

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2021.0006.006

# 基于模糊聚类的血液分配优先度评价\*

徐 庆, 周愉峰\*\*

(1. 重庆工商大学 管理科学与工程学院, 重庆 400067)

**摘 要:** 为了应对血液紧缺困境, 提高血液使用效益, 研究了血液分配优先度评价问题; 采用二进制转换方法整合医院血液紧缺程度的特性描述因素, 改进传统模糊聚类分析的相关系数计算和聚类阈值选择方法, 构建了血液紧缺度模糊聚类模型, 并在此基础上, 引入分配优先度参数评价血液分配优先度; 最后, 选择 24 家医院的红细胞需求进行数值计算, 将医院聚类为 6 个不同血液紧缺程度的组别, 计算每组的优先度参数, 并对各组医院血液分配优先度作出评价。结果表明: 改进模糊聚类模型并引入分配优先度参数可以有效评价血液分配优先度, 为血液紧缺情况下的血液分配提供决策借鉴。

**关键词:** 血液分配; 血液需求; 血液供应链; 模糊聚类; 优先度评价

中图分类号: R197.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-058X(2021)06-0042-08

## 0 引 言

血液制品是临床治疗不可或缺的资源, 其供需失衡会引发区域性“血荒”, 危及人们的生命健康安全。例如, 新冠肺炎疫情期间, 北京市街头全血采集量不到往年同期平均水平的三分之一<sup>[1]</sup>, 武汉市 2 月份全血采集量较去年同期下降 90.15%<sup>[2]</sup>, 使得许多计划内的手术不得不延期。在血液供应存在缺口的情况下, 根据不同医院异质需求信息, 对血液产品的分配优先度进行科学评价, 有助于提高血液的使用效益、提升患者的满意度。

有关血液保障问题的研究在 20 世纪 80 年代已取得重大进展<sup>[3-4]</sup>。近年来, 研究者们也从供应链管理、应急物流、易腐品库存等视角研究了血液保障问题。例如, 秦晓燕<sup>[5]</sup>在血液产品基本特性和调度特点的基础上构建多时段、多品种、多方式的血液调

度模型, 并给出供应中断情况下的调度策略。王恪铭等<sup>[6]</sup>考虑血液调剂的特点, 建立多阶段决策模型对血液调度进行优化。Wang 等<sup>[7]</sup>在血液短缺的情景上, 提出考虑血制品库龄的物资转运策略来缓解缺血难题。郑茵红等<sup>[8]</sup>对新冠肺炎疫情期间的血液采集、供应状况进行分析并研究了血站、医院两级联动和集中库存策略对血液保障管理的积极作用。应急血液保障方面, 周愉峰、马祖军<sup>[9-10]</sup>分别从血液供应系统总成本、应急血液供应保障、降低应急血液报废量等角度出发, 建立考虑血液替代特性的应急血液采集优化模型。周愉峰等<sup>[11]</sup>从血液采集与转运双系统视角, 建立系统动力学模型, 评估应急血液保障绩效。血液库存管理方面, Han Shih 等<sup>[12]</sup>在供需不确定的状况下建立血液库存模型, 以期达到缺货和过期浪费目标最小的目的。Duan 和 Liao<sup>[13]</sup>在考虑血型替代条件下建立红细胞的库存优化模型, 通过启发式算法对仿真模型进行求解。此外, 还有

收稿日期: 2020-11-27; 修回日期: 2021-01-20.

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(71702015); 教育部人文社科项目(21YJCZH249); 重庆市社科规划项目(2021NDYB070); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201900812); 重庆工商大学研究生创新型科研项目(YJSCXX2021-112-28).

作者简介: 徐庆(1997—), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 从事应急物流与应急管理研究.

\*\* 通讯作者: 周愉峰(1984—), 男, 湖南双峰人, 副教授, 博士, 从事应急物流与应急管理研究. Email: 66990530@qq.com.

部分学者通过建立仿真模型,为相关国家的血液库存管理提供参考方案<sup>[14-15]</sup>。

上述文献从不同视角研究了血液保障问题。但有关血液分配优先度评价问题的研究还未见报道。部分文献对应急物资分配的优先度评价问题进行了研究。薛啟瑞<sup>[16]</sup>研究了应急物资配送问题中的物资服务优先级评估问题。Jiuh-Biing<sup>[17]</sup>提出一种混合模糊聚类方法,来确定各受灾点的救援顺序,以提高应急救援效率。薛凯喜等<sup>[18]</sup>采用模糊聚类分析方法对我国多年份的地质灾害损失进行了评估。上述文献可为血液制品的分配优先度评估提供参考,但无法直接应用于血液供应链领域。原因在于:不同于一般应急物资,血液是一种特殊的医疗资源,对其科学分配需考虑其自身的临床特性。例如,临床供血必须满足急症优先、重症优先等分配原则。鉴于此,在传统模糊聚类分析的基础上,引入二进制转换方法和专家群决策方法,构建血液紧缺度模糊聚类模型,对区域内各医院的血液紧缺程度进行分类,再通过优先度参数的计算,评价血液产品分配的优先度,为采供血机构的血液分配决策提供参考。

## 1 血液紧缺度模糊聚类模型的构建

模糊数学是一种常见的数学方法,用来处理人类生活中无法用数值准确表达的模糊问题。聚类则是将一系列因素聚集整合起来,通过数学方法对各因素的内在联系进行分析并归纳分类。拟将血液紧缺时医院面临的治疗急症患者的用血需求量、重症患者用血需求量、其他常规用血需求量和医院现有的医疗人员、设备资源等因素聚集起来,共同描述医院用血需求紧迫状况。将通过特性指标与论域的确立、数据处理、模糊相似矩阵的构造、确定聚类阈值并聚类分析等4个方面对模型进行论述。

### 1.1 特性评价指标与论域

临床输血主要用于医院急症、重症手术和部分其他病患的常规外科手术,医院涉及输血操作的手术频率通常与医院内急症、重症患者人数和医院现有的医疗设备、医务人员数量等因素相关。在区域发生血荒的情况下,供血中心需要依照供应范围内各家医院的实际情况,公平分配有限的

血液制品资源。设论域  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  表示供血中心需要考虑的供应范围内的医院集合,对于任意一家医院  $i$ ,采用医院当前面临的急症患者用血需求量、重症患者用血需求量、其他常规用血需求量及医院现有的手术资源的紧张程度等4个特性指标对医院血液紧缺程度进行刻画描述,聚类指标如表1所示。

表1 医院血液紧缺程度描述的特性评价因素

Table 1 Characteristic evaluation factors described by the degree of blood shortage in hospitals

参数	特性评价因素
$u_{i1}$	血液紧缺时医院 $i$ 急症患者用血需求量
$u_{i2}$	血液紧缺时医院 $i$ 重症患者用血需求量
$u_{i3}$	血液紧缺时医院 $i$ 其他常规用血需求量
$u_{i4}$	血液紧缺时医院 $i$ 医疗资源的紧缺程度

于是,对医院  $i$  的血液紧缺状况的描述就表示为

$$u_i = (u_{i1}, u_{i2}, u_{i3}, u_{i4}) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

### 1.2 基于二进制转化的数据标准化处理

对医院血液紧缺度进行描述的4个聚类指标并非全是定量指标,如医院现有的医疗资源状况就被描述为非常紧缺、紧缺、正常、充裕、非常充裕。此外,医院就诊患者人数等因素均是随机变换,具有极大的不确定性。因此,采用特定规则对医院的特性指标进行二进制转化,将描述血液紧缺度的4个聚类指标转为统一的二进制数值,降低评价指标数据的实时变化对最终聚类结果的影响,提高模糊聚类方法在此领域应用的科学性与适用性。二进制数据的转换过程涉及两个步骤。

第一,通过统一度量语言对各评价因素的数值进行转换,转换规则如下:

$$\varphi[u_{ij}] = \begin{cases} VS & u_{ij} \geq 0.8u_j^{\max} \\ S & 0.6u_j^{\max} \leq u_{ij} < 0.8u_j^{\max} \\ N & 0.4u_j^{\max} \leq u_{ij} < 0.6u_j^{\max} \\ P & 0.2u_j^{\max} \leq u_{ij} < 0.4u_j^{\max} \\ VP & u_{ij} < 0.2u_j^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3$$

$\varphi[u_{ij}]$  是对  $u_{ij}$  的语言描述,其中 VS 表示非常紧缺, S 表示紧缺, N 表示正常, P 表示充足, VP 表示非常充

足。 $u_j^{\max}$  为血荒影响区域内的所有医院第  $j(j=1, 2, 3)$  个描述指标的最大值。医院医疗资源紧缺程度指标可根据语言描述对应关系,直接转换。

第二,将第一步得出的定性语言描述转换为定量的 4 位二进制数值描述。4 位二进制编码转换规则如表 2 所示。

表 2 定量描述的 4 位二进制编码表示

Table 2 Quantify the four-bit binary encoding

定性标准	二进制编码			
	$\vartheta_{ij}^1$	$\vartheta_{ij}^2$	$\vartheta_{ij}^3$	$\vartheta_{ij}^4$
非常紧缺(VS)	1	1	1	1
紧缺(S)	1	1	1	0
正常(N)	1	1	0	0
充足(P)	1	0	0	0
非常充足(VP)	0	0	0	0

于是,医院  $i$  的第  $j$  个评价指标就被刻画为: $\varphi_{ij} = [\vartheta_{ij}^1, \vartheta_{ij}^2, \vartheta_{ij}^3, \vartheta_{ij}^4]$ 。由此可以得到原问题的初始矩

阵,即: $\tilde{\mathbf{R}}_{n \times 16} = \begin{pmatrix} \vartheta_{11}^1 & \cdots & \vartheta_{14}^4 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vartheta_{n1}^1 & \cdots & \vartheta_{n4}^4 \end{pmatrix}$ 。为便于实际数据处

理并消除量纲影响,考虑到  $\vartheta_{ij}^k \in [0, 1]$ ,故通过平移—极差变换,对初始矩阵的数据进行标准化处理:

$$\tilde{\vartheta}_{ij}^k = \frac{[\vartheta_{ij}^k - \min(\vartheta_{ij}^k)]}{[\max(\vartheta_{ij}^k) - \min(\vartheta_{ij}^k)]}$$

$$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, 3, 4; k=1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

此时,血液紧缺程度的评价向量表示为  $\tilde{\varphi}_{ij} = [\tilde{\vartheta}_{ij}^1, \tilde{\vartheta}_{ij}^2, \tilde{\vartheta}_{ij}^3, \tilde{\vartheta}_{ij}^4]$ ,由此得到血液紧缺度模糊聚类问题的标准模糊矩阵:

$$\tilde{\mathbf{R}}_{n \times 16} = \begin{pmatrix} \tilde{\varphi}_{11}^1 & \cdots & \tilde{\varphi}_{14}^4 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\varphi}_{n1}^1 & \cdots & \tilde{\varphi}_{n4}^4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

### 1.3 基于平方差倒数法的模糊相似矩阵

通过上述步骤,医院血液紧缺度的特性描述指标被转换成 4 位二进制编码表示的数值描述,经数据标准化处理,得出原问题的标准模糊矩阵  $\tilde{\mathbf{R}}_{n \times 16}$ 。本节在标准模糊矩阵基础上构造模糊相似矩阵。在确定相似系数的方法问题上,传统方法包括数量积法、夹角余弦法、平均值法、倒数法、距离法等数十种方法。王新洲等<sup>[19]</sup>曾对各种相关系数确定方法进

行比较评价,得出绝对值倒数法可以同时满足正确、不变、可区分 3 条原则的结论;李秀格<sup>[20]</sup>则在绝对值倒数法基础上,提出一种差平方倒数法,解决了绝对值倒数法可能出现距离为 0 的情况。基于此,采用差平方倒数法对不同医院之间的相关系数进行求解。

令  $r_{pq} = R(u_p, u_q)$  表示  $u_p$  和  $u_q$  之间的相似系数,则:

$$r_{pq} = \begin{cases} 1 & |\tilde{\vartheta}_{pj}^k - \tilde{\vartheta}_{qj}^k| = 0 \\ M \left( \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\tilde{\vartheta}_{pj}^k - \tilde{\vartheta}_{qj}^k| \right)^{-1} & |\tilde{\vartheta}_{pj}^k - \tilde{\vartheta}_{qj}^k| \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $M$  为一个确定的常数,它的值确保  $r_{pq} \in [0, 1]$ 。求得问题的模糊相似矩阵为

$$\tilde{\mathbf{R}}_r = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

### 1.4 基于模糊等价矩阵的聚类

对于第 3 节得到的模糊相似矩阵  $\tilde{\mathbf{R}}_r$  而言,其相似矩阵本身具有自反性和对称性。但相似矩阵并不一定具有等价矩阵的相关性质,为便于样本数据的聚类分析,需要将模糊相似矩阵转换为模糊等价矩阵。传统构造等价矩阵的方法包括传递闭包法和布尔矩阵法,采用常用的传递闭包法对模糊等价矩阵进行构造,而传递包可以直接通过有限次的矩阵平方运算获得。即  $\tilde{\mathbf{R}}_r \rightarrow \tilde{\mathbf{R}}_r^2 \rightarrow \tilde{\mathbf{R}}_r^4 \rightarrow \cdots \rightarrow \tilde{\mathbf{R}}_r^*$ 。

关于聚类阈值  $\lambda$  的选择问题,黄闽英等<sup>[21]</sup>在将模糊聚类分析法应用于供应商管理系统的研究中验证了专家群决策方法确定阈值的有效性。假设有  $W$  个专家,每个专家分别对除自身之外的其他所有专家的权重进行评估,记  $\lambda_{xy}$  为专家  $x$  对专家  $y$  的所占权重评估赋值。则  $\lambda_{xy}$  满足  $\sum_{y=1}^W \lambda_{xy} = 1$ ,且当  $x=y$  时,  $\lambda_{xy}=0$ 。令  $\omega_x$  为专家  $x$  在群决策中的权值,得到权重计算方程:

$$\begin{cases} \sum_{x=1}^W \omega_x = 1 \\ \sum_{x=1}^W \lambda_{xy} \omega_x = \omega_y \end{cases} \quad (7)$$

解方程组可得专家权重向量组  $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_w)$ ,设第  $x$  个专家设置的聚类阈值为  $\lambda_x$ ,此时利用求得的专家权重对专家所设置的阈值进行评估,求

得  $\lambda = \sum_{x=1}^W \lambda_x \omega_x$ , 确定了最佳的聚类阈值。利用最佳阈值, 对所有参与血液紧缺度评价的医院进行聚类分组。

### 2 计算分配优先度参数

假设通过上述模糊聚类的方法及聚类阈值  $\lambda$ , 将所有参与医院聚类成不同血液紧缺度的  $Z$  组, 用  $\delta_z$  表示第  $z$  组内所含医院的数量, 则第  $z$  组医院血液紧缺度的描述向量就可以表示为

$$\psi_z = [\tilde{\varphi}_{ij}^k, i_z = 1, 2, \dots, \delta_z; j, k = 1, 2, 3, 4] \quad (8)$$

引入优先度参数  $\eta_z$  来表示第  $z$  组医院的血液分配优先度:

$$\eta_z = \frac{\sum_{j=1}^4 \partial_j [\sum \forall i_z \sum_k^4 \tilde{\varphi}_{ij}^k]}{\delta_z} \quad (9)$$

其中,  $\partial_j$  表示第  $j$  个血液紧缺特性评价因素在所有评价因素中所占有的权重, 遵循临床治疗中急症优先、重症优先、急症优先于重症等的救治原则, 可知  $\partial_1 > \partial_2 > \partial_3 > \partial_4$ 。最终计算出每组医院的血液分配优先度参数。对各组分配优先度参数进行对比, 判断并评价不同优先度参数所代表的医院血液需求的紧迫程度, 为采供血机构及时、公平、高效地作出血液分配决策提供帮助。

### 3 数值计算

选择某地血液中心与 24 家医院之间的红细胞供需关系为例, 对前述模型进行验证。在血荒影响期间的某一周期内, 24 家医院面临的急症患者用血需求量、重症患者用血需求量、其他常规用血需求量和医院医疗资源状况见表 3。

#### 3.1 数据标准化

根据第 2.1 ~ 2.2 节, 分别将血液紧缺时医院面临的急症患者用血需求、重症患者用血需求、其他常规用血的需求和医院现有医疗资源的紧缺状况等 4 个血液紧缺评价因素转换成统一的度量语言, 描述医院用血的紧缺程度。再根据特定的 4 位二进制编码转换规则, 对统一的度量语言实施转换, 用 4 位二进制数据对医院血液紧缺状况进行定量描述。最后, 采用平移-极差变换方法对所得数据进行标准化处理, 得到标准的模糊矩阵  $\tilde{R}$ 。

表 3 医院急症、重症、常规用血需求量/ $u$

Table 3 Demand for acute, severe and conventional blood in hospitals/ $u$

医 院	急症用血 需求	重症用血 需求	常规用血 需求	医疗资源 状况
$u_1$	16.5	11.0	6.5	S
$u_2$	15.5	11.0	6.5	VS
$u_3$	15.0	9.0	6.0	S
$u_4$	16.0	7.0	6.0	N
$u_5$	11.5	7.0	5.5	S
$u_6$	11.5	5.5	5.5	VS
$u_7$	10.5	6.0	5.5	S
$u_8$	7.0	8.0	5.5	N
$u_9$	7.5	8.0	5.0	S
$u_{10}$	7.0	7.5	5.0	S
$u_{11}$	5.0	8.0	5.0	N
$u_{12}$	6.0	6.5	5.0	N
$u_{13}$	5.5	7.0	4.5	S
$u_{14}$	7.0	7.0	4.5	S
$u_{15}$	5.5	5.0	4.5	N
$u_{16}$	3.0	4.5	6.5	N
$u_{17}$	3.0	3.0	7.0	S
$u_{18}$	3.5	2.5	5.0	N
$u_{19}$	5.0	2.0	4.0	N
$u_{20}$	1.0	2.5	4.5	S
$u_{21}$	1.5	3.0	3.5	S
$u_{22}$	1.5	2.0	3.5	N
$u_{23}$	1.5	2.0	3.5	P
$u_{24}$	2.0	2.0	3.0	S

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

#### 3.2 构建模糊相似矩阵

在第 2.1 节得到的标准模糊矩阵基础上, 通





确评价各医院临床治疗用血的短缺程度和用血紧迫性,可以对供血单位合理分配紧缺血液,进而提高血液使用效益,保障人民群众生命健康起到积极作用。利用模糊聚类分析方法分析各医院临床用血的紧缺状况,将二进制数据转换、平方差倒数法以及专家群决策等方法引入血液紧缺度模糊聚类模型中,提高该模型在本领域的适用性和科学性。通过计算优先度参数,帮助供血单位科学评价医院的血液需求紧迫程度,为血荒情境下的紧缺血液分配决策提供参照。文章最后利用 Matlab 对实例数据进行处理计算,证明了血液紧缺度模糊聚类模型和血液分配优先度参数评价方法的有效性。该方法也可以为其他救援类紧缺物资的分配决策提供借鉴。

#### 参考文献(References):

- [1] 高振远. 缓解“血荒”,不能总靠“告急短信”[N]. 检察日报,2020-03-18(6)  
GAO Z Y. Relieving the " Blood Shortage", Can not Always Rely on " Urgent Text Messages" [N]. the Procuratorate Daily,2020-03-18(6)(in Chinese)
- [2] 陈国安,杨茹,马梦迪,等. COVID-19 对武汉地区采供血的影响及预防措施[J]. 中国输血杂志,2020,33(8):784—786  
CHEN G A,YANG R, MA M D,et al. Impact of COVID-19 on Blood Collection and Supply in Wuhan and the Precaution Measures[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2020,33(8):784—786(in Chinese)
- [3] GREGORY P P. Blood Inventory Management: An Overview of Theory and Practice [J]. Management Science,1984,30(7):777—800
- [4] NAHMIAS S. Perishable Inventory Theory: A Review [J]. Operations Research,1982,30(4):680—708
- [5] 秦晓燕,刘晓,程勤侦. 考虑供应中断的灾后安全救援血液优化调度研究[J]. 中国安全科学学报,2012,22(1):165—171  
QIN X Y, LIU X, CHENG Q Z. Research on Blood Emergency Scheduling Optimization under Supply Disruption after Disasters[J]. China Safety Science Journal,2012,22(1):165—171(in Chinese)
- [6] 王恪铭,马祖军,周愉峰. 突发事件应急血液调剂问题的两阶段决策方法[J]. 交通运输系统工程与信息,2013,13(1):169—178  
WANG K M,MA Z J,ZHOU Y F. A Two-phase Decision-making Approach for Emergency Blood Transferring Problem in Public Emergencies[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2013,13(1):169—178(in Chinese)
- [7] WANG K M, MA Z J. Age-based Policy for Blood Transshipment during Blood Shortage[J]. Transportation Research Part E,2015,80:166—183
- [8] 郑茵红,李阿中,韩文娟. COVID-19 疫情对血液供应链管理的影响和对策[J]. 中国输血杂志,2020,33(8):807—809  
ZHENG Y H,LI A Z,HAN W J. The Impact of Covid-19 on Blood Supply Chain Management and the Countermeasures[J]. Chinese Journal of Blood Transfusion,2020,33(8):807—809(in Chinese)
- [9] 周愉峰,马祖军. 考虑血型替代策略的紧缺血液采集优化[J]. 工业工程,2016,19(5):1—9  
ZHOU Y F,MA Z J. Optimizing Blood Collection with Substitution against Blood Shortage[J]. Industrial Engineering Journal,2016,19(5):1—9(in Chinese)
- [10] 马祖军,周愉峰. 大规模突发事件应急血液采集动态模型[J]. 系统工程学报,2017,32(1):125—135  
MA Z J,ZHOU Y F. Dynamic Model for Emergency Blood Collection in Large-Scale Sudden-Onset Emergencies[J]. Journal of Systems Engineering,2017,32(1):125—135(in Chinese)
- [11] 周愉峰,陈良勇,刘思峰,等. 基于系统动力学的震后应急血液保障绩效评估[J]. 系统工程,2020,38(1):26—35  
ZHOU Y F,CHEN L Y, LIU S F, et al. Evaluation of Emergency Blood Supply Performance Post-earthquake Based on System Dynamics [J]. Systems Engineering, 2020,38(1):26—35(in Chinese)
- [12] HAN S, SUCHITHRA R, ANTONIO G. Stochastic Inventory Model for Minimizing Blood Shortage and Outdating in a Blood Supply Chain under Supply and Demand Uncertainty[J]. Journal of Healthcare Engineering,2020:1—14
- [13] DUAN Q L, LIAO T W. Optimization of Blood Supply Chain with Shortened Shelf Lives and ABO Compatibility [J]. International Journal of Production Economics, 2014,153:113—129
- [14] SIMONETTI A, WALDERHAUG M, FORSHEE R A, et al. A Stock-and-flow Simulation Model of the US Blood Supply [J]. Transfusion: The Journal of the American Association of Blood Banks,2014,54(3 Pt. II):828—838
- [15] BRAILSFORD S C,KATSALIAKI K. Using Simulation to Improve the Blood Supply Chain[J]. The Journal of the Operational Research Society,2007,58(2):219—227
- [16] 薛啟瑞. 考虑服务优先级的应急物资配送路径选择研究[D]. 西安:西安工业大学,2019

- XUE Q R. Study on Route Selection of Emergency Materials Distribution Considering Service Priority [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2019 (in Chinese)
- [17] SHEU J B. An Emergency Logistics Distribution Approach for Quick Response to Urgent Relief Demand in Disasters [J]. Transportation Research, Part E Logistics and Transportation Review, 2007, 43E(6):687—709
- [18] 薛凯喜,刘东燕,袁传鹏,等. 基于模糊聚类的地质灾害损失程度评价数学模型研究[J]. 地球与环境, 2010, 38(4):428—433
- XUE K X, LIU D Y, YUAN C P, et al. Mathematical Model for Fuzzy Clustering Evaluation of Loss Extent of Geological Hazards[J]. Earth and Environment, 2010, 38(4):428—433 (in Chinese)
- [19] 王新洲,舒海翹. 模糊相似矩阵的构造[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2003(3):37—41
- WANG X Z, SHU H C. Construction of Fuzzy Similar Matrix[J]. Journal of Jishou University (Natural Sciences Edition), 2003(3):37—41 (in Chinese)
- [20] 李秀格. 基于模糊等价矩阵的模糊聚类相关理论研究[D]. 沈阳:辽宁大学, 2015
- LI X G. Related Theory Research of Fuzzy Clustering Based on Fuzzy Equivalent Matrix [D]. Shenyang: Liaoning University, 2015 (in Chinese)
- [21] 黄闽英,牟锐. 对模糊聚类分析法的改进及其在SRM中的应用[J]. 计算机工程与科学, 2011, 33(6):144—149.
- HUANG M Y, MOU R. Modification of the Fuzzy Clustering Analysis Method and Its Application in SRM [J]. Computer Engineering and Science, 2011, 33(6):144—149 (in Chinese)

## Evaluation of Blood Distribution Priority Based on Fuzzy Clustering

XU Qing<sup>1</sup>, ZHOU Yu-feng<sup>2</sup>

(School of Management Science and Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** In order to deal with the plight of blood shortage and improve the efficiency of blood use, the priority evaluation of blood distribution was studied. Binary transformation method was used to integrate the characteristic description factors of hospital blood shortage degree, the correlation coefficient calculation and clustering threshold selection method of traditional fuzzy clustering analysis were improved, the fuzzy clustering model of blood shortage degree was constructed, and on this basis, the allocation priority parameter was introduced to evaluate the blood distribution priority. At last, 24 hospitals were selected to calculate the demand of red blood cells numerically, the hospitals were clustered into six groups with different blood shortage degrees, the priority parameters of each group were derived, and the priority of blood distribution in each group of hospitals was evaluated. The result shows that fuzzy clustering model was improved and the allocation priority parameter was introduced, which can effectively evaluate the priority of blood distribution and provide reference for blood distribution decision-making in the case of blood shortage.

**Key words:** blood distribution; blood demand; blood supply chain; fuzzy clustering; priority evaluation

责任编辑:罗姗姗

引用本文/Cite this paper:

徐庆,周愉峰. 基于模糊聚类的血液分配优先度评价[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2021, 38(6):42—49

XU Q, ZHOU Y F. Evaluation of Blood Distribution Priority Based on Fuzzy Clustering[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021, 38(6):42—49