

DOI: 10.5846/stxb201403250557

陈强, 陈云浩, 王萌杰, 蒋卫国, 侯鹏, 李营. 2001—2010 年洞庭湖生态系统质量遥感综合评价与变化分析. 生态学报, 2015, 35(13): 4347-4356.
Chen Q, Chen Y H, Wang M J, Jiang W G, Hou P, Li Y. Ecosystem quality comprehensive evaluation and change analysis of Dongting Lake in 2001—2010 based on remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4347-4356.

2001—2010 年洞庭湖生态系统质量遥感综合评价与变化分析

陈 强^{1,2}, 陈云浩^{1,2,*}, 王萌杰^{1,2}, 蒋卫国^{2,3}, 侯 鹏⁴, 李 营⁴

1 北京师范大学资源学院, 北京 100875

2 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

3 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

4 中国环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094

摘要: 生态系统质量能够反映生态系统的重要特征, 是表征生态环境质量和服务功能的重要指标。在生态系统质量的理论框架指导下, 结合 GIS 综合指数法, 利用遥感数据和土地覆被数据, 对 2001—2010 年洞庭湖区域各生态系统类型进行生态系统质量综合评价和变化分析。以 NPP 年均值和变异系数构建生态系统生产能力指数 (EPI) 和稳定性指数 (ESI), 结合 PSR 模型和 AHP 层次分析法构建生态系统承载力指数 (EBCI), 并基于熵值权重法, 构建生态系统质量遥感综合评价模型, 实现对生态系统生产能力、稳定性和承载力三方面的综合评价。结果表明, 洞庭湖区域生态系统质量综合评价分数达到 59.81 (总分 100), 而且在三项指数评价中, 各指数均值分别为 72.79、52.21 和 71.86, 可见洞庭湖区域生态系统稳定性略差。三项指数在 2001—2010 年期间变化表现不同, EPI 和 EBCI 分别下降 8.85% 和 9.11%, ESI 小幅度上升 3.09%; 整体生态系统质量在 2001—2010 年呈现逐年降低趋势, 下降 5.97%, 平均变化率为 -0.508/年。针对各生态系统类型的分析可知, 森林生态系统质量高于其他生态系统类型, 湿地生态系统质量最低, 同时在这十年间, 湿地生态系统质量下降最明显, 降幅达 12.97%, 森林生态系统质量变化较小, 降幅只有 2.26%。

关键词: 生态系统质量; 综合指数法; 熵值权重法; 洞庭湖; 遥感变化分析

Ecosystem quality comprehensive evaluation and change analysis of Dongting Lake in 2001—2010 based on remote sensing

CHEN Qiang^{1,2}, CHEN Yunhao^{1,2,*}, WANG Mengjie^{1,2}, JIANG Weiguo^{2,3}, HOU Peng⁴, LI Ying⁴

1 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing 100875, China

4 Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China

Abstract: Ecosystem quality, which reflects important ecosystem characteristics, is an important indicator in characterizing the quality and service functions of the ecological environment. In this paper, we have been guided by the ecosystem quality theoretical framework, based on the GIS integrated index method, in using remotely sensed data and land cover data to conduct a comprehensive evaluation and change analysis of ecosystem quality for various ecosystem types in the Dongting Lake area from 2001 to 2010. We have proposed an ecosystem productivity index (EPI), an ecosystem stability index (ESI), and an ecosystem bearing capacity index (EBCI) to build a remotely sensed ecosystem quality comprehensive

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (201204201); 国家自然科学基金资助项目 (41171318)

收稿日期: 2014-03-25; 修订日期: 2015-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cyh@bnu.edu.cn

evaluation model. We used this model to evaluate three aspects of ecosystem quality: ecosystem production capacity, stability, and carrying capacity. This model enabled us to obtain EPI and ESI by linear stretching of the annual average value of net primary productivity (NPP) and the variation coefficient of NPP, respectively. We built the EBCI using an ecosystem health index based on the pressure-status-reflection (PSR) model and analytic hierarchy process (AHP), combining these indices by the entropy weight method. Using the remotely sensed ecosystem quality comprehensive evaluation model, we calculated the EPI, ESI, EBCI, and ecosystem quality index of five ecosystem types, forest, grassland, wetlands, farmland and urban areas, around Dongting Lake. We evaluated the quality of these five types of ecosystem by grading these index values. We also analyzed the change trends of these indices by calculating the average change rate of the EPI, ESI, EBCI, and ecosystem quality index from 2001 to 2010 in these five areas.

The results indicated that the mean value of the ecosystem quality comprehensive evaluation index of the five ecosystems in the Dongting Lake area was 59.81 (total score: 100). After evaluating the ecosystem production capacity, stability, and carrying capacity indices, we found that the indices produced values of 72.79, 52.21, and 71.86, respectively, indicating that ecosystem stability in the Dongting Lake area was poor in the period from 2001 to 2010. However, the three indices showed different change trends during the period. Two indices, EPI and EBCI, decreased by 8.85% and 9.11%, respectively, but ESI rose slightly, by 3.09%. The ecosystem quality declined by 5.97% from 2001 to 2010, the average change rate being -0.508 per year. An analysis of the various ecosystem types found that the forest ecosystem's quality was better than the other ecosystem types, and that the wetlands ecosystem quality was the lowest. We found that, from 2001 to 2010, the ecosystem quality of the wetlands had the most obvious decline (12.97%) and that the forest ecosystem only decreased by 2.26%. These data indicate that ecosystem quality in the Dongting Lake area fell from 2001 to 2010, with the wetlands ecosystem having the largest decline. At present, the ecosystem quality remains at a higher level than that indicated by these historical data, but it seems unlikely to lead to optimistic trends in the future. We should pay more attention to environmental protection and ecological planning in the Dongting Lake area.

Key Words: ecosystem quality; comprehensive index method; entropy weight method; Dongting Lake; remotely sensed change analysis

生态系统是人类生存和经济社会可持续发展的基础,尤其是国务院《全国生态环境十年变化(2000—2010年)遥感调查与评估》项目的开展以及十八届三中全会提出的“深化生态文明体制改革”理念,更加强调生态文明建设的重要性。21世纪前10年是我国经济社会快速发展的10年,生态系统环境发生了很大变化,客观评价生态系统质量,并分析其10年变化将十分有利于生态系统环境保护工作的开展和生态文明建设。

生态系统作为生态学中的基本功能单位,存在动态波动、对环境变化有一定的承载力等特点。目前,针对生态系统这些特征的评价多是以生态环境质量这一概念为基础的,而有关生态系统质量并未见普遍认可的定义。笔者根据有关学者的生态环境质量定义^[1-2],以生态系统的三大基本特征为出发点,认为生态系统质量应是指在一个具体的时间和空间范围内生态系统的总体或部分生命组分的质量,主要表现在其生产能力以及受到外界干扰后的动态变化,以及对人类的生存及社会经济持续发展的影响。类似于生态系统健康的定义,但生态系统质量更强调生态系统本身的基本特征,生态系统健康状况更多表现为生态系统对环境的承载状况,可以说生态系统健康是反应生态系统质量的另一方面。

前人对生态系统质量的评价多关注其环境质量和 Service 功能的评价^[3-4],而也有些学者认为对生态系统的质量状况进行评价,就必须能够反映生态系统的基本特征,体现生态系统的健康情况^[5]。对生态系统质量的评价需要从以下三个方面描述:一是生态系统 Service 功能的评价,Service 功能的基础是生产力,集中体现在生物量的富集;二是生态系统 Service 功能的稳定性,评价其生产能力的波动性;三是生态系统受到干扰的负荷能力,也就是生态系统承载力评价。

关于生态系统质量的评价常见的有两种方法,一是基于生态系统环境质量情况,利用中国环境科学研究院制定的生态环境质量评价指标体系,进行生态环境质量评价,并以此表征生态系统质量;二是基于指数评价法,通过构建不同指数法反映生态系统的不同方面,以此表征生态系统质量。第一种方法对生态系统质量的评价主要关注生态环境影响力方面,第二种方法则涉及生态系统多个方面,结合生态系统质量的定义可知,指数评价法对生态系统质量评价更全面,但从学者的文献研究可知,指数评价法中各指数的构建都是针对生态系统的某几个方面,缺少对生态系统质量的综合评价。本文便是在生态系统质量的理论框架下结合遥感和 GIS 基于综合指数法进行生态系统质量评价模型建立,对 2001—2010 年湖南洞庭湖区域森林、草地、湿地、农田和城镇五大生态系统类型进行生态系统质量评价,分析其 10 年变化,揭示典型湖泊湿地区域生态系统质量的变化趋势。

1 生态系统质量评价

生态系统质量评价主要是对生态系统生产能力、稳定性和承载力 3 个方面进行描述的,通过构建生态系统生产能力指数、稳定性指数和承载力指数,评价生态系统质量的三个方面。

1.1 生态系统生产能力指数

生态系统的服务功能是支撑人类社会不断发展和进步的基础条件,生态系统可为人类提供 17 类服务功能^[6],其中生产力是最主要的,如果生态系统失去生产力,人类社会就难以存在和发展,所以选择生态系统生产能力指数作为区域生态系统质量评价的指标。

反映生态系统生产能力的指标有初级生产力、净初级生产力、地上生物量和植被指数等,其中植被第一性初级生产力(NPP)是最能反映陆地生态系统生产能力的指标,所以选择 NPP 年总量作为评价生态系统生产能力的主要指标参数。

NPP 与生态系统生产能力有比较显著的相关关系,本研究拟采用 NPP 作为基础,构造生态系统生产能力指数(EPI)反映生态系统的生产能力,考虑到地表的实际覆盖以及季节变化的影响,同时为了更好的对比,所以 EPI 指数应该进行归一化,考虑到即便是很低的 NPP 数值,生态系统依然具备较微弱的生产能力,所以 EPI 指数的范围定义为 $[10, 100]$ 。在 EPI 归一化的过程中需要设定 NPP 的上下限,然后再对 NPP 进行线性拉伸得到 EPI 指数。本研究将 10 年 NPP 数据进行直方图统计分析,以 $\pm 2\sigma$ 为阈值得到 NPP 的上下限。EPI 就表示为:

$$EPI_{t,k} = \begin{cases} 10 & N_{t,k} \leq 2 \\ 10 + (N_{t,k} - 2) \times a & 2 < N_{t,k} < 45 \\ 100 & N_{t,k} \geq 45 \end{cases}, \quad a = \frac{100 - 10}{N_{\max} - N_{\min}} = \frac{90}{45 - 2} = 2.09 \quad (1)$$

式中, $N_{t,k}$ 表示的是像元 k 第 t 年的 NPP 年总量($\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$); $EPI_{t,k}$ 表示的是像元 k 第 t 年的生产能力指数,无量纲,值越大表示该区域生态系统生物生产能力较强。定义 a 为拉伸常数, $N_{\max}$ 和 $N_{\min}$ 为年均 NPP 的上下限。

1.2 生态系统稳定性指数

生态系统的稳定性是指生态系统对外界条件干扰的响应,是生态系统适应外界条件能力的表现^[7],体现为生态系统的内部调整。一般无干扰情况下,生态系统在一定范围内波动,当受到外界干扰后,生态系统会偏离原有的波动状态,发生生态跃迁,在新范围内逐渐达到平衡。可通过对生态系统的生产能力波动的定量研究,来表征生态系统的稳定性,一般要依据生态系统的平衡状态和变化阈值来评价生态系统的稳定性^[8],而生态系统稳定性一般反应为生态系统生产能力的变化情况,因此可依据生态系统生产能力的变异系数来构建生态系统稳定性指数。

本研究中,以像元为基本分析对象,以每年各旬的 NPP 为单位,形成一个三维旬时间序列的数组 $N = (N_{t,y,k}, t = 1, 2, \dots, T; y = 1, 2, \dots, Y; k = 1, 2, \dots, K)$ 。对于像元 k ,第 t 年第 y 旬的 NPP 为 $N_{t,y,k}$,则第 t 年的 NPP 年均值为:

$$\bar{D}_{t,k} = \sum_{y=1}^{36} N_{t,y,k} / 36 \quad (2)$$

式中, y 表示旬数。可知, 像元 k 第 t 年 NPP 年均值变异系数为:

$$cv_{t,k} = \frac{S_{t,k}}{\bar{D}_{t,k}} = \frac{\sqrt{\sum_{y=1}^{36} (N_{t,y,k} - \bar{D}_{t,k})^2 / 35}}{\bar{D}_{t,k}} \quad (3)$$

式中, $S_{t,k}$ 表示像元 k 第 t 年 NPP 的方差, $cv_{t,k}$ 像元 k 第 t 年 NPP 年均值变异系数, $cv_{t,k}$ 则表示像元 k 的 NPP 在第 t 年的波动性和离散性, 以 NPP 的变异系数构造生态系统的稳定性指数 (ESI), 反映生态系统的稳定性, 通过分段处理和线性拉伸构建 ESI, 考虑到生态系统始终具有一定程度的稳定性, 因此定义 ESI 的范围为 [10, 100]。

$$ESI_{t,k} = \begin{cases} 10 & cv_{t,k} \geq 140\% \\ 10 + (1.4 - cv_{t,k}) \times a & 10\% < cv_{t,k} < 140\% \\ 100 & cv_{t,k} \leq 10\% \end{cases}, \quad a = \frac{100 - 10}{cv_{\max} - cv_{\min}} = \frac{90}{1.4 - 0.01} = 69.23 \quad (4)$$

式中, $ESI_{t,k}$ 表示像元 k 第 t 年的稳定度指数, 无量纲, 值越大说明该区域生态系统稳定程度高, 值越小说明区域生态系统波动性强, 稳定度低。 a 为拉伸常数, $cv_{\max}$ 和 $cv_{\min}$ 为 NPP 年均值变异系数的上下限, 类似于 NPP 上下限的取值规则, 将 $cv_{\max}$ 和 $cv_{\min}$ 赋值为 140% 和 10%。

1.3 生态系统承载力指数

生态系统承载力是指生态系统维系自身健康、稳定发展的潜在能力, 主要表现为生态系统对外界干扰的负荷承载能力, 突出是对人类活动的承载能力。从诸学者对生态承载力的研究可知^[9-10], 生态系统承载力更多反映的是人与生态系统的一种互动关系, 以及生态系统自我调整恢复能力对其胁迫的负荷支撑作用。因此, 本研究依据生态系统承载力的定义, 以“社会经济-土地覆被-生态系统健康-生态系统承载力”为主线^[11], 结合层次分析法, 以生态系统健康为基础实现对生态系统承载力的评价。

利用遥感数据, 以人口密度和人类干扰指数作为压力指标, 以植被 NPP、植被覆盖度、叶面积指数、多样性指数、平均弹性度、平均分维度、斑块密度和斑块标准差等作为状态指标, 以 NDVI 的变化比例为响应指标, 利用层次分析法确定对指标体系中各指标的权重 w , 计算生态系统健康指数 (EHI)。通过对 EHI 值的分段线性拉伸, 得到区域的生态系统承载力指数 (EBCI)。

在联合国经济合作开发署建立的“压力-状态-响应 (PSR)”框架模型的基础上, 根据生态系统健康评价指标的选取原则、评价模型和要素的可操作性, 以及研究区的实际情况, 建立适应研究区域的生态系统健康评价指标体系。

对于区域 k 第 t 年的生态系统健康指数 $EHI_{t,k}$ 表示为:

$$EHI_{t,k} = \sum_{j=1}^m w_{t,k,j} \times x_{t,k,j} \quad (5)$$

式中, j 和 m 表示评价指标及其个数, $w_{t,k,j}$ 表示区域 k 第 t 年第 j 个指标的权重, $x_{t,k,j}$ 表示区域 k 第 t 年第 j 个指标标准化后的值。

$$EBCI_{t,k} = \begin{cases} 10 & EHI_{t,k} \leq 0.2 \\ 10 + (EHI_{t,k} - 0.2) \times a & 0.2 < EHI_{t,k} < 1.5 \\ 100 & EHI_{t,k} \geq 1.5 \end{cases} \quad (6)$$

$$a = \frac{100 - 10}{EHI_{\max} - EHI_{\min}} = \frac{90}{1.5 - 0.2} = 69.2$$

式中, 生态系统承载力指数 $EBCI_{t,k}$ 就表示 t 年区域 k 由于生态系统被压力过大而导致破坏可能性, 值越大表示生态系统被破坏的可能性越小, 生态系统当前承载能力就越强。

1.4 生态系统质量综合评价模型

生态系统质量评价主要是对生态系统生产能力、稳定性和承载力三方面进行评价,本研究基于 2000—2010 年的遥感数据和社会经济数据,利用综合指数法,通过构建 EPI、ESI 和 EBCI,评价生态系统生产能力、稳定性和承载力三方面,并利用熵值权重法,对各指数分别赋权,最终得到对应不同生态类型的生态系统质量综合评价得分,以此思路搭建生态系统质量遥感综合评价模型。

EPI、ESI 和 EBCI 表征生态系统质量的不同方面,由于不同的生态系统,其生态系统质量的三方面表现也有差异,考虑到这种差异对生态系统质量评价的影响,应该根据不同的生态系统类型,对各指数进行赋权加和,求得对应不同生态系统类型的生态系统质量评价结果。本研究采用信息论中的熵值理论,通过分析不同生态系统类型的各指数熵值表征其分布的离散程度。根据熵的特性可知,用熵值来判断某个指标的离散程度,熵值越大,指标的离散程度越大,该指标对综合评价的影响越大^[12]。

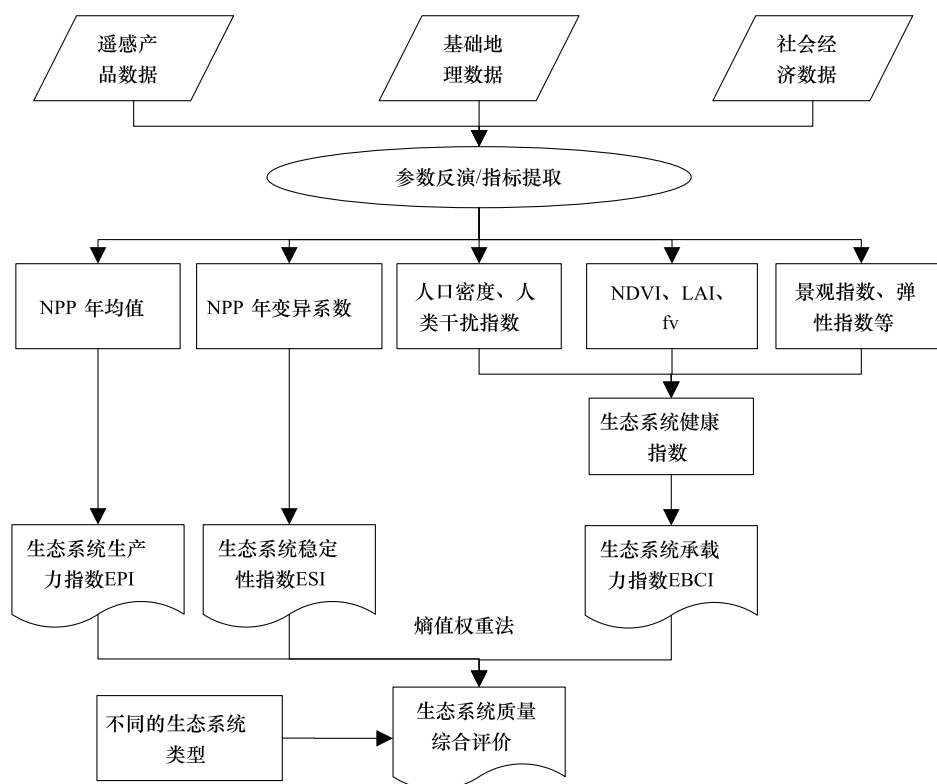


图 1 基于综合指数法的生态系统质量遥感评价模型

Fig.1 The remotely sensed evaluation model of ecosystem quality based on comprehensive index

2 研究区域及数据

洞庭湖位于中国湖南省东北部,长江中游以南,为我国第二大淡水湖,由湘、资、沅、澧四水交汇。本文选取的研究区域为洞庭湖及其 4 条支流流经的湖南各行政区区域,包括岳阳、益阳和常德在内的 16 个县市行政区,总面积约 257 万 hm^2 。根据中国生态系统类型区划体系,将洞庭湖地区的生态系统类型分为自然生态系统包括森林生态系统、草地生态系统、湿地生态系统,以及人工生态系统包括农田生态系统和城镇生态系统。

主要的研究数据为遥感数据、基础地理数据和社会经济数据,遥感数据主要是 2001—2010 年旬时间序列的数据,包括归一化植被指数 NDVI、初级生产力 NPP、叶面积指数 LAI 和植被覆盖度 f_v ,这些数据是在 MODIS250 m 产品数据基础上反演计算得到的;还有 2001、2005 和 2010 年三期土地覆被数据,并在此数据基础上提取人类干扰度、景观格局指数等指标。基础地理数据主要是行政区边界矢量,社会经济数据主要是人

口密度。

3 结果与分析

根据上述理论方法,以 250 m×250 m 的像元尺度为评价单元,对洞庭湖区域 410667 个评价单元进行生态系统生产能力、稳定性和承载力三方面的评价,对各指数按照 10—30 为等级 I,30—60 为等级 II,60—70 为等级 III,70—80 为等级 IV,80—100 为等级 V 的方式进行等级划分,并对洞庭湖区域的五类主要的生态系统类型进行生态系统质量遥感综合评价。

3.1 洞庭湖生态系统生产能力评价

由 1.1 可知,以 NPP 年均值为基础,通过构建生产能力指数对研究区生态系统生产能力进行分析,对生产能力指数进行标准等级划分,可得到 2001—2010 年洞庭湖生态系统生产能力指数平均值的评价结果如下图 2 所示。

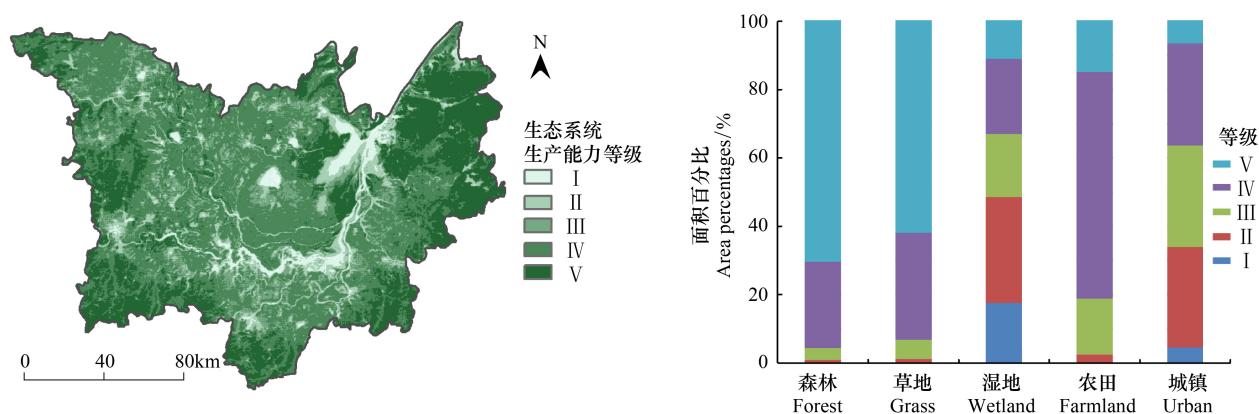


图 2 洞庭湖生态系统生产能力等级及各生态系统类型等级面积百分比

Fig.2 The production capacity grades of Dongting lake ecosystem and the area percentage of each ecosystem type of each grade

统计各等级面积百分比,由表 2 可知,2001—2010 年洞庭湖区域生态系统生产能力平均值为 72.79,标准差为 12.11,可知这十年间,洞庭湖区域生态系统生产能力较高,等级 V 的面积所占百分比达 30%左右,各等级区域分布较离散。结合生态系统类型可知,森林生态系统生产能力最高,其生产能力指数平均值达 84.15,高等级面积所占百分比近 70%;其次是草地、农田、城镇,湿地生态系统生产力最低,生产能力指数平均值为 55.62,高等级面积所占百分比为 11%。自然生态系统整体生产力较高与人工生态系统的生产力,生产能力指数均值分别为 74.19 和 68.21。

3.2 洞庭湖生态系统稳定性评价

由 1.2 可知,以 NPP 年变异系数为基础,通过构建稳定性指数对研究区生态系统稳定性进行分析,对稳定性指数进行标准等级划分,可得到 2001—2010 年洞庭湖生态系统稳定性指数平均值的评价结果(图 3)。

统计各等级面积百分比,由表 2 可知,2001—2010 年洞庭湖区域生态系统稳定性指数平均值为 52.21,标准差为 8.38,可知这十年间,洞庭湖区域生态系统稳定性中等偏低,等级 III 的面积所占百分比达 65%左右,各等级区域分布较集中,洞庭湖水域区域生态系统稳定性低于其他地区。结合生态系统类型可知,森林生态系统稳定性较高,其稳定性指数平均值达 59.31,等级 III 的面积所占百分比近 90%;其次是草地、农田、城镇,湿地生态系统稳定性较低,稳定性指数平均值为 45.81,等级 III 的面积所占百分比为 40%。自然生态系统稳定性较高与人工生态系统的稳定性,稳定性指数均值分别为 54.00 和 49.10。

3.3 洞庭湖生态系统承载力评价

基于 1.3 部分建立的指标体系,基于 PSR 模型和层次分析,对洞庭湖进行生态承载力评价,层次分析法得到 10 个指标权重分别为 0.0854、0.0854、0.1676、0.0796、0.0467、0.1033、0.0509、0.1126、0.1559 和 0.1126,由此

计算得到 2001、2005 和 2010 年洞庭湖生态系统承载力指数,对承载力指数进行标准等级划分,可得到(图 4)。

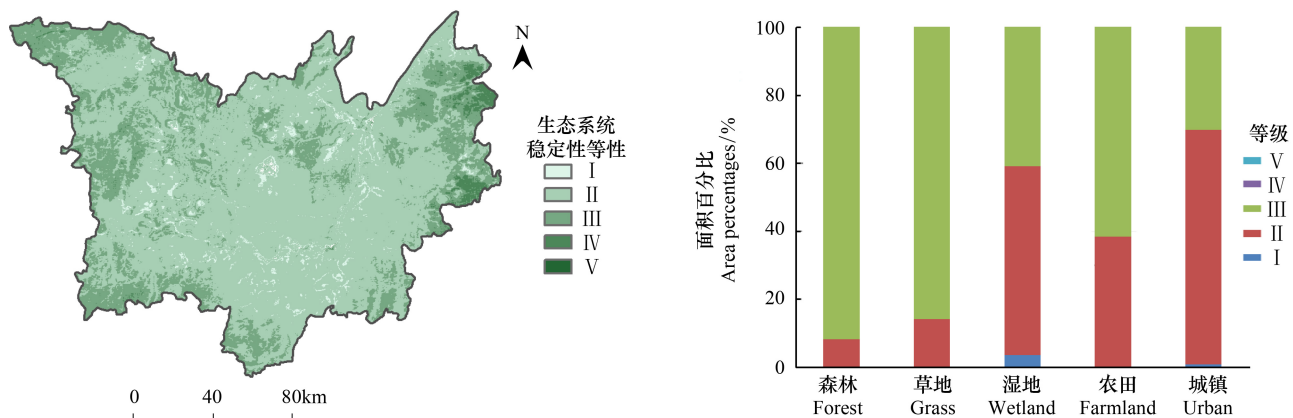


图 3 洞庭湖生态系统稳定性等级及各生态系统类型的等级面积百分比

Fig.3 The stability capacity grades of Dongting lake ecosystem and the area percentage of each ecosystem type of each grade

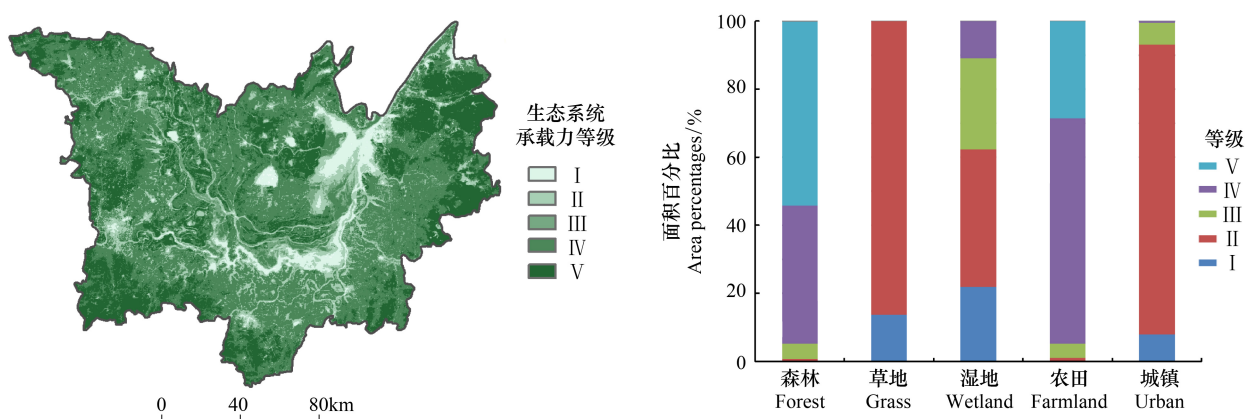


图 4 洞庭湖生态系统承载力等级及各生态系统类型承载力等级面积百分比

Fig.4 The carrying capacity grades of Dongting lake ecosystem and the area percentage of each ecosystem type of each grade

统计各等级面积百分比,由表 1 可知,2001—2010 年洞庭湖区域生态系统承载力指数平均值为 71.86,标准差为 15.6,可知这 10 年间,洞庭湖区域生态系统承载力中等偏高,等级 V 的面积所占百分比达 30%左右,各等级区域分布较离散,洞庭湖水域区域生态系统承载力低于其他地区。结合生态系统类型可知,各生态系统类型 EBCI 差异明显,森林生态系统承载力较高,其承载力指数平均值达 80.84,等级 V 的面积所占百分比近 55%;其次是农田、城镇、湿地,草地生态系统承载力较低,承载力指数平均值为 37.91,等级 II 的面积所占百分比近 85%。自然生态系统承载力较低与人工生态系统承载力,承载力指数均值分别为 55.94 和 62.93,可见在受到人为干扰下,自然生态系统比人工生态系统更容易受到影响。

对比分析三项指数的均值和标准差,由表 1 可知,2001—2010 年洞庭湖区域生态系统生产能力均值较高,标准差较低,对比各生态系统类型,EPI 差异不大;生态系统稳定性均值较低,标准差低,各生态系统类型 ESI 差异较小;生态系统承载力均值较高,标准差也较高,各生态系统类型 EBCI 差异较大。

对比分析三项指数的 2001—2010 年的变化情况(图 5),三项指数的年平均变化率为 $-0.769/a$ 、 $0.173/a$ 和 $-0.78/a$,可见三项指数十年间变化很小,EPI 和 EBCI 呈现降低趋势,大概下降 8.85%和 9.11%,ESI 呈小幅度的升高趋势,大概上升 3.09%。

表 1 各生态系统类型 EPI、ESI 和 EBCI 均值和标准差

Table 1 The mean and standard deviation of EPI、ESI and EBCI of each ecosystem type

生态系统类型 Ecosystem Types		生产力指数 EPI		稳定性指数 ESI		承载力指数 EBCI	
		平均值 Mean	标准差 Standard Deviation	平均值 Mean	标准差 Standard Deviation	平均值 Mean	标准差 Standard Deviation
自然生态系统 Natural Ecosystem	森林 Forest	84.15	8.65	59.31	6.31	80.84	7.33
	草地 Grass	82.81	8.46	56.87	6.04	37.91	7.62
	湿地 Wetland	55.62	22.09	45.81	9.14	49.05	18.12
	均值 Mean	74.19	13.07	54.00	7.16	55.94	11.02
人工生态系统 Artificial Ecosystem	农田 Farmland	78.25	6.40	51.63	6.44	77.48	4.99
	城镇 Urban	62.17	15.18	46.56	6.91	48.38	10.35
	均值 Mean	68.21	10.79	49.10	6.67	62.93	7.67
	其他 Other	54.27	9.53	54.89	6.07	35.57	7.00
总体 Total		72.79	11.11	52.21	8.38	71.86	15.60

EPI: ecosystem productivity index; ESI: ecosystem stability index; EBCI: ecosystem bearing capacity index

3.4 洞庭湖生态系统质量遥感综合评价

根据 1.4 构建生态系统质量综合评价模型,对 2001、2005 和 2010 年洞庭湖区域 5 个生态系统类型进行生态系统质量遥感综合评价。根据之前求得的以上三项指数的 10 年均值,对其进行熵值分析,赋予不同权重,通过 MATLAB 分析数据可知,EPI、ESI 和 EBCI 三项指数熵值分别为 0.393、0.389 和 0.411,由此可知三项指数在生态系统质量综合评价模型权重分别为 0.336、0.338 和 0.326,通过对三项指数进行加权求和得到综合评价得分,进行等级划分,得到 2001、2005 和 2010 年洞庭湖生态系统质量遥感综合评价结果如图 6 所示。

基于生态系统质量综合评价模型评价 2001、2005 和 2010 年洞庭湖生态系统质量,由图 6 和表 2 可知,总体生态系统质量综合评价指数 3a 均值为 59.81,等级Ⅲ和Ⅳ所占面积百分比 3a 均高于 30%。各生态系统类型评价结果有较明显差异,森林生态系统质量最高,3a 的均值达到 74.31,等级Ⅴ所占面积百分比均值达到 23.5%;湿地生态系统质量最低,3a 的均值达到 50.18,等级Ⅰ所占面积百分比均值达到 15.6%;农田、草地和城镇生态系统质量 3a 均值分别为 62.81、58.89 和 57.73,自然生态系统和人工生态系统质量较接近,差异较小,均值分别为 61.21 和 60.44。对比 3a 的各生态系统类型的生态系统质量,各生态系统类型的 3a 变化不大,但都呈现降低趋势,降幅最大的是湿地生态系统(下降 12.61%),平均变化率达到-0.782/a;降幅最小的是森林生态系统(下降 2.28%),平均变化率只有-0.174/a;而总体下降 5.97%,平均变化率为-0.508/a。

4 结论

本文依据 MODIS 遥感数据产品和基础地理数据,对洞庭湖地区各生态系统类型进行生态系统生产能力、稳定性和承载力三方面的评价,并结合生态系统质量遥感综合评价模型,对 2001 年、2005 年和 2010 年的洞庭湖森林、草地、湿地、农田和城镇五大生态系统进行生态系统质量评价。

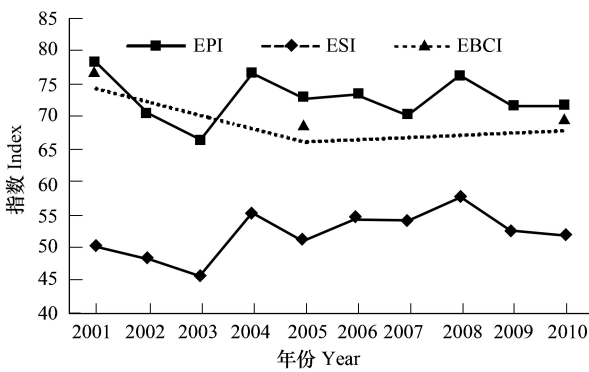


图 5 2001—2010 年洞庭湖生态系统 EPI、ESI 和 EBCI 变化趋势

Fig.5 The change trend of EPI、ESI and EBCI of Dongting Lake ecosystem in 2001—2010

EPI: 指生态系统生产力指数 Ecosystem Production Index, ESI: 指生态系统稳定性指数 Ecosystem Stability Index, EBCI: 指生态系统承载力指数 Ecosystem Bearing Capacity Index

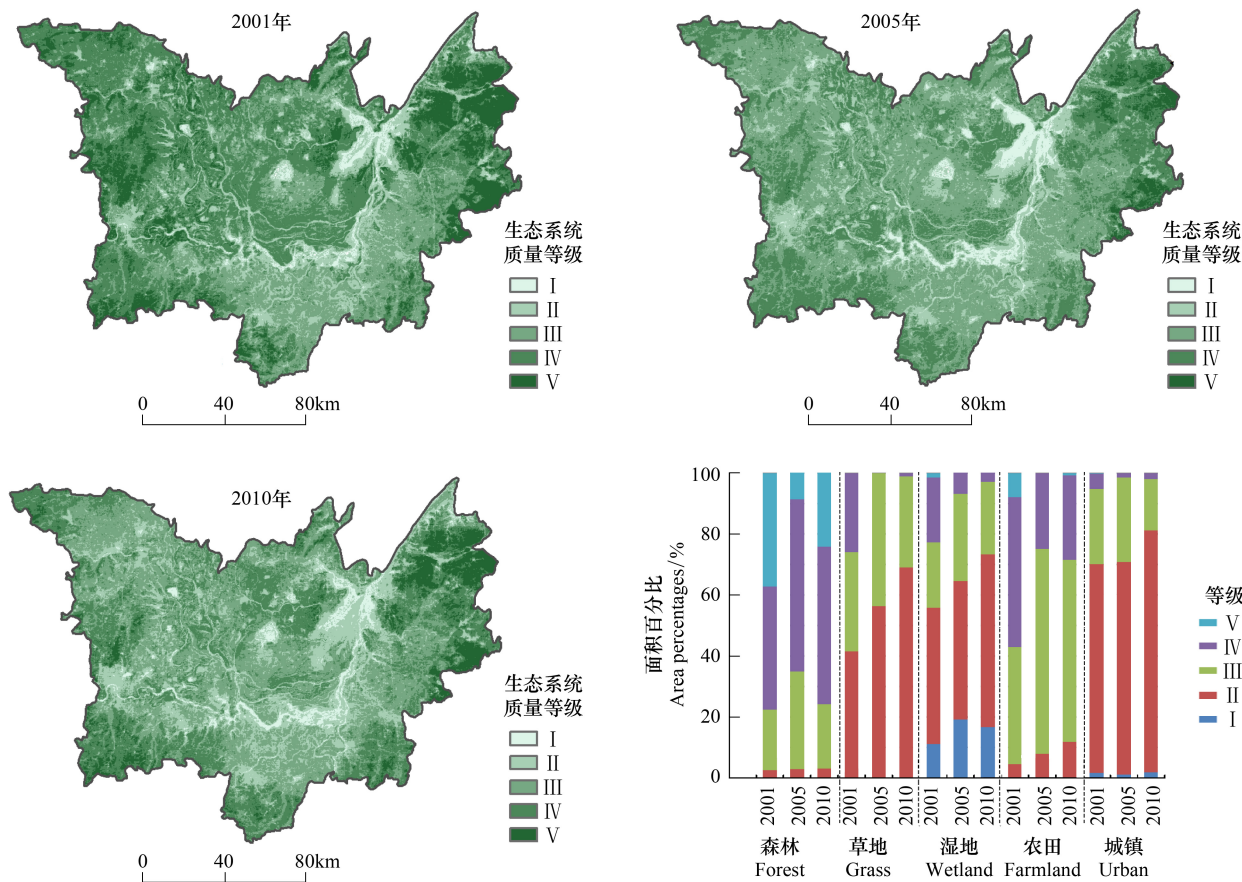


图 6 2001、2005 和 2010 年洞庭湖生态系统质量等级及各生态系统类型质量等级面积百分比

Fig.6 The ecosystem quality grades of Dongting Lake ecosystem and the area percentage of each ecosystem type of each grade in 2001、2005 and 2010

表 2 2001、2005 和 2010 年洞庭湖各生态系统类型生态系统质量遥感综合评价分数

Table 2 The remotely sensed comprehensive evaluation index of ecosystem quality of Dongting Lake ecosystem in 2001、2005 and 2010

生态系统类型 Ecosystem Types		2001		2005		2010		平均值 Mean
		均值 Mean	标准差 Standard Deviation	均值 Mean	标准差 Standard Deviation	均值 Mean	标准差 Standard Deviation	
自然生态系统 Natural ecosystem	森林 Forest	76.36	8.14	71.95	6.05	74.62	7.25	74.31
	草地 Grass	61.99	9.20	58.14	6.36	57.30	6.13	59.14
	湿地 Wetland	54.24	16.91	48.90	16.98	47.40	14.91	50.18
	均值 Mean	64.20	11.42	59.66	9.80	59.77	9.43	61.21
人工生态系统 Artificial ecosystem	农田 Farmland	70.91	6.61	66.68	5.10	66.60	6.21	68.06
	城镇 Urban	54.05	10.81	53.42	10.19	50.98	10.39	52.82
	均值 Mean	62.48	8.71	60.05	7.65	58.79	8.30	60.44
	其他 Other	59.30	8.22	54.27	6.14	49.46	7.69	54.34
总体 Total		62.81	13.00	58.89	11.99	57.73	12.86	59.81

(1) 通过对 2001—2010 年洞庭湖五大生态系统类型的生态系统生产能力、稳定性和承载力的评价, 可知洞庭湖各生态系统类型的生产能力都较高, 各生态类型中自然生态系统较高于人工生态系统, 其中森林生态系统生产能力最高, 湿地生态系统生产能力最低; 洞庭湖各生态系统类型稳定性较差, 自然生态系统稳定性较高于人工生态系统, 其中森林生态系统稳定性最高, 湿地生态系统稳定性最低; 洞庭湖各生态系统类型承载力

较高,但各生态系统类型差异较大,森林生态系统承载力远高于其他生态系统类型,而草地生态系统承载力最低。可见,由于人工生态系统的频繁更新变化,其生态系统的生产能力和稳定性都低于自然生态系统,但自然生态系统更容易受到环境变化和人类干扰的影响。

(2) 基于生态系统质量遥感综合评价模型,对 2001、2005 和 2010 年洞庭湖五大生态系统类型的生态系统质量进行评价,可知各生态系统类型中,自然生态系统和人工生态系统质量差异较小,森林生态系统质量最高,其次是农田、草地、城镇,湿地生态系统质量最低。对于高生产能力的森林生态系统来说,10a 的时间尺度很难看出有明显的变化,其生态系统的生产力、稳定性和承载力各方面都要优于其他生态系统类型,所以其生态系统质量评价自然最高;而对于其他生态系统类型,年内和年际的变化都比较明显,而且容易受到气候环境和人类活动的影响,其生态系统质量较低。

(3) 通过对 2001—2010 年洞庭湖五大生态类型的三项指数和生态系统质量的变化分析可知,10 年间各指数变化较小,EPI 和 EBCI 呈降低趋势,ESI 没有明显变化趋势,各生态系统类型的生态系统质量变化趋势一致,均呈现降低趋势,10a 的年均变化率为 $-0.508/a$ 。在这 10 年间,各生态系统类型的生产能力都有明显的下降,主要表现在湿地面积区域的缩减和森林覆盖的减少;而各生态系统的承载能力也在衰退,不过变化幅度较小,但当各生态系统类型面对自然环境变化和人类活动的干扰时,其生态系统崩溃的可能性逐渐增大。

由此可见,整体生态系统质量的下降说明目前洞庭湖区域各生态系统类型的健康状况和基本特征都处于较差的状态,而且有可能继续变差,虽然这 10 年间的变化并不十分明显,但已呈现出衰退的趋势。如果不予以重视、加以保护,在未来洞庭湖区域生态系统的各方面特征质量都有可能出现大范围大幅度的下降。2014 年 4 月 14 日,国务院已审批通过《洞庭湖生态经济区规划》,该规划中已明确指出目前洞庭湖生态环境的问题以及未来的发展趋势,并且已提出针对生物多样性、生态经济发展、生态文明建设等各方面的规划方案,该规划的提出将提醒人们要密切关注洞庭湖生态环境变化,保护生态环境,提高生态系统质量。

参考文献 (References):

- [1] 李晓秀. 北京山区生态环境质量评价体系初探. 自然资源, 1997, (5): 31-35.
- [2] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究. 环境科学研究, 2000, 13(3): 33-36.
- [3] 徐庆勇, 黄玫, 刘洪升, 闫慧敏. 基于 RS 和 GIS 的珠江三角洲生态环境脆弱性综合评价. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2987-2995.
- [4] 万本太, 王文杰, 崔书红, 潘英姿, 张建辉. 城市生态环境质量评价方法. 生态学报, 2009, 29(3): 1068-1073.
- [5] 罗海江, 方修琦, 白海玲, 王文杰, 熊文成, 申文明. 基于 VEGETATION 数据的区域生态系统质量评价之一——指标体系选择. 中国环境监测, 2008, 24(2): 45-49.
- [6] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [7] 柳新伟, 周厚诚, 李萍, 彭少麟. 生态系统稳定性定义剖析. 生态学报, 2004, 24(11): 2635-2640.
- [8] 罗海江, 汪文鹏, 白海玲. 基于 VEGETATION 数据的区域生态系统质量评价之三——服务功能稳定度指数评价. 中国环境监测, 2010, 26(2): 37-41.
- [9] 杨志峰, 隋欣. 基于生态系统健康的生态承载力评价. 环境科学学报, 2005, 25(5): 586-594.
- [10] 徐琳瑜, 杨志峰, 李巍. 城市生态系统承载力理论与评价方法. 生态学报, 2005, 25(4): 771-777.
- [11] 赵卫, 沈渭寿, 张慧, 孙明, 孙俊. 后发地区生态承载力及其评价方法研究——以海峡西岸经济区为例. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1789-1800.
- [12] 王滨, 张发旺, 陈立, 程彦培. 基于熵值赋权的黑龙江地区水土资源综合质量评价. 水土保持通报, 2012, 32(6): 268-272, 317-317.