

基于土地利用变化下的县域生态敏感性及灰色预测 ——以河北省平山县为例

郭年冬¹, 陈召亚¹, 李恒哲¹, 郭文涛², 许 皞¹

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省国土资源厅, 石家庄 050000)

摘 要:平山县作为石家庄地区的重要水源涵养及红色旅游基地,是生态环境保护与建设的重要区域。在分析平山县基于 1997—2013 年土地利用变化下的土地利用强度与生态系统服务价值变化的基础之上,引入了生态敏感性指数模型,研究分析了平山县 1997—2013 年土地利用变化对其生态敏感性的影响。结果表明:土地利用强度与生态系统服务价值在 1997—2013 年的变化趋势大体一致,均呈现先减小后增大的趋势;土地利用变化对于生态系统的敏感性作用较为强烈,其指数由 2001 年的 3.23 下降到 2013 年的 1.36,降幅为 237.5%;分析计算结果可以看出,位于平山县城城区及人口和商业密集的乡镇,其生态敏感性指数普遍高于其他地区,位于东部平原的乡镇生态敏感性普遍高于中西部山地丘陵区乡镇。通过预测 2017 年平山县土地利用结构,测算出 2017 年平山县生态系统敏感性指数为 1.68,虽属低生态敏感性,但较 2013 年是增加的,需要引起关注。

关键词:土地利用变化;生态敏感性;灰色预测;平山县

中图分类号:F301.2;X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0229-06

Ecological Sensitivity Research and Their Grey Forecast Based on Land Use Change in Pingshan County, Hebei Province

GUO Niandong¹, CHEN Zhaoya¹, LI Hengzhe¹, GUO Wentao², XU Hao¹

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Hebei Provincial Department of land and resources, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Pingshan County, which is the important water conservation and red tourism base, is the ecological defense of Shijiazhuang area. To promote Pingshan County construction of ecological environment, by domestic and foreign research methods, based on the analysis of the Pingshan County in 1997—2013 land use change of the intensity and the value of ecosystem services, ecological sensitivity index model is introduced and the influence of land use change on the ecological sensitivity in Pingshan County during the period from 1997 to 2013 was analyzed. The results showed that the change trend of land use intensity and ecosystem service value in the period of 1997—2013 was the same, the change showed a decreasing trend and then rising, and the sensitivity of land use change to ecosystem was strong, and the index fell from 3.23 in 2001 to 1.36 in 2013, which declined by 237.5%, from the point of view of the calculation results of the township located in Pingshan County area and the population and commercial intensive township, the ecological sensitivity index is generally higher than other regions. By predicting Pingshan County land use structure in 2017, the ecosystem sensitivity index of Pingshan County will be 1.68 in 2017, and it belongs to the low ecological sensitivity, but it increases compared with 2013, so it need to be paid more attention.

Keywords: land use change; ecological sensitivity; grey forecast; Pingshan County

近年来,在追求经济快速发展的同时生态环境也遭到了严重的破坏,尽管党和国家为治理生态环境做

出了巨大的努力,但效果并不理想,生态环境保护形势依然严峻。生态敏感性研究已成为生态系统可持

续发展的研究热点。生态敏感性这一概念最早出现于20世纪60年代后期,由外国学者 Steive 提出,其通过将生态适宜性分析中的地图叠加法改进,进而提出了生态环境敏感性模型,该模型较地图叠加法而言,具备更强的实用价值^[1]。目前,国外对于该领域的研究大都集中于对单一生态环境敏感性做出具有针对性的评价研究,而对综合性的生态敏感性评价研究还较为罕见^[2-3];相对于国外,我国对生态环境敏感性的研究开展较晚,且研究的重点与方向也不相同,在我国,绝大多数的研究都是针对在省(自治区、直辖市)、市或某一地形区层面开展的综合性生态敏感性评价研究,尺度较大,范围较广,而针对县域等中小尺度的研究较为少有,且对其生态敏感性进行进一步预测的研究更是罕见^[4-6]。

平山县地表水资源丰富,拥有大小水库共65个,作为石家庄地区的重要水源涵养及生态保障区,其在资源的开发利用、工业生产、废物处理等方面做出了很大的牺牲,对石家庄及周边地区的生态环境安全,尤其是水资源供给、环境净化等方面的贡献作用明显。同时,该县也是全国红色旅游及爱国主义教育的重要基地,中国革命圣地——西柏坡就坐落于此,作为全国著名的旅游县,其境内还有驼梁山、天桂山、白鹿温泉等中国著名景点。随着二、三产业的发展,加之城镇化进程不断加快,使得该县的生态环境也不可避免地受到了很大的影响,因此明确土地利用变化与生态敏感性的作用机制,有利于为土地整治规划与管理提供技术支撑,丰富生态学理论体系,对于促进生态环境健康发展,实现土地资源可持续高效利用发挥着重要的作用。

本文首先对平山县1997—2013年土地利用类型的变化情况进行分析,阐明各土地利用类型在数量和空间上的变化情况;其次通过引入生态敏感性指数模型,对平山县基于土地利用结构变化的1997—2013年生态敏感性做出评价与分析,实现对生态敏感性的量化;最后,通过预测2017年平山县土地利用结构,测算2017年平山县生态系统敏感性指数,以期为促进平山县生态环境健康发展,实现土地资源可持续高效利用提供参考与指导。

1 研究区现状

本文选取河北省平山县作为研究区,该县位于石家庄西北部的太行山区,占地面积约为2 648 km²,总人口约46万人,年降水量500~690 mm,年均气温0~12℃,其境内群山纵横,层峦叠嶂,西北高、东南低,山地面积占全县总面积的78%,由于其境内水库

数量众多,因此该县水域面积较大,为2.0 hm²,占全县总面积的7.7%;平山县的经济发展态势较为良好,相关数据表明到2012年底,全县实现了163.2亿元的经济生产总值,同比2011年增长了9.59%,2012年财政收入为15.29亿元,较2011年提高了4.25%;同时该县也拥有丰富的自然资源,尤其是水电及地热资源,已成为带动平山县经济发展的又一新兴产业。本文在参考已有研究^[7-9]的基础上,结合全国土地利用现状分类、中国科学院资源环境分类系统及当地生态环境特点,将土地利用类型划分为耕地、林地、园地、草地、水域、城镇村及工矿用地、其他土地7类主要的土地利用类型,结合平山县土地覆被特征、土地利用方式特点及遥感影像,将城镇村及工矿用地整合为建设用地,其他土地归并为未利用地。其中该县以未利用地与林地为主,分别占土地总面积的37.53%和33.35%,园地面积最少,只占总面积的1.24%。平山县作为石家庄地区重要的生态缓地带,担负着“保水、阻沙、防风”之重任,其生态环境如何直接关系到石家庄地区的生态环境质量。

2 研究方法

2.1 数据预处理

数据来源于对1997年、2001年、2005年、2009年和2013年的5期Landsat TM影像图的解译,应用ENVI 4.7对影像图进行波段组合、几何校正(误差值不超过0.5个像元)、区域裁剪等数据预处理,然后在ArcGIS 9.3支持下,采用监督分类与目视解译相结合的方法进行解译从而获取研究区不同时期的土地利用数据库,经校验本次所解译的成果其精度及Kappa指数均大于0.8。社会经济及农业相关数据来源于各年份的《河北省农村统计年鉴》、《河北省经济年鉴》、《河北省统计年鉴》及《全国农产品成本收益资料汇编》等。

2.2 生态系统服务价值评价方法

本研究在参考Costanza^[10]与谢高地^[11]等的研究成果之上,对河北省单位土地面积生态服务价值系数进行测算。2013年中国单个生态系统价值当量的经济价值为507.45元/hm²,结合2013年《河北省统计年鉴》的相关数据,计算得出2013年河北省平均粮食产量为5 151.69 kg/hm²,全国平均粮食产量为5 935.50 kg/hm²,据此在对全国单个生态当量进行修正的基础之上,确定河北省单个生态当量的价值为440.44元/hm²,通过计算,最终得到河北省单位土地面积生态服务价值系数(VC)(表1)。

生态系统服务价值的计算公式为:

$$ESV = \sum A_k \cdot VC_k \tag{1}$$

式中:ESV 为生态系统服务总价值(元); A_k 为第 k 类土地利用类型的面积(hm^2); VC_k 为第 k 类土地利用类型的单位面积土地生态服务价值系数(元/ hm^2)。

表 1 河北省单位面积土地生态服务价值系数 元/ hm^2

生态系统服务类型	耕地	林地	园地	草地	水域	建设用地	未利用地
气体调节	220.22	1541.54	1060.23	359.40	0.00	0.00	0.00
气候调节	391.99	1189.19	1093.93	404.33	202.60	0.00	0.00
水源涵养	264.26	1409.41	1046.74	359.40	8976.17	-4223.83	13.48
土壤形成与保护	643.04	1717.72	1675.70	876.04	4.49	0.00	8.99
废物处理	722.32	576.98	1192.76	588.51	8007.20	-1374.17	4.49
生物多样性保护	312.71	1435.83	1120.88	489.69	1096.70	0.00	152.74
食物生产	440.44	44.92	570.55	134.78	44.92	0.00	4.49
原材料	44.04	1145.14	637.93	22.46	4.49	0.00	0.00
娱乐文化	4.40	563.76	292.01	17.96	1911.51	0.00	4.49
合计	3043.44	9624.49	8690.72	3252.57	20248.08	-5598.00	188.69

2.3 土地利用强度计算

土地利用的强度与充分性影响与决定着其内部能量及物质相互交换的生态过程。不同的土地利用方式所产生的环境污染问题也有所不同。根据资料显示,土地利用的强度具有一定的范围,即土地利用的上限和下限^[12-13]。土地利用的量化过程建立在土地利用限度范围的基础上,即人类对土地资源的利用达到某一临界值后,若无法对其进一步的开发与利用则达到土地利用的上限,反之,土地利用下限则表现为土地仍然处于没有被人类进行任何干扰的状态,据此特征,按照自然状态下不同土地类型被人类活动干扰的程度,将土地利用的理想状态分等定级,人类活动的干扰程度越大等级越高,I 级为其他土地,以未利用地为主;II 级为林地、水域及水利设施用地;III 级为农业用地,包含耕地、园地;IV 级为包括城镇村居民点在内的建设用地,并按照“1 分、2 分、3 分、4 分”对 I—IV 级分别赋值。在实际计算过程中,某一区域内土地利用类型往往不是单一的,而是混杂着所有 4 种类型,这时就需要按照每种不同土地利用类型所占的面积比例对土地利用强度综合指数进行测算,其计算公式为:

$$L = \sum_{i=1}^n (G_i A_i) \times 100\% \tag{2}$$

式中: L 为研究区土地利用强度综合指数; G_i 为第 i 种土地利用类型的强度分级指数; A_i 为第 i 种土地利用类型面积占研究区土地总面积的比例。

2.4 平山县土地利用变化下的生态敏感性评价

所谓敏感性就是指在某系统内具有关联性的一组因素中,其中一种因素改变之后发生的变化对该系统预期结果所产生的影响性质及影响程度;而敏感性分析就是通过借助这种规律去探析区域间各个因素与生态系统的关联程度并试图将其量化,通常以将研究对象的变化率度与影响因素的变化率度的比值来表征^[14]。具体计算公式如下:

$$I(j) = \left| \frac{\Delta ESV_{(j-1,j)}}{\Delta L_{(j-1,j)}} \right| = \left| \frac{(ESV_j - ESV_{j-1})/ESV_{j-1}}{(L_j - L_{j-1})/L_{j-1}} \right| \tag{3}$$

式中: $I(j)$ 为研究区在第 j 年的土地利用变化下的生态敏感性指数; $\Delta ESV_{(j-1,j)}$ 表示为第 $j-1$ 年至第 j 年中生态系统服务价值的变化率; ESV_j , ESV_{j-1} 分别为第 j 年和第 $j-1$ 年的生态系统服务价值总量; $\Delta L_{(j-1,j)}$ 为第 $j-1$ 年至第 j 年中土地利用强度综合指数的变化率; L_j , L_{j-1} 分别为第 j 年、第 $j-1$ 年的土地利用强度综合指数。其中研究的基准年为第 $j-1$ 年。

本文以平山县做为一个封闭区域进行研究,为了更加清晰表现出生态敏感性分布特点,本文在生态敏感性分析中通过建立各评价单元得分的频率直方图对其进行分级并探究。

2.5 平山县 2017 年土地利用结构预测

灰色预测模型是通过使用一定的数学方法对原始数据进行相关处理后,将其以借助于动态微分方程的形式来对其内在特征进行描述,从而建立了的抽象系统的动态演化模型^[15-16]。

本文采用灰色 GM(1,1)模型对平山县 2017 年的土地利用结构进行预测。将 $x_i^{(0)}(i)$ 定义为原始数据序列, $x_i^{(1)}(i)$ 为一次累加生成数据序列,则 GM(1,1)模型的一阶线性常系数微分方程标准型公式为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \tag{4}$$

GM(1,1)模型所配套的标准解如下:

$$x^{(1)} = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \tag{5}$$

式中: a , u 是未知的尚待确定参数; t 表示为时间。
为了提高 GM(1,1)模型预测结果的科学性,本次研究利用后验差检验法对其预测结果进行精度校验。其表达式为:

$$C=\frac{S_2}{S_1},p=P\{|\varepsilon_k-\bar{\varepsilon}|<0.6745S_1\}\tag{6}$$

式中： S_1 是原始数据标准差； S_2 为预测数据标准差； ε_k 是预测数据误差； $\bar{\varepsilon}$ 是预测误差的均值； C 为后验差比值，其数值的大小直接体现模型预测结果与实际数值之差的离散程度，其值越小越好； p 为小误差频率。

3 结果与分析

3.1 平山县土地利用变化分析

依据上述土地利用分类的理想状态,本文将平山县 1997—2013 年的各类土地面积进行了统计(表 2)。通过分析平山县土地利用的变化可以看出,1997—2013 年研究区不同类型土地的分布及数量变化较为显著,其中最直接的表现 为耕地、园地、林地及建设用地面积大幅增加,水域及水利设施用地、未利用地面积明显减少,其中耕地、林业用地、园地、及建设用地数量分别增长 13.37%,8.80%,29.64%,10.49%,水域、未利用地分别减少 12.41%,11.12%。平山县建设用地由 1997 年 7 671.07 hm² 增加到 2013 年的 10 519.52 hm²,年均增长 189.9 hm²;耕地面积由 1997 年的 40 374.87 hm² 增加到 2013 年的 47 773.39 hm²,年均增加 493.23 hm²,其中,1997—2005 年耕地面积呈递减趋势,这是由于平山县受生态环境保护及水源涵养的定位的影响,致使未利用地资源利用的困难增加,加之农民对于耕作意愿的降低所致,但随着平山县经济总量的增长及人口数量的增加,为保证粮食的供给和社会的稳定,保证一定数量的耕地资源势在必行。

表 2 1997—2013 年平山县各类型土地面积统计

土地利用类型	1997 年	2001 年	2005 年	2009 年	2013 年
耕地	40374.87	39996.98	38080.85	42138.68	47773.39
园地	3672.40	2423.21	2122.77	2521.62	3269.02
林地	82505.53	73955.76	76050.69	81031.20	88159.12
人工草地	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	8243.53	8984.23	9815.29	10471.17	11509.94
水域及水利设施用地	16553.13	16570.65	16525.85	16501.01	14453.50
未利用地	112540.13	122129.58	121364.92	111615.01	99203.19

3.2 平山县生态系统服务价值变化分析

根据公式(1)测算平山县生态系统服务价值,结果见图 1。1997—2013 年总价值呈现先减小后增加的趋势,由 1997 年的 125 925.44 万元减少到 2001 年的 116 284.82 万元,年均减少 1 928.12 万元,降幅为 7.7%;从 2001 年开始,生态系统服务价值呈现递增的趋势,到 2013 年达到 126 923.29 万元,年均增长 886.54 万元,增幅为 9.2%,这其中,从 2005 开始,生

态系统服务价值的增长幅度较 2001—2005 年有明显提升,到 2013 年的生态系统服务价值略高于 1997 年,这是由于 2005 年以后随着政府加大对农业的扶持力度以及当地积极开展土地整治工程,使得耕地、园地、林地的面积有了较大幅度的增加,而未利用地面积则明显减少,从而改变了平山县土地利用格局,改善了生态环境质量,提升了生态系统服务价值总量。



图 1 平山县生态系统服务价值变化

3.3 平山县土地利用强度变化分析

按照上述公式(2)测算出平山县土地利用强度综合指数,见图 2。1997—2013 年平山县土地利用强度整体呈上升的趋势,其中 1997—2001 年是递减的,由 1.803 下降到 1.766,降幅为 2.1%,到 2013 年土地利用强度增加到 1.905,增幅为 7.6%,在此过程中,土地利用强度变幅最大的年份为 2009—2013 年,变化幅度为 0.079,变幅为 4.3%,这是由于随着社会经济的发展及科学技术的提高,城镇化进程的加快以及政府对农业生产的扶持力度加大,平山县未利用地资源有了较大幅度的开发利用,加之当地农民积极开展土地整治工程,改善了原有的生产模式,使得人们对土地利用的意愿普遍提升,耕地、园地、林地及其建设用地面积明显增加,未利用土地面积逐渐减少。

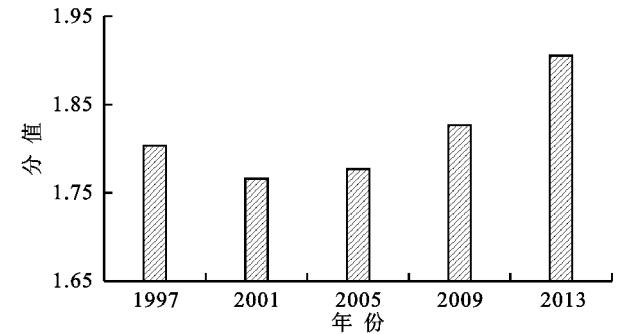


图 2 平山县土地利用强度变化

3.4 平山县生态敏感性分析

根据公式(3)测算 1997—2013 年平山县各乡镇基于土地利用结构变化下的生态敏感指数,结果见表 3。2001 年的生态敏感性指数是以 1997 年数据为基础计算得到,从计算结果可以看出生态敏感性整体呈现先减小后增大,又减小的变化趋势,但是除了 2001—2005 年的

变化趋势较大外,其余年份的变化幅度不大,其指数由 2001 年的 3.23 下降到了 2013 年的 1.36,降幅为 57.9%,说明随着政府加大对生态环境的治理力度以及当地积极开展土地生态整治工程,其生态压力有所减小,生态环境有了明显的改善;分析计算结果可以看出,研究区生态敏感性分布呈现出以下 2 个特点:(1) 城镇大于乡村,位于平山县城区及人口和商业密集的乡镇,其生态敏感性指数普遍高于其他地区;(2) 平原大于山区,大部分位于平原地区的乡镇,其生态敏感性普遍高于位于山地丘陵区

表 3 2001—2013 年平山县土地利用变化下的生态敏感性指数

乡镇	2001 年	2005 年	2009 年	2013 年
平山县	3.23	1.52	1.63	1.36
北冶乡	1.59	1.82	0.64	1.29
大吾乡	2.45	2.59	1.40	1.11
东王坡乡	2.73	1.76	1.60	2.11
岗南镇	3.49	2.76	3.18	2.42
古月镇	3.41	2.26	1.36	2.29
观音堂乡	1.75	0.38	1.19	1.87
合河口乡	3.95	1.29	2.52	0.94
回舍镇	2.33	3.05	3.26	3.33
蛟潭庄镇	1.35	2.64	2.41	1.85
两河乡	2.46	0.93	2.68	2.11
孟家庄镇	3.40	1.35	2.30	2.82
南甸镇	4.28	2.85	3.70	2.55
平山镇	5.74	4.13	5.05	4.16
三汲乡	1.62	2.95	3.15	3.79
苏家庄	3.04	1.26	2.58	2.63
温塘镇	3.49	1.07	2.51	2.98
西柏坡镇	0.94	2.69	1.91	1.04
下槐镇	1.21	1.23	2.13	2.92
下口镇	2.81	1.37	1.94	1.62
小觉镇	1.35	0.31	1.54	1.77
杨家桥乡	2.01	1.36	0.69	1.07
营里乡	1.61	2.43	1.43	1.28
宅北乡	2.07	1.39	2.17	0.94
国有	2.42	0.04	1.19	0.25

在 ArcGIS 平台的支持下,利用平山县二调数据库资料,根据生态敏感性指数的计算公式对 2009 年和 2013 年的土地利用类型图进行叠加处理,得到 2013 年平山县的生态敏感性分布,通过得分频率直方图,将其生态敏感性划分为 4 个等级:生态不敏感区域(I 值小于等于 1)、低生态敏感性区域(I 值为 1~2.37)、中等生态敏感性区域(I 值为 2.37~3.69)、

高生态敏感性区域(I 值大于等于 3.69)。2013 年平山县生高态敏感性区域的面积最小,为 153.69 hm²,仅为全县总面积的 0.06%;中等生态敏感性区域为 2 772.59 hm²,占全县总面积的 1.05%;低生态敏感性区域为 27 179.56 hm²,占全县总面积的 10.28%;生态不敏感区域面积最大,为 234 262.33 hm²,占全县总面积的 88.61%,是平山县土地的绝大部分,主要包括研究前后土地利用类型未发生变化的区域。

以 2013 年的敏感性分级标准为参考来看,1997—2013 年平山县土地利用变化下的生态敏感性总体不高,但是生态系统对这一改变的响应较为强烈,且变化幅度较大,由 2001 年的 3.23 下降到 2013 年的 1.36,降幅为 237.5%,由中等生态敏感性改善为低生态敏感性,但部分区域如平山镇在研究期内均属于高生态敏感性地区,应该引起高度重视。从分区结果中可以看出,处于高生态敏感性地区最为显著的土地利用变化特征就是各类土地利用类型中建设用地不断增加,耕地、林地等农业性用地逐渐减少。1997—2001 年由于耕地面积不断减少,建设用地及未利用地面积大幅增长,从而导致生态敏感性也较高,但是 2001 年以后,随着未利用地的不断开发,农业及林业用地面积开始呈增加的趋势,其生态敏感性也随之降低。

3.5 基于土地利用结构预测的平山县 2017 年生态敏感性测算

在充分考虑《平山县土地利用总体规划》(2010—2020 年)以及《平山县土地整治规划》(2011—2020 年)的基础之上,以 1997—2013 年平山县土地变更调查数据,运用灰色预测模型预测 2017 年平山县各类用地规模,见表 4。

表 4 2017 年平山县土地利用结构 hm ²					
耕地	园地	林地	建设用地	水域及水利设施用地	未利用地
49569.64	2872.89	94556.70	12983.91	14127.63	90127.18

为了将 GM(1,1)模型预测值的精确性和可靠性提高,需要对灰色 GM(1,1)预测模型精确性进行定级,根据模型预测精度等级评定标准^[15-16],当 $C<0.35$ 且 $p\geq 0.95$ 时,其精确性较高,为一级;当 $C\geq 0.65$ 且 $p\leq 0.75$ 时,精确性较差,不可使用。根据表 4,该模型后验差比值 $C<0.35$, $p=1>0.95$,均为一级预测结果,精确性较高,预测结果可信度大,检验结果见表 5。

表 5 2017 年平山县生土地利用结构预测值精度检验											
耕地		园地		林地		建设用地		水域及水利设施用地		未利用地	
p	C	p	C	p	C	p	C	p	C	p	C
1	0.14	1	0.15	1	0.15	1	0.09	1	0.11	1	0.09

依据上述预测数据,带入公式计算得到 2017 年平山县土地利用强度指数为 1.95,比 2013 年有所升高,生态系统服务价值为 131 626.64 万元,较 2013 年增长 3.7%。以 2013 年为基础,将上述数值带入公式(7)测算 2017 年平山县生态敏感性指数为 1.68,属于低生态敏感性,但是比较 2013 年的生态敏感性指数,2017 年是增加的,需要引起关注。

4 结论与讨论

本文对平山县基于土地利用变化下的生态敏感性进行了探究。通过引入生态敏感性模型,对平山县 23 个乡(镇)及国有土地的生态敏感性进行了测算。研究结果表明:平山县生态敏感性整体不高,但其对于土地利用变化的响应还是比较强烈的,生态敏感性指数由 2001 年的 3.23 下降到 2013 年的 1.36,降幅为 237.5%;平山县生态敏感性分布状况存在一定规律,即城镇大于乡村、平原大于山区;通过分析可以看出,生态敏感性较高的地区大都表现为建设用地不断增多,耕地、园地等农业性用地减少,而低生态敏感性地区大都为研究前后土地利用类型未发生变化的区域。最后本文通过预测 2017 年平山县土地利用结构,测算得出了 2017 年平山县生态系统敏感性指数为 1.68,属于低生态敏感性,但较 2013 年是增加的,需要引起关注。

由于前人的研究大都是针对在省(自治区、直辖市)、市或某一地形区层面进行的综合性生态敏感性评价研究,尺度较大,范围较广,而针对县域等中小尺度的研究较为少有,且对其生态敏感性进行进一步预测的研究更是罕见,因此本文以平山县为研究区,在分析其 1997—2013 年土地利用变化的基础之上,进行了基于土地利用变化的生态敏感性研究及其 2017 年的生态敏感性预测,研究结果对于促进平山县可持续发展、生态环境保护与土地资源高效持续利用发挥着重要指导作用,同时也为其他地区的生态敏感性研究提供了较为科学的依据。但本文仅通过生态敏感性模型对 1997—2017 年平山县生态敏感性及其空间分布状况进行了定量分析与预测,并未深入分析造成这种空间分布状况的原因,今后可在此基础上探索适当的方法对平山县生态敏感性驱动力分析、改善平山县生态环

境的措施、建议等方面进一步深入分析研究。

参考文献:

- [1] Suffling R. Index of ecological sensitivity to disturbance, based on Ecosystem age, and related to landscape diversity[J]. *Journal of Environmental Management*, 1980,10(3):253-263.
- [2] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging [J]. *Australian Journal of Ecology*,1991,16(1):119-129.
- [3] Lozano I. Storminess and environmentally sensitive Atlantic coastal areas of the European Union [J]. *Elsevier Oceanography Series*,2002,43(8):781-791.
- [4] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. *生态学报*,2000,20(1):9-12.
- [5] 林涓涓,潘文斌. 基于 GIS 的流域生态敏感性评价及其区划方法研究[J]. *安全与环境工程*,2005,12(2):23-26.
- [6] 罗坤,汤小华,杨明. 基于 GIS 的龙岩市土地利用生态敏感性评价[J]. *云南地理环境研究*,2008,20(3):6-9.
- [7] 苗正红. 吉林省生态资产遥感定量评估[D]. 长春:东北师范大学,2010.
- [8] 许吉仁,董霁红. 南四湖湿地景观格局变化的生态系统服务价值响应[J]. *生态与农村环境学报*,2013,29(4):471-477.
- [9] 马新辉,任志远,孙根年. 城市植被净化大气价值计量与评价:以西安市为例[J]. *中国生态农业学报*,2004,12(2):180-182.
- [10] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*,1997,387(6230):253-260.
- [11] 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.
- [12] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. *自然资源学报*,1997,12(2):105-111.
- [13] 黄静,崔胜辉,李方一,等. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性[J]. *生态学报*,2011,31(24):7441-7449.
- [14] 马育军,黄贤金,许妙苗,等. 江苏省沿海滩涂开发的生态系统服务价值响应研究[J]. *中国土地科学*,2006,20(4):28-34.
- [15] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 1 版. 武汉:华中工学院出版社,1987.
- [16] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,1992.