

灰色系统理论 在烟草质量评价中的应用

李东亮 冯广林 李刚 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灰色系统理论

在烟草质量评价中的应用

李东亮 冯广林 李刚 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书针对烟草质量评价中评价指标较多、关键指标难以确定、定性描述指标量化困难、客观检验标准缺乏、未知信息众多的特点,引入灰色系统理论的评价方法,通过实例介绍了灰色系统理论在烟草质量评价中的具体应用。全书在简要介绍灰色系统理论概念和烟叶质量评价知识的基础上,重点介绍了灰色关联、灰色优势分析、灰色聚类、灰色统计和灰色系统模型在烟叶质量评价中的应用。本书可作为高等院校烟草专业、烟草行业职工技术培训教材,也可作为烟草生产企业技术人员、管理人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

灰色系统理论在烟草质量评价中的应用 / 李东亮,
冯广林, 李刚著. -- 北京: 中国水利水电出版社,
2013.4

ISBN 978-7-5170-0698-5

I. ①灰… II. ①李… ②冯… ③李… III. ①灰色系
统理论—应用—烟草质量化学—研究 IV. ①TS41

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第082606号

书 名	灰色系统理论在烟草质量评价中的应用
作 者	李东亮 冯广林 李 刚 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 8印张 190千字
版 次	2013年4月第1版 2013年4月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

目 录

序

前言

第 1 章 灰色系统理论的概念与基本原理	1
1.1 灰色系统的基本概念	1
1.2 灰色系统的基本原理	2
1.3 灰色系统理论的主要内容	3
1.4 几种不确定性方法的比较	4
第 2 章 烟叶质量评价基础	5
2.1 烟叶质量评价概念	5
2.2 烟叶质量评价的指标体系	6
2.3 烟叶质量评价现状	7
2.4 烟叶质量评价面临的难题	8
2.5 传统烟叶质量评价方法的局限性	9
第 3 章 灰色关联在烟叶质量评价中的应用	11
3.1 烟叶化学成分与感官质量之间的关系	11
3.2 烤烟化学成分与感官质量的灰色绝对关联分析	12
3.3 烤烟多酚、多元有机酸及高级脂肪酸与感官质量的灰色绝对关联分析	15
3.4 烤烟酸性香味成分与感官质量的灰色绝对关联分析	16
3.5 烤烟中性香味成分与感官质量的灰色绝对关联分析	17
3.6 烟叶产区化学成分相似性的灰色关联分析	19
第 4 章 灰色优势分析在烟叶质量评价中的应用	27
4.1 感官质量与中性香味成分的灰色优势分析	28
4.2 感官质量与酸性香味成分的灰色优势分析	30

4.3 感官质量与多酚、多元有机酸和高级脂肪酸的灰色优势分析 31

4.4 感官质量与常规化学成分的灰色优势分析 32

第5章 灰色聚类在烟叶质量评价中的应用 34

5.1 基于化学成分烟叶产区灰色等权聚类 34

5.2 烟叶化学成分指标的灰色关联聚类 41

5.3 卷烟质量稳定性的灰色关联聚类 45

第6章 灰色统计在烟叶质量评价中的应用 52

6.1 确定统计对象、指标和灰类 52

6.2 确定各化学成分指标不同灰类的白化函数 52

6.3 计算各化学成分指标不同灰类的统计系数 55

6.4 判断各指标统计系数的灰类 56

6.5 结论与讨论 56

第7章 灰色系统模型在烟叶质量评价中的应用 58

7.1 烟叶醇化过程糖碱比、氮碱比的GM(1, 1)灰色预测模型 59

7.2 烟叶感官质量的GM(1, N)灰色预测模型 63

7.3 烟叶感官质量的GM(1, N)—BP神经网络预测模型 76

第8章 基于灰色系统理论的烟叶质量综合评价模型 88

8.1 基于化学成分的烟叶相似性综合评价模型 89

8.2 西南烟草种植区川渝烤烟相似性综合评价 91

8.3 基于化学成分的烟叶相似性综合评价计算机系统 111

参考文献 115

第1章 灰色系统理论的概念与基本原理

灰色系统理论是以“部分信息已知，部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象，通过对“部分”已知信息的生成、开发，提取有价值的信息，实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控的研究方法，是现代系统科学的重要组成部分。

人类对客观世界的认知是一个无限的过程，受所处社会时代科学技术发展水平的限制，这种认知行为多是不完全、不全面的。很多情况下，人们所得到的信息往往带有某种不确定性。随着科学技术的发展和人类社会的进步，人们对各类系统不确定性的认识逐步深化，对不确定性系统的研究也日益深入。1982年，北荷兰出版公司的《控制与控制通讯》杂志和《华中工学院学报》分别刊登了中国学者邓聚龙教授的灰色系统的控制问题和灰色控制系统两篇论文，标志着灰色系统理论的创立，作为一种研究少数据、贫信息不确定性问题的新方法得到快速发展。灰色系统理论作为一门新兴横断学科经过20年的发展已初步建立了学科的基本的结构体系，主要内容包括了以灰色哲学为基础的思想体系，以灰色代数系统、灰色方程、灰色矩阵为基础的理论体系，以灰色序列生成为基础的方法体系，以灰色关联空间为依托的分析体系，以灰色模型（GM）为核心的模型体系，以系统分析、评估、建模、预测、决策、控制、优化为主体的技术体系。

1.1 灰色系统的基本概念

在控制论中，研究者常借助颜色的深浅表示对系统内部信息和对系统本身的了解及认识程度。“黑”表示信息完全缺乏，“白”表示信息完全，“灰”表示信息不充分、不完全。“黑”、“白”、“灰”是相对于一定认识层次而言的，因而具有相对性，灰、白在一定程度上会随认知程度不同而发生转化。相应地，信息完全明确的系统称为白色系统，属于全开放性的系统；信息未知的系统称为黑色系统，属于全封闭性的系统；部分信息明确、部分信息不明确的系统称为灰色系统，属于开放半封闭性系统。灰色系统理论中，系统信息的不完全情况可分为以下4种形式：

- (1) 元素（参数）信息不完全。
- (2) 结构信息不完全。
- (3) 边界信息不完全。

(4) 运行行为信息不完全。

系统是指客观世界中相同或相似的事物按照一定的秩序相互关联、相互制约的整体，其与控制论中常提到的“箱”在概念上存在根本区别，控制论中常将所不知道的区域称为“黑箱”，通过研究“黑箱”的输入输出关系或者因果关系确定研究对象的功能和特征，侧重于外部特征的研究而忽视对其内部信息的开发利用。“系统”则通过对象、要素、环境三者之间的有机联系和变化规律研究其结构和功能。

灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统，它通过对“部分”已知信息的生成、开发实现对现实世界的确切描述和认识。

1.2 灰色系统的基本原理

灰色系统的基本原理主要包括差异信息原理、解的非唯一性原理、最少信息原理、认知根据原理、新信息优先原理、灰性不灭原理。

公理 1（差异信息原理）“差异”是信息，凡信息必有差异。

说“事物 A 不同于事物 B”，即含有事物 A 不同于事物 B 之特殊性的有关信息。客观世界中万事万物之间的“差异”提供了认识世界的基本信息。

信息改变了我们对某一复杂事物的看法和认识，信息与人们对该事物的原认识信息有差异。科学研究中的重大突破为人们提供了认识世界、改造世界的重要信息，这类信息与原来的信息必有差异。信息的信息含量越大，它与原信息的差异就越大。

公理 2（解的非唯一性原理）信息不完全、不确定情况下的解是非唯一的。

“解的非唯一性原理”在决策上的体现是灰靶思想。灰靶是目标非唯一性与目标可约束的统一。例如，升学填报志愿，一个认定了“非某校不上”的考生，如果考分不具有绝对优势，其愿望就很可能落空。相同条件对于愿意退而求其“次”，多目标、多选择的考生，其升学的机会更多。

“解的非唯一性原理”也是目标可接近、信息可补充、方案可完善、关系可协调、思维可多向、认识可深化、途径可优化的具体体现。在面对多种可能的解时，能够通过定性分析，补充信息，确定出一个或几个满意解。因此，“非唯一性”的求解途径是定性分析与定量分析相结合的求解途径。

公理 3（最少信息原理）灰色系统理论的特点是充分开发利用已占有的“最少信息”。

“最少信息原理”是“少”与“多”的辩证统一，灰色系统理论的特色是研究“小样本”、“贫信息”不确定性问题。其立足点是“有限信息空间”，“最少信息”是灰色系统的基本准则。所能获得的信息“量”是判别“灰”与“非灰”的分水岭，充分开发利用已占有的“最少信息”是灰色系统理论解决问题的基本思路。

公理4（认知根据原理）信息是认知的根据。

认知必须以信息为依据，没有信息，无以认知。以完全、确定的信息为根据，可以获得完全确定的认知，以不完全、不确定的信息为根据，只能得到不完全、不稳定的灰认知。

公理5（新信息优先原理）新信息对认知的作用大于老信息。

“新信息优先原理”是灰色系统理论的信息观，赋予新信息较大的权重可以提高灰色建模、灰色预测、灰色分析、灰色评估、灰色决策等的功效。“新陈代谢”模型体现了“新信息优先原理”。新信息的补充为灰元白化提供了科学依据。“新信息优先原理”是信息的时效性的具体体现。

公理6（灰性不灭原理）“信息不完全”（灰）是绝对的。

信息不完全、不确定具有普遍性。信息完全是相对的、暂时的。原有的不确定性消失，新的不确定性很快出现。人类对客观世界的认识，通过信息的不断补充而一次又一次地升华。信息无穷尽，认知无穷尽，灰性永不灭。

1.3 灰色系统理论的主要内容

灰色系统理论作为一门新兴学科经过20年的发展，已建立起基本的学科结构体系，其研究内容涵盖了以灰色哲学为基础的思想体系；以灰色代数系统、灰色方程、灰色矩阵为基础的理论体系；以灰色序列生成为基础的方法体系；以灰色关联空间为依托的分析体系；以灰色模型（GM）为核心的模型体系；以系统分析、评估、建模、预测、决策、控制、优化为主体的技术体系。

灰数及其运算是灰色系统理论的基础。多年来，灰色系统理论中关于灰数运算与灰代数系统、灰色矩阵、灰色方程、灰函数的研究一直是学者研究的热点，但都未取得满意的结果。

灰色序列生成主要包括缓冲算子（弱化缓冲算子、强化算子）、均值生成算子、级比生成算子、累加生成算子和累减生成算子等内容。

灰色系统分析包括灰色关联分析、灰色聚类评估和灰色统计评估等内容。

灰色模型（GM）是研究如何从一个不甚明确的、整体信息不足的系统中抽象并建立起一个模型，从而使灰色系统的因素由不明确向明确转变。灰色模型通常按照五步建模思想构建，通过灰色生成或序列算子的作用弱化随机性，挖掘潜在的规律，经过差分方程与微分方程之间的互换，实现了利用离散的数据序列建立连续的动态微分方程模型的新飞跃。

灰色预测是基于GM模型作出的定量预测，按照其功能和特征可分成数列预测、区间预测、灾变预测、季节灾变预测、波形预测和系统预测等几种类型。

灰色组合模型包括灰色经济计量学模型（G-E）、灰色生产函数模型（G-C-

D)、灰色马尔可夫模型 (G-M)、灰色时序组合模型等。

灰色决策包括灰靶决策、灰色关联决策、灰色统计、聚类决策、灰色局势决策和灰色层次决策等。

1.4 几种不确定性方法的比较

概率统计、模糊数学和灰色系统理论是三种最常用的不确定性系统研究方法。其研究对象都具有某种不确定性，这是三者的共同点，正是研究对象在不确定性上的区别，派生出三种各具特色的不确定性学科。

模糊数学着重研究“认知不确定”问题，其研究对象具有“内涵明确、外延不明确”的特点。例如，“年轻人”就是一个模糊概念，虽然每一个人都十分清楚“年轻人”的内涵，但是要让你划定一个确切的范围，在这个范围之内的是年轻人，范围之外的都不是年轻人，则很难办到，因为年轻人这个概念外延不明确。对于这类内涵明确、外延不明确的“认知不确定”问题，模糊数学主要是凭经验借助于隶属函数进行处理。

概率统计研究的是“随机不确定”现象，着重于考察“随机不确定”现象的历史统计规律，考察具有多种可能发生的结果之“随机不确定”现象中每一种结果发生的可能性大小。其出发点是大样本，并要求对象服从某种典型分布。

灰色系统理论着重研究概率统计、模糊数学所难以解决的“小样本”、“贫信息”不确定性问题，并依据信息覆盖，通过序列算子的作用探索事物运动的现实规律。其特点是“少数据建模”。与模糊数学不同的是，灰色系统理论着重研究“外延明确，内涵不明确”的对象。

第2章 烟叶质量评价基础

烟草是重要的经济作物，在农业经济和国际贸易中占有重要地位。目前普遍认为烟草起源于美洲，在北纬 60°到南纬 40°范围内均有种植，但在国际贸易中居重要地位的生产国则介于北纬 45°到南纬 30°之间。全世界每年烟草种植面积在 400 万 km² 左右，总产量 600 万 t。1997 年，世界烟草产量达到了 772 万 t 的最高水平，除中国外，2011 年世界烤烟产量为 215.7 万 t、白肋烟产量为 79.6 万 t、香料烟产量为 22.1 万 t、晾晒烟产量为 12.8 万 t，分别比 2010 年增长 3.3%、4.7%、-10.9%和 2.4%。巴西、印度成为继中国之后的第二、第三大烟叶生产国。

烟草行业作为国民经济的重要组成部分在许多国家的经济和社会生活中占有十分重要的地位，为这些国家的经济发展做出了重要贡献。目前，全球共有 132 个国家和地区生产卷烟。2011 年世界烟草市场消费总额约为 6900 亿美元，其中卷烟消费总额约为 6300 亿美元，其他烟草制品消费总额约为 600 亿美元，世界人均烟草消费支出约为 100 美元，为各国政府上缴的直接税收为 2530 亿美元（仅指消费税），全世界烟草制品的消费者有 13 亿人，其中有 9 亿多人生活在发展中国家。

2.1 烟叶质量评价概念

烟草属于茄科烟草属红花烟草种，一般是一年生作物，具有浅的须根系。与其他作物相比，烟草的主要特性之一就是具有巨大的叶面积，在适宜的条件下，充分成熟的叶片，其面积平均为 929~1394cm²。烟草与其他作物的主要区别在于烟草叶片热解燃烧后形成的烟气能为人们所吸食，满足人体的某种特殊需求。烟叶的许多物理、化学特性都能影响其燃烧性，从而影响烟制品的热解产物。烟叶的化学组分是由遗传特性、栽培措施、气候条件和调制技术等多种因素决定的。烟草种之间主要化学组分含量有较大差异，田间管理，诸如行株距、打顶等，都能极大地影响烟叶的化学组成，烟叶的成熟度、采收调制技术是影响烟叶化学成分、烟叶质量及可用性的最重要因素。

质量是一个相对的术语，它将随时间、地点和主体的不同而变化。烟草的质量体现出某个产品中那些必要性状的均衡，以迎合一定时间和地点的特定消费者群体的爱好。烤烟质量是指生产的烟叶在烟制品中的使用价值，它是烟叶和卷烟生产者共同追求的最重要的目标。朱尊权院士指出，烟叶的质量定义应该是：“适合卷烟需

要的物理性质和化学性质”，用“可用性”一词比用“质量”一词更为合适，而烟叶的可用性实质上就是重点品牌对原料的需求。左天觉认为，烟叶可用性的意思是烟叶质量加上安全性的改进，烟叶质量也可以被认为是合意性或可用性。因此，烟叶质量评价在某种意义上也可以说是烟叶合意性或可用性评价，它强调烟叶对烟草工业企业的实际应用价值，以及烟叶质量评价结果对烟草工业企业卷烟生产的实际指导价值。

2.2 烟叶质量评价的指标体系

烟叶质量评价是一个综合概念，其包括外观质量、物理特性、化学成分、评吸质量（感官质量）和安全性五个评价指标体系。

外观质量主要指视觉、触觉直接识别的烟叶外在特征，包括烟叶的大小、完整性、颜色、部位、成熟度、叶片结构、身份、油分、色度和残伤等，是烟叶质量评价的基础，也是生产中烟叶分级的主要依据。一般认为优质烟叶的外观质量特征应具备叶片成熟度好、叶组织疏松、叶片厚度适中、颜色金黄或橘黄、油分足、光泽强等。

物理特性包括烟叶的外部形态和物理性能，主要包括叶片形状、含梗率、叶面密度、填充性、弹性、平衡水分、燃烧性和厚度，是反映烟叶的耐加工性和烟叶使用经济性的主要指标。

化学成分主要指烟叶中各类有机物、无机物的种类、含量及相互间的比例关系。烟叶化学成分包括烟碱、糖类化合物、蛋白质、有机酸、无机组分等。对烟叶化学成分评价应用较多的是用烟叶化学成分含量的比值来作为烟叶质量的评价指标。例如，糖氮比、糖碱比、氮碱比、施木克值、钾氯比、Bruckner 品质指数、C. Pyrki 品质指数、烟碱与总挥发碱的氮当量的比值、尼古丁值（总烟碱/游离烟碱）、多酚值（多酚/总还原性物质的比值）、氮值（烟碱氮/氮氮量）、芳香值〔多酚/（蛋白质氮量+氮氮量）〕等。

评吸质量是评吸人员依据味觉、嗅觉感觉器官借助自身经验对烟叶抽吸后的评价指标，反映了烟叶通过燃烧所产生的烟气的特征特性。主要包括香气类型、香气质、香气量、浓度、劲头、刺激性、杂气、余味等。

烟叶安全性主要包括健康和机械两个方面的安全问题。健康安全性主要指烟叶焦油生成量、农药残留量、重金属离子含量和霉菌污染等情况；机械安全性是指烟叶如混有金属物质或其他硬质物质，在卷烟加工过程中会对高速运转的卷烟机械造成损害，影响生产的顺利进行，并造成重大损失。

2.3 烟叶质量评价现状

受多方面技术条件限制,外观质量和感官质量评价是目前采用较多的烟叶质量评价方法,但由于这两种评价方法存在诸多主观因素,很难保证烟叶质量评价的客观性、准确性。随着现代分析测试技术的不断发展,烟草化学成分和物理特性逐步进入现代烟草质量评价体系,烟草化学成分含量及比值关系成为烟草质量评价的重要参考指标,但由于烟草化学成分的复杂性,仅仅依靠几种、十几种简单成分的组合指标难以全面反应烟草的综合质量。例如,目前烤烟中将淀粉含量作为判断质量的一项重要指标,国际优质烟叶要求淀粉含量在3%以下。一般认为糖分含量高的烟叶的吸味品质高于糖分含量低的烟叶。蛋白质是影响烟叶吸味的不良因素,蛋白质在高温分解时,会产生一种不良吸味,刺激口、鼻。一般质量好的烟叶,其蛋白质含量在7%~9%。总挥发碱是不利于烤烟吸味的成分,含量高,刺激性增大,对吸味不利。

为全面完善烟草质量评价方法,《烟草行业中长期科技发展规划纲要(2006—2020年)》将烟叶可用性评价确定为优先主题,重点研究烟叶外观质量、物理特性、化学特性、感官质量评价;烟叶质量评价标准;烟叶化学成分快速检测技术;转基因烟草安全性评价等。建立完善了行业共享的《烟叶主要化学成分数据库》、《卷烟产品品质及设计分析数据库》、《烟草及烟气全成分分析数据库》等行业数据库,为烟叶质量评价提供基础数据。

目前烟叶质量评价采用的主要方法多是建立在样本数量大、特征信息全面的基础上,其一般分析过程首先从五大指标体系中筛选出用于烟叶质量评价的指标,然后划分某一指标的分值区域,即在烟叶外观与感官质量的定性描述,化学成分和物理特性的定量检测基础上,对各指标体系中的各单项指标划分分值区域,然后进行打分。各项指标的档次划分以国内外多年来总结的最适宜范围为最高档次,给予满分,高于或低于此范围的则按程度相应降低分值。其次,依据各单项指标的相对重要性大小分层确定相应的权重。一般依据以下公式计算烟叶样本各指标得分及其综合得分。

以烟叶外观质量为例,设有 n 个烟叶样本($n=1, \dots, i$),每个烟叶样本测定 m 个外观指标($m=1, \dots, j$), S_{ij} 和 W_{ij} 分别表示第 i 个烟叶样本、第 j 个指标的得分和相应的权重系数,则第 i 个烟叶样本的外观质量得分(Appearance Quality Score, AQS)为:

$$AQS_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} \cdot S_{ij}$$

式中: i = 颜色、成熟度、结构、身份、油分、色度等,均按10分制进行打分,对

品质因素各档次赋以不同分值，质量越好，分值越高。

类似地，第 i 个烟叶样本的物理特性得分 (Physical Property Score, PPS)、化学成分可用性得分 (Chemical Components Usability Score, CCUS)、感观质量得分 (Sensory Quality Score, SQS) 分别为：

$$PPS_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} S_{ij}; CCUS_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} S_{ij}; SQS_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} S_{ij}$$

式中：物理特性、化学成分各指标分别以最适范围为 100 分，高于或低于该最适范围均依次降低分值。

呼吸指标可以原始数据为依据，结合各指标权重转换为百分制。则烟叶品质综合得分 (Tobacco Quality Comprehension Score, TQCS) 可表示为：

$$TQCS_i = W_{外观} \cdot AQS_i + W_{物理} \cdot PPS_i + W_{化学} \cdot CCUS_i + W_{感官} \cdot SQS_i$$

也有采用灰色系统分析、模糊理论分析、人工神经网络等综合评价方法作为烟叶质量评价的方法，是烟草质量指标体系样本量少、信息特征不全面时常采用的方法。

2.4 烟叶质量评价面临的难题

2.4.1 检测指标众多

烟叶质量评价指标体系一般包括 5 个方面的内容：烟叶外观质量、物理特性、化学成分、感官质量及安全性指标等。其中烟叶外观质量包括烟叶部位、长度、宽度、颜色、成熟度、叶片结构、身份、油分、色度和残伤等 10 个指标；烟叶物理特性包括叶片形状、含梗率、叶面密度、填充性、弹性、平衡水分、燃烧性和厚度等 8 个指标；烟叶常规化学成分包括总植物碱、总氮、烟碱、还原糖、总糖、钾、氯、淀粉、总挥发酸、总挥发碱、石油醚提物、蛋白质、糖碱比、氮碱比和钾氯比等 15 个指标；烟叶致香成分包括质体色素、质体色素降解产物、西柏烷类化合物、美拉德反应产物、芳香族氨基酸降解产物、多元有机酸、高级脂肪酸、挥发性香气物质和潜香型物质等 9 大类，常规检测成分约几十种；烟叶感官质量包括香气类型、香气质、香气量、浓度、劲头、刺激性、杂气、余味等 8 个指标。再加上烟叶安全性检测指标，用于烟叶质量评价的指标超过 50 个。

烟叶质量评价指标众多，且各单项指标间、各指标体系间可能存在着高度相关性和复杂的交互作用，增加了评价的难度。在评价指标体系中，有些指标是定量的，有些指标是定性的，将如此众多的、存在有复杂交互作用的定性和定量指标放在一起进行质量评价，还缺少有效的方法。通常采用的多元统计方法要求数据是定量的、线性的、样本量众多且服从某种典型分布。

2.4.2 关键指标难以确定

在众多的评价指标中,哪些指标对烟叶品质起到关键作用,哪些指标对烟叶品质的影响较小,目前还仅仅依赖于经验判断,主观因素占的比重较大,由于认识不同而难以得到统一的意见。

2.4.3 定性描述指标量化困难

在前述质量评价指标体系中,烟叶物理特性、化学成分、安全性指标是定量测定的,而烟叶外观质量和感官质量多为定性描述的。为了分析各指标体系之间的关系,就需要对烟叶外观质量和感官质量指标进行量化,因此,合适的量化方法就成为迫切需要解决的难题。通常采用的方法是逐项分等级打分,也有采用语言项代表值法并结合控制图对感官质量进行直接评价。

2.4.4 客观检验标准缺乏

感官质量评吸一直是烟叶质量评价的主要手段和重要依据。目前对烟叶质量评价结果的最终检验还是依赖于感官评吸,而感官评吸涉及到评吸人员的感觉敏锐性、情绪影响、标准样品确定和外界诱导等诸多问题,所以感官评吸也有其局限性。

2.4.5 未知信息众多

烟草化学成分十分复杂,据 Dube 和 Green 等 1982 年的综述,烟叶中已被鉴定的化学成分有 2549 种,烟气中有 3875 种,其中 1135 种为烟叶和烟气中所共有。烟叶和烟气中已鉴定的化合物共计为 5289 种,单独存在于烟叶中的 1400 多种,单独存在于烟气中的 2700 多种。对于烟叶常规检测的指标来说,指标中包含的信息并未得到充分的挖掘和利用,还有更多的烟叶质量信息处于未知状态。

目前的烟叶质量评价还属于贫信息、确定不确定问题的评价,这些问题本身属于灰色系统理论的研究范畴。

2.5 传统烟叶质量评价方法的局限性

2.5.1 线性评价方法与非线性问题的矛盾

现行质量评价方法大多局限于线性评价的范畴,线性评价模型一般服从高斯假设条件和正态误差假定。然而,烟叶质量评价问题大多属于非线性问题,本身并不满足这些假定。例如,烟叶化学成分与感官质量的相互关系以及前者对后者的影响就可能属于非线性评价的范畴,这样就形成了评价方法与评价问题的矛盾,最直接的影响就是评价模型的拟合性较差或者评价结果难以解释生产实际。

2.5.2 分值划分区域的合理性

各单项指标分值区域划分的依据及其合理性是现行质量评价方法的关键和基础。

由于烟叶质量评价属于多指标综合评价体系，而且烟叶单项指标对烟叶品质的影响是综合作用的结果，单项指标对烟叶品质的单独影响程度难以确定。通常在确定一个适宜区域之后，再往下细分该分值区域时，则主要凭感觉了。再加上烟叶指标中未知信息众多，不确定因素很多，将烟叶质量评价问题假定为白色系统（全部信息已知），在此基础上建立各评价指标对烟叶品质影响的分值区域就显得缺乏合理依据了。另外，现行质量评价方法在划分分值区域的同时忽略了一个重要的问题，即只有原始检测数据才是烟叶全部信息的直接载体，当撇开原始检测数据、使用间接的人为赋分数据进行评价时，其本身已经违背了信息充分利用公理（该信息充分利用公理限定任何序列算子都应以现有序列中的信息为基础进行定义，不允许抛开原始数据另搞一套），再加上赋分依据的合理性问题，最终使评价结果受到太多人为因素的控制和影响。

2.5.3 定性指标的量化方法

烟叶外观质量和感官质量属于定性描述指标，现行质量评价方法对烟叶外观质量和感官质量各单项指标划分为几个档次进行打分，以所打分值来对定性描述指标进行量化。在对烟叶外观质量和感官质量的评价中，评价人员所获得的第一印象是定性的，介于确定和不确定之间的模糊感觉很多，而强行划分的分值区域是有限的，甚至是交叉的。这样，评价人员不得不为自己的感觉应该符合哪个分值区域而做出舍弃，把介于确定和不确定之间的模糊感觉强行归类，将灰色信息强行白化，就会丢失许多有用信息，甚至得出相反的结论。定性描述强行量化丢失模糊部分的信息以及指标间的交互作用成为该评价方法的制约因素。直接采用评价人员对烟叶外观质量和感官质量的模糊描述，完全保留评价人员对烟叶外观质量和感官质量的第一手感觉信息是必要的。

2.5.4 质量评价分值的一致性

按照现行质量评价体系进行打分评价，忽略了各单项指标间或各指标体系间的高度相关性和多重共线性问题，许多关联信息被舍弃，从而造成了单项指标分值之间的相互抵触。例如，化学成分指标烟碱和总氮之间有很强的相关性，二者之间可以建立起拟合性很好的回归方程，理论上来说，烟碱或总氮的分值区域确定，则另一个指标的分值区域也随之确定，似乎不宜另行确定独立的适宜区域。同样的情形还存在于很多指标间，例如，颜色与成熟度、叶片结构、身份、油分、色度均呈极显著正相关；成熟度与颜色、结构、油分、色度均呈极显著正相关，与叶片结构相关性最强。物理特性、外观质量、化学成分、感官质量指标体系间也存在复杂的对应关系。

第3章 灰色关联在烟叶质量评价中的应用

3.1 烟叶化学成分与感官质量之间的关系

烟气中包含的每一种化合物都是其感官性质的潜在贡献者，然而，在烟气中许多已鉴定出的化合物由于含量太低，即使最敏感的抽吸者也难以觉察和辨别。烟叶燃吸过程中，烟叶中的香气、香味及燃烧热解产物形成的气溶胶刺激吸烟者产生各种兴奋的感受，因此，烟气的吸味是气溶胶中各种成分共同作用的结果。

烟叶的30%以上都是由高分子聚合物构成的，燃吸时，这些聚合物主要形成水、二氧化碳和烟气粒相物中的水溶性化合物。同时，这些聚合物的某些热解产物也影响烟气的感官质量。糠醛和酚类物质对烟气的香气和吃味具有影响。 β -羟基氨基酸热解生成吡嗪类化合物，这些化合物赋予烟气一类重要的香味。新植二烯具有减轻烟气刺激性和柔和烟气的作用。烟叶物质的热解产物是重要的品质因素，为弄清烟叶细胞壁多糖类物质的热分解机制，Matsushita等对某些初步的热解产物进行了探索。葡萄糖和果糖热解产物的味道和对吸烟者的感官影响，与非酶棕色化反应产生的香味物质相似。糖与烟碱的比率常被用作对烟气强度和柔和性评价的基础。

烟气的感官质量与烟叶中还原糖含量成正比，与柠檬酸含量成反比。在烟叶陈化和贮存期间，糖通过氧化转化为低分子量的羰基化合物，氨基酸的氨基、伯胺、肿胺和氨与这些化合物反应，生产各种加成产物，然后在热解时，这些加成产物生成许多与非酶棕色化反应有关的化合物，这些化合物都是烟气中的重要香味成分。烤烟的糖含量一般较高，而糖的热分解一般会使烤烟烟气的pH值呈现酸性，这种pH值效应缓解了烟气中的烟碱和其他碱的作用，因而使烟气的强度和卷烟吃味的劲头降低。烟草水溶液pH值反映烟草有机和无机组分的酸碱平衡状态，它是由含有各种水溶性烟叶组分的缓冲体系控制的。烟叶的pH值还可以作为强度（含氮碱类）、刺激尖锐程度（无机的碱类），以及间接地作为芳香性的表示，上部的烟叶通常比下部更偏于酸性和芳香性。

纤维素指数对磨细的烟草叶片、梗丝和烟丝是重要的，Lewis提出了一个确切的纤维素指数值用于对纤维素的评价。纤维素燃烧产生的 β -D-吡喃葡萄糖以及其他类似化合物在卷烟抽烟时，具有焦糖样香气特征。烟叶品质与果胶成反比，果胶

发酵生成多达 1.0%~1.5% 的乙酸,而乙酸在燃吸时产生辛辣刺激味,从而影响卷烟烟气的吃味。

烟叶内游离态烟碱与结合态烟碱的比率对烟气的品质有影响。烟碱在高温下热解可产生与吸烟后残留的烟草香气有关的取代吡啶化合物。乙酰基吡啶具有烟草样的特征香气,在烟叶和烟气中都发现了这种化合物。烟叶中所含有的不挥发酸的含量一般可以反映烟叶的成熟度。不挥发有机酸对烟气质量没有贡献,但它可以提高烟气的醇厚性。这些不挥发性酸增加了烟气的总酸度,一般可以调节平衡烟气。不饱和脂肪酸会分解产生低级醛和低级醇类,如己烯醛和己烯醇等,新烟的青杂气和刺激性与不饱和脂肪酸密切相关。烤烟精油的油臭气息与不饱和脂肪酸也密切相关,不饱和脂肪酸是烤烟主要的致香成分之一,并认为亚麻酸、茄酮、巨豆三烯酮和糠醇主要形成了烤烟精油的香气。

烟草化学成分十分复杂,据 Dube 和 Green 等 1982 年的综述,烟叶和烟气中已鉴定的化合物共计为 5289 种,单独存在于烟叶中的 1414 种。对于烟叶质量评价所采用的化学成分来说,检测指标是有限的,还有更多的烟叶质量信息处于未知状态。一方面,采用非常灵敏的方法可测定许多浓度很低的化合物,但吸烟者难以辨别这些化合物的吸味。另一方面,烟气中一些分析仪器难以测定出的化合物,而吸烟者的上腭和舌头却能在很低的浓度下很容易察觉到。因此,烟叶化学成分与感官质量关系的评价还属于贫信息、信息不确定问题的评价,这些问题本身属于灰色系统理论的研究范畴。

灰色关联分析是根据系统各因素间或各系统行为间的数据列或指标列的发展态势与行为作相似或相异程度的比较,以判断因素的关联与行为的接近,此方法对样本量的大小没有特殊要求(只要有三个以上数据就可以分析);也不要求数据有特殊的分布;分析时只需作四则运算,计算量比回归分析小得多;而且可以得到较多的信息,比如关联序、关联矩阵等;这些关系是以趋势分析为原理的,即以定性分析为前提,因此,不会出现与定性分析结果不一致的量化关系。灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密。曲线越接近,相应序列之间关联度就越大,反之就越小。

3.2 烤烟化学成分与感官质量的灰色绝对关联分析

选取北方烟草种植区烤烟样品作为评价对象,将感官质量(香气质、香气量、劲头、浓度、余味、杂气、刺激性、灰色和燃烧性)设为特征列,将常规化学成分(总植物碱、还原糖、钾、氯、总糖、总氮、pH 值、醚提总量、蛋白质、挥发酸、挥发碱、淀粉、果胶、纤维素、氮碱比、糖碱比、钾氯比和糖蛋白比)设为因素列。