

李昭阳,宋明晓,张赢月,等. 基于生物多样性保护的生态空间辨识研究——以吉林省辽河流域为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):220-224. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.059

# 基于生物多样性保护的生态空间辨识研究 ——以吉林省辽河流域为例

李昭阳,宋明晓,张赢月,高镜婷,王孟

(吉林大学环境与资源学院,吉林长春 130012)

**摘要:**吉林省辽河流域是农业种植和畜禽养殖的重点区域,由于生产与生活空间的不断扩张,基于生物多样性保护的生态空间受到侵占,科学地识别和划定生态空间对于维持区域生态平衡、保障区域生态安全具有重要意义。在构建包括植被覆盖指数、植被类型、生境服务质量指数、河流廊道连通性指数等4个指标的生态空间重要性评价体系的基础上,综合运用3S技术(即遥感技术、地理信息系统、全球定位系统),集成多源空间数据,运用空间分析与因子分析法对吉林省辽河流域基于生物多样性保护的生态空间进行评价,辨识出关键性生物多样性保护用地空间。研究结果表明:极重要、重要的生态空间主要分布在研究区东南部的林地和河流廊道两侧,须重点保护、严禁或限制开发;研究区的西北部除城镇外的区域评价等级为较重要,主要为农田生态系统;建设用地的生物多样性程度较低。研究结果可为吉林省辽河流域的生态建设规划与生物多样性保护提供相应理论依据。

**关键词:**生态空间;辽河流域;生物多样性保护;土地生态管理

**中图分类号:** X87;X176 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)07-0220-04

2016年,我国正处于“十三五”规划的开局之年,经济保持中高速发展,城镇化进程加快,经济发展与生态环境保护间的矛盾仍然存在,土地资源开发利用不合理、资源消耗高、生态系统退化等问题仍较为突出。践行生态文明理念,走可持续发展的道路,就必须加强对国土空间的科学规划。2010年12月国务院正式颁布《全国主体功能区规划》,将国土空间的结构划分为农业空间、城市空间、生态空间、其他空间。生态空间指在不同空间尺度上,对维护关键生态过程和提供生态系统服务具有重要意义的生态系统(土地单元)及其空间部分<sup>[1]</sup>。保留生态空间对维持生态平衡、保障生态系统连通性、隔离和缓冲有害的环境因素具有重要意义。生态空间的研究重点之一,就是对生态空间进行识别。

根据不同的功能,生态空间可以分为多种类型。生物多样性是指包括地球上所有的植物、动物、微生物物种及其所拥有的基因,各物种之间及各物种与生境之间的相互作用所构成的生态系统及其生态过程<sup>[2]</sup>。基于生物多样性保护的生态空间是指从区域层次上识别生物多样性保护的关键过程和空间格局,保护区域生物栖息地和生态系统的完整性、健康性的生态空间。

国外对基于生物多样性保护的生态空间研究多是对生态用地的划分、生态服务功能以及生态系统服务价值进行相关方面的评估。欧洲的研究者基于常规的土地利用体系,将具有维持生物多样性功能的水域、林地、草地划分出来<sup>[3]</sup>。日

本学者从土地利用体系中划分出森林和水域<sup>[4]</sup>。Malczewski提出了基于地理信息系统(GIS)的多准则土地适宜性评价方法<sup>[5]</sup>。德国的研究人员 Vester F 和 Hsester A V 就生态敏感度分析模型作了详尽的阐述<sup>[6]</sup>。

国内对基于生物多样性保护的生态空间研究起步较晚,王智勇研究在江河湖泊、山体、风景区、自然保护区、农田、林地等处设禁建区和限建区,通过对生态空间的保护和控制引导城市与区域发展<sup>[7]</sup>。许尔琪等结合国土规划提取包括生物多样性保护区、水源涵养区、土壤保持区、洪水调蓄区、河岸防护带和防风固沙带等6类国家核心生态空间,划定维护国土安全的生态红线<sup>[8]</sup>。近年,随着新农村建设取得显著成效,吕贤军等对城乡生态空间规划进行了探索,强调生态优先性,既保证经济的稳定增长又维护了城乡生态安全格局<sup>[9]</sup>。高瑞莲等将3S技术(即遥感技术、地理信息系统、全球定位系统)应用到生物多样性保护的研究中,打破了传统调查方法的局限性<sup>[10-11]</sup>。张黎娜等以受人为干扰剧烈的黄淮海湿地为研究对象,分析生态系统服务的关键性生态功能区<sup>[12]</sup>。Xie等在生态重要性评价中将生物多样性保护作为重要指标之一,并用生境敏感性指数作为评价标准<sup>[13]</sup>。

根据我国生物多样性保护的重要性空间格局可知,吉林省位于生物多样性保护的重要区<sup>[14]</sup>。吉林省辽河流域水网密集、植被物种丰富,同时也是吉林省农业种植和畜禽养殖的重点区域,流域生产总值占全省的25%。无论从生态学角度还是社会经济学角度出发,以吉林省辽河流域作为典型区,进行生物多样性保护的生态空间识别,对区域生态建设及可持续发展有重要的指导意义。目前,从事基于生物多样性保护方面的空间辨识研究较少,本研究在前人研究的基础上,对影响生物多样性保护的生态空间的指标进行筛选和补充,以便更准确地反映吉林省辽河流域的生态特征,为区域生态安全

收稿日期:2016-10-26

基金项目:吉林省科技发展计划(编号:20150101092JC)。

作者简介:李昭阳(1978—),女,吉林长春人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事生态环境系统工程与数字化管理研究。E-mail: lizhaoyang227@163.com。

格局设计以及生态建设提供科学的理论依据。

### 1 研究区概况

吉林省辽河流域地处松辽平原中部,地理位置 123°18' ~ 125°36'E,42°36' ~ 44°10'N(图1),流域面积 15 710 km<sup>2</sup>,占全省总土地面积的 8.38%,包括辽源市、四平市 2 个地级市和东辽县、公主岭市、梨树县、双辽市、伊通满族自治县等 5 个县(县级市),总人口 463 万人。研究区属于温带大陆性季风气候区,冬季干燥、气候严寒,夏季降水集中、气温湿热,年均气温在 2 ~ 8 ℃ 左右,年降水量 350 ~ 700 mm。研究区地处辽河流域上游,同时具备低山、丘陵和平原,地势由东南向西北缓降,海拔 655 ~ 99 m。

### 2 研究方法和数据来源

#### 2.1 数据来源和处理

本研究主要运用遥感和 GIS 的空间分析技术,应用平台

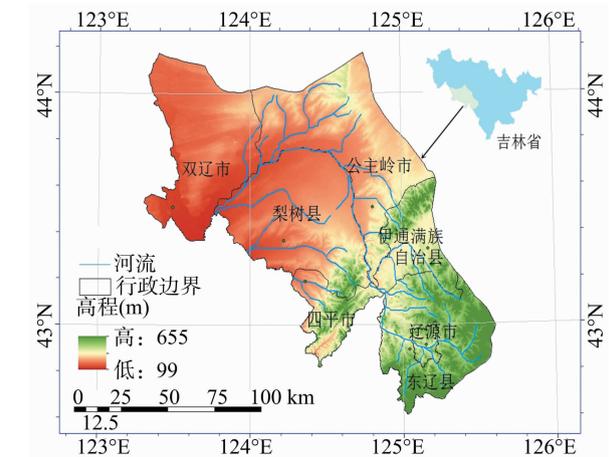


图1 研究区地理位置示意

为 ArcGIS 10.0、Erdas 9.2、Fragstats 4.2。本研究数据及数据来源见表 1。

表 1 研究数据及数据源

数据	来源
1 : 165 万 2012 年吉林省土地现状图	《吉林省地图集》
1 : 165 万 2012 年吉林省水系湿地图	《吉林省地图集》
1 : 165 万 2012 年吉林省植被类型图	《吉林省地图集》
NDVI 数据	风云卫星遥感数据服务网 <a href="http://fy3.satellite.cma.gov.cn/portalsite/default.aspx">http://fy3.satellite.cma.gov.cn/portalsite/default.aspx</a> 和 LAADS WEB <a href="https://ladsweb.nascom.nasa.gov/">https://ladsweb.nascom.nasa.gov/</a> (空间分辨率为 250 m × 250 m)
DEM 数据	国家科学数据服务平台(分辨率为 30 m)

在 ArcGIS 10.0 中从 2012 年吉林省土地利用现状图中提取主要的景观类型,包括林地、湿地、水域、草地、农田、建设用地,利用 ArcGIS 10.0 的空间分析工具对吉林省水系湿地图作 500 m 缓冲区,并与提取的景观类型图叠加,得到 2012 年吉林省河流廊道空间分布图。利用 Fragstats 4.2 软件计算河流廊道的连通度,将计算结果在 ArcGIS 10.0 中进行赋值,得到河流廊道连通性的空间分布图。利用栅格计算器对土地利用现状图进行计算、修正得到生境服务质量图,将植被覆盖指数图、植被类型图、生境服务质量图、河流廊道连通性空间分布图作叠加运算和重分类,最终将吉林省辽河流域生物多样性保护的生态空间划为 4 级,分别为极重要、重要、较重要、一般。

#### 2.2 研究方法

基于生物多样性保护的生态空间是指从区域层次上识别生物多样性保护的关键过程和空间格局,保护区域生物栖息地和生态系统的完整性和健康性的生态空间用地。在已有的区域生态系统服务定量评估的基础上,针对研究区植被覆盖程度高、植被物种丰富、水网密集的特点及演变规律,筛选和构建生物多样性保护的生态空间识别的指标体系,本研究以植被类型、植被覆盖指数、生境服务质量指数、河流廊道连通性作为评价指标,分别评价每个指标的重要性并进行赋值,最后根据各指标的评价结果完成研究区生态空间的综合识别图。

2.2.1 植被覆盖指数 由于植被覆盖指数与生物量、光有效辐射等生物物理参数有较强的相关性,能够有效反映地表植被的生长状况、植被种植特征、生物量大小和覆盖程度,本研究将植被覆盖指数作为基于生物多样性保护的生态空间辨识

的重要指标,分级标准见表 2。

2.2.2 植被类型 植被作为地表生态系统的重要组成部分,受光照、温度、降水量等环境因素影响生态系统物质流和能量流的传递。本研究区主要以人工植被为主,即为吉林省耕地的主要分布区。本研究区北部的的主要植被类型为草地,东南部植被类型较多并以次生林、阔叶林为主,中部为耕地,耕地周围多种植人工杨林作为农田保护林。本研究参阅已有的国内外研究,结合研究区实际情况,运用专家咨询的方法对植被类型进行分级赋值,具体分级标准见表 2。

2.2.3 生境服务质量指数 一般而言,生态系统生物多样性服务功能较高的地区都能为濒危物种提供良好的生境<sup>[15]</sup>。通过保护生物多样性服务功能,能维持生态环境的稳定性,是实现可持续发展的基础。参考谢高地等核算的生物多样性服务当量<sup>[16]</sup>,结合研究区实际情况,根据保护级别予以修正,计算公式如下:

$$S = l \times m \times n。$$

式中:S 为生境服务质量指数;l 为各土地利用类型面积;n 为生物多样性服务当量;m 为保护级别修订值。运用 ArcGIS 10.0 的栅格计算器计算每个栅格单元的生境服务质量指数,再进行重分类,分别为极重要、重要、较重要、一般 4 类,并分别赋值为 7、5、3、1,具体分级标准见表 2。

2.2.4 河流廊道连通性指数 所有景观都会被廊道分割,同时又被廊道连接在一起<sup>[17]</sup>。连通性作为河流廊道的重要结构特性,能提供良好的生境,利于植物体传播,是能量、物质和生物的源和汇<sup>[18]</sup>。利用 Fragstats 4.2 软件计算河流廊道空间的连通性,将计算结果在 ArcGIS 10.0 中赋值,得到河流廊道连通性的空间分布图,运用自然断点法重新分类,分别为极重

要、重要、较重要、一般4类,并分别赋值为7、5、3、1,具体分级标准见表2。

2.2.5 生物多样性保护用地综合评价 利用层次分析法对植被覆盖指数、植被类型、生境服务质量指数划分权重,运用ArcGIS 10.0的空间叠加分析功能,得到基于生物多样性保护

的综合生态空间评价图,计算公式如下:

$$SS = \sum_{i=1}^4 C_i W_i$$

式中:SS为生物多样性保护用地综合指数; $C_i$ 为第*i*个指标的重要性等级值; $W_i$ 为第*i*个指标的权重。

表2 基于生物多样性保护的生态空间评价指标

指标	各生态元素对生物多样性保护的贡献分级			
	极重要	重要	较重要	一般
植被覆盖指数	>0.6~1.0	>0.4~0.6	>0.2~0.4	0~0.2
植被类型	栎杨桦林	疏林草地、灌丛草地、芦苇草地	杂类草地、水田	旱地
生境服务质量指数	>15 000	>1 300~15 000	300~1 300	<300
河流廊道连通性指数	>65.00	>50.00~65.00	35.00~50.00	<35.00
分级赋值	7	5	3	1

### 3 结果与分析

根据上述识别方法,利用GIS 10.0对吉林省辽河流域关键性生态保护用地各单因子进行评价,得到评价结果见表3。

表3 研究区关键性生物多样性保护用地各识别因子评价结果

识别因子	评价等级	面积 (km <sup>2</sup> )	占比 (%)	累计占比 (%)
植被覆盖指数	极重要	656.68	4.18	4.18
	重要	1 850.64	11.78	15.96
	较重要	7 828.29	49.83	65.79
	一般	5 374.39	34.21	100.00
植被类型	极重要	2 675.41	17.03	17.03
	重要	589.13	3.75	20.78
	较重要	1 794.08	11.42	32.20
	一般	1 0651.38	67.80	100.00
生境服务质量指数	极重要	2 709.98	17.25	17.25
	重要	10 154.94	64.64	81.89
	较重要	259.22	1.65	83.54
	一般	2 585.96	16.46	100.00
河流廊道连通性指数	极重要	723.97	58.12	58.12
	重要	192.83	15.48	73.60
	较重要	138.39	11.11	74.71
	一般	190.45	15.29	100.00

由植被覆盖方面的重要性空间分布情况(图2)和表3可知,研究区内植被覆盖分布差异较大,呈现由西北向东南递增的趋势,极重要的地区出现在辽源市和四平市南部,主要的植被类型为温带落叶林区。植被覆盖评价为极重要、重要的地区面积分别为656.68、1 850.64 km<sup>2</sup>,合计占研究区总面积的15.96%,该地区植被覆盖程度较好。较重要的地区主要分布在四平市中部,该地区以旱地居多。

根据研究区植被类型空间分布情况(图3)和表3可知,评价级别为极重要的地区主要位于四平市南部和辽源市大部分地区,主要植被类型为栎杨桦林、松林。该地区面积为2 675.41 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的17.03%。四平市西北部的人工杨林、辽源南部的落叶松林、灌丛草地、疏林草地等为研究区重要的植被类型,面积为589.13 km<sup>2</sup>,较重要的植被类型为水田,分布于辽河沿岸,极重要、重要以及较重要的植被类型用地占研究区总面积的32.20%。重要性等级为一般的植被类型为旱田,分布在研究区的中部,占研究区总面积的

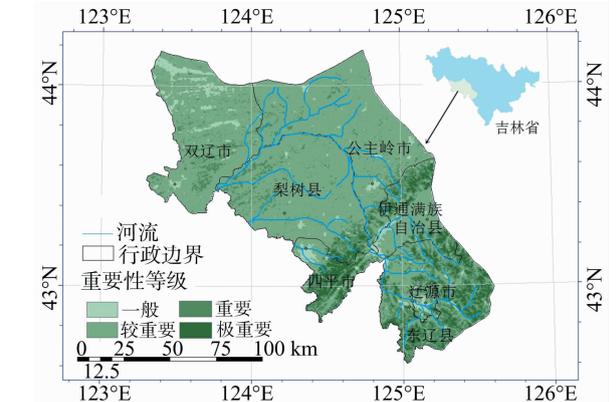


图2 2012年研究区植被覆盖指数重要性空间分级

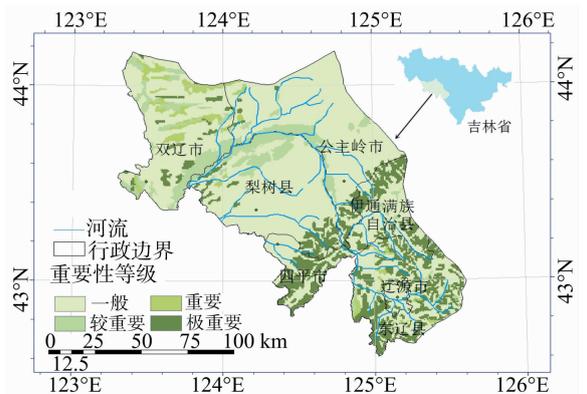


图3 2012年研究区植被类型重要性空间分级

67.80%。

从图4和表3研究区生境服务质量可以看出,极重要、重要的地区分别占研究区总面积的17.25%、64.64%。极重要地区分布在四平市南部和辽源市大部分地区,该区域林地、灌丛、草地为重要的景观类型,物种丰富,能提供较好的生态系统服务功能。研究区西北部的碱蓬碱蒿草地、针茅草地生态系统服务价值较低,生境服务质量等级为一般。

吉林省辽河流域的河流廊道面积为1 245.64 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的11.04%。河流廊道内所发生的传输或迁移取决于河流廊道的连通性,同时对廊道两侧的生境独特性有明显影响<sup>[19]</sup>。由研究区河流廊道的空间分布情况(图5)和表3可知,研究区河流廊道保持较高的连通性。连通程度为极重

要、重要的区域占研究区河流廊道总面积的73.60%，主要分布在研究区中部和南部，表现的景观类型为农田、水域。连通程度较重要的地区占研究区河流廊道总面积的11.11%，主要的景观类型为少量的湿地和草地。连通性一般的地区多为建筑用地。

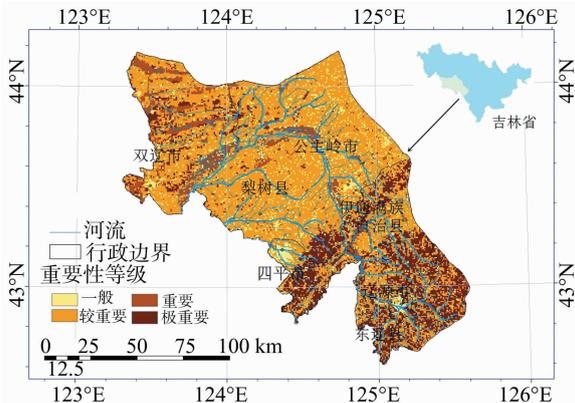


图4 研究区2012生境服务质量空间分级

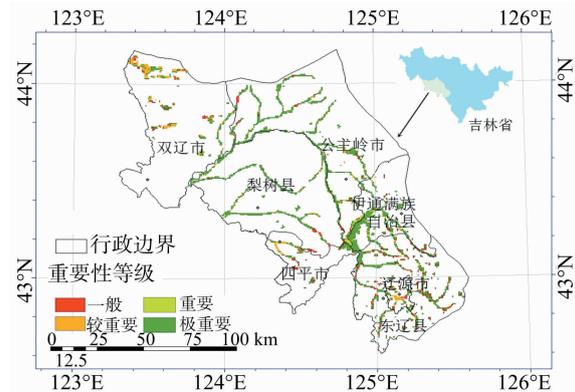


图5 研究区2012年河流廊道连通性空间分级

综合评价结果(图6)表明,极重要的地区主要位于研究区的南部以及河流廊道,少量分布在研究区北部,评价结果为极重要的地区植被覆盖度高,主要植被类型为柞杨桦林、松林,同时连通度较高的河流廊道提供极高生境服务质量。分布在极重要的地区周围的植被类型为落叶松林、灌丛草地、疏林草地等,与沿辽河流域种植的水田共同构成生物多样性保护用地的的重要用地。研究区的中部种植大面积的旱田,虽然植被覆盖度较高,但它提供的生境服务质量受季节影响较大,评价结果为较重要。研究区内的建设用地评价等级为一般。

#### 4 结论

结合吉林省辽河流域的生态特点,从植被覆盖指数、植被类型和生物服务质量、河流廊道连通性4个方面出发,构建生物多样性保护用地识别的指标体系。按照分级标准对植被覆盖指数、植被类型和生物服务质量、河流廊道连通性进行重要性分级,利用GIS的空间叠加分析功能,得到生物多样性保护用地的综合空间评价分级图,分级结果能准确反映关键性生物多样性保护用地的空间分布特征。

研究区东南部以及主要的水系周围植被覆盖度高,植被类型以林地、灌丛、草地为主,生境服务质量高,同时河流廊道

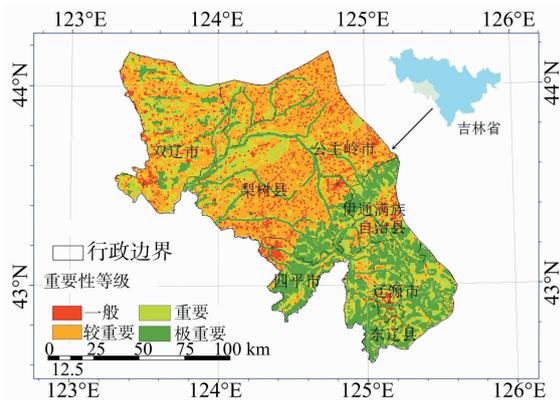


图6 基于生物多样性保护的生态空间评价分级

具有较好的连通性,能提供较高的生物多样性服务价值,被评为极重要的生物多样性保护用地。须对这些区域加以重点保护,禁止开发建设。

随着人口增长,人类活动加剧、对环境的不合理开发等都造成对生态空间用地的破坏。对关键性生物多样性保护用地的识别研究,有助于明确生态空间用地存在的问题,通过研究关键性生物多样性保护用地的空间分布特征,有利于把握生态系统脆弱性特征,指导土地的生态管理,实现生态、经济、社会可持续发展。

本研究能较好地对研究区关键性生物多样性保护用地进行识别,对本研究区的生态安全、生态空间用地的辨识等具有指导意义。由于本研究区内没有国家级自然保护区和森林公园等重要的生态功能区,因此本研究未涉及重要功能区对生物多样性保护用地的影响。此外,在今后的研究中,可进一步扩展指标体系,提高研究尺度,使研究结果更具有指导性和操作性。

#### 参考文献:

- [1] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 等. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1932-1939.
- [2] 陈灵芝, 马克平. 生物多样性科学: 原理与实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.
- [3] Klijn F, de Haes H A U. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification [J]. Landscape Ecology, 1994, 9(2): 89-104.
- [4] 王国强. 中日土地利用管理比较研究[J]. 国土资源科技管理, 2002, 19(4): 5-9.
- [5] Malczewski J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006, 8(4): 270-277.
- [6] 刘洪杰, 苏建忠, 李文翎. 城市景观的类型及其环境生态效能的评价[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2003(3): 126-130.
- [7] 王智勇. 快速成长期城市密集区生态空间框架及其保护策略研究——以武鄂黄黄城市密集区为例[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [8] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1322-1331.

汤洁,李红薇,李昭阳,等. 太平池湿地区域生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):224-230.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.060

# 太平池湿地区域生态系统服务价值 对土地利用变化的响应

汤洁,李红薇,李昭阳,王静静,张溶

(吉林大学环境与资源学院,吉林长春 130012)

**摘要:**为探究土地利用变化与生态环境间的关系,以吉林省长春市农安县太平池湿地区域为研究对象,利用1989、2000和2014年遥感影像对土地利用变化特征及土地利用变化特征与生态环境演变的响应关系进行分析,在此基础上对研究区生态系统服务价值进行计算。通过分析生态系统服务价值流向,不同土地利用类型生态系统服务价值和单项生态系统服务价值对总生态系统服务价值的影响,对研究区土地利用变化与生态系统服务价值间的关系进行研究。结果表明:1989—2014年间农安县太平池湿地土地利用变化十分剧烈,耕地、居民用地、盐碱地和湿地面积增加,水域、草地和林地面积减少,其中耕地、草地面积变化较大,分别为68.42、-92.20 km<sup>2</sup>。土地利用变化受自然因素和人为因素的双重影响,而人口是影响土地利用变化的主要驱动因素。研究区生态系统服务价值主要由水域、耕地提供,占总生态系统服务价值的比例分别为>60%、>20%。研究区单项生态系统服务价值大部分处于递减状态,水源涵养功能价值减少最多,为24 357.31万元。由于土地利用类型转化处于不平衡状态,研究区生态系统服务价值在1989—2014年间整体价值流向为负。

**关键词:**遥感技术;土地利用变化;生态环境演变;生态系统服务价值;太平池湿地区域

**中图分类号:** X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)07-0224-07

生态系统服务是指生态系统形成及所维持的人类赖以生存的环境条件与效用<sup>[1-3]</sup>。对生态系统服务价值(ecosystem service value,简称ESV)进行评估,现已成为合理高效配置环境资源的基础<sup>[4-5]</sup>。土地利用/覆盖变化(land use and land cover change,简称LUCC)是将人与自然密切联系的重要环节<sup>[6-8]</sup>,可直接引起生态系统空间格局的巨大变化,进而改变生态系统的结构及功能,导致其为人类提供的生态服务价值

也发生变化。因此,评估LUCC对生态系统服务价值的影响对于区域生态建设等具有重要指导意义<sup>[9-10]</sup>,通过LUCC定量评估生态系统服务价值已成为研究热点<sup>[11]</sup>。Mendoza-González等利用地理信息系统(GIS)技术,分析了墨西哥湾中心区域土地利用变化情况,进而研究该区生态系统服务价值变化情况<sup>[12]</sup>;Estoque等利用GEOMOD模型对菲律宾碧瑶市1988—2009年的土地利用变化进行分析,从而进一步研究该市的生态系统服务价值变化<sup>[13]</sup>;姚成胜等应用现有的生态系统服务价值系数,分析了1995—2005年福建省土地利用变化导致的生态系统服务价值的变化,并分析了生态系统服务价值变化和影响土地利用变化的总人口、GDP和城市化水平3个社会经济驱动因子之间的相关性和敏感性<sup>[14]</sup>;王燕等利用

收稿日期:2016-10-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:51179073)。

作者简介:汤洁(1957—),女,吉林长春人,博士,教授,主要从事生态环境系统理论与技术研究。E-mail: tangjie0724@163.com。

[9]吕贤军,李锐,李志学. 城市群地区城乡生态空间保护与利用研究——以长株潭生态绿心地区为例[J]. 城市发展研究,2013,20(12):82-87.

[10]高瑞莲,吴健平. 3S技术在生物多样性研究中的应用[J]. 遥感技术与应用,2000,15(3):205-209.

[11]梁秋英,刘慧. 3S技术与生物多样性研究[J]. 生物学杂志,2007,24(2):63-65.

[12]张黎娜,李晓文,宋晓龙,等. 黄淮海湿地生态系统服务与生物多样性保护格局的耦合性[J]. 生态学报,2014,34(14):3987-3995.

[13]Xie H L, Yao G R, Liu G Y. Spatial evaluation of the ecological importance based on GIS for environmental management: a case study in Xingguo county of China[J]. Ecological Indicators,2015,51:3-12.

[14]赵国松,刘纪远,匡文慧,等. 1990—2010年中国土地利用变化对生物多样性保护重点区域的扰动[J]. 地理学报,2014,69

(11):1640-1650.

[15]谢花林,李秀彬. 基于GIS的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴县长岗乡为例[J]. 生态学报,2011,31(1):230-238.

[16]谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 重庆第二师范学院学报,2003,18(2):189-196.

[17]余新晓,牛健植,关文彬,等. 景观生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:85-89.

[18]邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度、等级[M]. 北京:高等教育出版社,2007:36-40.

[19]Xie Y C, Gong J, Sun P, et al. Oasis dynamics change and its influence on landscape pattern on Jinta oasis in arid China from 1963a to 2010a; integration of multi-source satellite images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2014,33(33):181-191.