

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020083
引用格式: 陈震,夏学齐,陈建平. 土地生态质量遥感评价模型与主控因子研究——以广安市为例[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):191–198. (Chen Z, Xia X Q, Chen J P. A study of remote sensing evaluation model and main controlling factors of land ecological quality: A case study of Guang'an City[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2021, 33(1): 191–198.)

土地生态质量遥感评价模型与主控因子研究 ——以广安市为例

陈 震, 夏学齐, 陈建平
(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 为了科学评价土地生态质量以及有效识别土地生态主控因子,开展土地生态质量遥感评价模型与主控因子研究,以四川省广安市为研究区,建立基于理想点的遥感评价模型,对广安市 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年的土地生态质量进行评价及主控因子分析;以公里网格为评价单元,以生态本底、生态结构、生态效益及生态胁迫 4 个准则层的 14 个评价指标构建评价指标体系;应用德尔菲法和熵权法(即主观结合客观的方法)计算各评价指标权重值,以理想点模型计算理想点值、划分理想点生态等级,利用主成分分析法获取各年份的主控因子,然后对理想点生态等级空间分布与环境影响因子之间的关系进行分析。结果表明:2005—2015 年第 3 等级面积占比有一定幅度上升,第 3 等级面积占比为各等级最大,因而广安市土地生态质量整体上呈上升趋势、林地面积占比和气温因子是最重要的主控因子、气温与土地生态质量正相关等研究结果。研究结果可为土地整治部门提出广安市土地生态质量监管的决策依据和技术支持,也可对其他地区的土地生态质量监管工作提供借鉴。

关键词: 土地生态质量;生态评价指标;理想点模型;主控因子;主成分分析

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001–070X(2021)01–0191–08

0 引言

随着全球生态环境日益恶化,生态问题越来越得到人们的重视,土地生态质量评价方法研究已成为土地生态科学的重要研究方向。土地生态评价指标体系的建立是土地生态质量评价的重点,目前的土地生态评价指标体系主要有 3 类:①以联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)制定的《可持续土地利用评价纲要》为基础进行相应修改的评价指标体系;②以“压力–状态–响应”(pressure–state–response, PSR)模型为基础的评价指标体系;③基于“经济–环境–社会”(environmental effects statement, EES)结构的生态评价指标体系。

国内外传统的土地生态评价指标体系研究多以 FAO 建立的《可持续土地利用评价纲要》为基准,根据实际情况进行了相关改进。Pieri 等^[1]于 1995 年

提出了以林地退化、水土流失、盐渍化、地下水下降等生态因素建立土地质量评价指标体系,分析了不同因素对土地生态质量的影响程度;2003 年 Messing 等^[2]根据经典 FAO 评价体系,基于实际情况,从坡向、土壤质地、有机质、降水、pH 值等方面研究了小流域范围农业用地生态状况。近年来,以 PSR 模型和 EES 框架为基础的研究逐渐增多。2011 年张军以等^[3]根据三峡库区生态区的土地生态质量特点,以 PSR 模型为基础,建立城市化水平、人均土地面积、单位面积农药使用量等 21 个评价指标,对三峡库区 2003—2006 年的土地生态总体状况进行计算,对土地生态状况的变化趋势进行了分析;2011 年 Paracchini 等^[4]以 EES 模型为基础,选取 30 个评价指标,对研究区内不同土地利用类型进行综合分析,提出了权衡评价的概念,该概念用于满足土地管理部门的实际需求;2019 年巩芳等^[5]在研究草原生态系统补偿对其生态经济系统的响应机理时,运用“驱动力–压力–状态–影响–响应”(driving

收稿日期: 2020–03–27; 修订日期: 2020–06–17
基金项目: 中国地质调查局项目“土地生态环境与自然性状调查”子项目“四川广安耕地区土地质量地球化学调查”(编号: DD20190524–06)资助。
第一作者: 陈 震(1977–),男,博士,讲师,主要从事地球探测与信息技术、遥感地质、遥感土地生态评价等方面的研究。Email: 1186549418@qq.com。

forces – pressure – state – impact – responses, DPSIR) 模型,取得了较好的效果;2020 年邹炎平等^[6]分别采用非期望产出导向和生态低效率 2 种模型,研究了 2016 年全国 30 个省(区市)的生态环境效率、生态无效效率和产出改进;2020 年王毅等^[7]以河西走廊 5 个地级市为研究区,根据当地实际情况,基于 PSR – EES 模型构建了一套生态安全评价指标体系,选用综合指数法计算了研究区 2008—2017 年间的生态安全动态值。

综合指数法是一种重要的数学模型,也是土地生态质量评价中运用最多的土地生态质量评价模型^[8–12]。理想点法是综合指数方法之一,本文将理想点法应用于广安市土地生态质量评价,以生态本底、生态结构、生态效益、生态胁迫 4 个准则层的 14 个评价指标建立评价指标体系;用德尔菲法(主观法)和熵权法(客观法)计算各个评价指标的权重值,利用主成分分析法对主控因子进行提取,并对理想点各生态等级面积变化与主控因子之间的关系进行分析,旨在整体掌握广安市 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年土地生态质量各生态等级的分布与主控因子之间的关系,为土地整治部门提出土地生态质量监管决策依据和技术支持。

1 研究区概况和数据源

1.1 研究区概况

广安市位于四川省中部的丘陵区 and 东部的平行岭谷区之间,地理范围在 E105°56′ ~ 107°19′, N30°01′ ~ 30°52′ 之间。丘陵地貌为主,高程为 400 ~ 1 500 m;处于亚热带季风区域,气候温暖、降水充沛;湖泊和河流较多,物产较丰富,植物多为亚热带常绿阔叶林。广安市中部的渠江、西南部的嘉陵江均为长江的支流,NE – SE 向的华蓥山、铜锣山、明月山大体呈平行状排列于广安市东部。广安市土地面积为 6 339. 22 km²,由 1 市、3 县、2 区组成(图 1);2017 年的总人口为 464. 7 万,2018 年国民生产总值(gross domestic product, GDP)为 1 250. 2 亿元。广安市为国家级园林城市,生态环境整体较好。其整体生态结构是,森林和湖泊主要分布在西部、北部东和南部地区,为土地生态质量较高的面状区域;分布于中部的渠江和西南部的嘉陵江及邻近区域为土地生态质量较高的线状区域;基本农田和经济林区域是土地生态质量良好的面状区域;建设用地占

比较高的城镇及邻近区域是土地生态质量中低的面状区域。

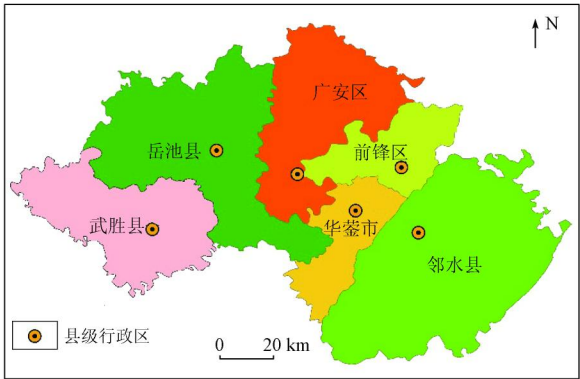


图 1 广安市行政图

Fig. 1 Administrative map of Guang'an City

1.2 数据源及其预处理

本文从地理空间数据云、美国国家海洋和大气管理局夜间灯光数据网站(<http://www.class.ngdc.noaa.gov/>)、资源环境数据云平台、全球变化科学研究数据出版系统等网站下载了遥感、地形、气温、降水、夜间灯光、GDP、人口、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、植被初级总生产力(gross primary productivity, GPP)等相关数据。

遥感数据来自地理空间数据云网站,从该网站下载了 2000 年、2005 年和 2010 年的 Landsat5 以及 2015 年 Landsat8 卫星共计 4 个时相的 8 景遥感影像。Landsat5 数据级别为 Level 1T,经过了辐射校正以及有地面控制点的几何纠正。Landsat8 数据也是 Level 1T 级产品,该产品经过了地形校正和辐射校正以及几何纠正。本文在此基础上进行了 Flaash 大气校正、镶嵌、裁剪等预处理。

本研究对遥感影像提取了分形纹理、颜色、植被指数、水体指数、裸地指数、建筑物指数等地物特征,并结合支持向量机模型进行了土地利用分类,并统计了各时相、各土地利用类型的面积占比。各年份土地利用类型占比和分布情况如表 1 和图 2 所示。

表 1 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年
各土地利用类型占比

Tab. 1 Proportion of land use types in
2000, 2005, 2010 and 2015 (%)

年份	森林	草地	水体	荒地	建设用地
2000 年	79.07	6.68	2.55	9.75	1.95
2005 年	82.99	0.26	3.56	11.43	1.76
2010 年	79.33	8.65	2.75	6.42	2.85
2015 年	85.79	4.44	4.39	1.84	3.54

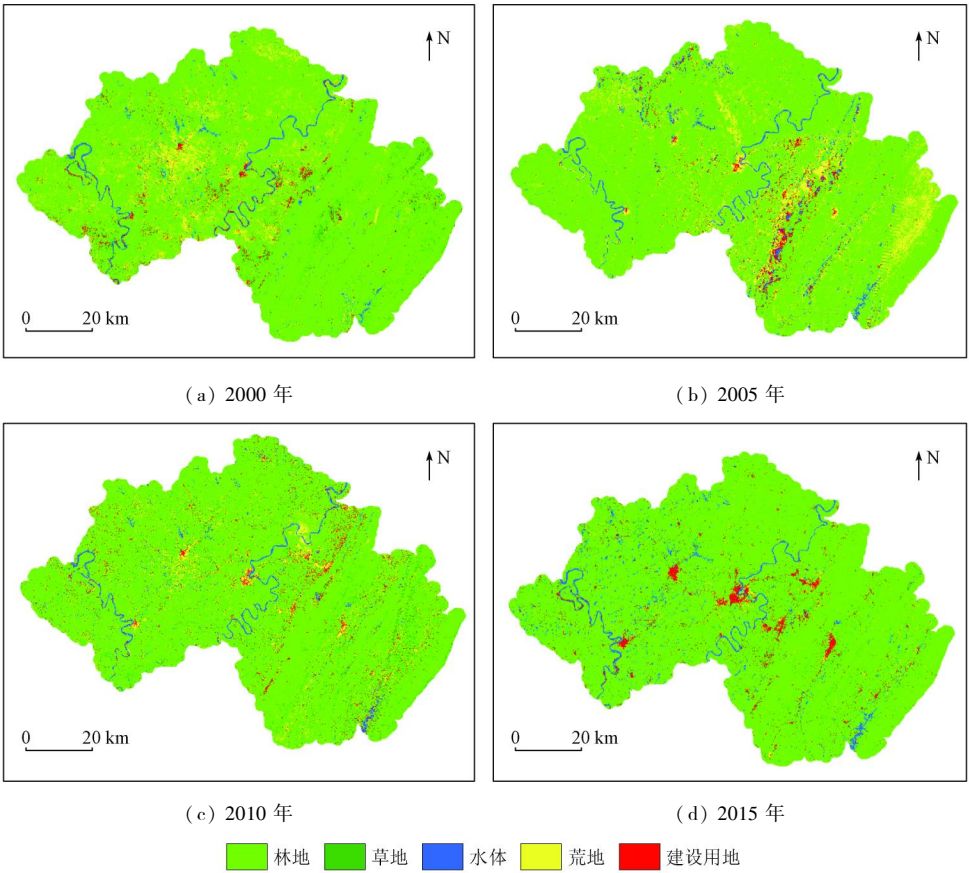


图 2 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年研究区土地分类

Fig. 2 The land classification map of the study area in 2000, 2005, 2010 and 2015

选用公里格网作为评价单元,评价指标导入公里网的步骤为:①用 ArcGIS10.3 软件的 FISHNET 工具模块创建广安市范围的尺寸为 1 km × 1 km 的公里格网;②将土地分类数据赋值到各公里格网的属性数据中;③将地形、人口、GDP、夜间灯光、气温、NDVI、降水、GPP、土地利用分类等数据赋值到各公里格网的属性数据中。

2 研究方法

2.1 评价指标选择

本文综合考虑广安市的实际情况,以广安市面临的主要生态问题为导向,基于土地生态学等相关理论,对各类评价指标进行筛选,建立了包括生态本底、生态结构、生态效益和生态胁迫 4 个准则层的共计 14 个评价指标组成的遥感评价指标体系,如表 2 所示。

表 2 土地生态质量遥感评价指标体系	
Tab.2 Remote sensing evaluation index system for land ecological quality	
准则层	评价指标
生态本底	年均降水量、年均气温、植被指数、GPP、地形
生态结构	林地占比、草地占比、水体占比、裸地占比、建设用地占比
生态效益	生态服务价值
生态胁迫	GDP、人口密度、夜间灯光

2.2 主客观赋权重

关于评价指标权重值的计算方法有多种,主要分为主观法和客观法 2 大类:①德尔菲法^[13] (Delphi method) 是一种专家意见法和主观赋权方法,也是一种综合各位专家的经验、主观意见的综合赋权法;②熵权法是一种客观赋权法,其中的“熵”的概念是由德国物理学家克劳修斯于 1865 年提出的^[14],主要反映物理能量在空间中分布的均匀度,能量分布越均匀,熵值就越高,而信息熵的概念出现较晚,最早于 1945 年由 Shannon 等人引入到信息论中,最初主要用于描述源信号的不确定性^[15]。

本文采用主客观法结合的方法计算各评价指标的权值,该方法避免了主观或客观单一赋权法的片面性,综合了主客观 2 种方法的优点。主客观结合法计算权重 W_i 的公式为:

$$W_i = \alpha U_i + \beta V_i \quad , \quad (1)$$

式中: U 为德尔菲法计算的权重值; V 为熵权法计算的权重值; i 为评价指标的序号; α 和 β 分别为主观法和客观法的组合系数, α 和 β 的约束条件为 $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ 。

2.3 理想点法土地生态质量等级划分

目前,综合指数法模型是土地生态质量评价中应

用最多的数学评价模型^[4],具有计算精简、信息损耗小、评价指标纵向与横向的对比分析方便等优势。理想点法属于综合指数法模型评价方法之一,是一种实用性很强的多指标数学建模方法,具体算法为:

1)建立决策矩阵(公里网格属性表)。假设评价单元数为*i*,评价指标数为*j*,经过评价指标数据标准化处理,可以建立多属性(多指标标准化值)的决策矩阵 **A**,即

$$A = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \cdots & \ddots & \cdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中:*r_{mn}*为第*m*个评价单元中第*n*个评价指标的标准化值。

2)构建*N*维欧氏空间中一个理想值点和一个评价点,使得理想点向量各分量取值都为1。评价点向量中,正向指标和负向指标的计算公式分别为:

$$X' = \frac{X_{\text{正}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}, \quad (3)$$

$$X' = 1 - \frac{X_{\text{负}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}. \quad (4)$$

因为在步骤1)中,各项评价指标数据都经过了标准化处理,正、负向指标的标准化值都分布于[0,1]区间;经过负向指标计算后,负向指标就变成了正向指标,可以将正负指标的理想值都赋值为1,从而减少模型的运算量。

3)根据上述主客观赋权法,计算各评价单元中每项评价指标的加权值,获得评价向量;最后计算评价向量和理想点向量之间的欧式距离,计算公式为:

$$D = \sqrt{\sum_{j=1}^m (1 - V_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \cdots, n), \quad (5)$$

式中:*D*为欧式距离值;*V_{ij}*为第*i*个评价单元中第*j*个评价指标的加权值。

4)根据步骤3)计算得到的各个评价单元的欧式距离,应用自然断点法对各评价单元进行生态等级划分。

理想点法在多指标综合评价应用中,对评价单元和评价指标的数量都没有限制,并便于对评价内容进行纵向和横向比较,故应用范围较广。通过步骤2)和3)对传统理想点评价模型的改进,使得改进后的理想点模型计算效率得到了提高,也更能描述土地生态质量评价指标的生态本底、生态结构、生态效益和生态胁迫4个准则层对土地生态质量的影响,可以使生态评价更加准确。

2.4 主控因子分析

本文应用主成分分析法提取土地生态质量主控因子。主成分分析法是一种用于数据降维的统计方法,其算法为:①进行空间变换(正交变换);②将原来相关的随机向量分量转成新的无关的随机向量分量,如果从线性代数的角度来理解,是将协方差矩阵转变成对角形矩阵,如果从立体几何角度来理解,是对坐标系进行正交变换,用新坐标系中的新随机向量代表样本点最分散(即方差最大)的*N*个正交方向,实现数据降维,从而获得精度较高的低维系统;③通过创建价值函数将低维变量系统转换成一维变量系统^[16]。

主成分分析法能将多变量系统转变成数量较少的新变量系统,这较少的几个新变量包含原来多变量系统的绝大部分信息量。土地生态质量评价系统也是多变量(评价指标)系统,采用主成分分析法可以将这个多变量系统通过正交变换转成少数几个变量组成的系统,而这个少数变量的系统也包含了原土地生态质量多个评价指标的绝大部分信息。主成分分析法在进行正交变换后,形成相互独立的主成分,消除了多个评价指标间的关联度。主成分分析法中各主成分的贡献率权数代表该主成分包含的信息量在原来全部信息总量中的占比,而贡献率权数是客观的、数据驱动的。

3 结果与讨论

3.1 土地生态质量理想点等级划分

本文应用 MATLAB 2016a 软件编程实现了各评价单元理想点值(土地生态质量评价值)的计算;然后利用 ArcGIS10.3 软件中的自然断点法,对各公里网格的理想点值进行了等级划分。广安市范围内共有 7 012 个评价单元,将各评价单元的理想点值按自然断点法由低到高划分第 1 级(较差)、第 2 级(一般)、第 3 级(中等)、第 4 级(良好)、第 5 级(优秀)等 5 个生态质量等级。4 个时相的土地生态质量理想点等级如图 3 所示。本文获取了 4 个时相各等级评价单元数量的占比情况,如表 3 所示。从图 3 和表 3 可以看出,广安市各年份、各生态等级的面积占比大部分集中在第 2 级和第 3 级,各年份第 2 级和第 3 级面积之和占比都在 90% 左右;各年份第 5 级面积占比都较小,都不到 1%。第 2 级与第 3 级面积占比情况大致呈负相关,2000—2005 年第 2 级面积占比有一定幅度上升,2005—2010 年下降较大,而 2010—2015 年有较小幅度的下降,第 3 级与第 2 级变化趋势相反;2000—2005 年第 4 级占比有

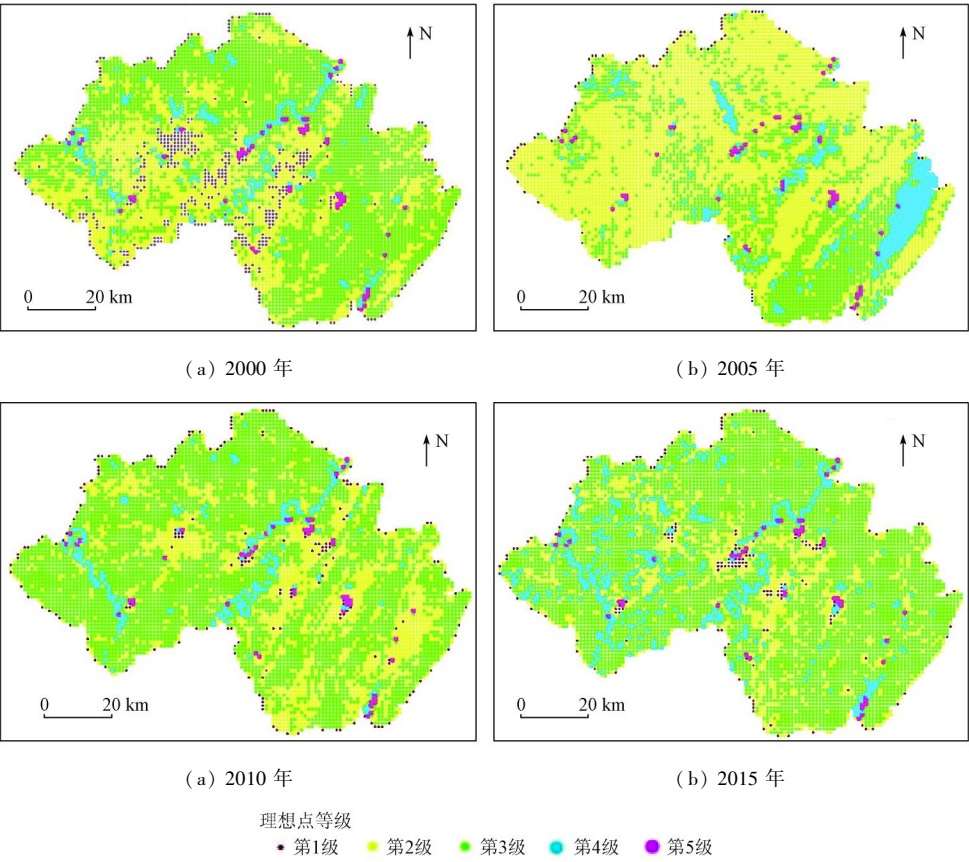


图 3 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年理想点等级

Fig. 3 Grade map of ideal points in 2000, 2005, 2010 and 2015

表 3 4 个时相各生态等级评价单元数量占比

Tab. 3 Proportion of evaluation units of each ecological level in 4 phases (%)				
生态等级	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
第 1 级	7. 07	1. 25	2. 76	2. 61
第 2 级	33. 79	56. 52	28. 60	17. 04
第 3 级	54. 84	34. 74	64. 59	72. 41
第 4 级	3. 42	6. 61	3. 22	7. 13
第 5 级	0. 81	0. 83	0. 76	0. 71

较大幅度上升,而 2005—2010 年有较大幅度下降,2010—2015 年又有小幅上升;第 1 级和第 4 级面积占比大致呈负相关。总体上,第 3 级面积占比在各等级中最大,而第 3 级面积占比总体上呈上升趋势,因而广安市 2000—2015 年间土地生态质量有所提高,这是当地土地整治部门决策正确、监管有效的有力证明。

3.2 主控因子分析

本文应用 SPSS22 软件中的主成分分析功能,提取了广安市 4 个时相土地生态质量的主控因子。具体实现步骤是:将广安市各时相的各评价单元所对应的由多评价指标标准化值建立的决策矩阵导入 SPSS22 软件,阈值设定为 1,表示将主成分分析法结果中方差大于 1 的向量设定为主成分;最后将前几个主成分向量中分值最高的位置对应的评价指标(因子)设定为主控因子。2000 年、2005 年、2010 年

和 2015 年时相的主控因子见表 4—表 7,其中成分顺序为第 1 主成分向量中按照值的大小排序;加粗因子为该主成分分量中分值最高的因子;主控因子中(+)表示正向因子,(-)表示负向因子。

表 4 2000 年主控因子
Tab. 4 Main control factors in 2000

主控因子	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
地形 (-)	-0.308 07	-0.026 89	-0.342 47
人口 (-)	-0.520 77	-0.338 18	-0.716 06
GDP (-)	-0.424 16	-0.243 47	-0.569 85
灯光 (-)	-0.329 16	-0.154 92	-0.482 63
气温 (+)	0.595 20	0.562 66	0.544 18
NDVI (+)	0.433 00	0.306 73	-0.123 04
降水 (+)	0.482 34	0.426 82	0.288 68
GPP (+)	-0.844 80	-0.569 17	-1.084 96
林地占比 (+)	2.955 60	-0.599 57	-0.172 50
草地占比 (+)	-0.600 23	0.175 69	-0.762 56
水体占比 (+)	-0.695 58	-1.952 64	2.563 03
荒地占比 (+)	-0.399 69	2.579 52	1.348 87
建筑用地占比 (-)	-0.343 67	-0.166 58	-0.490 69

表 5 2005 年主控因子
Tab. 5 Main control factors in 2005

主控因子	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
地形 (-)	0.336 04	-0.333 25	1.884 00
人口 (-)	-0.336 63	-0.240 46	0.412 78

(续表)

主控因子	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
GDP(-)	0.215 26	-0.319 19	1.442 95
灯光(-)	-0.071 25	-0.289 97	0.836 87
气温(+)	2.581 45	-0.147 24	-0.860 66
NDVI(+)	-0.394 08	-0.349 28	0.012 99
降水(+)	1.390 53	-0.139 22	-0.949 99
GPP(+)	-0.883 23	-0.240 13	-1.551 93
林地占比(+)	-0.211 71	0.464 05	0.333 61
草地占比(+)	-0.862 01	-0.087 26	-0.959 10
水体占占比(+)	-0.892 80	-0.247 32	-0.530 70
荒地占比(+)	-0.100 58	3.297 76	0.220 05
建筑用地占比(-)	-0.770 99	-0.263 21	-0.290 85

表 6 2010 年主控因子

Tab.6 Main control factors in 2010

主控因子	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
地形(-)	-0.315 20	-0.063 57	-0.386 22
人口(-)	-0.521 95	-0.052 42	-0.896 30
GDP(-)	-0.433 11	-0.07 549	-0.723 02
灯光(-)	-0.295 67	-0.061 55	-0.671 06
气温(+)	0.585 50	-0.244 60	0.996 77
NDVI(+)	0.602 72	-0.446 48	0.634 94
降水(+)	0.491 46	-0.276 41	0.736 05
GPP(+)	-0.849 94	0.093 58	-1.650 53
林地占比(+)	2.906 75	0.445 09	-0.69 235
草地占比(+)	-0.503 90	-1.160 84	0.437 99
水体占比(+)	-0.682 32	2.986 16	1.131 55
荒地占比(+)	-0.614 83	-1.083 00	1.739 95
建筑用地占比(-)	-0.369 50	-0.060 47	-0.657 77

表 7 2015 年主控因子

Tab.7 Main control factors in 2015

主控因子	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
地形(-)	-0.302 46	-0.247 35	0.037 47
人口(-)	-0.443 68	-0.416 52	0.302 54
GDP(-)	-0.378 95	-0.363 77	0.244 99
灯光(-)	-0.268 11	-0.317 80	0.584 07
气温(+)	0.532 44	0.156 52	-1.461 93
NDVI(+)	0.513 35	-0.067 13	-0.423 64
降水(+)	0.493 81	0.029 23	-1.366 81
GPP(+)	-0.804 23	-0.539 67	1.890 78
林地占比(+)	2.937 22	-0.105 74	0.921 57
草地占比(+)	-0.719 98	-0.533 02	0.016 33
水体占比(+)	-0.477 37	3.247 15	0.346 06
荒地占比(+)	-0.764 16	-0.513 73	-1.589 99
建筑用地占比(-)	-0.317 88	-0.328 19	0.498 56

根据表 4—7,取前 3 个主成分中各自的最大值所对应的评价指标作为主控因子。2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年主控因子如表 8 所示。

表 8 2000、2005、2010 和 2015 年主控因子

Tab.8 Main control factors in 2000, 2005, 2010 and 2015

年份	主控因子 1	主控因子 2	主控因子 3
2000 年	林地占比	荒地占比	水体占比
2005 年	气温	荒地占比	地形
2010 年	林地占比	水体占比	荒地占比
2015 年	林地占比	水体占比	GPP

从表 8 中的各年份主控因子可以看出,除 2005 年的第一主控因子为气温,其他年份的第一主控因子都是林地占比,这说明从长远来看,林地占比是该地区最重要的土地生态质量主控因子。根据本文数据预处理结果,2005 年气温比 2000 年有所升高,结合表 3 可以得知,随着 2005 年气温的升高,生态质量第 3 级面积占比也同时提高,这说明气温与第 3 级(土地生态质量中等)面积占比呈正相关,由于第 3 级是最大面积占比等级,第 3 级面积占比的提高也代表了整体土地生态质量的提高,因而总体上气温与土地生态质量呈正相关。总之,林地占比和气温是对广安市土地生态质量重要的主控因子,林地占比和气温都与土地生态质量呈正相关。

4 结 论

本文以四川省广安市为研究区,依据土地生态学等相关理论,结合广安市的实际情况构建了相应的土地生态质量评价指标体系,基于理想点法的遥感评价模型对 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年的土地生态质量进行了综合分析和评价,得到以下结论:

- 1)土地生态总体质量有上升趋势;林地占比、温度为土地生态质量最重要的主控因子,温度、林地占比都和土地生态质量呈正相关。
- 2)提出采用主客观结合法计算各土地生态评价指标权值,避免了单纯主观或客观赋权的片面性,提高了计算评价指标权重的准确程度。
- 3)对传统的理想点模型进行改进,设置所有评价指标的理想值为 1,然后计算评价指标向量到理想点向量(全为 1)的欧氏空间距离,减少了土地生态质量评价模型的运算量,提高了工作效率。
- 4)通过本文的研究为广安市土地整治部门提供了技术支持和决策依据。在未来研究中,将进一步完善评价指标数量和种类,同时在景观生态模型方面上将开展评价模型的进一步研究。

参考文献(References):

[1] Pieri C,Dumanski J,Hamblin A,et al. Land quality indicators[J]. World Bank Discussion Papers,1995,81(2):81.

[2] Messing I,Fagerström M,Chen L D,et al. Criteria for land suitability evaluation in a small catchment on the Loess Plateau in China [J]. Catena,2003,51(12):215-234.

[3] 张军以,苏维钧,张凤太. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J]. 中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.

Zhang J Y,Su W C,Zhang F T. Evaluation of land ecological secu-

rity in the Three Gorges Reservoir ecological economic zone based on PSR model[J]. China Environmental Science, 2011, 31(6): 1039 – 1044.

[4] Paracchini M L, Pacini C, Jones M L M, et al. Aggregation framework to link indicators associated with multifunctional land use to the stakeholder: Evaluation of options[J]. Ecological Indicators, 2011, 1(1): 71 – 80.

[5] 巩 芳, 陈宝新. 基于 DPSIR 模型的草原生态补偿效果综合评价研究——以内蒙古为例[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(5): 1 – 6.

Gong F, Chen B X. Research on comprehensive evaluation of grass-land ecological compensation based on DPSIR model: Taking Inner Mongolia as an example[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Social Science Edition), 2019, 21(5): 1 – 6.

[6] 邹炎平, 朱 达, 陈维国, 等. 基于 DEA 模型下中国各区域环境效率和生态无效效率评价[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2020, 42(1): 12 – 19, 26.

Zou Y P, Zhu D, Chen W G, et al. Evaluation of environmental efficiency and ecological inefficiency of various regions in China based on DEA model[J]. Journal of Hubei University (Natural Science Edition), 2020, 42(1): 12 – 19, 26.

[7] 王 毅, 魏江超, 孙启元, 等. 基于 ARIMA – ANN 模型的生态安全评价及预测——以河西走廊城市群为例[J]. 生态学杂志, 2020, 39(1): 326 – 336.

Wang Y, Wei J C, Sun Q Y, et al. Evaluation and prediction of ecological security based on ARIMA – ANN model: Taking Hexi Corridor urban agglomeration as an example[J]. Journal of Ecology, 2020, 39(1): 326 – 336.

[8] 冯文斌, 李升峰. 江苏省土地生态安全评价研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 285 – 290.

Feng W B, Li S F. Research on evaluation of land ecological security in Jiangsu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(2): 285 – 290.

[9] 李 玲, 侯淑涛, 赵 悦, 等. 基于 P – S – R 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.

Li L, Hou S T, Zhao Y, et al. Evaluation and prediction of land ecological security in Henan Province based on P – S – R model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(1): 188 – 192.

[10] 李迎迎, 杨朝现, 信桂新, 等. 土地生态安全动态变化研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(11): 189 – 195.

Li Y Y, Yang C X, Xin G X, et al. Research on the dynamic changes of land ecological security[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2014, 39(11): 189 – 195.

[11] 卢立峰, 严力蛟. 县域土地生态安全评价——以四川省丹棱县为例[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(3): 295 – 300.

Lu L F, Yan L J. Evaluation of land ecological security in county areas: Taking Danling County, Sichuan Province as an example[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2013, 29(3): 295 – 300.

[12] 戴 靓, 姚新春, 周生路, 等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 249 – 257.

Dai L, Yao X C, Zhou S L, et al. Evaluation of the ecological status of land in Jintan City, an economically developed area of the Yangtze River Delta[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(8): 249 – 257.

[13] 于 勇, 周大迈, 王 红, 等. 土地资源评价方法及评价因素权重的确定探析[J]. 中国生态农业学报, 2006(2): 213 – 215.

Yu Y, Zhou D M, Wang H, et al. Analysis of land resource evaluation method and determination of evaluation factor weight[J]. Chinese Journal of Eco – Agriculture, 2006(2): 213 – 215.

[14] 郭岐峰, 王清礼, 蓝鸿第. 生态系统熵的初步研究[J]. 辽宁气象, 1992(4): 9 – 10.

Guo Q F, Wang Q L, Lan H D. Preliminary research on ecosystem entropy[J]. Liaoning Meteorology, 1992(4): 9 – 10.

[15] 王清源, 潘旭海. 熵权法在重大危险源应急救援评估中的应用[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2011, 33(3): 87 – 92.

Wang Q Y, Pan X H. Application of entropy weight method in emergency rescue assessment of major hazard sources[J]. Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition), 2011, 33(3): 87 – 92.

[16] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316 – 322.

Huang H L, Luo W B, Wu C F, et al. Evaluation of land ecological security based on matter element analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(3): 316 – 322.

A study of remote sensing evaluation model and main controlling factors of land ecological quality: A case study of Guang’ an City

CHEN Zhen, XIA Xueqi, CHEN Jianping
(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to scientifically evaluate the ecological quality of the land and effectively identify the main controlling factors of the land ecology, the authors established a remote sensing evaluation model based on ideal points in Guang’ an which served as a research area, evaluated the ecological quality of the land in Guang’ an in 2000, 2005, 2010 and 2015, and analyzed the main controlling factors. A kilometer grid was used as the evaluation unit. The evaluation index system was constructed based on the fourteen evaluation criteria in the four

criterion layers , i. e. , ecological background , ecological structure , ecological benefits and ecological stress . The evaluation index system was constructed by applying Delphi method and entropy weight method . The weight value of each evaluation index and the ideal point values were calculated by using the ideal point model , and the ideal point level was divided . The principal factor analysis method was used to obtain the main control factors of each year , and then the relationship between the spatial distribution of the ideal point level and the environmental impact factor was performed . Through research , the authors obtained the overall upward trend of land ecological quality in Guang ' an City . It is shown that the proportion of land ecological quality at various levels of area and spatial distribution and the proportion of forest land area and temperature factor are the most important main control factors , and the proportion of woodland and the temperature are positively related to the land ecological quality . After analysis , the suggestions on land ecological quality supervision in Guang ' an City are put forward . which can provide references for land ecological quality supervision in other areas .

Keywords: land ecological quality ; ecological evaluation index ; ideal point model ; main controlling factor ; principal component analysis

(责任编辑: 张 仙)