

评价森林火险等级预报效用的试验

郑长贵 李炳辉

尹维祥

张之铸

(黑龙江省气象科学研究所) (伊春市气象台) (国家气象局科技情报研究所)

一、前言

为了探讨预报方法效用的评价方法，我们以伊春市森林火险等级预报为例进行了试验研究。

黑龙江省伊春地区是我国木材的重要产地，但是森林火灾却严重地威胁着森林资源。为了服务于林业部门的防火、灭火工作，伊春市气象台从1980年起，发布森林火险等级预报。在预报工作中，曾试用过苏联聂斯切洛夫的森林火险等级预报方法和国外提出的其它方法。但感到这些方法对伊春地区都不太适用，于是在普查历史天气、气候资料的基础上，选择了6个相关因子，组合成一套预报工具（以下简称伊春方法），几年来使用效果尚好。

森林火险等级预报的质量（包括准确程度、适用性等），可以主要地由其经济价值来反映。因此，为了研究聂斯切洛夫方法和伊春方法在伊春地区的适用性，我们分别统计了用这两种方法所作的森林火险等级预报与实际火险等级符合的程度，还评价了它们对于减少灭火费用的贡献。在此同时，也得出了伊春台业务预报在减少林区灭火费用方面的经济效益。所使用的评价方法，主要参考了苏联Г·А·卡尔别耶夫和В·Ф·柯杰里采娃评价苏联雅库梯自治共和国和伊尔库次克州森林火险等级预报经济效益的某些作法^[1]。所使用的有关森林防火的资料，由伊春市防火指挥部提供；气象资料取自伊春市气象台观测簿；业务预报资料由伊春市气象台预报室提供。

二、两种森林火险等级预报的检验

聂斯切洛夫方法的火险等级，是依据在苏联欧洲部分北部平原地区进行的一系列实验提出来的。他认为，某一地区无雨期越长，气温越高，空气越干燥，地被物的湿度越小，则森林易燃性越大。因此，某一地区的森林易燃性可以用一个综合气象指标表示^[2]：

$$\Gamma = \sum_1^n (t \cdot d) \quad (1)$$

上式中 Γ 为森林易燃性指标，n为降水后的天数，t为空气温度（°C），d为饱和差（毫巴）。当 $\Gamma \leq 300$ 时，森林火险为Ⅰ级， $301 \leq \Gamma \leq 500$ 时为Ⅱ级， $501 \leq \Gamma \leq 1000$ 时为Ⅲ级， $\Gamma > 1000$ 时为Ⅳ级*。火险等级越高，森林易燃性越强。另在制作森林火险等级预报时，要考虑该日气温和降水的预报。

我们利用1981—1983年4—5月伊春台地面观测资料模拟了同期利用此法的逐日森林火险等级预

报。办法是利用各日14时t和d的记录代入式（1），求出 Γ 值及相应的火险等级。如果未预报次日有降水或仅预报有微一小雨，则用当日求得的等级作为次日预报的火险等级**。如果预报次日有小一中雨或中雨以上天气，则预报次日火险等级为Ⅰ级（降水预报依据该日该台预报簿），共得183次。

伊春方法的火险等级指标，是根据若干高空、地面因子来确定的^[3]。例如，5月份指标包括以下6个因子：降水量累计值、日照时数加地面日平均风速累计值、08时700毫巴高空风速累计值、地面08时气温累计值、08时700毫巴气温累计值、逐日08时地面相对湿度值。根据上述6个因子，首先分别计算出起报日前五天诸因子各日组合概率值，而后再计算出其五天滑动组合概率平均值M，此值便为火险等级的综合指标。各月的综合指标是不同的，5月份火险等级的划分标准为：当 $M \leq 0.17$ 时为Ⅰ级， $0.18 \leq M \leq 0.23$ 为Ⅱ级， $0.24 \leq M \leq 0.28$ 为Ⅲ级， $0.29 \leq M \leq 0.32$ 为Ⅳ级***。

在实际预报时，先将起报日前五天组合概率平均值定级，再根据起报日的天气预报进行订正。若预报有连续性小雨以上的降水时，则火险降至Ⅰ级。否则要考虑风和最高气温的预报，当偏南风3级以上且最高气温上升5°C以上时要升一级，否则级不变。

根据1981—1983年三年试用的结果来看，春季（4—5月）预报和实际相符的概率为0.74，而同期着火的气候概率为0.10。由此可见，伊春方法是一种可用于当地的林火预报方法。

由于伊春台1981—1983年4—5月的森林火险等级预报是依据以上方法作出的，所以在检验其成功率的时候直接使用了该台业务预报资料。

为了与以上两种方法作出的预报对比，我们还作了同期各日的随机预报。

设 P_{011} 为业务预报火险等级与实际火险等级相符的概率， $\sum_1^4 P_{001} \cdot P_{010}$ 为随机预报与实际火险等级相符的概率，则业务预报与实际等级的相符程度Q可以用下式计算：

*聂斯切洛夫方法的火险等级划分，在实用过程中曾有些变化。按文献[2]，该方法划分了五级。在文献[1]中评价该方法效用时，是按四级划分的。本文是按伊春台过去试用并认为在当地效果较好的分为四级的标准来模拟的。

**在日常值班中，预报员在此情况下是要考虑累进的，但因模拟中不易规定条件，故一律未考虑累进。

***此方法原将火险分为五级^[3]，后来在实际工作中改为四级，本文按现在实际应用的分级方法划分。

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{oi} - \sum_{i=1}^4 P_{ooi} \cdot P_{oi}}{1 - \sum_{i=1}^4 P_{ooi} \cdot P_{oi}} \quad (2)$$

显然，依据上式，随机预报的 Q 值为 0。

用聂斯切洛夫方法和伊春方法所预报的火险等级分别与相应的实际火险等级对比，求出伊春市 1981—1983 年 4—5 月这两种预报的 Q 值，如表 1。

表 1 两种预报方法的 Q 值对比

年	Q 值	
	聂斯切洛夫方法	伊春方法
1981	0.72	0.61
1982	0.52	0.69
1983	0.29	0.63
平均	0.51	0.64

应当指出，聂斯切洛夫方法和伊春方法虽然都分四个等级，但这两种等级并不等同。在统计这两种方法的 Q 值时要使用随机预报与这两种实际等级相符的概率，因此， P_{ooi} 项要用两种分级方法来拟合。在统计聂斯切洛夫方法的 Q 值时，代入公式 (2) 中 P_{ooi} 项的是按该方法的综合指标的实际火险等级。在统计伊春方法的 Q 值时，代入公式 (2) P_{ooi} 项是按伊春方法确定的实际等级。

由表 1 可见，伊春方法的成功率较聂斯切洛夫方法平均高 0.13。

三、两种预报方法的经济效益评价

森林火险等级预报与实际等级相符的程度高低，并不能完全反映它对于防火、灭火的有用程度。这是因为火险等级的划分标准不同，对于着火可能性反映的程度不同。另外，着火与否除与易燃程度有关外，还与火源和植被等其它条件有关。

因此，为了比较两种方法的可用性，我们把它们作出的预报与有无林火结合起来，评价它们的经济效益。在此项工作中不再研究是否符合实际火险等级。

(一) 评价方法

以 ϕ_1 表示实况有林火， ϕ_2 表示无林火；同时规定凡一天内有一起以上林火者均作为有林火，次数不限。另外，考虑到实际使用预报时人们往往认为预报 I 和 II 级时发生林火的可能性小，预报 III 和 IV 级时发生林火的可能性大，所以用 π_1 表示预报火险 III—IV 级，用 π_2 表示 I—II 级。这样，森林火险预报的经济效益就可以按二分类预报来评价。

以 ϕ_1 代表 ϕ_1 和 ϕ_2 ， π_1 代表 π_1 和 π_2 ，则 p_{ij} 为 ϕ_1 和 π_1 各种不同组合的概率，显然 p_{ij} 项的总和是 1.0。 g_{ij} 项则是一个效益函数，用矩阵表示；它代表一个“防火日”（一个防火日不只有一起林火）因为使用预报所得的平均收益（减少的损失）。其中， g_{11} 表示实际有火、预报也有火时林业部门因使用预报平均一日所得的收益， g_{12} 表示实际有火、预报无

火时平均一日的收益， g_{21} 表示实际无火、预报有火时平均一日的收益， g_{22} 表示实际无火、预报也无火时因为使用预报所得的平均一日收益。

用 G 表示平均一次业务预报的收益，则 G 可用下式求出：

$$G = \sum_{i,j=1}^n g_{ij} p_{ij} \quad (3)$$

以 G^0 表示一次理想预报*的平均收益， G' 表示一次随机预报的平均收益，则可用业务预报高于随机预报的收益作为业务预报的经济效益：

$$E = G - G' \quad (4)$$

用理想预报与随机预报的收益差作为理想预报的经济效益：

$$E^0 = G^0 - G' \quad (5)$$

业务预报距理想状况的差距为：

$$E' = G^0 - G \quad (6)$$

式 (6) 所示即科学研究所达到的潜在经济效益。

如要求出 N 次预报的总效益，则以 E 值乘 N 即可求得。

由上述可见，在评价对比各种预报方法时，主要的任务是要统计 g_{ij} 项和 p_{ij} 项。 p_{ij} 项要依据各种方法的预报等级和实际等级分别统计，而 g_{ij} 项则需要经过调查求得。在本文中，求算方法如下。

设伊春地区防火期（4—5 月）平均一天灭火费用为 a 元。据伊春市林业部门 1953—1983 年 4—5 月（共 1891 天）实际防火费用支出的资料统计，在此期间共灭火 1726 次，共用了工时费和材料费 2725.2 万元，平均每次灭火费用为 15789.1 元。据近三年资料统计，每个有火日平均发生林火 1.3 起，故得出一个有火日的平均灭火费用 $a = 20525.8$ 元。

但是在不同的预报准确率情况下，平均一日的灭火费用是不同的。因此，我们依据历年实际预报资料分别计算出各类情况的平均权重系数。当预报有火、实际有火时，由于事先有准备，所以只需支出专业灭火队的工时费和直接消耗费。据计算，此时 $g_{11} = -0.9a$ 。在预报有火、实际无火时，除需支出专业队工时费外，尚需支出一部分直接消耗费（如把人和器材运至现场等），据计算 $g_{12} = -0.6a$ 。当预报无火而实际有火时，则除专业队的工时费和消耗费外，还要支出民工的工时费及其直接消耗费，故 $g_{21} = -1.9a$ 。当预报无火、实际无火时，只需支出专业队的工时费，故 $g_{22} = -0.3a$ 。以上 g_{ij} 的数值冠以负号，因为它属于支出项（表 2）。表 2 为伊春地区各组合情况下每次支出的平均值。

表 2 g_{ij} 矩阵

	π_1 (III—IV 级)	π_2 (I—II 级)
ϕ_1 (有火)	$-0.9a = -18473.2$ 元	$-1.9a = -38999.0$ 元
ϕ_2 (无火)	$-0.6a = -12315.5$ 元	$-0.3a = -6157.7$ 元

实际，上一次正确的火险预报所起的作用，还应

* 本文中所谓理想预报，指的是预报的火险等级与实际等级全部相符的预报。

当包括减少飞机巡视以及因及时扑火而缩小林火蔓延的效益等等。这方面的效益要比减少灭火费用的效益大得多。但因为这是多方面努力的结果，不容易将火险预报的效用分离出来，故未概括到 a 值中去。

(二) 聂斯切洛夫方法的经济效益评价

依据前述用聂斯切洛夫方法模拟的1981—1983年4—5月183次预报，求出其 p_{ij} 矩阵如表3。

表3 聂斯切洛夫方法的预报的 p_{ij} 矩阵

	π_1 (III—IV级)	π_2 (I—II级)
ϕ_1	$\frac{24}{183} = 0.13$	$\frac{12}{183} = 0.07$
ϕ_2	$\frac{52}{183} = 0.28$	$\frac{95}{183} = 0.52$

将表2和表3中数据代入式(3)，得出
 $G_{\text{聂}} = -11676.1$ 元 (7)

然后求出随机预报的 p_{ij} 矩阵，如表4。

表4 随机预报的 p_{ij} 矩阵

	π_1 (III—IV级)	π_2 (I—II级)
ϕ_1	$\frac{14}{183} = 0.08$	$\frac{22}{183} = 0.12$
ϕ_2	$\frac{81}{183} = 0.44$	$\frac{66}{183} = 0.36$

将表2和表4数据代入式(3)，得出
 $G_{\text{随}} = -13773.6$ 元 (8)

由此，得出用聂斯切洛夫方法制作一次预报的平均相对效益为：

$$E_{\text{聂}} = G_{\text{聂}} - G_{\text{随}} = 2097.5 \text{ 元} \quad (9)$$

伊春地区的林火主要出现于4—5月(共61天)，因此用聂斯切洛夫方法制作预报一年的经济效益应为：

$$E_{\text{聂年}} = 2097.5 \times 61 = 127947.5 \text{ 元} \quad (10)$$

(三) 伊春方法的经济效益评价

求出1981—1983年4—5月用伊春方法预报的 p_{ij} 矩阵，如表5。

表5 伊春方法的 p_{ij} 矩阵

	π_1 (III—IV级)	π_2 (I—II级)
ϕ_1	$\frac{35}{183} = 0.19$	$\frac{1}{183} = 0.01$
ϕ_2	$\frac{81}{183} = 0.44$	$\frac{66}{183} = 0.36$

将表2和表5数据代入式(3)，得出

$$G_{\text{伊}} = -11418.1 \text{ 元} \quad (11)$$

用式(11)减去式(8)，得出用伊春方法预报的平均相对效益为：

$$E_{\text{伊}} = G_{\text{伊}} - G_{\text{随}} = 2355.5 \text{ 元} \quad (12)$$

利用伊春方法制作预报的年经济效益为：

$$E_{\text{伊年}} = 2355.5 \times 61 = 143685.5 \text{ 元} \quad (13)$$

此即伊春市气象台森林火险等级预报一年对于减少

灭火费用的总贡献。

(四) 效益分析和对比

1.为了分析对比，我们利用同期资料求出理想预报(按伊春方法的分级标准)的 p_{ij} 矩阵，如表6。

表6 理想预报的 p_{ij} 矩阵

	π_1 (III—IV级)	π_2 (I—II级)
ϕ_1	$\frac{35}{183} = 0.19$	$\frac{1}{183} = 0.01$
ϕ_2	$\frac{70}{183} = 0.38$	$\frac{77}{183} = 0.42$

将表2和表6数据代入式(3)，得出一次理想预报的平均收益为：

$$G_{\text{理}} = -11047.9 \text{ 元} \quad (14)$$

用式(14)减去式(8)，得出一次理想预报的平均相对效益为：

$$E_{\text{理}} = G_{\text{理}} - G_{\text{随}} = 2725.7 \text{ 元} \quad (15)$$

同样，可以得出使用理想预报一年的经济效益为：

$$E_{\text{理年}} = 2725.7 \times 61 = 166267.7 \text{ 元} \quad (16)$$

2.用式(16)减去式(13)，所得数值即使用伊春方法预报一年与理想预报的效益差：

$$E_{\text{理年}} - E_{\text{伊年}} = 166267.7 - 143685.5 = 22582.2 \text{ 元} \quad (17)$$

此即伊春方法距离理想预报的差距，也就是今后科学的研究工作可能达到的潜在经济利益。

3.用式(13)减去式(10)，得出：

$$E_{\text{伊年}} - E_{\text{聂年}} = 143685.5 - 127947.5 = 15738 \text{ 元} \quad (18)$$

此即使用伊春方法比聂斯切洛夫方法一年能多得的经济利益。

由此可见，在伊春地区，使用伊春方法比使用聂斯切洛夫方法为好。

四、小结

1.利用伊春方法制作森林火险等级预报的经济效益，仅减少灭火费用一项，平均每年就有143685.5元，由此可见，森林火险等级预报的经济效益是可观的。

2.聂斯切洛夫方法是依据四十年代在苏联欧洲部分北部平原地区进行的一系列实验逐步发展起来的。在森林防火史上作出过自己的贡献。他对森林易燃性的考虑和划分火险等级的思路，都曾给我们以启发。但是，由以上对比分析可见，在伊春地区，它的经济效益不如伊春方法。因此，可以认为，伊春方法在伊春地区要比它更适用。

3.伊春方法的经济效益距理想状况的差距还不小。因此还要不断改进预报方法，以提高森林火险等级预报的经济效益。

参考文献

[1] Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства, Гидрометеоиздат, 1973.

[2] 郑焕能等：森林防火灾，农业出版社，1962年。

[3] 高云中等：小兴安岭森林火险等级预报的试验研究，《气象》，1981年第8期。