

白酒组合优化辅助系统的研究及应用

张 良¹, 曾黄麟², 张宿义¹, 蔡乐才², 曾 谦², 沈才洪¹, 卢中明¹, 曹 海²

(1. 泸州老窖股份有限公司, 四川 泸州 646000; 2. 四川轻化工学院, 四川 自贡 643033)

摘 要: 在对白酒生产过程做了大量调查、研究分析基础上, 着眼于具体应用需求和生产实际情况, 提出了一套应用计算机技术辅助实现白酒勾兑调味的方案。该方案主要采用一组高效优化算法和智能信息处理方法, 对白酒指标进行准确计算和最优化控制, 以提高生产过程自动化程度, 同时确保成品酒质量的稳定性, 有利于降低生产成本, 提高生产效率。该系统已应用于泸州老窖白酒生产中, 应用实践表明, 该方案是有效的, 并适用于大多数白酒类企业的生产。

关键词: 白酒; 组合调味; 最优化控制; 遗传算法

中图分类号: TS262. 3; TS261. 4 TP273 **文献标识码:** A

文章编号: 1001- 9286(2002) 01- 0027- 02

A Computer System for Compounding and Seasoning Distilled Spirits Process

ZHANG Liang¹, ZENG Huang- lin², ZHANG Su- yi¹, CAI Le- cai², ZENG Qian², SHEN Cai- hong¹, LU Zhong- ming¹ and CAO Hai²

(1. Luzhou Laojiao Co. Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China; 2. Sichuan Institute of Light Ind. & Chem. Tech., Zi'gong, Sichuan 643033, China)

Abstract: Based on a lot of researching and analysing for distilled spirits in some enterprise, a computer system for compounding and seasoning distilled spirits process was put forward. In this system, an optimizing algorithm and an intelligent information process method was used to compute produce quality index and control compounding and seasoning distilled spirits process optimistically. The system accelerated distilled spirits process automation and improved the stability of distilled spirits qualities to increase produce efficiency and decrease produce costs. The system is valid for all of the distilled spirits enterprises.

Key words: liquor; compounding and seasoning; optimization control; a genetic algorithm

0 引言

白酒生产是我国的传统产业, 历史悠久, 底蕴厚重, 具有独特的传统工艺。传统的白酒生产主要以人工品尝的方法来进行勾兑调味, 而感官具有个体差异, 并受诸多主、客观因素影响, 并且理化指标根本不能通过品尝准确控制, 因此, 明显存在生产质量不稳定、难以精确控制指标、难以降低成本的致命弱点。

随着科技的发展, 特别是近 10 年来, 工业现代化的浪潮也影响到白酒行业, 白酒生产的传统工艺也采用了一些现代工业的技术, 主要是一些机械、电气自动化设备的采用, 如基础酒生产车间采用行车来简化车间内部物料运送, 勾兑车间采用气相色谱分析仪来检验理化指标, 以及具有自动化包装线的包装车间等等, 这些手段主要是通过部分生产过程自动化, 减轻劳动强度, 提高生产效率^[1]。但如何使白酒生产更科学化地解决传统工艺中的一些固有问題, 如质量不稳定、难以控制产品的理化指标、难以从根本上降低成本和消耗等仍是目前白酒生产行业最关心的问题。

要解决这些问题, 主要应该在勾兑调味环节构建起能产生有效组合方案的优化控制体系, 使得能针对具体目标(如理化指标范围、成本、口感等要求)进行组合优化, 达到控制生产的目的。由于调味过程中影响口感的因素比较复杂, 导致调味过程难以准确数字化, 所以在调味部分采用更智能化的, 具有动态适应能力的处理机制来实现。

根据现在白酒企业发展思想和市场经济形式, 迫切需耍提高生产效率、降低生产成本、减少浪费和控制产品质量指标以提高市场竞争力, 这就需要一套能在高效性、适应性上满足白酒企业生产要求的勾兑调味计算机辅助系统。泸州老窖白酒组合优化辅助系统(简称 GTS 系统)正是基于这种目标要求开发出来的软件系统。

1 系统分析与设计

目前白酒生产上主要考虑两个指标: 理化指标和感官指标。其中理化指标主要在勾兑组合中使用, 在大多企业中主要采用气相色谱分析仪测试酒样的理化指标值, 这就为白酒组合提供了准确计算和最优化控制的基础。而感官指标主要包括口感与香气指标, 可以通过人工品尝的方法评定酒样的分类感官值或综合口感等级来确定其指标值。

1.1 组合子系统

白酒组合实质上是确定各基础酒的合理用量, 即各基础酒在成品酒中所占比例。在组合过程中, 如何使所组合的白酒在保证质量的前提下, 组合的成本最低, 从而达到更科学、更高效地利用基础酒、提高组合效率, 稳定和提商酒质等目的是系统设计的关键。由于组合过程要涉及基础酒的理化指标、口感等级和常规指标等, 另外, 成品酒标准、组合生产量都必须确定。因此, 系统模型可简单表示为图 1。

收稿日期: 2001- 10- 22

作者简介: 张良(1965-), 男, 四川富顺人, 硕士, 高级工程师, 泸州老窖集团公司副总裁, 泸州老窖股份有限公司副总经理, 完成科研项目多项, 两项成果获国家专利, 获省科技成果二等奖、市科技成果一等奖、市科技成果二等奖各 1 项; 获泸州市杰出青年科技创新奖、有突出贡献的专业技术人才等荣誉称号, 发表论文多篇。

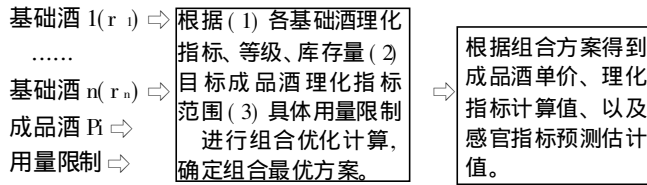


图1 白酒组合系统模型

在此系统中, $r_1, \dots, r_n$ 是组合可用的基础酒; 成品酒 P 为组合对应的成品酒标准(包含理化指标、口感标准、单价等企业标准); 用量限制是指组合人员根据具体情况(如库存情况等)指定某些基础酒的用量范围。

由于在组合过程中主要考虑理化指标, 因此可以建立一个基于理化指标的数学模型, 把组合过程看成这样一个优化过程: 即在保证质量的前提下, 使组合的半成品酒的成本最低, 口感最好。由于在通常条件下, 酒的混合不发生化学反应, 因此混合酒的理化指标是各基础酒的理化指标的加权和, 即:

$$X = \sum r_i \times x_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

其中 x 为混合酒的理化指标, r_i 为第 i 种基础酒的比例, x_i 为第 i 种基础酒的理化指标。组合的目的就是要使混合酒的理化指标满足一定要求, 即假设有 n 种理化指标, 要求:

$$\underline{x}_j \leq x_j \leq \bar{x}_j \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

x_j 为混合酒的理化指标, $\underline{x}_j, \bar{x}_j$ 分别是标准酒的理化指标下、上限, 我们可以把组合看成这样一个优化问题: 在满足理化指标的条件下, 使组合后的半成品酒的成本最低, 由此我们得到下面的数学模型:

$$\text{目标函数} \quad \min(s) = x_1 \times s_1 + x_2 \times s_2 + \dots + x_m \times s_m \quad (3)$$

$$\text{约束条件} \quad \underline{c}_1 \leq a_{11} \times x_1 + a_{12} \times x_2 + \dots + a_{1m} \times x_m \leq \bar{c}_1 \quad (4)$$

$$\underline{c}_2 \leq a_{21} \times x_1 + a_{22} \times x_2 + \dots + a_{2m} \times x_m \leq \bar{c}_2$$

.....

$$\underline{c}_n \leq a_{n1} \times x_1 + a_{n2} \times x_2 + \dots + a_{nm} \times x_m \leq \bar{c}_n$$

共有 m 种基础酒参与组合, 共考虑 n 种理化指标值, x_j 表示第 j 种基础酒的百分比, s_j 表示第 j 种基础酒的单价, a_{ij} 表示第 j 种基础酒的第 i 个理化指标值, $\underline{c}_i, \bar{c}_i$ 表示标准酒的 i 类理化指标上、下限。另外由于每种基础酒的重量是有限度的, 也可能由组合人员确定用量限制, 因此还应加上以下约束条件:

$$Ax_1 \leq b_1 \quad \text{或} \quad Ax_1 \geq b_1 \quad (5)$$

$$Ax_2 \leq b_2 \quad \text{或} \quad Ax_2 \geq b_2$$

.....

$$Ax_m \leq b_m \quad \text{或} \quad Ax_m \geq b_m$$

A 为要组合酒的重量, b_j 是第 j 种基础酒的库存量。该数学模型可用多种线性优化方法实现^[2]。

1.2 调味子系统

调味系统是让计算机选取适当的调味酒, 并确定其用量, 来弥补组合出的半成品酒在口感上的缺陷。这需要首先将调味酒的口感值或口感缺陷值量化, 以及成品酒口感标准量化, 在每次调味组合时还需将待调味酒的口感值或口感缺陷值量化, 由于影响口感的因素比较复杂, 既有个体差异, 又有自身主、客观因素的影响, 况且口感之间一般不严格满足线性关系(即不能简单地加减), 因此导致调味过程难以准确数字化, 基于这种情况, 提出动态适应策略, 采用跟踪人工调味过程来动态维护一组工作参数的方法, 以模仿、学习调味专家的知识经验, 即试图建立一个简单高效、能不断学习调整的专家调味知识系统, 用以指导计算机调味

过程。因此这个子系统包括学习过程及工作过程, 为了跟踪各种酒的口感风格和模拟人工调味过程, 需要输入人工调味的经验数据, 程序会根据这个来比较分析, 调整辅助调味模块的工作参数; 工作过程则基于这组工作参数、以及待调味半成品酒的口感数据、成品酒标准中的口感数据, 通过优化计算得到符合成品酒口感风格的调味方案(包括选用哪几种调味酒及其用量)。其系统模型见图2。

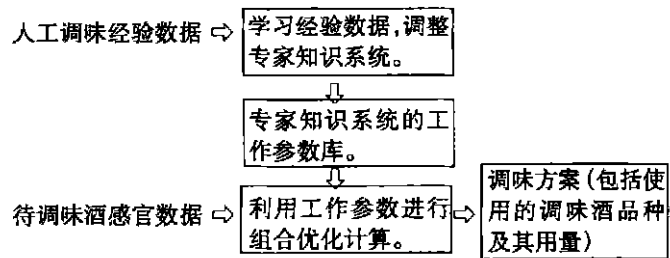


图2 调味子系统模型

假设考虑待调酒(半成品酒)的7种感官指标(以缺陷值表示)为 a, b, c, d, e, f, n , 调味酒的感官指标(缺陷值)为 $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i, n_i$, 其中 $i \in [1, n]$, 即假设共有 n 种调味酒参与调味过程; 待调酒的重量为 T ; 成品酒的感官指标(缺陷值): $X_a, X_b, X_c, X_d, X_e, X_f, X_n$, 工作系数: $S_a, S_b, S_c, S_d, S_e, S_f, S_n$, 则具体数学模型为:

$$a_1 \times T_1 + a_2 \times T_2 + \dots + a_n \times T_n = (x_a - a) \times T \times s_a$$

$$b_1 \times T_1 + b_2 \times T_2 + \dots + b_n \times T_n = (x_b - b) \times T \times s_b$$

$$f_1 \times T_1 + f_2 \times T_2 + \dots + f_n \times T_n = (x_f - f) \times T \times s_f$$

$$k_1 \times T_1 + k_2 \times T_2 + \dots + k_n \times T_n = (x_k - k) \times T \times s_k$$

$$d_1 \times T_1 + d_2 \times T_2 + \dots + d_n \times T_n = (x_d - d) \times T \times s_d$$

$$n_1 \times T_1 + n_2 \times T_2 + \dots + n_n \times T_n = (x_n - n) \times T \times s_n$$

$$a_1 \times T_1 + a_2 \times T_2 + \dots + a_n \times T_n = (x_a - a) \times T \times s_a$$

在学习阶段: 通过经验数据可确定工作参数 $s_a, s_b, s_c, s_d, s_e, s_f, s_n$, 在调味阶段: 利用学习确定的工作参数经过优化计算确定 $T_1, T_2, \dots, T_n$ 。

由于在调味阶段的优化计算中很可能没有线性解, 所以可以采用一些非线性优化方法来寻求最优解, 在 GTS 系统中, 我们采用了遗传算法来实现这个过程^[3]。遗传算法的根本思想是模拟自然界遗传选择、适者生存的优选法则, 它具有全局多点并行搜索的特点, 适合于该问题的求解, 并且由于调味酒用量是以滴数为单位的整数, 从而使得编码变得简单。

2 系统实现

根据系统设计的思想, 在数学模型和专家经验总结的基础上, 编制了: (1)“泸州老窖”组合优化系统; (2)“泸州老窖”调味优化系统; (3)数据库管理系统; (4)组合记录管理系统; (5)调味记录管理系统。各系统可以单独使用, 同时在资源共享的基础上构成了完整的技术体系。

在组合子系统, 提供了按储存日期粗选基础酒, 然后以全选、按组名、按等级、任意选的4种方式细选基础酒。可对基础酒指定用量限制; 可动态指定组合时所考虑的理化指标(最多可达18种); 组合目标为在满足用户指定基础酒用量限制、符合理化指标要求下, 使生产成本最低, 口感较好, 并尽量使基础酒用量适合企业生产实际; 提供对组合组合的结果的指标分析(包括理化指标和口感指标), 在确认方案可行后, 还能进行针对方案的操作实

(下转第30页)

2.2 酒醅入窖条件的确定(见表1)^[3]

表1 酒醅入窖条件		
项目	夏季	冬季
粮醅比	1: 5.5~ 6.0	1: 4.5~ 5.0
淀粉浓度(%)	14.5~ 16	16~ 18
水分(%)	56~ 58	55~ 56
温度(℃)	20~ 26	13~ 18
酸度(度)	1.3~ 1.8	1.0~ 1.5
用曲量(%)	18~ 20	20
打量水(%)	110	100

2.3 发酵周期的确定

发酵周期的长短是关系到酒质的因素之一。实践证明,适当延长发酵周期,酒质较好。这是由于窖内糟醅经发酵而产生各种酸酯等,有机酸与醇起缓慢的酯化作用生成酯类。但发酵周期过长,酒醅酸度大,出酒率低,甚至影响酒质。用大米原料酿造大曲酒则比高粱易于生酸和升酸幅度大。因此,发酵周期不宜过长,以40~45天为宜。

2.4 酒醅出窖条件的确定(见表2)

表2 酒醅出窖条件		
项目	夏季	冬季
淀粉浓度(%)	9~ 11	7~ 8
水分(%)	58~ 60	62~ 64
酸度(度)	2.5~ 3.5	2~ 3
乙醇含量(%, v/v)	4~ 4.5	4.5~ 5.5

3 产品质量标准

根据该工艺条件酿造的产品,经感官品评及理化和卫生指标的测定,与高粱原料酿造的浓香型大曲酒 GB10781.1-89(一级)相比,其结果如下。

3.1 感官指标(见表3)

3.2 理化指标(见表4)

3.3 卫生指标(见表5)

表3 成品酒感官指标

项目	大米原料	高粱原料
色泽	无色,清亮透明,无悬浮物及沉淀	无色,清亮透明,无悬浮物及沉淀
香气	具有较浓郁的窖香	具有较浓郁己酸乙酯为主体的复合香气
口味	较绵甜,纯正,回味较长	较绵甜爽净,香味协调,余味较长
风格	具有本品固有的风格	具有本品明显的风格

表4 成品酒理化指标

项目	大米原料	高粱原料
总酸(以乙酸计, g/L)	0.30~ 1.50	0.40~ 2.00
总酯(以乙酸乙酯, g/L)	≥1.50	≥2.00
己酸乙酯(g/L)	0.50~ 2.00	1.00~ 2.50
固形物(g/L)	≤0.40	≤0.40

表5 卫生指标

项目	大米原料	高粱原料
甲醇(g/L)	≤0.40	≤0.40
杂醇油(g/L)	≤2.0	≤2.0
铅(mg/L)	≤1.0	≤1.0

4 结论

4.1 用大米原料酿造浓香型大曲酒,酒质接近高粱原料酿造浓香型大曲酒固有的风格。

4.2 大米原料较高粱原料在酿造中容易造成发酵生酸快、升酸幅度大。因此,生产加工中原料的粉碎度要求粗些,同时发酵时间需要缩短,并搞好清洁卫生。

4.3 必须严格加强对双轮底发酵和人工老窖培养的工作。

参考文献

- [1] 无锡轻工业学院,等.酒精与白酒工艺学[M].北京:轻工业出版社,1983.
- [2] 白酒生产技术(讲义)编写组.白酒生产技术(讲义)[M].贵阳:酿酒科技编辑部,1982.
- [3] 陆寿鹏.白酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1996.

(上接第28页)

施,即从库中减去所用量。该系统除了能对组合过程进行准确计算和最优化控制,还能跟踪处理酒源放样过程,以及有效管理生产数据和生产标准,管理并生成生产过程中所需单据、表格(如酒源放样单等)。

系统提供了对组合记录的管理,能浏览、查询、打印最近一年内的组合组合方案及放样数据,并能实时地对组合组合结果的放样情况进行记录和处理(这个处理主要是与组合结果进行比较,然后根据情况更新数据库中基础酒库存量),基于这个组合记录,还能提取出一些有用的决策信息。

在调味子系统中,提供对各种酒的口感风格的动态学习、动态参数调整;并能基于这组参数进行工作,模拟人工品尝法进行调味酒用量计算,并有利于口感风格的变化和新产品的开发,系统结构图见图3。

3 结论

白酒组合优化辅助系统——GTS2000是首次采用遗传算法、计算机技术和信息处理技术相结合辅助实现白酒组合调味,是高科技与传统生产工艺相结合的结果,其中组合与调味子系统计算出的组合数据与分析数据具有较高的精度与准确度,可以达到控制理化指标、提高产品质量、降低成本、降低生产消耗的目的,从

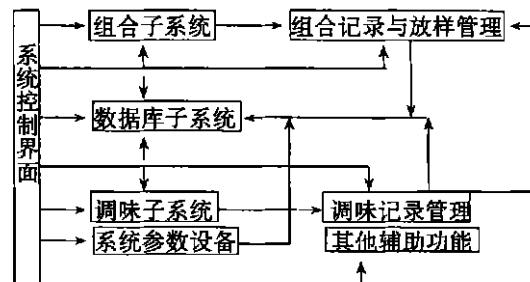


图3 GTS系统结构框图

而可以提高白酒企业的生产效率和市场竞争力。通过生产应用表明,该系统能够切实可行的对白酒组合调味过程进行准确计算和最优化控制,而且随着微量成分检测设备的完善和发展,计算机白酒组合与调味系统还将显示它更强大的生命力和功能。

参考文献:

- [1] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [2] 杨冰.实用最优化方法及计算机程序[M].哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1994.
- [3] 蔡弘,李衍达.一种快速收敛的遗传算法[C].第二届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集,1997.