

基于美洲大蠊养殖技术的湿垃圾处理模式研究

陈 挺

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2022年10月16日; 录用日期: 2022年11月10日; 发布日期: 2022年11月18日

摘 要

近年来,我国大力推进垃圾分类和废弃资源回收利用工作。湿垃圾在我国的生活垃圾中占比较高,但却并未得到高效利用。本文通过基于FAHP改进的TOPSIS模型,对上海市现有湿垃圾回收利用模式和基于大蠊养殖技术的湿垃圾回收利用模式进行了分析。研究证明:基于大蠊养殖技术的新型湿垃圾处理模式具有经济效益高、经营成本低、社会认可度高、社会贡献大等优势。

关键词

湿垃圾处理, 美洲大蠊养殖技术, FAHP, TOPSIS

Study on Wet Garbage Treatment Mode Based on Americana Linn Breeding Technology

Ting Chen

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 16th, 2022; accepted: Nov. 10th, 2022; published: Nov. 18th, 2022

Abstract

In recent years, China has vigorously promoted garbage classification and waste resource recycling. Wet garbage accounts for a high proportion of domestic garbage in China, but it has not been effectively utilized. Based on the improved TOPSIS model of FAHP, this paper analyzes the existing wet waste recycling model in Shanghai and the wet waste recycling model based on Americana Linn breeding technology. Finally, it is concluded that the new wet waste treatment model based on Americana Linn breeding technology has the advantages of high economic benefits, low operating costs, high social recognition, and great social contributions.

Keywords

Wet Waste Disposal, Americana Linn Breeding Technology, FAHP, TOPSIS

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湿垃圾作为社会生活中最常见的废弃物之一，同时也是一种潜力巨大的生物资源。但目前我国湿垃圾的资源化并不顺利。张岩等[1]认为近年来我国城市垃圾产量与我国 GDP 增速几乎相当，但是垃圾处理的方式造成了严重的二次污染。而毕珠洁等[2]指明截至 2017 年底，我国的湿垃圾回收利用还是以微生物和堆肥掩埋处理为主，存在着处理成本过高、污染难以控制的问题，长期来看推广应用难度较大。同时，奚慧等[3]也指出，目前由于对湿垃圾产生量估计存在很大的不足，导致末端处理设施能力与实际需处理量无法匹配。我国湿垃圾回收利用模式一般为卫生填埋和焚烧发电，对环境仍会造成部分影响，且随着环保政策的收紧，面临着改造和成本大幅上升的困境。本文对将美洲大蠊养殖技术引入到湿垃圾回收利用系统中的全新模式进行了分析考察，从而为城市湿垃圾回收利用提供了一个新的思路。

2. 上海市湿垃圾回收利用模式及不足

2.1. 湿垃圾回收利用概况

经过多年实践，上海市逐渐形成了以焚烧和填埋为主、生物质能转化为辅的湿垃圾回收利用模式。焚烧仍是主要的湿垃圾回收利用方式，处理过程中产出产品电能、沼气、肥料等。生物质能转化方式以其利用率和无害化率高的优势，正成为具有巨大潜力的湿垃圾转化处理方式(图 1)。

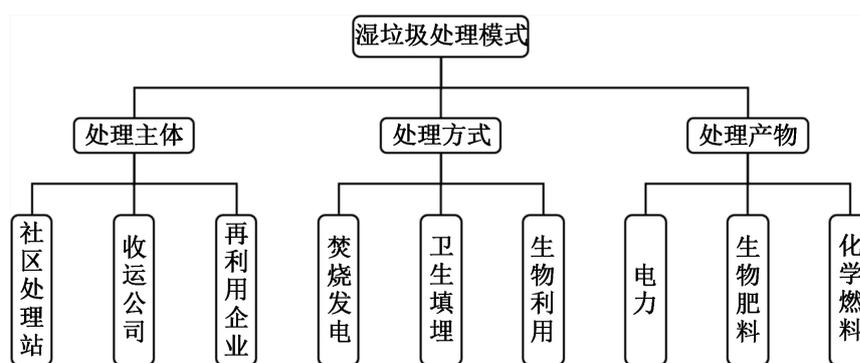


Figure 1. Recycling mode of wet waste in Shanghai

图 1. 上海市湿垃圾回收利用模式

2.2. 原有模式不足

目前，湿垃圾末端处置的能力与实际需求存在较大差距，湿垃圾回收利用过程中废气废水难以有效清除；已有设施技术落后、设备陈旧；湿垃圾小型化和分布式处理设备的研发缓慢[4]。

湿垃圾的资源化利用主要是通过生化处理制肥、制饲料，产品品质不稳定，销路困难；部分企业工

艺落后，残渣率高、环境污染控制水平低；小型化就地处理设备类型多样、缺乏引领性标准；湿垃圾资源化产品应用渠道不畅，错综复杂的因素综合影响了湿垃圾资源化利用技术水平的提高。随着生活垃圾分类和整体生态文明进程的推进，湿垃圾资源化利用水平的提升迫在眉睫。

3. 基于大蠊养殖技术的湿垃圾回收利用模式

3.1. 大蠊养殖技术

美洲大蠊作为一种具有极高经济效益和生态效益的昆虫，虽然逐步受到了重视，但仍然没有得到充分地利用。目前大蠊养殖行业处于初步发展阶段，已经开始逐步出现较大的养殖基地，但主要还是以零散的个体养殖为主，在山东，有约 400 名大蠊养殖户。在药用上，四川有着全球最大的大蠊养殖基地，中国四川好医生药业美洲大蠊药用动物养殖基地，养了近 60 亿只美洲大蠊。用于处理湿垃圾的报道依然很少，但已经开始出现，济南市章丘区的餐厨垃圾生物处理中心，自 2017 年利用养殖美洲大蠊来处理餐厨垃圾，2019 年规模已达 4000 吨，蟑螂约 40 亿只，日处理垃圾 200 吨[5]。

3.2. 模式分析

城市湿垃圾的含水量约为 60%~70%，基本符合大蠊养殖中饲料含水量约 70%的要求；碳水化合物含量高达 50%，符合大蠊对高糖的要求，因此只要对湿垃圾进行简单的粗加工就可以作为饲料使用。产出的美洲大蠊的粗蛋白含量达 63.1%，脂肪含量为 17.2%，含有 18 种氨基酸，8 种脂肪酸，且氨基酸比例均衡，含动物必需的微量元素，可作为优质的动物蛋白饲料[6]。美洲大蠊药用价值广泛，常以干燥或鲜成虫入药，有散瘀、消积、解毒、利水、消肿等功能[7]，可用于制作康复新液、心脉隆注射液、肝龙胶囊和消痕益肝片等药物。

一方面，目前各地政府对于垃圾处理企业扶持力度较大，会对资金、土地租赁等方面进行补贴，将湿垃圾作为大蠊饲料，可以进一步降低饲养成本。另一方面目前湿垃圾回收利用一般通过堆肥、化学处理等方式获取再生资源，但会对环境造成污染，需要二次处理，而将大蠊进行利用，可以进一步降低政府的湿垃圾回收利用成本。市场上现存的饲料蛋白添加剂如大豆、鱼粉等产品，其蛋白含量在 11%~50% 不等，而价格随着蛋白含量高低分布在 2500 元~10,000 元每吨不等，而大蠊养殖却可以在保证蛋白含量达 60% 以上的前提下将价格控制在 6000 元每吨左右。而如果用于药品、美容产品开发，其效益将会进一步增加。

湿垃圾高效低价的循环利用，可以降低社会处理成本，在创造经济效益的同时，将资源更好的利用，避免二次污染以及对环境的不良影响[8]，建设一个绿色、健康、文明的生活环境。同时通过湿垃圾养殖美洲大蠊，可以为社会提供更多的生物材料，降低化学资源的使用频率，进一步保护生态环境。

4. 模型建立与数据分析

4.1. 数据来源

为确保研究的信度，研究从可信度较高的数据来源选用数据，整理数据时严格按照研究方法进行。研究参考了相关的文献数据和政策信息，选取恰当的一级指标和二级指标构建评价指标模式，对各个指标进行了分析，制定了查询指标的详细方案。

为确保研究的效度，研究采用多种数据来源，以便多角度、全方位的考察研究问题，通过访谈资料、公开的档案数据和知情人情报之间的“三角印证”以形成完善的证据链条，对所研究问题提供更丰富、可靠的解释[9]，最终确定指标权重和不同指标下的方案评分。结合已有研究成果和实际情况，从四个方面对比两种湿垃圾处理模式的效益，分别为技术可行性、经济效益、生态效益和社会效益。具体含义如下：

- 1) 技术可行性。着眼于当下的技术水平和开发环境，衡量不同湿垃圾回收利用模式的目标是否能够达到。通过技术可操作性、技术成熟度、技术普及率来衡量。
- 2) 经济效益。描述经济活动的效果和利益，体现了湿垃圾回收利用的成本和收入的关系。通过经营成本、资产回报率、劳动生产率、运营资金周转率来衡量。
- 3) 生态效益。在湿垃圾回收利用过程中，对生态环境产生的影响。通过无害化处理率、二次污染程度、资源回报率来衡量。
- 4) 社会效益。湿垃圾回收利用过程对公共利益产生的影响。通过社会认可度、社会贡献、政策扶持力度来衡量。

4.2. 评价指标模式的建立

已有研究多从经济、技术、社会和环境四个方面建立评价指标模式，评估不同生活垃圾处理模式的可行性和满意度[10]。这些评价模式能够较好地综合衡量不同城市垃圾处理模式的效益。参考前人的研究成果，根据上海市现有湿垃圾回收利用模式和基于大蠓养殖技术的湿垃圾回收利用模式特征，从技术可行性、经济效益、生态效益和社会效益四个方面细化评价指标，构建城市湿垃圾回收利用模式评价指标模式。湿垃圾回收利用模式评价指标模式如图 2 所示。分别对一级指标和二级指标进行编号，即一级指标向量为 $A = (B_1, B_2, B_3, B_4)^T$ ，二级指标向量分别为 $B_1 = (C_1, C_2, C_3)^T$ ， $B_2 = (C_4, C_5, C_6, C_7)^T$ ， $B_3 = (C_8, C_9, C_{10})^T$ ， $B_4 = (C_{11}, C_{12}, C_{13})^T$ 。

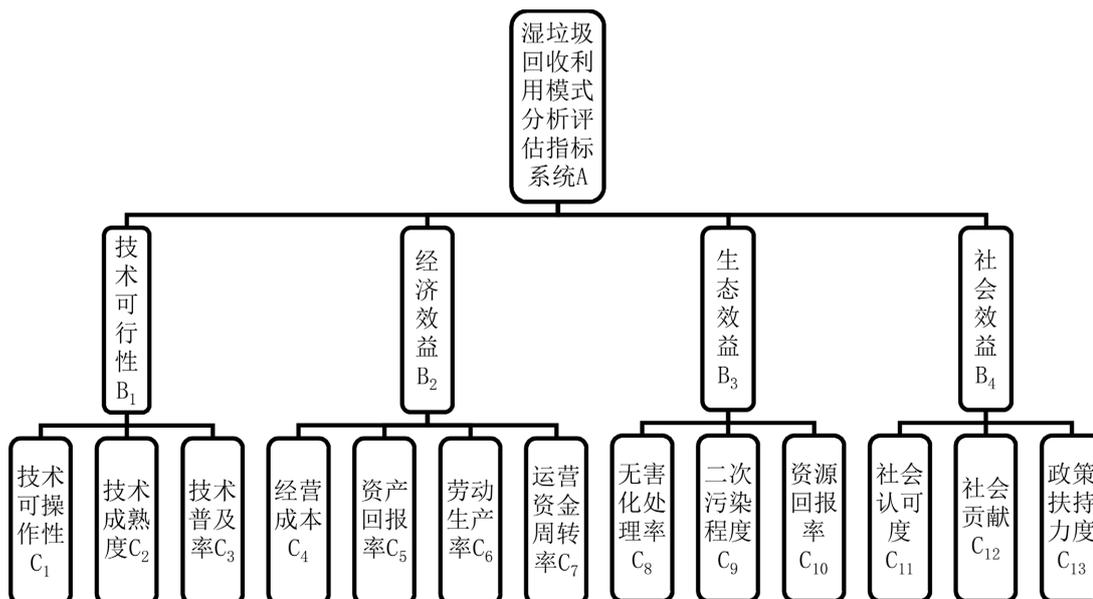


Figure 2. Hierarchy diagram of evaluation indicator system
图 2. 评估指标系统层次结构示意图

4.3. 模型构建

4.3.1. 模糊层次分析法

层次分析法(AHP)最早由美国学者 A. L. Saaty [11]教授提出，该方法通过将评价对象分为目标层、准则层和决策层，建立判断矩阵并确立各层次元素的权重，得出不同模式综合评分后进行决策，达到定性的问题定量化分析的目的。传统的层次分析法具有主观性强和无法突破人的思维局限性的缺点，在构建

判断矩阵和矩阵一致性检验方面存在困难, 不能满足科学决策的要求[12]。之后的学者在 AHP 方法的基础上, 结合模糊综合评价的方法, 提出模糊层次分析法(FAHP)。该方法引入模糊互补矩阵的概念确定指标权重, 节省了一致性检验的步骤, 更具科学性和客观性。

1) 利用 0.1~0.9 标度法获取判断矩阵

0.1~0.9 标度法是用来衡量不同对象重要性程度的方法。该方法把 0~1 分为十等份, 不同标度代表因素 x_i 对 x_j 的不同重要程度。一般用 $r_{ij} = r(x_i, x_j)$ 表示因素 x_i 对 x_j 的相对重要程度。当 $r_{ij} = 0.5$ 时, 表示两个因素重要性相同; 当 $0 \leq r_{ij} < 0.5$ 时, 表示 x_j 比 x_i 重要, 且 r_{ij} 越小, x_j 的相对重要性程度越高; 当 $0.5 < r_{ij} \leq 0.9$ 时, 表示 x_i 比 x_j 重要, 且 r_{ij} 越小, x_i 的相对重要性程度越低。0.1~0.9 标度法利用数字分级代表定性思维判断, 较为贴合人脑的思维模式, 有利于专家做出更为科学客观的决策。不同标度释义如表 1 所示。

Table 1. Definition of scale

表 1. 标度释义[13]

标度	含义	备注
0.1	元素 x_i 绝对没有元素 x_j 重要	0.2, 0.4, 0.6, 0.8 为相邻判断的中值; 若元 x_i 与 x_j 重要性相比较的标度值为 r_{ij} , 则 x_j 与 x_i 重要性相比较的标度值 $r_{ji} = 1 - r_{ij}$ 。
0.3	元 x_i 明显没有元 x_j 重要	
0.5	元 x_i 与元 x_j 同等重要	
0.7	元素 x_i 明显比元 x_j 重要	
0.9	元素 x_i 绝对比元 x_j 重要	

2) 合并多个专家评分矩阵方法

研究邀请了多位专家对指标权重和不同模式进行评估, 采用 0.1~0.9 标度法打分。若直接将不同专家的评分加总求平均值, 会造成评分趋于中间化, 数据失真。研究采用提取众数的方法初步确定部分权重, 即取不同专家给同一指标评分的众数作为权重。若不存在众数, 则取评分 > 0.5 或 < 0.5 最多的评分均值作为权重, 共同组成权重矩阵 S_{ij} [14]。计算公式如下。

$$S_{ij} = \begin{cases} M_{ij}, & \exists! E!M_{ij} \\ \frac{1}{m} \sum_{l=1}^L s_{ijl}, & s_{ijl} > 0.5, \text{ 且 } m > n \\ \frac{1}{n} \sum_{l=1}^L s_{ijl}, & s_{ijl} > 0.5, \text{ 且 } n > m \end{cases} \quad (1)$$

其中, M_{ij} 为同一指标下评分的众数, l 为评分专家个数, m 为同一指标下评分大于 0.5 的个数, n 为同一指标下评分小于 0.5 的个数。

根据以上步骤, 确定一级指标模糊判断矩阵为:

$$S = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.15 & 0.25 \\ 0.7 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.85 & 0.9 & 0.5 & 0.3 \\ 0.75 & 0.7 & 0.7 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

技术可行性指标下的子指标模糊判断矩阵为:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.175 & 0.233 \\ 0.825 & 0.5 & 0.325 \\ 0.767 & 0.675 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

经济效益指标下的子指标模糊判断矩阵为:

$$S_2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.233 & 0.367 & 0.25 \\ 0.767 & 0.5 & 0.3 & 0.3 \\ 0.633 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.75 & 0.7 & 0.7 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

生态效益指标下的子指标模糊判断矩阵为:

$$S_3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.0133 & 0.333 \\ 0.867 & 0.5 & 0.333 \\ 0.667 & 0.667 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

社会效益指标下的子指标模糊判断矩阵为:

$$S_4 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.225 & 0.2 \\ 0.775 & 0.5 & 0.3 \\ 0.8 & 0.7 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

3) 模糊判断矩阵一致性调整方法

在模糊判断矩阵中,一致性程度往往明确了判断矩阵的质量,并对排序产生影响。一般将满足加法传递性,即模糊判断矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 满足 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5, \forall i, j, k \in I$ 的矩阵 R 称为加法一致性矩阵或该矩阵具有加法一致性。

对于一致性的判断,一般情况下,可利用模糊互补矩阵一致性的定义或性质,同时也可通过可达矩阵等方法[15]。矩阵一致性调整一般根据定义和性质进行调整,姜艳萍等[16]也提出过通过数学变换来实现。本文构造一致性判断矩阵的方法为:

- ① 对原始模糊判断矩阵按行求平均值,得 $c_i = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n a_{in}$, n 为单一指标下的元素个数。
- ② 对初始判断矩阵做数学变换 $b_{ij} = (c_i - c_j) / 2 + 0.5$, 形成一致性模糊判断矩阵。其中 $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

4) 求一致性矩阵排序权值

计算一致性矩阵排序权值的方法有和法、根法、残差平方和法、最大残差绝对值法等[17]。不同方法得出的排序权值相差不大,故本文采用较为简单的和法作为计算一致性矩阵排序权值的方法。模糊判断矩阵调整一致性后,根据以下步骤求排序权值:

- ① 对原始模糊判断矩阵按列归一化;
- ② 将归一化后的矩阵按行相加;
- ③ 相加后,每个元素除以 n , 得到权重矩阵 W 、 W_i 。

综合计算公式如下。

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (2)$$

5) 确定权重矩阵

根据 FAHP 原理, 求出各级指标的权重矩阵分别如下:

$$\text{一级指标权重矩阵为: } W = \begin{pmatrix} 0.1988 \\ 0.2244 \\ 0.2852 \\ 0.2916 \end{pmatrix}.$$

$$\text{技术可行性指标的子指标权重矩阵为: } W_1 = \begin{pmatrix} 0.2663 \\ 0.3503 \\ 0.3834 \end{pmatrix}.$$

$$\text{经济效益指标的子指标权重矩阵为: } W_2 = \begin{pmatrix} 0.2088 \\ 0.2416 \\ 0.2584 \\ 0.2912 \end{pmatrix}.$$

$$\text{生态效益指标的子指标权重矩阵为: } W_3 = \begin{pmatrix} 0.2732 \\ 0.3559 \\ 0.3709 \end{pmatrix}.$$

$$\text{社会效益指标的子指标权重矩阵为: } W_4 = \begin{pmatrix} 0.2681 \\ 0.3418 \\ 0.3901 \end{pmatrix}.$$

4.3.2. 改进的优劣解距离法

优劣解距离法即 TOPSIS 法。TOPSIS 方法最早由 C. L. Hwang 和 K. Yoon 于 1981 年首次提出, 并且多数情况下用于目标决策分析, 可有效解决多目标复杂系统的决策问题[18]。其基本理论是以负理想解和理想解为基础通过求解各方案与负理想解之间的贴进度判定各评价方案的优劣程度, 评价方案的优劣, 评价指标为该方案的贴进度, 贴进度越大则该决策方案越优。优劣解距离法求解方法如下:

1) 根据各方案在指标模式下得出的评分值, 建立总指标决策矩阵 $C_{m \times n}$ 。根据不同一级指标建立 i 个子决策矩阵 $C_{m \times i}$ 。其中, m 为待评价方案数, n 为总评价指标数, i 为各一级指标下的二级指标数。

2) 建立标准化矩阵 SC 、 SC_i 。结合各评价指标的内涵特征和信息可将其划分为适中型、越大越优性和越小越优型指标。越大越优性无需正向化, 其他指标正向化处理公式分别为: 越小越优型指标, $x'_{ij} = \max(x_{ij}) - x_{ij}$; 适中型指标, $x_{ij} = 1 - |x_{ij} - x_j^*| / \max(|x_{ij} - x_j^*|)$, 其中, x_j^* 为列最优值。矩阵标准化计算公式如下所示, 其中 z_{ij} 为标准化矩阵 SC_{ij} 中的元素。

$$z_{ij} = x_{ij} / \left(\sum_{n=1}^n x_{ij}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

3) 对标准化后的矩阵归一化。归一化后便于直观的看出不同模式最终评分, 相应的公式如下所示。得到归一化后的矩阵 NC_{ij} 。

$$c_i = \frac{x_{ij}}{\sum_{k=1}^n x_{kj}} \quad (4)$$

本文在使用 TOPSIS 方法基本原理的基础上, 对该方法进行一定的改进, 其一是对不同性质的指标通过数学公式进行了进一步的规范化处理, 提高了其科学性; 其二是使用 FAHP 原理确定的各指标的权重, 提高了权重结果的准确性, 使得评价结果更加客观[19]。

在技术可行性、经济效益、生态效益和社会效益四个一级指标下, 利用改进的 TOPSIS 原理, 用软

件 MATLAB 计算评分矩阵, 如表 2 所示, 得出最终综合评分。

Table 2. Data comparison of two wet waste recycling modes

表 2. 两种湿垃圾回收利用模式数据对比

一级指标	二级指标	现有湿垃圾处理模式	基于大赚养殖技术的新模式
技术可行性 B_1	技术可操作性 C_1	5	5
	技术成熟度 C_2	4	4
	技术普及率 C_3	97.05%	2.95%
经济效益 B_2	经营成本 C_4	1060 (元/吨)	748.1~765.12 (元/吨)
	资产回报率 C_5	7%	19.5%
	劳动生产率 C_6	4.53%	32.94%~41.18%
	运营资金周转率 C_7	40%	246%~338%
生态效益 B_3	无害化处理率 C_8	95%~96.6%	100%
	二次污染程度 C_9	2.6	4
	资源回报率 C_{10}	36.09%	100%
社会效益 B_4	社会认可度 C_{11}	2	5
	社会贡献 C_{12}	3	5
	政策扶持力度 C_{13}	5	5

对于区间型数据, 对其取均值。对于定性数据, 上表已采用李克特量表转化成定量数据。转换规则如表 3 所示。

Table 3. Definition of different measurement scores

表 3. 不同测度评分释义

评分	1	2	3	4	5
	弱	较弱	一般	较强	强
定义	不成熟	较不成熟	一般	较成熟	成熟
	不认可	不太认可	一般	较为认可	认可

4.3.3. 对不同模式作出评价

以上步骤利用 FAHP 原理确定评价指标模式各个指标权重, 根据改进的 TOPSIS 方法建立标准化和归一化后的评分矩阵, 将 4 个一级指标和 13 个二级指标的权重分别与两种模式对应评分相乘得出最终的综合评分矩阵 R 。其中, 矩阵 $NC_i (i=1,2,3,4)$ 为四个一级指标下标准化和归一化后的评分, 矩阵 $W_i (i=1,2,3,4)$ 分别为四个一级指标对应子指标的权重, 矩阵 W 为一级指标权重。计算公式如下。

$$R = \sum_{i=1}^4 NC_i * W_i * W \quad (5)$$

模型计算的整体思路如图 3 所示。

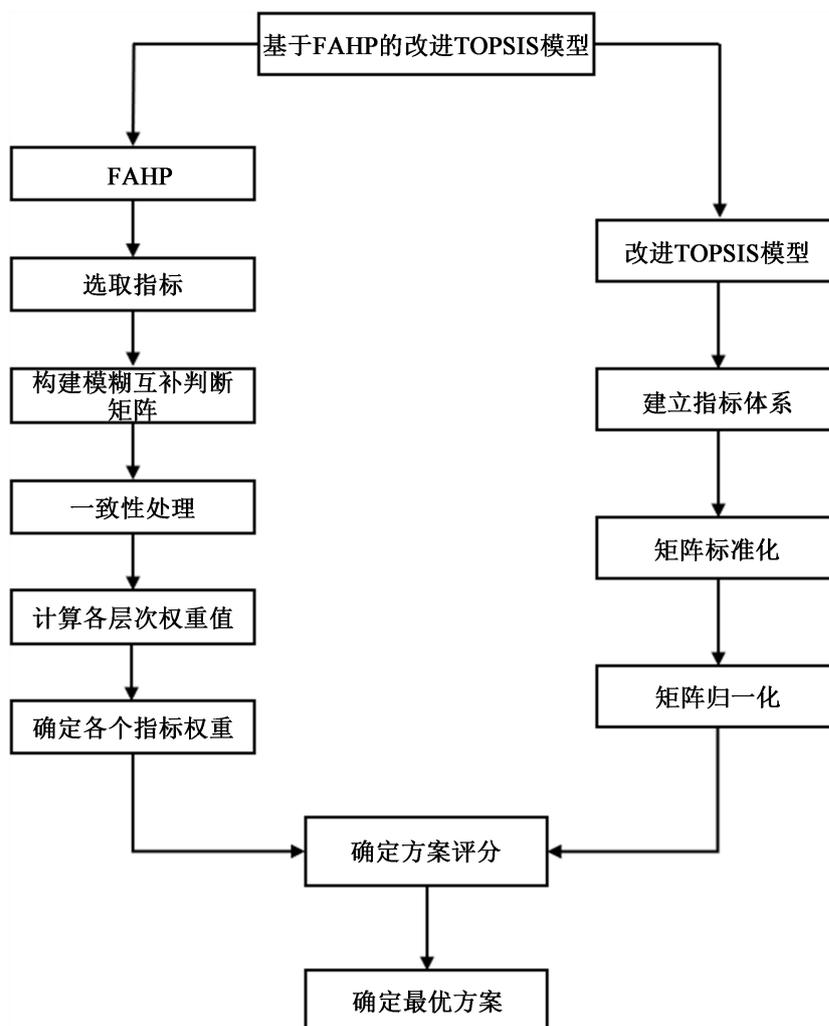


Figure 3. Block diagram of model idea
图 3. 模型思路框图

5. 结果与分析

5.1. 模型计算结果

按照构建的 FAHP+TOPSIS 模型，在 4 个一级评价指标和 13 个子评价指标下，得出计算结果 $R = (0.4754, 0.5246)^T$ ，即上海市现有湿垃圾回收利用模式综合评分为 0.4754，基于大蠓养殖技术的湿垃圾回收利用模式综合评分为 0.5246。在每个一级指标下，不同模式的评分情况如表 4 所示。

Table 4. Mode scores under different first level indicators
表 4. 不同一级指标下模式评分

模式	技术可行性指标	经济效益指标	生态效益指标	社会效益指标
现有湿垃圾处理模式	0.1353	0.0558	0.1677	0.1166
基于大蠓养殖技术的新模式	0.0635	0.1686	0.1175	0.1750

在技术可行性指标下，现有湿垃圾处理模式评分远高于基于大蠓养殖技术的新模式，这说明新型的

湿垃圾处理模式运用较少,技术成熟度和技术普及率不够,使用范围有待推广。在经济效益指标下,新模式评分远远优于现有模式,表明新模式具有极大的市场潜力,在处理湿垃圾的同时能带来巨大的经济效益。在生态效益指标下,现有模式优于新模式,这是因为大量养殖可能会带来湿垃圾或大蠓排泄物等外泄,造成二次污染。在社会效益指标下,新模式评分较高,说明新模式更易为社会所接受,能为社会做出更大的贡献。

综上所述,基于大蠓养殖技术的新模式具有经济效益高、经营成本低、社会认可度高、社会贡献大等优势,优于上海市现有湿垃圾回收利用模式,建议推广运用。

5.2. 未来展望

目前,上海市湿垃圾年产量巨大,基于大蠓养殖技术的湿垃圾回收利用新模式具有广阔的前景。该模式可向市场化方向推广,上海市相关政府部门制定准入规定和激励制度,将分类后的湿垃圾出售给大蠓养殖企业,促进传统湿垃圾综合处理模式向基于大蠓养殖的处理模式过渡,形成两种模式相互补充的城市湿垃圾回收利用系统,解决当下湿垃圾回收利用瓶颈问题。当大蠓养殖的湿垃圾回收利用模式获得稳定的利润后,输出产品可从单纯的产出蛋白饲料增加至更多种类的产品,产生更大的经济效益。该模式潜在的风险是,湿垃圾饲料运送过程和蟑螂养殖过程加大了二次污染的风险,这对现有湿垃圾清运模式和大蠓养殖企业的管理水平提出了新要求。

参考文献

- [1] 张岩,王月,李晓雪,韩超. T市生活垃圾处理的成本分析[J]. 环保科技, 2019, 25(2): 56-60+64.
- [2] 毕珠洁, 邵俊. 我国湿垃圾处理工艺类型及扶持政策浅析——以上海为例[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(4): 54-58.
- [3] 奚慧. 上海市生活垃圾全程分类体系建设现状分析及对策建议[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(3): 80-85.
- [4] 唐亚汇. 上海深化推进垃圾减量化和资源化利用研究[J]. 科学发展, 2019(7): 79-88.
- [5] 张彦蕊, 黄冬梅. 基于 AHP 和模糊综合评判的生活垃圾处理模式评价[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(3): 55-61.
- [6] 周琼, 吴珍泉, 李忠荣, 林虬, 刘景, 王长康. 美洲大蠓的营养价值与饲用安全性的分析[J]. 福建农业学报, 2007(3): 276-278.
- [7] 阮江海, 宋歌. 通过 SCI 文献分析我国天然药物研究现状和发展方向[C]//中国药学会中药与天然药物专业委员会. 第十届全国中药和天然药物学术研讨会论文集. 2009: 7.
- [8] 谭燕宏. 餐厨垃圾处理工艺及资源化技术进展[J]. 绿色科技, 2012(3): 177-179.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9944.2012.03.070>
- [9] Yin, R.K. (2009) Case Study Research: Design and Methods. Sage Publications, Los Angeles.
- [10] 徐丽娜. 模糊综合评价法应用于南昌市生活垃圾处理系统[J]. 江西化工, 2017(5): 87-90.
- [11] Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill, New York.
- [12] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP) [J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- [13] 杜栋. 基于 0.1-0.9 标度的 AHP 再研究[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(5): 36-38.
- [14] 姜义兵, 陈光慧. 基于模糊综合评价——改进 TOPSIS 模型在设备综合效益分析中的研究与评价[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(1): 127-132.
- [15] 肖四汉, 樊治平, 王梦光. Fuzzy 判断矩阵的一致性研究[J]. 系统工程学报, 2001, 16(2): 142-145.
- [16] 姜艳萍, 樊治平. 模糊判断矩阵一致性的调整方法[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(12): 82-87.
- [17] 高尚. 三种计算层次分析法中权值的方法[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(20): 5204-5207.
- [18] 项海飞. 基于改进优劣解距离法的零部件供应商评价模型应用研究[J]. 生产力研究, 2015(12): 142-145.
- [19] 展之婵, 邓君, 陈京荣, 白媛. 基于改进 TOPSIS 法的现代有轨电车运营评价研究[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(2): 204-205.