

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.017

三江平原典型流域土地利用格局变化与空间分异研究

周浩 雷国平 杨雪昕

(东北大学土地管理研究所, 沈阳 110169)

摘要: 以遥感和DEM数据为基本信息源,基于网格采样研究方法,利用动态度模型分析土地利用空间异质性规律,并从集水小区角度出发研究土地利用空间自相关格局。结果表明:挠力河流域土地利用变化呈现明显的阶段性,1990—2002年耕地面积增幅最大,且以水田增加为主,2002—2014年整体面积变化趋于缓和;1990—2002年土地利用变化剧烈程度显著强于2002—2014年,前后以趋缓为主,加剧区域较少;流域不同方向上动态度均具有较好的拟合趋势,不同时间段拟合趋势差异大,但基本保持东北方向变化剧烈程度强于西南方向的态势;1990—2002年,各集水小区动态度呈现明显的高-高型和低-低型集聚趋势,空间自相关关系显著,2002—2014年,高-高型数量显著减少,且多为旱地水田化发生区,动态度集聚性变差,差异逐渐趋于缓和,未来应根据集水小区的空间自相关格局进行土地利用开发管理,应重点关注高-高型土地利用问题,适当挖掘低-低型开发潜力,对高-低型进行开发控制,对低-高型进行重点开发引导。

关键词: 土地利用; 变化; 动态度; 集水小区; 空间自相关; 挠力河流域

中图分类号: F301.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)05-0142-10

Land Use Change Pattern and Its Spatial Differentiation in Typical Basin of Sanjiang Plain

ZHOU Hao LEI Guoping YANG Xuexin

(Institute of Land Management, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

Abstract: Since early 1990s, the agricultural structure of Naoli River Basin had been greatly adjusted with large amounts of dry land changed into paddy field. As one of the important reclamation farms in China, the land use was changed severely in Naoli River Basin and such phenomenon would lead to a set of problems in the utilization. To reveal the spatial regular pattern and the difference of land use change in Naoli River Basin, the land use dynamic changes were analyzed, and the land use dynamic degree of the cultivated land was calculated by modeling all land use types of cultivated land and using the contribution results which was borrowed from the thought of landscape ecology, the analysis of land use spatial autocorrelation patterns was also achieved based on sub basin of Naoli River Basin. The remote sensing image data and DEM data were used as fundamental data resources. Results showed that the land use changes in the Naoli River Basin were incredibly violent, the increase of farmland area was the largest, and the internal transformations between the paddy field and dry land were the primary change. From 1990 to 2002, the change of paddy field was the main change types and the dynamic degree of land use change was obviously stronger than that during the period from 2002 to 2014. The middle and northern parts of Naoli River Basin were the mainly concentrated region of high land use dynamic degree, and the overall changing speed of the river basin was slowly trending down. The dynamic degree of land use change in different directions had good fitting trend and differed obviously between the two periods, but it maintained the basic trend that the change in the northeast direction was significantly higher than that in the southwest direction. The whole catchment previously showed the trend of aggregation of high to high and low to low obviously, the land use spatial autocorrelation patterns showed significant correlation, but in the later stage, the aggregation trend was gradually slowed down, and its aggregate on features was

收稿日期: 2017-01-24 修回日期: 2017-02-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671520)

作者简介: 周浩(1990—),男,博士生,主要从事土地利用与规划研究,E-mail: zhouhao7404@163.com

通信作者: 雷国平(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事土地利用规划与土地管理研究,E-mail: guopinglei@126.com

high to high and low to low, there was no catchment with aggregation trend of high to low. The research results can be used as references and consultancies for the land use zoning management and precise agriculture in the Naoli River Basin.

Key words: land use; change; dynamic degree; catchment; spatial autocorrelation; Naoli River Basin

引言

以 CO₂ 浓度、地表温度升高和降水时空异质性增大为主要特征的全球气候变化对农业生产和农业生态系统造成了深刻的影响,这种影响对我国北方旱区农业表现尤其显著^[1]。三江平原地处中高纬度和欧亚大陆东端,增温幅度高于全球同期水平,年降水量呈略减小趋势^[2],特别是 20 世纪 90 年代中期以来,逐渐进入降水减少和干旱多发阶段^[3-4]。三江平原应对全球气候变化的适应性对策之一是调整耕地以及耕地内部结构(旱地和水田)的布局,但也随之导致其他用地类型发生改变,具体表现为:在全国耕地面积减少的背景下,三江平原耕地面积显著增加,随着积温带的北移东扩,耕地垦殖由南向北、由西向东不断推进^[5],其中水稻种植区北界由 20 世纪 80 年代前期的 47°N 移至 51°N 附近^[6-7],湿地基质逐渐变为农田基质,林地退缩,草地几乎被耕地所替代^[8],该地区在国家粮食安全战略中的地位逐渐提升,土地利用问题受到学术界的高度关注。

学者围绕三江平原地区的土地利用问题开展了大量研究。在研究对象上,多围绕耕地垦殖开发^[8]、湿地退缩及农田化^[9]、土地利用变化驱动力^[10]和景观生态格局^[11-12]等方面,其研究个体一般为行政管理单元或其组合体^[13-14];研究方法上,多从模型化出发来简化土地利用过程,分析其基本模式、数量结构和空间格局^[9,15]。已有研究较为系统和成熟,但仍然存在进一步研究的必要:流域内部水文循环完整且系统,而水资源是土地利用变化中最敏感的环境要素,相比于行政管理单元,从流域角度进行土地利用管理将更加符合土地利用的内在自身演化规律^[16]。虽然已有部分以流域为研究个体的研究成果,但其本质仍是“轮廓”,依据流域集水特性,划分研究单元,遵循其动态发展的内在规律性,而非单纯地人为分割单元,以此开展土地利用格局的异质性研究,具有较强的现实指导意义。地理学第一定律认为,任何事物之间都是相互联系的,而离的较近的事物总比离的较远的事物联系度高^[17-18]。该定律决定了土地利用变化空间自相关存在的客观性,通过空间自相关度量,可以用来检验在土地利用空间格局变化不同空间位置上的相关性。将空间自相关研究与 GIS 相结合,可以有效地

展示出空间单元的位置及其与其他空间单元之间的相互关系,目前该地区相关研究匮乏。已有研究常采用动态模型反映土地利用变化速度的差异性,但动态模型仅单纯从数量上进行变化的描述,然而考虑到土地利用变化的异质性,同一地区不同位置上的变化速度是不一样的。

挠力河流域(131°31'~134°10'E、45°43'~47°45'N)恰为三江平原变暖现象突出的纬度位置,是三江平原最为典型的流域之一。近 50 a 当地农业开发活动特别强烈,尤其是 20 世纪 90 年代以来国家进入经济迅速发展时期后,流域当地出现大量湿地开垦为耕地、水利工程修建等现象,导致该地区湿地大面积丧失、结构破坏和功能退化^[19],同时当地政府为对低洼易涝旱地进行改造,大力推行“以稻治涝”的农业结构调整政策,耕地内部结构变化剧烈。研究挠力河流域土地利用开发管理问题对整个三江平原地区将具有很好的推广示范作用。因此,本文以三江平原地区的挠力河流域为研究对象,选用通用的土地利用动态模型,确定空间化处理尺度,研究流域土地利用变化特征,探讨其异质性规律,并对流域进行集水分区,运用空间自相关分析方法分析当地土地利用变化空间自相关格局,以期为土地合理利用开发提供决策支持和科学依据。

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况

挠力河流域地处三江平原腹地,面积 $2.30 \times 10^4 \text{ km}^2$,属半干旱地带,为中温带大陆性季风气候区,夏季高温多雨,冬季寒冷漫长,流域多年平均降水量 518 mm,降水分布不均匀,主要集中在 6—9 月份,春季干旱频繁,秋季多洪涝灾害;流域地形上呈现西南高、东北低的态势,水系自西南流向东北。地貌类型主要由山地与平原两部分组成,山地占流域面积的 38.3%,主要分布于流域西南部和南部,平原占 61.7%,主要分布于流域北部和中部的内、外七星河及挠力河中游地区;目前该区已建成 7 个县(区),7 个现代化农场,总人口达到 125 万,其中农业人口占 65.4%,已成为三江平原主要产粮区和国家重要商品粮基地。图 1 为挠力河流域地理位置示意图,其中左上图为黑龙江省,左下图为三江平原,右图为挠力河流域。

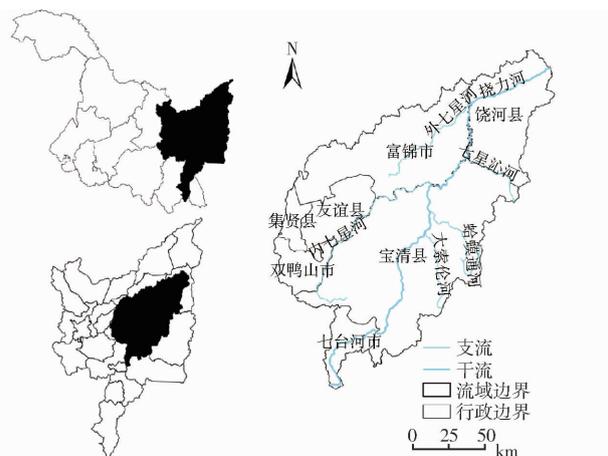


图1 挠力河流域地理位置示意图

Fig.1 Location of Naoli River Basin

挠力河流域农业开发活动非常活跃,建国以来经历多次大规模土地开发,其中1990—2002年是第4次垦荒高潮,当地政府采取资金补贴等相关政策,推行“以稻治涝”种植模式,大量低洼旱地改造为水田,土地利用格局变化剧烈,相关资料显示,至2002年,农业结构调整政策基本推行完毕,因此,本文研究时点确定为1990、2002、2014年,以揭示该地区土地利用格局变化及空间分异特征。

1.2 数据来源与预处理

土地利用数据原始信息源来自美国陆地资源卫星1990、2002、2014年Landsat TM/OLI多光谱遥感影像,该类型影像云量少,图像质量良好,便于数据处理和土地利用信息提取。参照全国土地利用分类体系并结合流域土地利用现状和研究目标,确定该研究区土地利用类型为耕地(包括旱地和水田)、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类。为保证人工目视解译精度,以流域境内的各县(区)全国第二次土地利用调查数据(2009年)为底图,根据经几何纠正及RGB假彩色合成后的影像色调、纹理等特征,并配合流域野外地物调查结果(图2),进行地物类型斑块的修改和图层的拼接,并采用Google Earth软件进行精度验证,最终得到流域3期土地利用现状数据。高程数据来自SRTM的DEM数据,精度为90 m,利用ArcGIS水文模块进行洼地填充得到无洼地DEM。研究中各图件经投影变换统一转为Albers双标准纬线等积投影。

2 研究方法

2.1 土地利用变化动态分析

2.1.1 土地利用动态模型

在自然和人为因素影响下,区域时间段、空间位置存在差异,其不同土地利用类型的变化幅度和速度是不同的。变化幅度为研究时段初、末的面积差

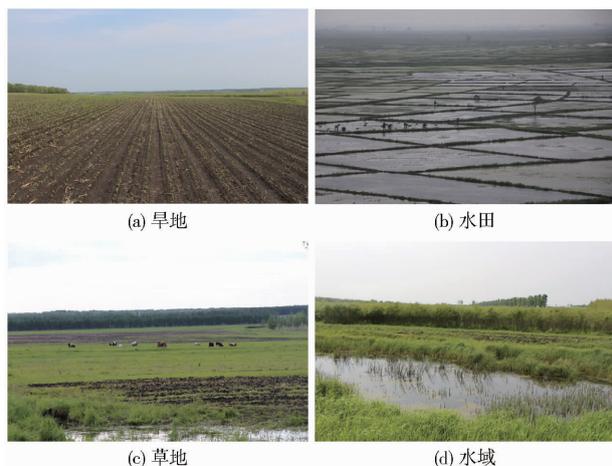


图2 挠力河流域典型地物样本

Fig.2 Typical features of Naoli River Basin

值,变化速度运用动态模型进行定量描述,可以分为单一土地利用动态度和综合土地利用动态度^[20-21]。

单一土地利用动态度表征某一土地利用类型在研究期内的面积变化情况,计算公式为

$$K = \frac{1}{T} (U_b - U_a) / U_a \times 100\% \quad (1)$$

式中 K ——某地类单一土地利用动态度

U_a ——某地类研究期初期面积, km^2

U_b ——某地类研究期末期面积, km^2

T ——研究时段长度, a

综合土地利用动态度反映区域内所有地类在研究期内的总体变化情况,其计算式为

$$L_c = \frac{1}{T} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta L_{U_{i-j}}}{2 \sum_{i=1}^n L_{U_i}} \times 100\% \quad (2)$$

式中 L_c ——综合土地利用动态度

L_{U_i} ——研究期初期 i 类土地面积, km^2

$L_{U_{i-j}}$ —— i 类土地变为 j 类土地的面积, km^2

n ——研究区地类总数目

2.1.2 动态度空间化处理

动态度模型仅从数量上描述某一单元的整体土地利用变化速度情况,但实际中,同一单元在不同空间位置上的土地利用变化特点是不同的。景观生态学中,常采用土地利用网格采样来实现景观格局特征的描述,一般认为平均斑块面积的2~5倍能较好反映采样区周围景观格局异质性特征,且地统计学中趋势分析,能有效反映空间数据在区域全局的变化趋势,土地利用动态变化直接导致景观特征发生改变,因此,从土地利用变化动态度,即加入时间序列的土地利用变化空间分异和趋势的变化量视角出发,引入景观生态学中反映景观格局特征的网格采

样研究方法,实现土地利用综合动态度指数的空间化。根据流域实际情况,最终确定网格采样尺寸为 5 km × 5 km(共有样区 1 034 个),如图 3 所示。

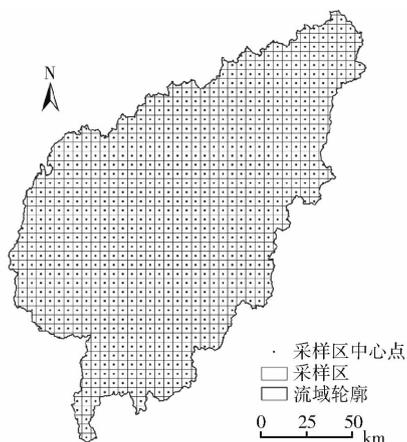


图 3 挠力河流域土地利用变化采样小区划分

Fig. 3 Division of land use change sampling in Naoli River Basin

2.2 流域分区

流域作为独立的水文集水单元,其内部水文循环完整且系统,一个完整的流域由大小不等、各式各样的集水小区组成。为探寻不同集水区条件下土地利用变化特征,本研究基于 DEM 数据,经 ArcGIS 10.2 洼地填充计算等前期处理,利用水流径流模块对挠力河流域进行集水小区分割,共划分为 75 个集水小区,将集水小区与地貌分布数据进行叠加后取其典型地貌为该集水小区的地貌类型,并将各集水小区分别命名为 LA-0、LF-1、LF-2、…、LS-74,各子集水小区分布情况如图 4 所示,其中 LA、LF、LH、LT、LS 分别代表低海拔高度冲击平原、冲积扇平原、低山丘陵区、冲击洪积台地和低海拔高度小起伏山地 5 种主要的地貌类型。

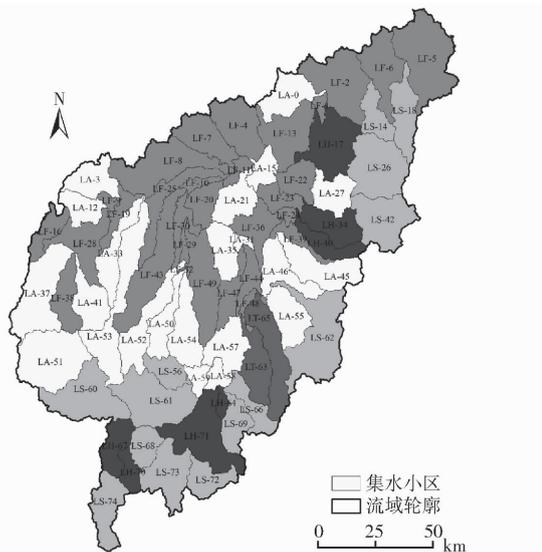


图 4 挠力河流域小区划分

Fig. 4 Division of catchments in Naoli River Basin

2.3 空间关联描述分析

土地利用变化作为地理过程现象,通过检验其空间自相关特征,可以分析某一位置的要素观测值与相邻位置上的观测值关联程度情况,可分为全局空间自相关和局部空间自相关分析。

2.3.1 全局空间自相关

全局空间自相关用来描述整个研究区域的空间分布模式和度量属性值在整个区域的分布态势,对于本研究而言,即表示整个流域集水小区土地利用变化动态度空间分布的内部关联性特征,可用全局空间自相关统计量 Moran's I 进行表征,其值域范围为 $-1 \leq I \leq 1$,指数为正表示空间正相关,指数为负表示空间负相关,零为空间不相关, I 值越大,表示在空间分布上的关联性越大,聚集性越强。

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中 N ——研究对象的数目

x_i —— i 对象观测值

x_j —— j 对象观测值

\bar{x} ——观测对象均值

w_{ij} —— i, j 之间的空间连接矩阵

当 i 和 j 为邻近空间关系时, $w_{ij} = 1$; 反之, $w_{ij} = 0$ 。

Moran's I 需进行显著性检验,一般采用 Z 值进行检验^[22],当 $Z < -1.96$ 或 $Z > 1.96$ 时, $P < 0.05$,即置信度大于 95%。

2.3.2 局部空间自相关

土地利用变化动态度是一种典型的区域化变量。在进行空间自相关分析中,全局 Moran's I 指数作为一种总体统计指标,只能显示某一区域与周边区域空间差异的平均程度,在一定程度上掩盖了区域的局部空间特征,不能全面反映流域内部土地利用变化的空间关系。空间关联局域指标 (Local indicators of spatial association, LISA) 用来衡量观测单元属性值与周边单元属性值的相近 (正相关) 或差异 (负相关) 程度,其结果可采用地图可视化手段来表达。LISA 指数被定义为

$$I_p = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{q=1}^m w_{pq} (x_q - \bar{x}) \quad (4)$$

其中

$$S^2 = \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m (x_q - \bar{x})^2$$

式中 S^2 —— x_q 观测单元的方差

m ——观测单元总数目

若 $I_p > 0$,表示该区域单元周围相似值 (高值或低值) 在空间上的聚集, $I_p < 0$ 则表示非相似值在空

间上的聚集。

本文设定的空间相关分析单元为集水小区,将集水小区与动态度分布数据进行关联统计,取其平均值作为对应集水小区动态度,并将其作为观测变量,选用基于邻接的 Queen 规则进行空间自相关性分析。考虑到集水小区面积差异,其暗含的稳定性假设可能被比率的内在方差非稳定性推翻,方差的不稳定性可能导致自相关性的错误推断,为此,本文采用经验贝叶斯标准化方法对动态度进行标准化处理予以纠正,利用标准化后的数据进行空间自相关分析。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化特征

依据挠力河流域 1990、2002、2014 年土地利用现状数据,分析 3 个时点土地利用变化特征,结果如图 5 和表 1 所示。研究发现,挠力河流域土地利用变化呈现明显的阶段性:1990—2002 年,耕地面积

增幅最大,且其变化以水田面积增加为主,相对比例由 8.12% 增加至 20.37%,增加幅度为 12.25 个百分点,“水田化”进程强烈,而期间旱地面积仅增加 0.77 个百分点。由于流域当地垦殖活动非常强烈,未利用地面积下降极其明显,1990 年其面积比例为 8.25%,2002 年仅占 1.34%,下降幅度为 6.91 个百分点,林地、草地和水域用地均出现不同程度的下降态势,幅度依次为 3.49、0.23、2.57 个百分点;2002—2014 年,土地利用变化整体趋于缓和。水田面积继续保持增长,但增长幅度明显放缓,增幅仅 2.46 个百分点,而旱地面积比例则降至 42.20%。草地面积基本保持不变,变化幅度为 0.06 个百分点,林地和未利用地面积仍维持下降趋势,幅度分别为 0.29 和 0.22 个百分点。由于经济建设的需要,在整个研究时段内,建设用地面积持续增加,2014 年增至 1.92%。总体而言,24 a 间流域水田扩张极其剧烈,未利用地面积持续下降,但土地利用变化总体逐渐趋于缓和。

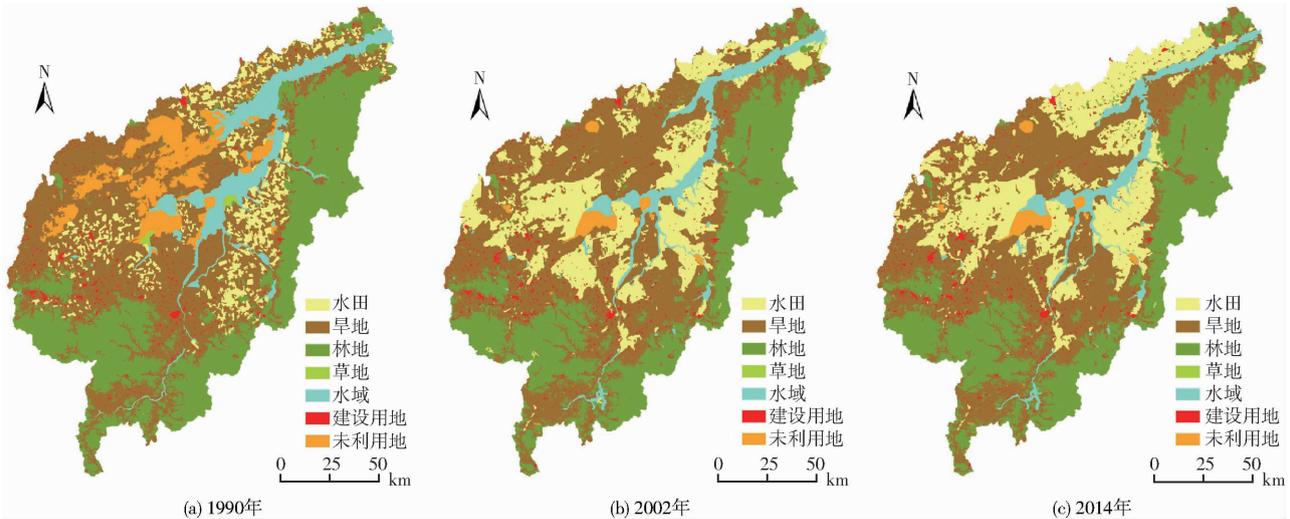


图 5 1990—2014 年挠力河流域土地利用现状图

Fig. 5 Land use maps in Naoli River Basin from 1990 to 2014

表 1 1990—2014 年间挠力河流域各土地利用类型面积比例

Tab. 1 Area ratio of each land use type in Naoli River Basin from 1990 to 2014

年份	水田	旱地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	%
1990 年	8.12	43.51	30.39	0.24	7.84	1.64	8.25	
2002 年	20.37	44.28	26.90	0.10	5.27	1.83	1.34	
2014 年	22.83	42.20	26.61	0.04	5.05	1.92	1.35	

3.2 土地利用变化动态度

3.2.1 动态度时空变化特征

通过计算单个采样样区的综合动态度,并将其视作采样格网的中心点值,选用地统计学中的 Kriging 插值方法进行前、后 2 个时间段(1990—2002 年和 2002—2014 年)动态度的空间化处理(图 6a、6b)。结果显示,流域东部和南部多为低山丘陵带,土地利用变化平缓,为流域动态度的低值集

中区。流域中部以及北部地势平缓,土地开发及生产条件优越,受人类活动潜在干扰程度高,动态度偏高。另外,2 个时间段动态度分布差异较大。1990—2002 年,内、外七星河周边地区土地利用开发活动强烈,动态度偏高,其最高值达到 3.84%;2002—2014 年,土地利用变化明显趋缓,基本以低动态度分布为主。

对前、后 2 个时间段动态度进行叠加处理以反

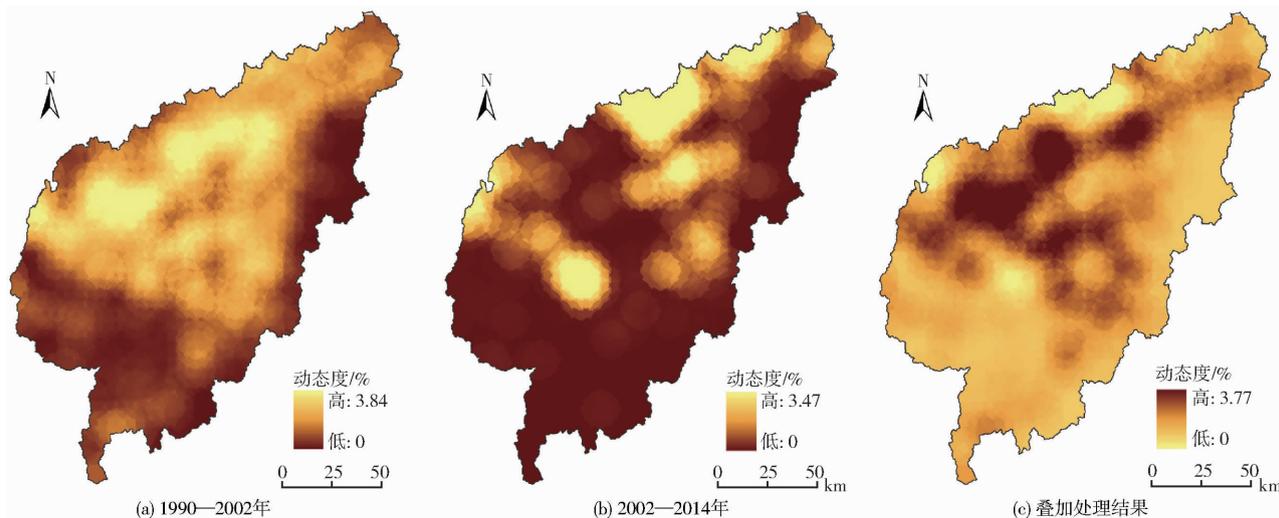


图 6 挠力河流域土地利用综合动态度变化情况

Fig. 6 Comprehensive changes of land use dynamic degree in Naoli River Basin

映土地利用变化强烈程度的差异性,正值表示变化趋缓,负值表示变化加剧,零值则表示前后不变,绝对值越大则变化程度越强烈(图 6c)。

前、后 2 个时间段挠力河流域土地利用变化以趋缓和前后不变为主,变化加剧地区较少,具体表现为:约 5.84% 的地区处于变化加剧状态,而趋缓地区面积比例高达 93.19%,前后不变地区仅占 0.97%;空间分布上,趋缓地区分布广,但趋缓程度存在明显的区域性,大部分集中于内、外七星河的周边地带,该地区湿地分布广。自 20 世纪 90 年代以来,当地大量的垦殖活动导致该地区土地利用变化极其剧烈,但随着滩涂湿地等耕地后备资源的开发殆尽以及受政府政策调控影响,土地利用变化逐渐趋于缓和。动态度加剧区域分布较为零散,且多对应 2002—2014 年“水田化”区域。

3.2.2 动态度变化趋势特征

空间趋势反映空间物体在空间区域上变化的主体特征。本文尝试根据空间抽样数据(以间隔 5 km 进行面状综合动态度的取点),拟合一个数学曲面,以反映流域综合动态度变化趋势特征。图 7 为挠力河流域土地利用综合动态度全局趋势分析示意图。X 轴表示正东方向,Y 轴表示正北方向,

Z 轴表示综合动态度。每根竖棒代表一个数据点的动态度(高度)和位置,通过投影点可以作出一条最佳拟合曲线。结果显示,前、后 2 个时间段内,流域在不同方向上均具有较好的拟合趋势,但所表现出的拟合趋势差异较大。1990—2002 年,东西方向(X 轴)呈现倒“U”字形凸形曲线,南北方向(Y 轴)呈北高南低的凸形曲线。说明在东西方向上,流域中部动态度高,土地利用变化强烈,在南北方向上,北部动态度较高,而南部较低。东西方向上,由于中部为主要的平原区,水资源丰富,种植条件优良,期间土地利用开垦强烈,南北方向上南部多为山地丘陵区,土地利用开发相对缓慢。2002—2014 年,流域整体拟合曲线趋于缓和,东西方向上呈阶梯状平滑过渡拟合态势,在南北方向呈北高南低的微凹形曲线。与 1990—2002 年相比,流域土地利用变化明显放缓,但基本仍保持东北方向变化剧烈程度高于西南方向的态势。

3.3 土地利用变化空间差异

3.3.1 全局空间自相关

对综合和单一土地利用动态度进行全局空间自相关显著性检验(表 2),结果显示,综合土地利用动

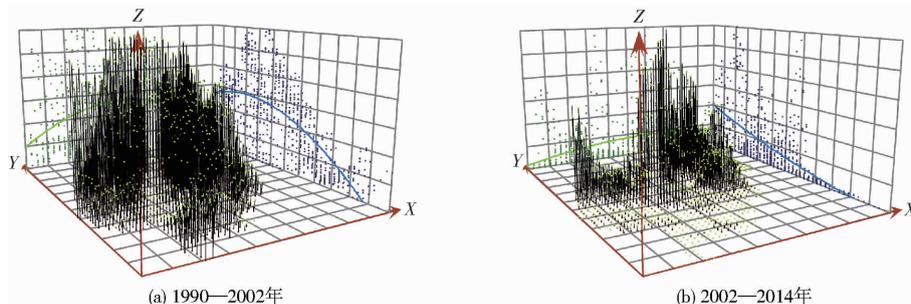


图 7 挠力河流域 2 个时间段内土地利用综合动态度趋势面

Fig. 7 Trend surfaces of comprehensive land use dynamic degree of two periods in Naoli River Basin

态度的集聚性程度明显好于单一土地利用动态度(考虑到草地面积过小,未参与验证)。在前、后2个时间段内,综合动态度 Moran's I 值均为正, P 均小于 0.01, 因此可以拒绝零假设, 即整个流域内各子集水区土地利用变化表现出显著的空间集聚性, 集水小区之间存在显著的空间正相关关系, 土地利用变化比较强(弱)的集水小区其周边的集水小区

变化也强(弱), 但由于流域当地人类扰动强度的阶段性, 动态度相似的集水小区空间集聚趋弱, 由 1990—2002 年的 0.68 降至 2002—2014 年的 0.39。而对于单一综合动态度, 空间集聚性较差, 除 2002—2014 年的林地、水域和 1990—2002 年的未利用地外, 其他均未通过空间显著性异质性检验, 即整个流域内单一土地利用动态度分布情况相对较为随机。

表 2 全局空间自相关分析显著性检验

Tab.2 Significance test for Moran's I of dynamic land use change

参数	综合		水田		旱地		林地		水域		建设用地		未利用地	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Moran's I	0.68	0.39	-0.03	0.09	-0.02	-0.02	0.26	0.13	0	0.3	-0.03	-0.01	0.17	-0.01
Z	8.40	5.20	-0.29	1.32	-0.85	-0.05	3.61	1.92	1.57	4.23	-0.17	0.10	2.56	1.08
P	<0.01	<0.01	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10	<0.01	0.05 ~ 0.10	>0.10	<0.01	>0.10	>0.10	<0.005	>0.10

注: I、II 分别表示 1990—2002 年、2002—2014 年。

3.3.2 局部空间自相关

(1) Moran 散点图

Moran's I 指数检验表明, 挠力河流域各集水小区的土地利用综合动态度具有显著的空间自相关性。为进一步研究集水小区的空间集聚特征, 基于土地利用综合动态度和空间权重矩阵绘制 Moran 散点图(图 8), 其中横轴表示土地利用综合动态度 L_c , 纵轴为其空间滞后向量 W_L , 即相邻集水小区

综合动态度的加权平均, 斜率即为 Moran's I 值。第 1 象限(高-高型)或第 3 象限(低-低型)表示某一集水小区综合动态度与周边集水小区的综合动态度同高或同低, 空间差异性小, 表现为空间正相关。第 2 象限(低-高型)或第 4 象限(高-低型)表示集水小区动态度较低(较高), 而周围集水小区动态度较高(较低), 动态度空间差异度大, 为空间负相关。

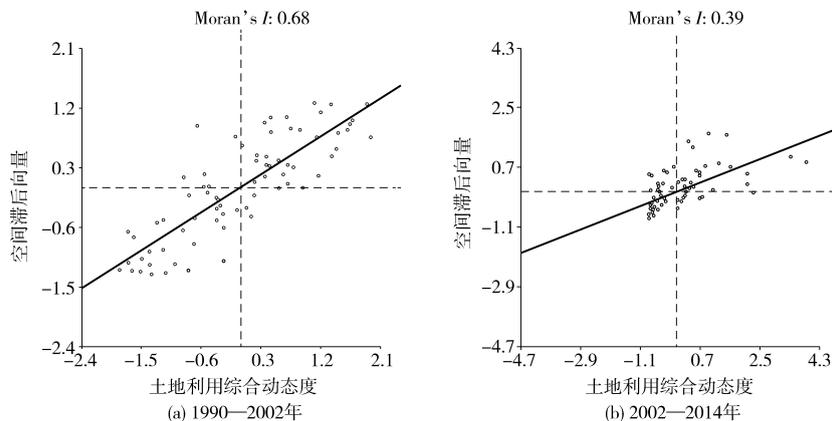


图 8 挠力河流域 2 个时间段内 Moran 散点图

Fig.8 Moran scatter plots of two stages in Naoli River Basin

经统计, 1990—2002 年, 可开发土地资源丰富且集聚(主要分布于内、外七星河地区), 第 1 象限和第 3 象限散点比例之和为 85.33%, 表明流域各集水小区动态度呈现明显的高-高型和低-低型集聚特征, 具有显著的空间自相关关系, 集水小区间动态度差异较大, 散点分布均匀。落入第 2、4 象限的点较少, 即很少出现动态度高(低)的集水小区其周边集水小区动态度低(高)的情形。

2002—2014 年, 随着土地利用开发活动减弱, 集水小区之间综合动态度差异趋于缓和, 各散点分

布更为集中, 另一方面, 尽管土地利用结构逐渐稳定, 集水小区间动态度差异越来越小, 但人为决策方向逐渐成为利用的主导诱因, 偶然性相对增加。对于第 2、4 象限内, 散点数目明显增加, 由 1990—2002 年的 14.67% 上升至 26.67%, 集水小区动态度集聚性变弱, 出现部分高(低)动态度集水小区周边集水小区动态度低(高)的情形。

(2) LISA 集聚

为进一步解释集水小区与周围集水小区的相近(正相关)和相异(负相关)关系, 基于显著性程度判

断,绘制集水小区综合动态度局部空间自相关图(图9)。结果显示,在2个时间段内,具有显著性特征的集水小区(置信度大于95%)以高-高型和低-低型为主,即集水小区与其周边集水小区的动态度基本保持一致或者相似,而低-高型或高-低型集水小区数量较少,具体表现为:高-高型是高动态度的集中区,易呈现均质状态,土地利用变化强烈,应重点关注该类型集水小区的土地利用问题,其中,1990—2002年,挠力河流域高-高型集水小区共15个,主要分布于内、外七星河沿岸,该地区为冲积扇平原,地势低平,水域丰富,垦殖条件优越。低-低型集聚小区恰与高-高型分布特点相反,可进行适当的开发潜力挖掘,共14个,主要分布于南部的低海拔高度丘陵区和小起伏山地区,地形起伏大,耕作困难,东部的LS-26集水小区也呈现低-低型特征。

高-低型表示集水小区自身变化剧烈,周围较为稳定,受空间极化作用影响,易遭受同化而转为低-低型,因此应进行适当的开发控制,相反,低-高型则应进行重点的开发引导,但二者数量较少,仅西部低海拔高度冲击平原的LA-3和LA-12集水小区表现为低-高型集聚。2002—2014年,9个高-高型集水小区集中分布于挠力河的干流北岸,地形多为冲击或冲击扇平原,是“旱地水田化”主要发生地区,需重点关注,而处于类似地理位置的LH-17却呈现出低-高型特征。低-低型集水小区分布特点与1990—2002年相似,仅南部冲积扇平原LF-47变为低-低型集聚,低海拔高度小起伏山地中LS-66呈现出显著状态。研究期内,挠力河流域75个集水小区均未表现出高-低型集聚状态,即未出现高动态度集水小区周围出现低动态度集水小区的情况。

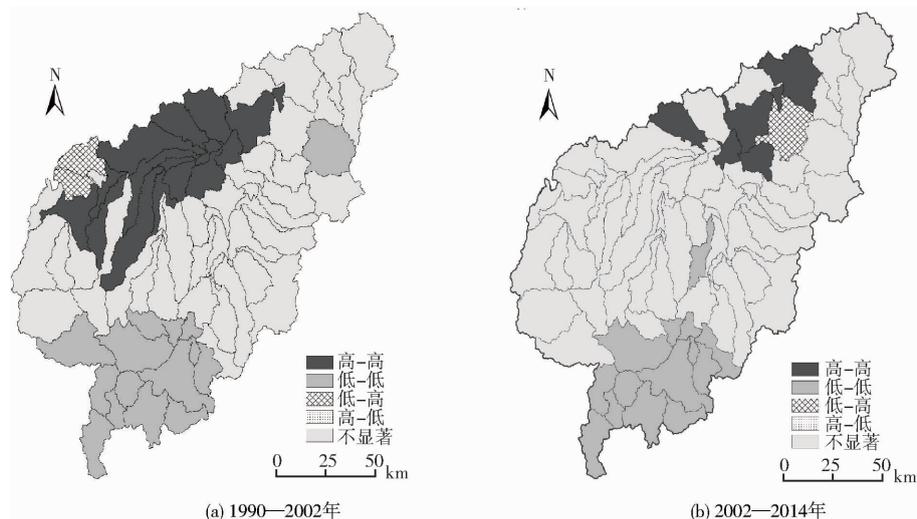


图9 挠力河流域2个时间段内动态度局部空间自相关图

Fig. 9 Local spatial autocorrelation maps of dynamic land use change of two stages in Naoli River Basin

4 讨论

传统土地利用变化空间描述一般仅从空间位置或基于更小面积单元的空间数量来代替,难以形象直观的表达,但土地利用变化存在异质性,同一地区不同位置变化程度存在差异,如何合理解决此类问题成为研究的关键所在。本文利用网格对土地利用变化信息进行采样^[23-24],通过采样网格中心点的插值处理获得最终的面状土地利用变化信息。但针对某一特定区域,不同空间粒度的采样网格所包含的土地利用信息存在差异,后续需强化其对比研究;本文分析挠力河流域土地利用变化格局,并进一步利用数字高程模型进行流域集水单元的提取,研究各集水小区间土地利用变化的自相关性规律,可为从流域范畴提出如流域开发管理分区等适应性的宏观策略,如重点关注高-高型集水小区的土地利用问

题,低-低型恰好与之相反,应该进行适当的潜力挖掘,高-低型适当开发控制,而低-高型则应进行重点的开发引导。

5 结论

(1) 挠力河流域土地利用变化呈现明显的阶段性,1990—2002年,耕地面积增幅最大,且以水田面积增加为主,“水田化”进程强烈,未利用地面积比例减少6.91个百分点;2002—2014年,土地利用变化整体趋于缓和,其中水田面积继续保持增长,但增幅仅为2.45个百分点,旱地面积比例降至42.20%,未利用地面积基本保持不变。

(2) 挠力河流域1990—2002年土地利用变化剧烈程度明显强于2002—2014年,且以趋缓为主,加剧区域少。东部和南部变化较为缓慢,为动态度低值集中区,中部以及北部受人类活动干扰程度高,

动态度偏高;趋势面拟合上,在不同方向上均具有较好的拟合趋势:1990—2002年,东西方向上呈倒“U”字形凸形曲线,南北方向上呈北高南低的凸形曲线。2002—2014年,东西方向上阶梯状平滑过渡拟合,南北方向上呈北高南低的微凹形曲线。流域东北方向变化剧烈程度整体高于西南方向。

(3) 挠力河流域综合土地利用动态度的集聚性

优于单一土地利用动态度,前者空间集聚性显著,后者分布较为随机;1990—2002年,各集水小区呈现明显的高-高型和低-低型集聚特征,其中高-高型共15个(主要分布于内、外七星河沿岸),低-低型共14个(主要分布于南部山地丘陵区);2002—2014年高-高型数量显著减少,且多为“旱地水田化”发生地区,动态度集聚性变差,差异逐渐趋于缓和。

参 考 文 献

- 1 杜国明,潘涛,尹哲睿,等. 水田化进程中的富锦市耕地景观格局演化规律[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 207-214. DU Guoming, PAN Tao, YIN Zherui, et al. Cultivated landscape pattern change due to the rice paddy expansion in Northeast China: a case study in Fujin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(1): 207-214. (in Chinese)
- 2 高继卿,杨晓光,董朝阳,等. 气候变化背景下中国北方干湿区降水资源变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 99-110. GAO Jiqing, YANG Xiaoguang, DONG Chaoyang, et al. Precipitation resource changed characteristics in arid and humid regions in Northern China with climate changes[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(12): 99-110. (in Chinese)
- 3 张耀存,张录军. 东北气候和生态过渡区近50年来降水和温度概率分布特征变化[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 561-566. ZHANG Yaocun, ZHANG Lujun. Precipitation and temperature probability characteristics in climatic and ecological transition zone of Northeast China in recent 50 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(5): 561-566. (in Chinese)
- 4 卢洪健,莫兴国,孟德娟,等. 气候变化背景下东北地区气息干旱的时空演变特征[J]. 地理科学, 2015, 35(8): 1051-1059. LU Hongjian, MO Xingguo, MENG Dejuan, et al. Analyzing spatiotemporal patterns of meteorological drought and its responses to climate change across Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(8): 1051-1059. (in Chinese)
- 5 胡琦,潘学标,张丹,等. 东北地区不同时间尺度下气温和无霜期的变化特征[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 1-8. HU Qi, PAN Xuebiao, ZHANG Dan, et al. Variation of temperature and frost-free period in different time scales in Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 36(1): 1-8. (in Chinese)
- 6 云雅如,方修琦,王媛,等. 黑龙江省过去20年粮食作物种植格局变化及其气候背景[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 697-705. YUN Yaru, FANG Xiuqi, WANG Yuan, et al. Main grain crops structural change and its climate background in Heilongjiang Province during the past two decades[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 697-705. (in Chinese)
- 7 段居琦,周广胜. 中国双季稻种植区的气候适宜性研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(2): 218-227. DUAN Juqi, ZHOU Guangsheng. Climatic suitability of double rice planting regions in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(2): 218-227. (in Chinese)
- 8 宋开山,刘殿伟,王宗明,等. 三江平原过去50年耕地动态变化及其驱动力分析[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 75-81. SONG Kaishan, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al. Analysis of cultivated land dynamics in the past 50 years in Sanjiang Plain and its driving forces[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(4): 75-81. (in Chinese)
- 9 陈铭,张柏,王宗明,等. 三江平原别拉洪河流域湿地农田化过程研究[J]. 湿地科学, 2007, 5(1): 69-75. CHEN Ming, ZHANG Bo, WANG Zongming, et al. Process of wetland reclamation in the Bielalong River Basin of the Sanjiang Plain[J]. Wetland Science, 2007, 5(1): 69-75. (in Chinese)
- 10 宋开山,刘殿伟,王宗明,等. 1954年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 93-104. SONG Kaishan, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al. Land use change in Sanjiang Plain and its driving forces analysis since 1954[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(1): 93-104. (in Chinese)
- 11 刘红玉,吕宪国,张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其50年变化研究[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1472-1479. LIU Hongyu, LÜ Xianguo, ZHANG Shikui. Landscape biodiversity of wetlands and their changes in 50 years in watersheds of the Sanjiang Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1472-1479. (in Chinese)
- 12 周德明,宫辉力,胡金明,等. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究:以洪河湿地自然保护区为例[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 86-96. ZHOU Deming, GONG Huili, HU Jinming, et al. Probe into the landscape pattern of freshwater wetland communities—a case study in the Honghe National Nature Reserve in Sanjiang Plain, China[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(1): 86-96. (in Chinese)
- 13 汪爱华,张树清,何艳芬. RS和GIS支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 636-640. WANG Aihua, ZHANG Shuqing, HE Yanfen. Study on dynamic change of mire in Sanjiang Plain based on RS and GIS[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(5): 636-640. (in Chinese)
- 14 黄妮,刘殿伟,王宗明,等. 1954—2005年三江平原自然湿地分布特征研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(1): 33-39. HUANG Ni, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al. Distribution features of natural wetland in the Sanjiang Plain from 1954 to

- 2005[J]. *Wetland Science*, 2009, 7(1): 33 - 39. (in Chinese)
- 15 赵冬玲, 杜萌, 杨建宇, 等. 基于 CA - Markov 模型的土地利用演化模拟预测研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(3): 278 - 285. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160339&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.039.
ZHAO Dongling, DU Meng, YANG Jianyu, et al. Simulation and forecast study of land use change based on CA - Markov model [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(3): 278 - 285. (in Chinese)
- 16 周浩, 雷国平, 张博, 等. 1990—2013 年挠力河流域耕地变化下水土资源平衡效应分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 272 - 280.
ZHOU Hao, LEI Guoping, ZHANG Bo, et al. Farmland change induced land and water resource balance in Naoli River Basin from 1990 to 2013[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(1): 272 - 280. (in Chinese)
- 17 陈丽, 郝晋珉, 艾东, 等. 黄淮海平原粮食均衡增产潜力及空间分异[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(2): 288 - 297.
CHEN Li, HAO Jinmin, AI Dong, et al. Balanced yield increasing potential of grain and its spatial differentiation in Huang - Huai - Hai Plain[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(2): 288 - 297. (in Chinese)
- 18 谷建立, 张海涛, 陈家赢, 等. 基于 DEM 的县域土地利用空间自相关格局分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 216 - 224.
GU Jianli, ZHANG Haitao, CHEN Jiaying, et al. Analysis of land use spatial autocorrelation patterns based on DEM data[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(23): 216 - 224. (in Chinese)
- 19 宋晓林. 1950s 以来挠力河流域径流特征变化及其影响因素[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2012.
SONG Xiaolin. Variation of hydrological regimes and its driving forces of Naoli River since 1950s[D]. Changchun: Northeast Institute of Geograph and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2012. (in Chinese)
- 20 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(6): 631 - 639.
WANG Siyuan, LIU Jiyuan, ZHANG Zengxiang, et al. Analysis on spatial-temporal features of land use in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(6): 631 - 639. (in Chinese)
- 21 杨俊, 单灵芝, 席建超, 等. 南四湖湿地土地利用格局演变与生态效应[J]. *资源科学*, 2014, 36(4): 856 - 864.
YANG Jun, SHAN Lingzhi, XI Jianchao, et al. Land use pattern changes and ecological effects in Nansihu Wetland[J]. *Resources Science*, 2014, 36(4): 856 - 864. (in Chinese)
- 22 危小建, 刘耀林, 王娜. 湖北省土地整治项目空间分异格局[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(4): 195 - 203.
WEI Xiaojian, LIU Yaolin, WANG Na. Spatial disparity pattern of land consolidation projects in Hubei Province [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(4): 195 - 203. (in Chinese)
- 23 苏海民, 何爱霞. 基于 RS 和地统计学的福州市土地利用分析[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(1): 91 - 99.
SU Haimin, HE Aixia. Analysis of land use based on RS and geostatistics in Fuzhou City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(1): 91 - 99. (in Chinese)
- 24 傅丽华, 谢炳庚, 张晔. 长株潭核心区土地利用生态风险多尺度调控决策[J]. *经济地理*, 2012, 32(7): 118 - 122.
FU Lihua, XIE Bingeng, ZHANG Ye. Multi-scale controlling decision of land use ecological risk in Chang - Zhu - Tan core area [J]. *Economic Geography*, 2012, 32(7): 118 - 122. (in Chinese)