

# mRNA疫苗的社会价值评估

黄家炜, 武志昂\*, 黄哲 (沈阳药科大学工商管理学院, 沈阳 110016)

**摘要** 目的: mRNA疫苗新技术的出现给生物医药企业带来了新的机遇, 用定量的方式评价mRNA疫苗的社会价值, 以期为其产品的开发提供参考。方法: 采用模糊综合评估方法, 将mRNA疫苗的社会价值分成正外部性特征价值和负外部性特征影响, 将正外部性价值指标分成创新价值、功能性优势、价格优势和其他无形价值, 负外部性影响指标则分成对材料的影响、对生产过程的影响、使用或者废弃以后的影响以及对人文环境的影响。同时聘请专家评估社会指标, 确定权重并计算社会评价系数。结果: mRNA-1273的社会价值系数为1.84, BNT162b2的社会价值系数为1.98。二者的社会价值系数均远大于1, 发展mRNA疫苗总体上利大于弊。结论: mRNA疫苗在生物医药领域具有重要的社会价值, 本评估结果可为开发者提供参考, 帮助决策者理解其潜在价值, 以推动相关技术的进一步发展和应用。

**关键词:** mRNA疫苗; 社会价值系数; 模糊综合评价; 正外部性特征价值; 负外部性特征影响

中图分类号: R95 文献标识码: A 文章编号: 1002-7777(2023)09-1013-09

doi:10.16153/j.1002-7777.2023.09.005

## Social Value Evaluation of mRNA Vaccines

Huang Jiawei, Wu Zhiang\*, Huang Zhe (School of Business Administration, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016, China)

**Abstract Objective:** The emergence of new technologies for mRNA vaccines has brought new opportunities to biopharmaceutical companies. The aim of this article is to evaluate the social value of mRNA vaccines in a quantitative way, as well as to provide references for the development of their products. **Methods:** Using the fuzzy comprehensive evaluation method, the social value of mRNA vaccines is divided into positive externality characteristic value and negative externality characteristic influence, and the positive external characteristic value index is divided into innovation value, functional advantage, price advantage and other intangible value, and the negative external characteristic influence index is divided into impact on materials, impact on production process, impact after use or disposal, and impact on human environment. At the same time, experts are hired to evaluate social indicators, determine weights and calculate social evaluation coefficients. **Results:** The social value coefficient of mRNA-1273 was 1.84, and that of BNT162b2 was 1.98. The social value coefficients of both were much greater than 1, and the overall advantages of developing mRNA vaccines outweighed the disadvantages. **Conclusion:** mRNA vaccines have important social value in the field of biomedicine. The results of this evaluation can provide a reference for developers and help decision makers understand the potential value, so as to promote the further development and application of related technologies.

**Keywords:** mRNA vaccine; social value coefficient; fuzzy comprehensive evaluation; positive externality characteristic value; negative externality characteristic influence

新型冠状病毒肺炎 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19) 病毒及其突变株在世界范围内的广泛传播, 对人们生命安全造成了极大危害。针对这一突发疫情, COVID-19疫苗的出现帮助控制了疫情的扩散, 减少了病人的感染率。尤其引人注目的是, 在与COVID-19疫情抗争的进程中, 信使RNA (Message RNA, mRNA) 疫苗进入公共视野, 在抗疫过程中发挥了举足轻重的作用<sup>[1]</sup>, 使得这一种全新的技术快速商业化, 并被广泛熟知。

## 1 mRNA疫苗的优点

mRNA疫苗是一种运用mRNA的分子副本来产生免疫反应的疫苗<sup>[2]</sup>。这种疫苗将编码好的mRNA分子抗原送入免疫细胞, 免疫细胞将利用设计好的mRNA作为模板来构建由病毒产生的外来蛋白质。这些蛋白质分子将会刺激免疫反应, 让身体快速识别并摧毁病原体<sup>[2]</sup>。mRNA疫苗是由脂质纳米颗粒包裹RNA共同组成的, 这种脂质纳米颗粒能保护RNA链吸收进入细胞<sup>[3-4]</sup>。

### 1.1 相较于传统疫苗风险低、成本低及设计迅速

与传统疫苗相比, mRNA疫苗具有特殊的优势。因为mRNA疫苗不是由活性病原体 (甚至是灭活的病原体) 构建的, 所以它们是无传染性的。相比之下, 传统疫苗需要生产病原体, 如果大量生产, 可能会增加生产设施局部病原体聚集造成暴发病毒的风险<sup>[5]</sup>。mRNA疫苗的另一个生物学优势, 是由于抗原在细胞内产生, 它们会刺激细胞免疫以及体液免疫<sup>[6]</sup>。mRNA疫苗可以通过病毒的RNA进行设计并在一定程度上调控免疫反应水平, 因此生产优势还包括迅速设计。Moderna公司在2天内就为COVID-19设计了mRNA-1273疫苗<sup>[7]</sup>。它们还可以更快、更便宜、更标准化地生产 (生产中的错误率更低), 这可以提高对严重疫情的反应能力。

### 1.2 相较于DNA疫苗无集成宿主基因风险并可单独优化

除了理论上DNA疫苗相对于既定传统疫苗的优势外, mRNA疫苗还具有比DNA疫苗更多的优势。mRNA在细胞液中反应, 因此, 不需要RNA进入细胞核, 避免了被集成到宿主基因组中的风险。修饰的核苷 (例如假尿苷, 2'-O-甲基化的核苷) 可以被纳入mRNA中, 以抑制免疫反应刺激, 避免立即降解, 并可通过增强翻译能力产生更持久的效果<sup>[8-9]</sup>。mRNA的开放阅读框架 (Open Reading

Frame, ORF) 和非翻译区 (Untranslated Region, UTR) 可以为要求的最终目的进行优化 (这一过程称为mRNA的序列工程), 例如通过丰富鸟嘌呤-胞嘧啶含量或选择已知可增加翻译的特定UTR<sup>[10]</sup>。mRNA也可以增加编码复制机制的额外ORF以扩大抗原翻译, 从而提高免疫反应, 减少所需的起始材料数量<sup>[11-12]</sup>。

## 2 mRNA疫苗的社会价值分析

人工制造的东西、人工建设的环境和人工改造的世界通常会展现出新的存在方式, 在有关伦理中, 最基本的问题是这种新的存在方式到底多少程度上是可取的?<sup>[13]</sup>在一定程度上, 这正是评估的社会价值的目的和意义所在。

本文把mRNA疫苗的直接消费者及第三方所带来的影响统称为社会价值, 其中既包括正外部性价值, 如给消费者带来的使用价值和创新所带来的溢出价值等正面价值; 也包括负外部性影响, 即给我们的物质和精神环境所带来的负面影响。

文中将要进行量化评估的社会价值, 是发生在mRNA疫苗企业之中的活动对除企业自身之外的社会所产生的价值和影响, 既包括创新溢出价值、使用价值以及对文化、健康、教育等方面积极性的价值, 也包括了自然和人文环境等方面的消极性影响。

## 3 模糊综合评价法

mRNA疫苗的社会价值评价是难以用一个简单的数值表示的, 可以采用模糊综合评价法。采用模糊综合评价法来评估mRNA疫苗社会价值, 是因为mRNA疫苗社会价值是一个较为宽泛的概念, 具有多元化、复杂化和无形化等特征, 使得对mRNA疫苗社会价值进行绝对值量化的难度极大, 而且社会价值本身也具有相当的模糊性, 符合模糊综合评价法的条件。

模糊综合评价法是根据模糊数学中的隶属度理论把定性评价转化为定量评价, 应用模糊关系的原理, 将一个复杂系统划分为多个边界不清、不易定量的因素, 按照隶属程度定量化, 进而对受到这些因素影响的事物或对象的优劣等级作出一个量化的总体评价。评价者可以从诸多考虑因素出发, 对相关问题分别作出诸如“好、较好、一般、较差、差”等程度的模糊评价, 然后通过相关的方法进行运算, 就能够得出定量的评价结果。

mRNA疫苗的社会价值综合评价中包含了对正、负外部性诸多模糊因素的综合考量，外部性影响的大小往往具有一定的模糊性而不能简单地用一个分数来评价，故本文将采用模糊综合评价法来分别对mRNA疫苗价值的正、负外部性影响的程度大小作为定量的综合评分，最后合成计算出mRNA疫苗的社会价值系数。

#### 4 方法构建

本文通过采用模糊综合评价法计算出mRNA疫苗企业的正外部性得分和负外部性得分，进一步求商，得出其社会价值系数。

计算公式：社会价值系数=正外部性得分÷负外部性得分。

社会价值可以间接用正外部性价值和负外部性影响大小的比值来量化，而这个比值的含义与理想中的能够用经济数据量化得到的正、负外部性价

值的比值所达到的效果在一定程度上是一样的，都能较好地体现一件产品出来以后它对社会是“利大于弊”还是“弊大于利”及其程度的大小。

模糊综合评价法是运用模糊数学对受到多影响因素的事件作出相对全面而又能量化评价的一种有效的多因素决策方法，能对受到多种因素制约的对象作出一个总体的评价。

建立模糊评价数学模型的步骤：（1）建立评价指标体系；（2）确立评语等级；（3）邀请专家对各指标给出等级判断；（4）确立指标的权重；（5）进行矩阵运算；（6）对模糊综合评价结果向量进行等级参数计算，得出评价结果。

建立评价指标体系、确立各指标权重以及建立数学模型是综合评价的3个关键环节。首先，基于严谨性、代表性、独立性和可行性的选取指标的原则，本文建构了社会价值指标体系，如图1所示。

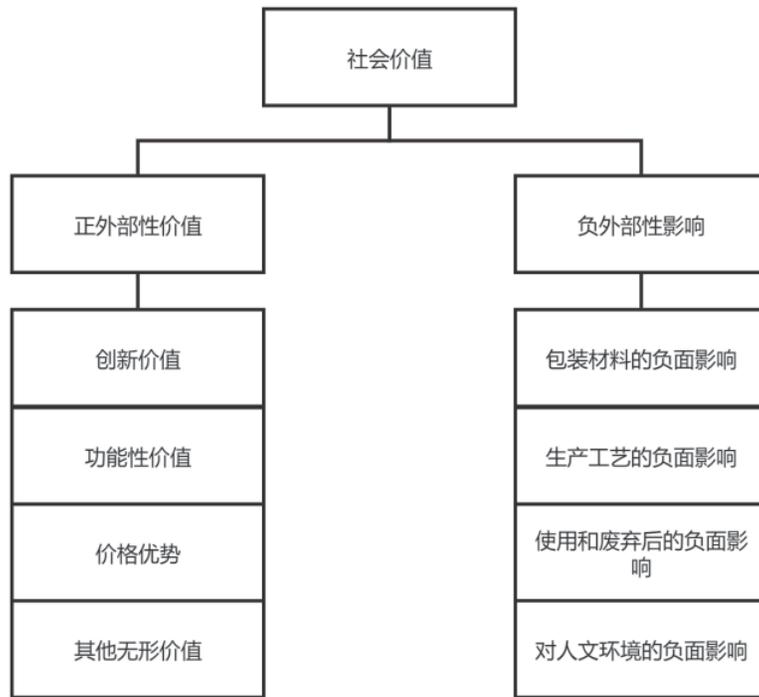


图1 mRNA疫苗社会价值指标体系

本研究有2个评价对象：正外部性价值、负外部性影响。根据各具体指标，可用模糊综合评价法建立数学模型并评价如下。

步骤1：确定评价指标集： $U_1=\{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\}$ 、 $U_2=\{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}\}$ 。该指标集根据图1确定，其中 $U_1$ 为正外部性价值指标集， $u_{11}$ 为创新溢出价值， $u_{12}$ 为功能性价值， $u_{13}$ 为价格优势， $u_{14}$ 为其他无形价值； $U_2$ 为负外部性影响指标集， $u_{21}$ 为包装材料的负面影响； $u_{22}$ 为生产工艺的负面影响； $u_{23}$ 为产品使用及废弃后的负面影响； $u_{24}$ 为对人文环境的负面影响。

$$R_1 = \begin{pmatrix} (\text{创新价值很大})r_{11} & (\text{创新价值大})r_{12} & (\text{创新价值一般})r_{13} & (\text{创新价值小})r_{14} \\ (\text{功能价值很大})r_{21} & (\text{功能价值大})r_{22} & (\text{功能价值一般})r_{23} & (\text{功能价值小})r_{24} \\ (\text{价格优势很大})r_{31} & (\text{价格优势大})r_{32} & (\text{价格优势一般})r_{33} & (\text{价格优势小})r_{34} \\ (\text{其他价值很大})r_{41} & (\text{其他价值大})r_{42} & (\text{其他价值一般})r_{43} & (\text{其他价值小})r_{44} \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} (\text{材料影响很大})r_{11} & (\text{材料影响大})r_{12} & (\text{材料影响一般})r_{13} & (\text{材料影响小})r_{14} \\ (\text{工艺影响很大})r_{21} & (\text{工艺影响大})r_{22} & (\text{工艺影响一般})r_{23} & (\text{工艺影响小})r_{24} \\ (\text{用/弃影响很大})r_{31} & (\text{用/弃影响大})r_{32} & (\text{用/弃影响一般})r_{33} & (\text{用/弃影响小})r_{34} \\ (\text{人文影响很大})r_{41} & (\text{人文影响大})r_{42} & (\text{人文影响一般})r_{43} & (\text{人文影响小})r_{44} \end{pmatrix}$$

步骤3：请专家评价。请专家组成评价组，根据“很大、大、一般、小”4个评价等级分别对正外部性价值和负外部性影响的各指标因素进行评价。

步骤4：确定指标权重分配。不同类型活动的

步骤2：确定评语集： $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$ 。其中， $V_1$ 代表价值（或负面影响）很大， $V_2$ 为价值（或负面影响）大， $V_3$ 为价值（或负面影响）一般， $V_4$ 为价值（或负面影响）小。

正外部性价值是社会效益型指标，负外部性影响是社会成本型指标。对于效益型指标，越大越好；对于成本型指标，则越小越好。根据上述4个评价等级可以分别建立起正外部性价值和负外部性影响的单因素评价矩阵。其中， $R_1$ 是正外部性价值指标的评价矩阵、 $R_2$ 是负外部性影响指标的评价矩阵。

各指标权重分配是不一样的，因为设最终物化形式不相同，对其指标的评价权重也必然不同。

本文按照疫苗的分类价值将各指标进行权重分配，如表1所示。

表1 mRNA疫苗社会价值各指标权重分配

指标因素	具体指标	权重
正外部性价值指标	创新价值	30%
	功能性价值	30%
	价格优势	30%
	其他无形价值	10%
负外部性影响指标	材料的负面影响	30%
	生产工艺的负面影响	30%
	使用和废弃后的负面影响	20%
	对人文环境的负面影响	20%

根据表1可列出具体的指标权重行向量分别为 mRNA疫苗正外部性指标的权重分配为  $A_1 = (0.3, 0.3, 0.3, 0.1)$ ；mRNA疫苗负外部性指标的权重分配为  $A_2 = (0.3, 0.3, 0.2, 0.2)$ 。

步骤5：计算评价对象的模糊综合评价矩阵： $B = A \times R$ 。  $B_1 = A_1 \times R_1$ ，  $B_2 = A_2 \times R_2$ 。其中，  $B_1$  为正外部性评价结果向量，  $B_2$  为负外部性评价结果向量。

步骤6：计算最终评价结果。采用加权平均原则计算。先将评价等级集数量化，分别对{很大，大，一般，小}4个等级赋值为{4, 3, 2, 1}，作为评判结果向量  $B_1$ 、 $B_2$  的权重，然后对评价向量数值进行加权计算，可以得到对评价对象  $U$  的最终等级参数评价结果  $u_1^*$  和  $u_2^*$ 。其中，  $u_1^*$  是正外部性综合评价得分，  $u_2^*$  是负外部性综合评价得分。

步骤7：计算社会价值系数。根据综合评价得分，可计算出产品社会价值系数  $= \frac{u_1^*}{u_2^*}$ 。得分结果大于1，说明该产品正外部性价值要大于其负外部性影响，企业生产这种产品总体上对社会是利大于弊的。

## 5 评估对象

### 5.1 Moderna公司

Moderna是一家总部位于美国马萨诸塞州剑桥市的生物技术公司，专注于癌症免疫治疗，包括基于mRNA的药物发现、药物研发和疫苗技术<sup>[14-15]</sup>。

在2019年新型冠状病毒肺炎病毒突发下，Moderna疫苗采用脂质纳米颗粒可将经人工合成的核苷酸修饰mRNA（称为modRNA）放入人体细胞中。然后，这种mRNA成功使得细胞产生免疫反应。该技术平台是一项新技术，解决了此前由于将mRNA放入细胞时会产生副作用的问题<sup>[16-18]</sup>。2020年1月，Moderna宣布将会开发一款能够诱发产生针对SARS-CoV-2的免疫力的RNA疫苗mRNA-1273<sup>[19-21]</sup>。2020年12月18日，美国食品药品监督管理局（Food and Drug Administration, FDA）批准了mRNA-1273的紧急使用授权<sup>[22-23]</sup>。

### 5.2 mRNA-1273疫苗的社会价值评价

步骤1：专家评价。Moderna公司为评估其mRNA疫苗产品的社会价值，特邀请了5位专家组成评价组，通过专家评价，对其正、负外部性指标进行的评价等级比例情况如表2所示。

表2 Moderna 公司 mRNA 疫苗产品社会价值指标评价表

评价等级指标因素	很大 $v_1$	大 $v_2$	一般 $v_3$	小 $v_4$
创新价值 $u_1$	0.6	0.3	0.1	
功能性价值 $u_2$	0.4	0.4	0.2	
价格优势 $u_3$		0.3	0.5	0.2
其他无形价值 $u_4$	0.5	0.4	0.1	
材料的负面影响 $u_1$		0.2	0.4	0.4
生产工艺的负面影响 $u_2$		0.2	0.2	0.6
使用和废弃后的负面影响 $u_3$		0.2	0.4	0.4
对人文环境的负面影响 $u_4$			0.2	0.8

步骤2: 建立单因素模糊评价矩阵。根据上述评分比例结果, 可得出正、负外部性这2个单因素

模糊评价矩阵分别为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}$$

根据表1可列出mRNA疫苗的指标权重行向量:

mRNA疫苗正外部性指标的权重分配为:  $A_1 = (0.3 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.1)$

mRNA疫苗负外部性指标的权重分配为:  $A_2 = (0.3 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.2)$

步骤3: 计算评价对象的模糊综合评价矩阵:  $B = A \times R$ 。其中,  $B_1$ 为正外部性模糊综合评价结果向量,  $B_2$ 为负外部性模糊综合评价结果向量。那么具体如下:

$$B_1 = A_1 \times R_1 = (0.3 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.1) \times R_1 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \end{pmatrix} = (0.35 \ 0.34 \ 0.25 \ 0.06)$$

$$B_2 = A_2 \times R_2 = (0.3 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.2) \times R_2 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix} = (0 \ 0.16 \ 0.3 \ 0.54)$$

步骤4: 计算最终评价结果。采用加权平均原则计算。先将评价等级集数量化, 对{很大, 大, 一般, 小}4个等级赋值为{4, 3, 2, 1}, 评判结果向量的数值 $B_1 = (0.35 \ 0.34 \ 0.25 \ 0.06)$ 、

$B_2 = (0 \ 0.16 \ 0.3 \ 0.54)$ 的权重进行加权计算, 则可以得到对评价对象U的最终等级参数评价结果 $U_1^*$ 和 $U_2^*$ 。其中,  $U_1^*$ 是正外部性评价得分,  $U_2^*$ 是负外部性评价得分。

$$U_1^* = \frac{4 \times 0.35 + 3 \times 0.34 + 2 \times 0.25 + 1 \times 0.06}{0.35 + 0.34 + 0.25 + 0.06} = 2.98$$

$$U_2^* = \frac{4 \times 0 + 3 \times 0.16 + 2 \times 0.3 + 1 \times 0.54}{0 + 0.16 + 0.3 + 0.54} = 1.62$$

步骤5: 计算mRNA疫苗的社会价值系数。根据上面的正、负外部性的综合评价得分结果, 可以计算出Moderna公司mRNA疫苗产品的社会价值系数 $= 2.98/1.62 = 1.84$ , 得分结果大于1, 说明该公司的mRNA疫苗产品的正外部性价值大于负外部性影响, 其社会价值是利大于弊的。

### 5.3 BioNTech公司

BioNTech是一家位于德国的生物技术公司, 主要业务为开发和生产针对特定患者的治疗严重疾病的有效免疫治疗<sup>[24]</sup>。它开发基于mRNA的候选药物, 用作个体化的癌症免疫疗法, 传染性疾病的疫苗和罕见病的蛋白质替代疗法, 以及工程化的细胞疗法, 新型抗体和小分子免疫调节剂作为癌症的治

疗选择。

2020年, BioNTech与辉瑞公司合作开发了用于预防COVID-19感染的RNA疫苗BNT162b2, 其临床试验的能效达95%<sup>[25]</sup>。2020年12月2日, 英国药品和健康产品管理局 (Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, MHRA) 对BNT162b2疫苗授予临时人类药品法规授权。

### 5.4 BNT162b2疫苗的社会价值评价

步骤1: 专家评价。BioNTech公司为测试其mRNA疫苗产品BNT162b2的社会价值, 特邀请了5位专家组成评价组, 通过专家评价, 其正、负外部性指标的评价等级比例情况如表3所示。

表3 BioNTech公司 mRNA疫苗产品社会价值指标评价

评价等级指标因素	很大 $v_1$	大 $v_2$	一般 $v_3$	小 $v_4$
创新价值 $u_1$	0.4	0.4	0.2	
功能性价值 $u_2$	0.5	0.4	0.1	
价格优势 $u_3$	0.2	0.6	0.2	
其他无形价值 $u_4$	0.4	0.4	0.2	
材料的负面影响 $u_1$		0.2	0.4	0.4
生产工艺的负面影响 $u_2$		0.2	0.2	0.6
使用和废弃后的负面影响 $u_3$		0.2	0.4	0.4
对人文环境的负面影响 $u_4$			0.2	0.8

步骤2: 建立单因素模糊评价矩阵。根据上述评分比例结果, 可得出正、负外部性这两个单因素

模糊评价矩阵分别为:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}$$

根据表1可列出mRNA疫苗的指标权重行向量:

$$(0.3 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.2)$$

mRNA疫苗正外部性指标的权重分配为:  $A_1 = (0.3 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.1)$

步骤3: 计算评价对象的模糊综合评价矩阵:  $B = A \times R$ 。其中,  $B_1$ 为正外部性评价结果向量,  $B_2$ 为负外部性评价结果向量。那么具体如下:

mRNA疫苗负外部性指标的权重分配为:  $A_2 =$

$$B_1 = A_1 \times R_1 = (0.3 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.1) \times R_1 = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \end{pmatrix} = (0.37 \ 0.46 \ 0.17 \ 0)$$

$$B_2 = A_2 \times R_2 = (0.3 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.2) \times R_2 = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix} = (0 \ 0.16 \ 0.3 \ 0.54)$$

步骤4: 计算最终评价结果。采用加权平均原则计算。先将评价等级集数量化, 对{很大, 大, 一般, 小}4个等级赋值为{4, 3, 2, 1}, 评判结果向量的数值 $B_1 = (0.37 \ 0.46 \ 0.17 \ 0.0)$ 、

$B_2 = (0 \ 0.16 \ 0.3 \ 0.54)$ 的权重进行加权计算, 则可以得到对评价对象U的最终等级参数评价结果 $u_1^*$ 和 $u_2^*$ 。其中,  $u_1^*$ 是正外部性评价得分,  $u_2^*$ 是负外部性评价得分。

$$u_1^* = \frac{4 \times 0.37 + 3 \times 0.46 + 2 \times 0.17 + 1 \times 0}{0.37 + 0.46 + 0.17 + 0} = 3.2$$

$$u_2^* = \frac{4 \times 0 + 3 \times 0.16 + 2 \times 0.3 + 1 \times 0.54}{0 + 0.16 + 0.3 + 0.54} = 1.62$$

步骤5: 计算mRNA疫苗的社会价值系数。根据上面的正、负外部性的综合评价得分结果, 可以计算出BioNTech公司mRNA疫苗产品的社会价值系数 $=3.2/1.62=1.98$ , 得分结果大于1, 说明该公司的mRNA疫苗产品的正外部性价值大于负外部性影响, 其社会价值是利大于弊的。

## 6 结论

mRNA疫苗的出现为生物医药企业带来了新的机遇。通过采用较模糊的评估方法, 将mRNA疫苗的社会价值分为正外部性特征价值和负外部性特征影响2个方面。其中, 正外部性特征价值指标包括创新价值、功能性优势、价格优势和其他无形价值, 而负外部性特征影响指标包括对材料的影响、对生产过程的影响、使用或者废弃以后的影响以及对人文环境的影响。

通过聘请专家评估社会指标并确定权重, 计算得出mRNA-1273的社会价值系数为1.84, BNT162b2的社会价值系数为1.98。二者的社会价值系数均远大于1, 这表明发展mRNA疫苗在总体上利大于弊。基于量化的社会价值评估, mRNA疫苗在生物医药领域具有重要的社会价值。这些评估结果可为mRNA疫苗产品的开发提供参考, 帮助决策者更好地理解其潜在影响和贡献, 以推动相关技术的进一步发展和应用。

## 参考文献:

- [1] 华挺, 吴昊泉, 徐松林. mRNA疫苗创造的经济与社会价值分析[J]. 药学进展, 2022, 46(5): 359-368.
- [2] Park KS, Sun X, Aikins ME, et al. Non-viral COVID-19 Vaccine Delivery Systems[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2021, 169(2): 137-151.
- [3] Karam M, Daoud G. mRNA Vaccines: Past, Present, Future[J]. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2022, 17(4): 491-522.
- [4] Kowalski PS, Rudra A, Miao L, et al. Delivering the Messenger: Advances in Technologies for Therapeutic mRNA Delivery[J]. *Molecular Therapy*, 2019, 27(4): 710-728.
- [5] Tsounis PE, Mouzaki A, Triantos C. Nucleic Acid Vaccines: A Taboo Broken and Prospect for a Hepatitis B Virus Cure[J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2021, 27(41): 7005-7013.
- [6] Vitiello A, Ferrara F. Commentary of the mRNA Vaccines COVID-19[J]. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2021, 16(5): 531-532.
- [7] Barsha SY, Haque MMA, Rashid MUB, et al. A Case of Acute Encephalopathy and non-ST Segment Elevation Myocardial Infarction Following mRNA-1273 Vaccination: Possible Adverse Effect?[J]. *Clinical and Experimental Vaccine Research*, 2021, 10(3): 293-297.
- [8] He C, Qin M, Sun X. Highly Pathogenic Coronaviruses: Thrusting Vaccine Development in the Spotlight[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2020, 10(7): 1175-1191.
- [9] Karikó K, Muramatsu H, Ludwig J, et al. Generating the Optimal mRNA for Therapy: HPLC Purification Eliminates Immune Activation and Improves Translation of Nucleoside-modified, Protein-encoding mRNA[J]. *Nucleic Acids Research*, 2011, 39(21): e142.
- [10] Schlake T, Thess A, Mariola FM, et al. Developing mRNA-vaccine Technologies[J]. *RNA Biology*, 2012, 9(11): 1319-1330.
- [11] Annette BV, Laura L, Kinnear E, et al. Self-amplifying RNA Vaccines Give Equivalent Protection against Influenza to mRNA Vaccines but at Much Lower Doses[J]. *Molecular Therapy*, 2018, 26(2): 446-455.
- [12] Berglund P, Smerdou C, Fleeton MN, et al. Enhancing Immune Responses using Suicidal DNA Vaccines[J]. *Nature Biotechnology*, 1998, 16(6): 562-565.
- [13] 理查德·布坎南, 维克多·马格林. 发现设计: 设计研究探讨[M]. 南京, 江苏美术出版社, 2010.
- [14] Weng Y, Huang Y. Advances of mRNA Vaccines for

- COVID-19: A New Prophylactic Revolution Begins[J]. Asian Journal of Pharmaceutical Sciences, 2021, 16 (3): 263-264.
- [15] Taboe HB, Asare-Baah M, Yesmin A, et al. The Impact of Age Structure and Vaccine Prioritization on COVID-19 in West Africa[J]. Infectious Disease Modeling, 2022, 7 (4): 19.
- [16] Tsao S. Potential of mRNA Vaccines to Become Versatile Cancer Vaccines[J]. World Journal of Clinical Oncology, 2022, 13 (8): 663-674.
- [17] Viana ODMI, Roussel S, Defrêne J, et al. Innate and Adaptive Immune Responses Toward Nanomedicines[J]. Acta Pharmaceutica Sinica B, 2021, 11 (4): 852-870.
- [18] Radoslav Z, Miroslav K, Csobonyeiova M, et al. Regenerative Medicine in Orthopaedics and Trauma: Challenges, Regulation and Ethical Issues[J]. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, 2018, 20 (3): 173-180.
- [19] O.Lopez-Cantu D, Wang X, Carrasco-Magallanes H, et al. From Bench to the Clinic: The Path to Translation of Nanotechnology-Enabled mRNA SARS-CoV-2 Vaccines[J]. Nano-Micro Letters, 2022, 14 (3): 7-37.
- [20] Li D, Li Q. SARS-CoV-2: Vaccines in the Pandemic Era[J]. Military Medical Research, 2021, 8 (2): 238-252.
- [21] Yi C, Yi Y, Li J. mRNA Vaccines: Possible Tools to Combat SARS-CoV-2[J]. Virologica Sinica, 2020, 35 (3): 259-262.
- [22] Fortner A, Schumacher D. First COVID-19 Vaccines Receiving the US FDA and EMA Emergency Use Authorization[J]. Discoveries, 2021, 9 (1): e122.
- [23] Peng X, Cheng J, Gong H, et al. Advances in the Design and Development of SARS-CoV-2 Vaccines[J]. Military Medical Research, 2022, 9 (4): 484-513.
- [24] Mariem G, Ben FG, Ben MH, et al. Development of an In-house Quantitative ELISA for the Evaluation of Different Covid-19 Vaccines in Humans[J]. Scientific Reports, 2022, 12 (1): 11298.
- [25] Ksentini M, Mahmoud BL, Sahnoun R, et al. Cross-Reactivity between Pfizer/BioNTech and Johnson Vaccines: A Case Report[J]. Drug Safety, 2022, 45 (10): 521.

(收稿日期 2023年3月1日 编辑 李亚徽)