

基于最优组合赋权的打叶复烤过程 烟叶可用性研究

Study on tobacco leaf availability during threshing and redrying process
based on optimal combination weighting

李书浩¹ 侯开虎¹ 邓超¹ 陈兴侯²

LI Shu-hao¹ HOU Kai-hu¹ DENG Chao¹ CHEN Xing-hou²

刘雅琴² 张冀武³ 孙浩巍³

LIU Ya-qin² ZHANG Ji-wu³ SUN Hao-wei³

(1. 昆明理工大学机电工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 云南复烤有限公司麒麟复烤厂,
云南 曲靖 655000; 3. 云南省烟草质量监督检测站, 云南 昆明 650106)

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology,
Kunming, Yunnan 650500, China; 2. Yunnan Re-baking Co., Ltd., Qilin Factory, Qujing, Yunnan 655000,
China; 3. Yunnan Tobacco Quality Supervision and Testing Station, Kunming, Yunnan 650106, China)

摘要:目的: 进一步提高打叶复烤过程中烟叶可用性评价结果的可信度和科学性, 以提升卷烟工业企业所购烟叶的价值。方法: 提出一种基于矩估计理论的最优组合赋权评价方法对烟叶化学成分可用性进行评价。以主客观权重为基础, 组合权重与主客观权重偏差最小为目标, 求解主客观权重的相对重要性系数从而确定化学指标的最优组合权重; 结合隶属度函数, 以烟叶化学成分指标为数据集计算烟叶化学成分可用性值, 进而对打叶复烤过程中烟叶可用性进行评价; 并以麒麟复烤厂打叶复烤成品烟叶作为分析对象。结果: 该方法能够充分考虑主客观因素, 使得赋权结果和评价结果与实际情况更加吻合。结论: 通过矩估计理论组合赋权能够对打叶复烤过程中烟叶可用性进行更加合理、科学的评价。

关键词: 打叶复烤; 矩估计理论; 烟叶可用性; 最优组合赋权; 隶属度函数

Abstract; Objective: In order to further improve the reliability and scientificity of tobacco usability evaluation results in threshing and re-drying process, and to enhance the value of tobacco purchased by cigarette enterprises. **Methods:** An optimal

combination weighting method based on moment estimation theory was proposed to evaluate the availability of chemical components in tobacco leaves. First, based on the subjective and objective weights, with the objective of minimizing the deviation between the combined weights and the subjective weight, the relative importance coefficient of the subjective weights and objective weight was solved to determine the optimal combined weights of chemical indexes. Second, combined with the membership function, the chemical composition index of the tobacco leaves was used as the data set to calculate the availability value of the chemical composition of the tobacco leaves. Furthermore, the usability of tobacco leaves during threshing and re-drying process was evaluated. Finally, the finished tobacco leaves from the Qilin re-drying plant was taking as the object of analysis. **Results:** This method can fully consider subjective and objective factors, making the weighting results and evaluation results more consistent with the actual situation. **Conclusion:** The combination of weighting by moment estimation theory can make a more reasonable and scientific evaluation of tobacco leaf usability during threshing and redrying process.

Keywords: threshing and re-drying; moment estimation theory; tobacco availability; optimal combination weighting; membership function

基金项目: 中国烟草总公司云南省烟草公司科技计划重点项目
(编号: 2020530000241003, 2021530000241012)

作者简介: 李书浩, 男, 昆明理工大学在读硕士研究生。

通信作者: 侯开虎(1963—), 男, 昆明理工大学教授, 硕士生导师,
硕士。E-mail: 576521346@qq.com

收稿日期: 2021-09-13

烟叶可用性是指某种烟叶的质量对工业企业的特定需求的满足程度, 不仅包括烟叶本身客观特征, 同时也涉及到随购买者需求而变的主观要求, 是对烟叶质量概念

的进一步评价。“烟叶可用性”的提出修正了单一的质量评价知识结构,使得各部位、等级的烟叶在“可用性”导向下得以充分利用^[1]。

打叶复烤作为连接烟叶种植和卷烟企业的关键纽带,通过工业分级和配方打叶的方式进行均质化生产,以满足客户所需等级烟叶质量和数量需求,是提升烟叶价值、降低产品成本、提高烟叶利用率的重要一环。因此,研究打叶复烤过程对烟叶可用性影响具有重要现实意义。打叶复烤过程中烟叶可用性的根本是更好地满足感官品吸、外观质量等个性的、特殊的质量要求^[2],而卷烟中化学成分的组成和所占权重不同与外观和感官质量具有密切联系^[3-5],因此从化学成分角度对烟叶质量与可用性进行评价较为科学。目前,主要采用主成分分析法^[6]、因子分析法^[7]、专家咨询法^[8]等赋权方法对化学指标权重进行分配,这类方法主要根据专家经验或客观数据,较为单一,难以兼顾已有的客观信息和人的知识经验在决策过程中的作用。汪璇等^[9]结合乘法合成归一化法将主客观权重进行组合并对烤烟可用性进行评价,但该方法是一种线性组合赋权方法,适用于指标个数较多、权重分配比较均匀的情况,否则容易出现“倍增效应”^[10],导致最终评价结果与实际偏差较大。然而,面对烟叶可用性评价指标较少且各指标重要程度差别大的实际情况,如何构建一个更加合理、科学、有效评价方法是目前迫切需要解决的问题。

矩估计理论是利用样本矩来估计总体矩^[11],将每个决策者判断或者给出的主观权重和依据决策矩阵计算的客观权重作为样本点,在满足偏差最小的情况下,寻求合理的权重值,有效避免了权重集成中的线性和主客观权重的相对重要程度等难点。江文奇^[12]提出了基于矩估计理论的组合赋权优化方法,沈阳武等^[13-14]在此方法的基础上分别与灰色关联度、优劣解距离法、模糊数学相结合对电能质量、顶煤冒放性分级、变压器套管状态等进行了综合评价,但未见将该方法应用到烟叶可用性评价中的报道。

文章拟提出基于矩估计理论的最优组合赋权方法用于打叶复烤过程中烟叶可用性评价。考虑组合权重与主客观权重偏离程度,以组合权重与主客观权重的偏差最小化为目标求解得到最优组合权重;结合隶属度函数对化学指标赋值,再由最优组合权重与隶属度值得到烟叶可用性指数(CCUI),并以麒麟复烤厂打叶复烤成品烟叶作为分析对象,将基于矩估计理论的最优组合赋权方法与其他主客观赋权方法进行对比分析,以验证文中所提方法的有效性,旨在为烟叶可用性评价提出一种更为科学、合理的方法。

1 材料与方法

1.1 烟叶材料

选自曲靖麒麟复烤厂 2018 年某配方打叶,选取经工

业分级后的大理 C1F(B01)、大理 C1F(C02)、大理 C1F(C03)、大理 C2F(B01)、大理 C2F(C02)、保山 C2F(C03)、大理 C3F(B01)、大理 C3F(C02)、大理 C3F(C03)、马鸣 C3F(C03)、牟定 C2FK(C03)、大理 C1L(B01)、大理 C1L(C02)和大理 C1L(C03)14 种烟叶。

1.2 化学成分的确及检测方法

根据麒麟复烤厂烟叶配方和技术文件要求,选择烟碱、总糖、还原糖、总氮、氯、钾 6 种化学指标,烟碱采用光度法检测(GB/T 23225—2008),总糖和还原糖、总氮、钾、氯采用流动分析法检测(YC/T 159—2002、YC/T 161—2002、YC/T 217—2007、YC/T 162—2011),并计算糖碱比、氮碱比和钾氯比。各等级烟叶按混配比例进行配方打叶,最终烟叶成品以成品线上每隔 20 箱抽取一个样本,共抽取 50 个成品样本,对每个样本进行化学成分测定,作为最终试验数据并进行分析。

1.3 基于矩估计理论的最优组合赋权烟叶可用性评价方法

1.3.1 单一主客观赋权法 采用德尔菲法和层次分析法进行主观赋权,熵权法和 CRITIC 法进行客观赋权,并将 4 种单一赋权法通过矩估计理论进行组合赋权。

1.3.2 矩估计理论组合赋权 通过 p 种主观赋权法对指标进行赋权,得到各评价指标主观权重集:

$$W_s = \{\omega_{sd} \mid 1 \leq s \leq p, 1 \leq d \leq f\}, \quad (1)$$

$$\forall s, \sum_{d=1}^f \omega_{sd} = 1, \omega_{sd} \geq 0. \quad (2)$$

决策矩阵归一化后,采用 $q-p$ 种客观赋权法对评价指标进行赋权,得到客观权重集:

$$W_b = \{\omega_{bd} \mid p+1 \leq b \leq q, 1 \leq d \leq f\}, \quad (3)$$

$$\forall b, \sum_{d=1}^f \omega_{bd} = 1, \omega_{bd} \geq 0. \quad (4)$$

针对每个评价指标 $x_d (d = 1, 2, \dots, f)$ 有 q 个权重样本,对于指标的组合权重 $\omega_d (d = 1, 2, \dots, f)$ 与主客观权重的偏差最小为目标。此外,由于主观权重与客观权重的相对重要程度不同,设主客观重要程度分别为 α 和 β ^[15]。建立权重向量优化模型:

$$\begin{cases} \min F(\omega_d) = \alpha \sum_{s=1}^p (\omega_d - \omega_{sd})^2 + \beta \sum_{b=p+1}^q (\omega_d - \omega_{bd})^2 \\ s.t., \sum_{d=1}^f \omega_d = 1 \quad 0 \leq \omega_d \leq 1, d = 1, 2, \dots, f \end{cases} \quad (5)$$

q 个样本来自两个不同的总体,按矩估计理论的基本思想计算指标 $x_d (d = 1, 2, \dots, f)$ 的主观权重分量 ω_{sd} 和客观权重分量 ω_{bd} 的期望值:

$$E(\omega_{sd}) = \frac{\sum_{s=1}^p \omega_{sd}}{p}; E(\omega_{bd}) = \frac{\sum_{b=p+1}^q \omega_{bd}}{q-p} \quad 1 \leq d \leq f. \quad (6)$$

根据式(6)计算 $x_d (d = 1, 2, \dots, f)$ 的主观和客观权重的重要系数 α_d 和 β_d :

$$\alpha_d = \frac{E(\omega_{sd})}{E(\omega_{sd}) + E(\omega_{bd})}; \beta_d = \frac{E(\omega_{bd})}{E(\omega_{sd}) + E(\omega_{bd})} \quad d = 1, 2, \dots, f. \quad (7)$$

根据式(7)计算每个指标的主观和客观权重的重要系数。针对多指标决策矩阵中的评价指标,可以看成是从两个总体中分别取 f 个样本,由矩估计理论得到:

$$\alpha = \frac{\sum_{d=1}^f \alpha_d}{\sum_{d=1}^f \alpha_d + \sum_{d=1}^f \beta_d} = \frac{\sum_{d=1}^f \alpha_d}{f}; \beta = \frac{\sum_{d=1}^f \beta_d}{\sum_{d=1}^f \alpha_d + \sum_{d=1}^f \beta_d} = \frac{\sum_{d=1}^f \beta_d}{f}. \quad (8)$$

对于每个指标 $x_d (d = 1, 2, \dots, f)$, $F(\omega_f)$ 越小越好,因此将式(5)转化为:

$$\begin{cases} \min F = \{F(\omega_1), F(\omega_2), \dots, F(\omega_f)\} \\ s.t. \sum_{d=1}^f \omega_d = 1 \quad 0 \leq \omega_d \leq 1 \quad d = 1, 2, \dots, f \end{cases} \quad (9)$$

对式(9)求解,采取等权的线性加权方法,将多目标最优模型转化为单目标最优化模型:

$$\begin{cases} \min F = \sum_{d=1}^f \alpha \sum_{s=1}^p (\omega_d - \omega_{sd})^2 + \sum_{d=1}^f \beta \sum_{b=p+1}^q (\omega_d - \omega_{bd})^2 \\ s.t. \sum_{d=1}^f \omega_d = 1 \quad 0 \leq \omega_d \leq 1 \quad d = 1, 2, \dots, f \end{cases} \quad (10)$$

在不考虑约束条件 $0 \leq \omega_d \leq 1$,建立 Lagrange 函数, λ 为拉格朗日乘子:

$$y = \sum_{d=1}^f \alpha \sum_{s=1}^p (\omega_d - \omega_{sd})^2 + \sum_{d=1}^f \beta \sum_{b=p+1}^q (\omega_d - \omega_{bd})^2 + q\lambda \left(\sum_{d=1}^f \omega_d - 1 \right). \quad (11)$$

通过 ω_d 求偏导得:

$$\frac{\partial y}{\partial \omega_d} = 2\alpha \sum_{s=1}^p (\omega_d - \omega_{sd}) + 2\beta \sum_{b=p+1}^q (\omega_d - \omega_{bd}) + q\lambda = 0 \Rightarrow \omega_d = \frac{2\alpha \sum_{s=1}^p \omega_{sd} + 2\beta \sum_{b=p+1}^q \omega_{bd} - q\lambda}{2q}. \quad (12)$$

根据约束条件 $\sum_{d=1}^f \omega_d = 1$,确定评价指标的最优组合权重:

$$\omega_d = \frac{\alpha \sum_{s=1}^p \omega_{sd} + \beta \sum_{b=p+1}^q \omega_{bd}}{q} - \frac{1}{f} \left[\frac{\sum_{d=1}^f (\alpha \sum_{s=1}^p \omega_{sd} + \beta \sum_{b=p+1}^q \omega_{bd})}{q} - 1 \right]. \quad (13)$$

1.3.3 隶属度函数的确定及计算 应用模糊数学理论计算各指标的隶属度,使得各指标原始数据转换为 $0.1 \sim 1.0$,以消除量纲的影响^[16]。常用隶属度函数类型有抛物线型(P)与 S 型,函数表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1; x > x_2 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{(x_3-x_1)} + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 & x_3 \leq x \leq x_4 \\ 1.0 - \frac{0.9(x-x_4)}{(x_2-x_4)} & x_4 \leq x \leq x_2 \end{cases}, \quad (14)$$

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x > x_2 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{(x_2-x_1)} + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 1.0 & x < x_1 \end{cases}, \quad (15)$$

式中:

x ——烟叶样本的实际化学含量;

x_1, x_2, x_3 ——不同化学成分指标的下临界值、上临界值、最优值下限和最优值上限。

由于不同工业企业卷烟品牌配方需求的不一致性和不同地区的烟叶风格特色不同,因此评价指标拐点值常存在差异,文中根据麒麟复烤厂客户要求及技术文件并参考烤烟质量设置各化学成分拐点值。

1.3.4 化学成分可用性指数计算 根据隶属度函数和基于矩估计理论组合赋权结果构造烟叶化学成分可用性指数:

$$CCUI = \sum_{d=1}^f f(x)_{ed} \times \omega_{ed}, \quad (16)$$

式中:

$f(x)_{ed}, \omega_{ed}$ ——第 e 个样本的第 d 个指标的隶属度

值和权重系数, $0 < f(x)_{ed} < 1, 0 < \omega_{ed} < 1$, 且 $\sum_{d=1}^f \omega_{ed} = 1$ 。

通过可用性指数将烟叶分为 5 个等级(见表 1)。

由此,通过矩估计理论最优组合赋权、隶属度函数赋值,对烟叶化学成分可用性指数的计算形成的烟叶可用性评价模型如图 1 所示。

2 结果与分析

2.1 烟叶评价指标的描述性统计分析

由表 2 可知,打叶复烤成品烟叶的烟碱、总氮、氮碱比、钾氯比、氯含量比较适宜,总糖、还原糖、糖碱比值较高,钾含量偏低。总糖、还原糖和糖碱比标准偏差稍大,其他各指标都处于较低水平。但从各指标变异系数来看,打叶复烤成品烟叶质量总体均质化、稳定性较高,其

表 1 烟叶可用性等级

Table 1 Tobacco leaf availability grade

≥ 0.9	$0.9 \sim 0.8$	$0.8 \sim 0.6$	$0.6 \sim 0.4$	≤ 0.4
I 级(优)	II 级(好)	III 级(较好)	IV 级(一般)	V 级(差)

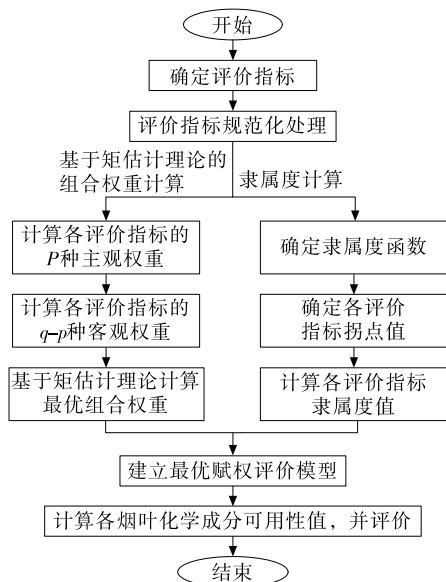


图 1 基于矩估计理论的最优组合赋权烟叶可用性评价模型

Figure 1 Evaluation model of tobacco leaf usability based on moment estimation theory with optimal combination weights

中烟碱变异系数为 2.71%，满足国家标准要求（5% 以下）。

2.2 基于矩估计理论的最优组合权重的烟叶可用性计算

2.2.1 单一赋权法权重 由表 3 可知,通过 4 种单一赋权方法对化学成分指标赋权最大值均为烟碱指标,表明烟碱在烟叶化学成分中的重要性。而 4 种方法中最小赋权指标均不同,德尔菲法、层次分析法、熵权法和 CRITIC 法权重系数最小的分别是钾含量 6.87%,氯含量 6.94%,钾氯比 6.93%和还原糖 5.34%。

2.2.2 基于矩估计理论的最优组合权重 将 4 种主客观赋权结果代入式(6)求得主客观权重分量的期望值 $E(\omega_{sd})$ 和 $E(\omega_{bd})$ 为:

$$E(\omega_{sd})=(0.150\ 8,0.121\ 7,0.122\ 6,0.107\ 4,0.070\ 2,0.070\ 9,0.139\ 4,0.096\ 7,0.129\ 1)$$
$$E(\omega_{bd})=(0.170\ 5,0.099\ 2,0.081\ 7,0.093\ 4,0.092\ 9,0.104\ 2,0.128\ 7,0.084\ 6,0.132\ 1)。$$

将主客观权重期望值代入式(7)得各评价指标的主观权重相对重要系数 α_d 和客观权重相对重要系数 β_d :
 $\alpha_d=(0.469\ 3,0.550\ 9,0.600\ 0,0.534\ 9,0.430\ 6,0.405\ 1,0.520\ 1,0.533\ 4,0.494\ 3),\beta_d=(0.530\ 7,0.449\ 1,0.400\ 0,0.465\ 1,0.569\ 4,0.594\ 9,0.479\ 9,0.466\ 6,0.505\ 7)。$

将 α_d 和 β_d 代入式(8)可最终确定主客观权重的相对重要系数,求得 $\alpha=0.504\ 3,\beta=0.495\ 7$ 。

将单一赋权结果及主客观相对重要系数代入优化模型(10),以组合权重与主客观权重的偏差最小化为目标,由式(11)建立的 Lagrange 函数通过 Python 编程求得基于矩估计理论的最优组合权重: $\omega=(0.145\ 8,0.110\ 8,0.106\ 7,0.105\ 7,0.087\ 1,0.099\ 2,0.135\ 8,0.090\ 9,0.120\ 8)。$

2.2.3 基于矩估计理论的最优组合权重的烟叶可用性

根据文献[21—23]和麒麟复烤厂生产技术要求,各评价指标隶属度函数类型及拐点值见表 4。

将各指标隶属度函数与各指标权重系数相结合,通过式(16)求得不同赋权方法下复烤成品烟叶可用性指数如表 5 所示。由表 5 可知,经配方打叶得到的烟叶,其可用性 I 级(优)达 83.93%,CCUI 均值达 0.96,标准差为 0.04,变异系数为 4.17%,且所有烟叶都达到较好水平以上,评价结果与麒麟复烤厂实际生产情况相吻合,评价效果较好。

表 2 烟叶化学指标描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of chemical indicators of tobacco leaves

类别	烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	糖碱比	氮碱比	钾氯比	氯/%	钾/%
最小值	1.74	35.60	27.70	1.57	18.81	0.78	2.57	0.56	1.71
最大值	1.93	39.13	31.69	1.83	22.84	0.98	3.30	0.74	1.99
平均值	1.84	38.34	29.43	1.67	21.43	0.91	2.93	0.64	1.88
标准偏差	0.05	0.73	0.81	0.06	0.97	0.03	0.15	0.04	0.07
变异系数	2.71	1.93	2.76	3.30	3.84	3.13	4.96	6.12	3.60

表 3 各指标的主客观权重

Table 3 Subjective and objective weight of each indicator

方法	烟碱	总糖	还原糖	总氮	钾	氯	糖碱比	钾氯比	氮碱比
德尔菲法 ^[17]	15.28	11.96	12.38	9.64	6.87	7.24	13.82	10.04	12.75
层次分析法 ^[18]	14.88	12.38	12.15	11.84	7.21	6.94	14.07	9.30	13.06
熵权法 ^[19]	18.52	8.06	11.01	9.52	8.13	9.14	14.04	6.93	14.66
CRITIC 法 ^[20]	15.58	11.78	5.34	9.15	10.45	11.69	14.30	9.99	11.72

表 4 常规化学成分指标拐点及隶属度函数类型

Table 4 Inflection points of conventional chemical composition indicators and membership function types

临界值	P 型								S 型
	烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	糖碱比	氮碱比	钾氯比	氯/%	钾/%
x_1	1.5	30	15	1.2	13	0.65	1.2	0.2	1.5
x_2	1.7	35	28	1.5	17	0.80	2.4	0.5	—
x_3	1.9	38	29	1.7	21	0.93	3.6	0.7	—
x_4	2.1	42	34	2.1	28	1.15	4.1	0.9	2.5

2.3 基于矩估计理论的最优组合赋权与其他赋权法对比

2.3.1 矩估计理论组合赋权与单一赋权法间的相关性

由表 6 可知,5 种赋权方法与其他方法相关性依次为矩估计理论组合赋权>层次分析法赋权>熵权法赋权>

德尔菲法赋权>CRITIC 法赋权。其中,矩估计理论组合赋权法赋权结果的一致性最高,且组合效果较好,因此,矩估计组合赋权与各单一赋权法在结果上具有强相关性。

表 5 成品烟叶化学成分可用性指数

Table 5 Chemical composition availability index of finished tobacco leaves

等级百分比/%					CCUI 值		
I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	平均值	标准差	变异系数 %
83.93	8.93	7.14	0.00	0.00	0.96	0.04	4.17

表 6 各赋权法间的相关性分析

Table 6 Correlation analysis among various weighting methods

指标	德尔菲法赋权	层次分析法赋权	熵权法赋权	CRITIC 法赋权	矩估计理论组合赋权
德尔菲法赋权	1.000 0				
层次分析法赋权	0.956 0	1.000 0			
熵权法赋权	0.748 0	0.781 0	1.000 0		
CRITIC 法赋权	0.341 0	0.384 0	0.569 0	1.000 0	
矩估计理论组合赋权	0.884 0	0.909 0	0.927 0	0.877 0	1.000 0
均值	0.785 8	0.806 0	0.805 0	0.634 2	0.919 4

2.3.2 矩估计理论组合赋权与单一主客观赋权法赋权结果对比 由图 2 可知,4 种单一赋权法所得各指标权重的波动性较大,使用单一方法进行赋权容易造成赋权结果受人为主观或客观数据的影响,说明用单一赋权方法的不合理性。从主客观赋权方差来看,4 种单一赋权结果化学成分指标除糖碱比方差较小外,其他指标方差较大,其中还原糖含量方差高达 10.94,说明不同单一赋权方法得到的烟叶可用性评价指标权重受专家经验或指标数据特征影响较大,因而最终对可用性评价结果影响也较大。而矩估计理论组合赋权以组合权重与主客观偏差最小化为目标,利用每种方法的特点与优势,充分考虑主观经验与客观数据使得组合权重分布于主客观赋权法之间,从而使得各赋权值之间的相互差别较小,且与实际认知符合度更高,权重确定更加可靠、合理。

2.3.3 矩估计理论组合赋权与乘法合成归一化组合赋权结果对比 根据文献[9]使用的组合赋权方法并利用

2.2.1 的 4 种单一赋权法得到组合权重与文中所提组合赋权方法进行对比,结果见表 7。由表 7 可知,两种组合赋权方法中权重最大值均为烟碱含量,分别为 38.11%,

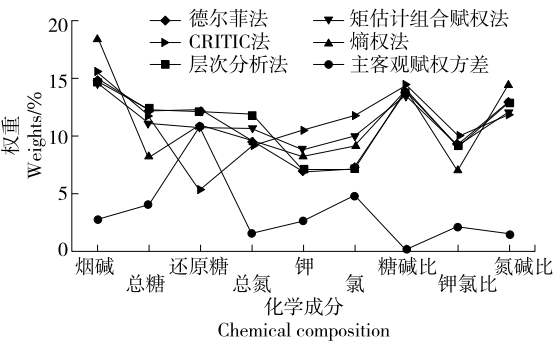


图 2 矩估计理论组合赋权与主客观赋权结果对比
Figure 2 Comparison of the combination of moment estimation theory weighting and subjective and objective weighting results

表 7 组合赋权法权重系数

Table 7 Weight coefficient of combination weighting method %

方法	烟碱	总糖	还原糖	总氮	钾	氯	糖碱比	钾氯比	氮碱比
乘法合成归一化组合赋权法	38.11	8.17	5.14	5.78	2.44	3.12	22.68	3.75	16.62
矩估计理论组合赋权法	13.58	11.08	10.67	10.57	9.71	9.92	12.58	10.09	12.08

13.58%。最小值评价指标为钾含量,分别为 2.44%, 9.71%。但是从各指标赋权结果来看,两种组合赋权方法在赋权结果上每个评价指标均出现较大差异。

由图 3 可知,乘法合成归一化法组合赋权的倍增效应,使得组合权重中烟碱、糖碱比和氮碱比权重远大于单一赋权结果,钾、氯、总氮、钾氯比的权重明显降低,远远偏离主客观赋权结果,导致最终结果与实际具体情况不符,进一步说明基于矩估计理论组合赋权的合理性和有效性。

2.3.4 基于不同赋权法的评价结果 由表 8 可知,从均值看,乘法合成组合赋权法>层次分析法>熵权法>矩估计理论组合赋权>CRITIC法>德尔菲法。乘法合成

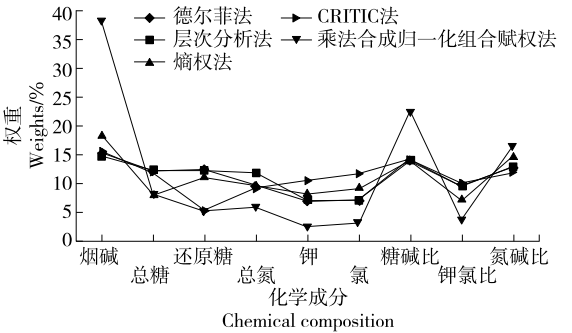


图 3 乘法合成归一化组合赋权与主客观赋权结果对比
Figure 3 Comparison of weights of different weighting methods

表 8 不同赋权法的可用性指数对比

Table 8 Comparison of usability index of different weighting methods

类别	德尔菲法	层次分析法	熵权法	CRITIC 法	乘法合成组合赋权法	矩估计理论组合赋权法
最小值	0.715 3	0.735 6	0.737 4	0.777 4	0.950 3	0.732 9
最大值	0.987 9	0.998 6	0.985 7	0.980 1	0.999 7	0.967 4
均值	0.942 8	0.970 6	0.961 3	0.956 5	0.993 6	0.955 4
标准差	0.037 2	0.039 2	0.033 1	0.030 5	0.023 8	0.036 4
变异系数	3.945 6	4.035 3	3.447 6	3.185 7	2.395 3	3.810 8

组合赋权由于赋权结果的倍增效应导致最终可用性指数远高于其他方法,但由于其赋权的不合理导致评价结果的可信度降低。矩估计理论组合赋权评价结果处于主客观赋权结果中间,证明其在进行综合评价时能够充分考虑专家经验并利用数据间的信息。从变异系数上,受专家级主观经验以及个人偏好的影响,德尔菲法与层次分析法评价结果的变异系数较大,使得评价结果稳定性较低。熵权法和 CRITIC 法两种客观赋权由于权重计算过程中考虑数据之间的离散性和冲突性,最终评价结果变异系数较低,但其受数据样本大小和数据质量的影响。矩估计理论组合赋权变异系数处于主客观赋权之间,避免了单一赋权法存在的局限性,评价结果也更加符合复烤厂目前生产情况。

3 结论

构建了基于矩估计理论的最优组合赋权方法用于打叶复烤过程中烟叶可用性的评价。通过与主客观赋权方法和乘法合成归一化组合赋权法进行对比分析,表明文中所提方法的有效性。基于矩估计理论的最优组合赋权

法考虑了主客观权重的重要程度,结合主客观因素特征,有效地解决了单一赋权法过于主观或客观的缺陷;通过求解评价指标的期望以求得主客观权重的重要系数,克服了采用乘法合成归一化组合赋权法时,由于评价指标较少及权重分配不均匀造成的倍增效应,进而提升了烟叶可用性评价结果的可信度。后续可从烟叶物理特征、烟叶品种等方面对烟叶的可用性进行研究。

参考文献

[1] 谭旭, 毛太田, 邹凯. 可用性观点下的烟叶质量粗糙集评价方法[J]. 运筹与管理, 2015(3): 219-226.
TAN Xu, MAO Tai-tian, ZOU Kai. Rough set evaluation method of tobacco leaf quality from the viewpoint of usability[J]. Operations Research and Management, 2015(3): 219-226.
[2] 唐远驹. 关于烟叶的可用性研究[J]. 中国烟草科学, 2007(1): 1-5.
TANG Yuan-ju. On the availability of tobacco leaves[J]. China Tobacco Science, 2007(1): 1-5.
[3] 鲁黎明, 朱颀, 雷强, 等. 四川烤烟主产区烟叶感官质量及主要化学成分分析[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 88-97.

- LU Li-ming, ZHU Liang, LEI Qiang, et al. Analysis of sensory quality and main chemical components of flue-cured tobacco leaves in the main producing areas of Sichuan [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(4): 88-97.
- [4] 陈刚, 周清明, 田云, 等. 含氮化合物对烟草质量及其在质量评价体系中的影响[J]. *湖南农业科学*, 2014(19): 11-13.
- CHEN Gang, ZHOU Qing-ming, TIAN Yun, et al. Nitrogen-containing compounds on tobacco quality and its effect in quality evaluation system[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2014(19): 11-13.
- [5] 王鹏, 李玉宝, 潘昊东, 等. 2017 年四川省会东县嘎吉基地单元烤烟质量评价[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(4): 202-205, 209.
- WANG Peng, LI Yu-bao, PAN Hao-dong, et al. Quality evaluation of flue-cured tobacco in Gaji base unit in Huidong County, Sichuan Province in 2017[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(4): 202-205, 209.
- [6] 王育军, 王泽理, 刘彦岭, 等. 甘肃陇南烤烟化学成分特征及可用性评价[J]. *昆明学院学报*, 2019, 41(6): 12-17.
- WANG Yu-jun, WANG Ze-li, LIU Yan-ling, et al. Characteristics of chemical components and usability evaluation of flue-cured tobacco in Longnan, Gansu[J]. *Journal of Kunming University*, 2019, 41(6): 12-17.
- [7] 杨超, 惠建权, 王芳, 等. 基于因子分析及曲线估计的卷烟叶组化学成分品质评价[J]. *烟草科技*, 2017, 50(12): 77-84.
- YANG Chao, HUI Jian-quan, WANG Fang, et al. Quality evaluation of chemical constituents of cigarette leaves based on factor analysis and curve estimation[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2017, 50(12): 77-84.
- [8] 齐永杰, 邓小华, 徐文兵, 等. 基于卷烟品牌原料需求的桂阳烟叶化学成分可用性评价[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2017, 32(3): 465-472.
- QI Yong-jie, DENG Xiao-hua, XU Wen-bing, et al. Evaluation of the availability of chemical components in Guiyang tobacco leaves based on the demand for cigarette brand raw materials[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2017, 32(3): 465-472.
- [9] 汪璇, 卞建锋, 杨民烽, 等. 基于综合赋权法的四川省烤烟化学成分可用性时空差异评价[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(22): 131-138.
- WANG Xuan, BIAN Jian-feng, YANG Min-feng, et al. Evaluation of spatial and temporal differences in the availability of chemical components of flue-cured tobacco in Sichuan Province based on comprehensive weighting method[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(22): 131-138.
- [10] 李刚, 李建平, 孙晓蕾, 等. 主客观权重的组合方式及其合理性研究[J]. *管理评论*, 2017, 29(12): 17-26, 61.
- LI Gang, LI Jian-ping, SUN Xiao-lei, et al. Study on the combination of subjective and objective weights and its rationality[J]. *Management Review*, 2017, 29(12): 17-26, 61.
- [11] 李明泉. 浅析矩估计法的教学[J]. *济南职业学院学报*, 2009(2): 79-81.
- LI Ming-quan. Analysis on the teaching of moment estimation[J]. *Journal of Jinan Vocational College*, 2009(2): 79-81.
- [12] 江文奇. 多属性决策的组合赋权优化方法[J]. *运筹与管理*, 2006, 15(6): 40-43.
- JIANG Wen-qi. Combination weighting optimization method for multi-attribute decision making[J]. *Operations Research and Management*, 2006, 15(6): 40-43.
- [13] 沈阳武, 彭晓涛, 施通勤, 等. 基于最优组合权重的电能质量灰色综合评价方法[J]. *电力系统自动化*, 2012, 36(10): 67-73.
- SHEN Yang-wu, PENG Xiao-tao, SHI Tong-qin, et al. Gray comprehensive evaluation method for power quality based on optimal combination weights[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2012, 36(10): 67-73.
- [14] 王泉, 姚俊伟, 智李, 等. 基于矩估计法和模糊一证据融合的电力变压器套管状态评估[J]. *电力科学与技术学报*, 2020, 35(1): 130-136.
- WANG Quan, YAO Jun-wei, ZHI Li, et al. Power transformer bushing condition assessment based on moment estimation method and Fuzzy-evidence fusion[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2020, 35(1): 130-136.
- [15] 黄德镛, 耿元玲, 郭琦, 等. 基于组合赋权一距离判别模型的边坡稳定性评价方法研究[J]. *有色金属工程*, 2021, 11(1): 101-106, 136.
- HUANG De-yong, GENG Yuan-ling, GUO Qi, et al. Research on slope stability evaluation method based on combined weight-distance discriminant model[J]. *Nonferrous Metal Engineering*, 2021, 11(1): 101-106, 136.
- [16] 王晓宾, 王军, 刘兰, 等. 广东烟区烤烟主要化学成分可用性评价[J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(2): 64-72.
- WANG Xiao-bin, WANG Jun, LIU Lan, et al. Evaluation on availability of main chemical components of flue-cured tobacco in Guangdong tobacco area[J]. *China Tobacco Science*, 2019, 40(2): 64-72.
- [17] 田军, 张朋柱, 王刊良, 等. 基于德尔菲法的专家意见集成模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(1): 57-62, 69.
- TIAN Jun, ZHANG Peng-zhu, WANG Kan-liang, et al. Research on expert opinion integration model based on delphi method[J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2004, 24(1): 57-62, 69.
- [18] 路永鑫, 魏云冰, 赵启承, 等. 基于层次分析法和改进 A* 算法的电力应急机器人路径规划[J]. *电力系统保护与控制*, 2021, 49(9): 82-89.
- LU Yong-xin, WEI Yun-bing, ZHAO Qi-cheng, et al. Power emergency robot path planning based on analytic hierarchy process and improved A* algorithm[J]. *Power System Protection and Control*, 2021, 49(9): 82-89.
- [19] 李峰, 孙波, 王轩, 等. 层次分析法结合熵权法评估农村屋顶光伏系统电能质量[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(11): 159-166.
- LI Feng, SUN Bo, WANG Xuan, et al. Analytic hierarchy process combined with entropy method to evaluate the power quality of rural rooftop photovoltaic systems[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(11): 159-166.

(下转第 226 页)

- moting a healthy diet in young adults: The role of nutrition labeling[J]. *Nutrients*, 2018, 10(10): 1 335.
- [19] KHANDPUR N, RIMM E B, MORAN A J. The influence of the new US nutrition facts label on consumer perceptions and understanding of added sugars: A randomized controlled experiment[J]. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2020, 120(2): 197-209.
- [20] NEUHOFER Z, MCFADDEN B R, RIHN A, et al. Can the updated nutrition facts label decrease sugar-sweetened beverage consumption? [J]. *Economics and Human Biology*, 2020, 37: 100867.
- [21] KIM E J, ELLISON B, PRESCOTT M P, et al. Consumer comprehension of the nutrition facts label: A comparison of the original and updated labels[J]. *Am J Health Promot*, 2021, 35(5): 648-657.
- [22] BYRD-BREDBENNER C, KIEFER L. The ability of elderly women to perform nutrition facts label tasks and judge nutrient content claims[J]. *Journal of Nutrition for the Elderly*, 2001, 20(2): 29-46.
- [23] POST R E, III A G M, DIAZ V A, et al. Use of the nutrition facts label in chronic disease management: Results from the national health and nutrition examination survey [J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2010, 110(4): 628-632.
- [24] ELFASSY T, YI S, EISENHOWER D, et al. Use of sodium information on the nutrition facts label in newyork city adults with hypertension[J]. *Journal of the American Academy of Nutrition and Dietetics*, 2014, 115(2): 278-283.
- [25] CHRISTOPH M J, LOTH K A, EISENBERG M E, et al. Nutrition Facts use in relation to eating behaviors and healthy and unhealthy weight control behaviors[J]. *J Nutr Educ Behav*, 2018, 50(3): 267-274.
- [26] SCHOR D, MANISCALCO S, TUTTLE M M, et al. Nutrition facts you can't miss: The evolution of front-of-pack labeling: Providing consumers with tools to help select foods and beverages to encourage more healthful diets[J]. *Nutrition Today*, 2010, 45(1): 22-32.
- [27] ERIN H, GRACE S T, JOCELYN S, et al. Comprehension and use of nutrition facts tables among adolescents and young adults in Canada[J]. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 2016, 77(2): 59-65.
- [28] HESS S, YANES M, JOURDAN P, et al. Trans fat knowledge is related to education level and nutrition facts label use in health-conscious adults[J]. *Topics in Clinical Nutrition*, 2005, 20(2): 109-117.
- [29] BLITSTEIN J L, EVANS W D. Use of nutrition facts panels among adults who make household food purchasing decisions[J]. *Journal of Nutrition Education & Behavior*, 2006, 38(6): 360-364.
- [30] 黄泽颖. 政府主导的食品 FOP 标签系统国际经验与启发[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2020: 1-3.
- HUANG Ze-ying. International experience and inspiration of government-led food FOP labeling system[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2020: 1-3.
- [31] BRUCE N, MICHELLE C, ELIZABETH D, et al. Effects of different types of front-of-pack labelling information on the healthiness of food purchases: A randomised controlled trial[J]. *Nutrients*, 2017, 9(12): 1 284.
- [32] Guiding Stars Licensing Company. Guiding stars[EB/OL]. (2021-05-11)[2021-07-02]. <https://guidingstars.com/>.
- [33] 黄泽颖, 黄贝珣. 美国食品 Facts up Front 标签的主要经验与启发[J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 116-119.
- HUANG Ze-ying, HUANG Bei-xun. Main experience and enlightenment of American food facts up front labeling[J]. *Food & Mechine*, 2021, 37(7): 116-119.
- [34] EMRICH T E, QI Y, MENDOZA J E, et al. Consumer perceptions of the nutrition facts table and front-of-pack nutrition rating systems[J]. *Applied Physiology Nutrition & Metabolism*, 2014, 39(4): 417-424.
- [35] GRAHAM D J, HEIDRICK C, HODGIN K. Nutrition label viewing during a food-selection task: Front-of-package labels vs nutrition facts labels[J]. *Journal of the Academy of Nutrition & Dietetics*, 2015, 115(10): 1 636-1 646.

(上接第 180 页)

- [20] 刘晓悦, 杨伟, 张雪梅. 基于改进层次法与 CRITIC 法的多维云模型岩爆预测[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2021, 48(2): 118-124.
- LIU Xiao-yue, YANG Wei, ZHANG Xue-mei. Multidimensional cloud model rockburst prediction based on improved hierarchy method and CRITIC method[J]. *Journal of Hunan University (Natural Science Edition)*, 2021, 48(2): 118-124.
- [21] 王育军, 周冀衡, 李强, 等. 曲靖烟叶化学成分可用性及其对感官评吸质量的影响[J]. *烟草科技*, 2014(11): 67-73.
- WANG Yu-jun, ZHOU Ji-heng, LI Qiang, et al. The availability of chemical components of Qujing tobacco leaves and its effect on sensory evaluation quality[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2014(11): 67-73.
- [22] 蒋佳磊, 陆扬, 苏燕, 等. 我国主要烟叶产区烤烟化学成分特征与可用性评价[J]. *中国烟草学报*, 2017, 23(2): 13-27.
- JIANG Jia-lei, LU Yang, SU Yan, et al. Chemical composition characteristics and usability evaluation of flue-cured tobacco in main tobacco producing areas in my country[J]. *The Chinese Tobacco Journal*, 2017, 23(2): 13-27.
- [23] 王晓宾, 王军, 刘兰, 等. 广东烟区烤烟主要化学成分可用性评价[J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(2): 64-72.
- WANG Xiao-bin, WANG Jun, LIU Lan, et al. Evaluation on availability of main chemical components of flue-cured tobacco in Guangdong tobacco area[J]. *China Tobacco Science*, 2019, 40(2): 64-72.