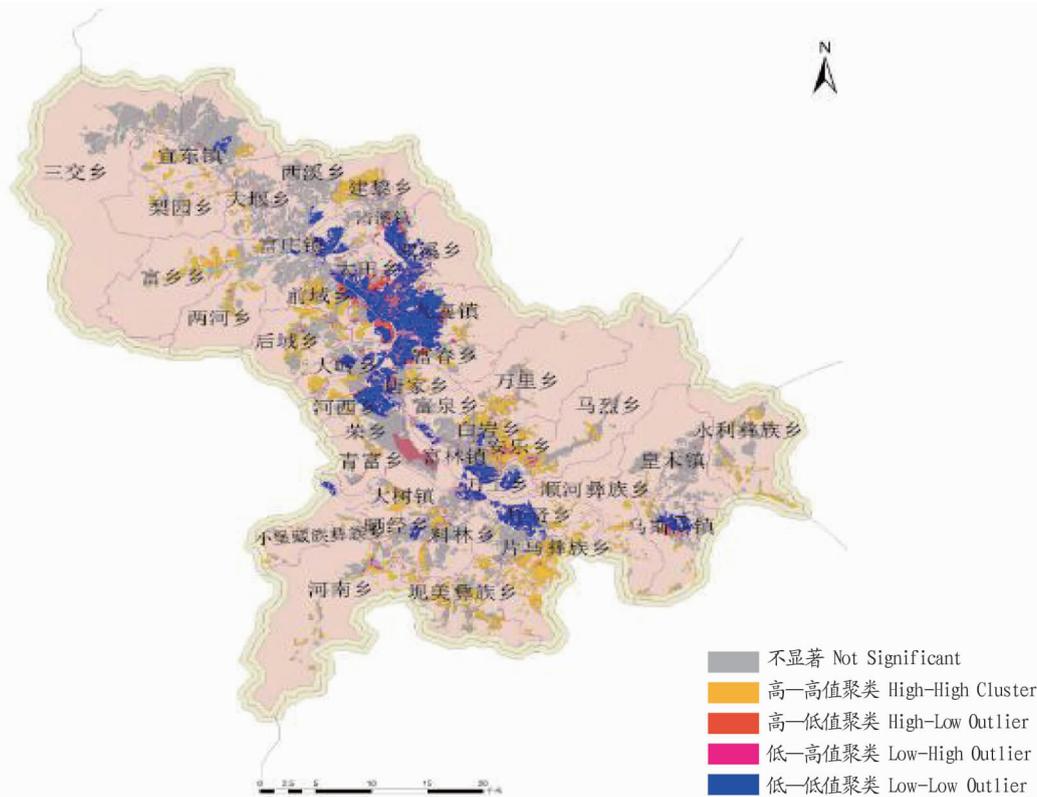


图3 汉源县耕地质量利用等别 LISA 聚类结果

Fig.3 LISA cluster map of cultivated land quality utilization in Hanyuan County

(2)汉源县耕地质量利用等别空间分布不平衡,受地形地貌、土地利用水平和水资源分布影响较大,总体呈现中间耕地质量高、两边耕地质量低的特点,即高等地主要分布在汉源县中部的富春镇、大田乡、九襄镇、万工乡、桂贤乡等乡镇;中等地主要分布在四周的片马彝族乡、前城乡、后城乡、富乡乡、坭美彝族乡、永利彝族乡、顺河彝族乡等乡镇。研究结果与该地区的实际情况相吻合,可为土地资源管理和农业生产提供依据。

(3)全局 Moran's I 值为 0.648 947,汉源县耕地质量具有显著空间集聚性,局部自相关结果显示有中部低—低低值聚集区和四周高一—高高值聚集区两个显著相关性区域,高一低和低—高零星分布区域。这种空间分布特征可为改造中低产田土、评价更新耕地质量、补划和调整基本农田等方面提供依据。

参考文献

[1] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土

壤学报,2012,49(6):1210-1217.

- [2] 王洪波,程锋,张中帆,等.中国耕地等别分异特性及其对耕地保护的影响[J].农业工程学报,2011,27(11):1-8.
- [3] 陈藜藜,宋戈,邹朝晖,等.基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J].资源科学,2016,38(10):1871-1882.
- [4] 谭克均,夏忠敏,韩峰,等.贵州省重点农业园区耕地质量现状及提升对策[J].耕作与栽培,2017(1):42-44.
- [5] 于杰,宁静,董芳辰,等.1950-2013年三江平原东北部耕地分布变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(12):79-86.
- [6] 赵建军,张洪岩,王野乔,等.基于 AHP 和 GIS 的省级耕地质量评价研究:以吉林省为例[J].土壤通报,2012,43(1):70-75.
- [7] GLOVER J D, REGANOLD J P, ANDREWS P K, et al. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington state [J]. Agriculture ecosystems & environment, 2000, 80(1):29-45.
- [8] ZORNOZA R, MATAIX-SOLERA J, GUERRERO C, et al. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties [J]. Science of the total environment, 2007, 378(1/2):233-237.
- [9] 孔祥斌,张青璞.中国西部区耕地等别空间分布特征[J].农业工程学报,2012,28(22):1-7.
- [10] 宋戈,李丹,梁海鸥,等.松嫩高原黑土区耕地质量特征及其空间分异:以黑龙江省巴彦县为例[J].经济地理,2012,32(7):129-134.

(下转第 91 页)

能是斑马鱼持续受到 PFOS 胁迫,导致斑马鱼肌体无氧代谢能力减弱。暴露至第 12 天,0.56、1.67、5.00 mg/L 暴露组 LDH 活性依然显著低于对照组 ($P < 0.05$)。暴露至第 15 天,15.00 mg/L 暴露组与空白组相比出现了显著差异 ($P < 0.01$),各暴露组斑马鱼肌体内 LDH 活性均低于空白组,且随着暴露组浓度的升高,LDH 活性显著降低 ($P < 0.01$),呈现剂量—效应关系。分析原因可能是受到 PFOS 胁迫后,斑马鱼肌体能量代谢增强以应对 PFOS 对肌体造成的损伤,但随着暴露时间的延长,增加能量代谢并不能消除 PFOS 带来的不利效应,且这种效应对斑马鱼肌体造成损伤,致使斑马鱼肌体能量代谢减慢。谢松等^[21]发现,三硝基甲苯对 LDH 活性有抑制作用,与该研究中暴露 9 d 后 LDH 活性变化趋势相近。

3 结论

(1) 在整个试验周期内,PFOS 通过诱导斑马鱼头部 AchE 活性,使乙酰胆碱的数量减少,抑制兴奋的传递从而破坏神经递质系统。与对照组相比,PFOS 对斑马鱼头部 AchE 活性均表现为诱导作用。暴露 9 d 以后,PFOS 对 AchE 活性的诱导作用随着暴露浓度的升高而减弱。

(2) 在暴露前 6 d,PFOS 对斑马鱼体内 LDH 活性表现为诱导作用,从暴露第 9 天到暴露结束,PFOS 对斑马鱼体内 LDH 活性表现为抑制作用,且随着暴露组浓度的升高,抑制作用越明显,呈现剂量—效应关系。PFOS 短时间(暴露前 6 d)暴露可促进斑马鱼能量代谢能力,长时间(暴露第 6 天到试验结束)暴露使斑马鱼无氧代谢能力减弱。

参考文献

[1] 孙诗博,李武,潘小元,等.PFOS 对斑马鱼胚胎发育及 SOD、MDA 和 GSH 含量的影响[J].实用预防医学,2015,22(6):648-651.
 [2] 曹金玲,席北斗,许其功,等.水环境中 PFOA 和 PFOS 的质量浓度分布及其生态毒性[J].环境科学,2011,32(10):2817-2826.
 [3] 陈晓旭,姜声扬.全氟辛烷磺酸神经毒性研究进展[J].环境与职业医学,2017(9):847-851.
 [4] 夏继刚,牛翠娟,孙麓垠.PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应[J].生态学报,2013,33(23):7408-7416.

[5] 黄楚珊,张丽娟,胡国成,等.全氟辛烷磺酸盐和全氟辛酸在水环境及水生生物体内积累的研究进展[J].环境科技,2014,27(5):66-71.
 [6] YAMASHITA N, TANIYASU S, PETRICK G, et al. Perfluorinated acids as novel chemical tracers of global circulation of ocean waters [J]. Chemosphere, 2008, 70(7):1247-1255.
 [7] 郑海,胡国成,许振成,等.东江流域表层沉积物中全氟辛酸和全氟辛烷磺酸含量水平研究[J].农业环境科学学报,2013,32(4):778-782.
 [8] WEI S, CHEN L Q, TANIYASU S, et al. Distribution of perfluorinated compounds in surface seawaters between Asia and Antarctica [J]. Marine pollution bulletin, 2007, 54(11):1813-1838.
 [9] 程艳,崔媛,党志超,等.全氟辛烷磺酸(PFOS)对斑马鱼卵黄蛋白原 mRNA 水平的影响[J].环境科学,2012,33(6):1865-1870.
 [10] 刘小燕,屈艾,胡方方,等.全氟辛烷磺酸钾对小鼠肾脏功能的损伤[J].江苏师范大学学报(自然科学版),2016,34(2):60-63.
 [11] 杨海,令狐文生.PFOA 和 PFOS 去除技术的研究进展[J].化学试剂,2017,39(6):602-606,670.
 [12] 董光辉,张颖花,何钦成,等.全氟辛烷磺酸(PFOS)对小鼠 T、B 淋巴细胞增殖功能和 NK 细胞活性的干扰效应研究[J].生态毒理学报,2009,4(5):641-646.
 [13] 杨生森,郭若冰,杨维才,等.新生鼠 PFOS 低剂量慢暴露对成年后神经行为的影响[J].生态毒理学报,2016,11(2):307-314.
 [14] 夏继刚,李秀明,付世建.PFOS 对中华刺鲃幼鱼爆发游泳及运动后代代谢恢复的影响[J].水生生物学学报,2019,43(2):356-361.
 [15] 李世凯,张健龙,江敏,等.伊维菌素对斑马鱼(*Danio rerio*)生理生化特性的影响[J].安全与环境学报,2014,14(1):300-305.
 [16] 叶东平,陈斌,何正波.乙酰胆碱酯酶的分离纯化及生物学研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(7):3811-3814.
 [17] 岳鑫,杨爱江,徐鹏,等.梯迫对斑马鱼酶活性的影响研究[J].生物技术通报,2019,35(6):107-113.
 [18] GUO X C, ZHANG S N, LU S Y, et al. Perfluorododecanoic acid exposure induced developmental neurotoxicity in zebrafish embryos [J]. Environmental pollution, 2018, 241:1018-1026.
 [19] 余向阳,赵于丁,王冬兰,等.毒死蜱和三唑磷对斑马鱼头部 AchE 活性影响及在鱼体内的富集[J].农业环境科学学报,2008,27(6):2452-2455.
 [20] 何理平,吴相勇.重金属铅对实验红鲫生理生化指标影响的研究[J].南华大学学报(自然科学版),2019,33(1):11-15.
 [21] 谢松,付兴亮,曲瑾,等.三硝基甲苯对斑马鱼组织 ATP 酶·乳酸脱氢酶和谷胱甘肽活性的影响[J].安徽农业科学,2013,41(3):1121-1122,1125.
 [22] 王凤华,杨江辉,沙丽娜,等.乳酸脱氢酶联合免疫细胞化学检测在恶性胸腔积液诊断中的价值[J].标记免疫分析与临床,2018,25(9):1335-1338.
 [23] 王健琨.骨髓增生异常综合征和巨幼细胞性贫血患者检测乳酸脱氢酶的临床意义[J].临床合理用药杂志,2017,10(36):127-128.

(上接第 88 页)

[11] 张贞,魏朝富,尚慧.丘陵山区耕地质量的空间格局分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(8):901-907.
 [12] 张超,张海锋,杨建宇,等.耕地自然质量空间分布及其影响因子分析:以北京市大兴区为例[J].测绘学报,2015,44(S1):75-81.
 [13] 韦仕川,熊昌盛,栾乔林,等.基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J].农业工程学报,2014,30(18):249-256.
 [14] 张景华,张建龙,欧阳渊.遥感技术在汉源县地质灾害调查中的应用[J].遥感信息,2010(5):87-92.
 [15] 韩鑫峰.浅析 GIS 在土地管理中的应用[J].科技风,2014(18):78.
 [16] 杨永侠,孙婷,张丽红,等.京津冀地区耕地质量空间分布分形机制研究[J].农业机械学报,2017,48(2):165-171.

[17] 施冰臣,文杰,李建华,等.云南省澜沧江流域耕地自然质量等空间分布特征研究[J].西南农业学报,2015,28(2):696-699.
 [18] 陈兰康,段正松,罗崇连,等.田东县耕地质量空间分布特征研究[J].安徽农业科学,2014,42(5):1432-1434.
 [19] 任平,吴涛,周介铭.基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析:以成都市龙泉驿区为例[J].中国生态农业学报,2016,24(3):325-334.
 [20] 李黎,王会豪,王玉贵.四川省县域耕地空间分布与变化研究[J].乐山师范学院学报,2015,30(8):70-75.
 [21] 钱梦茹,梁栋栋,吴旭.基于空间自相关的耕地质量空间分布特征研究:以芜湖市 4 区为例[J].安徽农业科学,2015,43(35):315-317,342.
 [22] 周岩.基于局域空间自相关的吉林省耕地质量空间分布分析[J].安徽农业科学,2017,45(32):200-203,208.