

免疫进化算法优化的逻辑斯谛曲线在山洪灾害灾情评价中的应用

——以腾冲县为例

王灿宇¹, 杜家幸², 苗绍慧^{3*}

(1. 云南农业大学, 云南昆明 650201; 2. 云南省腾冲县气象局, 云南腾冲 679100; 3. 云南省气象培训中心, 云南昆明 650034)

摘要 腾冲县是云南省山洪灾害易发区, 在分析研究该县以往山洪灾害灾情数据的基础上, 提出了免疫进化算法优化的逻辑斯谛曲线山洪灾害灾情评价模型(IEA 算法优化的 LOG 模型)。评价结果表明, 该方法易于操作, 克服了各单项灾情评估指标结果不相容的问题, 能够有效解决复杂的非线性优化问题, 可为县域山洪灾害的防灾减灾工作和工程治理提供决策参考。

关键词 免疫进化算法; 逻辑斯谛曲线; 山洪灾害; 灾情评价

中图分类号 S422 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)08-03463-02

Application of Logistic Curve-LOG of the Immune Evolutionary Algorithm in the Evaluation of Mountain Torrent Disaster

WANG Can-yu et al (Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract Mountain torrent disasters were prone to occurring in Tengchong County of Yunnan Province. Based on analyzing the data of past mountain torrent disasters in the county, the evaluation model for the Logistic curve-LOG of the Immune Evolutionary Algorithm was advanced. The evaluation results showed that the methods were apt to operating easily and solved the incompatible problems from monomial mensurated results of evaluation. It could be used to solve complex nonlinear optimization problems and provide decision-making gist for the jobs about disaster prevention and reduction and project management of mountain torrent disaster in the county.

Key words Immune Evolutionary Algorithm; Logistic curve-LOG; Mountain torrent disaster; Disaster evaluation

腾冲县地处高黎贡山横断山脉南端偏西部分, 是伊洛瓦底江最东的支流源头所在地, 东部高黎贡山和西北部姊妹山、尖高山组成的高黎贡山系构成屏障(高黎贡山原名昆仑岗)。境内地形复杂, 北高南低, 东高西低, 呈倾南向北之马蹄形山坝相间的盆地, 龙川江、大盈江、槟榔江 3 大主要河流全由断裂带发源, 高山、平川、河谷参差错落。春、冬干旱少雨; 夏、秋多雨, 特别是单点性大雨、暴雨发生频繁为山洪灾害的孕育、形成和发展提供了有利条件。笔者在分析研究腾冲县往年山洪灾害灾情数据的基础上, 提出了免疫进化算法优化的逻辑斯谛曲线山洪灾害灾情评价模型, 并运用该模型对山洪灾害灾情进行了评价, 以期为县域防灾减灾工作和工程治理提供借鉴。

1 逻辑斯谛曲线介绍

逻辑斯谛曲线(Logistic curve-LOG)是由荷兰生物学家 Verhulst 提出的, 该模型曲线的特点是开始增长缓慢, 而在以后的某一范围内迅速增长, 达到某一限度后增长又逐渐缓慢并趋于稳定, 可反映事物的发生、发展和成熟的一般规律, 所又称生长曲线。曲线略呈拉长的“S”型, Logistic 增长的速度函数图像为单峰曲线, 表明 LOG 曲线增长过程分为 3 个阶段: 慢→快→慢。LOG 曲线的数学方程式为:

$$X(t) = \frac{K}{(1 + e^{a-n})} \quad (1)$$

式中, $X(t)$ 为时刻 t 的待预测变量; K 为预测变量的饱和值; r 为增长率; a 为积分常数^[1]。常规的 LOG 曲线方程建模方法较复杂且精度不高。因此, 该研究采用免疫进化算法(Im-

une evolutionary algorithm, 简称 IEA 算法)求解上述问题, 建立适用于腾冲县的山洪灾害评价模型。

2 免疫进化算法原理^[2-3]

受生物免疫系统自然防卫机制的启迪, IEA 把算法理解为免疫系统, 而把外来侵犯的抗原和免疫系统产生的抗体分别与实际求解问题的目标函数以及问题的解相对应。借鉴生物免疫机制, IEA 算法中子代个体的生成方式为:

$$\begin{cases} x^{t+1} = x_{best}^t + \sigma^t N(0, 1) \\ \sigma^t = \sigma^0 \times e^{-At} \end{cases} \quad (2)$$

式中, x^{t+1} 为子代个体的可行解; x_{best}^t 为父代最优个体; σ^t 为父代群体的标准差; A 为标准差动态调整系数; T 为总的进化代数; $N(0, 1)$ 为产生的服从标准正态分布的随机数; t 为进化的代数; σ^0 为对应于初始群体的标准差。其中, A 和 σ^0 的取值根据被研究的问题来确定, 通常 $A \in [-10, 10]$, $\sigma^0 \in [1, 5]$ 。

3 IEA 算法优化的 LOG 曲线山洪灾害灾情评价模型

腾冲县每年都有不同程度的山洪灾害发生, 目前山洪灾情等级评估研究面临 3 大难题: 一是如何检验已定各单项灾情指标的灾情等级标准的合理性; 二是应用各单项灾情指标评估灾情等级的结果往往不相容; 三是目前已提出的灾度判别法、物元分析、人工神经网络法等灾情等级评价模型的计算结果都是一些离散的灾情等级, 是半定量化的, 相邻灾情等级之间缺乏必要的过渡区, 灾情等级的分辨率太粗^[4]。因此, 直接采用山洪灾害历史经验确定的灾情等级标准进行灾情评估非常困难。为此, 该研究直接利用山洪灾害等级系列(根据专家综合评定或灾情等级标准表得到), 提出采用 IEA 算法优化的 LOG 曲线的建模方案。

3.1 山洪灾害灾情评价指标的选取与量化 灾情评价指标有死亡人数、受伤人数等社会指标, 受灾人口、受灾面积、房

作者简介 王灿宇(1979-), 男, 云南鹤庆人, 讲师, 硕士, 从事农业水土工程研究, E-mail: wyj20031212@163.com。* 通讯作者, 讲师, 硕士, 从事成人教学研究, E-mail: miaoshahui@sina.com。

收稿日期 2013-03-21

屋破坏面积等影响范围指标,以及直接经济损失、间接经济损失等经济指标。设某次山洪灾害经验灾害等级为 $y(i)$,以受灾害村社(个) $x(1,i)$ 、死亡人数(个) $x(2,i)$ 、直接经济损失(万元) $x(3,i)$ 作为灾情评价指标,其中 $i=1,2,\dots,22$ 为山洪灾害的样本数,山洪灾情数据见表 1。灾情越严重,各指标值越大,该研究设最低灾情等级为 1,最高灾情等级为 5。当指标值超过 5 级限值时就判定为最高等级;当指标低于 1 级限值时就判定为最低等级;当指标介于上述 2 个限值之间时则为中等等级^[5-6]。该种上下段有限、中间段变化迅速的复杂函数关系符合 LOG 曲线描述的特征,所以采用 LOG 曲线模型是合理的。对应于 3 项灾情指标,根据式(1),LOG 曲线模型的具体形式表述为:

$$z(i) = \frac{5}{(1 + e^{c(0) + c(1)x(1,i) + c(2)x(2,i) + c(3)x(3,i)})} \quad (3)$$

式中, $z(i)$ 为灾情等级模型的计算值,为不超过 5 的正实数; $c(j)$ ($j=0,1,2,3$)为模型参数。式(3)所示的山洪灾情等级模型简称为 LOG 模型。

3.2 确定目标函数 由于该研究实际估计的 LOG 模型参数样本容量很小,用最小一乘法比最小二乘法稳定,所以构造 IEA 算法所要求的目标函数如下优化参数:

$$\min(f(x)) = |z(1) - y(1)| + |z(2) - y(2)| + K + |z(22) - y(22)| \quad (4)$$

式中, $y(i)$ 为经验灾害等级。

表 1 山洪灾情等级的经验值和模型的计算值的对比结果

序号 (i)	灾情指标			灾情等级	
	受灾害村社 $x(1,i)$	死亡人数 $x(2,i)$	直接经济损失 $x(3,i)$	经验 值 $y(i)$	计算值
1	25	2	143.0	4	3.8
2	9	0	1 046.0	3	3.1
3	9	0	305.0	2	1.8
4	9	0	1 027.0	3	3.3
5	7	0	1 779.0	3	3.4
6	6	0	110.0	1	1.3
7	9	0	6 637.0	5	4.6
8	19	0	1 172.0	3	3.2
9	3	1	80.0	2	2.2
10	8	0	2 145.0	4	3.7
11	5	0	290.0	2	1.7
12	6	0	63.0	1	0.6
13	9	0	1 170.0	3	3.2
14	18	5	321.0	5	4.7
15	8	0	161.0	2	1.6
16	8	0	710.0	2	2.4
17	7	2	70.0	3	3.0
18	5	1	800.0	3	2.6
19	5	0	1 845.0	3	3.5
20	3	0	1 890.0	3	3.5
21	4	0	2 348.0	4	3.8
22	6	0	1 264.0	3	3.3

3.3 LOG 模型参数的 IEA 优化过程 第 1 步,初始参数赋值。设标准差动态调整系数 $A=6.0$,总的进化代数 $T=400$,初始标准差 $\sigma^0=1.0$,初试群体的规模 $S=200$ 。将 LOG

模型的 4 个参数 $c(0)$ 、 $c(1)$ 、 $c(2)$ 和 $c(3)$ 的取值区间统一定为 $[-5.0,5.0]$ 。

第 2 步,对目标函数 $\min(f(x))$ 进行优化。①在解空间内随机生成初始群体,计算其适应度,确定最优个体 x_{best}^0 ;②根据式(2)进行进化操作,在解空间内生成子代群体,规模为 S ;③计算子代群体的适应度,确定最优个体 x_{best}^{i+1} ,若 $f(x_{best}^{i+1}) < f(x_{best}^i)$,则选定最优个体为 x_{best}^{i+1} ;否则,最优个体取为 x_{best}^i ;④反复执行步骤(2)和(3),直至达到终止条件,选择最后一代的最优个体作为寻优结果,结果见表 2。

表 2 IEA 算法优化的 LOG 曲线模型参数及计算结果

IEA 算法优化的 LOG 模型	搜索区间	优化结果
$c(0)$	$[-5.0,5.0]$	1.125
$c(1)$	$[-5.0,5.0]$	-0.058
$c(2)$	$[-5.0,5.0]$	-0.364
$c(3)$	$[-5.0,5.0]$	-0.137
$\min(f(x))$	6.5	

最后把表 2 所得到的模型参数优化值代入式(3),即得腾冲县山洪灾情等级的 LOG 模型:

$$z(i) = \frac{5}{(1 + e^{1.125 - 0.058x(1,i) - 0.364x(2,i) - 0.137x(3,i)})} \quad (5)$$

与之对应的目标函数值为 6.5。

4 LOG 模型的参数值对山洪灾情等级影响的灵敏度分析

根据表 2 中 IEA 算法优化的 LOG 模型参数值的大小,进一步分析各指标值对山洪灾情等级影响的灵敏程度,从而反馈原定的山洪灾情等级标准是否合理,如不合理则进行适当调整,如此反复,可增强山洪灾情等级定级标准的客观性。该研究中,死亡人数(个) $x(2,i)$ 的系数 $c(2)$ 的绝对值是受灾害村社(个) $x(1,i)$ 的系数 $c(1)$ 的绝对值的 6.3 倍,是直接经济损失(万元) $x(3,i)$ 的系数 $c(3)$ 的绝对值的 2.6 倍;直接经济损失(万元) $x(3,i)$ 的系数 $c(3)$ 的绝对值是受灾害村社(个) $x(1,i)$ 的系数 $c(1)$ 的绝对值的 2.4 倍。由此可见,死亡人数(个) $x(2,i)$ 对灾情等级的影响最灵敏,其次为直接经济损失(万元) $x(3,i)$,受灾害村社(个) $x(1,i)$ 的影响程度最小。

5 结论

IEA 算法是一种易于操作的算法,它的参数只有动态调整系数(A)和初始标准差(σ^0),且能通过最优个体的进化来带动群体的进化,从而实现向全局最优解的收敛,较好地平衡了全局搜索和局部搜索,优化效果更好。

通过 IEA 算法优化的 LOG 模型参数值对各灾情指标对灾情等级影响的灵敏度分析,验证了原定灾情等级标准的合理性,克服了各单项灾情评估指标结果不相容这一难题;应用该模型计算得到腾冲县山洪灾情等级的结果是连续的实数值,再次证明了该套模型的正确性和优越性。

综上所述,IEA 算法能有效解决复杂的非线性优化问题,通过与 LOG 曲线相结合建立统一的、指导性数学模型,

(下转第 3638 页)

表2 超声辅助提取菟丝子多糖的正交试验因素水平设计

水平	因素			
	提取时间(A) min	提取次数(B)	料水比(C) g/ml	超声功率(D) W
1	60	2	1:25	200
2	75	3	1:30	400
3	90	4	1:35	600

2 结果与分析

2.1 黄酮提取的正交试验结果 由表3可知,以菟丝子总黄酮的得率为指标,影响黄酮得率因素大小顺序为:超声功率、乙醇浓度、提取时间、固液比,菟丝子黄酮的最佳提取工艺条件为超声功率600 W,乙醇浓度80%,提取时间40 min,固液比为1:30 g/ml。

表3 超声辅助提取菟丝子黄酮的正交试验结果

试验号	因素				总黄酮含量 mg/ml
	超声功率(A) W	乙醇浓度(B) %	提取时间(C) min	固液比(D) g/ml	
1	200	70	20	1:20	4.04
2	200	80	30	1:30	5.59
3	200	90	40	1:40	4.75
4	400	70	30	1:40	6.36
5	400	80	40	1:20	8.93
6	400	90	20	1:30	8.41
7	600	70	40	1:30	12.14
8	600	80	20	1:40	13.30
9	600	90	30	1:20	12.46
K_1	4.79	7.51	8.59	8.48	
K_2	7.90	9.28	8.14	8.71	
K_3	12.64	8.54	8.60	8.14	
R	7.85	1.76	0.93	0.58	

2.2 多糖提取的正交试验结果 由表4可知,以菟丝子多糖的得率为指标,在提取温度为60℃条件下,料水比和超声功率对多糖得率的影响较大,提取时间和提取次数影响次之,影响多糖得率因素的大小顺序为:超声功率、料水比、提取次数、提取时间。菟丝子多糖进行超声辅助提取的最佳条件为超声功率200 W,提取2次,提取时间为75 min,料水比为1:35 g/ml。在该优化条件下进行验证试验,多糖的得率为11.86% ($n=3$)。

3 结论与讨论

菟丝子黄酮的超声辅助最佳提取工艺条件为超声功率600 W,乙醇浓度80%,提取时间40 min,固液比为1:30 g/ml。菟丝子多糖进行超声辅助提取的最佳条件为在提取温度为60℃条件下,超声功率200 W,提取2次,提取时间为

75 min,料水比为1:35 g/ml。

表4 超声辅助提取菟丝子多糖的正交试验结果

试验号	因素				多糖得率//%
	提取时间(A) min	提取次数(B)	料水比(C) g/ml	超声功率(D) W	
1	60	2	1:25	200	9.11
2	60	3	1:30	400	7.81
3	60	4	1:35	600	7.66
4	75	2	1:30	600	9.45
5	75	3	1:35	200	11.78
6	75	4	1:25	400	6.87
7	90	2	1:35	400	10.19
8	90	3	1:25	600	8.30
9	90	4	1:30	200	9.59
K_1	8.19	9.58	8.09	10.16	
K_2	9.36	9.36	8.95	8.29	
K_3	9.36	8.04	9.87	8.47	
R	1.173 4	1.543 3	1.783 4	1.870 0	

超声辅助提取法利用超声波产生的强烈振动、高加速度、强烈空化效应和搅拌作用,能对菟丝子细胞壁取得较为理想的破碎效果,从而促进黄酮和多糖进入提取溶剂,提高得率。而由试验结果可见,超声辅助法提取菟丝子黄酮和多糖具有提取速度快、得率高和节约溶剂等优点,有利于快速、大批量地生产黄酮和多糖提取物。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典(一部)[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2010.
- [2] 潘文灏,许志超,赵余庆. 菟丝子的生物活性与临床应用研究进展[J]. 亚太传统医药,2008,4(4):47-51.
- [3] 李建平,王静,张跃文,等. 菟丝子的研究进展[J]. 中国医药导报,2009,6(23):5-6.
- [4] 吴春,陈林林. 菟丝子黄酮体外清除自由基活性的研究[J]. 天然产物研究与开发,2005,17(5):553-556.
- [5] 王展,方积年. 具有抗氧化活性的酸性菟丝子多糖 H2 的研究[J]. 植物学报,2001,43(3):243-248.
- [6] 彭金年,李银保,程庚金生,等. 菟丝子总黄酮不同提取方法的比较[J]. 西北林学院学报,2010,25(2):140-142.
- [7] 杨天鸣,李纯,付海燕,等. 菟丝子中总黄酮的闪式提取工艺及近红外透射光谱含量分析方法[J]. 化学与生物工程,2012,29(9):87-90.
- [8] 伍晓春. 超声波提取菟丝子总黄酮的工艺研究[J]. 食品研究与开发,2009,30(3):34-37.
- [9] 李春雨,郭晓伟,王树,等. 均匀设计优选菟丝子半仿生提取工艺[J]. 中国医院药学杂志,2011,31(10):10813-10816.
- [10] 蒋海明,戴永强,刘小文,等. 鱼腥草全草中黄酮的提取和含量测定[J]. 湖北农业科学,2011(5):1032-1034.
- [11] 戴永强,刘红,廉宜君,等. 复方免疫增强剂中多糖的提取与分离纯化[J]. 黑龙江畜牧兽医,2007(3):90-91.

(上接第3464页)

可广泛应用于县城山洪灾害灾情评价。

参考文献

- [1] 王振中,林孔勋. 逻辑斯谛曲线 K 值的四点式平均值估计法[J]. 生态学报,1987,7(3):193-197.
- [2] 倪长健,丁晶,李祚泳. 免疫进化算法[J]. 西南交通大学学报,2003,38(1):87-91.

- [3] 苏鹏程,倪长健. 基于免疫进化算法的逻辑斯谛曲线水环境质量综合评价模型[J]. 山地学报,2004,22(4):439-444.
- [4] 金菊良,丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用[M]. 成都:四川大学出版社,2000:118-122.
- [5] 金菊良,丁晶. 水资源系统工程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2002:178-180.
- [6] 周赛花. 逻辑斯谛方程中参数的估计[J]. 数理统计与管理,1992,11(5):32-35.