

内蒙古呼伦贝尔市草原火灾危害度评价及预测^{*}

张继权, 范久波, 刘兴朋, 杨海焕, 佟志军

(东北师范大学 城市与环境科学学院, 东北师范大学 自然灾害研究所, 吉林 长春 130024)

摘要:以呼伦贝尔市1994–2005年的草原火灾为研究对象, 基于灰色关联度法、系统聚类分析法, 引用草原火灾危害度指数(HI), 对每年草原火灾危害度进行评价, 并借助灰色灾变预测法对危害度大的年份进行预测, 预测到未来2个危害度大的年份是2014、2026年。

关键词:草原火灾; 灰色关联度; 系统聚类分析; 危害度; 内蒙古呼伦贝尔市

中图分类号: S812.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–811X(2010)01–0035–04

草原火灾受多种因素的制约, 属于突发性灾害。目前国内外对草原火灾的研究主要侧重于对草原火行为、草原火险预报、草原火险监测和综合指标的草原火灾风险研究^[1]。傅泽强(2001)对草原火灾进行了火险区划研究^[2]; 杜秀贤等(1997)对呼伦贝尔市森林和草原火灾的时空发生规律进行了研究^[3]; 岳秀泉等(1999)利用统计分析方法对呼伦贝尔市草原火进行了研究^[4]。利用草原火灾历史资料分析草原火灾发生的频度和强度, 对于草原火灾管理具有重要意义。但是在传统上由于草原火灾是小样本事件, 因此本研究利用灰色理论对草原火灾的危害度进行评价和预测研究, 以期对内蒙古呼伦贝尔市草原火灾管理提供支持。

呼伦贝尔市位于内蒙古自治区东北部, 地处47°05′~53°04′N、115°31′~126°04′E。现有草原面积约100万hm², 牧区人均占有草原面积约100hm²。据统计, 1994–2005年间, 呼伦贝尔市年均发生草原火灾21次, 年均受害草原面积达12万hm², 年均经济损失高达100万元。草原火灾已成为影响呼伦贝尔市多发的自然灾害之一, 每年频发的草原火灾给草原地区的经济发展、社会安定带来巨大影响, 严重制约畜牧业稳定发展。因此, 进行草原火灾危害度评价及预测研究对呼伦贝尔市草原火灾管理具有重要意义。

1 研究方法和数据来源

1.1 系统聚类法

系统聚类法是聚类分析的一种, 其基本作法是: 先将 n 个地点(或样品)看成各自一类, 并定义样品间、类与类间的距离, 进而选择距离最小的一对合成一新类, 接着计算新类与其它类间的距离, 再将距离最近的两类合并, 直至所有样品都成为一类为止^[5]。

1.2 灰色关联度法

灰色关联度法是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度, 作为衡量因素间关联程度的一种方法^[6–7]。灰色关联评价系统根据所给出的评价标准和比较数列, 通过计算参考数列与各评价标准或比较数列的关联度大小, 判断该参考数列与哪级比较数列的接近程度来评定该参考数列的等级。

首先, 确定参考数列 X_0 和比较数列 $X_i(i=1, 2, \dots, m)$; 其次, 对参考数列和比较数列进行无量纲化处理后, 求关联系数 $\xi_i(k)$; 再次, 计算关联度 r_i ; 最后, 确定评价指标的权重 W_i ; 计算权重 W_i 的公式为:

^{*} 收稿日期: 2009–07–28

基金项目: 国家自然科学基金(40871236); 十一五国家科技支撑重大项目(2008BAJ08B14); 十一五国家科技支撑计划课题(2007BAC29B04); 十一五国家科技支撑计划重点项目(2006BAD16B04–2–2); 公益性行业(农业)科研专项(200903041); 东北师范大学自然科学青年基金(20090603)

作者简介: 张继权(1965–), 男, 教授, 博士后, 博士生导师, 主要从事自然灾害与生态环境风险评价和管理研究。

E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

$$W_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \times 100, i = 1, 2, \cdots, m。$$
 (1)

1.3 灰色灾变预测法

灰色灾变预测法是灰色预测法的一类，它是对某个时间是否会发生某种“灾变”，或某个异常值可能在什么时间出现等进行预测。灰色灾变预测模型不但计算简便，而且预测精度非常高，特别是对于短时间序列的预测比其它预测方法更有效^[6]。

1.4 数据来源

本文所需数据由内蒙古呼伦贝尔市草原防火办提供。

2 呼伦贝尔市草原火灾危害度评价

2.1 草原火灾危害度评价指标与权重

为了定量评价草原火灾年损害程度，引用草原火灾危害度指数(HI)表示评价草原火灾各种损失的综合指标。综合考虑呼伦贝尔市自然条件，人口、财产、各类经济发展的脆弱程度及其分布，火灾管理水平及组织指挥能力，减灾工程及设施效能，综合承灾能力等^[8-9]。总结出呼伦贝尔市草原火灾损失有草原损失、人口损失、牲畜损失、基础设施损失和经济损失 5 类，具体包括受害草原面积、人员伤亡、牲畜伤亡、烧毁饲草、烧毁房屋、烧毁棚舍、烧毁帐篷、扑火费用与其他损失折款 8 项指标。由于所选指标单位不同，为便于计算，选用以下直线缩放公式，把各指标量化成可计算的 0~1 之间的无量纲值表示各类损失指标。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{i \max j}}，$$
 (2)

式中： X'_{ij} 和 X_{ij} 分别表示年份*j*中指标*i*的量化值和原始值； $X_{i \max j}$ 表示指标*i*在所有年份中的最大值。

由于各个指标对总体对象的影响程度不同，设草原火灾年发生次数为参考数列，所选指标为比较数列，运用灰色关联度法赋予各指标权重(图 1)。进一步可得到草原火灾年危害度指数的计算公式：

$$HI = \sum_{i=1}^m W_i X'_{ij}，$$
 (3)

式中：HI 表示草原火灾危害度指数，指数越大，表示草原火灾造成的危害越大； W_i 是指标*i*的权重值； X'_{ij} 是年份*j*中指标*i*的量化值；*m*是评价指标的个数。

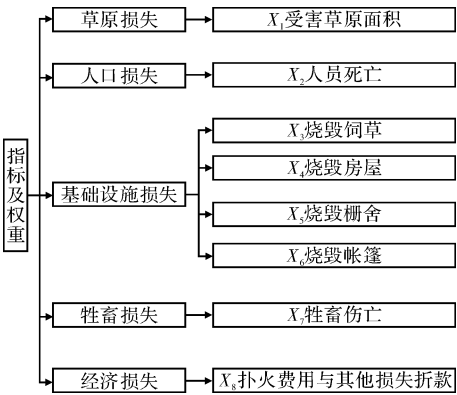


图 1 草原火灾危害度评价指标体系及权重

2.2 草原火灾年类型划分

基于系统聚类分析法，把草原火灾年作为评价的基本对象，根据指标体系，选取受害草原面积、人员伤亡、牲畜伤亡、烧毁饲草、烧毁房屋、烧毁棚舍、烧毁帐篷、扑火费用与其他损失折款无量纲化后的值作为评价指标的特征值，采用欧式距离测度 12 个火灾年之间的样本距离，选用可变类平均法计算类间距离，对不同年份的草原火灾危害程度进行评价与等级划分。得到的不同年份草原火灾危害度等级划分的分割树如图 2 所示。

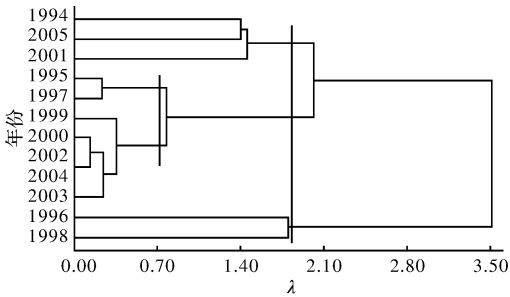


图 2 草原火灾年等级划分分割树图

当 $\lambda = 1.85$ 和 0.70 时，12 年的草原火灾可以划分为 4 种类型。结合公式(3)计算得到的各类型草原火灾危害度指数的最大值、最小值和平均值的特征发现，每个聚类类型所包含的年份数量不一，且不同类型具有明显的特征上的差异(表 1)。这表明利用系统聚类分析法可以得到客观、有效的结果。其次，利用草原火灾危害度指数分析 4 种类型，可以综合地评价各种类型的危害度指数并且区分出不同的危害度等级。根据表 2 可以得到各个类型的危害度指数的界限值。对照表 1 和表 2 可知，从类型 I 到 IV，草原火灾年危害度指数依次减小，据此可以将类型 I、II、III、IV 分别称为极重度火灾年、重度火灾年、中度火灾年、轻度火灾年。表 3 是根据系统聚类分析法得到的不同年份草原火灾危害度指数的分类结果。

| 表 1 | | 不同草原火灾类型的危害度指数特征 | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|------------------|-------|----------------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 类型 | I | | | II | | | III | | | IV | | |
| 年份 | 1996 1998 | | | 1994 2001 2005 | | | 1995 1997 | | | 1999 2000 2002 2003 2004 | | |
| 危害度(HI) | 平均 | 最大 | 最小 | 平均 | 最大 | 最小 | 平均 | 最大 | 最小 | 平均 | 最大 | 最小 |
| | 0. 47 | 0. 50 | 0. 44 | 0. 19 | 0. 26 | 0. 15 | 0. 11 | 0. 11 | 0. 10 | 0. 03 | 0. 07 | 0. 00 |

| 表 2 不同草原火灾类型危害度指数界限值 | | | | |
|----------------------|--------|---------------|---------------|---------|
| 类型 | 极重度火灾年 | 重度火灾年 | 中度火灾年 | 轻度火灾年 |
| 界限值 | ≥0. 44 | 0. 15 ~ 0. 44 | 0. 11 ~ 0. 15 | < 0. 11 |

| 表 3 不同年份火灾危害度指数的分类 | | |
|--------------------|---------------|--------------------------|
| 类型 | 危害度(HI) | 年份 |
| 极重度火灾年 | ≥0. 44 | 1996 1998 |
| 重度火灾年 | 0. 15 ~ 0. 44 | 1994 2001 2005 |
| 中度火灾年 | 0. 11 ~ 0. 15 | 1995 1997 |
| 轻度火灾年 | < 0. 11 | 1999 2000 2002 2003 2004 |

由表 3 知, 1994 – 2005 年的 12 年间极重度火灾年 2 个, 重度火灾年 3 个, 中度火灾年 2 个, 轻度火灾年 5 个。分别占年总数的 16. 7%、25%、16. 7%、41. 6%。而且草原火灾年中, 极重度、重度火灾年中以前的年份多, 中度、轻度火灾年中后面的年份多。

3 草原火灾发生的预测

由表 3 可知, 1994 – 2005 年的 12 年间极重度、重度火灾年共 5 年, 占总数的 41. 7%, 这些年份草原火灾造成的损失是非常严重的。因此, 如果事先能对这些危害度大的年份进行预测, 对草原火灾的预防及减轻具有重要作用。

3.1 预测模型的构建

对于火灾发生年的预测来说, 上述 5 年的时间序列属于小样本事件, 利用传统的时间序列预测法对这样短时间序列数据构建预测模型是比较困难的, 即使能建立模型, 预测精度也会非常低, 很难用于预测。然而灰色灾变预测模型的出现, 使利用这样短的时间序列进行长期预测变成了可能。

首先, 将各个年代换成序号来表示, 即取起始年 1994 年为 1, 各年构成的原始序列可以表示为:

$$X(t)=(1,2,3,\cdots,12)。$$

然后, 对照表 3 则可以得到极重度、重度草原

火灾年所对应的由相应序号构成的原始数据序列, 即:

$$X_d^{(1)}(t)=(1,3,5,8,12)。$$

经过 1 次残差序列分析, 对未来 2 个危害度大的年份预测, 得到 GM(1, 1) 预测模型。

$$X_d^{(1)}(t+1)=0.117\ 274e^{0.745\ 044t}+0.043\ 582,\\t=1,2,3,4,5, \tag{4}$$

式中: $X_d^{(1)}(t+1)$ 是原始时间数列的累加生成时间数列 $X_d^{(1)}(t)$ 的计算值(拟合值)。当 $t \geq 5$ 时, 由式(4)计算得出的值则为累加生成时间数列 $X_d^{(1)}(t)$ 的预测值。对由式(4)计算得出时间数据序列 $X_d^{(1)}(t+1)$ 进行累减计算, 求模型原始时间数列的还原值 $X_d^{(0)}(t)$:

$$X_d^{(0)}(t)=X_d^{(1)}(t)-X_d^{(1)}(t-1),\ t=2,3,4,5。 \tag{5}$$

当 $t < 5$ 时, 由式(5)计算得出的值为原始时间序列 $X_d^{(0)}(t)$ 的计算值(拟合值), $t \geq 5$ 时, 由式(5)计算得出的值则是原始时间序列 $X_d^{(0)}(t)$ 的预测值。

3.2 预测模型的精度检验

预测精度是验证预测模型实用性的一个重要指标。按照下述方法对构建的呼伦贝尔市极重度、重度火灾发生年的灰色预测模型进行精度检验。

$$C=S_2/S_1,$$

$$P=\{q^{(0)}(t)-\bar{q}<0.674\ 5S_1\}, \tag{6}$$

式中: $q^{(0)}(t)$ 为误差; S_1 为原始时间序列 $X_d^{(0)}(t)$ 的标准差; S_2 为误差 $q^{(0)}(t)$ 的标准差; \bar{q} 为误差 $q^{(0)}(t)$ 的平均值; C 和 P 分别叫做标准差比(检验比)和小误差概率。一般而言, 如果满足 $C < 0.35$, $P > 0.95$, 说明预测模型精度高。根据式(6)计算得到 C, P 的结果分别为 0.04 和 1.00, 符合精度检验标准, 可以用于预测。

由表 4 可知, 根据预测模型得到的草原火灾年的计算值(拟合值)的最大误差为 -0.41 年, 最小误差为 -0.04 年, 平均误差和平均相对误差分别为 -0.19 和 -2.91%, 进一步验证了预测模型的精度很好。

表 4 基于灰色预测方法的草原火灾年的预测模型检验结果

| 年份 | 实测值 | 拟合值 | 误差 | 相对误差(%) |
|------|-----|------|-------|---------|
| 1996 | 3 | 3.1 | -0.13 | -4.33 |
| 1998 | 5 | 5.1 | -0.17 | -3.34 |
| 2001 | 8 | 8.0 | -0.04 | -0.56 |
| 2003 | 12 | 12.4 | -0.41 | -3.42 |

根据预测模型对呼伦贝尔市未来 2 个危害度大的年份进行预测，得到的序号分别是 20.6、33.3，变换为年代是 2014、2026 年。

4 结论

草原火灾造成的损失有人口损失、草原损失、基础设施损失、牲畜损失和经济损失，本文综合考虑呼伦贝尔市各方面因素，根据灾害发生原理，基于灰色关联度法及系统聚类分析法综合评价了草原火灾年损失，以能综合体现损失程度的危害度指数(HI)作为综合指标，将呼伦贝尔市 12 年的草原火灾分为 4 种类型，并运用灰色灾变预测法，

对危害度大的极重度、重度火灾年进行预测，预测到未来 2 个危害度大的年份是 2014、2026 年。

参考文献：

[1] 张继权, 刘兴朋, 佟志军. 草原火灾风险评价与分区研究——以吉林省西部草原为例[J]. 地理研究, 2007, 26(4): 755-762.

[2] 傅泽强. 内蒙古干旱草原火险气候区划及火管理对策研究[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 1-5.

[3] 杜秀贤, 郭绍存, 邓文政, 等. 呼盟森林及草原火灾的发生规律研究[J]. 内蒙古气象, 1997(3): 12-33.

[4] 岳秀泉, 周道玮, 姜世成. 呼伦贝尔草原火分析[J]. 东北师范大学学报: 自然科学版, 1999(4): 111-116.

[5] 杨令宾. 计量地理学[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2007.

[6] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.

[7] 刘海松, 范敏, 倪万魁, 等. 灰色关联度法在公路地质灾害危险性评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005(3): 32-34.

[8] 傅泽强. 草原火灾灾情评估方法的研究[J]. 内蒙古气象, 2001(3): 36-39.

[9] 张会, 张继权, 周道玮, 等. 中国草原火灾灾情评价模型[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006(S0): 75-81.

Assessment and Prediction of Grassland Fire Disaster in Hulunbeir

Zhang Jiquan, Fan Jiubo, Liu Xingpeng, Yang Haihuan and Tong Zhijun
(College of Urban and Environmental Sciences, Natural Disaster Research Institute,
Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: Based on the gray correlation method and systematic clustering analysis, taking the grassland fire disasters in Hulunbeir from 1994 to 2005 as study object, the grassland fire hazard degrees each year are evaluated by use of grassland fire hazard degree index (HI). Gray prediction method is used to predict the year of greater hazards. It is expected that this study can provide the governments with a scientific basis for disaster prevention and mitigation.

Key words: grassland fire disaster; gray relational grade; systematic clustering analysis; hazard degree; Hulunbeir of Inner Mongolia