

孙 玲, 单 捷, 毛良君, 等. 基于遥感和 Moran's I 指数的水稻面积变化空间自相关性研究[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1060-1065.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.017

## 基于遥感和 Moran's I 指数的水稻面积变化空间自相关性研究

孙 玲, 单 捷, 毛良君, 黄晓军, 王志明

(江苏省农业科学院农业经济与信息研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 本研究基于遥感影像获取了 2011-2015 年江苏省淮安区水稻面积, 在乡镇区划和 2 km 规则网格的基础上, 用 Moran's I 指数分析了 2011-2015 年水稻逐年空间变化的相关关系, 分析结果表明, 淮安区水稻面积变化有聚集现象, 2012 年有 4 个聚集区, 2013 年有 3 个聚集区, 2014 年和 2015 年有 6 个聚集区; 聚集区仅为乡镇行政区划单元的部分区域。

**关键词:** 水稻; 卫星遥感; Moran's I 指数; 网格

**中图分类号:** P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)05-1060-06

## Spatial autocorrelation of changes in paddy rice area based on remote sensing and Moran's I index

SUN Ling, SHAN Jie, MAO Liang-jun, HUANG Xiao-jun, WANG Zhi-ming

(Institute of Agricultural Economy and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In this study, the paddy rice planting area of Jiangsu Huai'an area between 2011 and 2015 was obtained through remote sensing images. On the basis of township boundaries and 2 km×2 km grid, spatial correlation of the paddy rice planting area from year to year between 2011 and 2015 was analyzed by Moran's index. The analysis showed clustering effects of the change of the paddy rice planting area in Huai'an area. Four clusters were identified in 2012, three were identified in 2013, and six were identified in both 2014 and 2015. The area only covers parts of administrative township.

**Key words:** rice; remote sensing; Moran's index; grid

江苏省水稻在全省粮食生产中和全国水稻生产中均占有极其重要的地位, 其持续健康的发展对保障粮食安全和促进农民增收具有重大意义<sup>[1]</sup>。空间自相关分析是研究某一变量空间分布特征的一种

常用方法, 它可以检测该变量的空间变化是否存在相关性<sup>[2-9]</sup>。柏林川等<sup>[10]</sup>以县域为基本空间单元, 采用 GIS 空间分析和 ESDA 方法, 对山东省 1995-2010 年县域粮食单产空间格局变化进行了分析, 得出了山东省县域粮食单产水平之间的差异化变化趋势。黄庆等<sup>[11]</sup>以黑龙江省 81 个县(市、区)为基本空间单元, 利用 Moran's I 指数对黑龙江省域人均 GDP 数据进行研究, 分析黑龙江省的经济重心和人口重心。郑兴文等<sup>[11]</sup>利用 Moran's I 指数分析探讨了东北地区 86 个气象站 1951-2011 年气温降水数据的空间自相关现象, 找出了东北三省气温降水的空间聚集规律。上述研究均以已有的市县行政区划

收稿日期: 2016-03-04

基金项目: 国家科技重大专项(09-Y30B03-9001-13/15-006);

江苏省农业三新工程项目[ SXGC(2014)303]; 江苏

省基础研究计划项目( BK20140759); 江苏省农业

科技自主创新基金项目[ CX(13)3055]

作者简介: 孙 玲(1960-), 女, 河北东光人, 本科, 研究员, 主要从事农业遥感监测工作。(E-mail) lingsun@jaas.

ac.cn

为研究单元,且以多年的统计数据为研究对象。本研究以江苏省“十二五”期间区域水稻的时空变化为切入点,基于遥感数据,结合行政区划与规则网格单元,用 Moran's I 指数研究水稻面积空间变化的相关性,找出水稻空间变化特点以及变化规律,分析水稻种植面积稳定性水平。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域

江苏省淮安市淮安区位于江苏中北部,江淮平原东北部、里下河平原北部,地处京杭大运河与苏北灌溉总渠交汇处。境内地势平坦,大小沟渠纵横成网,境内有运河道 13 条,大沟 226 条。气候温和,四季分明。

### 1.2 研究方法

研究工作分为 3 个部分:选择遥感影像;精准解译遥感影像获取水稻的空间信息;用 Moran's I 指数分析水稻空间分布变化原因。

**1.2.1 选择遥感影像** RapidEye 卫星是德国于 2008 年 8 月 29 日发射升空的商用卫星,目前运行状况良好<sup>[13]</sup>。RapidEye 卫星影像获取能力强,空间分辨率为 5 m。美国陆地卫星 Landsat 是可用于对研究区域作物植被进行有效观测的卫星之一<sup>[14]</sup>。根据对研究区域过去 5 年已有历史卫星影像数据的分析,最终选取 2011 年 9 月 23 日一景空间分辨率为 30 m 的 Landsat-5 TM 数据,2012 年 9 月 19 日一景空间分辨率为 5 m 的 RapidEye 数据,2013 年 8 月 11 日、2014 年 10 月 1 日和 2015 年 8 月 17 日空间分辨率为 15 m 的三景 Landsat-8 OLI 数据,共五景卫星数据为数据源进行研究。

**1.2.2 解译遥感影像** 采用 ERDAS8.4 软件<sup>[15-16]</sup>对原始卫星影像进行预处理,包括:几何校正、线性拉伸增强等以保证解译精度。根据野外实地调查的资料确定水稻和其他作物的解译标志,建立相关的影像分类解译训练样区。然后对 RapidEye 卫星影像进行监督分类,从中提取水稻的空间信息,并且通过人机交互不断修正训练样区以及按小区分类等方法提高分类精度。在监督分类之后,人工检验解译的正确性,必要时对解译结果进行修正,最后生成 2012 年淮安区水稻矢量图文件。

把在 RapidEye 卫星影像上生成的 2012 年水稻分布矢量图分别叠加到 2011 年、2013 年、2014 年和

2015 年的 TM 影像上,根据当年的水稻解译标志人机交互修改矢量图,并生成当年的水稻分布矢量图。最终使淮安区 5 年的水稻空间分布矢量图中水稻田块、道路和河流完全吻合。

**1.2.3 确定相关性分析指标与单元** 近年土地流转以及种植结构变化都是因地制宜,与当地的可利用资源密切相关,这些变化往往只局限于某个行政单元的一部分,如果以行政单元来讨论水稻面积变化,不能准确反映水稻面积变化的具体位置和变化程度。因此,本研究用 ArcGIS 软件制作覆盖淮安区的 2 km×2 km 规则网格,获得 395 个网格单元矢量图,在网格单元的基础上分析淮安区水稻面积变化的具体情况。分别叠加网格矢量文件与各年的水稻矢量文件,统计每年每个单元中的水稻面积,计算 2011–2015 年逐年各单元水稻面积变化率。

**1.2.4 空间自相关分析** 空间自相关的概念来自于时间序列的自相关,所描述的是在空间域中某一位置上的变量与其邻近位置上同一变量的相关性。如果在空间分布上变量观测值呈现出高的地方周围变量观测值也高,变量观测值低的地方周围变量观测值也低,称为空间正相关,表明这种现象具有空间扩散的特性;如果变量观测值呈现出高的地方周围变量观测值低,变量观测值低的地方周围变量观测值高,则称为空间负相关,表明这种现象具有空间极化的特性;如果观测值在空间分布上呈现出随机性,表明空间相关性不明显,是一种随机分布的现象。

空间自相关的度量方法可以分为全局空间自相关和局部空间自相关,全局空间自相关描述某种现象的整体分布情况,判断此现象在特定的区域内是否有聚集特征存在,但不能确切地指出聚集在哪些位置,局部空间自相关用来计算局部空间聚集性,可以指出聚集位置,还可以探测空间异常等。Moran's I 指数是最常用的检测变量空间自相关性大小的有效指标<sup>[17]</sup>。

$$\text{全局 } I = \frac{N}{\sum_i \sum_j W_{ij}} \cdot \frac{\sum_i \sum_j W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

$$\text{局部 } I_i = \left[ \frac{X_i - \bar{X}}{\sum_{j \neq i}^N X_j^2 / (N - 1) - \bar{X}^2} \right] \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (2)$$

公式(1)中  $I$  为全局自相关系数,公式(2)  $I_i$  为局部自相关系数,式中,  $X_i$  为变量在空间  $i$  处的值,  $X_j$  为变量在空间  $j$  处的值,  $\bar{X}$  为变量  $X_i$  的平均值,  $N$  为空间点对数,  $W_{ij}$  为空间权重函数,表达单元对间的位置关系。于是  $I$  值的大小决定于  $i$  和  $j$  单元中的变量值对于均值的偏离符号,若在相邻的位置上,  $X_i$  和  $X_j$  是同号的,则  $I$  为正;  $X_i$  和  $X_j$  是异号的,则  $I$  为负。指数的变化范围为  $(-1, 1)$ 。Moran's  $I$  值越大表示相邻单元正相关性越强;如果邻近单元不相关,呈现随机分布,则  $I$  接近于 0,当  $I$  取负值时,一般表示负相关。

采用 Z-Score 法进行 Moran's  $I$  指数的标准化,以检验相关的正负性与显著性,其公式为:

$$Z_{ij} = \frac{I_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (3)$$

式中,  $I_{ij}$  为 Moran's  $I$  指数,  $\mu_{ij}$  为期望值,  $\sigma_{ij}$  为方差。在检验中假设 Moran's  $I$  指数服从标准状态分布,且其均值为 0,标准差为 1。因此转换后  $Z_{ij}$  值的大小即为相应 Moran's  $I$  指数偏离均值的大小,单位为标准差(Std. Dev)。经过转换后相应的  $Z_{ij}$  值具有如下特征:当  $Z_{ij}$  值大于 1.96 或小于 -1.96 时,表示样本空间相关在 0.05 水平显著,即区域内研究变量存在自相关性;相反,当  $Z_{ij}$  值取值范围在  $[-1.96, 1.96]$  时,表示研究变量在区域内关联性不显著,亦即存在较弱的自相关性。

本研究以水稻面积变化率为研究对象,2 km×2 km 的规则网格为研究单元分析淮安区水稻面积变化的相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 遥感调查结果

选择 2011 年 9 月 23 日、2012 年 9 月 19 日、2013 年 8 月 11 日、2014 年 10 月 1 日和 2015 年 8 月 17 日遥感影像监测淮安区水稻面积,利用各年水稻空间分布矢量图,统计出淮安区各年水稻面积。遥感调查结果显示,淮安区水稻面积呈缓慢下降趋势,5 年减少 1 218 hm<sup>2</sup>。表 1 为各乡镇各年水稻面积,图 1 为水稻面积变化图。

### 2.2 逐年变化率 Moran's $I$ 指数

用 ArcGIS 软件的空间统计分析功能来计算全局和局部 Moran's  $I$  指数可以观察淮安区各单元水稻面积变化率之间的空间相关现象(表 2)。

表 1 2011-2015 年淮安区各乡镇水稻面积

Table 1 Paddy rice area in each town of Huai'an in 2011-2015

| 乡镇    | 水稻面积(hm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |
|-------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|       | 2011 年                 | 2012 年   | 2013 年   | 2014 年   | 2015 年   |
| 白马湖农场 | 3 967.23               | 4 007.35 | 4 148.11 | 4 056.81 | 4 187.40 |
| 博里    | 5 070.22               | 5 060.94 | 5 049.96 | 5 051.50 | 5 044.98 |
| 车桥    | 3 764.20               | 3 679.54 | 3 655.58 | 3 650.56 | 3 557.28 |
| 仇桥    | 4 264.51               | 4 249.59 | 4 250.04 | 4 239.83 | 4 230.21 |
| 范集    | 5 415.23               | 5 448.61 | 5 457.63 | 5 411.70 | 5 220.85 |
| 复兴    | 4 043.91               | 4 055.56 | 4 070.00 | 4 047.38 | 4 042.75 |
| 淮城    | 823.14                 | 740.89   | 738.78   | 715.07   | 701.50   |
| 季桥    | 2 700.10               | 2 667.06 | 2 595.04 | 2 621.70 | 2 612.94 |
| 建淮    | 1 794.57               | 1 766.05 | 1 761.09 | 1 733.38 | 1 731.30 |
| 茭陵    | 1 744.98               | 1 760.66 | 1 752.56 | 1 771.88 | 1 771.88 |
| 泾口    | 3 276.18               | 3 267.17 | 3 283.13 | 3 314.66 | 3 318.26 |
| 林集    | 2 319.23               | 2 394.88 | 2 389.10 | 2 399.11 | 2 409.25 |
| 流均    | 3 038.71               | 3 093.85 | 2 993.19 | 2 947.77 | 2 784.21 |
| 马甸    | 2 126.97               | 2 123.45 | 2 117.85 | 2 121.30 | 2 121.30 |
| 南马厂   | 441.62                 | 273.43   | 269.60   | 274.26   | 255.09   |
| 南闸    | 2 637.75               | 2 695.54 | 2 609.44 | 2 718.10 | 2 719.79 |
| 平桥    | 2 786.08               | 2 767.22 | 2 777.06 | 2 786.55 | 2 786.55 |
| 钦工    | 2 312.17               | 2 301.22 | 2 271.71 | 2 257.09 | 2 188.52 |
| 三堡    | 1 962.38               | 1 970.10 | 1 944.99 | 1 958.60 | 1 941.26 |
| 上河    | 2 260.39               | 2 240.24 | 2 251.47 | 2 252.06 | 2 252.06 |
| 施河    | 3 515.65               | 3 511.39 | 3 453.36 | 3 443.01 | 3 440.27 |
| 顺河    | 3 994.54               | 4 012.28 | 4 018.57 | 3 993.92 | 3 987.62 |
| 宋集    | 2 477.34               | 2 501.16 | 2 500.47 | 2 423.87 | 2 412.35 |
| 苏嘴    | 1 281.79               | 1 324.53 | 1 323.42 | 1 349.18 | 1 331.98 |
| 溪河    | 2 711.07               | 2 678.28 | 2 663.48 | 2 669.42 | 2 666.86 |
| 席桥    | 1 219.36               | 1 169.48 | 1 152.66 | 1 101.26 | 1 101.26 |
| 徐杨    | 3.36                   | 3.36     | 3.36     | 3.36     | 3.36     |
| 朱桥    | 3 296.87               | 3 236.68 | 3 218.09 | 3 227.82 | 3 210.46 |

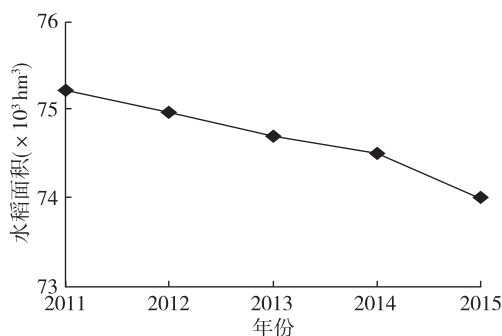


图 1 2011-2015 年淮安区水稻面积

Fig.1 Paddy rice area of Huai'an in 2011-2015

表 2 淮安区水稻面积变化率全局 Moran's I 指数值

Table 2 Global Moran's I value of paddy rice area change rate of Huai'an

| 指数        | 变化率       |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           | 2012-2011 | 2013-2012 | 2014-2013 | 2015-2014 |
| Moran's I | 0.230 038 | 0.073 176 | 0.150 025 | 0.210 674 |
| Z Score   | 6.853 452 | 2.191 143 | 4.513 090 | 6.233 165 |
| P 值       | 0         | 0.028 441 | 0.000 006 | 0         |

由表 2 看出,2015-2011 逐年水稻面积变化率全局 Moran's I 指数都大于 0,且 Z-Score 都大于 1.96,除 2013 与 2012 年以外其他  $p$  值接近于 0 或

等于 0,说明各单元间变化存在显著的空间正相关性,有聚集现象。同时,2012-2011 年的变化呈现 Moran's I 指数值为最高,2013-2012 年的 Moran's I 指数值为最低,5 年的聚集程度大小依次为 2012-2011 年、2015-2014 年、2014-2013 年和 2013-2012 年。2012-2011 年变化的聚集程度最大,随后 2013-2012 年有所缓解,2014-2013 年和 2015-2014 年聚集度逐年增加。

利用淮安区水稻面积变化率数据进行局部空间自相关性分析,识别水稻面积变化聚集的位置和程度,图 2 为 2015-2011 年淮安区水稻面积逐年变化率的局部 Z-Score 分布图。

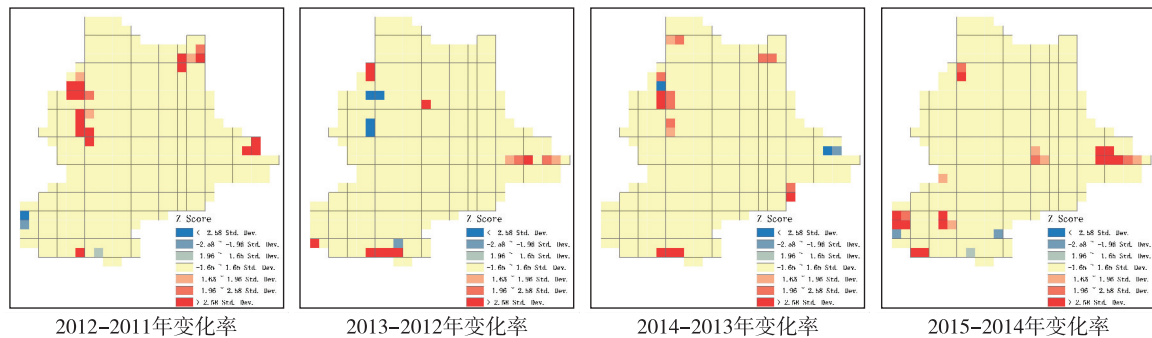


图 2 淮安区水稻面积变化率局部 Z-Score 分布图

Fig.2 Local Z-Score distribution maps of paddy rice area change rate in Huai'an

图中红色区域的面积变化无论增减相邻单元间都保持高度一致,表现为  $Z_{ij}$  越大相关性越强;蓝色区域的面积变化与邻近单元有差距,表现为  $Z_{ij}$  越小差异越大,也就是相关性不强。图中  $Z_{ij}$  取值范围在  $(-1.65, 1.65)$  时,水稻面积变化是随机的,单元之间变化没有关联;当  $1.65 < Z_{ij} \leq 1.96$  或  $-1.96 < Z_{ij} \leq -1.65$  时,水稻面积变化空间相关在 0.10 水平显著;当  $1.96 < Z_{ij} \leq 2.58$  或  $-2.58 < Z_{ij} \leq -1.95$  时,水稻面积变化空间相关在 0.05 水平显著;当  $2.58 < Z_{ij} \leq -2.58$  时,水稻面积变化空间相关在 0.01 水平显著。从图 2 可以看出,就水稻面积变化而言,2012 年有 4 处聚集区,2013 年有 3 处聚集区,2014 和 2015 年有 6 处聚集区。

### 2.3 淮安区水稻面积变化率聚集区分布

结合图 2 和淮安区乡镇区划,可以看出 2012-2011 年变化率聚集的 4 处聚集区分布在南马厂、席桥和淮城、苏嘴、流均;2013-2012 年变化率聚集的 3 处聚集区分布在南马厂、流均、南闸;2014-2013

年变化率聚集的 6 处聚集区分布在席桥、淮城、宋集、苏嘴、泾口与施河交界处、南闸;2015-2014 年变化率聚集的 6 处聚集区分布在南马厂、车桥、流均、范集(2 处)、白马湖农场。

假设 HH 表示水稻面积增加的地方周围也增加,LL 表示水稻面积下降的地方周围也下降,HL 表示水稻面积增加的地方周围下降,LH 表示水稻面积下降的地方周围增加,结合淮安区乡镇区划和图 2,生成图 3。

从图 3 可以看出,2011-2015 年水稻面积集中减少的区域有 2 个,一个是靠近城区的南马厂、席桥和淮城。5 年间,南马厂、席桥和淮城在发展工业的同时,推进农业产业结构调整,大力推广蔬菜种植和其他无公害农副产品生产与加工,水稻面积从 2011 年的 2 484  $\text{hm}^2$  下降到 2015 年的 2 058  $\text{hm}^2$ ,下降 17.15%。另一个水稻面积下降较快的是流均镇。流均镇地处里下河地区射阳湖畔,水网纵横,土地肥沃。为推进农业产业化进程,近年在稳定粮食生产



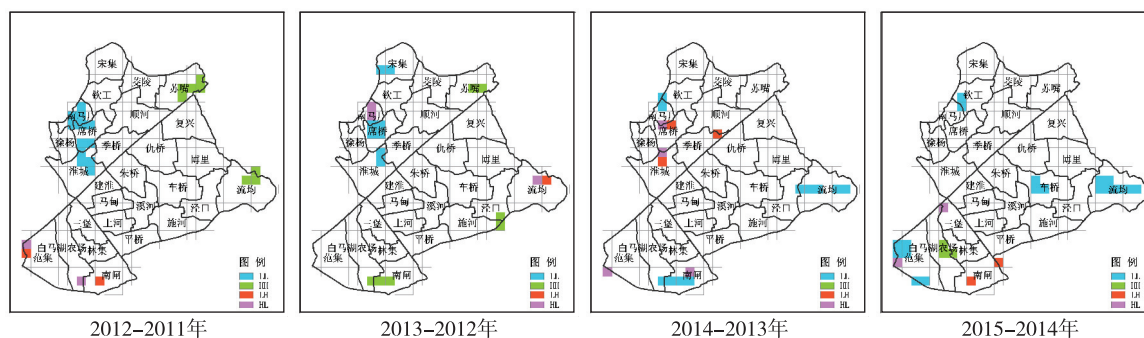


图3 淮安区水稻面积变化率聚集区分布图

Fig.3 Distribution of clusters of paddy rice area change rate in Huai'an

的同时,把目光投向水资源优势的开发,大力发展养殖甲鱼、青虾、鲫鱼、黄鳝、螃蟹、龙虾等,种植莲藕、菱角、茭白、茨菇等水生蔬菜,水稻面积5年递减255 hm<sup>2</sup>。

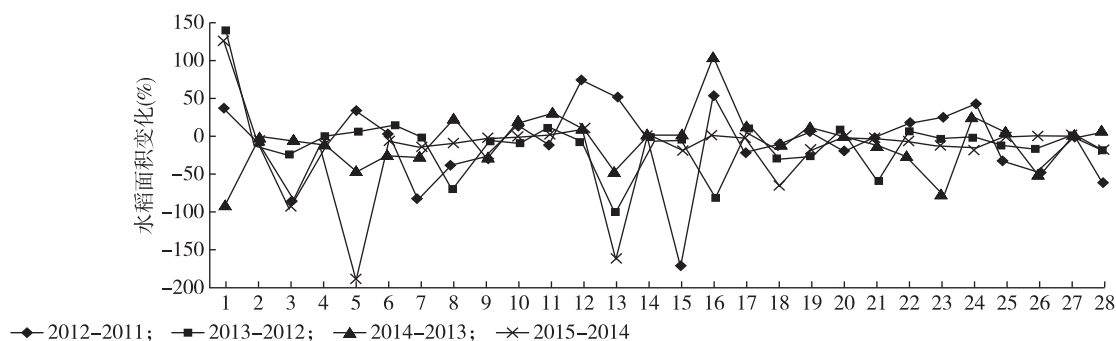
南闸镇也是5年间变化比较明显的乡镇,这与它的地理位置是分不开的。南闸镇西南紧临白马湖,是江苏省青虾养殖示范基地。虽然与流均镇一样也有水资源优势,但南闸镇有自主品牌的优质大米,因此,5年间水稻面积起伏较大,有增有减。2012年水稻面积下降仅限于个别位置(点状),2013年水稻田连片改水面种养,2014年在同一区域又恢复为水稻,2015年水稻种植面积又恢复到2012年的状态。2015与2011年相比,南闸镇水稻面积增加82 hm<sup>2</sup>。

范集镇是淮安区的西南门户,2014年之前水稻面积保持平稳,呈缓慢上升的态势,2014年之后土地流转步伐加大,畜禽养殖、工业园区厂房建设等使水稻面积减少加快。

苏嘴镇位于两市(盐城、淮安)、三县区(涟水、阜宁、淮安)交界处,并有2条省道(省道328、省道234)、3条河道(苏北灌溉总渠、入海道、废黄河故道)穿境而过。由于地理位置的原因,苏嘴的耕地水稻比(单位面积耕地上种植水稻的比例)仅高于南马厂和徐扬,因此有增加水稻的潜力。图3中可见2012和2014年苏嘴水稻面积呈上升趋势。

对照当年遥感影像可以看出,宋集在图3中LL位置有大片水稻改种经济作物,车桥在图3中LL位置有大片水稻改种水生蔬菜。

图4是淮安区各乡镇逐年水稻面积变化图,从4条曲线的起伏程度来看,5年内水稻面积变化较大的是白马湖农场、流均、南闸、范集和南马厂。白马湖农场虽然总体累积的变化很大,但是除2015年有HH聚集外,其他年份的变化基本没有聚集现象,说明变化并不集中在某些区域。流均、南闸、范集和南马厂的变化与Moran's I指数的计算结果相符。



1:白马湖农场;2:博里;3:车桥;4:仇桥;5:范集;6:复兴;7:淮城;8:季桥;9:建淮;10:茭陵;11:泾口;12:林集;13:流均;14:马甸;15:南马厂;16:南闸;17:平桥;18:钦工;19:三堡;20:上河;21:施河;22:顺河;23:宋集;24:苏嘴;25:溪河;26:席桥;27:徐扬;28:朱桥。

图4 淮安区各乡镇水稻面积变化图

Fig.4 Paddy rice area change in every township of Huai'an

### 3 讨 论

本研究结果表明 2011–2015 年淮安区水稻面积基本稳定,水稻总面积发生变化的原因一是随着城镇化进程的加快,耕地面积减少,二是因地制宜利用水资源优势发展生蔬菜种植和水产养殖,因此水稻面积的变化有区域聚集现象。由于淮安区是中国粮食(水稻和小麦)主产区,几乎每一个乡镇都有自己的大米品牌,为此每一处聚集都仅为乡镇范围的部分区域,因此以乡镇为单元分析水稻面积变化的聚集有片面性。

#### 参考文献:

- [1] 佘 军.近 30 年江苏省水稻生产的时空变化与效益分析[D].扬州:扬州大学.
- [2] 刘孝斌.长三角地区经济增长的空间溢出效应[J].福建行政学院学报,2014(6):68-77.
- [3] 乔 佳,宁小李,邓红蒂,等.城市郊区耕地细碎化及其空间自相关性分析——以河北省保定市新市区为例[J].国土资源科技管理,2015,32(2):9-15.
- [4] 李 博,何腾兵,陶福然.贵州省耕地面积的时空变化及驱动力分析[J].贵州农业科学,2013,41(3):140-145.
- [5] 李子良,李新旺,门明信,等.唐山市耕地占用与经济发展关系分析[J].中国土地科学,2011,25(4):57-63.
- [6] 陶吉兴,傅伟军,姜培坤,等.基于 Moran's I 和地统计学的浙江森林土壤有机碳空间分布研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(5):97-101.
- [7] 代侦勇,姜 婧,肖明科.基于时空 Moran's I 指数的全国降雨量自相关分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),2014,48(6):923-929.
- [8] 张连均,张 晶,侯晓慧,等.江苏省人口分布的空间自相关分析[J].首都师范大学学报(自然科学版),2010,31(4):7-10.
- [9] 曾雨晴,潘洪义,周介铭,等.基于空间自相关的人均耕地面积时空格局变化研究——以四川省为例[J].江苏农业科学,2015,43(9):388-391.
- [10] 柏林川,武兰芳,宋小青.1995-2010 年山东省粮食单产变化空间分异及均衡增产潜力[J].地理科学进展,2013,32(8):1257-1265.
- [11] 黄 庆,雷国平,刘力玮,等.基于 ESDA-GIS 的黑龙江省区域经济差异研究[J].环境科学与管理,2011,36(10):24-32.
- [12] 郑兴文,舒 红,许剑辉.基于 GIS 的东北三省气温降水空间自相关性分析[J].地理空间信息,2014,12(1):49-51.
- [13] 祝振江,周英杰,周 萍,等.RapidEye 卫星遥感影像几何精度的实验分析[J].中南林业科技大学学报,2010,30(4):107-126.
- [14] 李志鹏,李正国,刘珍环,等.基于中分辨 TM 数据的水稻提取方法对比研究[J].中国农业资源与区划,2014,35(1):27-33.
- [15] ERDAS. ERDAS Field Guide[M]. Atlanta:ERDAS, Inc, 1997:5-183.
- [16] KIEFER W, LILLESAND M. Remotesensing and image interpretation[M]. New York:John Wiley and Sons, Inc, 1994:35-128.
- [17] 赵龙山,张贵峰,梁心蓝,等.基于 Moran's I 指标的黄土坡耕地填洼量的空间自相关性研究[J].土壤,2011,43(3):446-452.

(责任编辑:陈海霞)