

社会网络环境下基于概率语言的食物包装大群体决策研究

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2025.5007

周欢^{1,2} 姬海茹^{1,2}
陈洪业^{1,2} 钟军^{1,2}

1. 湖南工业大学
经济与管理学院
湖南 株洲 412007
2. 湖南工业大学
湖南省包装经济研究基地
湖南 株洲 412007

摘要: 在食物包装大群体决策过程中, 决策专家间的社会网络关系对决策过程及其结果均产生至关重要的影响。对社会网络环境下的食物包装大群体决策方法进行研究, 并采用概率语言刻画专家评价信息的不确定性。首先, 构建食物包装评价指标体系并采用概率语言术语集对其进行描述; 其次, 基于决策专家间信任关系构建信任关系网络, 利用模块度划分专家社团, 并分别计算专家权重及指标权重; 最后, 运用 PROMETHEE II 方法对各食物包装备选方案进行综合排序。通过对比分析, 验证了社会网络环境下概率语言多属性大群体决策方法的可行性和合理性, 为后续食物包装方案的优化提供了改进方向。

关键词: 社会网络分析; 概率语言术语集; 大群体决策; PROMETHEE II; 食物包装优选

中图分类号: C934; TB482

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2025)05-0057-11

引文格式: 周欢, 姬海茹, 陈洪业, 等. 社会网络环境下基于概率语言的食物包装大群体决策研究 [J]. 包装学报, 2025, 17(5): 57-67.

食物包装是确保食物安全送达消费者的关键环节, 在保证食物品质、减少食物浪费等方面起着不可或缺的作用。因此, 消费者在选择食物时会关注食物包装的材质、设计等因素。随着“双碳”战略^[1]的提出, 包装材料的低碳性、环保性等要素得到了更多关注。然而, 传统食物包装还存在材料难以降解、成本较为高昂、创新材料应用不足等问题^[2-4], 限制了食物包装行业的健康发展, 也在一定程度上制约了“双碳”目标的实现。因此, 综合考虑包装的成本效益、环境友好性、材料的可及性等因素, 选择

合适的食物包装方案具有重要的意义。

食物包装方案的选择是一个系统工程, 包括构建评价指标体系、确定指标评估值、分析专家和指标权重、确定方案优序关系等^[5]。首先, 需要确定评价指标并构建一套科学合理的评价指标体系。学者们指出“易于清理”“卫生”^[6]“可回收性”^[7-8]等是评价食物包装的关键因素。其次, 需要对指标评估值进行合理描述。由于决策者的偏好难以使用精确数值表示, 利用概率语言术语集 (probabilistic linguistic term set, PLTS) 描述决策者的评估值是一种可行的

收稿日期: 2025-04-22

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (2025JJ50420); 湖南省教育厅科研基金资助重点项目 (23A0440); 湖南省包装经济研究基地资助项目 (2022BZJG03)

作者简介: 周欢, 女, 教授, 博士, 主要从事社会计算、智能决策研究, E-mail: 27887182@qq.com

通信作者: 钟军, 男, 讲师, 博士, 主要从事社会计算研究, E-mail: 18201089079@163.com

方法^[9]。同时,专家和指标权重均会对最终结果产生影响。常用的权重确定方法有熵权法、层次分析法(AHP)以及组合赋权^[10-11]法等。最后,需要对食品包装方案优劣进行排序。PROMETHEE II 通过定义优先函数来比较两两方案之间的优劣程度^[12],能够有效避免传统方法中出现的补偿效应问题,在综合评估多个备选方案时具有明显的优势^[13]。

上述食品包装决策研究大多只涉及单个或少量决策者,近年来,越来越多的学者开始关注食品包装领域的大群体决策问题^[14-16]。当参与决策的专家数量较多时,专家之间的社会关系会对决策过程和结果产生显著影响。而且,随着群体规模的扩大,群体决策往往也面临着更高的复杂性。面对这一挑战,有学者运用社会网络分析法分析决策群体间的社会关系^[17-18],进而有效处理大群体决策问题。基于此,本文提出一种考虑决策者间社会关系的食品包装大群体决策方法,通过分析专家社会关系网络及社团划分结果确定专家权重,引入熵权法确定指标权重,运用 PROMETHEE II 对方案进行排序,从而确定最优食品包装方案,旨在提高食品包装决策效率和质量。

1 工作基础

1.1 社会网络分析

社会网络分析是基于图论对网络结构进行识别和描述,分析网络节点间关系,进而研究网络结构对各节点影响的一种研究方法。社会网络的表达方式主要有社会关系矩阵、社会网络图 and 代数表示式^[17]3 种类型,其中,社会网络图能够直观地展示个体之间的连接方式及结构特征,有助于更清晰地识别出关键节点和社团结构。

社会网络图一般用一组节点 d 和一组边 l 组成的集合表示, l 连接两个节点,节点之间可能单向连接、双向连接或者不连接(见图 1),如节点 1 指向节点 2 的有向边表示节点 d_1 对节点 d_2 存在关系^[19]。在社会网络图中,通常借助图论中的节点度、中心性、网络密度等指标来评估网络的结构特征^[20]。点度中心度是分析社会网络中节点中心性的重要工具,包括点入度和点出度。点入度表示该节点被其他节点的信任程度;点出度表示该节点和其他节点的联系程度。在有向的社会网络图中,节点 d_h 的点度中心度为

$$I_{(d_h)} = \frac{L}{N-1}, \quad (1)$$

式中: N 表示网络中节点的个数; L 表示总边数。

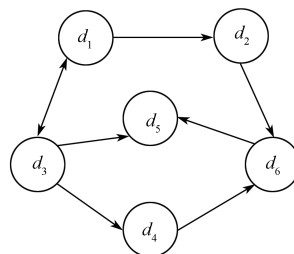


图 1 社会网络关系图

Fig. 1 Social network relationship diagram

1.2 概率语言术语集

PLTS 在犹豫模糊语言术语集的基础上发展而来,通过引入概率分布来量化每个可能的语言术语出现的概率^[9],其定义及运算规则如下。

定义 1^[21]: 若 $S = \{s_\tau | \tau = 1, 2, \dots, \lambda\}$ 为一个语言术语集,则 PLTS 可表示为

$$L(p) = \left\{ L_k(p_k) | L_k \in S, p_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, \lambda, \sum_{k=1}^{\lambda} p_k \leq 1 \right\}, \quad (2)$$

式中: λ 表示 $L(p)$ 中语言术语的个数,且 λ 为奇数; p_k 表示实际语言术语值 s_k 的概率;当 $\sum_{k=1}^{\lambda} p_k < 1$ 时评价信息不够完整,当 $\sum_{k=1}^{\lambda} p_k = 1$ 时评价信息完整。

为了对 PLTS 的大小进行比较,学者们给出了期望函数的定义。

定义 2^[22-23]: 给定一个 PLTS, $L(p) = \{L_k(p_k) | k = 1, 2, \dots, \lambda\}$, 设 r_k 表示语言术语 L_k 的下标,则期望函数 $E(L(p))$ 的计算公式为

$$E(L(p)) = s_{\bar{\alpha}}, \quad (3)$$

式中, $\bar{\alpha} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{\lambda} p_k} \sum_{k=1}^{\lambda} r_k \cdot p_k$ 。

对于两个 PLTS $L_1(p)$ 和 $L_2(p)$,若 $E(L_1(p)) > E(L_2(p))$,则意味着 $L_1(p)$ 优于 $L_2(p)$,此时 $L_1(p) \succ L_2(p)$;若 $E(L_1(p)) < E(L_2(p))$,则意味着 $L_1(p)$ 劣于 $L_2(p)$,此时 $L_1(p) \prec L_2(p)$;若 $E(L_1(p)) = E(L_2(p))$,则无法将 $L_1(p)$ 和 $L_2(p)$ 区分开,这种情况下,需要计算偏差度予以区分。

定义 3^[9]: 给定两个 PLTS $L_1(p)$ 和 $L_2(p)$, 设 $\sigma(L(p))$ 为偏差度函数,则

$$\sigma(L(p)) = \left(\sum_{k=1}^{\lambda} p_k (r_k - \bar{\alpha})^2 \right)^{1/2} / \sum_{k=1}^{\lambda} p_k. \quad (4)$$

此时, 当 $E(L_1(p))=E(L_2(p))$ 时, 可以根据偏差度值对 $L_1(p)$ 和 $L_2(p)$ 进行比较。若 $\sigma(L_1(p))>\sigma(L_2(p))$, 则 $L_1(p)$ 劣于 $L_2(p)$, 记作 $L_1(p) \prec L_2(p)$; 若 $\sigma(L_1(p))<\sigma(L_2(p))$, 则 $L_1(p)$ 优于 $L_2(p)$, 记作 $L_1(p) \succ L_2(p)$; 若 $\sigma(L_1(p))=\sigma(L_2(p))$, 则 $L_1(p)$ 和 $L_2(p)$ 之间无差别, 此时 $L_1(p) \sim L_2(p)$ 。

1.3 熵权法

熵权法是一种基于信息熵的客观赋权方法^[24], 常用于确定指标权重。

设有 n 个方案, m 项评价指标, X_{ij} 表示第 i 个方案在第 j 个指标下的评价值 ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$), 则运用熵权法确定指标权重的步骤如下^[11]。

1) 指标归一化处理

对于正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min,j}}{X_{\max,j} - X_{\min,j}}, \quad (5)$$

对于负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{\max,j} - X_{ij}}{X_{\max,j} - X_{\min,j}}, \quad (6)$$

式中: X'_{ij} 表示第 i 个方案下第 j 个指标评价值归一化处理后的数值; $X_{\max,j} = \max\{X_{ij}\}$ 和 $X_{\min,j} = \min\{X_{ij}\}$,

分别为第 j 个指标下, 所有评价值的最大值和最小值。

2) 计算第 j 个指标的熵值 E_j

$$E_j = -\frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m}, \quad (7)$$

式中: p_{ij} 表示第 j 个指标下第 i 个方案的贡献度; 熵值 E_j 的取值范围为 $E_j \in [0, 1]$ 。

3) 计算第 j 个指标的权重 w_j

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)}. \quad (8)$$

1.4 PROMETHEE II

PROMETHEE 是一种基于优序关系的多准则决策方法。因其无需对指标进行无量纲和标准化处理而避免了信息缺失和结果偏差, 可以更客观和科学地对备选方案进行排序^[25]。J. P. Brans 等^[12] 在 PROMETHEE 方法的基础上进一步提出 PROMETHEE II, 利用计算方案间的净流值有效解决了在备选方案两两比较时可能出现的无法直接比较

的情况。PROMETHEE II 方法在城市水平测度^[26]、智能制造能力评估^[27]、医疗服务应用^[28]以及食品品牌评价^[25]等多个领域得到了广泛应用。若有 $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_k, \dots, x_n\}$ 个备选方案, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 个指标, 则运用 PROMETHEE II 对备选方案进行排序的步骤如下。

1) 确定偏好函数值

设每个指标 c_j 都有一个对应的偏好函数, 一般准则偏好函数 $P_j(x_i, x_k)$ 的表达式为^[12]

$$P_j(x_i, x_k) = \begin{cases} 0, & d_j(x_i, x_k) \leq 0, \\ 1, & d_j(x_i, x_k) > 0. \end{cases} \quad (9)$$

式中, $d_j(x_i, x_k) = x_{i,j} - x_{k,j}$ 表示方案 x_i 和方案 x_k 的差值。

2) 确定优序函数

$\pi(x_i, x_k)$ 表示方案 x_i 优于方案 x_k 的程度, 表达式为

$$\pi(x_i, x_k) = \sum_{j=1}^m P_j(x_i, x_k) w_j, \quad (10)$$

式中, w_j 为指标 c_j 的权重。

3) 计算净流值

方案 x_i 的流出值为

$$\phi^+(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i,k \in n} \pi(x_i, x_k), \quad (11)$$

方案 x_i 的流入值为

$$\phi^-(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i,k \in n} \pi(x_k, x_i), \quad (12)$$

方案 x_i 的净流值为

$$\phi(x_i) = \phi^+(x_i) - \phi^-(x_i). \quad (13)$$

4) 方案排序

根据净流值 $\phi(x_i)$ 大小对方案进行排序, $\phi(x_i)$ 越大说明方案排序越靠前。

2 基于概率语言的食物包装大群体决策方法

在大群体决策中, 专家群体存在知识结构和偏好表达的异质性, 故本文引入 PLTS 以更好地描述决策专家对备选食品包装方案的评价信息。假设决策专家集合为 $D = \{d_h | h=1, 2, \dots, q\}$, $q \geq 20$, 决策专家权重集合为 $\omega = \{\omega_h | h=1, 2, \dots, q\}$, 备选方案集合为 $X =$

$\{x_i | i=1, 2, \dots, n\}$, 准则集合为 $C=\{c_j | j=1, 2, \dots, m\}$, 准则权重为 $W=\{w_j | j=1, 2, \dots, m\}$, 决策专家个人评价决策矩阵为 $Z^{d_h} = [z_{ij}^{d_h}]_{n \times m}$ 。其中, $\sum_{h=1}^q \omega_h = 1, \sum_{j=1}^m w_j = 1$, $z_{ij}^{d_h}$ 表示决策专家 d_h 对方案 x_i 在指标 c_j 下的评价价值。

2.1 食品包装大群体决策方法框架

本文提出一种食品包装大群体决策方法, 从评价指标确定、大群体决策矩阵生成、指标权重确定和食品包装方案优选 4 个阶段展开分析 (见图 2)。第一阶段, 从经济、环境及资源 3 个层面出发^[8, 29], 构建食品包装评价指标体系。第二阶段, 首先运用社会网络分析法构建决策专家社会关系网络, 通过模块度算法实现社团划分, 再引入概率语言加权平均 (probability linguistic weighted average, PLWA) 聚合算子聚合社团层面专家决策矩阵生成社团决策矩阵, 随后二次运用 PLWA 聚合算子整合各社团决策矩阵, 最终生成大群体决策矩阵, 同步计算专家权重及社团权重。第三阶段, 借助熵权法分别对各社团决策矩阵和社团聚合后大群体决策矩阵进行分析, 确定各决策矩阵所对应的指标权重。第四阶段, 结合前序阶段所得的指标权重, 利用 PROMETHEE II 方法计算各决策矩阵的优序净流值并对方案进行排序, 再对排序结果进行对比分析。

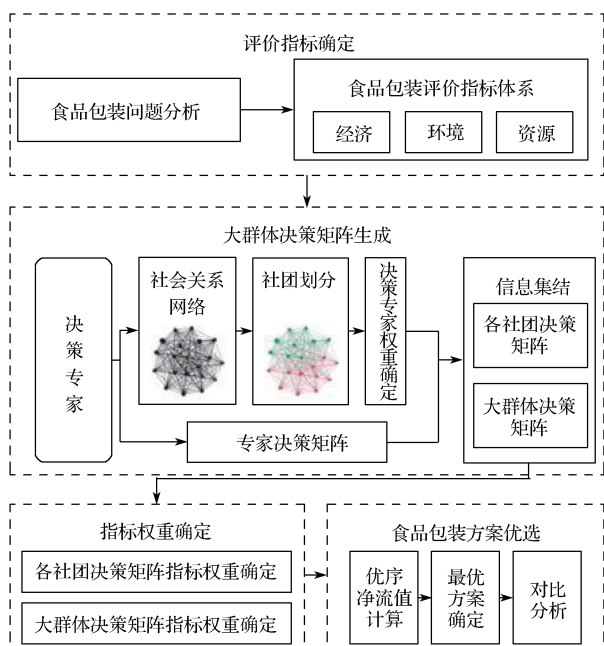


图 2 食品包装群决策方法框架

Fig. 2 Decision-making methodological framework for food packaging groups

2.2 食品包装评价指标确定

本文基于食品包装的全生命周期, 即从包装制作、使用到废弃的全过程, 结合经济、环境和资源 3 个层面来构建评价指标体系^[8, 29]。在经济层面, 考虑废物处理与污染控制开支等社会成本, 设计与开发、生产制造、运输和服务等制造成本, 以及食品购买、包装回收和处理等消费成本。在环境层面, 关注材料安全性, 材料与 Service 管理等质量控制因素, 从原材料、设计与生产、使用到废弃全过程的可持续性, 以及包装材料的可降解性。在资源层面, 考虑食品包装在物理、经济、认知、社会文化及技术等方面的材料可及性, 以及生命周期内的材料利用回收率。基于上述考量, 构建了经济、环境和资源 3 个评价维度下 9 项评价准则的食品包装评价指标体系。

2.3 大群体决策矩阵生成

2.3.1 社会关系网络构建

在大规模群体决策过程中, 专家间的社会信任关系通过交互作用直接影响决策结果。由于信任关系具有可量化性与传递性特征, 本文基于专家间信任关系构建专家社会关系网络。具体而言, 设专家集合为 $D=\{d_h | h=1, 2, \dots, q\}$, $q \geq 20$, 通过专家间的信任关系构建有向加权网络图 $G=(D, E, T)$, 其中边集 E 表示专家间的直接信任连接; T 表示专家之间信任程度的集合, 本文将受信程度分为 6 个量级 (0, 1, 2, 3, 4, 5), 分别代表不同的含义 (不信任, 略微信任, 一般信任, 比较信任, 信任, 非常信任)^[30]。构建邻接矩阵 A 表示直接信任关系, 再使用 Gephi 软件构建社会关系网络 G 。

2.3.2 专家社团划分

在社会网络环境下, 决策专家之间由于存在特定联系或共同利益而持有相同的观点, 通过识别这些联系并进行社团划分, 不仅可以实现大群体聚类, 降低决策复杂度, 更能揭示出社会网络中潜在的社团结构。本文根据模块度来衡量社团的结构强度, 其取值受到网络社团划分情况的影响。模块度的数值通常反映了社团划分的质量: 当模块度为 0 时, 表示社区内实际连接的边的比例并不高于随机连接情况下任意两个节点的边的比例; 而模块度越接近于 1, 则说明社团划分质量越好, 社团结构也越明显。模块度的定义^[31]为

$$Q = \frac{1}{2l} \sum_{uv} \left(A_{uv} - \frac{k_u k_v}{2l} \right) \delta_{uv}, \quad (14)$$

式中: l 表示网络中的边数。 u 和 v 表示网络中存在的任意两个节点, 若两节点之间有关系, 则 $A_{uv}=1$; 若两节点之间无关系, 则 $A_{uv}=0$ 。 k_u 、 k_v 分别表示节点 u 、 v 的度, 当节点 u 和节点 v 在一个社团中时, $\delta_{uv}=1$; 反之, $\delta_{uv}=0$ 。

2.3.3 专家权重确定

由于各专家的影响力存在差异, 需通过确定专家权重来反映其在大群体决策中的重要性。本文首先基于专家间的社会关系网络进行社团划分, 并针对社团内专家节点的点度中心度确定专家权重。点度中心度越高, 与该专家直接关联的其他专家数量越多, 专家在决策网络中的影响力越大。具体而言, 决策专家权重的计算公式为

$$\omega_h = \frac{I_{d_h}}{\sum_{h=1}^q I_{d_h}}, \quad (15)$$

式中, $I_{d_h} = \frac{L}{N-1}$ 表示决策专家 d_h 的受信任程度。

2.3.4 信息集结

聚合算子可以实现多位决策专家评价信息的集结^[32]。本文先利用 PLWA 聚合算子将各个决策专家的初始决策矩阵集结成社团决策矩阵, 后续再进一步利用 PLWA 聚合算子将社团决策矩阵聚合生成大群体决策矩阵。PLWA 聚合算子计算公式^[9]为

$$\begin{aligned} & PLWA(L_1(p), L_2(p), \dots, L_q(p)) = \\ & \omega_1 L_1(p) \oplus \omega_2 L_2(p) \oplus \dots \oplus \xi_q L_q(p) = \\ & \bigcup_{L_1^{(k)} \in L_1(p)} \{ \omega_1 p_1^{(k)} L_1^{(k)} \} \oplus \bigcup_{L_2^{(k)} \in L_2(p)} \{ \omega_2 p_2^{(k)} L_2^{(k)} \} \oplus \dots \oplus \\ & \bigcup_{L_q^{(k)} \in L_q(p)} \{ \omega_q p_q^{(k)} L_q^{(k)} \}. \end{aligned} \quad (16)$$

2.4 指标权重确定

在食品包装大群体决策过程中, 指标权重直接影响方案排序。为了保持赋权的客观性, 本文利用熵权法确定各类决策矩阵中指标权重的大小。首先依据 1.3 节的式 (5) 进行标准化处理, 继而利用式 (6) 计算各指标熵值来量化其数据离散程度, 最后根据式 (8) 分别确定各社团决策矩阵和社团聚合后大群体决策矩阵相对应的指标权重大小。

2.5 食品包装方案优选

基于上述分析, 本文采用 PROMETHEE II 方法对备选方案进行排序。首先, 选择一般准则的偏好函数并计算各方案的偏好函数值。在这一过程中, 需要

充分考虑不同准则之间的权重分配, 从而确保评价结果的客观性和准确性。其次, 依据计算出的偏好函数值, 确定各方案的优先指数, 揭示出方案之间的优劣关系。最后, 根据各方案的净流值大小进行排序, 从而明确各方案的优序关系。

2.6 食品包装大群体决策步骤

本文提出的社会网络环境下基于概率语言的食品包装大群体决策方法, 共分为 8 个步骤, 其中第一阶段为步骤 1: 评价指标确定; 第二阶段为步骤 2~5: 大群体决策矩阵生成; 第三阶段为步骤 6: 指标权重确定; 第四阶段为步骤 7~8: 食品包装方案优选。

步骤 1 查阅相关文献, 确定食品包装评价指标体系;

步骤 2 构建专家社会关系网络;

步骤 3 利用模块度对专家社会关系网络进行聚类分析, 划分社团;

步骤 4 运用式 (15) 计算各社团内专家权重及社团权重;

步骤 5 通过式 (16) 将社团中专家决策矩阵聚合形成社团决策矩阵 Z^{G_1} 、 Z^{G_2} 、 \dots 、 $Z^{G_{f-1}}$, 再将 Z^{G_1} 、 Z^{G_2} 、 \dots 、 $Z^{G_{f-1}}$ 聚合生成大群体决策矩阵 Z^{G_f} ;

步骤 6 利用式 (5)~(8) 分析 Z^{G_1} 、 Z^{G_2} 、 \dots 、 Z^{G_f} 这 f 个决策矩阵, 计算出每个决策矩阵相对应的指标权重;

步骤 7 运用 PROMETHEE II 对方案进行排序, 再利用式 (9)~(13) 计算 f 个决策矩阵的优序净流值, 确定最优方案;

步骤 8 基于优序净流值大小, 对比分析每个决策矩阵所对应的方案排序结果。

3 算例分析

3.1 问题背景

随着全球食品工业的蓬勃发展, 食品包装作为保障食品安全和维系价值链完整性的关键技术载体^[33], 其战略地位日益凸显。食品包装不仅是连接生产与消费的关键纽带, 更是确保食品在运输、储存及销售过程中品质与安全的核心环节^[34]。因此, 科学合理的选择食品包装方案, 对于保障食品流通效率、延长保质期以及提升市场竞争力至关重要。

本文选取 5 种典型的食品包装方案 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, 采用基于概率语言的群决策方法对其进

行优选。首先邀请 20 位专家 $D=\{d_1, d_2, \dots, d_{20}\}$ 构成决策群体, 从 9 个指标 $C=\{c_1, c_2, \dots, c_9\}$ 对食品包装方案进行评估, 设方案 x_i 在指标 c_j 下的评价信息为 PLTS, 且对应的语言评价集为 $S=\{s_1=\text{非常差},$

$s_2=\text{差}, s_3=\text{一般}, s_4=\text{好}, s_5=\text{非常好}\}$ 。由于篇幅限制, 本文仅展示专家 d_1 的评价信息矩阵 (见表 1)。

其次, 考虑决策专家之间的信任关系程度 (见表 2), 为后续分析决策专家间的信任关系提供数据支撑。

表 1 专家 d_1 的决策矩阵Table 1 Decision matrix for expert d_1

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_1	$\{s_1(0.372), s_2(0.483), s_3(0.145)\}$	$\{s_1(0.454), s_4(0.278), s_5(0.268)\}$	$\{s_2(0.325), s_3(0.675)\}$	$\{s_1(0.154), s_3(0.452), s_4(0.125), s_5(0.269)\}$	$\{s_1(0.425), s_3(0.127), s_4(0.108), s_5(0.340)\}$
c_2	$\{s_1(0.721), s_2(0.279)\}$	$\{s_2(0.273), s_3(0.421), s_4(0.306)\}$	$\{s_1(0.321), s_3(0.247), s_4(0.251), s_5(0.181)\}$	$\{s_3(0.543), s_5(0.457)\}$	$\{s_1(0.225), s_2(0.372), s_5(0.403)\}$
c_3	$\{s_3(0.255), s_4(0.386), s_5(0.359)\}$	$\{s_1(0.504), s_2(0.496)\}$	$\{s_1(0.108), s_2(0.253), s_3(0.322), s_5(0.317)\}$	$\{s_2(0.357), s_3(0.272), s_5(0.371)\}$	$\{s_4(0.625), s_5(0.375)\}$
c_4	$\{s_1(0.351), s_2(0.255), s_3(0.394)\}$	$\{s_1(0.492), s_3(0.245), s_4(0.263)\}$	$\{s_1(0.672), s_4(0.328)\}$	$\{s_3(1.000)\}$	$\{s_3(0.292), s_4(0.375), s_5(0.333)\}$
c_5	$\{s_2(0.301), s_3(0.325), s_4(0.374)\}$	$\{s_1(0.137), s_2(0.259), s_4(0.372), s_5(0.232)\}$	$\{s_3(0.457), s_4(0.543)\}$	$\{s_2(0.327), s_3(0.406), s_4(0.267)\}$	$\{s_3(0.554), s_4(0.446)\}$
c_6	$\{s_1(0.242), s_2(0.376), s_3(0.382)\}$	$\{s_1(0.418), s_2(0.225), s_3(0.357)\}$	$\{s_2(0.262), s_3(0.343), s_4(0.395)\}$	$\{s_4(0.754), s_5(0.246)\}$	$\{s_3(0.456), s_4(0.208), s_5(0.336)\}$
c_7	$\{s_1(0.172), s_2(0.251), s_3(0.403), s_4(0.174)\}$	$\{s_2(0.275), s_3(0.473), s_5(0.252)\}$	$\{s_1(0.173), s_3(0.257), s_4(0.342), s_5(0.228)\}$	$\{s_1(0.238), s_3(0.427), s_5(0.335)\}$	$\{s_3(0.238), s_5(0.762)\}$
c_8	$\{s_4(0.463), s_5(0.537)\}$	$\{s_1(0.217), s_2(0.256), s_3(0.401), s_4(0.126)\}$	$\{s_2(0.361), s_3(0.514), s_5(0.125)\}$	$\{s_1(0.475), s_3(0.525)\}$	$\{s_2(0.378), s_3(0.264), s_5(0.358)\}$
c_9	$\{s_1(0.263), s_2(0.335), s_4(0.282), s_5(0.120)\}$	$\{s_1(0.637), s_3(0.363)\}$	$\{s_2(0.257), s_3(0.354), s_4(0.389)\}$	$\{s_1(0.118), s_3(0.346), s_5(0.536)\}$	$\{s_2(0.201), s_3(0.345), s_4(0.128), s_5(0.326)\}$

表 2 专家间信任关系程度

Table 2 Degree of trust relationship between experts

专家	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}
d_1		4	1	5	2	4	5	4	5	2	3	5	5	4	0	0	3	3	3	5
d_2	3		4	3	5	5	4	3	3	4	3	3	4	4	3	2	2	5	1	4
d_3	2	4		3	3	3	4	4	4	5	4	5	4	2	2	4	4	3	2	4
d_4	4	3	1		2	3	3	5	5	5	4	4	5	3	3	5	5	4	3	5
d_5	1	3	3	2		4	3	5	4	2	5	5	4	4	3	1	5	4	2	4
d_6	0	2	0	5	4		3	4	5	1	4	2	5	1	0	5	5	4	2	5
d_7	1	1	4	4	3	5		3	3	3	4	2	4	4	4	5	1	2	1	4
d_8	2	4	2	3	1	4	1		4	4	0	3	5	2	3	1	0	4	4	5
d_9	1	0	1	3	1	4	3	4		4	3	3	4	4	0	1	4	3	0	4
d_{10}	4	2	3	1	4	3	3	3	4		4	1	5	3	2	5	3	4	2	5
d_{11}	4	3	4	4	2	4	4	4	5	3		0	4	5	2	3	1	1	5	5
d_{12}	2	3	2	3	3	4	5	5	5	3	3		4	4	3	3	3	4	3	4
d_{13}	3	4	5	4	3	2	0	3	3	3	4	2		4	1	5	2	1	1	5
d_{14}	4	3	0	2	4	4	3	3	4	4	4	4	5		2	3	4	4	2	5
d_{15}	3	4	3	3	2	5	4	1	3	2	5	5	3	2		4	0	5	3	5
d_{16}	4	2	4	0	3	5	3	4	5	2	5	3	4	2	4		4	5	3	4
d_{17}	0	4	0	4	2	1	4	2	5	1	0	1	4	3	4	5		1	4	5
d_{18}	3	3	3	4	5	4	3	1	1	3	5	2	5	5	0	3	5		1	4
d_{19}	0	0	2	3	5	4	0	1	3	4	1	0	5	3	3	5	3	3		5
d_{20}	3	4	1	1	4	5	2	5	4	4	3	4	5	3	1	5	2	4	4	

3.2 决策过程

3.2.1 决策矩阵生成

基于表 2 中 20 位决策专家间信任关系程度, 利用 Gephi 软件将其转换成决策专家社会关系网络 (见图 3)。然后, 根据专家间关系网络图, 运用式 (16) 进行模块度分析, 将 20 位专家划分为两个高度关联的社团 G_1 、 G_2 (见图 4), 其中社团 G_1 中包含的专家为 $\{d_2, d_5, d_8, d_9, d_{10}, d_{12}, d_{14}, d_{19}, d_{20}\}$ (见图 5), 社团 G_2 中包含的专家为 $\{d_1, d_3, d_4, d_6, d_7, d_{11}, d_{13}, d_{15}, d_{16}, d_{17}, d_{18}\}$ (见图 6)。

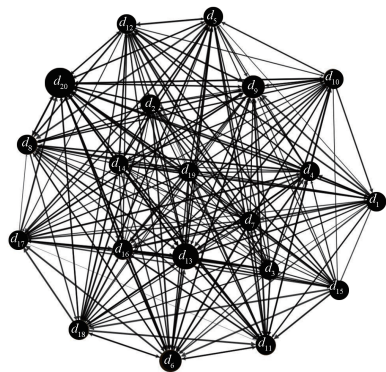


图 3 决策专家社会关系网络图

Fig. 3 Social networks of decision-making experts

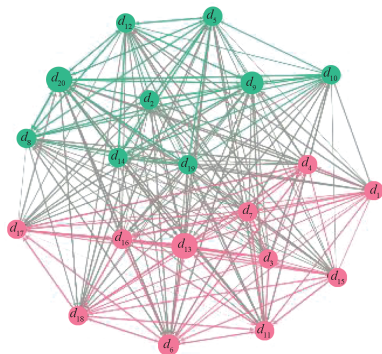


图 4 决策专家聚类图

Fig. 4 Decision-making experts clustering

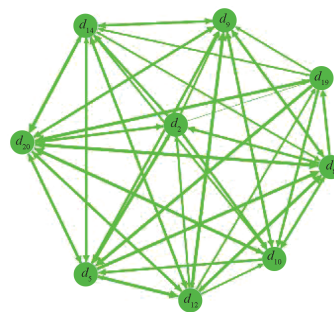


图 5 社团 G_1 关系网络图

Fig. 5 Network of association G_1

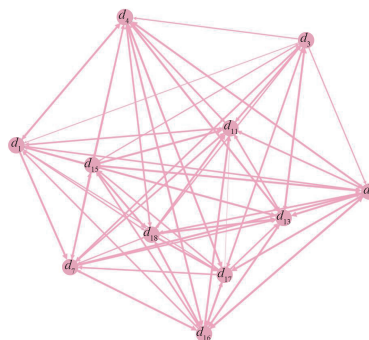


图 6 社团 G_2 关系网络图

Fig. 6 Network of association G_2

在专家个体层面, 通过式 (14) 分别计算社团 G_1 和 G_2 内部专家权重, 分别是 $\omega_1 = \{0.0802, 0.1139, 0.1224, 0.1308, 0.1181, 0.0970, 0.1097, 0.0759, 0.1519\}$ 和 $\omega_2 = \{0.0680, 0.0708, 0.1020, 0.1020, 0.0935, 0.1076, 0.1218, 0.0567, 0.1105, 0.0850, 0.0822\}$ 。在群体层面, 结合各社团的权威程度计算出社团权重分别为 $\omega_{G_1} = 0.4631$, $\omega_{G_2} = 0.5369$ 。根据各决策专家对 5 个备选方案的评估结果, 先借助式 (16) 分别对各社团内专家的初始决策矩阵进行聚合, 形成社团层面的决策矩阵 Z^{G_1} 、 Z^{G_2} , 再将两个社团决策矩阵 Z^{G_1} 、 Z^{G_2} 二次聚合生成大群体决策矩阵 Z^{G^r} (见表 3)。

表 3 大群体决策矩阵 Z^{G^r}

Table 3 Large group decision Z^{G^r} matrix

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_1	$\{s_1(0.201), s_2(0.235), s_3(0.204), s_4(0.161), s_5(0.199)\}$	$\{s_1(0.200), s_2(0.226), s_3(0.239), s_4(0.222), s_5(0.113)\}$	$\{s_1(0.190), s_2(0.228), s_3(0.227), s_4(0.239), s_5(0.116)\}$	$\{s_1(0.124), s_2(0.255), s_3(0.180), s_4(0.222), s_5(0.219)\}$	$\{s_1(0.278), s_2(0.143), s_3(0.143), s_4(0.258), s_5(0.178)\}$
c_2	$\{s_1(0.246), s_2(0.303), s_3(0.209), s_4(0.149), s_5(0.093)\}$	$\{s_1(0.237), s_2(0.253), s_3(0.152), s_4(0.206), s_5(0.151)\}$	$\{s_1(0.172), s_2(0.195), s_3(0.287), s_4(0.196), s_5(0.149)\}$	$\{s_1(0.166), s_2(0.244), s_3(0.250), s_4(0.150), s_5(0.190)\}$	$\{s_1(0.164), s_2(0.145), s_3(0.278), s_4(0.177), s_5(0.235)\}$
c_3	$\{s_1(0.210), s_2(0.235), s_3(0.166), s_4(0.216), s_5(0.174)\}$	$\{s_1(0.183), s_2(0.224), s_3(0.191), s_4(0.246), s_5(0.156)\}$	$\{s_1(0.169), s_2(0.212), s_3(0.267), s_4(0.159), s_5(0.193)\}$	$\{s_1(0.180), s_2(0.238), s_3(0.287), s_4(0.229), s_5(0.067)\}$	$\{s_1(0.202), s_2(0.219), s_3(0.139), s_4(0.149), s_5(0.291)\}$

续表

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
c_4	$\{s_1(0.232), s_2(0.191), s_3(0.183), s_4(0.254), s_5(0.140)\}$	$\{s_1(0.167), s_2(0.213), s_3(0.298), s_4(0.204), s_5(0.118)\}$	$\{s_1(0.159), s_2(0.182), s_3(0.192), s_4(0.256), s_5(0.210)\}$	$\{s_1(0.253), s_2(0.168), s_3(0.261), s_4(0.205), s_5(0.114)\}$	$\{s_1(0.157), s_2(0.216), s_3(0.114), s_4(0.381), s_5(0.132)\}$
c_5	$\{s_1(0.162), s_2(0.183), s_3(0.288), s_4(0.261), s_5(0.105)\}$	$\{s_1(0.264), s_2(0.152), s_3(0.141), s_4(0.331), s_5(0.113)\}$	$\{s_1(0.174), s_2(0.179), s_3(0.212), s_4(0.246), s_5(0.189)\}$	$\{s_1(0.125), s_2(0.253), s_3(0.302), s_4(0.208), s_5(0.111)\}$	$\{s_1(0.164), s_2(0.192), s_3(0.238), s_4(0.246), s_5(0.159)\}$
c_6	$\{s_1(0.205), s_2(0.193), s_3(0.211), s_4(0.167), s_5(0.224)\}$	$\{s_1(0.188), s_2(0.220), s_3(0.245), s_4(0.187), s_5(0.160)\}$	$\{s_1(0.224), s_2(0.170), s_3(0.170), s_4(0.245), s_5(0.191)\}$	$\{s_1(0.239), s_2(0.209), s_3(0.177), s_4(0.297), s_5(0.189)\}$	$\{s_1(0.114), s_2(0.212), s_3(0.218), s_4(0.280), s_5(0.176)\}$
c_7	$\{s_1(0.165), s_2(0.174), s_3(0.130), s_4(0.259), s_5(0.271)\}$	$\{s_1(0.127), s_2(0.160), s_3(0.222), s_4(0.341), s_5(0.149)\}$	$\{s_1(0.206), s_2(0.183), s_3(0.229), s_4(0.218), s_5(0.165)\}$	$\{s_1(0.125), s_2(0.217), s_3(0.226), s_4(0.240), s_5(0.193)\}$	$\{s_1(0.193), s_2(0.249), s_3(0.126), s_4(0.274), s_5(0.157)\}$
c_8	$\{s_1(0.154), s_2(0.224), s_3(0.142), s_4(0.290), s_5(0.191)\}$	$\{s_1(0.188), s_2(0.134), s_3(0.284), s_4(0.189), s_5(0.206)\}$	$\{s_1(0.170), s_2(0.191), s_3(0.255), s_4(0.253), s_5(0.131)\}$	$\{s_1(0.220), s_2(0.132), s_3(0.211), s_4(0.265), s_5(0.172)\}$	$\{s_1(0.171), s_2(0.238), s_3(0.256), s_4(0.126), s_5(0.210)\}$
c_9	$\{s_1(0.158), s_2(0.164), s_3(0.110), s_4(0.206), s_5(0.362)\}$	$\{s_1(0.280), s_2(0.147), s_3(0.191), s_4(0.248), s_5(0.134)\}$	$\{s_1(0.153), s_2(0.196), s_3(0.197), s_4(0.306), s_5(0.149)\}$	$\{s_1(0.059), s_2(0.093), s_3(0.362), s_4(0.292), s_5(0.193)\}$	$\{s_1(0.156), s_2(0.221), s_3(0.212), s_4(0.245), s_5(0.166)\}$

3.2.2 指标权重计算

结合上述分析结果，根据式(5)~(8)分别计算出社团 G_1 、 G_2 以及最终生成的大群体 G_f 的指标权重大小，分别为

$$W_{G_1} = \{0.0412, 0.1127, 0.1852, 0.1560, 0.1490, 0.2366, 0.0106, 0.0302, 0.0785\},$$

$$W_{G_2} = \{0.3261, 0.1486, 0.1080, 0.1304, 0.0773, 0.1291, 0.0270, 0.0303, 0.0235\},$$

$$W_{G_f} = \{0.4344, 0.2477, 0.0187, 0.1278, 0.0136, 0.0454, 0.0447, 0.0330, 0.0347\}.$$

3.2.3 方案优选

结合上述计算结果，利用 PROMETHEE II 方法，根据式(9)~(13)分别计算出各方案的流出值 $\phi^+(x_i)$ 、流入值 $\phi^-(x_i)$ 以及净流值 $\phi(x_i)$ ，结果见表 4。

表 4 方案 x_i 流出值、流入值和净流值对比

Table 4 Comparison of outflows, inflows and net flows for the alternative x_i

群体	指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
G_1	$\phi^+(x_i)$	0.2756	0.3110	0.6436	0.5037	0.7070
	$\phi^-(x_i)$	0.6653	0.6299	0.3564	0.4963	0.2930
	$\phi(x_i)$	-0.3897	-0.3189	0.2873	0.0074	0.4140
G_2	$\phi^+(x_i)$	0.4244	0.3108	0.5215	0.5569	0.6805
	$\phi^-(x_i)$	0.5697	0.6892	0.4785	0.4372	0.3195
	$\phi(x_i)$	-0.1453	-0.3785	0.0430	0.1197	0.3610
G_f	$\phi^+(x_i)$	0.4850	0.2001	0.4406	0.6978	0.6718
	$\phi^-(x_i)$	0.5150	0.7999	0.5547	0.2975	0.3282
	$\phi(x_i)$	-0.0300	-0.5997	-0.1141	0.4003	0.3437

由表 4 可知，对社团 G_1 内群体进行信息集结，按照净流值的大小进行排序，排序的结果为 $x_5 > x_3 > x_4 > x_2 > x_1$ ；对社团 G_2 内群体进行信息集结，按照净流值的大小进行排序，排序的结果为 $x_5 > x_3 > x_4 > x_1 > x_2$ ，即社团划分后对方案进行排序， x_5 为决策最优方案。再对大群体 G_f 中信息进行集结，计算出大群体决策方案排序结果为 $x_4 > x_5 > x_1 > x_3 > x_2$ ，此时最优方案为 x_4 （见表 5）。由此可知，社团聚合后的排序结果与前两种排序结果存在显著差异，说明经过模块度划分，专家偏好信息的集结方式受到一定影响，社团内部同质性程度提高，进而对最终决策结果产生了作用。因此，在社会网络环境中，考虑大群体决策专家之间的社会关系网络，分析社团拓扑结构对决策的影响尤为重要。

表 5 不同群体方案排序结果

Table 5 Results of the ranking of programmes for different groups

群体	方案排序
G_1	$x_5 > x_3 > x_4 > x_2 > x_1$
G_2	$x_5 > x_3 > x_4 > x_1 > x_2$
G_f	$x_4 > x_5 > x_1 > x_3 > x_2$

3.3 对比分析

为了说明本文方法的合理性与优势，现选取文献 [5]、文献 [34] 及文献 [35] 进行对比，结果见表 6~7。对比发现，文献 [5] 仅考虑社会网络环境下决

策专家间的信任关系, 未深入探讨社团划分聚类分组问题; 文献 [34] 利用相似度聚类方法进行社团划分, 但忽略了当前的社会网络因素对决策的影响; 文献 [35] 虽考虑到社会网络影响, 引入 Louvain 社区发现算法划分社团, 却未能较好融合决策专家偏好信息; 本文在考虑决策专家偏好信息的基础上, 结合专家间社会关系对大群体决策专家进行社团划分。此外, 就权重确定方法而言, 文献 [5] 基于信任网络和可能度赋权法对专家和指标权重赋权, 但缺乏专家群体聚类的考量; 文献 [34] 假定决策专家权重相等, 其客观性有待商榷; 文献 [35] 通过社会网络关系与偏好信息的相似度进行加权; 相较之下, 本文首先基于聚类成员数量对聚类群体进行权重的计算和划分, 再利用专家间的信任关系赋权专家权重, 充分考虑决策专家的偏好关系并结合熵权法确保指标权重的科学性和客观性。

由表 7 可知, 本文与文献 [35] 的最优解选择具有一致性, 均为 x_4 , 而与文献 [5] 和 [34] 的排序结果存在差异。这是因为文献 [5] 不适用于大群体决策问题; 文献 [34] 未考虑到社会网络环境对大群体决策的影响; 本文充分考虑社会网络环境对食品包装大群体内部结构和关系的影响, 使决策过程更加合理, 进而提高了决策结果的稳健性和可靠性。

表 6 不同群决策方法的对比分析

Table 6 Comparative analysis of different group decision-making methods

方法	考虑聚类方法	考虑社会网络	考虑大群体决策
文献 [5]	×	×	×
文献 [34]	√	×	√
文献 [35]	√	√	√
本文方法	√	√	√

表 7 基于不同方法的排序结果

Table 7 Ranking results based on different methods

方法	方案排序	最优方案
文献 [5]	$x_5 > x_4 > x_2 > x_1 > x_3$	x_5
文献 [34]	$x_5 > x_4 > x_1 > x_3 > x_2$	x_5
文献 [35]	$x_4 > x_5 > x_1 > x_3 > x_2$	x_4
本文方法	$x_4 > x_5 > x_1 > x_3 > x_2$	x_4

4 结语

本文针对社会网络环境下食品包装大群体决策问题, 构建了融合社会网络分析与概率语言的决策框

架。首先, 结合社会网络分析方法构建专家社会关系网络, 通过模块度聚类划分专家社团, 赋予专家权重和社团权重。其次, 利用熵权法确定指标权重大小。最后, 运用 PROMETHEE II 实现对大群体食品包装方案的优选, 并通过局部与全局排序结果对比验证了社团结构对大群体决策的影响。与已有研究相比, 本研究具有如下优点:

1) 将 PLTS 运用到食品包装大群体专家决策问题中, 有效地解决了决策专家提供的评价信息可能不完整的问题;

2) 引入社会网络分析, 基于决策专家的信任关系对多属性大群体决策问题进行分析, 通过社团划分实现决策群体信息聚合, 显著降低计算复杂度。

3) 采用 PROMETHEE II 对方案进行排序, 并通过比较不同信息集结方案的排序结果, 验证了社会网络的社团划分对专家决策过程的影响。

未来研究将沿两个方向深化: 一是构建包含独立专家与群体成员的食品包装大群体混合决策模型, 增强方法体系的包容性; 二是引入意见领袖识别机制, 探究网络影响力异质性对食品包装大群体决策共识形成的动态影响, 进一步丰富和完善食品包装大群体决策研究。

参考文献:

- [1] 庄贵阳. 我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策[J]. 人民论坛, 2021(18): 50-53.
- [2] 周云令, 魏娜, 郝晓秀, 等. 智能包装技术在食品供应链中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 336-344.
- [3] CHIGUDU D. Public Sector Corporate Governance: Zimbabwe's Challenges of Strategic Management in the Wake of Sustainable Development[J]. Academy of Strategic Management Journal, 2020, 19(1): 1-13.
- [4] GUO C Y, GUO H G. Progress in the Degradability of Biodegradable Film Materials for Packaging[J]. Membranes, 2022, 12(5): 500.
- [5] 周欢, 张培颖, 刘嘉. 社会网络环境下融合概率语言和 QUALIFLEX 的绿色包装评价方法[J]. 包装学报, 2022, 14(6): 1-12.
- [6] NEMAT B, RAZZAGHI M, BOLTON K, et al. Design Affordance of Plastic Food Packaging for Consumer Sorting Behavior[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 177: 105949.
- [7] GEUEKE B, GROH K, MUNCKE J. Food Packaging

- in the Circular Economy: Overview of Chemical Safety Aspects for Commonly Used Materials[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 193: 491–505.
- [8] MOLINA-BESCH K, PÅLSSON H. A Simplified Environmental Evaluation Tool for Food Packaging to Support Decision-Making in Packaging Development[J]. *Packaging Technology and Science*, 2020, 33(4/5): 141–157.
- [9] PANG Q, WANG H, XU Z S. Probabilistic Linguistic Term Sets in Multi-Attribute Group Decision Making[J]. *Information Sciences*, 2016, 369: 128–143.
- [10] 王娜, 李杰. 基于 AHP-熵权法的 FAQ 问答系统用户满意度评价研究: 以高校图书馆问答型机器人为例[J]. *情报科学*, 2023, 41(9): 164–172.
- [11] ZHU Y X, TIAN D Z, YAN F. Effectiveness of Entropy Weight Method in Decision-Making[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 2020(1): 3564835.
- [12] BRANS J P, VINCKE P. Note: A Preference Ranking Organisation Method[J]. *Management Science*, 1985, 31(6): 647–656.
- [13] 耿秀丽, 周青超. 基于概率语言 BWM 与 PROMETHEE II 的多准则决策方法[J]. *运筹与管理*, 2020, 29(6): 124–129.
- [14] 郑峰. 基于多阶权重组合和 PROMETHEE II 的饮品包装评估模型[J]. *包装工程*, 2021, 42(19): 171–177.
- [15] 赵吉成, 徐丕文. 基于模糊群决策的天津特色食品包装 SPA-TOPSIS 评价[J]. *包装工程*, 2022, 43(17): 213–223.
- [16] MAHAJAN A, SINGH I, ARORA N. An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Framework for the Selection of Sustainable Biodegradable Polymer for Food Packaging Applications[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2023: 1–22.
- [17] 徐选华, 张前辉. 社会网络环境下基于共识的风险性大群体应急决策非合作行为管理研究[J]. *控制与决策*, 2020, 35(10): 2497–2506.
- [18] 张发明, 朱姝琪. 社会网络环境下基于群体一致性的概率语言多属性大群体决策方法[J]. *系统管理学报*, 2022, 31(4): 679–688.
- [19] 徐选华, 肖婷. 社会网络行为数据驱动的大群体应急决策共识模型[J]. *系统工程与电子技术*, 2023, 45(7): 2086–2097.
- [20] FREEMAN L C. *The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science*[M]. Vancouver: Empirical Press, 2004: 66–81.
- [21] DAI S S, ZHENG J W. On Probabilistic Linguistic Term Set Operations[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 44(6): 9993–10003.
- [22] LIN M W, WANG H B, XU Z S, et al. Clustering Algorithms Based on Correlation Coefficients for Probabilistic Linguistic Term Sets[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2018, 33(12): 2402–2424.
- [23] WANG X K, WANG J Q, ZHANG H Y. Distance-Based Multicriteria Group Decision-Making Approach with Probabilistic Linguistic Term Sets[J]. *Expert Systems*, 2019, 36(2): e12352.
- [24] 翟运开, 郭瑞芳, 王宇, 等. 数据生命周期视角下的医疗健康大数据质量评价研究[J]. *现代情报*, 2024, 44(1): 116–129.
- [25] 廖虎昌, 杨竹, 徐泽水, 等. 犹豫模糊语言 PROMETHEE 方法在川酒品牌评价中的应用[J]. *控制与决策*, 2019, 34(12): 2727–2736.
- [26] 时朋飞, 王梦君, 龙荟冰, 等. 省域共同富裕水平测度、差异特征与空间收敛分析: 基于 PROMETHEE 评价法的广东省城市数据研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2024, 46(1): 112–130.
- [27] 韩雅婷, 吴洁倩, 马敬玲, 等. 基于区间数 PROMETHEE 的智能制造能力评价研究[J]. *现代制造工程*, 2021(3): 1–9.
- [28] 徐泽水, 罗书琴, 廖虎昌. 概率语言 PROMETHEE 方法及其在医疗服务中的应用[J]. *系统工程学报*, 2019, 34(6): 760–769.
- [29] MA S, QIAN X S. Research on Food Proper-Packaging via Fuzzy Comprehensive Evaluation[C]//2011 International Conference on Management and Service Science. Wuhan: IEEE, 2011: 1–4.
- [30] 周欢, 陈洪业, 鲁芳. 社会网络下基于在线评论的旅游供应商优选研究[J]. *昆明学院学报*, 2024, 46(4): 69–81.
- [31] NEWMAN M J. Modularity and Community Structure in Networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(23): 8577–8582.
- [32] ZAHEDI KHAMENEH A, KILICMAN A. Some Construction Methods of Aggregation Operators in Decision-Making Problems: An Overview[J]. *Symmetry*, 2020, 12(5): 694.
- [33] 蒲晨露, 李根. 食品接触材料中污染物分析技术的研究进展[J]. *中国塑料*, 2023, 37(2): 113–120.
- [34] YAN M R, HSIEH S, RICACHO N. Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspectives[J]. *Processes*, 2022, 10(4): 747.
- [35] XU X H, ZHANG Q H, CHEN X H. Consensus-Based Non-Cooperative Behaviors Management in Large-Group Emergency Decision-Making Considering Experts' Trust Relations and Preference Risks[J]. *Knowledge-*

Based Systems, 2020, 190: 105108.

- [36] LIU Y Y, YANG Y L. A Novel Similarity-Based Consensus Model for Probabilistic Linguistic Sets and Its Application in Multi-Attribute Large-Scale Group

Decision Making[J]. Computational and Applied Mathematics, 2022, 41(3): 97.

(责任编辑: 李玉华)

Research on Multi-Attribute Large Group Food Packaging Preference Based on Probabilistic Language in Social Network Environment

ZHOU Huan^{1,2}, JI Hairu^{1,2}, CHEN Hongye^{1,2}, ZHONG Jun¹

(1. School of Economics and Management, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Province Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In the large-scale group decision-making process in food packaging, the social network relationships among decision-making experts have a significant influence on both the decision-making process and outcomes. This study investigates food packaging decision-making method within social network environments and employs probabilistic linguistic term sets to characterize uncertainties in expert evaluations. Secondly, the trust relationship network is constructed based on the trust relationship among decision-making experts, with modularity applied to partition expert communities. Expert weights and index weights are then calculated respectively. Finally, the PROMETHEE II method is applied to the comprehensive sorting of the food packaging alternatives. Through comparative analysis, the feasibility and rationality of the proposed probabilistic linguistic multi-attribute large-scale group decision-making method under social network environment is verified, providing actionable directions for optimizing food packaging solutions.

Keywords: social network analysis; probabilistic linguistic term set; cluster analysis; PROMETHEE II; preferred food packaging