

DOI: 10.13332/j.cnki.jbfu.2014.04.015

基于模糊层次分析法的落叶松人工林生境评价系统

李丹 戴巍 闫志刚 王霓虹

(东北林业大学信息与计算机工程学院)

摘要:以黑龙江省佳木斯市孟家岗林场为研究区域,以落叶松人工林为研究对象,采用模糊层次分析法(FAHP)确立生境评价模型指标层次结构,计算与分析人工林生境评价模型各层次指标权值。1)准则层确定立地条件因子评价指标和生境管理因子评价指标,相应权值分别为70%和30%。2)生境评价模型二级评价指标权值:坡度(I_1)为0.1901;坡向(I_2)为0.1633;坡位(I_3)为0.1701;土壤类型(I_4)为0.1633;土层厚度(I_5)为0.1801;郁闭度(I_6)为0.1333;基础设施(I_7)为0.3997;法规建设(I_8)为0.3169;科研水平(I_9)为0.2833。构建了人工林生境评价模型,在此基础上研究建立了人工林生境评价系统。

关键词:生境评价;模糊层次分析法;ArcGIS Server

中图分类号:S718.53 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2014)04-0075-07

LI Dan; DAI Wei; YAN Zhi-gang; WANG Ni-hong. **Habitat evaluation system of larch plantation based on fuzzy analytic hierarchy.** *Journal of Beijing Forestry University* (2014)36(4) 75-81 [Ch, 20 ref.] School of Information and Computer Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China.

In this study, we constructed the habitat evaluation models of larch plantation grown at the Mengjiagang Forest Farm of Jiamusi City, Heilongjiang Province of northeastern China by using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), and calculated the weights of various indicators based on the identified hierarchical structures of the models. First, criterion layer was used to determine the evaluation indicators related to site conditions and habitat management factors, and the corresponding weights were 70% and 30%, respectively. Second, the weights of secondary evaluation indexes in the constructed models were slope(I_1) 0.1901, aspect(I_2) 0.1633, slope position(I_3) 0.1701, agrotype (I_4) 0.1633, soil thickness(I_5) 0.1801, canopy density(I_6) 0.1333, infrastructure(I_7) 0.3997, construction of laws and regulations(I_8) 0.3169, and the level of scientific research(I_9) 0.2833. In this study, the constructed plantation habitat evaluation system, based on plantation habitat evaluation models, achieved good integration of habitat evaluation results and GIS technique. It is useful for researchers to apply the criterion "tree planting matching the site". Meanwhile, it provides references for forest development.

Key words habitat evaluation; fuzzy analytic hierarchy process (FAHP); ArcGIS Server

20世纪70年代Saaty^[1]首次提出了层次分析法(AHP)。AHP是在充分研究人们思维过程的基础上提出的一种定性分析与定量分析相结合的多准则系统分析方法,比较合理地解决了定性问题定量化的处理过程。在AHP中,决策者需要经过明确分析建立层次分析结构模型,然后通过对同一层次要

素相对重要性做出两两比较构造判断矩阵,再通过层次单排序和层次总排序计算各层次构成要素对于总目标的权重值,进而得到可行方案的综合评价值。但是,由于客观事物的复杂性、决策者在事物认识上的局限性和思维判断的模糊性和不一致性造成判断一致性与矩阵一致性之间存在差异,此外,一致性检

收稿日期:2013-08-05 修回日期:2013-11-15

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划课题(2012AA102003-2)、中央高校科研业务费专项(2572014CB24)、黑龙江省科技攻关项目(GZ11B304)。

第一作者:李丹,博士,讲师。主要研究方向:林业信息工程。Email:ld@nefu.edu.cn 地址:150040 黑龙江省哈尔滨市和兴路26号东北林业大学319信箱。

本刊网址:<http://journal.bjfu.edu.cn>

验的困难和繁琐也给研究者造成了极大困扰,但模糊集合理论的产生为 AHP 在模糊环境下的扩展提供了可能性^[2]。在清晰地分析上述问题之后,学者们提出了更加优化的模糊层次分析法(FAHP)。在计算步骤上 FAHP 与 AHP 基本一致,两者的区别在于 FAHP 通过元素两两比较构造出模糊一致判断矩阵,再由模糊一致矩阵求得各元素相对重要的权重值^[3]。模糊层次分析法已在安全生产科学^[4]、土地利用^[5]、环境评价^[6]、农业评价^[7]、灾害风险评估^[8]等领域取得了广泛的应用。在林业领域,层次分析法也广泛应用于树种优选评价^[9]、森林生态系统评价^[10]、防护林健康评价^[11]、家具设计方案评价^[12]等领域。

本文应用层次分析法将以人的主观判断为主的定性分析进行量化,对以落叶松(*Larix spp.*)为研究对象的人工林生境评价指标进行综合判断,从影响落叶松生产的生境因子中选择合适的评价指标,确定评价指标要素的相对评价权值大小,建立一个客观、合理的指标体系,在此基础上构建人工林生境评价系统。

1 模糊层次分析法原理

FAHP 方法的结构模型和传统 AHP 结构模型

相同,首先将具体问题划分为目标层、准则层和指标层 3 个层次;然后根据目标性质和要求将目标层划分为不同的因素;最后将各个因素细化为最底层因子组合。由两两因素因子对于目标的相对重要性建立优先关系矩阵,即模糊互补矩阵,再将模糊互补矩阵转化为模糊一致矩阵,最终利用 FAHP 的性质计算出各因素因子的权重值并检验判断与结论的一致性^[13-14]。

1.1 模糊互补矩阵的建立

1) 设矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 若满足 $0 \leq r_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$, 则称 R 是模糊矩阵。

2) 模糊矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 若满足 $r_{ij} + r_{ji} = 1, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$, 则称模糊矩阵 R 是模糊互补矩阵。

3) 若模糊互补矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 则所有元素之和等于 $n^2/2$ 。

4) 为了将比较判断定量化,同时为描述任意两因素关于某准则相对重要的隶属度,FAHP 引入了相对重要程度数量标度(表 1)。

1.2 模糊一致矩阵的建立

1) 模糊互补矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 若满足任意 $i, j, k = 1, 2, \dots, n$, 有 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$, 则称模糊互补矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 为模糊一致矩阵。

表 1 相对重要程度数量标度

Tab. 1 Intensity of importance scale and its description

标度	定义	说明
0.5	同等重要	两元素相比较,同等重要
0.6	稍微重要	两元素相比较,一个元素比另一个元素稍微重要
0.7	明显重要	两元素相比较,一个元素比另一个元素明显重要
0.8	重要得多	两元素相比较,一个元素比另一个元素重要得多
0.9	极其重要	两元素相比较,一个元素比另一个元素极其重要
0.1, 0.2, 0.3, 0.4	反比较	若元素 a_i 与元素 a_j 相比较得到判断 r_{ij} , 则元素 a_j 与元素 a_i 相比较得到 $r_{ji} = 1 - r_{ij}$

2) 对模糊互补矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 按行求和,记

为 $r_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$ 。运用公式 $r_{ij} = (r_i - r_j)/2n + 0.5$ 进行数学变换,则变换后的矩阵即为模糊一致矩阵。

1.3 各因素因子权重值的计算

若 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 是模糊一致矩阵,可以求得各层元素的权重值。因素 F_i 的权重值 $w_i^k = \frac{1}{na} \sum_{j=1}^n r_{ik} + \frac{1}{n} + \frac{1}{2a}, i = 1, 2, \dots, n$ 。式中 w_i^k 表示因素 F_i 在目标 O_k 下的权重值,参数 a 满足 $a \geq (n-1)/2$, 取 $a = (n-1)/2$ 。

1.4 各层指标对目标层的合成权重计算

计算出一组指标对其相邻上一层的相对权重后,可以根据各评价指标的从属关系,得出评价指标相对于总评价目标的综合权重。

2 落叶松人工林生境评价模型的建立

2.1 研究区概况

黑龙江省佳木斯市孟家岗林场,地处黑龙江省东部完达山西麓余脉,地理坐标为 $130^{\circ}32'42'' \sim 130^{\circ}52'36''E$ 、 $46^{\circ}20'16'' \sim 46^{\circ}30'50''N$ 。施业区分布于桦南县境内。全场经营总面积 15533 hm^2 , 林业用地面积 15370 hm^2 , 是国家级示范林场。孟家岗

林场所在地属东亚大陆性季风气候,夏季温暖湿润且短促,冬季寒冷干燥且漫长,最低气温 -34.7°C ,最高气温 35.6°C ,全年平均气温 2.7°C ,全年日照时数1955 h,全年平均降水量550 mm,无霜期约120 d。

2.2 人工林生境评价指标体系

应用FAHP对落叶松人工林生境评价指标进行分析,在查阅文献并结合前人研究成果的基础上^[15~19],确定了落叶松人工林生境评价层次分析模型的结构:人工林生境评价为目标层(记为T层);由于人工林在生长、培育过程中,除了受自然环境影响之外,人工管理条件也对其生长过程具有较大影响,因此确定立地条件因子评价和生境管理因子评价为准则层(记为C层);影响准则层中各元素的项目作为指标层(记为I层)。初步选定了坡度、坡向、坡位、海拔、土壤厚度、土壤类型、土壤元素和微生物含量、郁闭度、气候等生境因子为立地条件因子评价指标。基础设施、法规建设、科研水平为生境管理因子评价指标。孟家岗林场的海拔高度差异不大,其平均海拔高度为250 m,虽然海拔对于落叶松人工林影响显著,但根据筛选因子的差异性原则予以舍弃;气候(降水量和气温)同样对于落叶松人工林有较大影响,但考虑到本文只针对孟家岗林场进行研究,因此气候条件不存在空间差异,根据筛选因子的差异性原则予以舍弃;考虑到土壤元素和微生物含量测定的成本和工作量问题,由筛选因子的易操作性原则予以舍弃。因此,确定了孟家岗林场落叶松人工林生境评价指标层次模型结构(见表2)。

表2 落叶松人工林生境评价指标层次模型结构

Tab. 2 Model structure of *L. gmelinii* plantation habitat evaluation

目标层(T层)	准则层(C层)	指标层(I层)
人工林生境评价	立地条件因子评价(C_1)	坡度(I_1)
		坡向(I_2)
		坡位(I_3)
		土壤类型(I_4)
		土层厚度(I_5)
		郁闭度(I_6)
生境管理因子评价(C_2)	基础设施(I_7)	
		法规建设(I_8)
		科研水平(I_9)

2.3 人工林生境评价因子模糊互补矩阵的建立

模糊层次分析法相对重要隶属度的确定往往带有主观性。本研究中两因素因子相对重要隶属度的

确定主要通过向林业专家和研究区林业相关人员进行问卷调查来综合评定,使优先关系判断矩阵(模糊互补矩阵)的建立更加科学和客观。问卷共发放50份,收回有效问卷46份,回收率92%。对于填写不完整或非认真填写的问卷则一律作废,共作废7份。综合39份有效问卷内容,得到了优先关系判断矩阵(见表3~5)。

表3 T-C优先关系矩阵

Tab. 3 Precedence relation matrix of T-C layer

T	C_1	C_2
C_1	0.5	0.9
C_2	0.1	0.5

表4 C_1 -I优先关系矩阵

Tab. 4 Precedence relation matrix of C_1 -I layer

C_1	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
I_1	0.5	0.7	0.6	0.7	0.5	0.7
I_2	0.3	0.5	0.8	0.3	0.3	0.7
I_3	0.4	0.2	0.5	0.7	0.6	0.7
I_4	0.3	0.7	0.3	0.5	0.4	0.7
I_5	0.5	0.7	0.4	0.6	0.5	0.7
I_6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5

表5 C_2 -I优先关系矩阵

Tab. 5 Precedence relation matrix of C_2 -I layer

C_2	I_7	I_8	I_9
I_7	0.5	0.7	0.7
I_8	0.3	0.5	0.6
I_9	0.3	0.4	0.5

2.4 人工林生境评价因子模糊一致矩阵的建立及其权重的确定

依据模糊层次分析法原理将模糊互补矩阵转化为模糊一致矩阵并求出各因素因子的权重值,所得结果见表6~8。

表6 T-C层模糊一致矩阵及其权重的确立

Tab. 6 Establishment of fuzzy consistent matrix and its weights of T-C layer

T	C_1	C_2	W_i
C_1	0.500	0.700	0.700
C_2	0.300	0.500	0.300

由表6可以看出,立地条件因子评价的权重值为0.700,生境管理因子评价的权重值为0.300,说明落叶松人工林生境评价中立地条件因子评价比生境管理因子评价重要。在立地条件因子评价中各个

表7 C_1-I 层模糊一致矩阵及其权重的确立

Tab. 7 Establishment of fuzzy consistent matrix and its weights of C_1-I layer

C_1	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	W_i
I_1	0.500	0.567	0.550	0.567	0.525	0.642	0.190 1
I_2	0.433	0.500	0.483	0.500	0.458	0.575	0.163 3
I_3	0.450	0.517	0.500	0.517	0.475	0.592	0.170 1
I_4	0.433	0.500	0.483	0.500	0.458	0.575	0.163 3
I_5	0.475	0.542	0.525	0.542	0.500	0.617	0.180 1
I_6	0.358	0.425	0.408	0.425	0.383	0.500	0.133 3

表8 C_2-I 层模糊一致矩阵及其权重的确立

Tab. 8 Establishment of fuzzy consistent matrix and its weights of C_2-I layer

C_2	I_7	I_8	I_9	W_i
I_7	0.500	0.583	0.616	0.399 7
I_8	0.417	0.500	0.533	0.316 9
I_9	0.383	0.467	0.500	0.283 3

要素的重要性(表7)由强到弱的顺序为:坡度(0.190 1)、土层厚度(0.180 1)、坡位(0.170 1)、坡向(0.163 3)、土壤类型(0.163 3)、郁闭度(0.133 3),说明坡度是影响人工林生境评价的重要因素。在生境管理因子评价中各个要素的重要性(表8)由强到弱的顺序为:基础设施(0.399 7)、法规建设(0.316 9)、科研水平(0.283 3),说明基础设施是影响人工林生境评价的重要因素。

人工林生境评价模型体系合理与否直接关系到该模型的应用和评价系统的建立,笔者通过查阅大量文献,并咨询多名专家得到的结论与建立的评价体系模型大体一致,即坡度(0.190 1)、土壤厚度(0.180 1)、坡向(0.163 3)对落叶松人工林的生长发育影响显著,而郁闭度(0.133 3)的影响较小。因此,该人工林生境评价体系模型是合理、可行的。

2.5 落叶松人工林生境评价因子评分标准的建立

以百分制为评分制度,小班为最小评价单位,对落叶松人工林进行生境评价。将评分 ≥ 90 分定义为优且以100为标准纲量,评分在[70, 90)之间定义为良且以80为标准纲量,评分在[50, 70)之间定义为中且以60为标准纲量,评分 < 50 定义为差且以40为标准纲量。结合孟家岗林场的自然概况和专家的建议,按照影响落叶松人工林生长发育的显著程度,将筛选出来的生境因素因子进一步划分形

成评价因子细化指标,从而分别对应生境评价的优、良、中、差4个评价等级。各个生境因子细化指标的评价分值可通过公式计算得出:评价分值 = 标准量纲 \times 评价因子权重 \times 准则层指标权重。按以上方法最终确定了所有因素因子及其相应的分级评分标准,如表9所示。在研究过程中选取孟家岗林场的23个林班中的69个小班作为研究区域,将研究区域的各个生境因子所对应的评价分值相加得到总评价分数,对应于总分评价标准便可得到该区域的评价等级。

3 人工林生境评价系统

人工林生境评价系统以建立的人工林生境评价模型为核心,综合运用了高级语言程序设计、数据库技术、软件工程等计算机应用技术。系统基于MyEclipse 6.5 开发平台和 MySQL 数据库,采用面向对象的编程思想,以 JSP 及 Flex 开发用户交互操作界面,以 ArcGIS Server 9.3 为 GIS 二次开发环境。系统实现了落叶松人工林的自主选择、数据输入、评价分析、数据管理、数据的图表分析、GIS 显示评价结果等功能。生境评价系统小班选择的实现和数据输入的实现页面如图1、2 所示。

GIS 实现过程中使用 ArcGIS api for Flex 进行开发。开发工程中使用了 querytask 方法对 Arcgis server 发布的地图服务中地图的某个图层进行属性查询,并将查询结果保存在结果集 featureset 中。通过 BlazeDS 技术从 JAVA 端获取数据库中每个小班的评价结果,并与 featureset 中每个 Graphic 进行一一对应,将每个 Graphic 中的 sysmbl 属性更改为对应的评价结果的显示图例。评价后的显示效果如图3 所示。

系统实际使用过程中,根据孟家岗实际三类清查数据,对孟家岗林场的落叶松人工林区域范围进行一个整体的生境评价。对清查数据进行整理和分析,立地条件因子情况(以面积所占百分比作为比例系数)如下:区域内 98% 的坡度在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 之间; 45.6% 为半阳坡, 54.4% 为阴坡、半阴坡; 8.7% 为上坡, 1.1% 为下坡, 其余为中坡; 78.3% 的小班的郁闭度在 0.60 ~ 0.69 之间, 21.7% 在 0.70 ~ 0.79 之间; 土壤类型都为暗棕壤, 土壤厚度都在 25 ~ 50 之间。孟家岗的生境管理因子情况均为最优。综上所述,以评价因子的指标得分乘以比例系数,评价分值相加计算出总分为 85.032 分, 对应评价等级为良好。

表9 落叶松人工林生境评价体系模型各因素因子的评分标准

Tab. 9 Standard evaluation for model structure of *L. gmelinii* plantation habitat evaluation

评价因子	评价因子细化指标	标准量纲	评价因子权重	准则层指 标权重	评价分值
坡度/(°)	1. [0,15)	100			13.307
	2. [15,25)	80			10.646
	3. [25,35)	60	0.1901	0.700	7.984
	4. [35,90]	40			5.323
坡向	1. 阳坡	100			11.431
	2. 半阳坡	80			9.145
	3. 无坡	60	0.1633	0.700	6.859
	4. 阴坡或半阴坡	40			4.572
坡位	1. 下坡	100			11.907
	2. 中下坡	80			9.526
	3. 中上坡	60	0.1701	0.700	7.144
	4. 上坡	40			4.763
土壤类型	1. 暗棕壤	100			11.431
	2. 白浆化暗棕壤	80			9.145
	3. 草甸暗棕壤	60	0.1633	0.700	6.859
	4. 潜育暗棕壤	40			4.572
土壤厚度/cm	1. ≥75	100			12.607
	2. [50,75)	80			10.086
	3. [25,50)	60	0.1801	0.700	7.564
	4. <25	40			5.043
郁闭度	1. [0.3,0.5)	100			9.331
	2. [0.2,0.3)或[0.5,0.7)	80			7.465
	3. [0.7,0.8)	60	0.1333	0.700	5.599
	4. [0,0.2)或[0.8,1)	40			3.732
基础设施	1. 具有良好的基础设施,包括完备且先进的办公设施、林班作业、保护防火设施、交通设施	100			11.991
	2. 具有一般的基础设施,但不够完备和先进,基本能满足管理工作的需要	80			9.593
	3. 具有初步的基础设施,但由于尚不完备和先进,不能满足一般管理工作需要,影响其正常进行	60	0.3997	0.300	7.195
	4. 不具备或基本不具备基础设施,从而不能进行正常的管理工作	40			4.796
法规建设	1. 有健全的法律法规及相应的处罚制度,能很好地预防和处理违法行为的发生	100			9.507
	2. 法律法规较健全,有较好的处罚制度,能较好地预防和处理违法行为	80	0.2169	0.300	7.606
	3. 有基本的法律法规,但很不健全,不能很好地预防和处理违法行为	60			5.704
	4. 未制定相应的法律法规,不能预防和处理违法行为	40			3.803
科研水平	1. 科研人员有较高的学历和研究水平,能定期开展多项研究和观测工作	100			8.499
	2. 科研人员有一定的研究水平,不定期开展研究和观测工作	80			6.799
	3. 科研人员水平一般,较少开展研究和观测工作	60	0.2833	0.300	5.099
	4. 基本没有科研人员,不能开展研究和观测工作	40			3.400

4 结 论

森林生境因子质量评价是研究与掌握森林生长环境及环境对森林生产力影响的一个重要手段,也是对其进行判断和预测的基础,对于营林、育林以及构建经营管理决策支持系统有着重要的作用^[20]。本研究应用模糊层次分析法(FAHP)构建了以落叶松为代表的人工林生境评价模型。由于参数获取困

难等原因,本研究构建的人工林生境评价模型的准则层和二级评价指标数量还略显不足,还不能涵盖所有人工林生境评价指标,但此研究方法可以根据实际情况进行参数扩充评价。本研究所构建的GIS人工林生境评价系统和使用功能可以在以后的工作中进行扩充,可以根据评价结论进行决策指导,构建决策支持系统为森林经营的正确决策提供帮助。

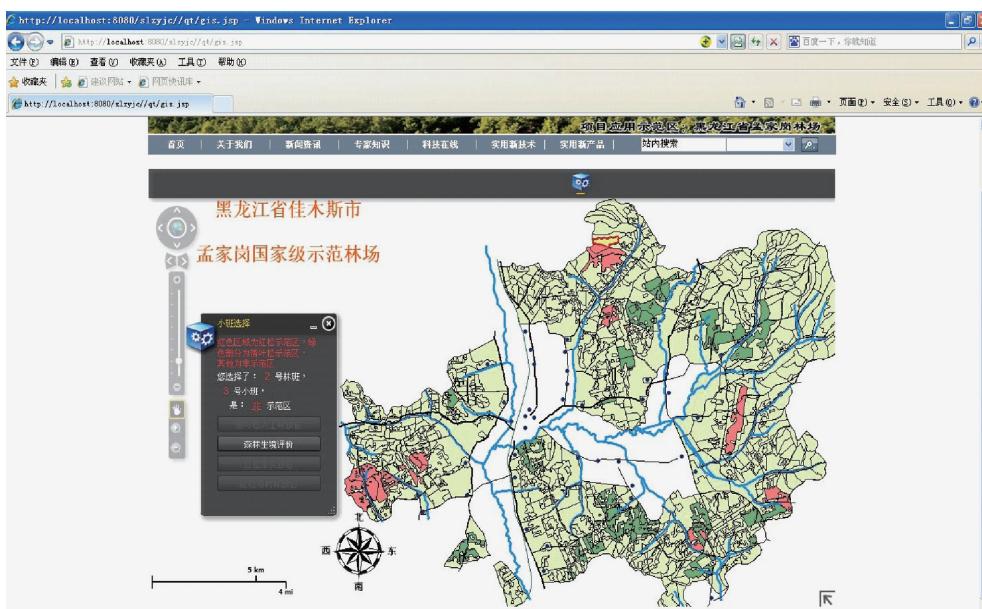


图1 生境评价系统小班选择页面

Fig.1 Subcompartment selecting page of habitat evaluation system



图2 生境评价系统数据输入页面

Fig.2 Imputing page of habitat evaluation system

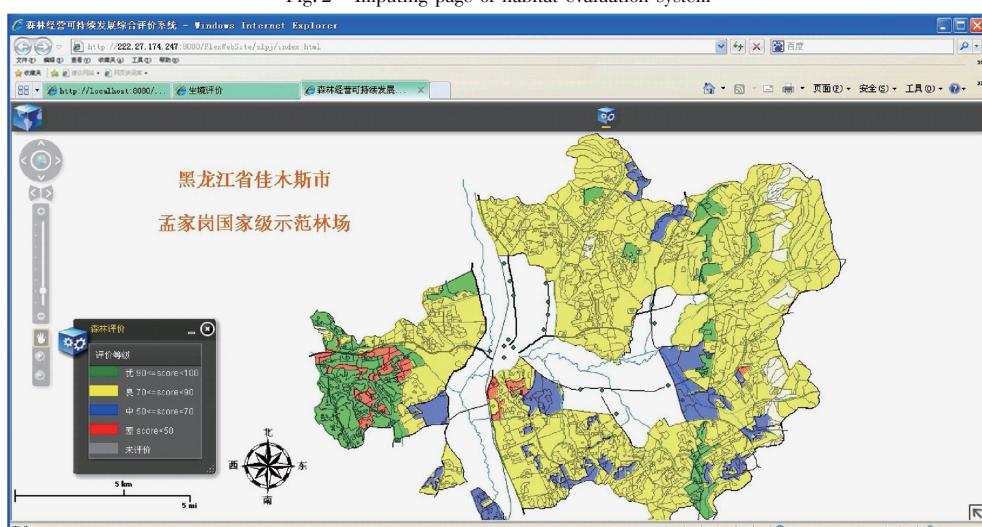


图3 生境评价结果显示

Fig.3 Page of habitat evaluation results

参 考 文 献

- [1] SAATY T L. The analytic hierarchy process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2] 张佳平. 云台山野生草本植物资源的园林开发利用评价[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2013, 37(1):37-43.
- [3] 张吉军. 模糊层次分析法:FAHP[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- [4] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5):148-153.
- [5] 马东辉, 郭小东, 苏经宇, 等. 层次分析法逆序问题及其在土地利用适宜性评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007(6):124-135.
- [6] 贾龙华, 吴锦利. 层次分析法在空气污染防治措施比选中的应用[J]. 污染防治技术, 2000, 13(2): 86-88.
- [7] 李雯雯, 吴荣涛. 基于层次分析法的伊川县耕地地力评价[J]. 河南农业大学学报, 2013, 47(2):216-221.
- [8] 王连喜, 肖伟钰, 李琪, 等. 中国北方地区主要农作物气象灾害风险评估方法综述[J]. 灾害学, 2013, 28(2):114-130.
- [9] 杨斌, 杨国州, 张延东. 运用层次分析法优选临夏北塬农田防护林树种[J]. 林业科学, 2006, 42(6):49-55.
- [10] 陈宏观. 沿海地区生态环境评价及生态建设研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [11] 李富程, 王青, 张黎. 防护林健康评价指标体系研究[J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(6):59-64.
- [12] 杨斌, 杨国州, 张延东. 基于层次分析法的家具设计方案评价模型[J]. 林业科学, 2010, 46(12):130-136.
- [13] DONG Y C, ZHANG G Q, HONG W C, et al. Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method [J]. Decision Support Systems, 2010, 49: 281-289.
- [14] METIN D, SERKAN Y, NEVZAT K. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36:8143-8151.
- [15] BERTOLINI M, BRAGLIA M, CARMIGNANI G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract[J]. International Journal of Project Management, 2006, 24(5): 422-430.
- [16] 刘红霞. 气象因子对华北落叶松生长量影响研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [17] 张桂玲. 兴安落叶松人工林生长分析及模型研究[J]. 防护林科技, 2012(7):41-43.
- [18] 马友平, 常胜. 日本落叶松人工林生境因子筛选与权重确定[J]. 湖北民族学院学报, 2009, 27(3):88-91.
- [19] 马友平. 日本落叶松人工林分结构与生长量预测研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [20] 郭艳荣, 吴保国, 刘洋, 等. 立地质量评价研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(5):47-52.

(责任编辑 冯秀兰)