

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0005.0019

# 基于 E-E-S 模型的福建省城市生态系统安全评价\*

黄 鹏<sup>1</sup>, 郭 闽<sup>2</sup>, 兰思仁<sup>1\* \*</sup>

(1.福建农林大学 林学院,福州 350002;2.福建农林大学 园林学院,福州 350002)

**摘 要:**通过 E-E-S 模型选择评价指标,而后选用模糊物元法建立评价体系,使用熵值法和层次分析法相结合的方式计算评价指标的权重;并对评价体系进行欧氏贴近度的计算,寻求主导城市生态系统安全的指标因子.以福建省为例,根据福建省近十年来的数据,对福建省的城市生态系统进行计算与评价.结果表明:福建省生态安全水平呈整体上升趋势,由临界安全转变为较安全,但系统各要素中部分指标有所恶化或反复.

**关键词:**EES;模糊物元;熵值;AHP;欧氏贴近度

**中图分类号:**X171

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-058X(2015)05-0072-08

所谓城市生态系统安全,指的是在城市中能够维持人类社会持续发展,受作用于人类活动的自然和半自然生态系统,保障城市生态系统的整体健康水平和完整性不受威胁.虽然城市的面积仅占地表总面积的 2%<sup>[1]</sup>,然而其中多种负向环境效应严重影响城市生态安全,甚至在全球尺度上也对生态系统的结构和功能产生了破坏<sup>[2]</sup>.伴随高强度的开发和土地利用方式的重大改变,城市生态系统的脆弱性也越发明显<sup>[3-5]</sup>.人口压力、社会经济发展、环境污染等因素反过来也严重制约了城市的发展.因此,为了能够可持续地利用土地资源,减轻环境压力,保护城市生态系统,需要制定相关的措施,对城市生态系统安全等级进行评价.然而我国对城市生态安全的研究还只是处于探索阶段,对于城市生态安全的研究实践先于理论,虽然有一些关于城市生态安全的相关研究<sup>[6-8]</sup>,但都还未成熟,仍需深入研究.E-E-S 模型相对于其他评价模型,具有更强的可操作性和系统性,而模糊物元法<sup>[9,10]</sup>能够解决单项指标不相容的问题.此处将两者结合,对福建省的城市生态系统安全进行动态评价<sup>[11]</sup>,为后续的理论研究和实践提供参考依据.

## 1 评价方法

联邦德国的理论物理学家哈肯于 20 世纪 70 年代初创立了广泛运用于经济、心理、生态等学科的协同学.此处所选用的 E-E-S 协同模型<sup>[12]</sup>指的是城市生态系统是由经济-环境-社会(Economy-Environment-Society)3 个子系统所组成的.城市生态系统安全并非是由追求其中某一个子系统的安全而得来,而是依靠协调这 3 个子系统来达成最终目标.此处所选用 E-E-S 模型,能够更好地对城市生态安全进行组织分类,能够

收稿日期:2014-06-24;修回日期:2014-10-10.

\* 基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAD15B00);长汀水土流失治理经验总结与加快推进福建生态省建设研究(2012A006).

作者简介:黄鹏(1991-),男,福建沙县人,硕士,从事水土保持生态恢复与生态安全评价研究.

\*\* 通讯作者:兰思仁(1963-),男,福建上杭人,教授,从事水土保持等方面研究.

充分考虑各因子之间的复杂性,使得评价结果更贴近实际应用.

### 1.1 指标体系的构建

根据 E-E-S 模型并参照相关的规定和文献,选取评价指标,并对评价指标分层,建立评价指标体系.其中第一层为目标层,由目标城市生态安全体系构成;第二层为项目层,由经济-环境-社会子系统组成;第三层为指标层,由组成项目层的指标因子所构成.

### 1.2 权重计算

目前,对于指标权重的计算主要有层次分析法、特尔菲法、熵值法等<sup>[13]</sup>.每种方法都能在一定程度上反应出评价指标的特性,但也具有相应的局限性.层次分析法能够引入人为判定因素,将城市生态安全和经济社会因素相结合,但是不能很好地反应评价指标本身的性质,定性大于定量.同样的,熵值法能够客观地反应出评价因子本身的性质,但是缺少与环境以及社会经济等因素的联系.因此此处将熵值法和层次分析法相结合,分别计算出两者的权重并通过公式加权平均,结合两处方法的优点并避免两者的不足,综合得出实际权重.

#### 1.2.1 熵值法的权重计算

为使用熵值法计算评价指标权重需要先将所收集的数据进行标准化处理,以此来统一不同评价因子之间的量纲及单位.在这里选择极差法对数据进行处理<sup>[14-15]</sup>.即当评价指标属于效益型指标(正向指标)时,根据式(1)计算所选地区在  $m$  年间的  $n$  个指标因子数据所组成的矩阵  $\mathbf{X} = \{X_{ij}\}_{m \times n}$ ;当评价指标属于成本型指标(负向指标)时,则根据式(2)进行计算.

$$Y = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$Y = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$X_{\min}$  为这项指标的最小值,  $X_{\max}$  为这项指标的最大值.则经过标准化后,获得矩阵  $\mathbf{Y} = \{Y_{ij}\}_{m \times n}$ .

根据标准化之后的指标因子,使用熵值法计算评价因子的权重.根据式(3),计算第  $j$  项指标的信息熵,而后计算其权重.每一项指标的数值大小表示该指标在综合评价之中所起到作用的大小.当某项指标的数值为零,则说明这项指标在评价之中不起作用.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij} \quad (3)$$

式(3)中,  $k > 0$ ,  $\ln$  为自然对数,  $k = \frac{1}{\ln n}$ ,  $0 \leq e_j \leq 1$ , 此处选用线性插值法标准化处理来避免  $\ln 0$  的情况出现,将标准化后的值用 0.000 01 代替.

第  $j$  项指标的权重为

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

#### 1.2.2 层次分析法构权

通过构建层次结构模型进行层次分析法构权.为避免单纯定性分析造成的误差,对建立的评价模型按照 1~9 标度法将所选择的评价指标进行两两比较(表 1),参考专家意见以及相关资料,根据重要性程度构建判断矩阵,自上而下,将隶属同一层的因素对比之后,形成一个  $n$  维的判断矩阵.

表 1 判断矩阵元素  $a_{ij}$  的标度方法

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有相同重要性
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	因素 $i$ 与因素 $j$ 比较的判断为 $a_{ij}$ ,则因素 $j$ 与因素 $i$ 比较的判断

将获得的  $n$  维矩阵进行权重计算和一致性检验.通过计算  $n$  维矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  来计算判断矩阵一致性指标和同阶随机一致性指标 RI 的比值 CR,当随机一致性比值  $CR < 0.1$  时,判定判断矩阵的一致性被接受,通过一致性检验,否则需要调整数据,直至通过一致性检验.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)RI} \quad (6)$$

### 1.2.3 综合权重计算

将计算得出的层次分析法权重( $V_j$ )和熵值法权重( $W_j$ )进行比较.当两者的权数排序相同时,使用熵值法的权系数作为各指标最终的权系数,以此避免权系数的主观性.当两者的权系数按指标的重要等级排序不一致时,选择层次分析法得出的权系数作为各指标因子的最终权系数以消除熵值法确定的权重和实际重要性相悖的问题.当处于中间状态时,则折中,使得评价结果更为合理<sup>[16]</sup>.

$$a_j = \frac{V_j W_j}{\sum_{j=1}^n V_j W_j} \quad (7)$$

## 2 城市生态安全评价模糊物元法

因为城市生态安全具有一定的模糊性,为了解决评价标准的客观性,选用物元分析原理并与欧氏贴近概念和模糊集相结合,建立模糊物元评价模型以避免评价指标的不确定性所带来的影响,更加客观地评价城市生态安全<sup>[17]</sup>.

### 2.1 构建模糊物元

城市生态安全物元  $R = (Y, C, V)$  由物元分析中所描述对象  $Y$  以及其特征值  $V$  和特征向量  $C$  共同组成.若其特征值  $V$  具有模糊性的,则称之为模糊物元.当有  $M$  个对象的  $n$  维物元组成在一起,就构成  $M$  个对象的  $n$  维复合模糊物元,即

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & \cdots & M_m \\ C_1 & x_{11} & x_{21} & x_{31} & \cdots & x_{m1} \\ C_2 & x_{12} & x_{22} & x_{32} & \cdots & x_{m2} \\ C_3 & x_{13} & x_{23} & x_{33} & \cdots & x_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & x_{1n} & x_{2n} & x_{3n} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

### 2.2 计算从优隶属度

从优隶属原则指的是建立各单项评价指标相应的模糊量值,从属于标准样本各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度的原则,按如下方式进行计算:

指标越大越好时  $u_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}$ ; 指标越小越好时  $u_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}}$ . 以此构建出从优隶属度模糊物元:

$$\tilde{R}_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & \cdots & M_m \\ C_1 & u_{11} & u_{21} & u_{31} & \cdots & u_{m1} \\ C_2 & u_{12} & u_{22} & u_{32} & \cdots & u_{m2} \\ C_3 & u_{13} & u_{23} & u_{33} & \cdots & u_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & u_{1n} & u_{2n} & u_{3n} & \cdots & u_{mn} \end{bmatrix}$$

### 2.3 建立标准模糊物元和差平方模糊物元

根据从优隶属度模糊物元  $R_{mn}$  中每项评价指标的最大值或最小值确定构成标准模糊物元  $R_{0n}$ .

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} M_0 \\ C_1 & u_{01} \\ C_2 & u_{02} \\ C_3 & u_{03} \\ \vdots & \vdots \\ C_n & u_{0n} \end{bmatrix}$$

差平方复合模糊物元  $R_{\Delta}$  由标准模糊物元  $R_{0n}$  与复合模糊物元  $R_{mn}$  中对应各项差的平方组成.

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & \cdots & M_m \\ C_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \Delta_{31} & \cdots & \Delta_{m1} \\ C_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \Delta_{32} & \cdots & \Delta_{m2} \\ C_3 & \Delta_{13} & \Delta_{23} & \Delta_{33} & \cdots & \Delta_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \Delta_{3n} & \cdots & \Delta_{mn} \end{bmatrix}$$

### 2.4 欧氏贴近度和综合评价

选用欧氏贴近度表示标准样本与被评价样本之间接近的程度.若两者之间相差越远,则其数值越小,反之则表示两者越接近.各样本按照欧氏贴近度的大小进行对应的优劣排序或者根据贴近标准值的程度进行类别的划分.选用  $M(\cdot, +)$  算法,即先乘后加来计算和构建欧氏贴近度的复合模糊物元  $R_{\rho H}$ :

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & \cdots & M_m \\ \rho H_j & \rho H_1 & \rho H_2 & \rho H_3 & \cdots & \rho H_m \end{bmatrix}$$

其中,  $\rho H_j = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n W_j \Delta_{ji}}$  ( $j=1, 2, 3, \dots, m$ ).

### 2.5 城市生态安全综合评价

参考相关标准以及相应的历年文献,整理出相关指标<sup>[18-24]</sup>,将各综合评价指标得分按照划分好的城市生态安全等级评价(表 2,3)确定安全等级,并根据其所处的安全级别,制定相应的应对措施以及策略.

表 2 福建省城市生态系统安全评价等级

安全值区间	安全评价等级	对策	系统特征
$\geq 0.90$	理想安全	保持	城市生态系统基本保持正常服务功能,未受到明显人类干扰,无明显生态问题.
0.70~0.90	较安全	适当加强	城市生态系统遭受轻微破坏,但基本保持正常服务功能,有较强的自我修复功能,生态问题较小.
0.60~0.70	临界安全	加强	城市生态系统受到一定的破坏,但能维持正常服务功能,仍有自我修复能力,出现一定程度的生态问题.
0.45~0.60	不安全	重点加强	城市生态系统受到较大的破坏,但服务功能有所退化,自我修复能力较低,存在较大的生态问题.
$< 0.45$	很不安全	亟待加强	城市生态系统遭受严重破坏,其服务功能不能满足人类需求,基本不具备自我修复能力,生态问题突出.

表 3 福建省城市生态安全评价体系及权重分配

目标层	准则层	指标层	AHP 法权重	熵值法权重	最终权重	方向
城市生态安全	环境(E)	$C_1$ 人均水资源量	0.081 8	0.055 6	0.085 7	正
		$C_2$ 全年人均生活能源消费量	0.043 0	0.041 7	0.033 8	逆
		$C_3$ 水土流失当年新增治理面积	0.034 4	0.027 8	0.018 0	正
		$C_4$ 污水处理率	0.041 9	0.055 6	0.043 9	正
		$C_5$ 生活垃圾无害化处理率	0.031 1	0.055 6	0.032 6	正
		$C_6$ 建成区绿化覆盖率	0.063 9	0.041 7	0.050 2	正
		$C_7$ 环境污染治理投资总额占 GDP 的比例	0.066 8	0.055 6	0.070 0	正
	经济(E)	$C_8$ 城镇常住人口	0.050 1	0.074 1	0.070 0	正
		$C_9$ 人均 GDP	0.066 6	0.074 1	0.093 0	正
		$C_{10}$ 民用汽车总量	0.070 0	0.037 0	0.048 8	正
		$C_{11}$ 第三产业比重	0.041 3	0.055 6	0.043 3	正
		$C_{12}$ 城市平均每人使用住房面积	0.051 1	0.055 6	0.053 5	正
		$C_{13}$ 全社会固定资产投资增长率	0.062 5	0.037 0	0.043 6	正
	社会(S)	$C_{14}$ 人口密度	0.048 3	0.035 1	0.031 9	逆
		$C_{15}$ 城市化率	0.075 1	0.070 2	0.099 4	正
		$C_{16}$ 城镇居民恩格尔系数	0.036 5	0.070 2	0.048 3	逆
		$C_{17}$ 建成区面积	0.058 7	0.052 6	0.058 2	正
		$C_{18}$ 人均公园绿地面积	0.037 3	0.070 2	0.049 4	正
		$C_{19}$ 每万人大学在校学生数	0.039 7	0.035 1	0.026 2	正

### 3 结果分析

#### 3.1 研究区概况

福建省位于北纬 23°31'-28°18',东经 115°50'-120°43',地处中国东南沿海,靠近北回归线.地形以山地丘陵为主,全省大部分属中亚热带,闽东南部分地区属南亚热带.光热资源丰富,降雨充足,植物种类繁多,是我国南方重点林区.福建作为全国生态省建设试点省份之一,在重视社会经济发展的同时,也相应出台了《福建生态省建设“十二五”规划》,积极推动经济可持续发展.

#### 3.2 分析数据来源

研究数据主要来源于《中国统计年鉴》(2004-2013 年)和《福建省统计年鉴》(2004-2013 年).

#### 3.3 结果与分析

依据 E-E-S 概念协同模型,选取了“环境、经济、社会”3 个要素构建城市生态安全评价指标,运用 AHP 法和熵值法相结合求取权重,利用模糊物元模型,对 2003-2012 年福建省城市生态系统的安全性进行评价<sup>[18,19]</sup>.

表 4 2003-2012 年福建省城市生态系统欧氏贴近度计算值及评价等级

年份	环境	经济	社会	城市生态安全	评价等级
2003	0.738 5	0.643 9	0.756 5	0.625 7	临界安全
2004	0.688 3	0.668 8	0.779 8	0.577 7	不安全
2005	0.826 0	0.681 8	0.812 2	0.677 3	临界安全
2006	0.821 6	0.725 2	0.848 9	0.729 1	较安全
2007	0.804 6	0.760 4	0.859 0	0.747 9	较安全
2008	0.744 4	0.768 3	0.886 2	0.686 6	临界安全
2009	0.739 7	0.789 2	0.903 1	0.720 3	较安全
2010	0.802 8	0.871 6	0.949 1	0.774 5	较安全
2011	0.742 7	0.903 7	0.971 4	0.753 1	较安全
2012	0.846 3	0.909 5	0.982 9	0.831 4	较安全

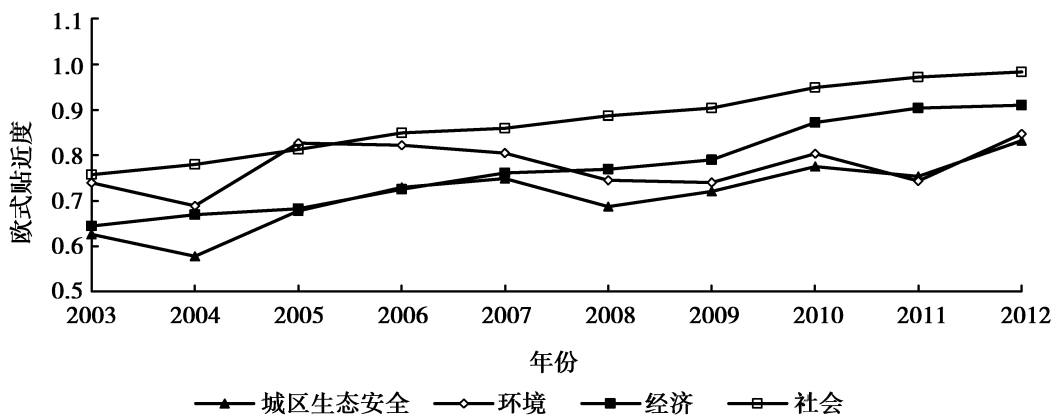


图 1 2003-2012 年福建省城市生态系统整体及各要素健康状况评价

结果表明,上述评价年份中,福建省城市生态系统安全水平整体趋势良好,由 2003 年的 0.625 7 上升至 2012 年的 0.831 4,整体上升幅度接近 33%,由临界安全逐步转变为较安全.由图 1 可知,城市生态系统安全



欧氏贴适度整体上呈波浪形上升,在 2007、2010、2012 年达到峰值,指标值自 2009 年以后稳步上升,安全评价等级一直维持在较安全,表明福建省城市的生态系统安全与环境、经济、社会三要素的协调性不断增强。

根据表 4 可知,2003-2012 年福建省城市生态安全系统环境要素的健康优劣排序为 2012,2005,2006,2007,2010,2008,2011,2009,2003,2004 年,可以发现,2004,2008,2011 年的指标值达到谷值,主要原因是上述年度全省人均水资源量较前后年度明显减少,以 2004 年为例,当年人均水资源量较 2003 年减少近  $300 \text{ m}^3$ ,较 2005 年减少近  $2\,000 \text{ m}^3$ ,这也是当年评价结果为不安全的重要原因之一。此外,自然灾害也是导致人均水资源量减少的重要因素,2011 年福建省遭受 50 年以来最严重的旱灾,降雨量为近十年来最小值,直接影响到当年度人均水资源量,而水资源量的不足直接影响到上述年度城市生态系统的安全评价结果。

从经济和社会要素来看,福建省 2003-2012 年的欧氏贴适度变化幅度均较大,经济要素由 2003 年的 0.643 9 上升到 2012 年的 0.909 5,上升幅度达到 40% 以上。社会要素由 2003 年的 0.756 5 上升到 2012 年的 0.982 9,上升幅度接近 30%,这也反应了近十年来,福建省经济发展较快,社会发展稳步前进。对比 2003 年和 2012 年数据,在经济要素中,福建省 2012 年的城镇常住人口为 2003 年的 1.37 倍,人均 GDP 为 3.74 倍,民用汽车总量为 5.49 倍。社会要素中的城市水平逐渐提高,建成区面积和人均公园绿地面积稳步提高,城镇居民恩格尔系数也呈现下降趋势。在教育层面,2012 年每万人拥有大学在校学生人数是 2003 年的 2.1 倍。

## 4 结论与建议

城市生态安全影响城市的规划和经济的发展。上述指标的变化,体现了福建省经济与社会要素发展的趋势。应注意的是,虽然上述数据分析中,2012 年各要素的欧氏贴适度为近十年的最大值,说明福建省城市生态系统整体趋势趋于好转,但是在观察周期中,各要素中存在某些指标有所恶化或反复的现象,如水土流失当年新增治理面积在近十年中波动明显,环境污染治理投资总额占 GDP 的比例增大后又减小,全社会固定资产投资一度过热等。而从图 1 来看,虽然经济与社会要素增长趋势相近,但环境要素与两者的差距逐渐明显,说明在福建省经济与社会快速发展的同时,一度隐藏的城市生态环境问题逐渐浮现。环境保护与经济社会发展尚未协调,生态压力、环境压力并未得到根本性改变,人与环境的矛盾依然存在。

同时,在上述评价年份中,环境、经济和社会各要素欧氏贴适度在大部分时间中均在数值上高于城市生态安全贴适度,而城市生态安全贴适度数值上与各年份中三要素最低值相近,这说明城市生态安全的改善需要三要素协同发展,各要素间的发展不均衡或者任何一个要素的滞后均可能影响整体的生态安全,也说明只有正确对城市生态系统三要素进行调控,才能使得城市生态系统的发展更加趋于稳定和协调<sup>[20]</sup>。

对城市生态系统的研究必须依托一个长期的时间序列为基础进行分析<sup>[21]</sup>,此处选取十年为一个观测周期对福建省城市生态系统进行评价,通过上述分析评价,福建省城市生态安全需要持续地投入人力物力进行保护和促进。在今后的发展中,提高水土流失治理、环境污染治理和城市的绿地面积依然有着积极的意义。同时,环境景观的人性化设计<sup>[22]</sup>,对于土地的合理开发利用<sup>[23]</sup>,环境保护的投入,整体科技水平的提高以及相关的政策扶持和法律条文规范依旧是保护福建省城市生态系统安全的重点。此外,在城市周边郊区的发展中也可以参考已有观光农业、休闲农业等生态农业经营模式,适当调整现有发展模式,不仅可以促使经济发展模式更加清洁化、生态化,还能提高城市周边环境的生态承载力<sup>[24]</sup>。

### 参考文献:

- [1] GRIMM N B, GROVE J M, PICKETT S T, et al. Integrated Approaches to Long-term Studies of Urban Ecological Systems[J]. *Bioscience*, 2000, 50(7): 571-584
- [2] 陈昌笃, 鲍世行. 中国的城市化及其发展趋势[J]. *生态学报*, 1994, 14(1): 84-89
- [3] JIANG Q, SHINTARO G, HIROKI T. LUCC and Accompanied Soil Degradation in China from 1960s to 1990s[J]. *Journal of Geoscience Research NE Asia*, 2002, 5(1): 62-71
- [4] CHEN J. Rapid Urbanization in China-a Real Challenge to Soil Protection and Food security[J]. *Catena*, 2007(69): 1-15

- [5] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358
- [6] 施晓清,欧阳志云.城市生态安全及其动态评价方法[J].生态学报,2005,25(12):3237-3243
- [7] 周文华,王如松.城市生态安全评价方法研究[J].生态学杂志,2005,24(7):848-852
- [8] 曹润敏,曹峰.中国古代城市选址中的生态安全意识[J].规划师,2004,20(10):86-89
- [9] 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(3):316-322
- [10] 罗文斌,吴次芳,汪友结,等.基于物元分析的城市土地生态水平评价—以浙江省杭州市为例[J].中国土地科学,2008(12):31-38
- [11] 范轶玲.城市生态系统健康评价研究—以重庆市主城区为例[D].西南大学,2006
- [12] 张松男,雷国平.基于E-E-S协同模型的土地生态安全模糊物元评价—以哈尔滨市为例[J].国土资源情报,2012(11):51-56
- [13] 倪九派,李萍,魏朝富,等.基于AHP和熵值法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009(5):202-209
- [14] 李斌.层次分析法和特尔菲法的赋权精度与定权[J].系统工程理论与实践,1998(12):75-80
- [15] 何琼,孙世群,吴开亚,等.区域生态安全评价的AHP赋权方法研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2004(4):433-437
- [16] 刘杰,李朝峰,李小彭,等.基于物元和组合权重的产品广义质量评价研究及应用[J].东北大学学报:自然科学版,2008(9):1314-1317
- [17] SPIEGEL J M, BONET M, YASSI A, et al. Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: a Community-based Approach [J]. Ecosystem Health, 2001,7(1):15-26
- [18] 曾勇,沈根祥,黄沈发,等.上海城市生态系统健康评价[J].长江流域资源与环境,2005(2):208-212
- [19] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态报,2002(3):354-358
- [20] 邓楚雄,谢炳庚,吴永兴,等.上海都市农业生态安全定量综合评价[J].地理研究,2011(4):645-654
- [21] 周文华,王如松.基于熵值的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J].生态学报,2005(12):3244-3251
- [22] 顾芳.城市公园绿地人性化理念探索与实践—以上海南园滨江绿地设计为例[J].西北林学院学报,2013(5):211-215
- [23] 季菲菲,吉文丽,杨婷,等.基于土地适宜性的新农村规划—以高台县侯庄村为例[J].西北林学院学报,2013(5):205-210;220
- [24] 常风云,肖斌.十天高速公路区域生态景观规划设计研究—以安康至汉中段为例[J].西北林学院学报,2011,26(6):219-223

## Evaluation on the Ecological Security of Fujian Province Based on E-E-S Model

**HUANG Peng<sup>1</sup>, GUO Min<sup>2</sup>, LAN Si-ren<sup>1\*</sup>**

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** With E-E-S model to decide the evaluation index first, then fuzzy matter-element method is used to establish the evaluation system. The weight of evaluation index is calculated by the way in combination of the entropy method and AHP method, and then the evaluation system is calculated by Euclid approach degree to seek the index factors that dominate a city's ecosystem security. Taking Fujian Province as an example, based on its data of last decade, this paper calculates and evaluates its urban ecological system. The results show that the ecological security level of Fujian Province presents an upward trend as a whole, but some indexes of each element in the system are deteriorated or relapsed.

**Key words:** EES; fuzzy matter-element model; entropy; AHP; Euclid Approach Degree