

重庆市土地利用景观格局变化及生态安全分析

谭 博 刘国栋 李昌元

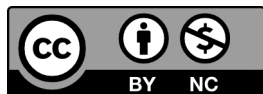
重庆交通大学土木工程学院, 重庆

摘 要 | 研究区域的土地利用景观格局时空变化特征及其生态安全分析, 可以为将来的区域土地利用合理规划, 景观格局优化以及建设生态城市和可持续发展提供一定的基础。以 1980—2020 年 8 期土地利用数据为基础, 结合 GIS 空间分析方法和景观生态学理论, 定量分析重庆市近 40a 土地利用变化、景观格局及生态安全变化情况。结果表明: (1) 重庆市土地利用 / 覆被结构变化明显, 耕地占主导地位, 面积占土地利用总面积的 45.67%, 但耕地优势度逐渐降低, 受退耕还林影响, 林地仅次于耕地, 面积占土地利用总面积的 40.98%; 同时景观转移变化主要以耕地、林地和草地相互转化为主, 建设用地来源以耕地转入为主。(2) 重庆市整体土地利用变化速度加快, 由 0.65% 到 1.20%, 且土地利用程度由 1980 年的 248.09 增至 2020 年的 250.82, 说明生态系统的抗干扰能力下降。(3) 重庆市景观格局变化明显, 城镇化进程中, 景观破碎化程度增加, 景观斑块分布不均匀和复杂化。(4) 重庆市景观生态安全度由 1980 年 0.57 降至 2020 年的 0.52, 说明城市生态脆弱度加深。

关键词 | 土地利用; 景观格局; 生态安全; 重庆市

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



基金项目: 重庆市研究生教育优质课程建设项目 (JDY201909); 重庆市科委课题 (STC2014JCYJA 30013)。

通讯作者: 刘国栋, 重庆交通大学土木工程学院副教授, 硕士研究生导师, E-mail: cqliugd123@gmail.com。

文章引用: 谭博, 刘国栋, 李昌元. 重庆市土地利用景观格局变化及生态安全分析 [J]. 测绘观察, 2021, 3 (1): 22–43.

<https://doi.org/10.35534/go.0301003>

1 引言

土地是人类赖以生存的土地资源,也是社会经济发展最重要的物质基础^[1]。土地利用/土地覆盖变化(LUCC)是人类活动和自然环境相互作用的表现,自1995年国际地圈生物圈计划(IGBP)和国际人类纬度全球环境变化计划(IHDP)共同提出了关于《土地利用和土地覆盖变化的研究计划》以来,它一直是地球科学研究热点^[2-4]。与此同时,土地利用/土地覆盖变化不仅影响着全球自然环境的变化,也影响着土地利用景观格局的变化^[5]。景观格局变化是各景观要素在一定时空尺度内发生变化引起景观空间结构的变化,是土地利用变化在景观生态学中最直观的表达^[6]。随着人类社会经济活动的增加,特别是城市化进程加快,对土地资源的利用不断加大,将对土地利用景观格局产生巨大影响^[7]。同时,土地景观生态安全分析可以定量划分生态安全等级以及揭示生态环境变化趋势^[8]。因此,将土地利用景观格局变化和景观生态安全分析相结合研究,可以深入了解土地利用景观格局变化的发展趋势,对加强土地资源管理,实现土地资源可持续发展具有重要意义。

近年来,随着社会经济发展和人类活动增加,在一定程度上影响着土地利用景观格局。目前国内学者,对不同尺度和区域的土地利用景观格局研究较多,是国内学界研究重点。在研究方法上,通常采用ArcGIS和Fragstats软件相结合,通过景观指数^[9]、动态度^[10]、转移矩阵^[11]、土地利用程度综合指数^[12]、地学信息图谱^[13]、元胞自动机模型(CA)等表征土地利用景观格局变化特征;在研究尺度上,国内学者多以平原^[14]、流域^[15]、省域^[16]和城市群^[17]为研究对象,主要集中为中东平原地区;在研究时长上,最短时长5a^[18],最长35a^[19]。可以发现,重庆市作为长江上游重要的生态屏障区,城市化、工业化发展较快,却研究成果仍不多。

党的十九大报告指出,加大生态系统保护力度、优化生态安全屏障长体系,是实现可持续发展的关键。重庆市地处丘陵山区,是长江上游重要的生态屏障区,城乡结合不均匀,多农村,多库区,造就了重庆市复杂多变的生态环境^[20-26]。

针对以上问题,本文通过 40a 重庆市土地利用数据,分别从土地利用变化、景观格局变化和生态安全角度,通过采用动态度、破碎度等 9 项指数,揭示重庆市近 40 年土地利用景观格局变化的规律,生态安全趋势,以期为未来城市建设、土地利用规划和可持续发展提供重要依据。

2 研究区概况与数据来源

2.1 概况

重庆市(28°10'N ~ 32°13'N, 105°11'E ~ 110°11'E)地处中国内陆西南部^[1],青藏高原和长江中上游平原的过渡地带;共辖 38 区,幅员面积 8.24 万 km²,其中山地占 76%,丘陵占 22%,河谷平坝占 2%;地形地貌复杂,海拔高差 2723.7 m,地势总体由南北向长江河谷逐渐降低,地貌主要以丘陵、低山为主;气候温和湿润,降雨充足,日照充足,年均温 16℃以上;植被类型丰富,以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主。此外,重庆市作为中国西部生态脆弱区唯一的直辖市,研究重庆市土地利用景观格局变化规律与生态安全趋势具有重要意义。

2.2 数据来源

重庆市 1980 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年栅格土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),分辨率为 30 m。各期数据以 landsat 遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成。土地利用分类参考《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017),结合重庆市实际情况,将研究区分为耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地 6 种景观类型^[24]。

3 研究方法

本研究主要从土地利用变化、景观格局变化、景观生态安全三个方面对重庆市土地利用情况进行分析。采用动态度、开发度等 6 项指数分别从土地利用结构变化、时空变化、速度变化及程度变化进行土地利用变化分析;采用景观

类型水平指数和景观水平指数进行景观格局变化分析；采用景观干扰度和景观脆弱度来定量化景观生态安全度。

3.1 土地利用变化指数

采用动态度、开发度等 6 项指数对土地利用进行变化的研究，可以揭示研究区土地利用变化速度、利用程度及时空特征变化。指数公式见表 1。

表 1 土地利用变化指数
Table 1 Land use Change Index

指数	公式	表达意义
单一土地利用动态度 (K)	$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	反映某一地类面积在一定时间内的变化情况
综合土地利用动态度 (F)	$F = \left(\frac{\sum_{i=1}^n LU_{i-j}}{\sum_{i=1}^n LU_i} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\%$	反映单位研究时段内土地利用类型总体转移情况和变化剧烈程度
土地利用速度变化 土地利用开发度 (LUD)	$LUD = \frac{D_{ij}}{U_i} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	反映某地类面积在单位研究时段新开发面积占研究初期面积比，表征各地类增加速率
土地利用耗减度 (H)	$H = \left(\frac{C_{i-j}}{LU_i} \times \frac{1}{T} \right) \times 100\%$	反映单位研究时段某地类实际损耗的面积与该地类研究初期总面积的比值，表征各地类减少的速率
土地利用程度综合指数 (I)	$I = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \times 100\%$	揭示了研究区土地利用程度和集约程度，反映了土地利用整体变化
土地利用程度变化 土地利用程度变化率 (R)	$\Delta I_{a-b} = I_b - I_a = \left[\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia}) \right]$ $R = \frac{\Delta I_{a-b}}{I_a}$	定量反映研究区土地利用整体水平和发展方向

上表中 U_a 为地类研究初期的面积， U_b 为该地类研究末期的面积， T 为单位研究时段； LU_{i-j} 、为 i 地类面积单位研究时段转为非 i 类的面积绝对值， LU_i 为 i 地类研究初期总面积； D_{ij} 为单位研究时段其他地类转为 i 地类的总面积， U_i 为

单位研究时段初期 i 地类总面积; C_{i-j} 为 i 地类单位研究时段转为非 i 类的面积绝对值之和; A_i 为第 i 级土地利用程度分级指数, C_i 为第 i 级土地利用类型面积百分比; ΔI_{b-a} 为土地利用综合变化指数, I_a 、 I_b 分别为研究区研究初期与末期的土地利用综合程度指数; R 为土地利用程度变化率, $\Delta I_{b-a} > 0$ 或者 $R > 0$ 表示该研究区正处于发展期, 反之处于衰退期; 其中 A_i 为刘纪远所提出的综合分析法, 将土地利用程度分级^[27] (表2)。

表2 土地利用程度分级表

Table 2 Land uses degree classification table

土地利用分级类型	土地利用类型	分级指数
未利用土地级	未利用地或难利用地	1
林、草、水用地级	林地、草地、水域	2
农业用地级	耕地、园地、人工草地	3
城市聚落用地级	城镇、居民点、工矿用地	4

3.2 景观格局变化指数选取

景观指数高度浓缩了景观格局信息, 其定量反映了景观结构和空间特征, 广泛应用于表征土地利用景观格局变化; 目前, 景观格局变化一般从斑块、类别、景观三个层次进行分析。本文根据前人研究成果结合研究区特点, 分别从景观斑块类型和景观水平两个方面, 选取相关景观指数, 分析研究区土地利用景观格局变化特征及趋势。

3.3 景观生态安全指数构建

本文在研究重庆市土地利用景观格局变化基础上, 将研究区特点与生态学理论相结合, 采用破碎度、分离度、优势度为基础, 叠加构建景观干扰度指数和景观脆弱度指数, 定量表达景观生态安全, 以期研究重庆市土地景观生态安全的时空特征分析。

景观生态安全指数定量描述研究区综合生态安全等级以及风险程度。景观生态安全指数由景观干扰度指数和景观破碎度指数表示, 其计算方法如下:

$$ES_i=1-10U_i \times Q_i \quad (1)$$

$$ES=\sum_{i=1}^n ES_i \times Q_i \quad (2)$$

式中, ES_i 为景观各类生态安全度, U_i 、 Q_i 分别为景观干扰度、景观破碎度, ES 为景观生态安全度, n 为景观类型数量。

景观干扰度反映了不同景观受到外界干扰损失的程度, 由景观破碎度 C_i 、景观分离度 F_i 、景观优势度 D_i 的权重获得。景观干扰度指数如下

$$U_i=aC_i+bF_i+cD_i \quad (3)$$

式中, a 、 b 、 c 分别为破碎度、分离度和优势度的权重, 且 $a+b+c=1$ 。权重表征了各类指数对景观生态环境的不同影响程度, 借鉴前人研究成果^[23]并结合研究区实况, 通过综合分析, 计算各类指数对生态环境的贡献度, 分析得出破碎度最为重要, 其次是分离度和优势度, 对应权重为 0.5、0.3 和 0.2, 未利用地单独赋权为 0.7、0.2、0.1。景观格局指数与生态学意义见表 3。

表 3 景观格局指数

Table 3 Landscape patterns index

景观格局指数	表达式	生态学意义
景观破碎度指数 (C_i)	$C_i=\frac{n_i}{A_i}$	表示整体景观或某一地类景观的破碎程度, 反映人类建设开发程度
景观分离度指数 (F_i)	$F_i=\sqrt{\frac{n_i}{A}} \times \frac{A}{2A_i}$	表示景观类型在空间分布情况, 值越大, 越分散
景观优势度指数 (D_i)	$D_i=\ln(m) + \sum_{i=1}^m [P_i \times \ln(P_i)]$	表示某地类景观在整体景观的支配作用, 值越大, 支配作用越强

注: n_i 为景观类型 i 的斑块数量, A_i 为景观类型的面积, A 为景观总面积, P_i 为景观类型 i 与景观总面积的占比, m 为景观类型个数。

景观脆弱度是指不同的景观类型在受到人类社会活动干扰后的承受能力, 本研究将从土地利用类型与景观脆弱性相关性的角度, 根据研究区实际情况和借鉴前人研究成果^[23], 按照景观类型抵抗外界干扰能力分级, 赋予相应的值, 具体顺序: 草地 > 耕地 > 林地 > 水域 > 建设用地 > 未利用地, 并将脆弱度 6 等

级归一化处理, 作为各类景观脆弱度指数。

4 结果与分析

4.1 土地利用变化分析

4.1.1 土地利用结构变化分析

土地利用结构描述了土地利用分布状况与面积, 因此基于对重庆市 8 期土地利用遥感影像解译进行统计分析, 获得重庆市各类土地利用结构变化情况 (见表 4、表 5)。分析得出, 重庆市的主导用地类型是耕地, 其次林地, 共占超过土地总面积的 80%, 其中耕地为 45.67%、林地为 40.98%。1980—2020 年, 重庆市林地、建设用地、水域呈增加趋势。其中, 林地和建设用地面积分别由 30440.54、417.77 hm^2 增至为 33761.62、2132.40 hm^2 , 增幅最大, 占研究区总面积比分别由 36.94%、0.5%增至 39.84%及 1.65%; 水域净增为 296.75 hm^2 。同时, 耕地、草地及未利用地呈减少趋势, 草地面积变化幅度最大, 由 11779.40 hm^2 减至 7635.75 hm^2 , 占研究区总面积比由 14.29%降为 9.26%; 耕地、未利用地分别减少 1192.45、7.47 hm^2 , 占研究区总面积比分别降为 45.67%、0.01%。在西部大开发、城市化及城镇化的大背景下, 重庆市建设用地明显增加, 同时在退耕还林及土壤荒漠化情况下, 林地虽有增加, 但总体呈下降趋势, 草地随着土壤荒漠化加快, 随之减少。

表 4 1980—2000 年重庆市土地利用结构变化

Table 4 Land use structure change in Chongqing city from 1980 to 2000

类型	1980 年		1990 年		1995 年		2000 年	
	面积 / hm^2	百分比 /%	面积 / hm^2	百分比 /%	面积 / hm^2	百分比 /%	面积 / hm^2	百分比 /%
耕地	3881833.47	47.12	3881806.65	47.12	3758580.63	45.65	3861759.33	46.87
林地	3044054.79	36.95	3044018.07	36.95	3109996.53	37.78	3047429.52	36.99
草地	1177948.44	14.30	1177940.97	14.30	1227023.19	14.90	1175348.70	14.27
水域	91494.27	1.11	91492.38	1.11	90628.02	1.10	91670.94	1.11
建设用地	41777.28	0.51	41777.01	0.51	44739.27	0.54	60836.31	0.74
未利用地	1776.60	0.02	1776.06	0.02	1859.13	0.02	1777.59	0.02

表 5 2005—2020 年重庆市土地利用结构变化

Table 5 Land use structure change in Chongqing city from 2005 to 2020

类型	2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%	面积 /hm ²	百分比 /%
耕地	3831896.52	46.51	3811587.48	46.26	3781164.33	45.89	3762588.51	45.67
林地	3092112.09	37.53	3282486.48	39.84	3279892.05	39.81	3376162.08	40.98
草地	1145749.32	13.91	892529.82	10.83	891411.21	10.82	763575.48	9.27
水域	94833.99	1.15	114913.89	1.39	117494.19	1.43	121169.88	1.47
建设用地	72876.78	0.88	136165.86	1.65	167693.22	2.04	213240.06	2.59
未利用地	1460.16	0.02	1272.15	0.02	1264.05	0.02	1028.61	0.01

4.1.2 土地利用时空变化分析

通过对研究区土地利用景观变化分析不仅能揭示各类景观在单位时间内的面积变化，还反映了各类景观之间的面积互相转换动态变化。因此，通过 ArcGIS 软件对 8 期土地利用景观图层进行叠加分析，得到重庆市土地利用景观转移矩阵（表 6），来定量描述各地类景观相互转化情况，以期分析重庆市土地利用景观时空变化情况。

研究分析表明，整体上重庆市土地利用景观类型整体面积变化以耕地、林地、草地及建设用地互相转换为主。从时段来看，1980—1990 年，各类景观面积发生微变，主要以耕地、林地转出转入为主。1990—1995 年，耕地面积呈减少趋势，林地、草地面积增加；其中耕地、林地和草地转出面积分别为 1628.10 hm²、709.14 hm²、295.44 hm²，转入面积分别为 437.34 hm²、1381.37 hm²、790.99 hm²，同时建设用地转入面积大于转出面积，主要来自耕地和林地。1995—2000 年，耕地面积呈增加趋势，林地、草地面积减少；其中耕地、林地和草地转出面积分别为 539.43 hm²、1470.93 hm²、953.68 hm²，转入面积分别为 1530.01 hm²、832.66 hm²、432.07 hm²；且建设用地继续增加，主要来自耕地；2000—2005 年，耕地、草地面积呈下降趋势，林地面积增加，其中耕地、草地和林地转出面积分别为 1008 hm²、600.83 hm²、483.97 hm²，转入面积分别为 709.12 hm²、305.10 hm²、930.15 hm²；建设用地转出面积远远小于转入面积，89.91% 来自耕地；水域净增加 31.44 hm²，主要来自耕地和林地转入。2005—

2010年,耕地和草地面积继续减少,林地面积增加,其中耕地、草地和林地转出面积分别为 1369.03 hm^2 、 2835.78 hm^2 、 747.86 hm^2 ,转入面积分别为 1168.40 hm^2 、 300.88 hm^2 、 2651.25 hm^2 ;同时草地保留率仅为75.26%,减少了 2534.90 hm^2 ;建设用地和水域面积净增加分别为 632.76 hm^2 、 201.24 hm^2 。2010—2015年,耕地、林地和草地面积均减少,转出面积分别为 807.23 hm^2 、 450.77 hm^2 、 188.86 hm^2 ,转入面积分别为 502.90 hm^2 、 424.97 hm^2 、 177.92 hm^2 ;建设用地增加 315.33 hm^2 ,主要耕地转入。2015—2020年,耕地和草地面积减少,林地面积增加,其中耕地、林地和草地转出面积分别为 1855.02 hm^2 、 1194.60 hm^2 、 1678.59 hm^2 ,转入面积分别为 1671.55 hm^2 、 2165.61 hm^2 、 401.20 hm^2 ;建设用地增加 455.39 hm^2 ,主要来自耕地转入。

对重庆市土地利用景观类型转移矩阵分析来看,重庆市在三峡移民搬迁、成为直辖市、退耕还林以及西部大开发政策的大背景下,各地类景观也随着发生变化。耕地面积呈“急剧减少—急剧增加—减少—急剧减少”的趋势,主要是由于三峡移民搬迁,导致大量耕地转入林地和草地而减少,随着退耕还林政策的实施,耕地的转入面积大于转出面积,且城镇化建设缓慢,造成耕地面积急剧增加,但在西部大开发政策下,重庆市城镇化建设迅猛,造成退耕还林速度远远慢于建设用地扩张速度。林地面积呈增长趋势,主要是耕地和草地的转入大于林地的转出面积,说明重庆市的退耕还林政策得到很好实施,且城镇化建设主要以占用耕地为主。草地面积呈减少趋势,转入转出面积越来越小,耕地和林地是转入主要来源,转出方向由耕地和林地,变为建设用地。建设用地和水域面积逐年增加,建设用地转入来源为耕地、林地和草地,且转入面积远远大于转出面积,说明在城市快速发展、城乡建设和农村居民点修建,重庆市的建设用地面积不断增加。水域面积在三峡大坝修建水位上升、乡村兴修堰塘等,水域面积平稳增加,主要以耕地、林地转入。未利用地转入面积一直小于转出面积,2000—2005年面积变化大,减少了 3.17 hm^2 ,说明重庆市未利用地资源可用性较低。总体来说,重庆市土地利用景观类型面积呈“三增三减”特征,其中林地、建设用地和水域面积增加,耕地、草地和未利用地面积减少。

表 6 1980—2020 年重庆市景观类型转移矩阵 (hm²)

Table 6 Landscape type transfer matrix of Chongqing city from 1980 to 2020 (hm²)

时段	类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1980—1990	耕地	38782.99	13.92	6.51	0.24	0.30	0
	林地	14.07	30436.33	1.45	0.09	0.09	0
	草地	6.34	1.46	11774.50	0.04	0.02	0
	水域	0.25	0.10	0.05	914.36	0.01	0
	建设用地	0.31	0.08	0.02	0.02	416.33	0
	未利用地	0	0	0	0	0	17.63
1990—1995	耕地	37140.08	1240.92	345.78	3.45	37.74	0.21
	林地	256.93	29730.37	443.74	1.53	6.60	0.34
	草地	158.55	133.30	11482.84	0.49	3.08	0.01
	水域	9.64	2.59	0.65	900.32	0.46	0.41
	建设用地	12.18	4.51	0.82	0.40	398.44	0.01
	未利用地	0.04	0.04	0.01	0.02	0.01	17.48
1995—2000	耕地	37038.03	228.15	153.70	10.32	147.23	0.04
	林地	1174.52	29640.78	275.36	2.74	18.27	0.04
	草地	345.06	601.30	11320.16	2.09	5.22	0.01
	水域	3.18	1.75	0.49	900.05	0.72	0.02
	建设用地	7.05	1.13	2.51	0.29	435.36	0.01
	未利用地	0.19	0.34	0.01	0.40	0.01	17.51
2000—2005	耕地	37595.41	632.38	231.96	24.97	118.40	0.29
	林地	392.77	30001.54	71.55	10.42	9.18	0.06
	草地	300.62	293.05	11155.53	3.88	3.27	0.00
	水域	7.81	2.57	1.15	904.14	0.82	0.07
	建设用地	6.75	1.87	0.42	2.48	595.76	0.02
	未利用地	1.17	0.28	0.02	2.10	0.02	14.05
2005—2010	耕地	36934.91	462.57	221.16	103.70	581.38	0.21
	林地	553.08	30182.61	78.09	57.01	59.64	0.03
	草地	584.58	2181.57	8624.62	44.05	25.59	0.00
	水域	8.31	2.13	0.63	933.94	2.84	0.04
	建设用地	22.15	3.66	0.67	10.23	690.72	0.02
	未利用地	0.28	1.32	0.33	0.20	0.05	12.31
2010—2015	耕地	37295.84	367.78	125.36	19.24	294.58	0.26
	林地	355.94	32382.66	50.54	14.79	29.46	0.04
	草地	123.99	50.23	8736.50	4.74	9.89	0.01
	水域	9.11	3.26	1.24	1133.49	1.98	0.05
	建设用地	13.56	3.64	0.77	2.62	1339.61	0.01
	未利用地	0.30	0.05	0.00	0.07	0.03	12.17

续表

时段	类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2015—2020	耕地	35939.37	1005.69	255.75	53.24	539.52	0.82
	林地	982.61	31604.64	131.52	22.41	57.95	0.12
	草地	525.01	1129.06	7233.91	9.19	15.33	0.00
	水域	26.89	10.07	10.95	1117.89	8.84	0.10
	建设用地	136.27	20.68	2.95	6.59	1508.94	0.04
	未利用地	0.78	0.11	0.03	2.21	0.29	9.12

4.1.3 土地利用速度变化分析

结合土地利用速度变化指数模型公式,得到重庆市土地景观利用类型变化速度,结果表明1980—1990年各类景观变化微小,其余时段存在明显差异。由表7、表8分析可知,重庆市1990—2020年综合土地利用动态度呈不稳定变化,依靠某一时段的土地政策而变,主要表现为2000—2015年综合动态度急剧上升,2010—2015年综合动态度陡然下降,至2020年综合动态度开始回升。其中建设用地的动态度和开发度均最大,开发度由1990—1995年的2.3%上升到2005—2010年的18.41%到达峰值,再到2020年的7.42%,虽然建设用地的开发度的稳定性不高,但是该开发度相比与其他土地利用景观类型仍处于第一位,说明西部大开发和退耕还林政策有效实施环境下,重庆市的城镇化建设、都市区建设速度明显在增加。1990—2020年,重庆市耕地变化速度经历了两个峰值,1990—2000年,耕地面积急剧增加,增加速度呈加快趋势,且耕地的开发度大于耗减度,说明三峡移民搬迁与退耕还林政策对耕地增加有很大影响;2000—2020年,耕地面积逐渐减少且减少速度在2015年达到7.54%,到2020年耕地面积依然减少而减少速度有所缓解,耕地的耗减度整体上大于开发度,说明重庆市耕地减少速度大于增加速度。林地的动态度整体上是呈“减少—增加—减少”趋势,1990—2000年,林地变化速度减少且面积减少加快,2000—2010年,林地变化速度增加且面积增加明显,2010—2020年,林地变化速度减小但总面积呈增加趋势,同时林地的开发度大于耗减度,说明重庆市林地在退耕还林政策下得到有效保护。草地动态度呈“下降—上升—下降”趋势,1990—2000年,草地变化速度下降且面积减少加快,2000—2020年,草地变化速度先经历上升

再下降的过程，草地面积整体呈减少趋势。水域变化速度呈增加趋势，面积随着动态度的增加而增加，同时开发度大于耗减度。1990—2020年，重庆市未利用地变化速度呈“减少—增加”趋势，未利用地耗减度大于开发度，未利用地面积随着速度变化而逐渐减少。

综合分析，建设用地的增加主要是受重庆市城镇化快速发展且大量占用耕地和草地；林地增加得益于退耕还林的实施；而三峡大坝等水利工程修建导致水域面积增加。

表 7 1980—2005 年重庆市土地景观利用类型速度变化指数（%）

Table 7 Velocity Change index of land use types in Chongqing city from 1980 to 2005(%)

类型	1990—1995 年				1995—2000 年				2000—2005 年			
	K	F	LUD	H	K	F	LUD	H	K	F	LUD	H
耕地	-0.61		0.23	0.84	0.53		0.81	0.29	-0.15		0.37	0.52
林地	0.44		0.91	0.47	-0.41		0.54	0.95	0.29		0.61	0.32
草地	0.84	0.65	1.34	0.50	-0.85	0.72	0.70	1.55	-0.50	0.51	0.52	1.02
水域	-0.17		0.13	0.30	0.21		0.35	0.14	0.69		0.96	0.27
建设用地	1.44		2.30	0.86	7.19		7.68	0.49	3.96		4.34	0.38
未利用地	0.96		1.11	0.15	-0.90		0.13	1.03	-3.58		0.49	4.07

表 8 2005—2020 年重庆市土地景观利用类型速度变化指数（%）

Table 8 velocity change index of land use types in Chongqing city from 2005 to 2020(%)

类型	2005—2010 年				2010—2015 年				2015—2020 年			
	K	F	LUD	H	K	F	LUD	H	K	F	LUD	H
耕地	-0.10		0.61	0.71	-0.16		0.26	0.42	-0.10		0.88	0.98
林地	1.23		1.71	0.48	-0.02		0.26	0.27	0.59		1.32	0.73
草地	-4.42	1.22	0.53	4.95	-0.02	0.36	0.40	0.42	-2.87	1.20	0.90	3.77
水域	4.25		4.54	0.29	0.45		0.72	0.27	0.63		1.59	0.97
建设用地	17.40		18.41	1.01	4.64		4.94	0.30	5.44		7.42	1.99
未利用地	-2.58		0.43	3.00	-0.13		0.59	0.72	-3.73		1.72	5.45

注：表格中 K 代表单一土地动态度；LC 代表综合土地利用动态度；LUD 代表土地利用开发度；LUC 代表土地利用耗减度。

4.1.4 土地利用程度分析

由表9可知, 1980—2020年重庆市土地利用程度由248.09上升至250.82, 虽然1990—1995年土地利用程度下降, 但总体处于上升趋势, 说明随着城镇化加快, 经济发展迅猛, 人类社会活动对土地资源需求增加, 对土地生态安全造成了影响。同时1990—1995年和2000—2005年重庆市土地利用程度变化量和变化率小于0, 其余时间段大于0, 说明重庆市土地利用呈“稳定—迅猛发展—稳定—发展”的趋势。

表9 重庆市1980—2020年土地利用程度变化

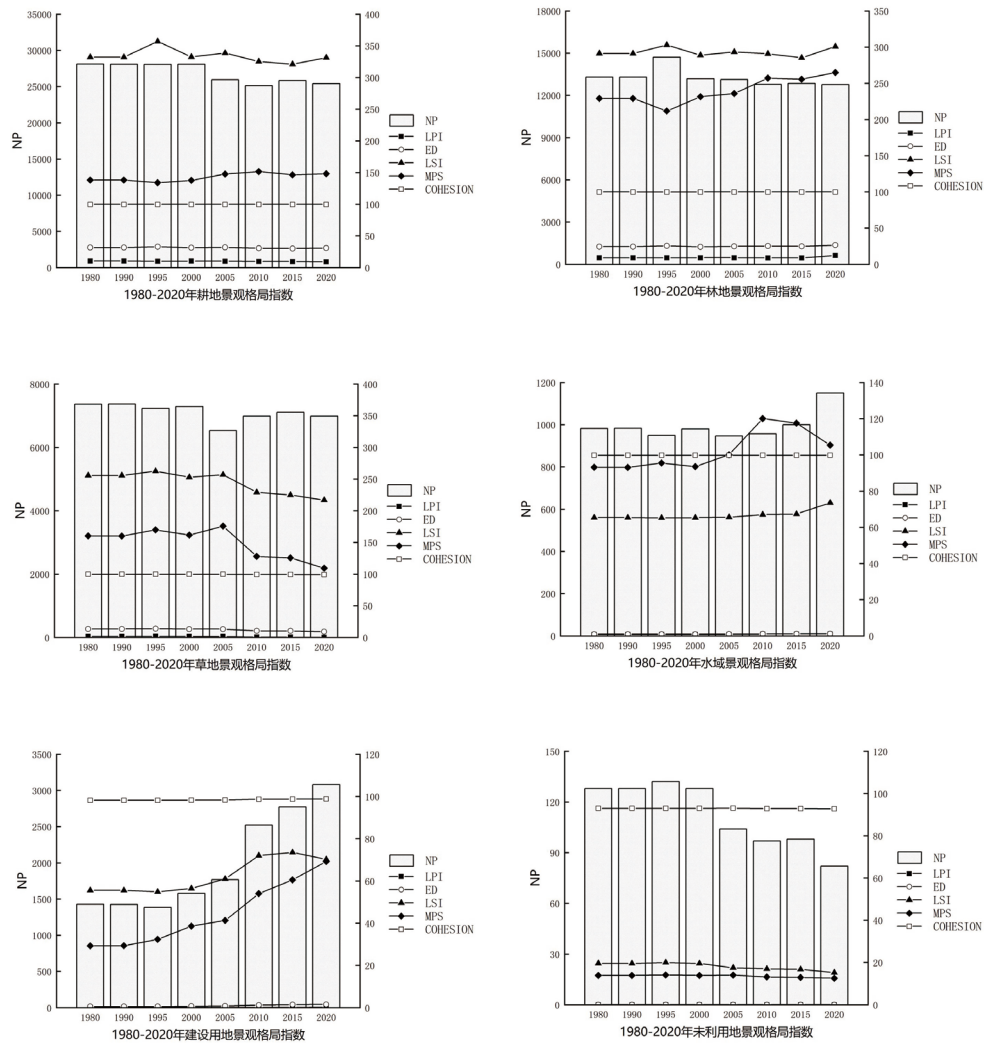
Table 9 Land use change in Chongqing city from 1980 to 2020

评价指标	1980年	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
土地利用程度	250.82	248.09	246.7	248.3	248.24	249.54	249.93	250.82
土地利用程度变化量	0	0	-1.37	1.59	-0.07	1.29	0.4	0.89
土地利用程度变化率	0	0	-0.005	0.006	-0.0003	0.005	0.002	0.004

4.2 景观格局时空变化分析

4.2.1 景观斑块类型格局变化分析

斑块是景观格局的组成单元, 反映了景观类型内部和类型之间的相似性或相异性; 通过对斑块的数量、形状及大小等空间分布特征进行分析, 了解在城镇化进程中各类景观类型的变化规律以及整体城市景观演变趋势。由图1可知, 1980—2020年, 重庆市景观结构发生了较大变化。耕地斑块总数从1980年的28112减至2020年25419, 平均斑块面积由1980年的138.2 hm²增至2020年的148.2 hm², 说明耕地景观破碎度逐渐减少。1980—2020年, 最大斑块指数由10.4%减少至9.2%, 说明城市景观中耕地的优势度在降低。同时边缘密度、景观形状指数、平均形状指数、平均斑块分维度和景观连通度均呈“先增加后减少”的趋势, 说明耕地景观形状由不规则变化到有序以及边界复杂度逐渐简化, 且耕地景观斑块由最初的分散到聚集再分散化, 揭示了耕地受当时政策以及人类活动影响较大。



注：NP—斑块数量；LPI—最大斑块指数；ED—边缘密度；MPS—平均斑块面积；
COHESION—景观连通度；LSI—景观形状指数

图 1 1980—2020 年重庆市各景观类型景观格局指数变化

Figure 1 Landscape pattern index change of various landscape types in
Chongqing from 1980 to 2020

林地各斑块指数均呈“先增加后减少”趋势，总体上斑块总数由 1980 年的 13304 降至 2020 年的 12772，最大斑块指数由 1980 年的 8.97 hm^2 升至 2020 年

的 12.11 hm^2 ，说明林地景观破碎度逐渐降低，优势度逐渐升高；同时平均斑块形状指数和平均斑块分维指数的变化，说明林地在自然生态情况下，结合内部结构，使得其复杂度简化。

草地斑块数量呈无规律变化，但总体上呈减少趋势，由 1980 年的 7364 减至 2020 年 6988，最大斑块面积指数逐渐减少，说明随着城镇化加快，人口社会活动增加，草地破碎度呈先下降后上升的趋势；边缘密度、景观形状指数均增加，但平均形状分维数和平均斑块面积均呈无规则变化，说明草地景观斑块逐渐不规则，斑块更加复杂，社会活动对草地影响太大。同时景观连通度逐渐降低，说明景观聚集度较分散。

水域斑块数量、最大斑块指数和平均斑块面积分别由 1980 年的 982、0.79%、 93.16 hm^2 增至 2020 年的 1150、1.09%、 105.42 hm^2 ，说明水域景观破碎度和优势度均有所增加；同时边缘密度和景观形状指数增加，说明三峡大坝以及水库的修建，造成水域景观的不规则且复杂化。同时景观连通度有所增加，说明水域分布较集中。

建设用地各斑块指数均呈增加趋势。其中斑块数量由 1980 年的 1428 增至 2020 年的 3080，景观连通度由 98.19% 增至 98.88%，说明城市建设更加集中；同时随着边缘密度、平均斑块面积的增加，说明城市化进程中，景观破碎度随着城市发展程度而变化；1980—2020 年，景观形状指数、平均斑块分维数增加，说明人类建设中，无人管理，导致斑块不规则其复杂化。景观连通度由最初的 98.19% 增至 98.88%，最大斑块指数由最初的 0.09% 增至 0.3%，说明随着城镇化不断扩张，建设用地越来越聚集。

未利用地斑块数量相比其他斑块数量最少，且各斑块指数均减少，说明重庆市未利用地可利用资源较少，景观破碎化程度减低及优势度升高。

4.2.2 景观水平格局变化分析

由表 10 分析可知，1980—2020 年重庆市景观水平格局发生明显变化。总体上，景观斑块数量、斑块密度、平均斑块分维数、分离度、优势度和景观形状指数呈下降趋势，景观最大斑块指数、香浓多样性指数和均匀度指数呈上升趋势，说明了重庆市景观破碎化程度降低，且耕地、草地和林地的优势度在逐渐减小，

在城镇化建设中,建设用地不断侵占耕地、林地和草地资源,造成斑块复杂化和异质性增强。分析可得,在城市化加快进程中,人类活动对重庆市景观格局产生了巨大影响,使得景观格局复杂化,同时在有效的规划政策下,景观斑块逐渐趋向集中,结构逐渐稳定,但总体景观自我调节能力在下降,以草地为主。当前,重庆市处于高速发展阶段,如何平衡城市建设和生态环境安全两者关系,对城市的可持续发展带来了挑战。

表 10 1980—2020 年重庆市景观水平格局变化指数

Table 10 Landscape level pattern change index of Chongqing city from 1980 to 2020

年份	NP	PD	LPI	ED	LSI	PAFRAC	DIVISION	SHDI	SHEI	DI
1980	51318	0.622	10.3576	35.4543	258.3727	1.548	0.9689	1.0792	0.6023	0.3977
1990	51312	0.622	10.358	35.4477	258.3785	1.5478	0.9689	1.0792	0.6023	0.3977
1995	52474	0.6365	10.0408	36.9421	274.8869	1.5728	0.9714	1.0893	0.608	0.392
2000	51238	0.6211	10.2752	35.3157	257.4202	1.5493	0.969	1.089	0.6078	0.3922
2005	48440	0.5871	10.1736	35.9108	261.6242	1.5841	0.969	1.093	0.61	0.39
2010	48495	0.5878	9.7757	34.4004	250.7377	1.5593	0.9662	1.0928	0.6099	0.3901
2015	49659	0.6019	9.6443	33.8824	247.0367	1.5336	0.9667	1.106	0.6172	0.3828
2020	49491	0.6	12.1102	34.7304	253.6717	1.5228	0.9598	1.1017	0.6149	0.3851

注: NP—斑块数量; LPI—最大斑块指数; ED—边缘密度; MPS—平均斑块面积; COHESION—景观连通度; PD—斑块密度; LSI—景观形状指数; PAFRAC—周长面积分维数; DIVISION—景观分离度; SHDI—香浓多样性指数; SHEI—香浓均匀度指数; DI—景观优势度指数

4.3 景观生态安全分析

由图 2 可知, 40 年间重庆市的草地、耕地和未利用地的景观生态安全度均下降, 由 1980 年的 0.555、0.612 和 0.44 分别降至 2020 年的 0.478、0.523 和 0.263, 由于城市化进程加快, 建设用地大量侵占耕地和草地, 使得耕地、草地面积不断减少, 随着人类社会活动对土地利用的需求增大, 草地和耕地的景观抗干扰度下降, 导致景观生态安全度降低; 同时, 重庆市受地域影响, 石漠化严重, 过渡开采煤矿和砍伐树木, 造成土地退化, 使得生态安全度降低。林地和水域

景观安全度逐渐升高,说明退耕还林和长江流域保护政策得到有效实施,以及有效规划管理城市园林和人工湖等,使得林地和水域的景观安全度上升;但随着重庆市人口与经济的增长,对建设用地需求增大,使得建设用地景观安全度增加。

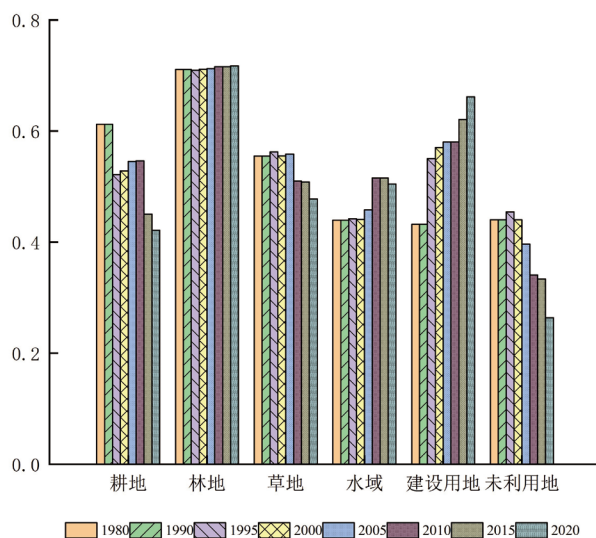


图2 重庆市土地景观类型生态安全度

Figure 2 Ecological security of land landscape types in Chongqing

根据相关文献[7、28]结合重庆市研究结果,将重庆市景观格局生态安全划分为3级:重警区[0–0.3]、预警区[0.3–0.5]、较安全区[0.5–0.8]。

通过分析,1980—2020年重庆市景观类型生态安全等级发生了明显变化,较安全区面积减少,预警区和重警区面积增加。其中,较安全区面积减少了4398070.59 hm²。同时耕地和草地安全等级由较安全区变为预警区,水域和建设用地生态等级由预警区变为较安全区,未利用地生态等级降为重警区。由于人类社会活动干扰下,导致耕地、草地和未利用地安全等级发生明显变化。

将各类景观生态安全度与对应的景观脆弱度乘积合计,可以定量表征重庆市景观格局生态安全的整体水平。结果图3所示,总体上重庆市景观格局生态安全度呈下降趋势,景观安全度由1980年的0.57上升为2020年的0.52,说明

了重庆市的生态抗干扰能力下降,脆弱性增强,景观生态安全度呈下降趋势。

5 讨论

1980—2020年间重庆市土地利用结构发生了明显变化,林地、建设用地和水域面积呈上升趋势,草地、耕地和未利用地面积呈下降趋势,其中草地面积减幅最大,所占比下降5%。同时,重庆市土地景观类型主要以耕地、林地、草地三者互相转化为主,其中建设用地主要来源为耕地、草地,重庆市土地利用经历了迅猛发展期后,现处于稳定发展期且土地利用变化率处于较高水平。随着三峡移民搬迁、城镇化进程加快以及经济发展迅猛,人类活动对土地资源需求增加,导致建设用地面积增加,耕地、草地面积减少。

在景观格局变化方面,各景观指数在人类活动干扰下呈不同的变化。在景观斑块层面上,耕地优势度和破碎化程度逐渐降低,斑块形状由不规则向规则化变化,斑块逐渐简易化。草地破碎化程度增大,斑块分布分散,优势度较高。林地在退耕还林和“森林城市”影响下,林地的破碎化程度降低,优势度稳定,高于其他景观优势度。随着社会经济发展和相关部分有效规划,建设用地优势度和破碎化程度降低,但建设用地仍是优势景观,同时景观斑块聚集度增加。而受地域和人类活动影响,水域和未利用地的破碎化程度增加。在景观水平层面上,重庆市景观干扰度下降,景观格局多样性和复杂性增加,景观分布趋向集中,景观结构逐渐稳定,但总体自我调节能力降低。

重庆市40年间草地、耕地和未利用地的生态安全度均下降,其中较安全面积减少,预警区和重警区面积增加;耕地和草地安全等级由较安全区变为预警区,水域和建设用地生态等级由预警区变为较安全区,未利用地生态等级降为重警区。重庆市总体景观生态安全度由最初的0.57下降为0.52,说明重庆市生态脆弱性逐渐增强,生态安全度下降。

本文是基于土地利用、景观格局变化、景观生态安全对重庆市近40年间土地景观变化进行分析,研究结果对重庆市未来发展规划、城市可持续发展及土地景观格局优化可以提供一定参考。但区域生态安全包含了经济、社会和自然等因素,景观格局只是重要因素之一,本文构建的景观生态态度不具备绝对性,

生态脆弱度和干扰度指标难以量化,因此景观安全度是相对的。但重庆市地形复杂,自然景观丰富,随着城镇化人口增加,自然景观受到干扰,基于此研究景观格局变化来定量表征重庆市的生态安全度是有意义的。

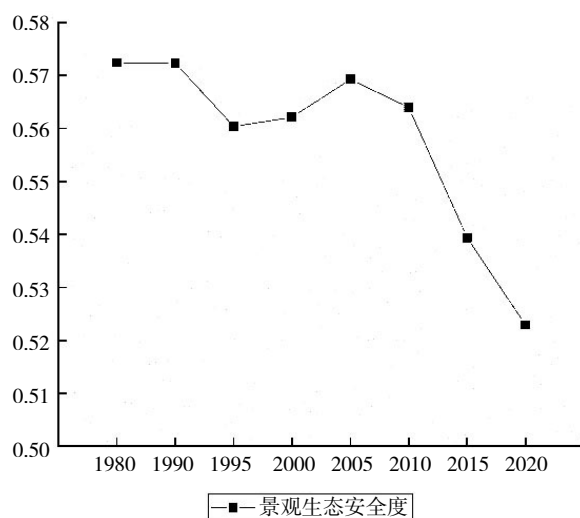


图3 重庆市整体景观格局生态安全度

Figure 3 Ecological security of the overall landscape pattern in Chongqing

参考文献

- [1] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010–2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征 [J]. 地理学报, 2018, 73 (5): 789–802.
- [2] 全球环境变化研究的核心领域——土地利用 / 土地覆被变化的国际研究动向 [J]. 地理学报, 1996 (6): 553–558.
- [3] Wright C K, Wimberly M C. Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands [J]. Proc Natl Acad, USA, 2013, 110 (10): 4134–4139.
- [4] Meyfroidt P, Lambin E F, Erb K H, et al. Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5 (5): 438–444.

- [5] 潘如玉, 申丽娟, 谢德体, 等. 重庆旧城改造区土地覆被与景观格局变化——以北碚区为例 [J]. 经济地理, 2015, 35 (1): 155–161.
- [6] 王鹏, 王亚娟, 刘小鹏, 等. 宁夏沙坡头区土地利用景观格局变化及其驱动力分析 [J]. 西北林学院学报, 2018, 33 (6): 197–203.
- [7] 朱亚楠, 蒲春玲. 乌鲁木齐市土地利用景观格局变化及生态安全分析 [J]. 生态科学, 2020, 39 (2): 133–144.
- [8] 范丽娟, 田广星. 1995—2015 年上海市土地利用及其景观格局变化 [J]. 水土保持通报, 2018, 38 (1): 287–292+298.
- [9] 仙巍, 邵怀勇, 周万村. 嘉陵江中下游地区近 30 年土地利用与覆被变化过程研究 [J]. 地理科学进展, 2005 (2): 114–121.
- [10] 张丽, 杨国范, 刘吉平. 1986—2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析 [J]. 地理科学, 2014, 34 (2): 185–191.
- [11] Hurley J, Wood G, Groenhardt L, et al. Long run urban analysis using property records: A methodological case study of land use change [J]. Urban Studies, 2018: 376–385.
- [12] Cheng X, Chen L, Sun R, et al. Land use changes and socio-economic development strongly deteriorate river ecosystem health in one of the largest basins in China [J]. Science of the Total Environment, 2018.
- [13] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应 [J]. 地理学报, 2014, 69 (1): 54–63.
- [14] 王越, 宋戈, 王盼盼. 松嫩高平原土地利用类型变化特征及时空格局研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31 (4): 61–66.
- [15] 刘吉平, 董春月, 盛连喜, 等. 1955—2010 年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应 [J]. 地理科学, 2016, 36 (6): 879–887.
- [16] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998—2010 年土地利用变化特征 [J]. 地理学报, 2014, 69 (1): 42–53.
- [17] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 等. 黑河中上游地区 2000—2010 年土地利

- 用变化及水土保持服务功能 [J]. 生态学报, 2014, 34 (23): 7013–7025.
- [18] 王文萱, 李明孝. 基于 DPSIR 的湖南省土地生态安全时空变化 [J]. 生态学杂志, 2020, 39 (8): 2724–2736.
- [19] 欧阳晓, 朱翔. 中国城市群城市用地扩张时空动态特征 [J]. 地理学报, 2020, 75 (3): 571–588.
- [20] 丁茜, 付梅臣, 王力. 基于转移矩阵的重庆市北碚区土地利用变化分析 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (12): 198–204.
- [21] 田雨, 周宝同, 付伟, 等. 2000—2015 年山地城市土地利用景观格局动态演变研究——以重庆市渝北区为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28 (6): 1344–1353.
- [22] 龙辉, 廖和平, 张茜茜, 等. 基于 GIS 的土地利用 / 覆被与景观格局变化研究——以重庆市两江新区为例 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2019, 41 (6): 90–98.
- [23] 苏英慧, 邸晓慧, 明弘, 等. 基于土地景观格局的重庆市永川区生态风险评价 [J]. 水土保持通报, 2020, 40 (3): 195–201+215.
- [24] 童小容, 杨庆媛, 毕国华. 重庆市 2000—2015 年土地利用变化时空特征分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27 (11): 2481–2495.
- [25] He Q, Qiu S, Jiang Y, et al. Land-use change caused microbial pollution in a karst underground river, Chongqing, China [J]. Environmental earth sciences, 2016, 75 (8): 709. 1–709. 11.
- [26] Long H, Wu X, Wang W J, et al. Analysis of Urban–Rural Land–Use Change during 1995–2006 and Its Policy Dimensional Driving Forces in Chongqing, China [J]. Sensors, 2008, 8 (2): 681–699.
- [27] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究 [J]. 遥感学报, 1997 (3): 225–230.
- [28] 梁二敏, 张军民. 新疆玛纳斯河流域景观格局变化的生态安全分析 [J]. 水土保持研究, 2016, 23 (3): 170–175.

Analysis on Landscape Pattern Change and Ecological Security of Land Use in Chongqing

Tan Bo Liu Guodong Li Changyuan

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing

Abstract: It is important for the future regional land use planning, landscape pattern optimization, ecological city construction and sustainable development to study the spatial-temporal change characteristics of regional land use landscape pattern and its ecological security analysis. Based on GIS spatial analysis techniques, landscape ecology theory and the land use data of eight periods from 1980 to 2020, this study analyzed the land use change, landscape pattern and ecological security change of Chongqing in recent 40 years. The results showed as follows: (1)The land use/cover change was obvious in Chongqing; the cultivated land landscape was dominant, accounting for 45.67% of the total land use area, but the dominance of cultivated land landscape decreased gradually; Affected by the conversion of farmland to forest, woodland occupies 40.98% of the total land use area; Meanwhile, the landscape transformation changes mainly focus on the mutual transformation of cultivated land, forest land and grassland, and the source of construction land is cultivated land Transfer in the main. (2) The overall change rate of land use in Chongqing was gradually accelerated from 0.65% to 1.20%, and the degree of land use was increased from 248.09 in 1980 to 250.82 in 2020, which indicated that the anti-interference ability of the ecosystem is declining. (3) The change of landscape pattern in Chongqing was obvious, In the process of urbanization, the degree of landscape fragmentation increases, and the distribution of landscape patches is uneven and complex. (4) The ecological security degree of Chongqing decreased from 0.57 in 1980 to 0.52 in 2020, which indicated that the ecological vulnerability of Chongqing was gradually deepened.

Key words: Land use; Landscape pattern; Ecological security; Chongqing