

基于 RS 和 GIS 的河南省生态环境质量动态评价

常中兵¹, 秦奋^{1,2}, 韩志刚^{1,2}, 卢艳¹, 余玉洋¹

(1. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004; 2. 黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 河南 开封 475004)

摘要: [目的] 揭示近年来河南省生态环境质量时空变化特征, 为生态环境的监测、保护和管理提供科学依据和技术支持。[方法] 以多源、多时相数据为基础, 参考生态环境状况评价技术规范 and 模型方法, 采用 1 km 格网作为评价单元, 提取生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地胁迫、污染负荷 5 个指标, 来计算生态环境质量总指数, 定量评估河南省生态环境质量时空变化。[结果] (1) 河南省生态环境质量以“一般”为主, 其所占比例接近 80%, 其他类型面积较少, 生态环境质量的基本空间分布格局明显受地形地貌、土地利用及区域发展战略影响; (2) 2000—2013 年, 河南省生态环境质量年际间变化较小, 呈现出“单峰型”的变化特征, 但生态环境质量为较差和优、良的区域面积都有所增长; (3) 生态环境质量变化与区域发展关系密切, 13 a 来, 河南省生态环境质量总体上存在微弱变差趋势, 变差区域在空间上由中西部向东南部迁移, 主要与城市建设用地扩张有关。[结论] 基于 1 km 格网的生态环境质量评价方法更能反映区域生态环境空间特征及影响因素。为了持续提升研究区生态环境质量, 区域发展战略必须要与生态文明建设相协调。

关键词: 生态环境质量; 动态评价; RS/GIS; 河南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0132-06

中图分类号: X826

文献参数: 常中兵, 秦奋, 韩志刚, 等. 基于 RS 和 GIS 的河南省生态环境质量动态评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 132-137. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 022; Chang Zhongbing, Qin Fen, Han Zhigang, et al. Dynamic evaluation of eco-environmental quality in He'nan Province based on RS and GIS [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 132-137. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 022

Dynamic Evaluation of Eco-environmental Quality in He'nan Province Based on RS and GIS

CHANG Zhongbing¹, QIN Fen^{1,2}, HAN Zhigang^{1,2}, LU Yan¹, YU Yuyang¹

(1. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng,

He'nan 475004, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Technology for the

Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng, He'nan 475004, China)

Abstract: [Objective] The spatial-temporal variation of the eco-environmental quality in He'nan Province was analyzed to provide scientific bases for the monitoring, conservation and management of eco-environmental. [Methods] This paper evaluated eco-environment quality by eco-environmental quality index. The eco-environmental quality index was calculated by five indexes, which included the biological richness, vegetation coverage, water network denseness, land stress and pollution load. These indexes were calculated based on the grid-based collected multi-source and multi-temporal data, and technical criterion for eco-environmental status evaluation was also considered. [Results] (1) The main type of eco-environmental quality was “general” in He'nan Province, and it accounted for nearly 80% coverage of the whole areas, other types accounted for relatively less. The topography, land use types and regional development strategy had profound effects on the distribution of eco-environmental equality. (2) The eco-environment quality has showed a trend of reduction with small annual variation in recent years. Chronologically, it showed a unimodal distribution, showing no significant changes in the highest years, and the significant changes in the early and later sides years. (3) The changes of eco-environmental quality were closely related to the regional development, which had showed a deterioration trend in recent 13 years. Influenced by the expansion of urban construction land, the

收稿日期: 2016-11-07

修回日期: 2016-12-23

资助项目: 国家科技支撑计划项目“黄河中游砒砂岩区抗蚀促生技术集成与示范”(2013BAC05B01); 国家科技基础条件平台建设项目“国家地球系统科学数据共享平台: 黄河下游科学数据中心”

第一作者: 常中兵(1989—), 男(汉族), 河南省商水县人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 软件开发与应用。E-mail: changzbing@gmail.com。

通讯作者: 秦奋(1966—), 男(汉族), 河南省固始县人, 教授, 博士生导师, 主要从事 GIS 软件开发与应用、数据共享与集成等方面的研究。E-mail: qinfun@126.com。

degeneration regions had shifted from the midwestern to the southeast of He'nan Province. [Conclusion] The evaluation of eco-environmental quality based on gridding could reflect the spatial distribution characteristics and the influencing factors of regional ecological environment more distinctly. In order to improve the quality of ecological environment, regional development strategy must be coordinated with the ecological civilization construction.

Keywords: eco-environmental; dynamic evaluation; RS/GIS; He'nan Province

生态环境是人类赖以生存发展的物质基础,人类活动影响其所在的生态环境变化,反过来生态环境状况的好坏直接关系到人类福祉和区域可持续发展的能力。目前,人口增长和经济发展在全球或国家尺度范围内产生各种生态环境问题,如森林退化、水污染和水资源短缺等,阻碍了经济发展,威胁着人类健康。因此,准确评价生态环境的质量、把握其演化规律逐步成为改善目前生态环境状况,建设生态文明所关注的热点^[1],国内外学者围绕生态环境质量评价构建了一系列模型方法。国外研究主要从理论出发构建各种模型和环境指数,代表性的有“压力—状态—响应”模型^[2]、环境可持续指数(environmental sustainability index, ESI)^[3]、复合环境指数(composite environment index, CEI)^[4-5]、环境绩效指数(environment performance index, EPI)^[6]和环境健康指数(environmental health index, EHI)^[7-8]等。国内研究主要集中在构建综合指数,对不同行政单元的生态环境状况进行评价^[9-12]。目前生态环境评价的类型^[13-14]、方法^[15-16]和对象^[17]已经涉及到各个方面,生态环境评价已经从静态到动态、从单一指标体系到综合指标体系、从单一空间尺度向多空间尺度方向发展,这些模型和方法为生态环境质量评价研究提供了科学指导。但是,由于生态环境系统的复杂性和多变性,整合多源信息进行综合评价仍存在一定的困难^[18]。在指标构建上大多研究虽涉及到各种生态环境因子,但普遍接受的标准理论框架、指标体系和评价方法需要进一步深入研究^[19],此外当评价区域或时间尺度发生变化时,评价方法的适用性受到质疑,不便于同一地区不同时段或不同地区之间进行比较。鉴于此,国家环境保护总局2006年发布并于2015年修订《生态环境状况评价技术规范(HJ192-2015)》,明确指出采用统一的标准进行生态环境质量评价。以此为基础,国内学者在各个方面开展了大量的实证研究^[20-22]。然而,目前关于河南省生态环境状况的研究,一方面基于规范的综合评价分析较少,研究内容主要侧重于生态安全、生态承载力等单一生态环境要素^[23-24],部分综合研究主要偏重农村、矿区等方面^[25-26];另一方面对河南省生态环境的动态评价研究也少有涉及。

河南省自然条件具有明显的过渡特征,地貌类型多、气候变化复杂,使得其自然生态环境比较脆弱、生态承载能力比较低。随着国家“中原崛起”和“中原经济区”战略的实施及工业化进程的推进,河南省经济发展和城镇化水平迅速提高的同时,也造成了资源开发利用方式粗放及环境污染等问题,这给本就脆弱的生态环境带来了更加严峻的挑战。基于此,本文以生态环境状况评价技术规范为评价模型,采用1 km 格网作为评价单元,对河南省2000—2013年生态环境质量进行动态评价,旨在揭示生态环境质量时空变化特征,及时、准确地掌握河南省生态环境质量状况及其变化态势,为生态环境的监测、保护和管理提供科学依据和技术支持,从而促进经济、社会、资源和环境的可持续发展。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

河南省位于中国中东部、黄河中下游,地理坐标介于北纬 $31^{\circ}23'$ — $36^{\circ}22'$ 、东经 $110^{\circ}21'$ — $116^{\circ}39'$,处于我国第2阶梯和第3阶梯的过渡地带。地貌类型分为豫西、南部山地丘陵盆地区和豫东平原区,地势自西向东由中山、低山、丘陵过渡到平原,呈阶梯状下降,山地、丘陵、平原分别占26%,18%和56%。河南省属于大陆性季风气候,降水在季节、年际、空间上分布很不均匀,年降水量空间分布自南向北递减,全省由南向北年均降水量为1380.6~532.5 mm,年均温度为 15.7°C ~ 12.1°C 。土地利用以耕地为主,占全省面积的60%以上,其次为林地和建设用地。在全国生态区划中,河南省属于东部湿润、半湿润生态大区^[27]。

1.2 数据来源

所用数据分为2000,2005,2010和2013年4个时期,主要包括:河南省1:10万土地利用数据集,来源于国家地球系统数据共享平台—黄河下游科学数据中心(<http://henu.data.ac.cn>);250 m分辨率MODIS NDVI 16 d合成数据,来源于NASA LAADS网站;水资源量统计数据,来源于河南省水利厅公布的水资源公报;站点月值降雨数据,来源于中国气象数据网;90 m分辨率SRTM DEM数据,来源于中科院计算机网络信息中心地理空间数据云网

站;环境污染统计数据,来源于河南省环境保护厅公布的环境统计年报。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系 生态环境质量是指生态环境的优劣程度,从适宜人类生存和发展的角度,可以把生态环境分为生物资源、水资源、土地资源、气候资源等。在构建评价指标体系时,以自然条件为基础,同时考虑人类活动对生态环境的影响。在自然条件方面,生态系统多样性为人类提供基本的环境,直接影响生态系统的稳定性和可持续性,使用植被覆盖指数反映区域的生态生产能力,生物丰度指数反映区域生态功能的支撑能力。在人类对生态环境影响方面,使用土地胁迫指数和污染负荷指数衡量人类发展导致的生态系统退化过程,是区域生态系统受外界胁迫程度的整体反映。生态环境质量评价标准参考《生态环境状况评价技术规范(HJ192-2015)》,通过构建一个综合指数(生态环境状况指数, EI)来反映区域生态环境的整体状态,指标体系由生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地胁迫和污染负荷 5 个分指数加权而得(表 1)。

表 1 各项指标权重表

指标	生物丰度	植被覆盖	水网密度	土地胁迫	污染负荷
权重	0.35	0.25	0.15	0.15	0.10

$$I_E = 0.35I_B + 0.25I_V + 0.15I_W + 0.15 \times (100 - I_L) + 0.10 \times (100 - I_P) \quad (1)$$

式中: I_E ——生态环境状况指数; I_B ——生物丰度指数; I_V ——植被覆盖指数; I_W ——水网密度指数; I_L ——土地胁迫指数; I_P ——污染负荷指数。

生物丰度指数用来评价研究区域内生物的丰贫程度,利用土地利用数据求得:

$$I_B = A_{\text{bio}}(0.35S_1 + 0.21S_c + 0.28S_s + 0.11S_g + 0.04S_j + 0.01S_w) / S \quad (2)$$

式中: I_B ——生物丰度指数; A_{bio} ——归一化系数; $S_1, S_c, S_s, S_g, S_j, S_w$ ——林地、草地、水域、耕地、建设用地和未利用地面积(km^2); S ——区域面积(km^2)。

植被覆盖指数用来评价研究区域内植被覆盖的程度,利用 MODIS NDVI 数据求得:

$$I_V = A_{\text{veg}} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \right) \quad (3)$$

式中: I_V ——植被覆盖指数; A_{veg} ——归一化系数; P_i ——5—9 月象元 NDVI 月最大值均值; n ——区域象元数。

水网密度指数用来评价研究区域内水的丰富程度,利用河流长度、水域面积和水资源量求得:

$$I_W = (A_{\text{riv}} \cdot S_{\text{riv}} + A_{\text{lak}} \cdot S_{\text{lak}} + A_{\text{res}} \cdot S_{\text{res}}) / S / 3 \quad (4)$$

式中: I_W ——水网密度指数; $A_{\text{riv}}, A_{\text{lak}}, A_{\text{res}}$ ——归一化系数; $S_{\text{riv}}, S_{\text{lak}}, S_{\text{res}}$ ——河流长度(m)、水域面积(km^2)和水资源量(10^7 m^3); S ——区域面积(km^2)。

土地胁迫指数用来评价研究区内土地质量遭受胁迫的程度,利用土壤侵蚀和建设用地面积等数据求得:

$$I_L = A_{\text{ero}} \times (0.4S_{\text{ero1}} + 0.2S_{\text{ero2}} + 0.2S_{\text{cons}} + 0.2S_{\text{etc}}) / S \quad (5)$$

式中: I_L ——土地胁迫指数; A_{ero} ——归一化系数; $S_{\text{ero1}}, S_{\text{ero2}}, S_{\text{cons}}, S_{\text{etc}}$ ——重度侵蚀、中度侵蚀、建设用地和其他土地胁迫面积(km^2); S ——区域面积(km^2)。

污染负荷指数用来评价研究区域内所承受的环境污染压力,使用化学需氧量、二氧化硫和烟粉尘数据进行计算:

$$I_P = 0.4A_{\text{COD}} \cdot E_{\text{COD}} / P + 0.4A_{\text{SO}_2} \cdot E_{\text{SO}_2} / S + 0.2A_{\text{YFC}} \cdot E_{\text{YFC}} / S \quad (6)$$

式中: I_P ——污染负荷指数; $A_{\text{COD}}, A_{\text{SO}_2}, A_{\text{YFC}}$ ——归一化系数; $E_{\text{COD}}, E_{\text{SO}_2}, E_{\text{YFC}}$ ——化学需氧量(t)、二氧化硫排放量(t)和烟粉尘排放量(t); P ——区域年降水量(mm); S ——区域面积(km^2)。

1.3.2 评价单元与归一化系数 生态环境质量的评价多以省级、县级行政区划为单元,由于生态环境系统的复杂性、地域性,这种以大中尺度地理区域为单元的评价存在一定局限,无法反映行政区划内部的空间差异^[28]。随着 GIS 与 RS 技术的发展,使得生态环境质量评价的技术方法和数据来源不断得到进步,评价的效率和精度也不断提高。本文借助于 GIS 和 RS 技术,考虑到数据精度和数据量问题,以 1 km 格网为基本评价单元,对河南省生态环境质量的动态变化进行定量评价。

由于各分指数原始数据单位上存在差异,不便于进行综合计算来获取总指数值,因此需要对各分指数进行归一化处理。评价单元的改变,使得原规范中的归一化系数不再适用,为便于生态环境质量指数年际间比较,对各指数的归一化系数进行修正。根据 2000—2013 年河南省归一化处理之前的各指数值,计算 2000—2013 年度归一化系数的平均值作为各指数归一化系数的参考值。

1.3.3 数据预处理 获取到的多源数据包括栅格、矢量和统计多种格式和尺度,必须进行数据的精度评价和标准化处理。对于土地利用数据,在内业建立解译标志库的基础上,依靠高分影像与野外实地验证相结合的方式,对未达到抽样精度 90% 的数据进行重新修正。为保证计算结果的准确性,在计算各分指数时,对土地利用数据采用矢量数据属性信息无损栅格

化方法进行处理,对统计数据采用层次分析法进行格网化,对NDVI和土壤侵蚀数据进行重采样,最终形成1 km 格网数据集。

土地利用等数据为矢量格式,直接将其转换为栅格格式会造成精度的损失。为保证评价结果的精确性,借鉴矢量数据属性信息无损栅格化的方法,在计算生物丰度、土地胁迫等分指数时,将土地利用数据与1 km 格网进行叠加分析,统计1 km 格网的指数值,将其转换为1 km 栅格数据。

水资源量为地市级统计数据,无法反映行政区划内部的空间分布差异,需要对其进行空间化处理。由于水资源量的分布受到气候、地形、土地利用等因子的影响,参考雷莹^[29]等人的研究成果,选择影响水资源分布的因素:一是距水系的距离;二是土地利用类型,三是地形坡度。然后使用层次分析法确定各个因子的影响权重,最后通过模型计算得到格网化的水资源数据:

$$W_i = 0.320W_l + 0.166W_s + 0.514W_w \quad (7)$$

式中: W_i ——综合权重; W_l ——土地利用权重; W_s ——坡度权重; W_w ——水系距离权重。

河南省土壤侵蚀类型主要为水力侵蚀,采用修正的通用土壤流失方程^[30](revised universal soil loss equation, RUSLE)来获取生态环境质量评估中各个时期的土壤侵蚀数据,然后按照水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准对其分级,其计算方式为:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (8)$$

式中: A ——土壤侵蚀模数 $[t/(hm^2 \cdot a)]$; R ——降雨侵蚀力因子 $[MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; K ——土壤可蚀性因子 $[t \cdot hm^2 \cdot h/(MJ \cdot hm^2 \cdot mm)]$; LS ——坡长、坡度因子,无量纲; C ——植被覆盖与管理因子,无量纲; P ——水土保持因子,无量纲。

2 结果分析

2.1 生态环境质量指数

根据生态环境质量评价模型,得到河南省4个时期的生态环境状况指数,然后将其分为5个级别,即优($EI \geq 75$)、良($55 \leq EI < 75$)、一般($35 \leq EI < 55$)、较差($20 \leq EI < 35$)和差($EI < 20$),得到生态环境质量指数分级图(附图1),并对各个级别进行统计分析(表2)。

2000—2013年河南省生态环境质量总体为一般,4个时期所占比例分别为79.29%、77.25%、76.61%和76.53%,这部分区域主要分布在黄淮海平原和南阳盆地,其土地利用类型主要为耕地。生态

环境质量为差和较差的面积所占比例分别为2.61%、3.20%、3.26%和4.02%,其空间分布大体与城镇分布相一致,且以郑州为中心,在京广线沿线分布比较集中。这些区域受城镇扩张、经济发展等人为因素影响较大,城市建设导致环境污染问题突出,绿化程度较低、人为干预严重,部分自然生态功能丧失,其生物丰度、植被覆盖状况较差,土地胁迫、污染负荷状况较为严重。生态环境质量为优、良的面积所占比例分别为18.10%、19.55%、20.13%和19.44%,这部分区域主要分布在豫西山丘陵地区,此外在西北部的太行山山地和南部的桐柏山、大别山山地均有分布,其土地利用类型主要为林地和草地,受人为因素干扰较小。

表2 生态环境质量分级统计

年份	统计参数	差	较差	一般	良	优
2000	面积/km ²	6	4 234	128 800	14 428	14 969
	比例/%	0.00	2.61	79.29	8.88	9.22
2005	面积/km ²	39	5 161	125 480	17 068	14 689
	比例/%	0.02	3.18	77.25	10.51	9.04
2010	面积/km ²	11	5 280	124 445	16 911	15 790
	比例/%	0.01	3.25	76.61	10.41	9.72
2013	面积/km ²	10	6 528	124 320	15 659	15 920
	比例/%	0.01	4.02	76.53	9.64	9.80

总体来看,近13 a来河南省生态环境质量空间分布格局整体上变化不大,呈现出向两个相反方向变化的趋势。一是生态环境质量为较差的区域呈现增加趋势,2000—2013年面积增加2 294 km²,其比例也由2.61%上升到4.02%。这部分变化主要出现在城镇扩张区域,尤其以郑州为中心变化最明显。二是生态环境质量为优、良的区域也出现增加趋势,2000—2013年面积分别增加951,1 231 km²,其构成比例分别上升0.58%、0.76%,这部分变化主要分布在山地丘陵区,主要受这一时期林地面积增加影响较大。2000年时生态环境质量指数介于16.06~90.06之间,到2013年生态环境质量指数略微下降到15.88~87.60之间。

2.2 生态环境质量变化

为更好地分析河南省生态环境质量变化趋势,将其变化幅度分为7个级别,即无明显变化($|\Delta EI| < 1$)、略微变好/差($1 \leq |\Delta EI| < 3$)、明显变好/差($3 \leq |\Delta EI| < 8$)、显著变好/差($|\Delta EI| \geq 8$),得到4个时期生态环境质量变化度分级图(附图2),并对各个级别进行统计分析(表3)。

表 3 河南省生态环境质量变化度统计

变化度	2000—2005 年		2005—2010 年		2010—2013 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
显著变差	1 080	0.66	1 877	1.16	1 036	0.64
明显变差	9 321	5.74	17 546	10.80	9 020	5.55
略微变差	31 216	19.22	38 901	23.95	39 757	24.48
无明显变化	49 222	30.30	56 220	34.61	81 205	49.99
略微变好	48 076	29.60	31 526	19.41	24 255	14.93
明显变好	21 198	13.05	12 489	7.69	6 129	3.77
显著变好	2 323	1.43	3 877	2.39	1 035	0.64

对比来看,3 个时期生态环境质量无明显变化的面积一直处于增加趋势,其所占比例由 30.30% 增加到 49.99%,说明河南省生态环境质量变化逐渐趋于稳定状态。2000—2013 年,河南省生态环境质量变化呈现出单峰型分布,即无明显变化所占比例最高,向两侧略微变好(差)、明显变好(差)依次递减,显著变好(差)所占比例最低,全省各区域发生显著变好(差)所占比例一直低于 5%。

河南省生态环境质量变化在空间分布上存在迁移,生态环境质量变差的区域在 2000—2005 年主要分布在豫西及豫中郑州地区,2005—2010 年主要分布在开封及黄淮四市地区,到 2010—2013 年除南部地区信阳存在较大比例略微变差外,其他区域主要特征为无明显变化。

生态环境质量改善的区域在 2000—2005 年主要分布在豫北新乡和漯河、平顶山及驻马店地区,2005—2010 年主要分布在豫西和豫北焦作、鹤壁地区,到 2010—2013 年变好区域在各地市所占比例都低于 30%,无明显变化特征更为显著。近 13 a 来河南省生态环境质量总体上存在变差趋势,但变化不明显,变差区域在空间上由中西部向东南部迁移,同时变化趋势也逐渐趋于稳定状态。

生态环境质量与区域发展关系密切,区域发展影响生态环境质量变化,而生态环境变化对区域发展表现出滞后效应^[31]。工业化作为推动河南省经济增长的主导力量,城镇化建设、工业污染、工矿开发等对生态环境产生胁迫作用。2000—2005 年,河南省提出以郑汴洛为核心区的中原城市群建设计划,中西部地区工业化进程加快,形成经济发展的高水平集聚区。与之相对应,此阶段豫西和豫中郑州地区生态环境呈现变差趋势。2005—2010 年,河南省经济发展开始向豫东南倾斜,支持黄淮 4 市加快工业化和城镇化进程,此阶段生态环境变差区域迁移到开封及黄淮 4 市地区。2005 年以后,河南省先后提出生态省建设规划,采取退耕还林、天然林保护、重点地区防护林体系

建设等一系列措施,实施生态保护工程,构建以“四区两带”为重点的生态功能格局。2010—2013 年,河南省经济发展达到一定水平,加之生态保护工程的实施,使得生态环境变差趋势得到有效控制,全省生态环境变化趋于稳定。总体来看,生态环境变差区域与区域发展重心迁移相一致,生态保护工程的实施和经济发展水平的提高是生态环境改善的主要原因,生态环境变差趋势的控制和改善具有相对更长时间的滞后效应。

3 讨论与结论

(1) 基于 1 km 格网的生态环境质量评价方法能够监测行政区域单元内部的空间分布及变化特征,更能反映区域生态环境的影响因素。

(2) 2000—2013 年,河南省生态环境质量总体为一般,其所占比例一直超过 75%,其他类型所占比例不足 25%,生态环境质量的空间分布受地形地貌、土地利用及区域发展战略影响比较明显。

(3) 近 13 a 来河南省生态环境质量年际间变化不大,呈现出“单峰型”的变化特征,即无明显变化所占比例最高,向两侧依次递减。生态环境质量为较差和优、良的区域都呈增加趋势,分别出现在城镇扩张区和山地丘陵区。总体来看,全省生态环境质量存在略微变差的趋势,变差区域在空间上由中西部向东南部迁移。

(4) 中原城市群建设过程中城镇建设用地扩张等导致生态环境略微变差,变差区域与区域发展重心的转移相一致,而国家退耕还林等生态保护工程的实施是生态环境改善的主要原因。

(5) 本文以 1 km 格网为评价单元对河南省生态环境质量动态变化进行了研究,定性分析了变化原因,今后需进一步定量分析生态环境质量变化驱动力。

[参 考 文 献]

[1] 颜梅春,王元超. 区域生态环境质量评价研究进展与展

- 望[J]. 生态环境学报, 2012, 21(10): 1781-1788.
- [2] Berger A R, Hodge R A. Natural change in the environment: A challenge to the pressure-state-response concept [J]. *Social Indicators Research*, 1998, 44(2): 255-265.
- [3] Esty D C, Levy M, Srebotnjak T, et al. Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship [M]. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2005: 47-60.
- [4] Hope C, Parker J. Environmental indices for France, Italy and the UK [J]. *European Environment*, 1995, 5(1): 13-19.
- [5] Kang S M. A sensitivity analysis of the Korean composite environmental index [J]. *Ecological Economics*, 2002, 43(2): 159-174.
- [6] Esty D C, Levy M A, Srebotnjak T, et al. Pilot 2006 Environmental Performance Index [M]. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2006.
- [7] Jong-Tae L. A study of review and development environmental health indicators [C]. Korea: National Institute of Environmental Research; Incheon, 2010.
- [8] Heo S, Lee J T. Study of environmental health problems in Korea using integrated environmental health indicators [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 10(8): 3140-3156.
- [9] 傅伯杰. 中国各省区生态环境质量评价与排序[J]. *中国人口·资源与环境*, 1992, 2(2): 48-54.
- [10] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J]. *环境科学研究*, 2000, 13(3): 33-36.
- [11] 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.
- [12] 万本太. 中国生态环境质量评价研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 5-12.
- [13] 蔡海生, 刘木生, 陈美球, 等. 基于GIS的江西省生态环境脆弱性动态评价[J]. *水土保持通报*, 2009(5): 190-196.
- [14] 万本太, 王文杰, 崔书红, 等. 城市生态环境质量评价方法[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1068-1073.
- [15] 宋静, 王会肖, 王飞. 生态环境质量评价研究进展及方法评述[J]. *环境科学与技术*, 2013, 36(12): 448-454.
- [16] 丁彩霞, 延军平. 基于PSR模型的宁夏地区生态环境变化特征研究[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(3): 191-196.
- [17] 王瑞燕, 赵庚星, 周伟, 等. 县域生态环境脆弱性评价及其动态分析: 以黄河三角洲垦利县为例[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3790-3799.
- [18] Wang Xiaodan, Cao Yingzi, Zhong Xianghao, et al. A new method of regional eco-environmental quality assessment and its application [J]. *Journal of environmental quality*, 2012, 41(5): 1393-1401.
- [19] Cui Erqian, Ren Lijun, Sun Haoyu. Evaluation of variations and affecting factors of eco-environmental quality during urbanization [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(5): 3958-3968.
- [20] 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J]. *地理学报*, 2012, 67(12): 1599-1610.
- [21] 姚尧, 王世新, 周艺, 等. 生态环境状况指数模型在全国生态环境质量评价中的应用[J]. *遥感信息*, 2012, 27(3): 93-98.
- [22] 王宏伟, 张小雷, 乔木, 等. 基于GIS的伊犁河流域生态环境质量评价与动态分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(2): 215-221.
- [23] 李玲, 侯淑涛, 赵悦, 等. 基于PSR模型的河南省土地生态安全评价及预测[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(1): 188-192.
- [24] 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.
- [25] 蔺芳, 张家洋, 王书丽, 等. 河南农村生态环境保护与建设研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(4): 406-409.
- [26] 李钢, 王萌, 吴焯, 等. 矿区生态环境评价体系建设与评价: 以河南部分矿区为例[J]. *环境工程*, 2014(10): 125-128.
- [27] 傅伯杰, 刘国华, 欧阳志云, 等. 中国生态区划研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 135-139.
- [28] 凡宸, 夏北成, 秦建桥. 基于RS和GIS的县域生态环境质量综合评价模型: 以惠东县为例[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 719-725.
- [29] 雷莹, 江东, 杨小唤, 等. 水资源空间分布模型及GIS分析应用[J]. *地球信息科学*, 2007, 9(5): 64-69.
- [30] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: Revised universal soil loss equation [J]. *Journal of soil and Water Conservation*, 1991, 46(1): 30-33.
- [31] 李汝资, 宋玉祥, 李雨婷, 等. 近10年来东北地区生态环境演变及其特征研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(8): 935-941.