

基于模糊预测性线性规划与改进灰色聚类分析的烟草企业最优生产方案选择方法

郭宏斌^{1,2}, 陈建宏¹, 杨珊¹, 郑海力³

1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083
2. 常德烟草机械有限责任公司, 湖南常德 415000
3. 化工部长沙设计研究院, 长沙 410116

摘要 烟草企业的生产方案选择需要考虑产量、利润、销售周期以及产品知名度等多种因素,是个复杂的系统化工程。考虑到烟草企业产能分配时,约束条件多为模糊约束,而约束系数又多为灰数,借鉴模糊数学与灰色系统理论的思想,构建了模糊预测性线性规划模型对烟草企业产能进行分配。利用灰色预测理论对模型中的各灰色系数进行白化,将模糊预测性线性规划模型转变为模糊线性规划模型,利用模糊最优判决条件将模糊线性规划进而转变为求最大隶属度的一般线性规划模型,求解得到烟草企业各生产方案取得最大利润时的产能分配。在此基础上,综合考虑各生产方案产品销售周期、产品知名度以及产品对人体健康的危害等因素,根据改进后的灰色聚类分析理论对各生产方案进行定性评价分析,并进行灰色决策度的计算及比较排序,从而得到烟草企业的最佳生产方案。使用该方法,某烟草企业选取了最佳生产方案,收到了良好的经济效益和综合效益。

关键词 烟草企业;产能分配;模糊预测;线性规划;灰色聚类分析;灰色决策

中图分类号 F251.2

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.26.007

The Selection Method for Tobacco Company Best Production Plan Based on Fuzzy Predictability Linear Programming Model and Improved Gray Cluster Analysis Theory

GUO Hongbin^{1,2}, CHEN Jianhong¹, YANG Shan¹, ZHENG Haili³

1. Resources and Safety Engineering Institute of Central South University, Changsha 410083, China
2. Changde Tobacco Machinery Co. Ltd., Changde 415000, Hunan Province, China
3. Changsha Design and Research Institute, Chemical Industry Ministry, Changsha 410116, China

Abstract Tobacco company needs to consider production, profit, selling cycle, and product popularity in order to choice production program; it is a complicated systematic project. The fact when tobacco companies allocate their capacity, the constraints mostly are fuzzy and in the mean times the constraint coefficients mostly are gray numbers are taken into account, the lessons from fuzzy theory and gray theory are drawn, a fuzzy predictability linear programming model is constructed for tobacco companies' production capacity allocation. Grey prediction theory is used to whiten grey coefficients; fuzzy predictability linear programming model is turned into fuzzy linear programming model, fuzzy optimal decision is used to turn fuzzy linear programming model into a linear programming model that goal is maximum membership degree, achieving the capacity allocation according to the maximum economic benefit. Based on that, selling cycle, product popularity, and product hazards to human health are integrally considered, according to the improved gray cluster analysis theory; each production program is qualitatively evaluated and analyzed, and gray decision-making degree of each production program is calculated and compared, therefore the best production program for the tobacco company is obtained. Using this method, a tobacco

收稿日期: 2012-01-05;修回日期: 2012-08-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(50774092);全国优秀博士学位论文作者专项(200449);湖南省博士生科研创新项目(CX2010B046)

作者简介: 郭宏斌, 博士, 研究方向为精益生产管理及资源经济学, 电子信箱: zhenghaili1986@126.com; 陈建宏(通信作者), 教授, 研究方向为金属矿山开采与灾害控制, 电子信箱: zhenghaili19861113@126.com

company is able to select the optimal production program, receive both good economic and comprehensive benefits.

Keywords tobacco company; capacity allocation; fuzzy forecast; linear programming; gray clustering analysis; gray decision-making

0 引言

一般而言,烟草企业在年初都要确定来年的生产方案。生产方案的选择除考虑经济效益即利润这一重要的影响因素外,还要考虑产品的产量、销售周期、知名度及产品对人体健康的危害等因素,各生产方案的产品产量与利润由产能分配所决定,而产能分配会受到企业劳动力条件、烟叶供给情况、主要生产材料(盘纸、过滤嘴、水松纸、白胶以及香料等)供给情况、燃料及动力(固、液、气体燃料及电力)供给情况的制约,以往多采用线性规划模型对产能分配问题进行求解。但实际中,劳动力、烟叶、主要生产材料及燃料动力的供给常常会随市场形势的变化相应追加或减少,同时,生产各单位产品所需要的劳动力、烟叶、主要生产材料、燃料动力以及各单位产品的利润也都不是固定值,而是随时间而变动的量,因此采用一般的线性规划模型来求解烟草企业生产方案的产能分配问题时,模型与实际情况差异很大,难以得到比较准确的产能分配结果。在对生产方案进行评价选择时,由于各影响指标量纲与物理意义相差较大,以往通常采用灰色变权聚类理论进行分析,但由于灰色变权聚类理论的权重一般是人为确定,主观性较强,对聚类结果的准确性会产生一定影响,而且聚类分析理论产生的优类方案往往不止一个,无法确定最优方案。所以,利用传统方法与模型难以分析确定烟草企业的最佳生产方案,无法实现各类资源的合理调配和利润最大化。

针对此情况,在原有的一般线性规划中引入灰色理论与模糊数学的思想。对于劳动力供给、烟叶供给、主要生产材料供给以及燃料与动力供给等经常发生追加投入的情况,采用模糊约束;对于各单位产品所需要和消耗的劳动力、烟叶、主要生产材料、燃料动力以及所产生的利润等随时间变化的量,采用灰数^[1-5]表示,这样就构建了烟草企业产能分配时的模糊预测性线性规划模型。对于模型中随时间变动的量采用灰色预测^[6-10]的方法使之白化,将模型变为模糊线性规划模型,对模糊线性规划通过构建隶属函数和模糊最优判决条件将其转变为一般线性规划问题,进而进行分析求解。相对于传统的模糊线性规划与灰色预测型线性规划^[11],模糊预测性线性规划综合了两者的特点,在一定条件下既可以转变为模糊线性规划,也可以转变为灰色预测型线性规划,因此有更大的适用空间,也更加贴近于企业的生产实际,在生产实践中也有着更大的实用价值与应用前景。

由于影响烟草企业生产方案选择的因素众多,且各影响因素之间的物理意义与量纲相差很大,因此可以利用改进后的灰色聚类分析理论^[12-14]及灰色决策度进行分析确定。改进后的聚类分析理论是在传统的灰色聚类理论基础上,将原始

数据进行了灰色效果测度处理,从而有效地克服了当聚类指标的意义、量纲不同,指标数值悬殊较大时,采用传统的灰色聚类方法可能导致的某些特性指标参与聚类作用十分微弱的局限性,在保留原有数据信息特点的情况下,简化了聚类分析过程。同时由于对原始数据进行了灰色效果测度处理,消除了原始指标意义与量纲的影响,因此对灰色变权聚类理论及灰色定权聚类理论的分析均能适用。相对于灰色变权聚类理论采用人为确定权重的方式,改进后的权重确定依据为灰色效果测度数据,权重确定的方式也更加科学,可以有效地对各生产方案进行定性分析评判。针对聚类分析理论的优类方案有多个的情况,利用灰色聚类决策理论对各方案的优等灰色决策度进行计算比较,从而选择确定烟草企业生产方案的绝对最优方案,对于烟草企业合理利用现有资源实现经济效益与综合效益的最大化具有重要意义。

1 系统建模

1.1 模糊预测性线性规划

烟草企业生产方案的选择需要考虑各生产方案的利润、产量、产品销售速度、产品知名度以及产品对人体的危害,其中,利润与产量是最为重要的两个影响因素。最为常见求解经济效益与产量的模型是线性规划模型,其标准形式如下:

$$\begin{cases} \min Z=CX \\ AX \leq B \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, C 为价格向量(亦可称为利润向量), X 为决策向量, A 为消耗矩阵, B 为资源约束向量。

实际中,往往会遇到目标函数和约束条件不确定(即模糊)的情况,此时一般线性规划问题就变成了模糊线性规划^[15-18]问题;同时,当模糊线性规划问题中的某些量随时间在一定范围内不断变化时,变为灰数,此时模糊线性规划问题就变成了灰色预测性线性规划问题,其一般形式如下:

$$\begin{cases} \max Z=C(\otimes)X \\ A(\otimes)X \leq B(\otimes) \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $C(\otimes)$ 为灰色价格向量, $A(\otimes)$ 为灰色消耗矩阵, $B(\otimes)$ 为灰色资源约束向量。

对于烟草企业的某待选生产方案,其生产的产品有 n 种,即产品决策向量 $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$,而每种产品的单位利润均随时间动态变化(即灰色利润),其灰色利润向量为 $C(\otimes)=[c_1(\otimes), c_2(\otimes), \dots, c_n(\otimes)]$;生产单位第 i 种产品所消耗的第 j 种资源(包括人工、烟叶、主要生产材料以及燃料动力) a_{ij} 也是随时间变化而变化的,可以表示为 $a_{ij}(\otimes)$,则灰色消耗矩阵为

$A(\otimes)$ 为

$$A(\otimes) = \begin{bmatrix} a_{11}(\otimes) & a_{12}(\otimes) & \cdots & a_{1n}(\otimes) \\ a_{21}(\otimes) & a_{22}(\otimes) & \cdots & a_{2n}(\otimes) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1}(\otimes) & a_{m2}(\otimes) & \cdots & a_{mn}(\otimes) \end{bmatrix}$$

烟草企业每年获得的劳动力数量以及各种资源材料或能源的总量即资源约束向量 $B=[b_1, b_2, \dots, b_m]$ 也不是完全固定的,投入通常会随着市场形势的变化相应的追加或减少,则资源约束向量 B 也是模糊的,据此得到烟草企业各生产方案产能分配的模糊预测线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max \quad & C(\otimes)X \leq S_0 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} A(\otimes)X \leq B \\ X \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

式中,各灰元系数都是有界灰元, $c_j(\otimes) \in [c_j, \bar{c}_j], c_j \geq 0, j=1, 2,$

$\dots, n; a_{ij}(\otimes) \in [a_{ij}, \bar{a}_{ij}], a_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. c_j, b_j, a_{ij}$

分别表示各有界灰元的下限值, $\bar{c}_j, \bar{b}_j, \bar{a}_{ij}$ 分别表示各有界灰元的上限值。

采用利润定位系数 ρ_j 以及消耗定位系数 δ_j 对灰元系数进行白化,利用利润定位系数 ρ_j 对各产品的单价(或单位产品的利润)进行白化:

$$\bar{c}_j(\otimes) = \rho_j \bar{c}_j + (1 - \rho_j) c_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

利用消耗定位系数 δ_j 对每生产单位第 i 种产品所消耗的第 j 种资源或能源的数量进行白化:

$$\bar{a}_{ij}(\otimes) = \delta_j \bar{a}_{ij} + (1 - \delta_j) a_{ij} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

价格定位系数及消耗定位系数的准确性直接决定了产能分配结果的准确性与可靠性。而各系数的确定根据以往的统计数据提炼出的信息然后利用灰色预测模型预测确定。

将各系数白化后,模糊预测性线性规划模型就变为了一般的模糊线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max \quad & CX \leq S \\ \text{st} \quad & \begin{cases} AX \leq B \\ X \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

将模糊目标与模糊约束结合,得到如下形式:

$$\begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \cdots & c_n \\ a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} z_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

即

$$A'X \leq B' \quad (7)$$

确定模糊目标及模糊约束的隶属函数,由于隶属函数一般都要满足严格递减的要求,因此其确定原则一般如下:

当 $(A'X)_i \leq b_i$ 时, $\mu_i(x) = 1$;

当 $b_i < (A'X)_i \leq b_i + d_i$ 时, $0 < \mu_i(x) < 1$

当 $(A'X)_i > b_i + d_i$ 时, $\mu_i(x) = 0$

$i=1, 2, \dots, m, [b_i, b_i + d_i]$ 称为违反区间。

根据上述原则,且为计算方便考虑,因此隶属函数取为一条斜率为负的直线,有

$$\mu_i(X) = \begin{cases} 1 & (A'X)_i \leq b_i \\ \frac{b_i + d_i - (A'X)_i}{d_i} & 0 < (A'X)_i < b_i + d_i \\ 0 & (A'X)_i \geq b_i + d_i \end{cases} \quad (8)$$

最优判决条件为

$$\max_{X \geq 0} (\min_{0 \leq i \leq m} \mu_i(X)) \quad (9)$$

令

$$\lambda = \min_{0 \leq i \leq m} \mu_i(X) \quad (10)$$

即可得到以求最大隶属度 λ 为目标函数的一般线性规划模型,模型形式如下:

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ \text{st} \quad & \begin{cases} d_0 \lambda + c_1 x_1 + c_2 x_2 + \cdots + c_n x_n \leq b_0 + d_0 \\ d_1 \lambda + a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \cdots + a_{1n} x_n \leq b_1 + d_1 \\ \dots \\ d_m \lambda + a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \cdots + a_{mn} x_n \leq b_m + d_m \\ \lambda \geq 0 \\ x_j \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

$j=1, 2, \dots, n.$

对上述模型求解,即可得到模型的最优解,从而得到烟草企业采用某种生产方案时最大的经济效益及其相应的产品产量。

1.2 改进后的灰色聚类分析

烟草企业产品方案选择所考虑的因素主要有利润、产量、销售周期、产品知名度,同时由于其产品的特殊性,对人体健康的危害也是一项考虑因素。在利用改进后的聚类分析理论对各生产方案进行分析时,首先利用灰色效果测度理论对原始指标数据进行处理。

对于利润、产品产量、产品知名度等指标,其值越大,方案越优,因此对这些指标采用灰色上限效果测度方法进行数值处理:

$$\gamma_{up} = \frac{U_i}{U_{\max}} \quad (12)$$

式中, U_{\max}, U_i 分别为某指标数值集合 $\{U_j\}$ 中最大值及一般值。

而对于销售周期及产品危害等指标,其值越小,方案越优,因此对这些指标采用灰色下限效果测度方法进行数值处理:

$$\gamma_{down} = \frac{U_{\min}}{U_i} \quad (13)$$

式中, U_{\min}, U_i 分别为某指标数值集合 $\{U_j\}$ 中最小值及一般值。

以各生产方案的综合评价情况作为对象 i 进行聚类分

析。以各指标的灰色效果测度值作为聚类指标 j , 设定子类 g 的白化权函数 $f_j^g(\cdot)$, 若 λ_j^g 为 j 指标的 g 子类临界值, 则 j 指标关于 g 子类的权 w_j 为:

$$w_j^g = \frac{\lambda_j^g}{\sum_{j=1}^h \lambda_j^g} \quad (14)$$

对典型白化权函数 $f_j^g[y_j^g(1), y_j^g(2), y_j^g(3), y_j^g(4)]$, 其 λ_j^g 计算公式为

$$\lambda_j^g = \frac{1}{2} (y_j^g(2) + y_j^g(3)) \quad (15)$$

对下限测度白化权函数 $f_j^g[-, -, y_j^g(3), y_j^g(4)]$, 其 λ_j^g 计算公式为

$$\lambda_j^g = y_j^g(3) \quad (16)$$

对适中测度白化权函数 $f_j^g[y_j^g(1), y_j^g(2), -, y_j^g(4)]$ 与上限测度白化权函数 $f_j^g[y_j^g(1), y_j^g(2), -, -]$, 其 λ_j^g 计算公式为

$$\lambda_j^g = y_j^g(2) \quad (17)$$

对对象 i 关于指标 j 的样本值 x_{ij} 进行灰色变权聚类系数 σ_i^g 的计算:

$$\sigma_i^g = \sum_{j=1}^h f_j^g(x_{ij}) \cdot w_j^g \quad (18)$$

根据对象 i 的灰色变权系数值, 找出其最大灰色变权系数 $\sigma_i^{g^*}$, 判断对象 i 的灰类属性 g^* 。其判断公式为:

$$\sigma_i^{g^*} = \max_{1 \leq g \leq s} \{\sigma_i^g\} \quad (19)$$

在式(14)至(19)中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, h; g=1, 2, \dots, s$ 。 n 为烟草企业的生产方案数; h 为影响生产方案评价的指标数量; s 为评价子类总数, 即优、良、中、差等定性分级评价的等级数量。

1.3 灰色决策度排序

灰色聚类分析往往只能用来定性评价方案优劣, 而无法选择出最优方案, 因为在实际利用灰色聚类分析理论进行方案定性评价分析时, 最优一级的方案往往不止一个。这时候, 就需要利用聚类分析结果进一步计算出各方案的灰色决策度^[1-3], 并进行灰色决策度的比较, 来确定最优方案。

首先求得各生产方案 i 属于灰类 g 的单位化决策系数 δ_i^g , 即:

$$\delta_i^g = \frac{\sigma_i^g}{\sum_{g=1}^s \sigma_i^g} \quad (20)$$

则 $\delta_i = [\delta_i^1, \delta_i^2, \dots, \delta_i^s]$ 为生产方案 i 的单位决策向量。

上式中各字母意义同前。

计算出第 g 灰类的调整系数 η_g , 即:

$$\eta_g = [s-g+1, s-g+2, \dots, s-1, s, s-1, \dots, g] \quad (21)$$

则生产方案 i 关于灰类 g 的综合决策度为

$$\omega_i = \eta_g \cdot \delta_i^g \quad (22)$$

按综合决策度数值对同属于灰类 g 的所有对象进行排序, 值最大者表明其在同属于灰类 g 的所有对象中最优, 对同

属于优子类的生产方案进行综合决策度的排序, 即可求得烟草企业产品生产的最优方案。

求解流程如图 1 所示。

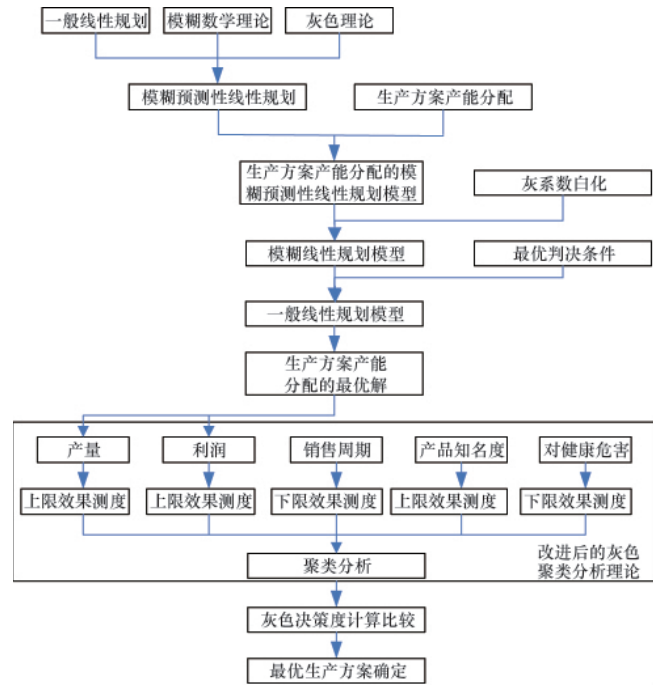


图 1 求解流程

Fig. 1 Solving process

2 实例分析

2.1 应用背景

某烟草企业有 A、B、C 三种香烟产品, 由于市场变化及发展战略的需要, 企业拟从中选取两种产品作为 2011 年的主打产品进行生产, 以期为企业创造更高的综合效益。根据企业多年生产经验, 人工、烟叶、燃料以及过滤嘴的供给情况是企业产品产量与效益的主要制约因素, 经统计, 每生产 1 万箱(万支装)A 香烟需要 11.34—14.52 名工人工作一年, 消耗优质烟叶 382.92—447.19t, 燃料 52.31—59.08t (以标准煤计算, 下同), 可获利润 0.18—0.26 亿元(人民币, 下同); 每生产 1 万箱 B 香烟需要 12.58—15.33 名工人工作一年, 消耗烟叶 370.29—428.23t, 燃料 57.54—63.82t, 可获利润 0.21—0.29 亿元; 每生产 1 万箱 C 香烟需要 10.56—12.81 名工人工作一年, 消耗烟叶 396.44—469.23t, 燃料 54.84—59.29t, 可获利润 0.22—0.26 亿元。2010 年, 该烟草企业共有一线员工 1880 人, 全年烟叶供给量为 59923t, 燃料供给量为 8055t, 过滤嘴 138.94 亿支, 为了扩大生产同时考虑企业实际, 该企业加大对上述制约因素的投入, 工人数量、烟叶供给量以及过滤嘴数量拟按照最大 10% 的增幅进行投入, 燃料供给量拟按照最大 5% 的增幅进行投入。

2.2 模糊预测性线性规划模型分析

根据企业情况,得到2011年该烟草企业生产方案产能分配的模糊预测性线性规划模型如下:

$$\begin{aligned} \max \quad & S=C(\otimes)X \\ \text{st} \quad & \begin{cases} A(\otimes)X \leq B \\ X \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

其中,A香烟产量为 x_1 ,B香烟产量为 x_2 ,C香烟产量为 x_3 。决策向量 X 为 x_1, x_2, x_3 的某两项;利润向量 $C(\otimes)$ 由灰参数 $c_1(\otimes), c_2(\otimes), c_3(\otimes)$ 中的某两项构成, $c_1(\otimes) \in [0.18, 0.26], c_2(\otimes) \in [0.21, 0.29], c_3(\otimes) \in [0.22, 0.26]$;灰色消耗矩阵 $A(\otimes)$ 由向量 $a_{11}(\otimes), a_{12}(\otimes), a_{23}(\otimes)$ 的某两项构成,其中人工消耗参数 $a_{11}(\otimes) \in [11.34, 14.52], a_{12}(\otimes) \in [12.58, 15.33], a_{13}(\otimes) \in [10.56, 12.81]$,烟叶消耗参数 $a_{21}(\otimes) \in [382.92, 447.19], a_{22}(\otimes) \in [370.29, 428.23], a_{23}(\otimes) \in [396.44, 469.23]$,燃料消耗参

数 $a_{31}(\otimes) \in [52.31, 59.08], a_{32}(\otimes) \in [57.54, 63.82], a_{33}(\otimes) \in [54.84, 59.29]$ 。模糊资源约束向量 B 包括劳动力约束、烟叶供给约束、燃料供给约束以及过滤嘴约束等, $B = [1880, 59923, 8055, 138.94]$ 。在约束条件中,过滤嘴约束为不含灰参数的模糊约束。

利用各定位系数对灰参数进行白化,将生产方案产能分配的模糊预测性线性规划模型转变为一般的模糊线性规划模型。而2011年的灰参数白化需要依赖以往的灰参数进行预测确定,根据该烟草企业最近10年对生产单位产品所消耗的人工、烟叶、燃料以及产生的利润的统计,结合各灰参数的上限值与下限值,依照式(4)与式(5)进行反推计算,得到A、B、C三种香烟产品2001—2010年的消耗定位系数与利润定位系数如表1所示。

由表1的各定位系数的变化特征可知,生产单位产品的劳

表1 历年定位系数表

Table 1 Table of positioning coefficients for every year

年份	A 产品定位系数				B 产品定位系数				C 产品定位系数			
	消耗系数		利润系数		消耗系数		利润系数		消耗系数		利润系数	
	劳动力 δ_{11}	烟叶 δ_{12}	燃料 δ_{13}	利润 ρ_1	劳动力 δ_{21}	烟叶 δ_{22}	燃料 δ_{23}	利润 ρ_2	劳动力 δ_{31}	烟叶 δ_{32}	燃料 δ_{33}	利润 ρ_3
2001	0.92	0.90	0.93	0.21	0.91	0.93	0.94	0.14	0.94	0.92	0.90	0.29
2002	0.90	0.87	0.90	0.30	0.88	0.91	0.92	0.18	0.92	0.87	0.88	0.35
2003	0.88	0.84	0.86	0.37	0.84	0.89	0.89	0.22	0.88	0.83	0.85	0.40
2004	0.85	0.80	0.83	0.42	0.82	0.85	0.86	0.25	0.86	0.79	0.83	0.46
2005	0.81	0.75	0.78	0.48	0.79	0.81	0.85	0.27	0.82	0.75	0.79	0.51
2006	0.78	0.71	0.73	0.55	0.75	0.76	0.82	0.30	0.78	0.72	0.75	0.55
2007	0.74	0.67	0.67	0.60	0.71	0.71	0.77	0.34	0.74	0.68	0.69	0.60
2008	0.69	0.61	0.61	0.64	0.68	0.65	0.72	0.36	0.68	0.63	0.65	0.66
2009	0.63	0.54	0.56	0.67	0.64	0.60	0.66	0.40	0.63	0.58	0.61	0.71
2010	0.59	0.49	0.50	0.70	0.59	0.57	0.61	0.42	0.57	0.55	0.56	0.77

动力消耗、烟叶消耗以及燃料消耗都是逐年降低的,而企业的利润则是逐年提高的,这是由于企业技术进步、管理水平的提高、对能源资源节约的重视以及市场形势持续好转的结果。

根据各产品历年的定位系数,利用灰色预测理论可对2011年的各定位系数进行预测,进而确定2011年生产各单位产品的劳动力消耗、烟叶消耗、燃料消耗以及利润空间。由于各定位系数只是随时间变化的单阶变量,因此采用灰色单阶单变量GM(1,1)模型对2011年的定位系数进行预测。这里以2011年A香烟产品的劳动力消耗系数 δ_{11} 的预测为例说明GM(1,1)模型进行定位系数预测过程。

由2001—2010年的A产品的劳动力消耗定位系数,可以求得A产品的劳动力消耗定位系数GM(1,1)的灰参数序列为(0.0510, 0.9991),得到A产品的劳动力消耗定位系数的GM(1,1)模型如下:

$$x^{(0)}(k) + 0.051z^{(1)}(k) = 0.9991$$

其时间响应序列为:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = 19.5902 - 18.6702e^{-0.051(k-1)}$$

$x^{(0)}(k)$ 为A产品劳动力消耗定位系数的原始序列, $\hat{x}^{(1)}(k)$ 为劳动力消耗系数的1-AGO序列, $z^{(1)}(k)$ 为劳动力消耗系数的紧邻均值生成序列, $k=1, 2, \dots, 10$ 。

根据时间响应序列,生成A产品劳动力消耗系数的模拟值,对其进行包括残差、相对误差、平均相对误差、残差平方和以及后验差和后验比值检验^[9]的检验,经检验模型精度合格,可用来进行数据预测。

在时间响应序列中代入 $k=11$,可计算得到2011年A产品的劳动力消耗系数为0.58。

与之类似,得到2011年A产品的烟叶消耗系数为0.49,燃料消耗系数为0.49,利润定位系数为0.82;B产品的劳动力消耗系数为0.58,烟叶消耗系数为0.55,燃料消耗系数为

0.61, 利润定位系数为 0.50; C 产品的劳动力消耗系数为 0.57, 烟叶消耗系数为 0.53, 燃料消耗系数为 0.55, 利润定位系数为 0.86。

根据 A、B、C 三种产品的消耗定位系数以及利润消耗系数, 按照式(4)与式(5)计算得到 2011 年每生产 1 万箱 A 香烟需要 13.18 名一线员工工作一年, 消耗烟叶 414.41t, 消耗燃料 55.63t, 可得利润 0.246 亿元; 每生产 1 万箱 B 香烟需要 14.18 名一线员工工作一年, 消耗烟叶 402.16 吨, 消耗燃料 61.37t, 可得利润 0.25 亿元; 每生产 1 万箱 C 香烟需要 11.84 名一线员工工作一年, 消耗烟叶 435.02t, 消耗燃料 57.29t, 可得利润 0.254 亿元。

经过对模糊预测性线性规划模型灰系数的白化处理, 得到各生产方案的一般模糊线性规划模型如下。

1 号方案: 生产 A 香烟与 B 香烟

$$\begin{aligned} \max \quad & S=0.246x_1+0.25x_2 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} 13.18x_1+14.18x_2 \leq 1880 \\ 414.41x_1+402.16x_2 \leq 59923 \\ 55.63x_1+61.37x_2 \leq 8055 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_1+x_2 \leq 138.94 \end{cases} \end{aligned}$$

2 号方案: 生产 A 香烟与 C 香烟

$$\begin{aligned} \max \quad & S=0.246x_1+0.254x_3 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} 13.18x_1+11.84x_3 \leq 1880 \\ 414.41x_1+435.02x_3 \leq 59923 \\ 55.63x_1+57.29x_3 \leq 8055 \\ x_1 \geq 0 \\ x_3 \geq 0 \\ x_1+x_3 \leq 138.94 \end{cases} \end{aligned}$$

3 号方案: 生产 B 香烟与 C 香烟

$$\begin{aligned} \max \quad & S=0.25x_2+0.254x_3 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} 14.18x_2+11.84x_3 \leq 1880 \\ 402.16x_2+435.02x_3 \leq 59923 \\ 61.37x_2+57.29x_3 \leq 8055 \\ x_2 \geq 0 \\ x_3 \geq 0 \\ x_2+x_3 \leq 138.94 \end{cases} \end{aligned}$$

各模型的劳动力供给的违反区间为 [1880, 2068], 烟叶供给的违反区间为 [59923, 65915], 燃料供给的违反区间为 [8055, 8458], 过滤嘴供给的违反区间为 [138.94, 152.83]。

对 1 号生产方案的模糊线性规划模型进行求解, 首先不

考虑各项约束的追加投入, 求解一般线性规划问题:

$$\begin{aligned} \max \quad & S=0.246x_1+0.25x_2 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} 13.18x_1+14.18x_2 \leq 1880 \\ 414.41x_1+402.16x_2 \leq 59923 \\ 55.63x_1+61.37x_2 \leq 8055 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_1+x_2 \leq 138.94 \end{cases} \end{aligned}$$

得到最优解 $x_1=90.1692$ 万箱, $x_2=48.7708$ 万箱, 年最大利润 $S=34.3743$ 亿元。

将最大可能的追加投入全部加入到约束条件后再进行求解, 即求解模型

$$\begin{aligned} \max \quad & S=0.246x_1+0.25x_2 \\ \text{st} \quad & \begin{cases} 13.18x_1+14.18x_2 \leq 2068 \\ 414.41x_1+402.16x_2 \leq 65915 \\ 55.63x_1+61.37x_2 \leq 8548 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_1+x_2 \leq 152.83 \end{cases} \end{aligned}$$

得到最优解 $x_1^*=144.8044$ t, $x_2^*=8.0256$ t, 年最大利润为 $S^*=37.6283$ 亿元。

据此构建出 1 号生产方案的模糊线性规划模型的目标函数以及模糊约束条件的隶属函数如下。

目标函数隶属函数

$$\mu_0(X) = \begin{cases} 1 & (0.246x_1+0.25x_2) \geq 37.6283 \\ \frac{(0.246x_1+0.25x_2)-34.3743}{3.254} & 34.3743 \leq (0.246x_1+0.25x_2) < 37.6283 \\ 0 & (0.246x_1+0.25x_2) < 34.3743 \end{cases}$$

劳动力约束隶属函数

$$\mu_1(X) = \begin{cases} 1 & (13.18x_1+14.18x_2) \leq 1880 \\ \frac{2068-(13.18x_1+14.18x_2)}{188} & 1880 < (13.18x_1+14.18x_2) \leq 2068 \\ 0 & (13.18x_1+14.18x_2) > 2068 \end{cases}$$

烟叶约束隶属函数

$$\mu_2(X) = \begin{cases} 1 & (414.41x_1+402.16x_2) \leq 59923 \\ \frac{65915-(414.41x_1+402.16x_2)}{5992} & 59923 < (414.41x_1+402.16x_2) \leq 65915 \\ 0 & (414.41x_1+402.16x_2) > 65915 \end{cases}$$

燃料约束隶属函数

$$\mu_3(X) = \begin{cases} 1 & (55.63x_1+61.37x_2) \leq 8055 \\ \frac{8458-(55.63x_1+61.37x_2)}{403} & 8055 < (55.63x_1+61.37x_2) \leq 8458 \\ 0 & (55.63x_1+61.37x_2) > 8458 \end{cases}$$

过滤嘴约束隶属函数

$$\mu_4(X) = \begin{cases} 1 & (x_1+x_2) \leq 138.94 \\ \frac{152.83-(x_1+x_2)}{13.89} & 138.94 < (x_1+x_2) \leq 152.83 \\ 0 & (x_1+x_2) > 152.83 \end{cases}$$

根据最优判决条件,令

$$\lambda = \min_{0 \leq i \leq m} \mu_i(X)$$

得到以求最大隶属度 λ 为目标函数的 1 号生产方案的一般线性规划模型,模型形式如下:

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \begin{cases} 3.254\lambda - 0.246x_1 - 0.25x_2 \leq -34.3743 \\ 188\lambda + 13.18x_1 + 14.18x_2 \leq 2068 \\ 5992\lambda + 414.41x_1 + 402.16x_2 \leq 65915 \\ 403\lambda + 55.63x_1 + 61.37x_2 \leq 8548 \\ 13.89\lambda + x_1 + x_2 \leq 152.83 \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

得到最优解 $\lambda=0.5074, x_1=105.0777, x_2=40.7048$, 年最大利润 $S=36.0253$ 。即对于 1 号生产方案,当生产 A 香烟 105.0777 万箱, B 香烟 40.7048 万箱时,可获得最大年利润为 36.0253 亿元。

类似地,对 2 号、3 号生产方案的模糊预测模型进行求解,得到对于 2 号生产方案,当生产 A 香烟 26.2543 万箱, C 香烟 118.8616 万箱时,可得到最大年利润 36.6494 亿元,此时 $\lambda=0.5554$ 。

对于 3 号生产方案,当生产 B 香烟 9.5592 万箱,生产 C 香烟 135.0844 万箱时,可得到最大年利润 36.7012 亿元,此时 $\lambda=0.5518$ 。

2.3 基于改进后的灰色聚类分析理论分析

经分析研究,该烟草企业选取了产量、利润、销售周期、产品知名度以及对人体健康影响 5 个指标作为生产方案选择的考虑因素。为了便于采用改进后的灰色聚类理论进行分析,需对各指标进行数值化处理。产量、利润与销售周期等本身就是量化指标,产品知名度以及对人体健康的危害等指标,采用专家评分法进行量化处理。据此,得到各生产方案的指标评价表如表 2,各方案销售周期是以单种产品每万箱的销售天数,然后加权平均计算得出。

表 2 指标评价表

Table 2 Table of index evaluation

生产方案	产量(万箱/年)	利润(亿元/年)	销售周期/d	产品知名度	对人体健康的危害
1 号方案	145.7825	36.0253	50	87.6	73.4
2 号方案	145.1159	36.6494	55	73.2	55.9
3 号方案	144.6436	36.7012	57	90.8	67.1

对各指标数值进行灰色效果测度计算,产量、利润与产品知名度等指标,其数值越大,方案就越优,因此根据式(12)

进行灰色上限效果测度;而销售周期以及对人体健康的危害等指标,其值越小,方案越优,因此根据式(13)进行灰色下限效果测度。得到各指标的灰色效果测度值如表 3。

表 3 指标评价灰色效果测度值

Table 3 Table of grey effect measured values for index evaluation

生产方案	产量	利润	销售周期	产品知名度	对人体健康的危害
1 号方案	1	0.9816	1	0.9648	0.7616
2 号方案	0.9954	0.9986	0.9091	0.8062	1
3 号方案	0.9922	1	0.8772	1	0.8331

对各生产方案按优、中、差采用改进后的灰色聚类理论进行定性分析,各指标的灰色效果测度值越大,表明方案越好,因此可设各指标灰色效果测度值的白化函数如下。

产量灰色效果测度值的优、中、差白化权函数为 $f_1^1[0.95, 1, -, -], f_1^2[0.90, 0.95, -, 1], f_1^3[-, -, 0.90, 0.95]$

利润灰色效果测度值的优、中、差白化权函数为 $f_2^1[0.95, 1, -, -], f_2^2[0.90, 0.95, -, 1], f_2^3[-, -, 0.90, 0.95]$

销售周期效果测度值的优、中、差白化权函数为 $f_3^1[0.90, 1, -, -], f_3^2[0.80, 0.90, -, 1], f_3^3[-, -, 0.80, 0.90]$

产品知名度效果测度值的优、中、差白化权函数为 $f_4^1[0.90, 1, -, -], f_4^2[0.80, 0.90, -, 1], f_4^3[-, -, 0.80, 0.90]$

对人体健康危害效果测度值的优、中、差白化权函数为 $f_5^1[0.85, 1, -, -], f_5^2[0.70, 0.85, -, 1], f_5^3[-, -, 0.70, 0.85]$

根据白化权函数及式(15)、式(16)及式(17)得到各指标灰色效果测度值优、中、差的临界值如表 4 所示。

表 4 聚类指标的灰色效果测度值分级临界值

Table 4 Classification threshold of grey effect measured values for clustering index

指标评价	产量效果测度值	利润效果测度值	销售周期效果测度值	产品知名度效果测度值	对人体健康危害效果测度值
优	1	1	1	1	1
中	0.95	0.95	0.90	0.90	0.85
差	0.90	0.90	0.80	0.80	0.70

依据上表,通过式(14),得到各指标灰色效果测度值良好、一般以及较差的权重如表 5 所示。

根据影响生产方案选择的各指标灰色效果测度值的白化权函数及其分级权重值,结合各指标的灰色效果测度值,利用式(18)对各生产方案的灰色聚类系数计算,根据各生产方案的各子类聚类系数,利用式(19)即可判定出各生产方案的综合定性评价,得到的结果如表 6 所示。

从表 6 可知,1 号、2 号、3 号生产方案,综合评价均为优,

表 5 聚类指标灰色效果测度值分级权重

Table 5 Grade weights of grey effect measured values for clustering index

指标评价	分级权重值				
	产量	利润	销售周期	产品知名度	对人体健康危害
优	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
中	0.2088	0.2088	0.1978	0.1978	0.1868
差	0.2195	0.2195	0.1951	0.1951	0.1707

表 6 各生产方案聚类系数

Table 6 Clustering coefficients for each production program

生产方案	优的灰色聚类系数	中的灰色聚类系数	差的灰色聚类系数	聚类系数最大值	最终判定结果
1号方案	0.6560	0.2232	0.1006	0.6560	优
2号方案	0.5942	0.2171	0.1830	0.5942	优
3号方案	0.5688	0.3510	0.0637	0.5688	优

即3种生产方案均可以产生良好的经济效益和综合效益。但企业在实际生产时,生产方案是唯一的,因此要进一步优选,确定最优生产方案进行生产。

2.4 灰色决策度比较分析

根据1.3节式(20),得到1号生产方案的单位决策向量 $\delta_1=[0.6695, 0.2287, 0.1027]$;2号生产方案的单位决策向量 $\delta_2=[0.5976, 0.2183, 0.1840]$;3号生产方案的单位决策向量 $\delta_3=[0.5783, 0.3569, 0.0648]$ 。由于有3个子类,而针对的是优类进行灰色决策度的分析,根据式(21)得到其调整系数向量 $\eta_1=[3, 2, 1]$ 。综合3种方案的单位决策向量以及优子类的调整系数,根据式(22)最终得到各方案关于优子类的综合决策度如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 号方案: } & \omega_1=2.5669 \\ 2 \text{ 号方案: } & \omega_2=2.4136 \\ 3 \text{ 号方案: } & \omega_3=2.5136 \end{aligned}$$

从3种方案优子类的灰色综合决策度比较可得, $\omega_1 > \omega_3 > \omega_2$ 。即该企业2011年应选择1号生产方案进行生产,1号生产方案拟生产A香烟105.0777万箱,B香烟40.7048万箱,预计可获年利润为36.0253亿元。

根据该企业上半年统计情况,在采用1号生产方案进行生产后,产品的产量与企业利润较之去年同期均有明显增长,尤其是产品的销售速度明显加快,没有以往时常出现的产品滞销情况,而且产品与企业的知名度较以前也有了较大提高,实现了企业经济效益与综合效益的双增长。

3 结论

借鉴灰数和模糊数学的思想构建烟草企业生产方案产能分配的模糊预测性规划模型。该模型综合了模糊线性规划

与灰色线性规划的特点,可以解决模糊约束与有界灰元均存在时的产能分配问题,考虑更加全面,求解范围更加宽泛,同时也更加贴近于烟草企业的生产实际。该模型求解思路清晰,求解结果可靠,经实践验证,求得了烟草企业各生产方案的最优产能分配结果。

利用改进后的灰色聚类分析理论与灰色决策度对烟草企业生产方案进行了分析优选。对各指标数据进行了灰色效果测度,在降低因白化权函数构造形式不同而导致计算复杂程度的同时,还消除了因指标差异及量纲不同的影响,因此可以应用于传统的灰色变权聚类与灰色定权聚类问题。在利用改进后的灰色聚类理论对某烟草企业各生产方案进行科学定性评价后,鉴于优类方案太多,无法取舍的情况,又利用灰色决策理论对各生产方案进一步优选分析,最终综合确定了该烟草企业的最优生产方案。实践证明,模糊预测线性规划模型与改进后的灰色聚类分析理论对烟草企业生产方案选择此类复杂的系统性问题具有很强的求解能力,其结果也具有较高的可信度,值得在相似领域进行推广应用。

在利用模糊预测性线性规划模型时,灰色系数的白化准确与否直接关系到求解结果的可靠性。因此在应用GM(1,1)模型对各定位系数进行预测时,若误差检验不合格,应采用残差GM(1,1)模型进行修正;同时在构造目标及各项约束隶属函数时,应根据实际情况灵活选取隶属函数类型,这样才能保证求解过程与结果的科学可靠。

参考文献(References)

- [1] 杨松林, 王梦恕, 周晓敏. 灰色关联分析在竖井冻结壁“窗口”事故处理中的应用[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4): 467-471.
Yang Songlin, Wang Mengshu, Zhou Xiaomin. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(4): 467-471.
- [2] 王浙明, 史惠祥, 苏雨生, 等. 灰色关联模型用于工程方案优化 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(1): 81-87.
Wang Zeming, Shi Huixiang, Su Yusheng, et al. *China Water & Waste Water*, 2002, 18(1): 81-87.
- [3] 伍爱友, 肖红飞, 王从陆, 等. 煤与瓦斯突出控制因素加权灰色关联模型的建立与应用[J]. 煤炭学报, 2005, 30(1): 58-61.
Wu Aiyu, Xiao Hongfei, Wang Conglu, et al. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(1): 58-61.
- [4] Gu H, Song B F. Study on effectiveness evaluation of weapon systems based on grey relational analysis and TOPSIS [J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2009, 20(1): 106-111.
- [5] Xie N M, Liu S F. Research on evaluations of several grey relational models adapt to grey relational axioms[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2009, 20(2): 304-309.
- [6] 肖有才, 张秀成, 王宏艳. 灰色理论在预测深埋型矿井涌水量中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(2): 175-177.
Xiao Youcai, Zhang Xiucheng, Wang Hongyan. *Journal of Liaoning Technical University*, 2004, 23(2): 175-177.
- [7] 李建刚, 白润才, 刘光伟, 等. 露天矿行车事故频次的灰色预测 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(S1): 6-8.
Li Jiangan, Bai Runcai, Liu Guangwei, et al. *Journal of Liaoning Technical University*, 2005, 24(S1): 6-8.

- [8] 邓聚龙. 灰色系统基本方法 [M]. 2 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
Deng Julong. Basic method of grey system[M]. 2nd ed. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Publishing House, 2005.
- [9] 张云龙, 刘茂. 灰色 GM(1, 1)模型在火灾事故预测中的应用[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2009, 42(1): 11-15.
Zhang Yunlong, Liu Mao. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis: Natural Science Edition*, 2009, 42(1): 11-15.
- [10] 郑海力, 陈建宏, 胡达涛. 矿山企业经济的多层次嵌套型灰色关联分析[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2009(4): 85-90.
Zheng Haili, Chen Jianhong, Hu Datao. *Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition*, 2009(4): 85-90.
- [11] 郑海力, 陈建宏, 杨瑞波, 等. 灰色预测线性规划在多金属矿产能优化配置中的应用[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(12): 1613-1617.
Zheng Haili, Chen Jianhong, Yang Ruibo, et al. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2010, 32(12): 1613-1617.
- [12] 崔振昂, 贾华伟, 李方林. 改进的灰色变权聚类法在水质评价中的应用[J]. 安全与环境工程, 2003, 10(2): 30-33.
Cui Zhen'ang, Jia Huawei, Li Fanglin, et al. *Safety and Environmental Engineering*, 2003, 10(2): 30-33.
- [13] 周文娟, 陈正伟. 灰色变权聚类分析法在主导产业选择中的应用[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2008, 25(6): 586-591.
Zhou Wenjuan, Chen Zhengwei. *Journal of Chongqing Technologic Business University: Natural Science Edition*, 2008, 25(6): 586-591.
- [14] 张慧颖. 基于灰色变权聚类的公路建设项目成功度评价 [J]. 公路, 2006(8): 141-146.
Zhang Huiying. *Highway*, 2006(8): 141-146.
- [15] 高淑萍, 刘三阳. 一类模糊线性规划的求解方法及应用[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(8): 1412-1415.
Gao Shuping, Liu Sanyang. *Systems Engineering and Electronics*, 2005, 27(8): 1412-1415.
- [16] 谢小良, 符卓. 模糊机会约束规划下的物流配送路径优化[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(18): 215-218.
Xie Xiaoliang, Fu Zhuo. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(18): 215-218.
- [17] 张成, 杨万才. 模糊规划的对偶理论 [J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2005, 28(1): 1-6.
Zhang Cheng, Yang Wancai. *Journal of Liaoning Normal University: Natural Science Edition*, 2005, 28(1): 1-6.
- [18] 张会娟, 张强. 基于模糊机会约束规划的最优产量决策[J]. 运筹与管理, 2009, 18(6): 89-96.
Zhang Huijuan, Zhang Qiang. *Operations Research and Management Science*, 2009, 18(6): 89-96.
- [19] 罗云, 吕海燕, 白福利. 事故分析预测与事故管理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 11-23.
Luo Yun, Lv Haiyan, Bai Fuli. *Accidents and accident analysis and prediction*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 11-23.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·

“第二届国际扶阳论坛 暨第五届扶阳论坛”征文



由中华中医药学会、四川省中医药管理局主办的“第二届国际扶阳论坛暨第五届扶阳论坛”议拟定于2012年11月26—30日在成都市召开。

征稿范围:扶阳学派源流探讨;扶阳学派学术思想与特色研究;扶阳学派用药经验总结;扶阳学派辨证论治技巧研究;中医扶阳各家学说学术经验探讨;中医扶阳各家学说理论临床应用体会;名老中医、民族医药及特色疗法扶阳经验总结;附子等扶阳药物临床应用总结;扶阳学派传承研究;扶阳学说在养生保健中的应用探讨等。

全文截稿日期:2012年10月30日。

联系电话:13258119640。

电子邮箱:xiaoyue3548@yahoo.com.cn。

通信地址:四川省成都市人民南路4段51号(610041)。

会议网站:http://www.cacm.org.cn/cobportal/portal/channel_xwzx.ptview?funcid=showContent&infolinkId=31662&infoSortId=52281。