

基于遥感解释的重庆市重要生态空间质量评价

周启刚^{1,2}, 李 剑³, 孟浩斌^{2,4}, 张晓媛², 庞 敏⁵

(1.重庆工商大学 公共管理学院, 重庆 400067;

2.生态环境空间信息数据挖掘与大数据集成重庆市重点实验室, 重庆 401320; 3.重庆市生态环境局, 重庆 401147; 4.重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067; 5.重庆市规划和自然资源调查监测院, 重庆 401121)

摘 要:为了解重庆市重要生态空间质量状况及变化规律,从自然生态、人为影响和景观格局方面分别选取归一化植被指数(NDVI)模型、归一化建筑指数(NDBI)模型、图斑破碎度模型计算和分析了 2002 年、2006 年、2010 年、2014 年和 2018 年相应指标状况,并在此基础上对区域生境质量进行了综合计算和打分评价。结果表明:(1) 重庆市重要生态空间 NDVI 呈波动上升趋势,具有明显的地域性。主城区和渝西各区县 NDVI 波动变化幅度较大,渝东北地区 NDVI 变化以城口县、巫溪县为中心向四周扩散,渝东南各区县 NDVI 在小幅波动中稳定提高。(2) 研究区 NDBI 呈“降—升—降”的趋势,2018 年数值较 2002 年降低了 52.67%,说明区域受人类的影响越来越低,但巫山县、云阳县和奉节县等区县建筑指数仍维持较高水平。(3) 研究区图斑个数最多和最少的区县分别是渝北区和渝中区,图斑总面积最大和最少的分别是巫溪县和渝中区。全市各区县的图斑破碎度主要分布在 0~4,其中梁平区图斑破碎度最大,为 9.44,渝中区破碎度最小,仅 0.02。(4) 研究区生境质量呈波动上升趋势,城口县、巫山县等 6 个区县的生境质量始终位于生境质量 I 级,而渝北区、大足区、梁平区、合川区 4 个区县的生境质量始终位于 IV 级,剩余区县则在各质量等级中反复上升或下降。

关键词:遥感解释; 重要生态空间; 生境质量评价; 重庆市

中图分类号:X87

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)06-0292-09

Evaluation on Quality of Important Ecological Space in Chongqing City Based on Remote Sensing Interpretation

ZHOU Qigang^{1,2}, LI Jian³, MENG Haobin^{2,4}, ZHANG Xiaoyuan², PANG Min⁵

(1.School of Public Administration, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2.Chongqing Key Laboratory of Spatial Data Mining and Big Data Integration for Ecology and Environment, Chongqing 401320, China; 3.Chongqing Ecological Environment Bureau, Chongqing 401147, China; 4.College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

5.Chongqing Institute of Surveying and Monitoring for Planning and Natural Resources, Chongqing 401121, China)

Abstract: In order to understand the quality status and change law of important ecological space in Chongqing City, the normalized vegetation index (NDVI), normalized building index (NDBI) and patch fragmentation model were selected from the aspects of natural ecology, human impact and landscape pattern. The corresponding indicators in 2002, 2006, 2010, 2014 and 2018 were calculated and analyzed, and the regional habitat quality was summarized on this basis combined calculation and scoring evaluation. The results. (1) The NDVI of Chongqing's important ecological space showed a rising trend with obvious regional characteristics; the NDVI of the main urban area and western Chongqing fluctuated greatly; the NDVI changes in northeast Chongqing spreaded around Chengkou County and Wuxi County; the NDVI of southeast Chongqing increased steadily in a small fluctuation. (2) The NDBI of the study area showed a 'down rise down' trend, with a decrease of 52.67% in 2018 compared with that in 2002, indicating that the impact of human beings on the region was getting lower and lower, but the building indices of Wushan County, Yunyang County and Fengjie County were still at a high level. (3) Yubei District and Yuzhong District had the largest and the least

收稿日期:2020-11-27

修回日期:2020-12-14

资助项目:重庆市自然科学基金(cstc2020jcyj-msxmX0493);重庆市教委哲学社会科学重大理论研究阐释专项课题重大攻关项目(19SKZDZX06)

第一作者:周启刚(1976—),男,重庆铜梁人,教授,博士,主要从事 3S 理论与应用、土地利用与规划研究。E-mail:zqg1050@126.com

通信作者:孟浩斌(1996—),男,安徽固镇人,硕士,研究方向为地理信息系统与环境遥感。E-mail:mhb7230@163.com

number of patches in the study area, and Wuxi County and Yuzhong District had the largest and the least total area. The results showed that the fragmentation of map patches was mainly in the range of 0~4, with the largest in Liangping District, 9.44 in Yuzhong District, and only 0.02 in Yuzhong District. (4) The results showed that the habitat quality of the study area presented a fluctuating upward trend. The habitat quality of Chengkou County and Wushan County was always in the first grade of habitat quality, while that of Yubei District, Dazhu District, Liangping District and Hechuan District was always in grade IV, the remaining districts and counties increased or decreased repeatedly in each quality grade.

Keywords: remote sensing interpretation; important ecological space; habitat quality evaluation; Chongqing City

生态空间是指以提供生态系统服务为主要目标的地域范围,确定生态空间范围是协调保护与发展、保障生态服务持续供给的基础^[1],其因 18 世纪 60 年代工业化发展引发的城市问题而最早在欧洲兴起^[2]。生态空间具有广义和狭义之分,广义的生态空间不单是动植物栖息、代谢的自然生态空间,还包括了具有社会属性的生产空间和生活空间^[3];狭义的生态空间是指生态用地所在的空间范围^[4]。伴随经济和社会的发展,快速城镇化地区建设用地扩张对生态系统格局产生重大影响,改变生态系统服务功能、影响人类的福祉^[5]，“生产、生活、生态”空间矛盾不断加剧。

目前,国外的学者对生态空间的研究主要集中于生态空间分类、综合评价及优化等方面^[6-8],国内的研究则主要集中在格局演变、结构优化、重构等^[9-11]。由于近年来人为活动对生态空间的影响日趋严重,大气污染、土壤污染、水体污染、生物多样性锐减等问题逐渐突显,生态空间评价及其优化领域正日益受到重视^[12]。生态质量状况是衡量生态环境好坏的尺度,对其进行综合评价有利于把握生态空间整体现状,决定着人类与自然的可持续发展^[13]。当前评价生态质量较为常见的模型包括 InVEST 模型^[14]、SolVES 模型^[15]和 maxEnt 模型^[16]等,但单一模型得出的结果较为简单,且研究大多局限于某一特定年份,不能够综合反映研究区域质量,因此在现有研究基础上开展长时间序列上的生态质量综合评价将是研究的重点和热点^[17-19],其不仅是对重要生态空间生境质量评价体系的完善,也是对生态质量评价方法的进一步补充。

位于四川盆地与长江中下游平原过渡地带的重庆市,是中国经济发达的东部地区与资源富集西部地区的结合部^[20],产业和经济的发展使得厘清生态环境现状、构建生态环境保护和建设方向对于重庆市国土空间规划与整治、区域自然资源与生态环境保护具有重要意义^[21]。同时,依据《生态保护红线划定指南》(环办生态[2017]48 号)和《生态文明建设标准体系发展行动指南(2018—2020 年)》,生态保护红线是

在生态空间范围内划定的、具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域,自然保护区是生态空间最重要、最精华、最核心的组成部分。基于此,本文以重庆市生态保护红线与各类自然保护区组成的重要生态空间作为研究区,采用由美国陆地卫星(Landsat)系列所拍摄的遥感影像,从自然生态、人为影响和景观格局 3 个方面分别选择归一化植被指数模型、归一化建筑指数模型、图斑破碎度模型构建生境质量快速评价模型,对重庆市重要生态空间 2002 年、2006 年、2010 年、2014 年、2018 年的归一化植被指数、归一化建筑指数及图斑破碎度进行计算,分析不同指标的时空变化并综合评价生境质量,为重庆市重要生态空间的生境质量评估和进一步保护与修复方向提供指导建议。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

重庆市地处中国西南、长江上游地区,位于 105°11′—110°11′E,28°10′—32°13′N,属亚热带季风湿润性气候,气候温和,降水丰富,位于“一带一路”和长江经济带的重要联结点^[22]。重庆市生态保护红线面积为 20 446.69 km²,占重庆市行政区总面积的 24.81%;自然保护区由国家级自然保护区和市级自然保护区组成,包括自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地公园、地质公园、生态公园等,面积 11 526.8 km²,占重庆市行政区总面积的 13.99%。两类区域叠合形成重庆市重要生态空间,总面积为 23 765.80 km²,占重庆市行政区总面积的 28.84%。重要生态空间在重庆市 38 个区(自治县)、万盛经开区均有一定分布(图 1)。

1.2 数据来源与预处理

本研究基于 Landsat 卫星搭载的 TM 传感器和 OLI_TIRS 传感器获取 2002 年、2006 年、2010 年、2014 年、2018 年的重庆市遥感影像,覆盖整个重庆市需要 8 景影像,5 a 共需 40 景影像。由于卫星所采集到的影像数据会受到诸如气候、地貌、太阳高度角以

及传感器内部结构等的影响而引起遥感影像失真,因此影像数据在使用前须进行预处理^[23]。预处理过程主要通过 ArcMap 10.3,ERDAS 9.1 和 ENVI 5.3 软件进行,主要预处理过程包括对影像进行波段合成、辐射定标、大气校正、影像裁剪等处理。

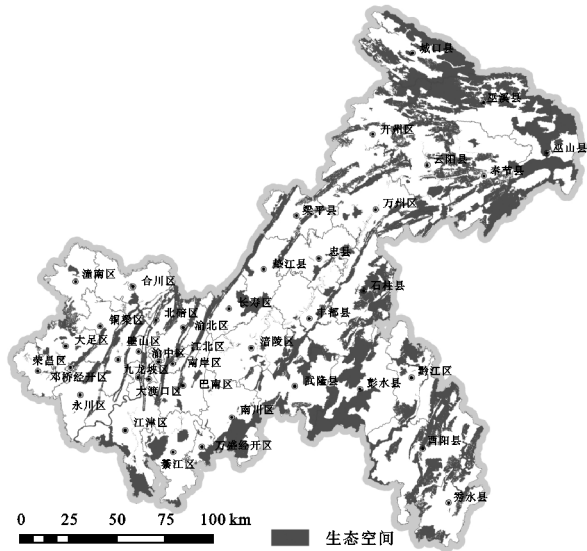


图 1 重庆市重要生态空间分布

重庆市重要生态空间以 2018 年 7 月发布的《重庆市人民政府关于发布重庆市生态保护红线的通知》(渝府发[2018]25 号)和重庆市认定的各类自然保护地作为矢量范围,采用 30 m×30 m 的栅格作为评价单元,通过计算和评价重要生态空间相关指标及生境质量,进而得到重庆市重要生态空间现状。

2 研究方法

2.1 归一化植被指数模型

归一化植被指数能够反映区域覆被情况,一般来说,在不受其他因子影响的情况下,归一化植被指数高的区域,其生态环境质量较好,反之,生态环境质量较差^[24-25]。运用 Landsat 影像的归一化植被指数反映植被覆盖度,计算公式为:

NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED) (1)

式中:对于 Landsat 4~5 卫星,NIR 为第 4 波段,Red 为第 3 波段;对于 Landsat 8 卫星,NIR 为第 5 波段,Red 为第 4 波段。NDVI 范围介于[-1,1],其中 NDVI≤0 时,通常表示地表由水、雪、岩石和裸地等非植被覆盖,NDVI 为>0 时,通常表示地表有一定数量的植被覆盖。

2.2 归一化建筑指数模型

归一化建筑指数是用于反映区域内建设用地的指标,其可以准确地反映建筑用地信息,建筑指数低的区域,其生态环境质量较好,反之建筑用地比

例越高,建筑密度越高,生态环境质量越差^[26-27]。计算公式为:

NDBI=(MIR-NIR)/(MIR+NIR) (2)

式中:NIR 为近红外波段的反射率;MIR 为中红外波段的反射率。NDBI 值范围分布在[-1,1],高值区反映的是建筑物和硬化路面,建筑密度高,中低值区一般表示为林地,水域和耕地表现为低建筑指数。

2.3 图斑破碎度模型

图斑破碎度指数可用于反映区域内斑块的破碎化程度,其数值的高低对重要生态空间质量有较为明显的影响。当重要生态空间斑块破碎度指数越大时,表示该区域的图斑越呈长条状,生态质量较差,当破碎度指数越小时,表示该区域的图斑较大块,生态质量较好。计算公式为^[28]:

FI=C/S (3)

式中:C 为图斑的周长;S 为图斑面积。

2.4 生境质量评价模型

对归一化植被指数、归一化建筑指数和图斑破碎度进行标准化,使其取值范围处于[0,100]。具体方法如下:

NDVI_{分数}=(NDVI_{像元值}+1)/2×100×100/NDVI_{像元最大值} (4)

式中:NDVI_{分数} 为对植被覆盖度的评分,植被覆盖度越高得分越高;NDVI_{像元值} 为栅格的植被覆盖度原始值。

NDBI_{分数}=(NDBI_{像元值}+1)/2×100×100/NDBI_{像元最大值} (5)

式中:先对建筑指数正向化,NDBI_{分数} 为对归一化建筑指数的评分;NDBI_{像元值} 为栅格的归一化建筑指数原始值。

FI_{分数}=[FI_{像元值}×(-1)+10]×100/FI_{破碎度最大值} (6)

式中:首先对破碎度值进行正向化;FI_{分数} 为对图斑破碎度的评分;FI_{破碎度值} 为重要生态空间每个图斑的破碎度值。

通过对植被覆盖度、归一化建筑指数和图斑破碎度的评分,认定 3 个指标值对重要生态空间生境质量同样重要,分别对其赋予相同的权重(表 1)。

表 1 重要生态空间生境质量指标权重

指标	权重
归一化植被指数	0.333
归一化建筑指数	0.333
图斑破碎度	0.333

EI_{分数}=(NDVI_{分数}×W_i)+(NDBI_{分数}×W_i)+(FI_{分数}×W_i) (7)

式中:EI_{分数}为区县最终生境质量评价分数;NDVI_{分数}为归一化植被指数分数;NDBI_{分数}为归一化建筑指数分数;FI_{分数}为图斑破碎度分数;W_i为指标权重,W_i=0.333。

根据生境质量模型计算出的分数运用自然断点法进行等级划分,总共将其划分为 4 个等级,见表 2。

表 2 重要生态空间生境质量等级划分

生境质量等级	说明
I	生境质量优
II	生境质量良
III	生境质量中
IV	生境质量差

3 结果与分析

3.1 重要生态空间生境质量指标时空变化

3.1.1 归一化植被指数 重庆市重要生态空间 2002—2018 年 5 期 NDVI 状况见图 2。

总体来看,重庆市重要生态空间植被覆盖度在 2002—2018 年呈波动变化,但整体良好,2018 年较 2002 年提高了 5.04%。植被覆盖最好的区域为彭水县、酉阳县等渝东南地区,其 2006 年、2014 年、2018 年 NDVI 数值均为全市最高。其次是重要生态空间分布最为密集的渝东北,可从图中看出该区域植被覆盖整体较好。重庆市城区的重要生态空间主要集中在“四山”(中梁山、缙云山、铜锣山、明月山)的山体范围内和城市组团间的非建设用地隔离带,呈明显条带形态,由北向南倒指状贯穿主城区,城区主要的森林、绿地资源基本上均分布于此,植被覆盖度同样较高。NDVI 数值低值区主要分布在长寿区、长江和嘉陵江干支流两侧(主要位于江津区、合川区与巫山县)。

从各年份的空间格局变化来看,2002—2006 年,重庆城区和江津区重要生态空间 NDVI 略微上升,城口县部分区域 NDVI 大幅降低,其余区域变化较小。2006—2010 年,重庆城区及城市扩展区 NDVI 数值出现明显剧烈下降,渝东北地区 NDVI 出现上升趋势,渝东南地区未发生明显变化。2010—2014 年,重庆城区及城市扩展区主要以“四山”山体范围内 NDVI 呈明显正向变化,尤其北碚区的缙云山山脉 NDVI 明显提高,渝东南地区中彭水县出现 NDVI 退化趋势,渝东北地区则以城口、巫溪的重要生态空间为中心的向外扩散性降低变化。2014—2018 年,重庆城区生态空间内的 NDVI 变化不明显,江津区、綦江区及万盛经开区出现了较为明显的降低,渝东南地区的生态空间内的 NDVI 几乎没有发生变化,渝东北地区则出现了以城口、巫溪等地的生态空间为中心向四周辐射的 NDVI 正向变化。

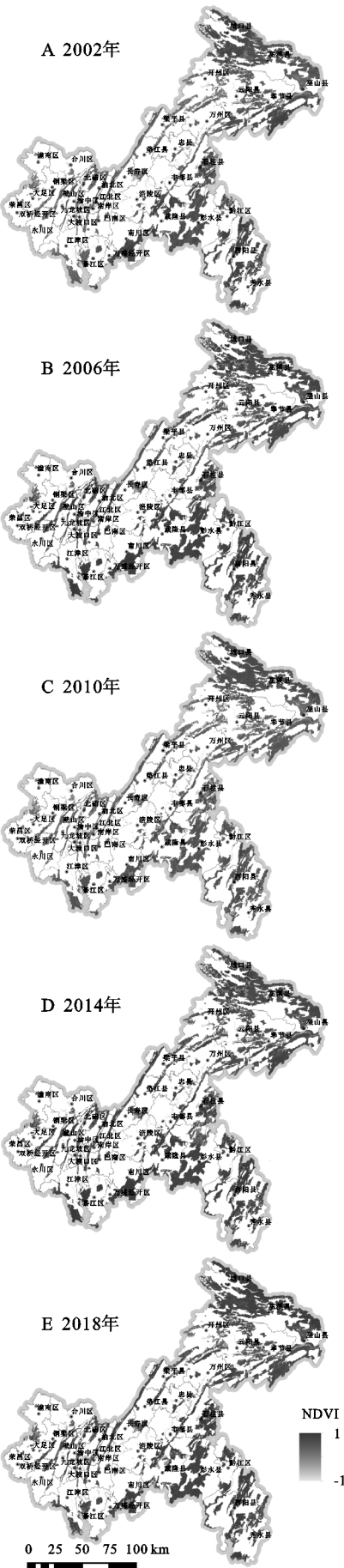


图 2 重庆市重要生态空间植被指数空间分布

3.1.2 建筑指数 重庆市重要生态空间 2002—2018 年 5 期建筑指数空间分布和均值统计见图 3 和表 3。

可以看出,重庆市重要生态空间 NDBI 均值呈现“降—升—降”的变化趋势,多年均值为 0.073,说明总体而言研究区受人类影响的程度偏低。具体来看,城口县、巫溪县、丰都县和武隆区常年较低,巫山县中部、奉节县、云阳县、开州区和长寿区常年处于高值区,说明该区域建筑密度较大,人类活动频繁。剩余区域 NDBI 则处于中值区,该部分区域受到一定程度的人类活动影响,但影响程度不高。

从各年份的空间格局变化来看,2002—2006 年,长寿区的低值区转化为中值区,渝东南地区的彭水县、黔江区、酉阳县和秀山县由中值区转化为低值区,重要生态空间全域 NDBI 均值极大降低。2006—2010 年,长江干流两侧区县内的 NDBI 数值上升,全域均值又出现大幅回升。2010—2014 年,渝东北区域 NDBI 数值出现上升,但重要生态空间其他区域 NDBI 有一定程度的降低,整体均值再次下降。2014—2018 年城口县、巫溪县和石柱县 NDBI 数值明显降低,重要生态空间全域均值继续下降至 0.062。

3.1.3 斑块破碎度 重要生态空间图斑数量、图斑的平均面积及图斑破碎度在重庆市各区县的分布呈现出较大的差异性(图 4)。具体来看,重要生态空间图斑个数由 1~118 个不等,其中重要生态空间图斑个数最多的是渝北区 118 个,最少的是渝中区,仅 1 个,多数县区的图斑个数为 30~70 个。从各区县重要生态空间图斑的总面积来看,总面积最大的是巫溪县 2 100.48 km²,总面积最小的是渝中区 0.25 km²。从图斑的平均面积来看,重要生态空间平均图斑面积最大的是巫山县,平均图斑面积为 516.44 km²,平均图斑面积最小的是渝中区 0.25 km²。通过对全市各图斑的破碎度进行计算统计,全市各区县的图斑破碎度主要集中分布在 0~4,其中重要生态空间图斑破碎度最大的是梁平区,图斑破碎度为 9.44,破碎度最小的是渝中区,仅为 0.02。

3.2 重要生态空间生境质量评价结果

重庆市重要生态空间生境质量评价结果见表 4。2002—2018 年整体变化中,全市重要生态空间生态环境质量整体上呈波动上升趋势,由 85.10 分上升至 86.24 分,而北碚区、奉节县、江北区、南川区、沙坪坝区、万盛经开区、巫山县、武隆区和渝中区 9 个区县(开发区)2018 年生境质量分数较 2002 年出现降低,剩余区县均有一定程度的提高。具体来看,2002 年、2006 年、2010 年、2014 年、2018 年 5 个时期中,评分最低的均位于梁平区,多年平均值仅有 64.66 分,各年份评分最高的分别位于秀山县、綦江区、城口县、綦江区和城口县,其得分保持在 97 分以上。

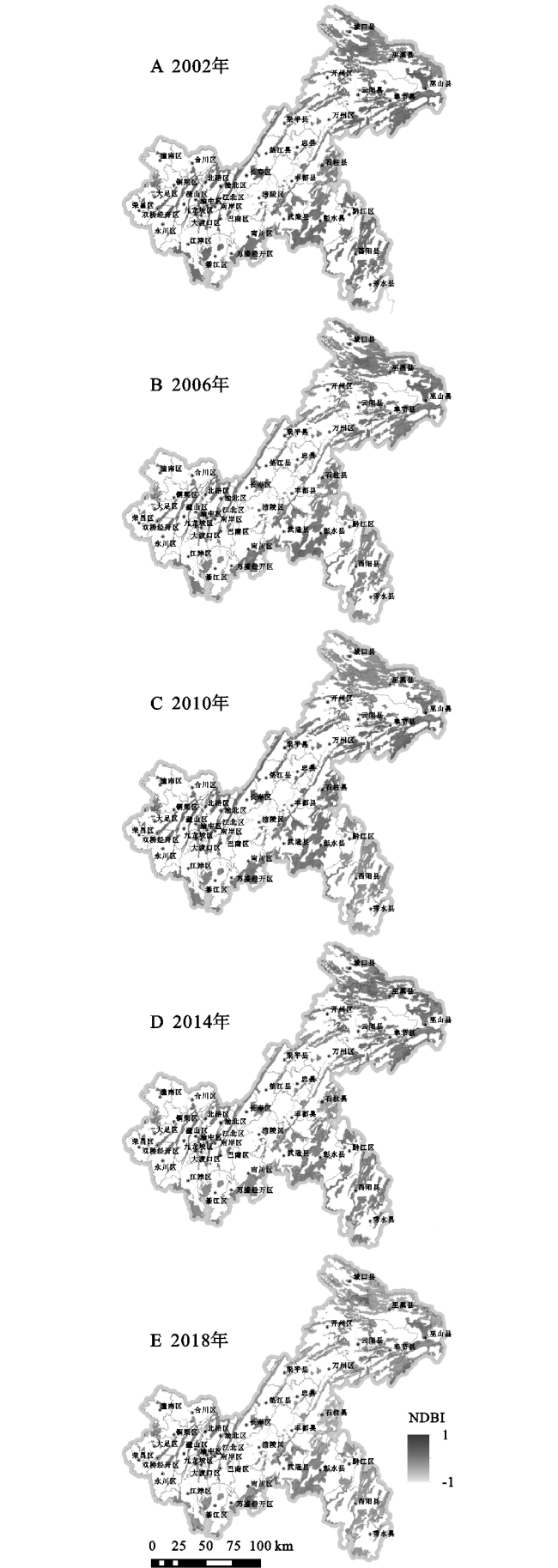


图 3 重庆市重要生态空间建筑指数空间分布

表 3 重庆市重要生态空间建筑指数

项目	2002 年	2006 年	2010 年	2014 年	2018 年	2002—2018 年
NDBI 均值	0.131	0.054	0.127	0.064	0.062	0.073

通过对重庆市各个区县重要生态空间生境质量等级研究结果(表 4,图 5)来看,2002—2018 年生境质量各个等级之间的波动较小,各区县生态空间大多数处于生境质量Ⅱ级和Ⅲ级。

2002 年生境质量Ⅰ级的区县有 10 个,分别是万盛经开区、黔江区、綦江区、城口县、武隆区、巫山县、巫溪县、石柱县、秀山县、南川区,生境质量Ⅱ,Ⅲ级的区县分别有 14 个和 11 个,生境质量Ⅳ级的区县有 4 个,分别是梁平区、大足区、合川区、渝北区。2006 年生境质量Ⅰ级的区县有 10 个,较 2002 年增加了潼南区,而石柱县下降至Ⅱ级,生境质量Ⅱ级的区县有 13 个,较 2002 年减少 1 个,生境质量Ⅲ级的区县 12 个,较 2002 年增加

1 个,生境质量Ⅳ级的 4 个区县没有变化。

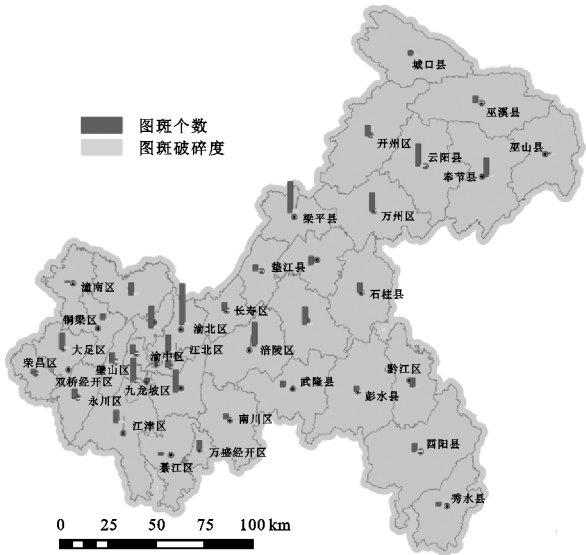


图 4 重庆市重要生态空间图斑数量和破碎度空间分布

表 4 重庆市各区县重要生态空间生境质量评分及等级

序号	行政区 名称	2002 年		2006 年		2010 年		2014 年		2018 年	
		评分	等级	评分	等级	评分	等级	评分	等级	评分	等级
1	全市	85.10	Ⅱ	86.59	Ⅱ	84.67	Ⅲ	87.28	Ⅱ	86.24	Ⅱ
2	巴南区	81.49	Ⅲ	87.96	Ⅱ	85.00	Ⅲ	87.25	Ⅲ	85.65	Ⅱ
3	北碚区	79.36	Ⅲ	81.39	Ⅲ	75.47	Ⅲ	83.08	Ⅲ	77.86	Ⅲ
4	璧山区	76.75	Ⅲ	79.56	Ⅲ	75.79	Ⅲ	80.64	Ⅲ	77.86	Ⅲ
5	城口县	96.58	Ⅰ	96.19	Ⅰ	99.17	Ⅰ	95.58	Ⅰ	98.14	Ⅰ
6	大渡口区	88.54	Ⅱ	90.94	Ⅱ	88.72	Ⅱ	92.93	Ⅱ	91.80	Ⅰ
7	大足区	64.85	Ⅳ	69.13	Ⅳ	65.18	Ⅳ	69.56	Ⅳ	67.98	Ⅳ
8	垫江县	88.92	Ⅱ	88.84	Ⅱ	88.99	Ⅱ	93.51	Ⅰ	92.91	Ⅰ
9	丰都县	86.24	Ⅱ	83.90	Ⅲ	83.28	Ⅲ	85.81	Ⅲ	86.52	Ⅱ
10	奉节县	85.34	Ⅱ	84.58	Ⅲ	83.49	Ⅲ	85.44	Ⅲ	84.14	Ⅲ
11	涪陵区	84.85	Ⅱ	86.32	Ⅲ	84.23	Ⅲ	87.24	Ⅲ	84.87	Ⅲ
12	合川区	67.45	Ⅳ	67.82	Ⅳ	64.64	Ⅳ	68.16	Ⅳ	67.66	Ⅳ
13	江北区	79.98	Ⅲ	79.95	Ⅲ	74.98	Ⅲ	80.41	Ⅲ	78.47	Ⅲ
14	江津区	79.70	Ⅲ	84.10	Ⅲ	82.43	Ⅲ	85.47	Ⅲ	79.74	Ⅲ
15	九龙坡区	76.12	Ⅲ	78.56	Ⅲ	76.27	Ⅲ	80.03	Ⅲ	77.64	Ⅲ
16	开州区	89.44	Ⅱ	91.40	Ⅱ	90.16	Ⅱ	90.15	Ⅱ	90.31	Ⅱ
17	梁平区	63.08	Ⅳ	62.80	Ⅳ	63.54	Ⅳ	67.64	Ⅳ	66.24	Ⅳ
18	南岸区	89.27	Ⅱ	91.76	Ⅱ	87.69	Ⅱ	90.46	Ⅱ	90.12	Ⅱ
19	南川区	96.30	Ⅰ	95.76	Ⅰ	94.24	Ⅰ	97.62	Ⅰ	92.82	Ⅰ
20	彭水县	82.74	Ⅲ	83.33	Ⅲ	82.40	Ⅲ	83.93	Ⅲ	83.50	Ⅲ
21	綦江区	91.18	Ⅰ	98.46	Ⅰ	95.73	Ⅰ	99.32	Ⅰ	94.23	Ⅰ
22	黔江区	92.98	Ⅰ	94.94	Ⅰ	96.35	Ⅰ	94.71	Ⅰ	94.54	Ⅰ
23	荣昌区	86.31	Ⅱ	90.20	Ⅱ	87.99	Ⅱ	90.76	Ⅱ	89.59	Ⅱ
24	沙坪坝区	88.27	Ⅱ	89.21	Ⅱ	85.56	Ⅲ	89.87	Ⅱ	88.15	Ⅱ
25	石柱县	92.52	Ⅰ	90.78	Ⅱ	88.17	Ⅱ	92.75	Ⅱ	94.84	Ⅰ
26	铜梁区	88.89	Ⅱ	91.45	Ⅱ	87.57	Ⅱ	92.55	Ⅱ	90.80	Ⅱ
27	潼南区	90.53	Ⅱ	94.01	Ⅰ	88.98	Ⅱ	94.36	Ⅰ	91.93	Ⅰ
28	万盛经开区	92.39	Ⅰ	92.98	Ⅰ	92.58	Ⅱ	93.24	Ⅱ	90.44	Ⅱ
29	万州区	82.90	Ⅲ	83.89	Ⅲ	82.74	Ⅲ	85.89	Ⅲ	86.38	Ⅱ
30	巫山县	94.13	Ⅰ	93.33	Ⅰ	94.23	Ⅰ	94.09	Ⅰ	93.84	Ⅰ
31	巫溪县	94.03	Ⅰ	92.80	Ⅰ	95.91	Ⅰ	93.04	Ⅱ	95.16	Ⅰ
32	武隆区	94.46	Ⅰ	93.08	Ⅰ	92.18	Ⅱ	95.35	Ⅰ	89.37	Ⅱ
33	秀山县	97.06	Ⅰ	96.91	Ⅰ	98.27	Ⅰ	96.50	Ⅰ	97.07	Ⅰ
34	永川区	85.88	Ⅱ	90.50	Ⅱ	88.71	Ⅱ	91.73	Ⅱ	89.69	Ⅱ
35	酉阳县	87.08	Ⅱ	88.76	Ⅱ	88.96	Ⅱ	88.66	Ⅱ	87.87	Ⅱ
36	渝北区	71.47	Ⅳ	74.18	Ⅳ	69.60	Ⅳ	75.25	Ⅳ	72.99	Ⅳ
37	渝中区	81.47	Ⅲ	78.76	Ⅲ	70.01	Ⅳ	74.51	Ⅳ	78.32	Ⅲ
38	云阳县	81.01	Ⅲ	82.76	Ⅲ	80.35	Ⅲ	83.02	Ⅲ	82.43	Ⅲ
39	长寿区	84.08	Ⅲ	88.70	Ⅱ	85.72	Ⅱ	91.37	Ⅱ	91.15	Ⅱ
40	忠县	87.71	Ⅱ	86.84	Ⅱ	86.69	Ⅱ	90.94	Ⅱ	90.46	Ⅱ

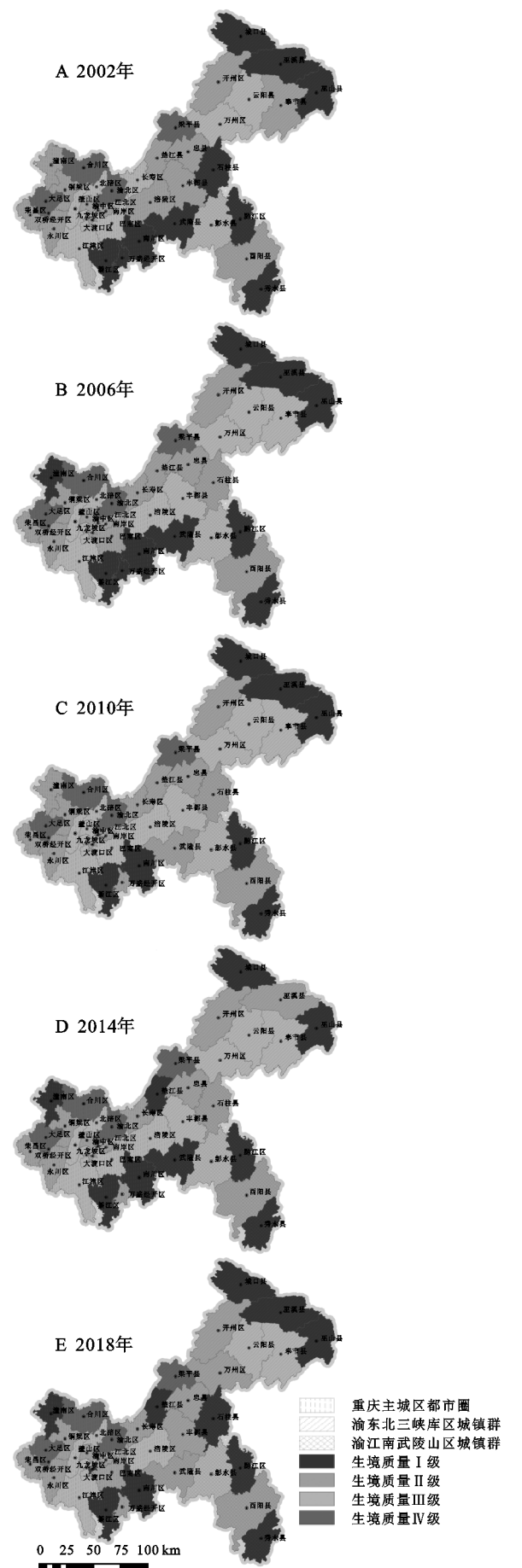


图 5 2002—2018 年各区县重要生态空间生境质量等级空间分布

2010 年生境质量Ⅰ级的区县有 7 个,分别是黔江区、綦江区、城口县、巫山县、巫溪县、秀山县、南川区;生境质量Ⅱ,Ⅲ级的区县分别有 14 个和 13 个;生境质量Ⅳ级的区县的 5 个,较 2006 年增加了渝中区。2014 年生境质量Ⅰ级的区县有 9 个,分别是黔江区、綦江区、潼南区、城口县、垫江县、武隆区、巫山县、秀山县、南川区;生境质量Ⅱ级的区县有 13 个;生境质量Ⅲ级的区县 12 个;生境质量Ⅳ级的区县有 5 个,分别是梁平区、大足区、合川区、渝北区、渝中区。2018 年生境质量Ⅰ级的区县有 11 个,分别是大渡口区、黔江区、綦江区、城口县、垫江县、巫山县、巫溪县、石柱县、秀山县、南川区;生境质量Ⅱ级的区县有 14 个;生境质量Ⅲ级的区县 10 个;生境质量Ⅳ级的区县有 4 个,依旧是是梁平区、大足区、合川区、渝北区。

4 讨论

4.1 重庆市重要生态空间质量单指标时空变化分析

重庆市重要生态空间归一化植被指数呈现“升—降—升”的变化趋势,2018 年 NDVI 较 2002 年提高了 5.04%,增幅较大,这与叶勤玉^[29]、张兰^[30]等分别对重庆市三峡库区植被覆盖的研究结论较为一致。2010 年研究区全域 NDVI 的下降可能由于 2009 年秋季至 2012 年春季西南地区连续干旱抑制了植被生长^[31]。2010 年后因重庆市实行的“退耕还林”和各项环境工程的逐渐显现,加之重庆市重要生态空间大多位于海拔较高、地形起伏大的区域,受自然地形条件制约的影响,此类区域受人类影响程度低,林、草地等植被覆盖区生态结构稳定,因此重庆市重要生态空间植被覆盖度均值逐渐得到改善。从 5 期的时空变化角度而言,重庆市主城区生态空间的植被覆盖度变化最大,这与区域人类活动及相关建设活动频繁有关,因此主城区附近生态空间的生态质量出现波动变化。渝东南地区是重庆典型喀斯特地貌,生态环境虽然较脆弱,但原生生态保持较好,生态空间内部植被生态稳定。渝东北部丘陵多山,原生生态环境同样良好,生态空间分布密集,分布面积广,具有较强的抗干扰能力。

重庆市重要生态空间归一化建筑指数 2018 年 NDBI 数值较 2002 年降低了 52.67%,呈现“降—升—降”的变化趋势,高值区主要存在于重庆市主城区范围附近,这主要是由于主城区经济发展迅速,以各行政区建成区中心向外扩展,建设用地面积急剧增加^[32],会不可避免地影响到周边的重要生态空间。2011 年后国家水利局、林业局、环保局划定了各自职

能范围内的红线,将资源的利用置于在可控的范围内,2013 年党的十八届三中全会正式提出“划定生态保护红线,改善环境质量”的要求,2014 年研究区生态空间建筑指数出现大幅降低,重庆市在 2016 年 11 月正式印发了《生态保护红线划定方案》,重要生态空间归一化建筑指数进一步降低。

破碎度与地块完整性相关联,通常比较完整的大规模生态空间地块更能发挥其重要生态功能。大足区、合川区、梁平区、渝北区生态空间地块破碎,完整性低,生态功能发挥效果较差。城口县、綦江区、潼南区、巫山县、秀山县、渝中区破碎度较低,生态功能发挥效果较好。这说明重庆市各区县的图斑破碎度具有明显的区域异质性,因此区域在调整或新增生态红线时,需考虑斑块的完整性,从而降低图斑破碎度,提升生态功能发挥效果。

4.2 重庆市重要生态空间质量时空变化分析

研究年限间重要生态空间生境质量评分虽在波动变化,但全市生境质量呈现波动上升趋势。根据重要生态空间质量的变化情况来看,发现其存在较为明显的规律性:城口县、巫山县、秀山县、南川区、綦江区、黔江 6 个区县的生境质量研究年限内一直处于生境质量Ⅰ级,而渝北区、大足区、梁平区、合川区 4 个区县的生境质量一直处于生境质量Ⅳ级,剩余Ⅱ级和Ⅲ级的各区县则反复出现上升或下降的情况,这可能与该区域持续波动的生态空间稳定性有关,说明这些区域内部的生境质量仍存在一定的退化可能。而从重要生态空间生境质量不同级别的空间分布来看,其也具有一定的规律性:在主城区和渝西区域的各区县中,每个年份均至少存在 3 个Ⅳ级生境质量区,这说明重庆市主城区的快速发展影响到了周边区县生境质量,导致部分区县出现生境质量退化甚至恶化的情况,渝东北和渝东南区域生境质量变化则较为稳定。因此,亟需采取相关措施以控制和提升主城区周边范围的重要生态空间生态环境质量。

4.3 重庆市重要生态空间生态保护建设与环境管理对策及建议

目前重庆市生态空间分布存在一定的失衡,区县间生态空间数量差异较大。因此,为了更好地协调部分区县因为保护生态空间而制约经济发展的情况,可按照“谁开发、谁保护,谁破坏、谁恢复,谁受益、谁补偿,谁污染、谁付费”的原则建立生态补偿机制,保障因保护生态空间而受到经济发展限制的区县能够进一步发展。同时,建立起一套政策、法律法规、公众参

与、技术支撑全方位生态空间监控体系,形成“市县镇三级联动”,清晰定位各级组织的职能分工,科学制定业务发展考核方式,合理调整工作模式,实行生态空间管理流程的优化重组。充分发挥“天—空—地”一体化技术优势,对生态空间进行时间和空间上全方位、多层次监控,切实掌握对生态空间管控策略落实情况,及时发现问题,解决问题。

本研究通过选取归一化植被指数模型、归一化建筑指数模型、图斑破碎度模型以及生境质量评价模型,对重庆市重要生态空间植被覆盖、建筑指数、图斑破碎度进行分析,在此基础上再通过生境质量评价模型进行评分定级,以总结重庆市重要生态空间的空间分布特征和变化规律,并提出了重庆市重要生态空间生态保护建设与环境管理对策。由于可利用的数据和技术限制,本文选用了 3 种指标对研究区生境质量进行评价,存在一定的不全面性。因此在后续研究中,可根据不同的实地情况适当增选影响因子(如生态系统服务功能和自然生态指标),在更长的时间尺度上综合评价生态空间质量,从而实现对生态空间的精准把控和预测,为重庆及其他城市重要生态空间生态保护提供决策支持。

5 结论

(1) 重庆市重要生态空间 2018 年 NDVI 数值较 2002 年提高了 5.04%,呈波动上升趋势,具有明显的地域性:主城区和渝西各区县 NDVI 波动变化幅度大,呈现“降低—升高—稳定”的趋势;渝东北地区 NDVI 变化以城口、巫溪的重要生态空间为中心向四周扩散;渝东南各区县重要生态空间内的植被覆盖几乎都没有出现变化,在小幅波动中稳定提高。

(2) 重庆市重要生态空间 2018 年 NDBI 数值较 2002 年降低了 52.67%,呈“降—升—降”的趋势,说明区域受人类的影响越来越低。具体来看,渝东南区域 2002—2018 年内各区县建筑指数均较低,主城区和渝西各区县范围内也在逐年减小,但巫山县、云阳县和奉节县等区县建筑指数仍较高。

(3) 重要生态空间图斑个数最多的是渝北区,共 118 个,最少的是渝中区,只有 1 个。图斑总面积最大的是巫溪县,达到 2 100.48 km²,总面积最小的是渝中区,仅 0.25 km²。全市各区县的图斑破碎度主要集中分布在 0~4,梁平区重要生态空间图斑破碎度最大,为 9.44,渝中区破碎度最小,仅 0.02。

(4) 2002—2018 年期间重庆市重要生态空间生

境质量总体较好,呈现波动上升趋势,各区县重要生态空间大多数处于生境质量Ⅱ级和Ⅲ级。城口县、巫山县、秀山县、南川区、綦江区、黔江区 6 个区县的生境质量始终位于生境质量Ⅰ级,渝北区、大足区、梁平区、合川区 4 个区县的生境质量始终位于Ⅳ级,剩余区县则在各质量等级中反复上升或下降。

参考文献:

- [1] 刘洪超,吕军,郑国臣.拉林河流域生态空间划分初探[J].中国水土保持,2020(10):60-63.
- [2] 幸瑞燊.基于 Ann-CA-Markov 模型的生态空间布局变化模拟及其生境质量评估研究[D].重庆:重庆工商大学,2020.
- [3] 王如松,李锋,韩宝龙,等.城市复合生态及生态空间管理[J].生态学报,2014,34(1):1-11.
- [4] 陈爽,刘云霞,彭立华.城市生态空间演变规律及调控机制:以南京市为例[J].生态学报,2008,28(5):2270-2278.
- [5] 金贵,吴锋,李兆华,等.快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析[J].生态学报,2017,37(23):8048-8057.
- [6] Neuenschwander N, Hayek U W, Grêt-Regamey A. Integrating an urban green space typology into procedural 3D visualization for collaborative planning[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2014,48:99-110.
- [7] Zagas T D, Raptis D I, Zagas D T. Identifying and mapping the protective forests of southeast Mt. Olympus as a tool for sustainable ecological and silvicultural planning, in a multi-purpose forest management framework[J]. Ecological Engineering, 2011,37(2):286-293.
- [8] Domisch S, Kakouei K, MAartine L S, et al. Social equity shapes zone-selection: Balancing aquatic biodiversity conservation and ecosystem services delivery in the transboundary Danube River Basin[J]. Science of the Total Environment, 2019,656:797-807.
- [9] 王志杰,程玉卓,班先娅,等.典型喀斯特山地城市生态空间格局演变研究:以贵阳市花溪区为例[J].西南大学学报:自然科学版,2020,42(9):155-164.
- [10] 郑茜.武汉市生态空间评价与优化研究[D].武汉:华中师范大学,2018.
- [11] 傅丽华,莫振淳,彭耀辉,等.湖南茶陵县域生态空间网络稳定性识别与重构策略[J].地理学报,2019,74(7):1409-1419.
- [12] Xue D Q, Zhang X J. Study on ecological space of urban agglomeration: taking Wuxi City as an example[J]. Chinese Geographical Science, 2002,12(4):321-328.
- [13] 陈雅倩,赵丽,陶金源,等.基于 InVEST 模型的未利用地开发前后生境质量评价:以唐县为例[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(7):1093-1102.
- [14] 和娟,师学义,付扬军,等.汾河源头区域土地利用及生境质量时空演变的多情景模拟[J].水土保持研究,2020,27(5):250-258.
- [15] 黄从红,杨军,张文娟.生态系统服务功能评估模型研究进展[J].生态学杂志,2013,32(12):3360-3367.
- [16] 赵金鹏,王闫利,陆兴利,等.软枣猕猴桃在中国的适生区分析及对未来气候变化的响应[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(10):1523-1532.
- [17] Saha D, Das D, Dasgupta R, et al. Application of ecological and aesthetic parameters for riparian quality assessment of a small tropical river in eastern India[J]. Ecological Indicators, 2020, 117. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106627.
- [18] 王杰,马佳丽,解斐斐,等.干旱地区遥感生态指数的改进:以乌兰布和沙漠为例[J].应用生态学报,2020,31(11):3795-3804.
- [19] 崔文彦,刘得银,梁舒汀,等.永定河流域水生态环境质量综合评价[J].水生态学杂志,2020,41(2):23-28.
- [20] 蔡书良,李淑春.重庆直辖市区域位置分析[J].四川师范大学学报:自然科学版,2001,24(4):423-425.
- [21] 杨朝兴.基于主体功能区战略的山区生态经济研究:以河南省山区为例[J].生态经济,2011(7):68-70.
- [22] 吕广斌,廖铁军,姚秋昇,等.基于 DPSIR-EES-TOPSIS 模型的重庆市土地生态安全评价及其时空分异[J].水土保持研究,2019,26(6):249-258,266.
- [23] 庞敏.特大山地都市区景观格局变化及生态服务价值研究[D].重庆:重庆工商大学,2020.
- [24] 张思源,聂莹,张海燕,等.基于地理探测器的内蒙古植被 NDVI 时空变化与驱动力分析[J].草地学报,2020,28(5):1460-1472.
- [25] 孟浩斌,周启刚,李明慧,等.基于 MODIS 像元尺度的三峡库区植被覆盖度变化的地形分布特征[J].长江流域资源与环境,2020,29(8):1790-1799.
- [26] 王冬生,况明生,张小军,等.基于 RS 的城市绿地及其固碳能力演变研究:以重庆市主城区为例[J].西南师范大学学报:自然科学版,2012,37(3):105-112.
- [27] 郭宇,王宏伟,张喆,等.南京市热环境与地表覆被的时空尺度效应及驱动机制研究[J].生态环境学报,2020,29(7):1403-1411.
- [28] 陈宽.GIS 空间分析在永久基本农田划定工作中的应用研究[J].江西测绘,2019(1):40-43.
- [29] 叶勤玉,高阳华,杨世琦,等.基于 MODIS 数据的重庆市植被覆盖度时空变化分析[J].高原山地气象研究,2016,36(2):53-58.
- [30] 张兰,沈敬伟,刘晓璐,等.2001—2016 年三峡库区植被变化及其气候驱动因子分析[J].地理与地理信息科学,2019,35(2):38-46.
- [31] 李长顺,唐德才,宋平.水汽输送异常对中国西南地区的影响研究[J].灾害学,2012,27(4):28-33,46.
- [32] 张晓媛,周启刚.基于 GIS 和 RS 的重庆市主城区 NDBI 分布特征研究[J].水土保持研究,2014,21(5):111-115.