DOI: 10.5846/stxb201805051004
马永强,石云,郝姗姗,赵金涛.黄土丘陵区土地覆盖和生物多样性功能演化及预测.生态学报,2019,39(8): - .
Ma Y Q, Shi Y, Hao S S, Zhao J T.Evolution and prediction of land cover and biodiversity function in Loess Hilly Region.Acta Ecologica Sinica,2019,39(8): - .

黄土丘陵区土地覆盖和生物多样性功能演化及预测

马永强[1],石 云[1,2,*],郝姗姗[1],赵金涛[1]
1 宁夏大学资源环境学院,银川 750021
2 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控实验室,银川 750021

摘要:为探究黄土丘陵区土地覆盖和生物多样性功能演化,评价生物多样性保护视角下的最优生境,研究以宁夏彭阳县为研究区,1995、2000、2005、2010、2015 年的 Landsat TM 影像为基础数据,集成 3S 技术获取土地覆盖时空动态变化特征,采用陷阱法于 2012 和 2013 年 6—8 月在研究区灌草混交林地、乔灌混交林地等 6 种不同生境内采集地表甲虫样本数据,利用 InVEST-Habitate Quality 模型评价生物多样性功能,结合采样数据探究最佳生境,借助 CA-Marcov 模型模拟研究区 2020 年土地覆盖及生物多样性功能。研究结果表明:(1)1995—2015 年彭阳县土地覆盖及生物多样性功能发生显著变化,未利用地减少,城镇用地快速扩张,生境中天然封育草地和水平农田地变化明显,研究期间生物多样性功能经历了退化-优化的转变,2015 年最佳;(2)模拟 2020 年土地覆盖中的水平农田地、城镇用地等较 2015 年有显著变化,生物多样性功能提高;(3)灌草混交林地是彭阳县生物多样性功能保护的最优生境,生境中固有的“88542”水平沟整地措施可作为当地典型生态恢复的最优模式;(4)InVEST 模型和 CA-Markov 模型综合利用,普适性及准确性较好,研究区水平沟、鱼鳞坑、“88542”等水土保持工程和退耕还林还草、生态功能区划等生态恢复策略的实施和建设成效显著。

关键词:黄土丘陵区;土地覆盖;生物多样性功能;InVEST;GeoSOS

Evolution and prediction of land cover and biodiversity function in Loess Hilly Region

MA Yongqiang[1], SHI Yun[1,2,*], HAO Shanshan[1], ZHAO Jintao[1]
1 *College of Resources and Environmental Science, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *China*
2 *Ningxia (China-Arab) Laboratory of Resources Evaluation and Environmental Regulation in Arid Regions, Yinchuan*, 750021, *China*

Abstract: This study was conducted explore the evolution of land cover and biodiversity function in the Loess Hilly Region, evaluate the optimal habitat under the perspective of biodiversity conservation, using Pengyang County of Ningxia as the research area, by using Landsat TM images of every 5 years from 1995 to 2015 as the basic data. The 3S technology was used to integrate the characteristics of spatio-temporal dynamics of land cover. From June to August of 2012 and 2013, sample data of ground beetles were collected in 6 different habitats, such as mixed forestland of shrub and grass and mixed forestland of arbor and shrub using the trapping method. The biodiversity function was evaluated using the InVEST-Habitat Quality model, and the best habitat was explored using sampling data. Moreover, land cover and biodiversity function in 2020 were predicted using the CA-Markov model. The result showed that: (1) The land cover and biological diversity of Pengyang County changed significantly from 1995 to 2015, unused land area decreased, urban land rapidly expanded, and natural enclosed grassland and horizontal farmland in the habitat clearly changed; biodiversity function transformed from degradation to optimization during the study period, from which the best biodiversity function was observed in 2015. (2)

基金项目:国家自然科学基金项目(41161081);宁夏自然科学基金项目(NZ16027);宁夏高校基金(NGY2016017)
收稿日期:2018-05-05; **网络出版日期**:2018-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: shiysky@163.com

Compared to 2015, we predicted that the horizontal farmland and urban land of land cover significantly changed in 2020 and the biodiversity function rapidly improved. (3) The mixed forestland of shrub and grass was the best habitat for biodiversity conservation of Pengyang County. The traditional "88542" horizontal ditch of land preparation measure in the habitat may be the best model for ecological restoration in the local area. (4) We observed good universality and high accuracy by utilizing the InVEST model and CA-Markov model, respectively; The implementation and construction of not only soil and water conservation projects, including horizontal ditch, fish scale pit, and "88542," but also ecological restoration strategies such as returning farmland to forest and grass and ecological function zoning are very important and will show remarkable results.

Key Words: loess hilly area; land cover; biodiversity function; InVEST; GeoSOS

土地覆盖的动态变化对区域景观格局有重要的影响,直接改变维持生物多样性生存和发展的栖息环境[1],研究表明,生物多样性能够在不同空间尺度上促进生态系统服务功能的发挥[2],因此研究土地覆盖与生物多样性功能演化和预测已成为国内外生态学研究的热点[3]。

目前对于生物多样性功能研究使用较多的是由美国斯坦福大学、大自然保护协会(TNC)和世界自然基金会(WWF)联合开发的 InVEST 模型的 Habitat Quality 模块,该模型具有简单便捷、操作灵活、输出结果具有较强空间表达能力等特点,被广泛应用于社会各部门生态系统管理决策中[4-6]。Habitat Quality 模块假设生境质量越好的区域,生物多样性更高,被广泛应用和推广[7]。以土地覆盖与生物多样性功能已发生时空变化结果为基础,预测和模拟未来特征变化有利于区域规划和政府决策。常见的预测土地覆盖变化的模型有:最优化模型、随机模型、元胞自动机等,其中 CA-Markov 模型具备 Markov 长期预测和元胞自动机(CA, Cellular Automaton)模拟复杂系统空间变化的双重优势,可以从不同时空尺度模拟土地覆盖的变化情况,提高预测精度,有效地模拟景观格局的空间变化[8-9]。

昆虫是自然界中物种丰富度和数量最丰富的种群,多生存在空间尺度小、生物多样性高的生境内。地表甲虫是生态环境和气候变化的敏感物种,对不同环境的适应能力强,广泛分布于各生境中,常被作为监测和评价空间异质性及生物多样性结构变化的指示器[9-10]。近年来针对地表甲虫群落多样性的成果很多,主要集中在森林、湿地、农田等[11-14],对于生态脆弱的黄土丘陵水土流失区则少有研究[15]。相关学者从生态系统服务功能、生物多样性保护及景观认知等角度对生物多样性与生态环境之间的关系进行了研究[16-17],这些研究大多考虑物种分布及生境间的空间分异性,忽略了物种繁衍及生态过程可持续发展的需求,弱化了土地覆盖和生物多样性功能演化的关系。采用地表甲虫物种丰富度和个体数量的空间异质性特征探寻区域最优生境,掌握土地覆盖和生物多样性功能演化及预测信息,判别最优生境演化趋势,可为生物多样性保护和生态环境重建提供科学的理论依据和决策支持[18-19]。

黄土丘陵区生态环境脆弱,空间异质性强,复杂的地貌单元对区域土壤和植被生长有显著影响[20-21],随着人为设计与干扰的生态恢复举措实施,植被恢复、生态功能得到改善,退化生态系统中生物多样性提高。研究选择具有典型黄土丘陵区特征的宁夏彭阳县为研究区,以不同生境地表甲虫物种丰富度和个体数量特征探究生物多样性保护视角下的最优生境。集成 3S 技术、InVEST 模型和 CA-Marcov 模型获取多时相的土地覆盖及生物多样性功能时空变化信息,预测未来演变趋势及空间分布,分析最优生境演化趋势,为当地生态恢复和生物多样性保护提供科学的理论依据和导向。

1 研究区概况

彭阳县地处黄土高原,位于宁夏东南部边缘,总面积 2528.7 km^2。地形分为北部黄土丘陵区、中部河谷残塬区和西南部土石质山区 3 个自然类型,地势西北高,东南低,呈波状倾斜,具有黄土丘陵区的典型特征,境内黄土堆积厚度大,结构疏松,水土流失严重,是中国水土流失治理的重点县。

2　研究方法

2.1　遥感影像处理

以 1995、2000、2005、2010、2015 年宁夏彭阳县 Landsat TM 遥感影像为基础数据(表 1),结合野外调查数据,在 ENVI 和 ArcGIS 等软件平台的支持下,采用目视判读的方法将研究区分为 6 种生境类型:灌草混交林地、乔灌混交林地、生态薪炭林地、天然封育草地、生态经济林地和水平农田地;生境外的区域主要划分为 5 种土地覆盖类型:城镇用地、农村居民地、水域、未利用地和工矿用地。

表 1　遥感影像信息

Tabel 1　Remote sensing image information

遥感影像 Remote sensing image	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
影像时间 Time of image	8 月 18 日	8 月 30 日	10 月 24 日	9 月 11 日	10 月 19 日
影像类型 Type of image	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 7	Landsat 8	Landsat 8

2.2　野外数据获取及分析

2.2.1　地表甲虫样本获取

研究采用巴氏罐诱法采集地表甲虫[22-23],分别在采样区域每个中样方的 4 个拐点各放置 1 个陷阱器, 每个生境设 48 个,样区内共设 288 个,利用 GPS 标记陷阱器位置。每隔 5 天收集一次陷阱器并更换诱掖,采集到的标本存放在 75%酒精内带回实验室鉴定到种,并统计数量。样本采样时间为 2012 年和 2013 年每年 6—8 月,该时间尺度覆盖了彭阳县 90%植被生长季。

2.2.2　物种丰富度及多样性计算

根据地表甲虫个体数占群落总个体数的比例计算地表甲虫的优势度(表 2)。

表 2　地表甲虫优势度划分表

Table 2　Division of beetle dominance

优势度等级 Dominance grade	优势种 Dominant species	亚优势种 Subdominant species	常见种 Common species	少有种 Few species
占比 Proportion	≥20%	10%—20%	0%—10%	<1%

利用不同生境物种丰富度和个体数量获取研究区地表甲虫群落 α 多样性[22];采用 Jaccard 相似性系数分析群落 β 多样性:

$$I = c/(a + b - c) \tag{1}$$

式中,a 和 b 为生境 A 和 B 的物种数;c 为两个群落或生境共有物种数。根据 Jaccard 相似性系数原理,对 I 值划分等级:$0 \leqslant I \leqslant 0.25$, 极不相似;$0.25 < I \leqslant 0.5$, 中等不相似;$0.5 < I \leqslant 0.75$, 中等相似;$0.75 < I \leqslant 1$,极相似[23]。研究采用非参数检验 Kruskal-Wallis 方差和 Tukey 多重比较分析彭阳县不同生境内地表甲虫物种丰富度和个体数量的差异,对环境数据标准化处理(对盖度数据进行反正弦转换后, 再将所有环境数据进行平方根转换)。

2.3　生物多样性功能评价

生境质量是指区域生态系统可为物种生存繁衍提供所需条件的潜力,采用生境质量指数反映,研究选取 InVEST 模型中的 Habitat Quality(生境质量)模块,假设生境质量好的地区,生物多样性高,公式如下:

$$Q_{xj} = H_j\left[1 - \left(\frac{D^z_{xj}}{D^z_{xj} + K^z}\right)\right] \tag{2}$$

式中,Q_{xj}为生境类型(土地覆被)j 中栅格 x 的生境质量; D_{xj}为生境类型(土地覆被) j 中栅格 x 所受胁迫水平; x 为半饱和常数,取 D_{xj}最大值的一半; H_j为生境适合性; z 为归一化常量,取值为 2.5。

生境质量评价函数包含 4 个变量:土地利用/土地覆被图层、胁迫因子图层、胁迫因子表(胁迫强度、最大胁迫距离等)和胁迫因子敏感度表。

研究将土地覆盖类型划分为生境类型和其他用地类型。建设用地是人类活动最显著的特征,研究中作为胁迫因子,咨询专家及参照既有研究确定不同生境类型对胁迫因子敏感性、最大胁迫距离及权重等参数取值[24](表 3 和表 4)。

表 3 生态胁迫因子属性表

Table 3 Attribute table of ecological stress factor

胁迫因子 Stress factor	最大影响距离 Maximum influence distance/km	权重 Weight	距离递减率 Range lapse rate
城镇用地 Urban land	10	1	指数
农村居民地 Rural residential areas	5	0.6	指数
工矿用地 Industrial and mining land	3	0.8	线性

表 4 不同生境类型对不同胁迫因子的敏感度

Table 4 Sensitivity of different habitat types to different stress factors

土地覆盖类型 Land cover types	生境适宜性 Habitat suitability	农村居民地 Rural residential areas	城镇用地 Urban land	工矿用地 Industrial and mining land
乔灌混交林地 Tree and shrub mixed forest land	1	0.8	0.9	0.7
灌草混交林地 Shrub grass mixed forest land	1	0.75	0.9	0.7
天然封育草地 Natural enclosed grassland	1	0.5	0.6	0.45
水平农田地 Horizontal farmland	0.3	0.5	0.35	0.3
未利用地 Unused land	1	0.5	0.6	0.3
生态经济林地 Ecological economic forest land	1	0.8	0.9	0.7
生态薪炭林地 Ecological fuel-wood	1	0.7	0.8	0.6
水域 Waters	0.75	0.9	0.7	0.6
农村居民地 Rural residential areas	0	0	0	0
城镇用地 Urban land	0	0	0	0
工矿用地 Industrial and mining land	0	0	0	0

2.4 生境恢复特征预测

CA 和 Markov 是时间、空间和状态都离散的动力学模型,Markov 模型能够较好的实现数量上的预测,CA 模型可以模拟复杂生态系统时空演化过程,根据土地覆盖的历史演变,二者的结合能精准的模拟和预测未来土地覆盖变化。

CA 模型由 5 个因子构成:离散元胞、元胞空间、有限的状态、领域和规则,如下所述

$$S_{t+1}(U_d,\ S_t,\ N_t,\ f)= \tag{3}$$

式中,S_{t+1},S_t表示 $t+1$,t 时刻元胞状态;U_d表示 d 维的网格单元;N_t表示 t 时刻邻居的状态组合;f 表示转换规则。

Markov 模型计算原理如下

$$S_{t+1}= P_{ij}\ S_t \tag{4}$$

式中,S_t,S_{t+1}表示 t,$t+1$ 时刻土地覆盖系统的状态;P_{ij}为状态转移矩阵。

3 结果

3.1 土地覆盖解译精度

研究通过目视判读解译彭阳县 6 种生境和其他 5 类土地覆盖,借助 ArcGIS 随机选取不同土地覆盖矢量

斑块共计 398 块,通过野外实地验证,解译结果与实际土地覆盖结果正确斑块数为 372 块,正确率为 93.46%,满足本研究需求。

3.2　地表甲虫优势度

研究共采集地表甲虫 4511 号,隶属于 11 科 52 种,去除个体数≤ 3 头的 9 种,用于数据分析的物种共 43 种,其样本数据有以下特点:直角通缘步甲(*Pterostichus gebleri*)为宁夏黄土丘陵区优势种,个体数占总个体数的 29.32%;麻步甲(*Carabus brandti*)和赤胸长步甲(*Dolichus halensis*)为亚优势种,分别占总个体数的 17.41%和 14.45%;小驼嗡蜣螂(*Onthophagus gibbulus*)、星斑虎甲(*Cicindela kaleea*)等 11 种为常见种,合计占总个体数的 31.13%;半猛步甲(*Cymindis daimio*)、中华金星步甲(*Calosoma chinense*)、双顶嗡蜣螂(*O. bivertex*)等 29 种为少有种,合计占总个体数的 7.69%。

3.3　多样性及最优生境

研究发现,各生境间地表甲虫物种丰富度存在显著差异:灌草混交林地>乔灌混交林地>生态薪炭林地>天然封育草地>生态经济林地>水平农田地;灌草混交林地、乔灌混交林地和生态薪炭林地的物种丰富度显著高于天然封育草地、生态经济林地和水平农田地(图 1);灌草混交林地、乔灌混交林地和生态薪炭林地之间, 天然封育草地、生态经济林地和水平农田地之间物种丰富度均没有显著差异。

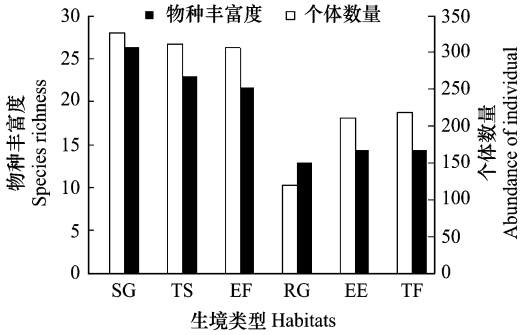

图 1　不同生境地表甲虫物种丰富度和个体数量

Fig. 1　Species richness and individual number of beetles on different habitats

SG,灌草混交林地 Shrub grass mixed forest land; TS, 乔灌混交林地 Tree and shrub mixed forest land; EF,生态薪炭林地 Ecological fuel-wood forest;RG 天然封育草地 Natural enclosed grassland; EE, 生态经济林地 Ecological economic forest; TF, 水平农田地 Level terraced field

各生境间地表甲虫个体数量也存在显著差异:灌草混交林地、乔灌混交林地和生态薪炭林地个体数量显著高于生态经济林地、天然封育草地和水平农田地;生态经济林地和水平农田地显著高于天然封育草地(图 1)。

Jaccard 系数计算结果显示:6 种生境间地表甲虫群落的相似性系数总体上介于 0.39—0.67 之间(表 5)。灌草混交林地、乔灌混交林地与生态薪炭林地三者间,以及生态经济林地与水平农田地间群落相似性较高。生态经济林地和水平农田地与天然封育草地均接近中等相似外(0.52, 0.50),与其他 3 种生境地表甲虫群落组成差异较大。通过对不同生境地表甲虫物种丰富度和个体数量的统计和对比分析,研究表明灌草混交林地是宁夏黄土丘陵区地表甲虫物种多样性维护的最适宜生境,是当地生物多样性保护的最优生境。

表 5　不同生境地表甲虫群落的相似性系数

Table 5　Similarity coefficient of beetle communities in different habitats

	乔灌混交林地 Tree and shrub mixed forest land	生态薪炭林地 Ecological fuel-wood	天然封育草地 Natural enclosed grassland	生态经济林地 Ecological economic forest land	水平农田地 Horizontal farmland
灌草混交林地 Shrub grass mixed forest land	0.63	0.67	0.46	0.39	0.49
乔灌混交林地 Tree and shrub mixed forest land		0.61	0.50	0.44	0.39
生态薪炭林地 Ecological fuel-wood			0.44	0.45	0.42
天然封育草地 Natural enclosed grassland				0.52	0.50
生态经济林地 Ecological economic forest land					0.63

3.4 土地覆盖时空演化

图 2 和表 6 显示彭阳县 1995 年至 2015 年土地覆盖时空分布具有显著变化：

表 6 土地转移变化

Table 6 Change of land transfer

土地覆盖类型	1995 年面积 Area of 1995/km^2	变化量 Change quantity/ km^2	2000 年面积 Area of 2000/km^2	变化量 Change quantity/ km^2	2005 年面积 Area of 2005/km^2	变化量 Change quantity/ km^2	2010 年面积 Area of 2010/km^2	变化量 Change quantity/ km^2	2015 年面积 Area of 2015/km^2
城镇用地 Urban land	0.52	0.28	0.80	0.75	1.55	0.00	1.55	5.59	7.14
灌草混交林地 Shrub grass mixed forest land	60.53	12.93	73.46	1.62	75.08	−9.31	65.77	30.41	96.18
农村居民地 Rural residential areas	3.78	0.95	4.72	0.56	5.28	−0.63	4.65	6.84	11.50
乔灌混交林地 Tree and shrub mixed forest land	7.32	4.31	11.63	0.00	11.63	−0.57	11.06	1.73	12.79
生态经济林地 Ecological economic forest land	3.48	3.27	6.75	0.24	6.99	−0.98	6.01	0.50	6.51
生态薪炭林地 Ecological fuel-wood	23.20	13.71	36.91	0.41	37.33	−7.43	29.89	−0.84	29.05
水平农田地 Horizontal farmland	832.59	372.74	1205.33	−354.85	850.47	−1.88	848.59	−145.13	703.47
水域 Waters	7.76	2.45	10.21	0.72	10.94	−0.94	9.99	1.94	11.93
天然封育草地 Natural enclosed grassland	898.08	−19.95	878.13	618.93	1497.05	29.97	1527.02	103.81	1630.83
未利用地 Unused land	678.06	−390.67	287.39	−268.38	19.02	−8.22	10.79	−5.04	5.75
工矿用地 Industrial and mining land	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0	0.19

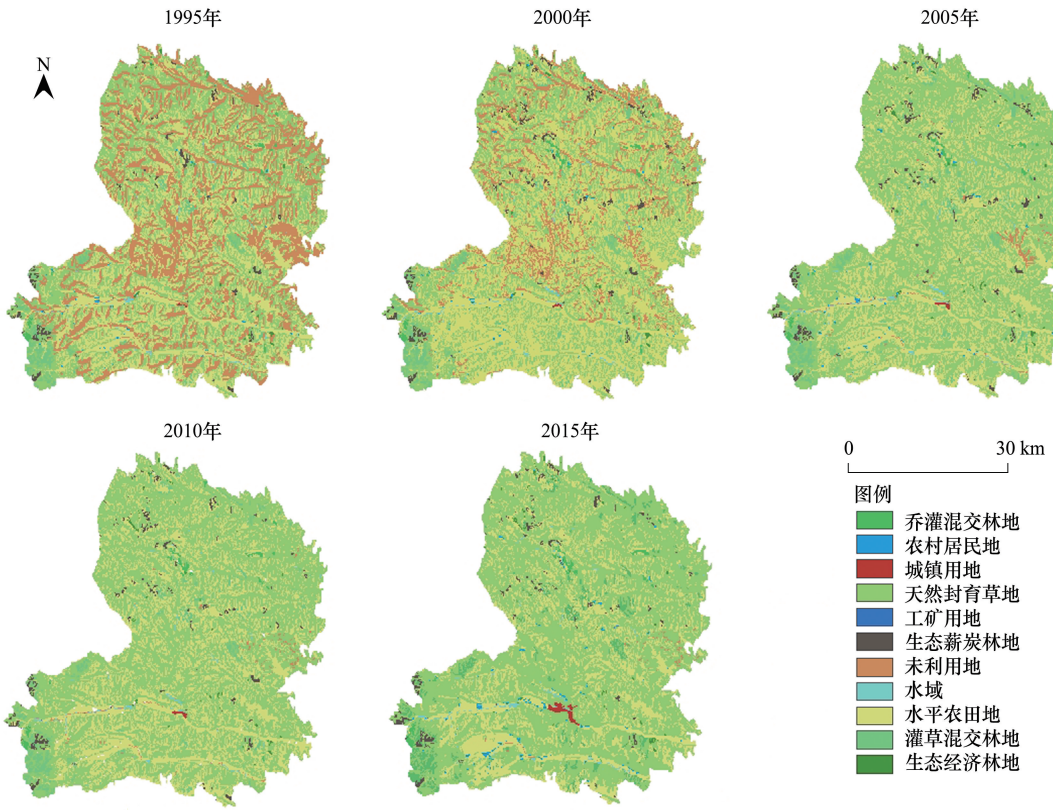

图 2 不同土地覆盖变化图

Fig.2 Different land cover changes

1995—2000 年面积变化最大的为水平农田地和未利用地,分别为 372.74 km^2和-390.67 km^2,转移矩阵关系显示,未利用地和天然封育草地分别向水平农田地转移了 295.95 km^2和 85.55 km^2,生态经济林地和生态薪炭林地土地覆盖变化幅度最大,分别为 94%和 59%;

2000—2005 年面积变化最大的为天然封育草地、水平农田地和未利用地,其面积变化值分别为 618.93、-354.85 km^2和-268.38 km^2,其中天然封育草地变化最明显,增幅为 70%,水平农田地向天然封育草地转移了 340.89 km^2;

2005—2010 年研究区土地覆盖变化相对稳定,面积变化最大的为天然封育草地,增加了 29.97 km^2,变化比例最大的为未利用地,减幅为 43%;

2010—2015 年土地覆盖变化显著,其中水平农田地、天然封育草地面积变化最大,变化量分别为-145.13 km^2和 103.81 km^2,水平农田地向天然封育草地转移面积 169.22 km^2,天然封育草地有 23.78 km^2转为灌草混交林地;该时段灌草混交林地面积增加了 30.41 km^2,增幅为 46%,城镇用地和农村居民点变化面积较小,仅为 5.59 km^2和 6.84 km^2,但是相对变化幅度较大,增幅分别为 362%和 147%。

1995—2015 年土地覆盖面积变化最显著的分别为天然封育草地、未利用地和水平农田地,变化量分别为 732.75、-672.31 km^2和-129.12 km^2;城镇用地和农村居民点变化面积为 6.62 km^2和 7.72 km^2,变化幅度相对较大,分别为 1281%和 204%;作为研究区生物多样性保护最优生境的灌草混交林地面积增加了 35.64 km^2。转移矩阵结果显示,未利用地和水平农田地分别向天然封育草地转移了 648.13 km^2和 169.13 km^2,天然封育草地有 59.74 km^2转变为水平农田地。总体来看,彭阳县土地覆盖表现为城镇急剧扩张、耕地资源减少及生态保护区域范围不断扩大等特征,生境变化整体趋好。

3.5　生物多样性功能演化

研究利用 InVEST 模型评价研究区生物多样性功能,将 5 期生境指数计算结果划分为 4 个等级:0—0.3、0.3—0.6、0.6—0.9 和 0.9—1,分别代表生境质量差、一般、良和优,统计每个等级栅格数及占总栅格数的比值。

结果显示,彭阳县生境质量处于较高水平,主要以优和一般两个等级为主,其中 1995—2000 和 2015 年生境质量等级以优等级为主,2005—2010 年生境质量以一般等级为主,2015 年生境质量整体评价等级最高;1995—2015 年生境质量评价等级为一般和优的变化较明显,变化幅度分别为-7.74%和 7.21%,差和良两个等级的变化较小(表 7)。

空间格局变化结果显示,彭阳县生物多样性功能经历了退化-优化的变化。优等和一般等级生境质量分布范围最广,乡镇中心区域生境质量等级较差,最典型的是县政府所驻地的白阳镇和工矿企业较集中的王洼镇,差等级的区域表现为集中趋势,最后主要集中在白阳镇(图 3)。

表 7　彭阳县生境质量时间格局等级表

Table 7　The time pattern of habitat quality in Pengyang County

生境质量等级 Habitat quality grade	分值区间 Dividing interval	1995 年		2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		栅格比例的变化 Changes in raster proportions
		栅格数 Grid number	所占比例 Proportion/%	栅格数 Grid number	所占比例 Proportion/%	栅格数 Grid number	所占比例 Proportion/%	栅格数 Grid number	所占比例 Proportion/%	栅格数 Grid number	所占比例 Proportion/%	
差 Poor	0—0.3	12874	0.46	24355	0.87	33378	1.19	23138	0.83	21388	0.76	0.30
一般 Common	0.3—0.6	998248	35.70	976187	34.91	1664503	59.52	1697770	60.71	781877	27.96	-7.74
良 Good	0.6—0.9	8127	0.29	5248	0.19	12957	0.46	5197	0.19	14255	0.51	0.22
优 Excellent	0.9—1	1777073	63.55	1790538	64.03	1085490	38.82	1070223	38.27	1978807	70.76	7.21

3.6　生境恢复趋势

采用 CA-Markov 模型预测彭阳县 2020 年土地覆盖变化,用前期数据模拟 2015 年土地覆盖信息与实际对比验证模拟精度,Kappa 系数达到 0.97,模拟精度极高。结果表明,2020 年彭阳县土地覆盖较 2015 年变化平

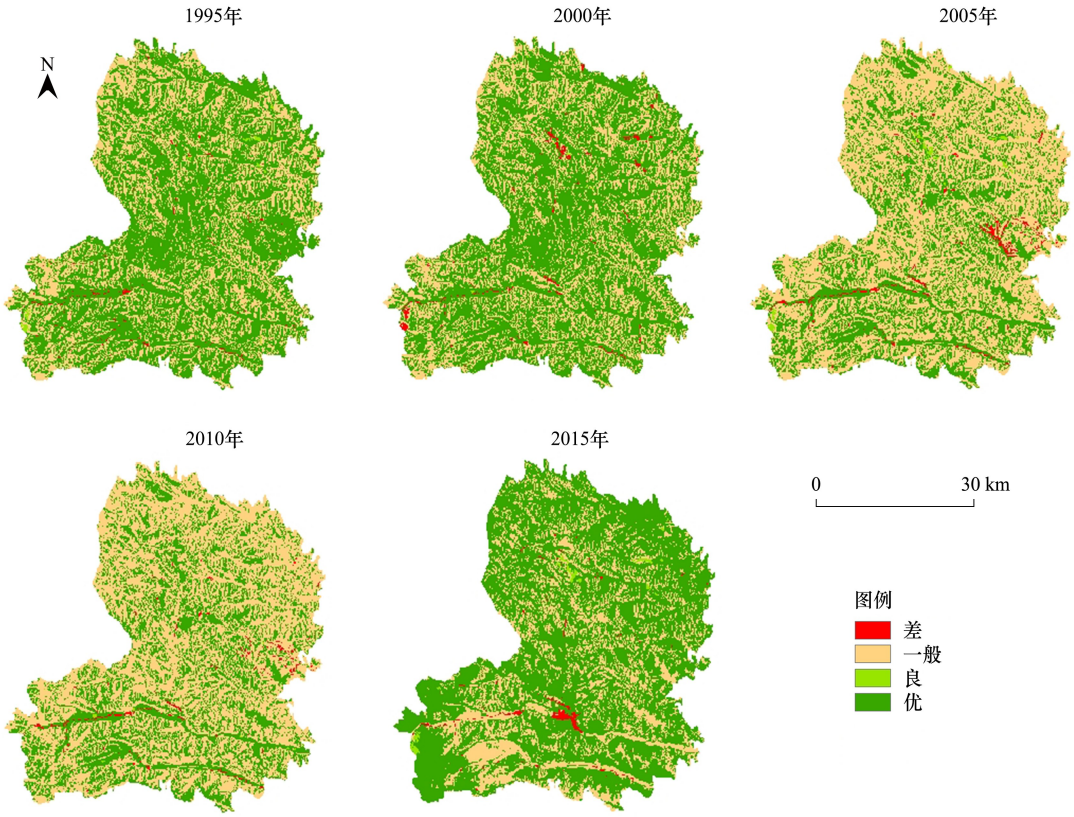

图 3 彭阳县生境质量空间分布

Fig.3 The spatial distribution of habitat quality in Pengyang County

缓,面积变化量较大的分别为水平农田地、天然封育草地和灌草混交林地,变化量分别为-117.48、66.86 km^2 和 41.16 km^2,其中水平农田地面积减少量主要转化为天然封育草地和灌草混交林地;生态经济林地、城镇用地和工矿用地变化幅度最显著,增幅分别为 123%、90%和 76%(图 4)。

研究利用 InVEST 模型对彭阳县 2020 年生物多样性功能进行评价,结果表明 2020 年生境质量主要以优和一般两个等级为主,占比分别为 74%和 25%,其中优等级高于 2015 年,一般等级减小,生境质量整体状况较 2015 年优化(图 5 和表 7)。

4 讨论

彭阳县是全国生态文明县、水土保持和生态恢复建设的重点区域,是黄土丘陵区的典型代表和缩影,以彭阳县地表甲虫物种丰富度和个体数量特征及变化规律指示黄土丘陵区最优生境具有较强的客观性和科学性[20]。地表甲虫物种丰富度和个体数量指代结果表明,彭阳县的最优生境为灌草混交林地,该生境灌木层盖度、草本植物生物量等均高于其他生境类型,为地表甲虫生存、栖息和繁殖等生命活动提供适宜的环境[25]。

生境质量及土地覆盖空间变化预测结果显示,2020 年彭阳县城镇和工矿企业快速扩张促使区域生物多样性功能降低,结合生态移民政策、就业、教育等可能因素影响,彭阳县城镇化呈集中分布趋势,生物多样性功能整体状况变好。随着经济发展和人口的不断增长,城镇规模扩大,机械化水平的提高,人为扰动对生态安全的胁迫能力加强,如何从根源上预防生态危险,挖掘生态承载潜力和保护生物多样性功能成为重点。优化城市空间结构,理性规划城镇规模,实施主体功能区划分战略,界定生态环境阈值,加强城市内部生态环境优化和保护,实时监测和预测区域生态环境时空变化及趋势,对已退化生境类型及未来可能影响生境安全的行为进行预警,以期达到城镇化发展和生物多样性功能保护双赢得目的。

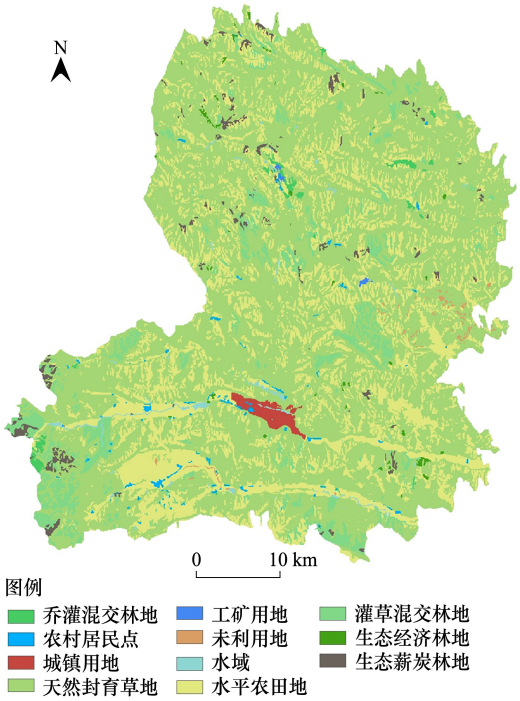

图 4　2020 年土地覆盖模拟图

Fig.4　2020 model of land cover

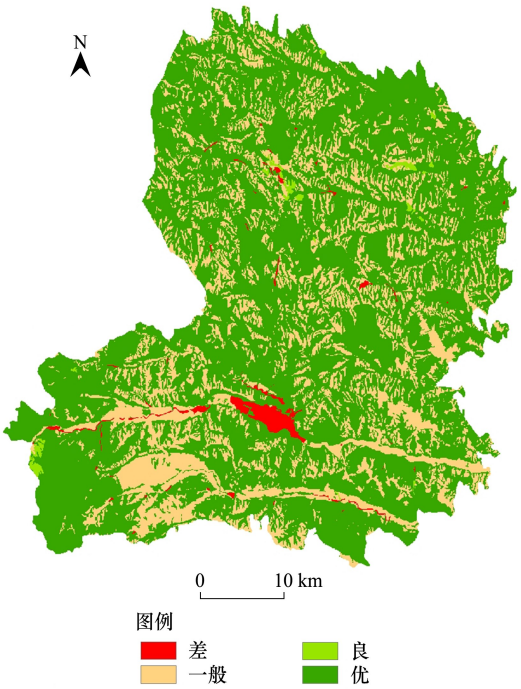

图 5　2020 年生境质量模拟图

Fig.5　2020 model of habitat quality

研究综合利用 InVEST 模型和 CA-Marcov 模型,利用 TM 遥感影像目视解译的土地覆盖数据代替以往研究中计算机监督分类的土地覆盖数据,能够保证 InVEST 模型高精度的评价结果。通过探究和预测与地表甲虫多样性相关的土地覆盖、生境质量等时空变化特征,以生境质量等级指示生物多样性功能优劣,进一步判断基于生物多样性保护的土地演化结果,效果显著。获取最优生境、土地覆盖、生物多样性功能等变化及预测的方法和结论,有利于规划部门对城市快速扩张区及黄土丘陵生态退化区规划布局时借鉴和参考,可为生物多样性保护和生态修复决策提供科学指导和理论支撑。

5　结论

(1)灌草混交林地是彭阳县生物多样性功能保护的最优生境,生境中固有的“88542”水平沟整地措施可作为黄土丘陵区典型生态恢复的最优模式。

(2)利用地表甲虫物种丰富度、个体数量特征及变化规律指示黄土丘陵区最优生境的方法具有客观性和科学性,值得推广;

(3)1995—2015 年,研究区土地覆盖及生境类型发生显著动态变化,未利用地减少,城镇用地快速扩张,生境中天然封育草地和水平农田地的面积和比例变化最大;生物多样性功能经历了退化-提升的转变,2015 年达到最佳。

(4)经过预测,彭阳县 2020 年土地覆盖与 2015 年相比变化较小,其中水平农田地面积变化较大并主要转变为天然封育草地和灌草混交林地,城镇用地面积变化幅度最大;生物多样性功能较 2015 年继续优化,主要以优等级和一般等级为主。

(5)采用 CA-Markov 模型模拟研究区土地覆盖及生物多样性功能变化的结果精度达到 0.97,表明综合利用 InVEST 模型和 CA-Markov 模型的普适性及准确性较好;

(6)水平沟、鱼鳞坑、“88542”等水土保持工程和退耕还林还草、生态功能区划等生态恢复策略的实施和

建设成效显著。

参考文献(References):

[1] 刘春艳, 朱康文, 刘吉平. 三峡库区重庆段土地覆盖和生物多样性功能演化及预测. 农业工程学报, 2017, 33(19): 258-267.

[2] 吴倩倩, 梁宗锁, 刘佳佳, 于明坚, 胡广. 中国生境片段化对生物多样性影响研究进展. 生态学杂志, 2017, 36(9): 2605-2614.

[3] 杜世勋, 荣月静. 基于 InVEST 模型山西省土地利用变化的生物多样性功能研究. 环境与可持续发展, 2015, 40(6): 65-70.

[4] Kim Y, Kim N, Jeong S R. Stock-index invest model using news big data opinion mining. Journal of Intelligence and Information Systems, 2012, 18(2): 143-156.

[5] Keeler B, Dalzell B J, Pennington D, Johnso K, Polasky S. Comparing SWAT and InVEST models for water yield and nutrient export: when is a simple model good enough for decision support? //Proceedings of 2013 Fall Meeting. San Francisco: American Geophysical Union, 2013.

[6] 余新晓, 周彬, 吕锡芝, 杨之歌. 基于 InVEST 模型的北京山区森林水源涵养功能评估. 林业科学, 2012, 48(10): 1-5.

[7] 唐尧, 祝炜平, 张慧, 宋瑜. InVEST 模型原理及其应用研究进展. 生态科学, 2015, 34(3): 204-208.

[8] Ye B Y, Bai Z K. Simulating land use/cover changes of Nenjiang county based on CA-Markov model//Li D L, ed. Computer and Computing Technologies in Agriculture, Volume I. Boston: Springer, 2008: 321-329.

[9] 李志, 刘文兆, 郑粉莉. 基于 CA-Markov 模型的黄土塬区黑河流域土地利用变化. 农业工程学报, 2010, 26(1): 346-352.

[10] Feer F, Hingrat Y. Effects of forest fragmentation on a dung beetle community in French Guiana. Conservation Biology, 2005, 19(4): 1103-1112.

[11] 于晓东, 罗天宏, 周红章. 东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化. 昆虫学报, 2002,45(6): 785-793.

[12] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Distribution of carabid beetles among regenerating and natural forest types in southwestern China. Forest Ecology and Management, 2006, 231(1/3): 169-177.

[13] 于晓东, 罗天宏, 周红章, 杨建. 边缘效应对卧龙自然保护区森林-草地群落交错带地表甲虫多样性的影响. 昆虫学报, 2006, 49(2): 277-286.

[14] Ikeda H, Homma K, Kubota K. Ground-dwelling beetle community in beech forests of Sado Island, Japan: comparison with the mainland. Journal of Forest Research, 2008, 13(6): 357-364.

[15] 寇萌, 焦菊英, 杜华栋, 王志杰, 王巧利, 苏嫄. 黄土丘陵沟壑区不同立地条件草本群落物种多样性与生物量研究. 西北林学院学报, 2013, 28(1): 12-18.

[16] 卢训令, 梁国付, 汤茜, 丁圣彦. 农业景观非农生境植物多样性及其影响因素. 生态学报, 2018, 38(5): 1799-1809.

[17] 朱嘉伟, 谢晓彤, 李心慧. 生态环境承载力评价研究——以河南省为例. 生态学报, 2017, 37(21): 7039-7047.

[18] Kriegler E, Edmonds J, Hallegatte S, Ebi K L, Kram T, Riahi K, Winkler H, van Vuuren D P. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared climate policy assumptions. Climatic Change, 2014, 122(3): 401-414.

[19] Díaz S, Demissew S, Joly C, Lonsdale W M, Larigauderie A. A Rosetta stone for nature′s benefits to people. PLoS Biology, 2015, 13(1): e1002040.

[20] 杭佳, 石云, 安婧婧, 贺达汉. 宁夏黄土丘陵区不同生态恢复生境中步甲对微生境的选择. 林业科学, 2016, 52(1): 71-79.

[21] 杭佳, 石云, 刘文惠, 贺达汉. 宁夏黄土丘陵区不同生态恢复生境地表甲虫多样性. 生物多样性, 2014, 22(4): 516-524.

[22] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 Iα 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.

[23] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II β 多样性的测度方法. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.

[24] Fleskens L, Duarte F, Eicher I. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: a case study of Trás-os-Montes olive groves. Journal of Rural Studies, 2009, 25(1): 141-155.

[25] Antvogel H, Bonn A. Environmental parameters and microspatial distribution of insects: a case study of carabids in an alluvial forest. Ecography, 2001, 24(4): 470-482.