

制造技术

田震, 许强, 苗晨琳, 等. 基于配方功能的烟叶原料动态化平衡预测及分配方法探索[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(1). TIAN Zhen, XU Qiang, MIAO Chenlin, et al. Exploration of dynamic equilibrium prediction and distribution method of tobacco raw materials based on formula function[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2023, 29(1). doi:10.16472/j.chinatobacco. 2022.T0021

基于配方功能的烟叶原料动态化平衡预测及分配方法探索

田震, 许强, 苗晨琳, 孙晋浩, 李少鹏, 何红梅, 徐如彦, 胡宗玉*

江苏中烟工业有限责任公司, 技术中心, 南京市兴隆大街 29 号 210019

摘要:【目的】为缓解新品类卷烟规模快速增长带来的烟叶原料供给结构性矛盾, 实现烟叶原料及时调配、及时优化、及时满足的动态平衡。【方法】以江苏中烟调拨初烤烟叶为材料, 采用支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)、高斯核函数 (Radial Basis Function, RBF) 等方法构建配方功能预测模型, 运用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 建立烟叶适用性评价方法, 确定不同配方功能类别的基础保障原料和动态平衡原料。【结果】确定了苏产卷烟的 10 个配方功能类别, 并以香气质、香气量、烟气浓度以及浓劲比等 12 个烟叶样本特征指标计算烟叶原料的适用性分值和适用性指数; 按照配方功能类别, 完成对 2020 年度调拨烟叶的分配, 设计形成 100 个打叶复烤配方模块。【结论】本研究建立了一种基于配方功能的烟叶原料动态化平衡预测及分配方法, 可有效指导某一功能类别或相同品牌不同功能类别烟叶原料的配方模块设计。

关键词: 烟叶原料; 动态平衡; 配方功能; 质量指标

中式卷烟叶组配方的质量效果取决于所使用烟叶的质量和协同性^[1-2]。因此, 合理的配方分组是卷烟叶组配方设计的关键^[3], 传统的烟叶配方模块设计是基于烟叶原料的单一功能进行分组, 形成稳定的模块, 以期达到维持卷烟品牌风格和质量稳定^[4-6]。随着卷烟品类的快速扩增, 烟叶原料库存和卷烟叶组配方之间的矛盾日益凸显, 现有的烟叶原料模块结构设计与使用效率已无法适应卷烟品类的配方需求^[7-8]。

人工智能、机器学习以及数据挖掘等领域的发展和运用, 使卷烟配方设计工作实现智能化成为可能^[9-10]。Feng 等^[11]设计了一种基于遗传算法、神经网络、支持向量机、模糊集和专家经验的智能卷烟配方评价系统, 用于卷烟配方设计技术。王涛^[12]采用支持向量机在卷烟感官评估中进行了实际应用, 并提出用回归函数估计 SVM 方法进行建模解决感官类别的划分问题。石子健等^[13]应用多分类器集成系统进行了卷烟感官评估

指标的分类预测, 搭建多分类器集成系统并得到了理想的结果。雒兴刚等^[14]运用关联规则挖掘卷烟配方数据, 得到了单料烟配伍规则。尽管当前的研究方法能够对配方进行分组, 有利于卷烟叶组配方的设计工作, 然而这些研究多偏向于烟叶感官质量预测和卷烟配方评价, 对卷烟配方功能类别的挖掘和基于卷烟品牌原料需求的原料预测与分配方法鲜有报道。

本研究结合江苏中烟“苏烟”“南京”卷烟品牌的风格特色, 划分叶组配方中烟叶原料的若干配方功能, 以初烤烟叶感官质量评价指标和评价结果为基础, 采用支持向量机、高斯核函数等方法设计配方功能预测模型, 并运用层次分析方法建立烟叶适用性评价方法。对单一年度调拨烟叶样品进行分配验证, 结合原料的适用性评价结果和原料保障需求数量, 确定不同配方功能类别的“基础保障原料”和“动态平衡原料”, 该方法对于某一类别以及相同品牌不同类别烟叶原料的

基金项目: 中国烟草总公司重点研发项目“基于全国烤烟烟叶力学特性的加工属性分型技术研究及应用”(NO.110202102005); 江苏中烟工业有限责任公司科技项目“苏产卷烟烟叶原料感官质量评价方法构建”(NO.202023)

作者简介: 田震 (1988—), 硕士, 农艺师, 主要从事烟叶原料和卷烟配方研究, Tel: 025-69896817, Email: tianzhen@jszygs.com

通讯作者: 胡宗玉 (1983—), Tel: 025-69896816, Email: huzhy@jszygs.com

收稿日期: 2022-01-27; **网络出版日期:** 2022-08-01

配方模块分组设计工作具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

烟叶原料选用 2018—2020 年江苏中烟工业有限责任公司（以下简称“江苏中烟”）在国内烟叶基地调拨的 648 个初烤烟叶等级，涉及 30 余个烟叶产区（市）和 11 个烟叶品种。

1.2 方法

1.2.1 烟叶感官质量评价方法

由 7 名专业评吸人员组成感官质量评委，按照烟草行业标准《烤烟 烟叶质量风格特色感官评价方法》（YC/T530—2015）对初烤烟叶进行感官质量评价，并按五分制评分标度进行打分。鉴于“劲头”指标不能单纯以分值大小来表征其优劣，本研究引入烟气浓度与劲头的比值（以下简称“浓劲比”），来体现烟叶的烟气浓度和劲头的匹配性，“浓劲比”指标分值越大，匹配性越好。统计代表性样品的“浓劲比”数据分布情况，确定其评分标度方法，见表 1。

表 1 “浓劲比”指标数据分布情况与评分标度方法

Tab.1 Data distribution and scoring scale method of concentration-strength ratio index

“浓劲比” 区间	<0.8	[0.8-0.9)	[0.9-1.0)	[1.0-1.1)	[1.1-1.2)	≥1.2
数据分布/%	0.00	4.27	12.80	62.08	15.64	5.21
标度值	0	1	2	3	4	5
质量档次	欠匹配		较匹配		匹配	

1.2.2 配方功能预测模型设计

首先，确定若干配方功能类别，计为 y_i ；确定若干烟叶样本特征，计为 x_j ，烟叶样本特征是通过 Kruskal-Wallis 检验^[15-16]选取的烟叶质量指标，即在 5% 水平下差异显著的质量指标选入模型；第二步，采用支持向量机，使用高斯核函数^[17-18]（见式 1），利用一对一分类算法对烟叶样本数据进行优化训练，通过调节高斯核函数选出最优超参数 γ ，最后得到预测模型。

$$K(x_j, y_i) = e^{-\gamma \|x_j - y_i\|^2} \quad (1)$$

其中， x_j 为烟叶样本特征， y_i 为配方功能类别， γ 为超参数。

另选用若干样本数据，通过预测模型计算预测配方功能类别，并通过汉明损失计算公式（见式 2）计算预测配方功能类别（ $\tilde{y}_i$ ）与实际配方功能类别（ y_i ）之间的差异。汉明损失值越小则模型的预测分类能力越强^[19-20]。

$$\text{HammingLoss}(\tilde{y}_i, y_i) = \frac{1}{|D|} \sum_{i=1}^D \frac{\text{xor}(\tilde{y}_i, y_i)}{L} \quad (2)$$

其中， D 为样本的总数， L 为类别总数， $\tilde{y}_i$ 为预测类别值， y_i 为实际类别值，xor 为异或运算符。

1.2.3 烟叶适用性评价方法

计算各配方功能类别代表性烟叶原料样本各特征指标的平均值，根据其 95% 置信区间下限，确定每个类别 y_i 中、每个特征 x_j 的质量要求 J_{ij} 。

利用层次分析法^[21-22]，采用 9/9~9/1 分数标度法对每个类别 y_i 构建特征重要性对比矩阵，将每列的标度值分别除以该列标度值之和得到归一化矩阵，对归一化矩阵各行数据求和得到对应特征的特征向量，对所有的特征向量进行求和，并将每一个特征向量分别除以和值，确定各类别中每个特征的权重 Z_{ij} ，计算适用性评价权重 S_{ij} ， $S_{ij} = (Z_{ij} / J_{ij}) \times 100$ 。结合烟叶原料的各个特征值 x_j ，计算其在每个类别 y_i 中的适用性分值 H_i ， $H_i = \sum (S_{ij} \times x_j)$ 。

在构建对比矩阵时，对特征进行两两比较，并进行一致性检验。根据最大特征根公式（见式 3）分别计算每个类别 y_i 的最大特征根。

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \frac{(AZ)_j}{n Z_j} \quad (3)$$

A 表示类别 y_i 的重要性对比矩阵， Z 表示类别 y_i 的权重矩阵， n 表示特征 x_j 的个数。

通过一致性指标公式（见式 4）计算 C.I.

$$\text{C.I.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

通过随机一致性比率公式（见式 5）计算 C.R.

$$\text{C.R.} = \frac{\text{C.I.}}{\text{R.I.}} \quad (5)$$

其中，R.I. 表示平均随机一致性指标，根据具体阶数，取量表中的常量，见表 2。

表 2 R.I.值量表
Tab.2 The gauge of R.I.

指示数	1	2	3	3	5	6	7	8	9	10	11	12
R.I.	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.38	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

1.2.4 烟叶原料分配方法

根据不同品类卷烟生产计划及其叶组配方中不同类别原料的使用比例，预测不同类别烟叶原料的总需求量，同时结合烟叶原料的库存状况，明确每个类别 y_i 所需原料的最低需求量和最高需求量。

结合不同类别的配方功能及其在相应卷烟品类中作用的重要程度，将类别 y_i 进行排序，并划分为 4 个重要性组别，由高到低依次定义为组别 X、N、P、T。

对划分的重要性组别给予不同的赋分，计为 M_i ， M_i 的分值按照重要程度的降低而递减，且只有当适用性分值 $H_i \geq 100$ 时才可赋分，当适用性分值 $H_i < 100$ 时， $M_i = 0$ ，赋分标准如下表 3。统计烟叶原料在各类别 y_i 中的赋分之和，计为 $\sum M_i$ ；并计算其适用性指数 SY ， $SY = (\sum M_i) \times 100 \div N$ ，其中 N 为不同类别适用性分值赋分的总和。

表 3 赋分标准
Tab.3 The scoring criteria

重要性组别	适用性分值 $H_i \geq 100$ 赋分	适用性分值 $H_i < 100$ 赋分
X	4	0
N	3	
P	2	
T	1	

通过模型对原料进行类别预测，并按照类别的重要程度排序，由高到低依次对不同预测类别的原料进行分配。分配时，结合原料需求和库存情况，设置基础保障原料和动态平衡原料。具有单一配方功能属性，以满足品牌发展规划所需原料的数量和质量要求的原料为基础保障原料；具有多重配方功能属性，可根据卷烟生产实际需求“动态调节、平衡供需”的原料为动态平衡原料。

具体分配方法，包含：1) 分类，假定某份原料预

测类别为 A，且 A 属于 y_i ，将预测类别为类别 A、且适用性分值 $H_A \geq 100$ 的原料作为类别 A 的基础保障原料，其他通过模型预测不属于类别 A、但 $H_A \geq 100$ 的原料，作为类别 A 的动态平衡原料，而预测类别为类别 A、但 $H_A < 100$ 的原料不作为类别 A 的原料，记为类别 A 的不适用原料；2) 调整，如果类别 A 的基础保障原料数量大于等于类别 A 的最高需求量，将其中适用性指数 SY 较小的原料调整到类别 A 的动态平衡原料内，如果类别 A 的基础保障原料数量小于类别 A 的最低需求量，则优先选取重要程度排序高于类别 A 的类别的不适用原料中、 $H_A \geq 100$ 的原料，其次选取类别 A 的动态平衡原料中、预测类别的重要等级较低的、 H_A 数值较高的原料，最后选取重要程度排序高于类别 A 的类别的动态平衡原料中预测类别为 A 的原料，并按照 H_A 从低到高依次选取，按选取次序调整到类别 A 的基础保障原料内，以保证基础保障原料数量大于等于最低需求量、且小于等于最高需求量。

1.2.5 数据分析软件

采用 SPSS 19.0、Python 2.7 等软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 配方功能预测模型的构建

结合“苏烟”“南京”卷烟品牌的风格特色，对卷烟叶组配方的功能进行分类，总结确定出了 10 个配方功能类别 (y_i : $i \in \{1, 2, 3, \dots, 10\}$)，如表 4 所示，“苏烟”品类一和“南京”品类一分别确定了 3 个配方功能类别、“南京”品类二确定了 4 个配方功能类别。在江苏中烟调拨的初烤烟叶原料中，选取各配方功能类别的代表性烟叶原料样本，共计选取了 200 个烟叶原料样本。

表 4 配方功能类别
Tab.4 The formula function categories

品牌 (品类)	风格特色	配方功能	类别 y_i	代表性烟叶 样本数
“苏烟”品类一	“清、柔、雅、净”，香气清甜、优雅、飘逸，烟气细腻、柔和，留香怡人，余味纯净舒适	赋予产品主体风格，提供清甜、优雅、飘逸的特征香气	类别 1	20
		增加香气的丰富度，提升烟气的细腻柔和程度，提高口感纯净舒适度	类别 2	20
		调和细腻烟气	类别 3	20

续表 4				
品牌 (品类)	风格特色	配方功能	类别 y_i	代表性烟叶 样本数
“南京” 品类一	“雅、绵、醇、甜”，香气优雅、丰富、醇和，烟气细腻、绵长，生津回甜，余味干净舒适	赋予产品主体风格，提供优雅、丰富、醇和的特征香气	类别 4	20
		提升香气透发性，提升香气宽大、流畅感，增强满足感	类别 5	20
		调和细腻烟气，提升口感舒适度	类别 6	20
“南京” 品类二	“香、雅、醇、厚”，香气浓馥、高雅、醇和，烟宽厚、浓郁，回味悠长，余味干净舒适	赋予产品主体风格，提供浓馥、高雅、醇和的特征香气	类别 7	20
		增加香气丰富度，提升香气透发性，增强满足感	类别 8	20
		调和烟气，平衡劲头	类别 9	20
		协调烟气，提高口感舒适度	类别 10	20

结合初烤烟叶感官质量评价结果，初步选取了香气质、香气量、透发性、杂气、细腻程度、柔和程度、圆润感、刺激性、干燥感、余味、烟气浓度以及浓劲比等 12 个烟叶质量指标作为烟叶样本的特征 (x_j ; $j \in \{1,2,3,\dots,12\}$), 并进行 Kruskal-Wallis 检验, 检测结果如表 5 所示, 12 个烟叶质量指标检验结果均为

$P<0.001$, 说明选取的烟叶质量指标均在 1%水平下差异显著。随机选用 180 个样本的数据, 进行分析训练, 得到预测模型。并用剩余的 20 个样本数据, 计算汉明损失。计算得到的汉明损失为 0.41, 说明该预测模型有效。

表 5 烟叶质量指标 Kruskal-Wallis 检验
Tab.5 Kruskal-Wallis test of tobacco quality indexes

	原假设	sig.	结果
1	香气质 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
2	香气量 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
3	透发性 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
4	杂气 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
5	细腻程度 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
6	柔和程度 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
7	圆润感 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
8	刺激性 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
9	干燥感 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
10	余味 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
11	烟气浓度 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设
12	浓劲比 的分布在代表性等级类别上相同	0.000	拒绝原假设

注: 显著性水平为 0.05。

2.2 适用性评价方法的确定

研究确定了每个配方功能类别中各个特征的质量要求 (J_{ij}), 见表 6。

表 6 不同类别样本特征的质量要求 (J_{ij})
Tab.6 Quality requirements (J_{ij}) for sample characteristics in different categories

指 标	类别 1	类别 2	类别 3	类别 4	类别 5	类别 6	类别 7	类别 8	类别 9	类别 10
香气质	≥3.3	≥3.0	≥2.5	≥3.1	≥2.6	≥2.8	≥3.0	≥2.6	≥2.4	≥2.3
香气量	≥3.1	≥2.9	≥2.4	≥3.1	≥2.7	≥2.7	≥3.0	≥2.6	≥2.3	≥2.3
透发性	≥3.1	≥3.0	≥2.5	≥3.2	≥3.0	≥2.9	≥3.0	≥3.0	≥2.6	≥2.4
杂 气	≥3.3	≥3.1	≥3.0	≥3.3	≥2.9	≥3.1	≥3.0	≥2.8	≥2.9	≥3.0
细腻程度	≥3.2	≥3.0	≥2.6	≥2.9	≥2.5	≥2.7	≥2.8	≥2.3	≥2.6	≥2.4
柔和程度	≥3.2	≥3.0	≥2.6	≥3.0	≥2.5	≥2.7	≥2.8	≥2.3	≥2.6	≥2.4
圆润感	≥3.2	≥3.0	≥2.6	≥2.9	≥2.5	≥2.7	≥2.8	≥2.3	≥2.6	≥2.4
刺激性	≥2.8	≥2.6	≥2.4	≥2.6	≥2.3	≥2.4	≥2.6	≥2.5	≥2.3	≥2.3
干燥感	≥2.8	≥2.6	≥2.4	≥2.6	≥2.3	≥2.4	≥2.6	≥2.5	≥2.3	≥2.3
余 味	≥3.3	≥3.0	≥2.7	≥3.0	≥2.5	≥3.0	≥2.8	≥2.5	≥2.6	≥2.6
烟气浓度	≥3.0	≥2.9	≥2.5	≥3.3	≥3.3	≥3.1	≥3.0	≥3.3	≥2.6	≥2.5
浓劲比	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥4.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0

针对每个类别 y_i , 构建得到 10 个重要性对比矩阵, 并进行归一化处理, 确定各类别中每个特征的权重 (Z_{ij}), 并对上述构建的对比矩阵中的特征进行两两比较, 一致性检验分析如表 7 所示, 每个类别 y_i 的 C.R. 值均小于 0.1, 符合一致性检验。

表 7 各配方功能类别的特征指标权重 (Z_{ij}) 及一致性检验
Tab.7 Characteristic index weight (Z_{ij}) and consistency test of each formula function category

指 标	类别 1	类别 2	类别 3	类别 4	类别 5	类别 6	类别 7	类别 8	类别 9	类别 10
香气质	0.108	0.060	0.063	0.116	0.070	0.066	0.159	0.077	0.071	0.050
香气量	0.108	0.060	0.063	0.116	0.070	0.037	0.159	0.077	0.071	0.050
透发性	0.069	0.060	0.063	0.116	0.112	0.037	0.098	0.108	0.071	0.050
杂 气	0.108	0.107	0.117	0.116	0.112	0.104	0.098	0.077	0.071	0.098
细腻程度	0.108	0.107	0.085	0.074	0.040	0.104	0.051	0.037	0.112	0.071
柔和程度	0.108	0.107	0.085	0.074	0.040	0.104	0.051	0.037	0.112	0.071
圆润感	0.069	0.107	0.085	0.074	0.040	0.104	0.051	0.037	0.112	0.071
刺激性	0.069	0.107	0.117	0.074	0.112	0.104	0.032	0.056	0.112	0.158
干燥感	0.069	0.060	0.117	0.074	0.112	0.104	0.032	0.056	0.112	0.158
余 味	0.108	0.107	0.117	0.074	0.070	0.104	0.071	0.056	0.071	0.158
烟气浓度	0.040	0.060	0.044	0.045	0.112	0.066	0.098	0.191	0.042	0.032
浓劲比	0.040	0.060	0.044	0.045	0.112	0.066	0.098	0.191	0.042	0.032
最大特征根	12.027	12.000	12.025	12.205	12.278	12.028	12.284	12.027	12.031	12.024
C.I.	0.0025	0	0.0022	0.0186	0.0253	0.0026	0.0258	0.00251	0.00282	0.00220
C.R.	0.0016	0	0.0015	0.0122	0.0166	0.0017	0.0169	0.00165	0.00186	0.00144

通过每个配方功能类别中各特征的质量要求和特征指标权重, 计算适用性评价权重 S_{ij} , 由表 8 可知, 类别 1 的各项指标中香气质、香气量、细腻程度、柔和程度、杂气、余味等适用性评价权重较大; 类别 2 的各项指标中刺激性、细腻程度、柔和程度、圆润感、余味、杂气等适用性评价权重较大; 类别 3 的各项指标中刺激性、干燥感、余味、杂气、细腻程度、柔和程度、圆润感等适用性评价权重较大; 类别 4 的各项指标中香气质、香气量、透发性、杂气等适用性评价权重较大; 类别 5 的各项指标中刺激性、干燥感、杂气、浓劲比、透发性、烟气浓度等适用性评价权重较大; 类别 6 的各项指标中刺激性、干燥感、细腻程度、

柔和程度、圆润感、余味等适用性评价权重较大；类别 7 的各项指标中香气质、香气量、透发性、杂气、烟气浓度、浓劲比等适用性评价权重较大；类别 8 的各项指标中浓劲比、烟气浓度、透发性等适用性评价权重较大；类别 9 的各项指标中刺激性、干燥感、细腻程度、柔和程度、圆润感等适用性评价权重较大；类别 10 的各项指标中刺激性、干燥感、余味、杂气等适用性评价权重较大。

表 8 各配方功能类别的特征指标适用性评价权重 (S_{ij})
Tab.8 The application evaluation weight (S_{ij}) of the characteristic indexes of each formula function category

指 标	类别 1	类别 2	类别 3	类别 4	类别 5	类别 6	类别 7	类别 8	类别 9	类别 10
香气质	3.263	1.984	2.535	3.756	2.677	2.363	5.302	2.964	2.966	2.190
香气量	3.474	2.053	2.641	3.756	2.587	1.368	5.302	2.964	3.095	2.190
透发性	2.212	1.984	2.535	3.639	3.725	1.290	3.276	3.608	2.738	2.099
杂 气	3.263	3.456	3.884	3.529	3.854	3.349	3.276	2.753	2.455	3.265
细腻程度	3.365	3.571	3.268	2.552	1.609	3.845	1.819	1.613	4.303	2.945
柔和程度	3.365	3.571	3.268	2.467	1.609	3.845	1.819	1.613	4.303	2.945
圆润感	2.143	3.571	3.268	2.552	1.609	3.845	1.819	1.613	4.303	2.945
刺激性	2.449	4.121	4.855	2.847	4.859	4.325	1.243	2.230	4.865	6.888
干燥感	2.449	2.289	4.855	2.847	4.859	4.325	1.243	2.230	4.865	6.888
余 味	3.263	3.571	4.316	2.467	2.784	3.460	2.549	2.230	2.738	6.093
烟气浓度	1.326	2.053	1.777	1.366	3.386	2.135	3.276	5.788	1.628	1.273
浓劲比	1.326	1.984	1.481	1.127	3.725	2.206	3.276	6.367	1.411	1.061

2.3 不同功能类别的原料分配

选取 2020 年度江苏中烟调拨烟叶原料为样本,开展不同配方功能类别的烟叶原料分配和配方模块设计。结合表 4 对确定的 10 个配方功能类别进行重要程度排序和重要性组别划分,如表 9 所示,鉴于类别 1、4、7 起到赋予 3 个卷烟品类产品主体风格的作用,定为重要性组别最高的 X;鉴于类别 5、8 起到提升“南京”两个卷烟品类产品香气透发和满足感的作用,定

为重要性组别第 2 位的 N;鉴于类别 2、6、9 分别起到提升“苏烟”“南京”品类一的口感舒适度和“南京”品类二中平衡劲头等作用,定为重要性组别第 3 位的 P;鉴于类别 3、10 主要起到协调烟气的作用,定为重要性组别第 4 位的 T。并结合不同类别烟叶原料的总需求量和库存状况,分析确定本年度各配方功能类别的原料保障需求数量。

表 9 不同配方功能类别的重要程度排序、重要性组别划分及需求数量
Tab.9 Ranking of importance, division of importance groups and required quantity for different formula function categories

配方功能类别	重要程度排序	重要性组别	需求数量/万担
类别 1	1	X	≥30
类别 4	2		≥45
类别 7	3		≥50
类别 5	4	N	12-15
类别 8	5		23-30
类别 2	6	P	5-10
类别 6	7		3-5
类别 9	8		17-25
类别 3	9	T	2-4
类别 10	10		3-6

优先对重要程度排序第一的类别 1 进行原料分配。研究样品中有 19 个等级的原料预测类别在类别 1 中,此外还有部分等级的原料预测类别不在类别 1 中,但其 H₁≥100,如表 10 所示,在初步分类中仅有等级 1-1 到等级 1-16 的原料为类别 1 的基础保障原料,等级 1-17 到等级 1-19 的原料为类别 1 的不适用原料。而等级 1-1 到等级 1-16 的原料数量总和未达到类别 1

的最低需求量,因此还需要在类别 1 的动态平衡原料中进行原料选取。首先选取重要性组别 P 中、H₁数值较高的原料,按照 H₁数值大小,依次选取等级 2-1、等级 2-2、等级 2-3、等级 6-1、等级 2-4、等级 2-5、等级 2-6.....到类别 1 的基础保障原料内。选取到等级 2-6 时,类别 1 的基础保障原料的数量已经超过其最低需求量,因此停止选取。

表 10 类别 1 的烟叶原料分配
Tab.10 Tobacco raw material allocation for Category One

重要性 组别	预测 类别	烟叶等级编号	适用性分值		适用性指 数 SY	初步分类	最终分类
			H ₄	H _i (i=6,2,4)			
X	类别 1	等级 1-1	108.86		100		
		等级 1-2	108.60		100		
		等级 1-3	107.51		100		
		等级 1-4	107.45		100		
		等级 1-5	107.20		100		
		等级 1-6	106.86		100		
		等级 1-7	106.46		100		
		等级 1-8	106.00		100	类别 1 的基础保障原料	类别 1 的基础保障原料
		等级 1-9	105.29		100		
		等级 1-10	104.49		100		
		等级 1-11	104.27		100		
		等级 1-12	101.95		100		
		等级 1-13	101.44		100		
		等级 1-14	101.03		100		
		等级 1-15	100.86		100		
		等级 1-16	100.84		100		
		等级 1-17	99.22		84.62		
		等级 1-18	97.43		84.62	类别 1 的不适用原料	类别 1 的不适用原料
		等级 1-19	97.24		84.62		
P	类别 6	等级 6-1	104.19	115.84	100		类别 1 的基础保障原料
		等级 6-2	101.76	112.29	100		
		等级 6-3	101.01	113.97	100		类别 1 的动态平衡原料
		等级 6-4	100.77	113.31	100		
	类别 2	等级 2-1	105.10	111.73	100		
		等级 2-2	104.78	111.53	100		
		等级 2-3	104.69	111.59	100		
		等级 2-4	103.08	109.75	100		类别 1 的基础保障原料
		等级 2-5	103.02	109.71	100		
		等级 2-6	102.33	108.98	100		
		等级 2-7	101.80	108.42	100	类别 1 的动态平衡原料	
		等级 2-8	101.66	107.17	100		类别 1 的动态平衡原料
		等级 2-9	101.52	108.01	100		
		等级 2-10	100.56	107.32	100		
	类别 4	等级 4-1	106.76	110.25	100		
		等级 4-2	106.84	110.08	100		
		等级 4-3	105.28	108.57	100		
		等级 4-4	104.81	107.41	100		
		等级 4-5	102.80	105.59	100		类别 1 的动态平衡原料
		等级 4-6	100.68	104.43	100		
		等级 4-7	100.48	103.60	100		
		等级 4-8	100.31	103.46	100		

对重要程度排序第二的类别 4 进行原料分配。预测类别为类别 4 的原料的适用性分值 H_4 和适用性指数, 以及预测类别不为类别 4, 但 $H_4 \geq 100$ 的原料的适用性分值和适用性指数计算结果如表 11 所示, 初步分类中等级 4-9 到等级 4-14 的原料为类别 4 的基础保障原料, 等级 4-15 到等级 4-19 的原料为类别 4 的不适用原料。而等级 4-9 到等级 4-14 的原料数量总和未达到类别 4 的最低需求量。因此首先选取类别 1 的不

适用原料中 $H_4 \geq 100$ 的原料, 即将等级 1-17、1-18、1-19 调整到类别 4 的基础保障原料中。然后选取类别 4 的动态平衡原料中预测类别的重要性组别较低、 H_4 数值较高的原料, 选取 P (类别 6 和类别 2) 中的原料, 按照 H_4 数值大小由高到低依次选取。同理, 依次在 N (类别 5)、X (类别 7) 中进行原料选取, 直至类别 4 的基础保障原料数量达到其最低需求量。

表 11 类别 4 的烟叶原料分配
Tab.11 Tobacco raw material allocation for Category Four

重要性组别	预测类别	烟叶等级编号	适用性分值		适用性指数 SY	初步分类	最终分类
			H ₄	H _i (i=6,2,5,7,1)			
X	类别 4	等级 4-9	102.66		84.62	类别 4 的 基础保障原料	类别 4 的 基础保障原料
		等级 4-10	100.94		84.62		
		等级 4-11	101.28		84.62		
		等级 4-12	101.07		84.62		
		等级 4-13	100.81		84.62		
		等级 4-14	102.55		84.62	类别 4 的 不适用原料	类别 4 的 不适用原料
		等级 4-15	98.63		69.23		
		等级 4-16	98.22		69.23		
		等级 4-17	96.76		61.54		
		等级 4-18	97.30		61.54		
		等级 4-19	94.00		53.85		
P	类别 6	等级 6-5	100.27	109.64	84.62	类别 4 的 动态平衡原料	类别 4 的 基础保障原料
		等级 6-6	100.05	107.50	84.62		
		等级 6-7	100.07	108.60	84.62		
		等级 6-8	100.20	107.80	84.62		
	类别 2	等级 2-11	102.04	104.15	84.62		
		等级 2-12	100.59	105.79	84.62		
N	类别 5	等级 5-1	100.89	112.96	84.62		
X	类别 7	等级 7-1	100.37	106.75	84.62		
	类别 1	等级 1-17	102.38	99.22	84.62	类别 1 的 不适用原料	类别 4 的 基础保障原料
		等级 1-18	100.86	97.43	84.62		
		等级 1-19	100.73	97.24	84.62		

对预测类别 7 的原料进行分配，从而完成了重要性组别 X 中全部功能类别的烟叶原料分配调整，并根据以上原则依次进行重要性组别 N、P、T 中功能类别的烟叶原料分配。最终，结合烟叶原料的功能类别分配，辅助设计 2020 年度打叶复烤配方模块，如表 12

所示，设计形成了 100 个打叶复烤配方模块，包含基础保障配方模块 62 个，动态平衡配方模块 29 个，卷烟品牌定向配方模块 9 个。配方模块的品牌适用性得到有效提升，模块规模进一步做大。

表 12 2020 年度烟叶原料的打叶复烤配方模块设计
Tab.12 Formulation module design for threshing and redrying of tobacco raw materials in 2020

配方功能类别	基础保障库 模块个数	动态平衡库 模块个数	卷烟品牌	定向模块个数
类别 1	8	4	“南京” 品类一某品牌	3
类别 4	9	6	“南京” 品类二某品牌	4
类别 7	10	5	“苏烟” 品类一某品牌	2
类别 5	5	3		
类别 8	6	3		
类别 2	5	3		
类别 6	3	2		
类别 9	10	3		
类别 3	3	/		
类别 10	3	/		
小计	62	29		9

重要性组别为 N 的配方功能类别中,基础保障原料的数量大于等于最低需求量、且小于等于最高需求量的同时,动态平衡原料的数量需要大于等于最高需求量;重要性组别为 P、T 的配方功能类别中,基础保障原料的数量可以为 0,但动态平衡原料的数量应大于等于最低需求量;重要性组别 N、P、T 的配方功能类别的基础保障原料数量大于其最大需求量时,应根据原料的配方功能和适用性分值,通过烟叶分选等相关原料品质补偿技术进行针对性的品质调控以提高其适用性分值,作为更高重要程度排序的配方功能类别的动态平衡原料使用。

3 结论与讨论

本研究根据“苏烟”“南京”不同卷烟品牌的风格特色确定了 10 个配方功能类别,利用香气质、香气量、透发性、杂气、细腻程度、柔和程度、圆润感、刺激性、干燥感、余味、烟气浓度和浓劲比等 12 个烟叶样本特征指标构建烟叶原料的配方功能预测模型;根据不同配方功能类别的质量要求确定各特征指标适用性评价权重,建立烟叶原料的适用性评价方法;最后,结合卷烟品牌原料保障需求和调拨原料的数量,实现了对年度调拨烟叶原料的配方功能类别分配,确定不同类别的基础保障原料和动态平衡原料,辅助完成打叶复烤配方模块设计工作。

在前人研究基础上,本研究方法的创新点主要体现在以下 3 个方面,在功能化方面,可以通过原料内在质量精准分析,将配方功能一致、适用指数相近的烟叶等级进行组配设计,形成规模适度、功能明确的配方模块;在定制化方面,可以前移卷烟叶组配方设计关口,以规模扩充、风格集并、功能互补为导向,组配设计符合特定规格卷烟质量和数量需求的定制化配方模块;在动态化方面,深挖配伍性较强片烟模块的应用场景,构建可适用多重配方功能的动态平衡原料库,形成原料保障的“蓄水池”,最大程度发挥烟叶的使用价值。

综上,本研究针对当前烟叶原料模块结构设计与使用效率已无法适应各种卷烟品类的配方需求的矛盾,提出可实施性解决方案。该预测和分配方法可适用于国内烤烟和进口烤烟等原料,在针对其他卷烟品牌进行原料预测和分配时,需结合其产品风格,对烟叶原料的功能类别划分及其质量要求进行调整。

本研究对卷烟叶组配方进行功能分类,并建立烟

叶分配预测模型,但还需要进一步的优化和配方验证。在“烟叶感官质量评价方法”中,可增加品牌适用性评价指标,该指标与本研究模型预测的配方功能类别进行校对,以提高模型应用的准确性。或随着质量评价方法的进一步优化,在烟叶样本的特征指标中增加较为客观的质量指标,强化预测模型的客观性。同时,在研究中发现,存在部分原料样品在任意类别下的适用性分值 H_i 均小于 100,导致其适用性指数为 0,对于该部分原料还需要进行更加深入的配方掺配技术或针对性的品质补偿技术研究,提高其品质后再进行评价和使用。

参考文献

- [1] 郭科,薛源,胡丹,等. 基于组合优化的卷烟叶组配方设计[J]. 中国烟草学报, 2007(2): 21-23, 32.
GUO Ke, XUE Yuan, HU Dan, et al. Designing cigarette blending formulation based on combined optimization[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2007(2): 21-23, 32.
- [2] 杨乾彬,冯斌,杨清,等. 烟叶配比感官质量模型在叶组配方设计中的应用与分析[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(7): 756-761.
YANG Qianxu, FENG Bin, YANG Qing, et al. Application and analysis of tobacco leafs ratios-sensory quality model in tobacco blend[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(7): 756-761.
- [3] 于录,阮晓明,卢在雨,等. 叶组配方的分组加工模块设计[J]. 烟草科技, 2006(7): 11-13, 21.
YU Lu, RUAN Xiaoming, LU Zaiyu, et al. Method of grouping a tobacco blend for optimization of processing[J]. Tobacco Science & Technology, 2006(7): 11-13, 21.
- [4] 龙明海,李长昱,向虎,等. 支持向量机在卷烟配方原料分组中的应用[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2017, 32(6): 1045-1051.
LONG Minghai, LI Changyu, XIANG Hu, et al. Applications of support vector machine in tobacco blend grouping of Chinese type cigarette[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2017, 32(6): 1045-1051.
- [5] 王晓辉,易斌,谭国治,等. 基于烟叶原料化学特性的卷烟配方叶组分组方法[J]. 烟草科技, 2013(3): 5-7, 22.
WANG Xiaohui, YI Bin, TAN Guozhi, et al. Method for Grouping Tobacco in a Blend Based on Chemical Properties Thereof[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(3): 5-7, 22.
- [6] 张天兵,付金存,胡宗玉,等. 基于逐步判别分析的卷烟叶组配方的定向模块设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 256-260.
ZHANG Tianbing, FU Jincun, HU Zongyu, et al. Oriented module design for cigarette blend based on stepwise discriminant analysis[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(3): 256-260.
- [7] 中国卷烟销售公司. 2016 年全国卷烟市场分析[R]. 中国烟草, 2017, 594(5): 62-65.
China Cigarette Sales and Marketing Corporation. Analysis of national cigarette market in 2016[R]. China Tobacco, 2017, 594(5): 62-65.
- [8] 赵宸楠. 细支烟开发研究进展[J]. 轻工科技, 2017, 33(10): 12-13.

- ZHAO Chennan. Research progress in the development of fine cigarette[J]. Light Industry Science and Technology, 2017, 33(10): 12-13.
- [9] VENKATADRI M, LOKANATHA R C. A review on data mining from past to the future[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 15(7): 19-22.
- [10] 谢剑平. 形势与未来: 烟草科技发展展望[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 1-7.
- XIE Jianping. On the Development Prospects of Tobacco Science and Technology in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(3): 1-7.
- [11] FENG Tianjin, MA Lintao, DING Xiangqian, et al. Intelligent Techniques for Cigarette Formula Design[J]. Mathematics & Computers in Simulation, 2007, 77(5): 476-486.
- [12] 王涛. SVM 在配方感官评估中的应用[J]. 微计算机信息, 2010, 26(10): 236-238.
- WANG Tao. Application on SVM in Formulating Sensory Evaluation[J]. Microcomputer Information, 2010, 26(10): 236-238.
- [13] 石子健, 汤建国, 张忠良, 等. 多分类器集成系统在卷烟感官评估中的应用[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(1): 24-31.
- SHI Zijian, TANG Jianguo, ZHANG Zhongliang, et al. Application of Multiple Classifier Systems in Cigarette Sensory Evaluation[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2016, 22(1): 24-31.
- [14] 雒兴刚, 王楠, 张忠良, 等. 关联规则挖掘方法在智能卷烟配方维护中的应用[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(3): 21-29.
- LUO Xinggang, WANG Nan, ZHANG Zhongliang, et al. Application of association rule mining method to intelligent maintenance of tobacco blend of cigarette[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(3): 21-29.
- [15] 贾俊平. 统计学(第三版)[M]. 中国人民大学出版社, 2009: 306-313.
- JIA Junping. Statistics(3rd ed.)[M]. China Renmin University Press, 2009: 306-313.
- [16] 蒲虎. Kruskal-Wallis 检验原理介绍及其应用[J]. 兴义民族师范学院学报, 2019(4): 108-111.
- PU Hu. Introduction and application of Kruskal-Wallis test principle[J]. Journal of Xingyi Normal University for Nationalities, 2019(4): 108-111.
- [17] 赵莹. 支持向量机中高斯核函数的研究[D]. 华东师范大学, 2007.
- ZHAO Ying. Research on Gaussian kernel function in support vector machine[D]. East China Normal University, 2007.
- [18] 陶卿, 曹进德, 孙德敏. 基于支持向量机分类的回归方法[J]. 软件学报, 2002(5): 1024-1028.
- TAO Qing, CAO Jinde, SUN Demin. A regression method based on the support vectors for classification[J]. Journal of Software, 2002(5): 1024-1028.
- [19] 孙挺, 杨明明, 耿国华, 等. 结合评估函数和 Boosting 的特征选择方法[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2008(2): 78-80.
- SUN Ting, YANG Mingming, GENG Guohua, et al. A term selection algorithm combining the evaluation function and Boosting[J]. Journal of Henan Institute of Engineering (Natural Sciences), 2008(2): 78-80.
- [20] Robert E. Schapire, Yoram Singer. Improved boosting algorithms using confidence-rated predictions[J]. Machine learning, 1999, 37(3): 297-336.
- [21] 陈海生, 刘国顺, 刘大双, 等. GIS 支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2425-2433.
- CHEN Haisheng, LIU Guoshun, LIU Dashuang, et al. Studies on comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan province supported by GIS[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 2425-2433.
- [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 Jialei, LU Yang, SU Yan, et al. Chemical characteristics and usability of flue-cured tobacco growing in main tobacco producing areas in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(2): 13-27.

Exploration of dynamic equilibrium prediction and distribution method of tobacco raw materials based on formula function

TIAN Zhen, XU Qiang, MIAO Chenlin, SUN Jinhao, LI Shaopeng, HE Hongmei, XU Ruyan, HU Zongyu*

Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing 210019, China

Abstract: [Objective] This study aims to alleviate the structural contradiction of tobacco raw material supply caused by the rapid growth of new cigarette scale and to realize the dynamic equilibrium of timely deployment, timely optimization, timely satisfaction of tobacco raw materials. [Methods] The flue-cured tobacco leaves purchased from China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd. were used as the research material. This paper constructed a formula function prediction model by using Support Vector Machine (SVM) and Radial Basis Function (RBF), established the applicability evaluation method of tobacco leaf by using Analytic Hierarchy Process (AHP), and then identified the basic support materials and dynamic equilibrium materials for the different formula function categories. [Results] Ten formula function categories of cigarettes produced in Jiangsu were determined, and the applicability score and applicability index of tobacco raw materials were calculated with 12 characteristic indexes (aroma quality, aroma quantity, smoke concentration, the ratio of concentration to strength, etc.). Further, according to the formula function category, the allocation of allocated tobacco leaves in 2020 was completed, and 100 formulation modules for threshing and redrying were designed. [Conclusion] In this study, a dynamic equilibrium prediction and distribution method of tobacco raw materials based on formula function was established. This method can effectively guide the formulation module design for tobacco raw materials in a certain functional category or tobacco raw materials of the same brand but in different functional categories.

Keywords: tobacco raw material; dynamic equilibrium; formula function; quality index

*Corresponding author. Email: huzy@jszygs.com