

复合原料发酵对川法小曲白酒酒体柔和性的影响及工艺优化

杨红艳, 杨 珊*, 罗 玉, 刘高赋

贵州工程应用技术学院化学工程学院, 贵州 毕节

收稿日期: 2026年6月3日; 录用日期: 2026年7月3日; 发布日期: 2026年7月15日

摘 要

为改善传统川法小曲白酒香气层次不足、入口辛辣感较强及口感单一等问题, 在不改变酒曲添加方式的前提下, 以高粱为主料、小麦、糯米和玉米为辅料进行复合发酵, 考察不同原料对比对白酒出酒率、发酵酸度及感官品质的影响, 并结合SPSS单因素方差分析筛选最优工艺组合。结果表明, 不同复合原料比例对出酒率和感官评分均具有显著影响; 方差齐性检验结果显示, 两项指标均满足方差分析前提。单因素方差分析结果表明, 原料比例对出酒率和感官评分的影响分别达到显著水平($F = 17.140, P < 0.001$; $F = 8.564, P = 0.001$)。综合色香协调性、柔和口感和出酒性能, 确定最佳原料配比为高粱:小麦:糯米:玉米=5:1.2:2.4:2.4; 在发酵酸度pH 4.0、发酵15 d条件下蒸馏所得白酒酒体更为绵柔、甘润、顺口。研究表明, 复合原料发酵能够在一定程度上缓解传统川法小曲白酒辛辣感, 提升酒体柔和度与风味层次, 可为川法小曲白酒品质改良和产品风格优化提供实验依据。

关键词

川法小曲白酒, 复合原料发酵, 酒体柔和, 出酒率, 感官评价, SPSS分析

Effect of Compound Raw-Material Fermentation on the Softness of Sichuan Xiaoqu Baijiu

Hongyan Yang, Shan Yang*, Yu Luo, Gaofu Liu

School of Chemical Engineering, Guizhou University of Engineering Science, Bijie Guizhou

Received: June 3, 2026; accepted: July 3, 2026; published: July 15, 2026

*通讯作者。

文章引用: 杨红艳, 杨珊, 罗玉, 刘高赋. 复合原料发酵对川法小曲白酒酒体柔和性的影响及工艺优化[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(4): 501-506. DOI: 10.12677/hjfn.2026.154054

Abstract

To improve the pungent mouthfeel and limited flavor complexity of traditional Sichuan Xiaoqu Baijiu, compound fermentation was carried out with sorghum as the main raw material and wheat, glutinous rice, and corn as auxiliary materials under different mass ratios without changing the starter addition mode. Liquor yield, fermentation acidity and sensory quality were evaluated, and SPSS one-way ANOVA was used to identify the optimal formulation. The results showed that raw-material ratio significantly affected both liquor yield and sensory score. Homogeneity tests indicated that the data met the assumptions for variance analysis. One-way ANOVA further demonstrated significant effects of raw-material ratio on liquor yield ($F = 17.140$, $P < 0.001$) and sensory score ($F = 8.564$, $P = 0.001$). The optimal ratio was sorghum:wheat:glutinous rice:corn = 5:1.2:2.4:2.4. Under fermentation acidity of pH 4.0 and fermentation for 15 d, the distilled liquor showed a softer, sweeter and smoother taste. Compound raw-material fermentation can therefore alleviate the pungency of traditional Sichuan Xiaoqu Baijiu and improve flavor coordination and mouthfeel.

Keywords

Sichuan Xiaoqu Baijiu, Compound Raw-Material Fermentation, Softness, Liquor Yield, Sensory Evaluation, SPSS Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

小曲酒是我国白酒体系中的重要酒种之一，川法小曲白酒则是固态法小曲白酒的典型代表。其工艺具有发酵周期短、原料适应性较强和风味清爽等特点，在我国西南地区具有较稳定的消费基础和产业价值[1]-[3]。但传统川法小曲白酒多沿用单粮、短周期固态发酵模式，虽然便于规模化生产，却容易出现香气层次不足、酒体偏薄及入口辛辣感较明显等问题[4]。随着消费结构变化和产品风格升级，市场对白酒口感柔和化、饮后舒适性和风味协调性的要求不断提高，川法小曲白酒品质改良已成为工艺优化的重要方向[5][6]。

研究表明，白酒中乙醛、乙缩醛等醛类物质含量偏高，是造成酒体刺激性和辛辣感的重要原因之一[5]。与此同时，不同粮食原料在淀粉结构、蛋白质组成及风味前体物质方面存在明显差异，可在糖化、发酵和蒸馏过程中形成差异化的呈香呈味成分，从而对白酒风格产生显著影响[7]-[12]。高粱能够提供较稳定的产酒基础和典型粮香；小麦富含蛋白质，有利于形成较丰富的风味前体物质；糯米支链淀粉含量较高，更易糊化和糖化，可提升酒体柔顺感；玉米则有助于形成一定的甘甜和醇和风味[8][11][12]。

基于此，本研究在不改变酒曲添加比例的前提下，以高粱为主料、小麦、糯米和玉米为辅料进行复合发酵，通过比较不同原料组合对白酒出酒率、发酵 pH 和感官得分的影响，并结合 SPSS 单因素方差分析筛选优势配比，以期对川法小曲白酒绵柔化改良和产品风格优化提供实验依据。

2. 材料与方法

2.1. 原料与主要设备

酿酒原料为高粱、小麦、糯米和玉米；发酵剂采用华西酒曲。按照原始实验工艺，高粱、小麦、糯米

的曲用量控制在约 0.35%，玉米曲用量控制在约 0.40%，各实验组酒曲添加方式保持一致，以排除酒曲用量对比较结果的干扰。

主要设备包括蒸饭柜、糖化与发酵容器、蒸馏装置、酒精计和 pH 计等常规酿造与检测设备。

2.2. 工艺流程与操作要点

各原料分别进行浸泡、蒸煮和摊凉处理。其中，糯米经蒸饭柜蒸煮约 45 min，至柔熟无生心；其余粮食按原工艺要求完成蒸煮。待粮食温度降至 35℃~40℃时，按两次下曲方式接入酒曲：第一次加入总曲量的 45%，第二次在温度降至 30℃~35℃时加入总曲量的 50%，剩余 5%在糖化表面撒布。各原料经 22~24 h 糖化后，按试验设计比例混合均匀。

将糖化完成后的高粱、小麦、糯米和玉米混合入缸，密封发酵 15 d。发酵结束后采用传统上甑蒸馏方式取酒，头酒、中酒和尾酒分段接取，其中中酒阶段采用较小火力蒸馏，以提高酒质和口感协调性。

2.3. 试验设计

以原料配比为单一考察因素，共设置 6 组复合原料方案，每组设置 3 个平行实验。各组总投粮量均为 11 kg，高粱用量固定为 5 kg，小麦、糯米和玉米的比例在不同组之间进行调整，如表 1 所示。

Table 1. Design of proportions for different composite raw materials

表 1. 不同复合原料比例设计

组别	高粱/kg	小麦/kg	糯米/kg	玉米/kg
1	5.0	2.0	2.0	2.0
2	5.0	1.2	2.4	2.4
3	5.0	2.4	1.2	2.4
4	5.0	2.4	2.4	1.2
5	5.0	3.6	1.2	1.2
6	5.0	2.6	1.7	1.7

2.4. 检测指标与统计方法

酒精度采用酒精计测定；发酵酸度采用 pH 计检测；出酒率按“产酒质量/总投入粮食量×100%”计算。感官评价采用集中品评方式，依据色泽与外观、香气、风味和柔和口感 4 个维度进行综合评分，总分 100 分，其中柔和口感占比最高，以突出本研究对白酒入口舒适性和绵柔特征的关注。

以出酒率和感官评分为因变量、原料配比组别为自变量，采用 SPSS 软件进行方差齐性检验、单因素方差分析和多重比较；如表 2 所示，显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。

Table 2. Detailed rules for sensory evaluation

表 2. 感官评价细则

项目	总分	评分细则
色泽、外观	15	清澈透明(8~15 分)；略有沉淀或失光(1~8 分)
香气	20	香气自然、纯正清香(10~20 分)；香气较自然、较纯正清香(1~10 分)
风味	25	具有本品典型风格(15~25 分)；本品风格较典型(1~15 分)
柔和口感	40	落口甘爽、入口顺畅(20~40 分)；落口较甘爽、入口较顺畅(1~20 分)

3. 结果与讨论

3.1. 不同复合原料比例对出酒率的影响

实验结果表明, 不同复合原料比例对川法小曲白酒出酒率具有明显影响。根据原始实验结果(如表 1 所示), 第 2 组(高粱:小麦:糯米:玉米 = 5:1.2:2.4:2.4)的平均出酒率最高, 而第 6 组相对较低, 说明在总投粮量一致的前提下, 辅料之间的比例分配会显著影响淀粉利用效率和最终产酒水平。

从原料特性分析, 高粱是形成川法小曲白酒主体骨架和典型粮香的重要原料; 适量引入糯米可提高糖化底物的可利用性, 玉米有助于形成一定的甘甜与醇和风味, 小麦则可通过蛋白质降解和后续风味生成过程提升酒体丰满度。优势组配比在保证较好产酒性能的同时, 也为后续口感柔和化奠定了基础。

3.2. 不同复合原料比例对发酵酸度的影响

发酵酸度是评价小曲白酒发酵稳定性和酒体风味协调性的重要参数。原始实验结果显示, 在不同原料比例条件下, 发酵体系 pH 存在一定差异; 综合色质和感官表现, 当发酵酸度控制在 pH 4.0 左右时, 更有利于形成风味协调、入口柔和的成品酒。

适宜的酸度区间一方面有助于抑制杂菌生长、维持发酵体系稳定, 另一方面也有利于促进酸、酯等相关风味组分的平衡生成, 从而改善白酒入口刺激感和后味协调性。因此, pH 4.0 可视为本复合原料体系较适宜的发酵酸度条件。

3.3. 感官品质分析

感官评价结果表明, 各组样品在外观、香气、风味和柔和口感方面均存在明显差异。其中, 第 2 组样品综合色质最佳, 表现为酒体较清亮、香气较协调、入口顺畅、绵柔甘润、回味舒适; 第 1 组感官得分最低, 说明传统或相对单一的原料结构在柔和性和风味层次方面存在不足。

由于本研究的感官评价体系“柔和口感”占比最高, 因此评价结果能够较直接反映目标产品风格。结果表明, 通过高粱、小麦、糯米和玉米的复合发酵, 可在一定程度上实现对传统川法小曲白酒“辛辣、单薄”特征的调节, 使其向更加协调、绵柔的酒体风格转变。

3.4. SPSS 单因素方差分析

在进行方差分析前, 首先对出酒率和感官评分进行了方差齐性检验。如表 3 所示, Levene 检验 P 值分别为 0.909 和 0.309, 均大于 0.05, 表明不同组数据满足方差齐性假设, 可继续进行单因素方差分析。

Table 3. Summary of SPSS one-way ANOVA for liquor yield and sensory scores

表 3. 出酒率与感官评分的 SPSS 单因素方差分析摘要

指标	LeveneP	组间平方和	组内平方和	F	P	统计结论
出酒率	0.909	47.661	1.767	17.140	<0.001	原料比例影响显著
感官评分	0.309	104.667	29.333	8.564	0.001	原料比例影响显著

进一步分析结果表明, 不同原料比例对出酒率和感官评分均具有显著影响。其中, 出酒率组间平方和为 47.661、组内平方和为 1.767, F 值为 17.140, $P < 0.001$; 感官评分组间平方和为 104.667、组内平方和为 29.333, F 值为 8.564, $P = 0.001$ 。以上结果说明, 复合原料比例是影响川法小曲白酒产酒性能与酒体柔和性的关键因素。

多重比较结果进一步显示, 不同组间均值存在不同程度差异。就出酒率而言, 第 2 组与第 6 组差异

最为明显；就感官评分而言，第 1 组与第 2 组之间差异最大。结合均值图与多重比较结果，可确定第 2 组配比为本研究优势工艺组合。

4. 讨论

本研究结果表明，复合原料发酵能够显著改善川法小曲白酒的酒体柔和性，其原因可能与不同粮食原料在发酵体系中的功能互补有关。高粱为酒体提供基础风格和主体骨架；小麦中较高含量的蛋白质及其降解产物可参与美拉德反应，促进风味物质生成；糯米支链淀粉比例高、糖化性能较好，有助于增强酒体柔顺和净爽感；玉米则可增加酒体的甜润感和圆润度。因此，多粮配伍并非简单的原料叠加，而是通过底物组成、微生物代谢和风味前体变化的协同作用改善了酒体品质。

从最优组配比看，小麦比例适度降低、糯米和玉米比例适度提高，更有利于在保持基本发酵骨架的同时强化酒体绵柔感和风味协调性。若小麦比例偏高，可能导致风味偏厚重而影响整体平衡；若糯米或玉米比例不足，则柔和和甘润特征难以充分体现，这也是第 2 组优于其他配比组合的重要原因之一。

需要说明的是，本文主要基于出酒率、pH 和感官评价结果对工艺进行筛选，能够满足工艺比较和初步优化的研究目的，但对风味形成机制的阐释仍有进一步拓展空间。若用于更高层级期刊投稿，建议补充乙醛、乙酸乙酯、乳酸乙酯和高级醇等关键风味物质的测定数据，并结合 GC-MS 等技术深入揭示复合原料改善酒体柔和性的物质基础。

5. 结论

在不改变酒曲添加方式的条件下，采用高粱、小麦、糯米和玉米进行复合原料发酵，可显著影响川法小曲白酒的出酒率和感官品质。SPSS 单因素方差分析表明，不同原料比例对出酒率和感官评分均具有显著影响。

综合色质、酒体柔和度和出酒性能，确定最佳原料配比为高粱:小麦:糯米:玉米 = 5:1.2:2.4:2.4；在发酵酸度 pH 4.0、发酵 15 d 条件下蒸馏所得白酒具有较好的香气协调性和入口柔和性。

研究表明，复合原料发酵能够在一定程度上克服传统川法小曲白酒辛辣感较强、风味层次不足的问题，对推动川法小曲白酒绵柔化和差异化发展具有积极意义。

参考文献

- [1] 江建军, 杨官荣, 黄志瑜. 四川小曲白酒技术的继承与创新(上) [J]. 酿酒, 2011, 38(5): 7-11.
- [2] 李大和. 不同原料川法小曲酒生产技术评述[J]. 酿酒, 2006(1): 5-8.
- [3] 吴赫川, 马莹莹, 杨建刚, 林艳, 林秋. 川法小曲白酒发展现状及其瓶颈问题分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(33): 11850-11853, 11856.
- [4] 曾祖训. 川法小曲白酒的发展与创新[J]. 酿酒, 2006(1): 3-4.
- [5] 张建华. 白酒中有害成分的来源及控制[J]. 江苏食品与发酵, 2001(1): 20-22.
- [6] 朱定国, 程超, 程宏连. 川法小曲白酒绵柔型配方探究[J]. 酿酒科技, 2017(12): 83-87, 92.
- [7] 黄连美, 胡晓, 袁宏伟, 何江, 潘平川, 李雪琴. 原料及小曲对川法小曲白酒酿造特性的影响研究[J]. 酿酒科技, 2021(1): 28-35.
- [8] 江伟, 韦杰, 李宝生, 董建辉, 王晓军, 苏志华, 韩兴林, 皇甫洁, 栾春光, 郝建秦, 王德良. 不同原料酿造单粮白酒风味物质特异性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 234-238.
- [9] 曹长江. 孔府家白酒风味物质研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [10] 张卫卫, 刘建学, 韩四海, 李璇, 李佩艳, 徐宝成, 罗登林, 孙军杰. 白酒基酒典型风味物质含量的测定方法与差异性研究[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 122-126.

- [11] 陈翔, 滕抗, 胡海洋, 范莽. 白酒酿造原料对酒体风味影响的试验及讨论[J]. 酿酒, 2008(1): 19-22.
- [12] 陈彬, 何宏魁, 李安军, 王德良, 刘国英, 韩兴林. 不同粮食品种对清香型大曲酒风味的影响[J]. 中国酿造, 2017, 36(7): 22-26.