

重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示

——以湖北省宜昌市为例

熊善高^{1,2}, 万军², 龙花楼¹, 于雷²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要:生态系统服务价值评估一直是生态系统服务研究的重点和难点, 认识和理解生态系统服务价值特征对制定合理的生态系统管理目标具有重要意义。以重点生态功能区——湖北省宜昌市为例, 基于宜昌市 2000 年、2005 年和 2010 年土地利用数据, 采用价值系数法估算宜昌市生态系统服务价值, 分析 10 年间宜昌市生态系统服务价值时空分异特征。结果表明: (1) 10 年间, 宜昌市生态系统服务价值相对稳定, 约为 342 亿元/a, 年均增长 0.01%。林地对生态系统服务价值贡献最大, 约占 80%, 水源涵养服务功能价值最高, 约占 16.8%; (2) 宜昌市生态系统服务价值呈现明显的西部高、中心城区和东南部低的分布格局; (3) 根据生态系统服务价值空间分布特征, 宜昌市未来生态系统管理应按城镇环境维护区、农业生态保护区和生态安全屏障区 3 大生态功能分区制定相应的发展战略目标。

关键词:重点生态功能区; 生态系统服务价值; 时空变化; 宜昌市

中图分类号: F062.2; F301

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0296-07

Spatiotemporal Dynamics and Implications of Ecosystem Service Value in the Key Ecological Function Area

— Case of Yichang City, Hubei Province

XIONG Shangao^{1,2}, WAN Jun², LONG Hualou¹, YU lei²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Chinese Academy for Environmental Planning, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China)

Abstract: Ecosystem service value assessment is always a research focus of ecosystem services. It is a great significance of understanding the value of ecosystem services features for making reasonable ecosystem management targets. Taking the key ecological function area: Yichang City as study area, based on the land use vector data in the years of 2000, 2005 and 2010, we analyzed the spatiotemporal differentiation characteristics of ecosystem service values in Yichang City by using value coefficient method to estimate the ecosystem service value. The results showed that: (1) the ecosystem service value was relatively stable with average annual growth rate of 0.01%, the total ecosystem service value was about 34.2 billion yuan/year, the woodland contributed about 80% of the total ecosystem service value among all the land use types, the service value of water conservation was the highest among all the ecosystem service function types, and accounted for 16.8% of the total; (2) the ecosystem service value of Yichang City presented a pattern of high value in the western part and low in the inner city and southeastern part; (3) according to the spatial distribution characteristics of ecosystem service value in each county of Yichang City, it was divided into three ecological function zones: urban environment maintenance zone, agricultural ecological reserve zone and ecological security barrier zone, based on which it was suggested to formulate the corresponding development strategy targets.

Keywords: key ecological function area; ecosystem service value; spatiotemporal dynamics; Yichang City

生态系统服务是指人类直接或间接从生态系统得到的利益, 主要包括供给服务(如提供食物和水)、

调节服务(如控制洪水和疾病)、文化服务(如精神、娱乐和文化收益)以及支持服务(如维持地球生命生存

环境的养分循环)^[1-2]。自 20 世纪末期,以 Costanza^[3]、欧阳志云^[4]、赵景柱^[5] 等为代表的国内外学者对全球生态系统服务与自然资本价值估算展开了研究,在相关理论、主要生态系统功能和生态系统价值评价方法上取得了重要进展。进入 21 世纪后,随着联合国首次启动千年生态系统评估规划,关于生态系统服务现状、相关理论、价值评估方法等逐渐成为全球生态领域的研究热点之一^[2,6-9]。

目前,国内有关学者对区域生态系统服务价值的研究进行了较多探索^[10-12],其中由于土地利用变化直接影响到生态系统服务功能价值的大小,所以不同的土地利用类型、土地利用格局及土地利用强度差异对生态系统服务产生的影响研究也一直受到广泛关注^[13-18],但是,现有的研究大部分集中在对不同区域土地生态系统服务价值进行简单的估算和分析,较少对重点生态功能区生态系统服务价值空间分异特征的内在变化机制进行分析。

宜昌市是国家重要的水源涵养区(其下辖的夷陵 区、秭归县、长阳土家族自治县、五峰土家族自治县和兴山县为国家重点生态功能区三峡库区水土保持 区),长江水环境调节区,鄂西生态屏障区及国家重要 珍稀濒危物种资源库。因此,选择宜昌市开展生态系 统服务价值研究,对维护长江中下游区域生态环境安 全具有重要意义。基于此,本文选择国家重点生态功 能区——宜昌市为研究对象,在结合前人研究的基础 上,基于 2000 年、2005 年和 2010 年宜昌市土地利用 变化情况,采用生态系统服务价值评估模型,对土地 利用变化导致的各类生态系统的服务价值进行研究, 探讨生态系统服务价值时空分异特征,分析生态系统 管理战略分区,为调控该区域生态环境安全,促进区

域新型城镇化与可持续发展建设提供科学依据。

1 研究区概况

宜昌市地处于秦巴山地、武陵山地向江汉平原过渡 地带,湘鄂渝 3 省(市)交界处,长江中游和上游结合部, 属于我国中部峡谷山地生态脆弱区和三峡库区水源涵 养区和水土保持区,生态环境功能区位十分重要。

地理位置为 110°15"—112 °04"E,29°56"—31°34"N。 全市辖西陵区、伍家岗区、点军区、猇亭区、夷陵区、远安 县、兴山县、秭归县、长阳土家族自治县、五峰土家族自治 县、枝江市、宜都市和当阳市 13 个县市区,总面积 2.1 万 km²。2013 年全市常住总人口为 409.83 万人,地区生 产总值 2 818.07 亿元。宜昌市境内地形复杂多样,构成 “七山、二丘、一平”的地貌特征。地势自西北向东南倾 斜,西北部是大巴山,中部巫山,西南部是武陵山,宜昌 以东的宜都市、枝江市、当阳市和远安县属丘陵山地和 平原;宜昌以西的兴山县、秭归县、长阳土家族自治县和五 峰土族自治县属于山地,是中国二级阶地东端,崇山峻 岭、峡谷交错。宜昌市属亚热带季风性湿润气候,年平均 降水量为 992~1 404 mm,年平均气温 16.9℃。

2 研究方法

2.1 数据来源

土地利用数据主要来源于 2000 年、2005 年、 2010 年宜昌市土地利用变更调查数据、社会与经济 数据来源于《2001—2011 年宜昌市统计年鉴》。参考 中国科学院土地资源分类系统并兼顾其他分类标准, 将宜昌市土地利用类型分为林地、草地、水域、农田、 园地、居民点及工矿用地、交通用地和未利用土地 8 种土地利用类型。具体土地利用分类见表 1。

表 1 土地利用分类

土地利用类型	二级类描述
林地	有林地、灌木林、疏林地、未成林造林地、迹地、苗圃
草地	天然草地、改良草地、人工草地
水域	湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沟渠、水工建筑物、冰川及永久积雪
农田	灌溉水田、望天田、水浇地、旱地、菜地
园地	果园、桑园、茶园、其他园地
居民点及工矿用地	城镇、农村居民点、独立工矿用地、特殊用地
交通用地	铁路、公路、农村道路、民用机场、港口、码头
未利用土地	荒草地、沼泽地、沙地、裸土地、裸岩石砾地、滩涂、其他

2.2 生态系统服务价值的估算方法

2.2.1 宜昌市生态系统服务功能类型确定 确定生 态系统服务功能类型是进行生态系统服务功能价值 评估的基础,目前在生态系统服务功能分类方面尚未 形成全面、系统的分类体系。Costanza 等^[3]率先将 生态系统服务功能归纳为 17 个类别,De Groot 等^[19]在

此基础上又细化总结为 23 个类别,此外联合国千年生 态评估系统提出的分类体系将生态系统服务功能划分 为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务 4 个大类 共 25 个类别^[2]。谢高地等^[20]则在总结前人的基础上, 将生态系统服务功能划分为气体调节、气候调节、水源 涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食

物生产、原材料生产和休闲娱乐共 9 类。

宜昌市作为我国中部地区国家重点的生态功能区,其生态系统服务功能对鄂西生态安全、长江中游流域水生态环境安全稳定具有重要意义。因此,本文将生态系统功能服务于区域和全国的部分也一并纳入本文生态系统服务价值评估范围,对宜昌市生态系统服务价值主要开展针对生态系统气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、食物生产、原材料生产和休闲娱乐共 9 类服务功能进行评估。

2.2.2 单位面积农田生态系统服务价值确定 为消除价格波动对生态系统服务价值量的影响,以 2000 年全国农作物平均价格为基准,结合宜昌市主要粮食作物水稻、小麦、玉米和大豆的播种面积和产量情况,计算出宜昌市单位农田生态系统服务价值为 898.17 元/hm²(纯收益),其计算公式为^[15]:

$$E_a=\frac{1}{7}\sum_{i=1}^n\frac{p_iQ_i}{A}$$

(1)

式中: E_a ——单位农田生态系统提供生态服务功能

的经济价值(纯收益)(元/hm²); i ——作物种类; p_i —— i 种粮食作物全国平均价格(元/t); Q_i —— i 种粮食作物总产量(t); A ——粮食作物总种植面积。

2.2.3 生态系统服务价值系数计算 参考中国生态系统服务价值当量因子表(表 2)^[20],结合宜昌市土地分类情况,计算农田、林地、草地、水域等生态服务价值系数,计算公式为:

$$\gamma_i=\nu_{ij}E_a\quad(i,j=1,2,\cdots,n)$$

(2)

式中: γ_i —— i 种生态系统 j 种生态系统服务功能的系数(元/hm²); ν_{ij} —— i 种生态系统 j 种生态服务功能相对于单位农田生态系统提供食物生产的生态服务功能; i ——生态系统类型; j ——生态系统服务功能; E_a ——单位农田生态系统提供生产服务功能的经济价值(元/hm²)。

对于园地生态系统服务价值系数取农田和草地价值系数的平均值,居民点及工矿用地和交通用地皆为建设用地,其生态服务价值为零^[3,21]。未利用土地生态服务价值系数取草地和荒漠的平均值,从而得到宜昌市生态系统服务价值系数(表 3)。

表 2 生态系统服务价值当量因子

项目	林地	草地	水域	农田	园地	居民点及工矿用地	交通用地	未利用土地
气体调节	3.50	0.8	0.00	0.5	0.650	0	0	0.400
气候调节	2.70	0.9	0.46	0.89	0.895	0	0	0.045
水源涵养	3.20	0.8	20.38	0.60	0.700	0	0	0.415
土壤形成与保护	3.90	1.95	0.01	1.46	1.705	0	0	0.985
废物处理	1.31	1.31	18.18	1.64	1.475	0	0	0.660
生物多样性保护	3.26	1.09	2.49	0.71	0.900	0	0	0.715
食物生产	0.10	0.30	0.10	1.00	0.650	0	0	0.155
原材料生产	2.60	0.05	0.01	0.10	0.075	0	0	0.025
娱乐文化	1.28	0.04	4.34	0.01	0.025	0	0	0.025

表 3 宜昌市不同生态系统单位服务价值系数

元/(hm²·a)

项目	林地	草地	水域	农田	园地	居民点及工矿用地	交通用地	未利用土地
气体调节	3143.60	718.54	0.00	449.09	583.81	0	0	359.27
气候调节	2425.06	808.35	413.16	799.37	803.86	0	0	40.42
水源涵养	2874.14	718.54	18304.70	538.90	628.72	0	0	372.74
土壤形成与保护	3502.86	1751.43	8.98	1311.33	1531.38	0	0	884.70
废物处理	1176.60	1176.60	16328.73	1472.99	1324.80	0	0	592.79
生物多样性保护	2928.03	979.00	2236.44	637.70	808.35	0	0	642.19
食物生产	89.82	269.45	89.82	898.17	583.81	0	0	139.21
原材料生产	2335.24	44.91	8.98	89.82	67.36	0	0	22.45
娱乐文化	1149.66	35.93	3898.06	8.98	22.45	0	0	22.45

2.2.4 生态系统服务价值计算 根据各类土地生态系统面积和单位面积生态系统服务价值,计算区域生态系统服务总价值为:

$$E_T=\sum_{i=1}^8\sum_{j=1}^9S_iC_{ij}$$

(3)

式中: E_T ——生态系统服务价值(元/a); S_i —— i 类土地类型分布面积(hm²); C_{ij} ——单位面积的生态系统服务价值[元/(hm²·a)]。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务价值时序变化特征

从表 4 可以看出,2000 年、2005 年和 2010 年宜昌市生态系统服务功能总价值分别为 341.77,341.86,342.11 亿元,2000—2010 年共增加 3410 万元,增幅为 0.1%,年均增长率约为 0.01%。总体而言,2000—

2010 年,宜昌市生态系统服务功能价值相对稳定,变化平稳。研究时间内各区县市生态系统服务价值存在明显的时序变化特征,其中伍家岗区变化最为显著,年均增长率为-1.48%,其次分别为猇亭区和西陵区,年均增长率分别为-0.99%和-0.61%,而其他区域变化较弱。13 个区县中,有 9 个区县的生态系统服务价值呈下降趋势,约占总区县个数的 69.23%,分别为:西陵区、伍家岗区、点军区、猇亭区、远安县、长阳土家族自治县、枝江市、宜都市、当阳市。仅有 4 个区县的生态系统服务价值呈上升趋势。表明,10 年间宜昌市生态系统服务价值虽有一定的增长,但是大部分区域生态系统服务价值下降,应引起重视。

表 4 宜昌市生态系统服务价值

县(市、区)	生态服务价值/(亿元·a ⁻¹)			年均增长率/%
	2000 年	2005 年	2010 年	
西陵区	1.15	1.14	1.08	-0.61
伍家岗区	1.08	1.05	0.92	-1.48
点军区	9.05	9.06	8.94	-0.12
猇亭区	1.81	1.77	1.63	-0.99
夷陵区	55.36	55.50	55.51	0.03
远安县	30.66	30.65	30.61	-0.02
兴山县	41.97	41.99	42.07	0.02
秭归县	35.26	36.09	36.52	0.36
长阳土家族自治县	57.54	57.00	57.50	0.01
五峰土家族自治县	41.83	41.84	41.90	0.02
枝江市	16.82	16.78	16.60	-0.13
宜都市	21.31	21.07	21.12	-0.09
当阳市	27.92	27.91	27.71	-0.08
宜昌市	341.77	341.86	342.11	0.01

从宜昌市各类用地提供的生态系统服务价值来看,林地的生态系统服务价值始终最高,平均约为 271.28 亿元/a,约占总价值的 80%,其次为农田和水域,这 3 类用地提供宜昌全市约 98%以上的生态系统服务价值(表 5)。各土地利用类型生态系统服务价值大小依次为:林地>农田≈水域>园地>草地>未利用土地>居民点及工矿用地≈交通用地。从各类用地生态系统服务价值的变化情况来看,草地、水域和园地的生态系统服务价值均有一定的增长,而林地和农田却呈下降趋势。其中,草地生态系统服务价值的变化最显著,年均增长 0.82%。本文中由于假定居民及工矿用地和交通用地的生态系统服务价值为 0,因此除居民点及工矿用地和交通用地外,未利用土地的生态系统服务价值变化最小,10 年间其价值基本不变。研究表明,虽然 10 年间宜昌市建设用地面积以年均 2.03%的增长率不断扩张,造成林地和农田等生态用地的缩减,但由于“退耕还林还草还水”等^[22]土地政策工程的实施,宜昌市内草地和水域面积增加幅度明显,

年均增长率分别为 0.86%和 0.56%,弥补了由林地和农田面积减少带来的生态系统服务价值的损失,保障了宜昌市 10 年间生态系统服务价值的总体平稳。

表 5 宜昌市不同土地类型生态系统服务价值

县(市、区)	生态服务价值/(亿元·a ⁻¹)			年均增长率/%
	2000 年	2005 年	2010 年	
林地	271.45	271.81	270.59	-0.03
草地	1.10	1.16	1.19	0.82
水域	32.25	32.16	34.04	0.56
农田	34.24	33.98	33.55	-0.20
园地	2.71	2.72	2.72	0.04
居民点及工矿用地	0	0	0	0
交通用地	0	0	0	0
未利用土地	0.019	0.024	0.019	0

从生态系统不同服务功能类型来看(表 6),宜昌市水源涵养功能价值最高,约占总价值的 16.8%。这与宜昌市水系发达、水资源量充沛的自然地理特征有较为紧密的关系。宜昌市食物生产功能的价值最低,约占总价值的 1.9%以上。其他服务功能价值大小依次为:土壤形成与保护>气体调节≈生物多样性保护>废物处理≈气候调节>原材料生产>娱乐文化。从时间变化来看,10 年间 9 大类生态系统服务功能的价值波动幅度均较小,状态较为平稳,其中水源涵养、废物处理和娱乐文化功能价值呈增长趋势,其他功能价值表现为下降趋势。

表 6 宜昌市不同生态服务功能价值

县(市、区)	生态服务价值/(亿元·a ⁻¹)			年均增长率/%
	2000 年	2005 年	2010 年	
气体调节	46.33	46.38	46.15	-0.04
气候调节	38.76	38.78	38.59	-0.04
水源涵养	57.42	57.42	58.04	0.11
土壤形成与保护	56.65	56.68	56.37	-0.05
废物处理	37.92	37.86	38.43	0.13
生物多样性保护	46.28	46.31	46.19	-0.02
食物生产	6.56	6.53	6.47	-0.14
原材料生产	32.84	32.88	32.73	-0.03
娱乐文化	19.01	19.02	19.13	0.06

3.2 生态系统服务价值空间分异特征

从图 1 可以看出,宜昌市各地区生态系统服务价值存在明显的空间分异特征。西陵区、伍家岗区、猇亭区生态系统服务价值处于最低范围,占全市总区县数的 23%;点军区、枝江市生态系统服务价值处于较低范围,占全市区县数的 15%;宜都市、远安县、当阳市生态系统价值水平处于中等水平,占全市区县数的 23%;兴山县、秭归县、五峰土家族自治县生态系统服务价值处于较高水平,占全市区县数的 23%;而夷陵

区和长阳土家族自治县的生态系统服务价值处于最高水平,占全市区县总数的 15%。结果表明,宜昌市各地区生态系统服务价值各等级水平分布较为均衡。10 年间,宜昌市各区县生态系统服务价值变化差异稳定,其大小皆依次为:长阳土家族自治县>夷陵区>五峰土家族自治县>秭归县>远安县>当阳市>宜都市>枝江市>点军区>猇亭区>西陵区≈伍家岗区。从空间分布来看(图 2),宜昌市生态系统服务价值总体呈现西部高、中心区和东南部低的分布格局,

在宜昌市西北部的秦巴山区和西南部的武陵山区形成两个明显的生态系统服务价值高值聚集区,而在中东部的平原区构成低值组团,说明宜昌市生态系统服务价值空间差异与区域地貌特征关系密切。山地丘陵区普遍具备较高的森林覆盖率,如长阳土家族自治县林地面积达到约 74%,优良的生态资源造就了较高的生态系统服务价值。而中东部平原地区林地覆盖率较低,且由于地形条件适宜,成为城市建设用地扩张的主战场,导致生态系统服务价值较低。

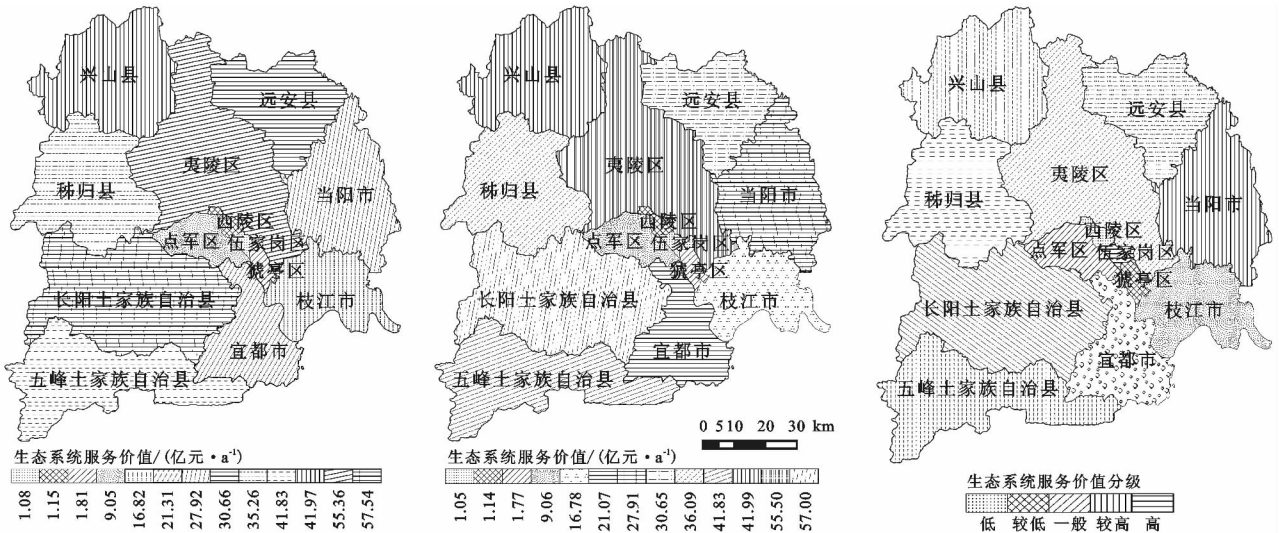


图 1 2000 年、2005 年、2010 年宜昌市生态系统服务价值空间分布

3.3 宜昌市生态系统战略分区管理

根据宜昌市不同区域生态系统服务价值变化的时空特征,分别制定不同的生态系统战略分区管理目标,旨在采取不同的空间开发保护策略。以 2010 年各区县生态系统服务价值为基准,运用 SPSS 统计软件的系统聚类功能对宜昌市生态系统服务价值进行战略分区。

结果如图 3—4 和表 7 所示,将宜昌全市生态系统服务功能划为 3 个区,第 I 类区为西陵区、伍家岗区、猇亭区和点军区,该区域为宜昌中心城区,建设用地比例较大,生态系统服务价值最低,平均约为 3.14 亿元/a,该区域应优化经济社会发展规模和格局,重点加强区域内城市绿地和水网维护,提升区域内气候调节、废物处理和娱乐文化等功能;第 II 类区为远安县、当阳市、宜都市和枝江市,该区域为宜昌市主要农业区,生态系统服务功能价值处于中等水平,平均约为 24.01 亿元/a,该区域应引导城市发展建设,重点加强区域内农田保护,提升土壤形成与保护、食物生产、原材料提供等功能;第 III 类区为长阳土家族自治县、夷陵区、兴山县、五峰土家族自治县和秭归县,该区域主要以山地林地为主,林地面积约为 76%,是全市重要的生态安全屏障,其生态系统服务功能价值最高,平均约为 46.70 亿元/a。该区域应限制开发建设强度,严格保护重要的生态用地,维护区域主要的气候调节、水源涵养、水土保护和生物多样性保护等功能。

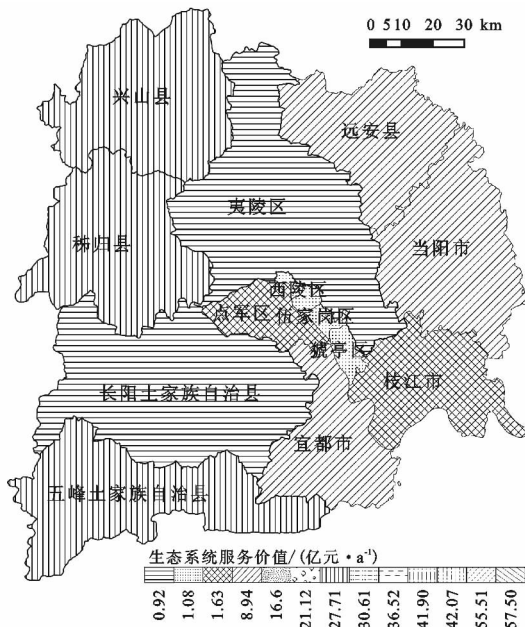


图 2 宜昌市生态系统服务价值分级

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 由于生态系统服务依赖于不同时空尺度上的

自然生态和社会文化过程,导致生态系统服务价值存在一定的尺度效应,如在空间大尺度方面,其生态系统服务多重视大环境气体的调节服务,而较小尺度的生态系统多重视供给服务^[15]。例如,防洪减灾、农产品的供给主要服务于当地尺度,而生物多样性保育与气候调节功能多在国家或全球尺度上体现^[23]。其空间尺度差异特征常常使生态系统服务价值内在演变信息被忽略。虽然,本研究在生态系统服务价值计算过程中,未考虑该差异,但本文在基于前人的研究基础上,从区域、流域考虑生态系统服务功能完整性角度出发,从气体调节、气候调节等 9 大类主要生态系统服务功能入手定量评估宜昌市生态系统服务价值,其结果可以在一定程度上反映出宜昌市生态系统服务价值时空特征。

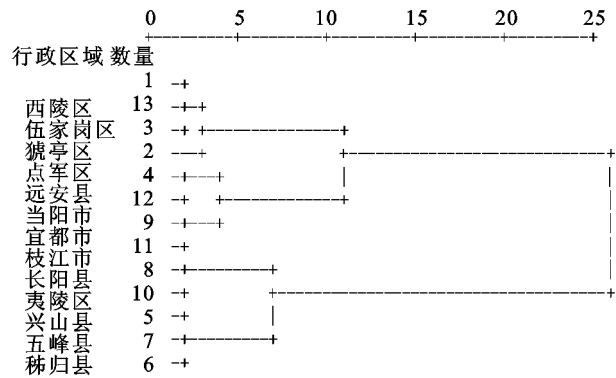


图 3 宜昌市各区县生态系统服务价值聚类分析

(2) 目前,单位生态系统服务价值的计算还面临诸如市场定价的困难等不确定性因素^[14],现有的定量方法依然有限。本研究中对不同的土地利用类型生物系统服务价值的考量上,将居民点及工矿用地和交通用地等建设用地的生态系统服务功能价值计为零,但是实际中,建设用地在废物处理、栖息等生态功能方面具有一定累积效应,本文没有对其作深入的研究,是本文不足之处,需今后进一步研究。

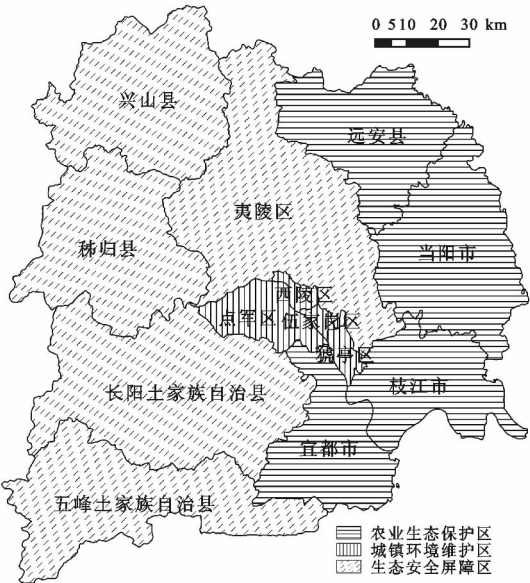


图 4 宜昌市生态系统服务价值功能分区

表 7 宜昌市生态系统价值功能分区特征

县(市、区)	类别	主要土地利用类型结构特征				功能分区
		林地	水域	农田	建设用地(居民点及工矿用地和交通用地)	
西陵区、伍家岗区、猇亭区、点军区	I	36	11	25	23	城镇环境维护区
远安县、当阳市、宜都市、枝江市	II	44	8	42	4	农业生态保护区
长阳土家族自治县、夷陵区、兴山县、五峰土家族自治县、秭归县	III	76	2	18	1	生态安全屏障区

4.2 结论

(1) 2000—2010 年,宜昌市生态系统服务功能相对稳定,年均增长 0.01%,其生态系统服务功能价值约为 342 亿元/a。但大部分区域生态系统服务功能下降,其中伍家岗区、猇亭区和夷陵区变化显著。林地对生态系统服务功能价值贡献最大,约为 80%。相对其他生态系统服务功能,宜昌市水源涵养功能价值最高,约占总价值的 16.8%。

(2) 宜昌市生态系统服务价值呈现明显的西部高、中心城区和东南低的分布格局。各区县生态系统服务价值大小依次为:长阳土家族自治县>夷陵区>五峰土家族自治县>秭归县>远安县>当阳市>宜都市>枝江市>点军区>猇亭区>西陵区≈伍家岗区。

(3) 宜昌生态系统功能大致分为 3 个区:西陵

区、伍家岗区、猇亭区和点军区为城镇环境维护区;远安县、当阳市、宜都市和枝江市为农业生态保护区;长阳土家族自治县、夷陵区、兴山县、五峰土家族自治县和秭归县为生态安全屏障区。未来应根据生态系统分区情况,制定不同的空间开发保护战略。

参考文献:

[1] Daily G. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington, DC: Island Press,1997.

[2] MA(Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-being[M]. Washington, DC: Island Press,2005.

[3] Costanza R, Darge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics,1998,1(25):3-15.

[4] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及

- 其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [5] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290-292.
- [6] Gold B, Jacobson R, Kingsland S, et al. Ecology for a crowded planet[J]. Science, 2004, 304(5675): 1251-1252.
- [7] Crossman N D, Burkhard B, Nedkov S. Quantifying and mapping ecosystem services[J]. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 2012, 8(1/2): 1-4.
- [8] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [9] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [10] 吴璇, 李洪远, 张良, 等. 天津滨海新区生态系统服务评估及空间分级[J]. 中国环境科学, 2011, 31(12): 2091-2096.
- [11] 石焱, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 720-731.
- [12] 周涛, 李天宏. 陕西省退耕还林(草)前后 LUCC 对生态系统服务的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 247-250.
- [13] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响: 以密云水库流域为例[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.
- [14] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1054-1062.
- [15] 胡喜生, 洪伟, 吴承祯, 等. 福州市土地生态系统服务时空分异特征[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 881-888.
- [16] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [17] 王重玲, 朱志玲, 王梅梅, 等. 基于生态服务价值的宁夏隆德县生态补偿研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 208-212.
- [18] 杨越, 哈斯, 杜会石, 等. 基于 RS 和 GIS 的宁夏盐池县土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 101-105.
- [19] De Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393-408.
- [20] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [21] 曾杰, 李江风, 姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 883-891.
- [22] 宜昌市发展和改革委员会. 《关于下达退耕还林还草工程 2014 年中央预算内投资计划的通知》(鄂发改投资[2014]674 号)[EB/OL]. [2015-01-20]. http://www.yichang.gov.cn/art/2015/1/20/art_4581_705118.html.
- [23] Fu B J, Su C H, Wei Y P, et al. Double counting in ecosystem services valuation: Causes and countermeasures[J]. Ecological Research, 2011, 26(1): 1-14.

~~~~~

(上接第 295 页)

- [12] 卢艳, 于鲁冀, 王燕鹏, 等. 河南省水资源生态足迹和生态承载力分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 182-186.
- [13] 常龙芳, 董金义. 云南省水资源生态足迹与生态承载力时空动态分析[J]. 吉林水利, 2013(1): 25-29.
- [14] 王宁, 粟晓玲. 陕西关中地区水资源生态足迹与生态赤字研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013(3): 221-227.
- [15] 李玉平, 王晓妍, 朱琛, 等. 邢台市水资源生态足迹核算与预测研究[J]. 水土保持研究, 2014, 20(3): 227-230.
- [16] 洪辉, 付娜. 浅谈水资源生态足迹和生态承载力的研究[J]. 山西建筑, 2007, 33(30): 200-201.
- [17] 刘子刚, 郑瑜. 基于生态足迹法的区域水生态承载力研究: 以浙江省湖州市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1083-1088.
- [18] 张岳. 中国水资源与可持续发展[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000.
- [19] Anselin L. Local indicators of spatial association: LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [20] Anselin L, Syabri I, Kho Y. GeoDa: An introduction to spatial data analysis[J]. Geographical Analysis, 2006, 38(1): 5-22.