

微生物群落结构对黄酒发酵品质的影响机制探析

庞卫华¹ 曹轶萍²

海盐沈荡酿造有限公司 314311

【摘要】黄酒作为中国传统酿造酒，其独特的风味和品质深受消费者喜爱。微生物群落结构在黄酒发酵过程中起着关键作用，影响着黄酒的风味、口感和营养成分。本文探讨了微生物群落结构对黄酒发酵品质的影响机制，分析了微生物群落的组成、功能及其在发酵过程中的动态变化，揭示了微生物群落与黄酒品质之间的内在联系，为黄酒酿造工艺的优化提供了理论依据。

【关键词】黄酒；微生物群落；发酵品质；影响机制；酿造工艺

Exploring the mechanism of microbial community structure on the quality of yellow wine fermentation

Pang Weihua¹ Cao Yiping²

Haiyan Shendang Brewing Co., LTD 314311

【Abstract】 As a traditional Chinese brewed wine, huangjiu is highly favored by consumers for its unique flavor and quality. The microbial community plays a crucial role in huangjiu fermentation, influencing its flavor, mouthfeel, and nutritional content. This paper explores the mechanisms by which microbial community structure affects the quality of huangjiu fermentation, analyzing the composition, function, and dynamic changes of the microbial community during fermentation. It reveals the intrinsic link between the microbial community and the quality of huangjiu, providing a theoretical foundation for optimizing huangjiu brewing techniques.

【Key words】 huangjiu; microbial community; fermentation quality; influence mechanism; brewing process

引言

黄酒是中国传统的酿造酒，具有悠久的历史 and 独特的文化价值。其酿造过程中，微生物群落的参与是形成黄酒独特风味和品质的关键因素。近年来，随着微生物学和分子生物学技术的发展，对黄酒发酵过程中微生物群落结构的研究逐渐深入。本文旨在探讨微生物群落结构对黄酒发酵品质的影响机制，为黄酒酿造工艺的优化和品质提升提供科学依据。

一、黄酒发酵过程中微生物群落的组成与功能

1.1 微生物群落的主要组成

黄酒发酵过程中，微生物群落主要由细菌、酵母菌和霉菌组成。这些微生物在发酵过程中相互作用，共同影响黄酒的品质。酵母菌是黄酒发酵的主要微生物，主要负责酒精的发酵，将糖类转化为乙醇和二氧化碳。细菌则在发酵过程中产生有机酸、酯类等风味物质，增强黄酒的风味。霉菌则通过分泌淀粉酶、蛋白酶等酶类，将淀粉和蛋白质分解为可发酵的糖类和氨基酸，为酵母菌和细菌的生长提供营养。这些微生物的协同作用，使得黄酒具有独特的风味和营养成分。

1.2 各类微生物的功能与作用

在黄酒发酵过程中，不同微生物具有不同的功能和作

用。酵母菌是酒精发酵的主要微生物，通过发酵糖类产生乙醇和二氧化碳，同时产生多种风味物质，如高级醇、酯类等。细菌在发酵过程中主要产生有机酸，如乳酸、醋酸等，这些有机酸不仅增加了黄酒的酸度，还与其他成分反应生成酯类，增强黄酒的香气。霉菌则通过分泌淀粉酶和蛋白酶，将淀粉和蛋白质分解为可发酵的糖类和氨基酸，为酵母菌和细菌的生长提供营养，同时产生多种风味物质，如醇类、醛类等。这些微生物的协同作用，使得黄酒具有独特的风味和营养成分。

1.3 微生物群落的协同作用

微生物群落之间的协同作用是黄酒发酵过程中的重要特征。酵母菌、细菌和霉菌在发酵过程中相互作用，共同影响黄酒的品质。例如，霉菌通过分泌淀粉酶和蛋白酶，将淀粉和蛋白质分解为可发酵的糖类和氨基酸，为酵母菌和细菌的生长提供营养。酵母菌和细菌则在发酵过程中产生酒精、有机酸和酯类等风味物质，增强黄酒的风味。这种协同作用不仅提高了黄酒的发酵效率，还丰富了黄酒的风味和营养成分。

二、微生物群落结构对黄酒风味的影响

2.1 酵母菌与酒精生成

厌氧发酵过程。酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 作为主要发酵菌株, 通过 EMP 途径将葡萄糖分解为丙酮酸, 再经脱羧生成乙醛, 最终还原为乙醇。在此过程中, 酵母菌还通过氨基酸代谢生成高级醇类 (如苯乙醇、异戊醇), 这些物质赋予黄酒特有的花香与果香。研究表明, 不同来源的酿酒酵母在发酵性能上存在显著差异: 例如安琪酵母公司的 AY-10 菌株酒精转化率达 92%, 高级醇生成量比普通菌株高 18%; 而绍兴黄酒传统酒药中的酵母菌在低温 (15-20℃) 条件下能产生更多酯类物质 (如乙酸乙酯)。发酵温度对酵母菌代谢路径影响显著, 当温度超过 30℃ 时, 酵母菌的脂肪酸代谢增强, 导致辛酸乙酯等不愉快风味物质积累。现代发酵工艺通过控制温度梯度 (前 10 天 25℃, 后 15 天 18℃), 可使酒精含量达到 16% vol 以上, 同时保持酯类物质与高级醇的比例在 2:1 的最佳风味区间。

2.2 细菌与有机酸生成

细菌在黄酒发酵中的主要作用是生成有机酸, 这些有机酸是形成黄酒醇厚口感的关键物质。乳酸菌 (如植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum*) 通过糖酵解途径生成乳酸, 使发酵液 pH 值降至 4.0-4.5, 这种弱酸性环境不仅抑制杂菌生长, 还促进美拉德反应生成类黑精色素。醋酸菌 (如醋酸杆菌 *Acetobacter aceti*) 在有氧条件下将乙醇氧化为醋酸, 适量的醋酸 (0.3-0.5g/L) 能增强黄酒的清爽感。研究发现, 从传统酒醅中分离的戊糖片球菌 (*Pediococcus pentosaceus*) 可产生 γ -氨基丁酸 (GABA), 这种功能性成分具有降压功效。发酵时间对细菌代谢影响明显: 发酵初期 (0-7 天) 乳酸菌大量繁殖, 乳酸含量从 0.2g/L 增至 1.5g/L; 中后期 (15 天后) 醋酸菌活性增强, 醋酸含量逐渐上升至 0.4g/L。

2.3 霉菌与香气成分生成

霉菌在黄酒发酵中扮演着“风味前体物质提供者”的角色。米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 分泌的 α -淀粉酶和糖化酶将糯米中的淀粉分解为葡萄糖, 蛋白酶则将蛋白质降解为游离氨基酸。这些小分子物质不仅为酵母菌和细菌提供营养, 还参与后续的美拉德反应和斯特勒克降解反应, 生成醛类、吡嗪类等关键香气物质。例如, 米曲霉 3.042 菌株在 30℃ 条件下培养 48 小时, 糖化力可达 2000U/g, 蛋白酶活力为 1500U/g。黑曲霉 (*Aspergillus niger*) 产生的葡萄糖氧化酶能催化葡萄糖生成葡萄糖酸内酯, 这种物质在酸性条件下分解为葡萄糖酸, 赋予黄酒特殊的柔和酸味。

三、微生物群落结构对黄酒营养成分的影响

3.1 微生物群落与氨基酸代谢

微生物群落对黄酒中氨基酸的代谢具有重要影响。在发酵过程中, 霉菌通过分泌蛋白酶, 将蛋白质分解为氨基酸,

为酵母菌和细菌的生长提供营养。同时, 酵母菌和细菌在发酵过程中也会代谢氨基酸, 生成多种风味物质, 如高级醇、酯类等。研究表明, 不同种类的微生物在发酵过程中对氨基酸的代谢能力存在差异, 因此选择合适的微生物菌种对黄酒中氨基酸含量的提升具有重要意义。此外, 发酵条件如温度、时间等也会影响微生物对氨基酸的代谢效果, 进而影响黄酒的营养成分。

3.2 微生物群落与维生素合成

微生物群落对黄酒中维生素的合成具有重要影响。在发酵过程中, 酵母菌和细菌能够合成多种维生素, 如维生素 B 族、维生素 C 等。这些维生素不仅增加了黄酒的营养价值, 还增强了黄酒的保健功能。研究表明, 不同种类的微生物在发酵过程中对维生素的合成能力存在差异, 因此选择合适的微生物菌种对黄酒中维生素含量的提升具有重要意义。此外, 发酵条件如温度、时间等也会影响微生物对维生素的合成效果, 进而影响黄酒的营养成分。

3.3 微生物群落与矿物质吸收

微生物群落对黄酒中矿物质的吸收具有重要影响。在发酵过程中, 微生物能够通过吸附和转化作用, 提高黄酒中矿物质的含量和生物可利用性。例如, 酵母菌和细菌能够吸附钙、镁等矿物质, 提高其在黄酒中的含量。同时, 微生物在发酵过程中还能够转化矿物质, 使其更易于人体吸收。研究表明, 不同种类的微生物在发酵过程中对矿物质的吸附和转化能力存在差异, 因此选择合适的微生物菌种对黄酒中矿物质含量的提升具有重要意义。此外, 发酵条件如温度、时间等也会影响微生物对矿物质的吸附和转化效果, 进而影响黄酒的营养成分。

四、微生物群落结构对黄酒发酵过程的影响

4.1 发酵温度对微生物群落的作用机制

在黄酒发酵进程中, 发酵温度作为关键环境变量, 深度影响着微生物群落的构成以及发酵速率。由于各类微生物对温度的适应能力存在显著差异, 温度波动会重塑微生物群落的组成格局, 进而改变发酵成效。相关研究证实, 相对较高的发酵温度能够为酵母菌营造适宜的增殖与代谢环境, 加速发酵进程, 但同时可能对细菌和霉菌的生长产生抑制效应; 反之, 较低的温度条件更有利于细菌和霉菌的繁衍, 但却可能致使酵母菌的发酵活性降低, 延缓发酵速度。由此可见, 精准调控发酵温度, 是优化微生物群落结构、提升黄酒品质的核心要点, 其对黄酒风味物质形成与营养成分保留起着决定性作用。

4.2 发酵时间对微生物群落的动态影响

发酵时长在黄酒酿造过程中, 对微生物群落的代谢活动及发酵产物有着深远影响。发酵时间的长短变化, 直接作用

于微生物的生命活动进程,从而改变发酵产物的种类与含量分布。短期发酵阶段,酵母菌能够快速启动发酵反应,但可能因时间不足导致发酵进程不完全,使得黄酒在风味层次和营养积累上存在缺陷;而延长发酵时间虽有助于微生物充分代谢,丰富发酵产物,但也相应增加了杂菌污染的潜在风险。因此,科学合理地确定发酵周期,是维持微生物群落平衡、保障黄酒品质稳定的关键,需在发酵充分性与污染风险之间寻求最佳平衡点。

4.3 发酵原料对微生物群落的营养驱动效应

发酵原料的品质特性在黄酒发酵中,与微生物群落结构及最终发酵品质紧密相关。不同来源、种类的发酵原料,其营养成分组成存在明显差异,这些营养物质作为微生物生长代谢的物质基础,直接影响着微生物的生长状态与代谢路径。优质发酵原料富含淀粉、蛋白质、矿物质等多种营养成分,能够为微生物提供充足的养分供给,显著促进微生物的生长繁殖与发酵代谢,从而提升黄酒的风味品质;而品质欠佳的原料,因营养成分匮乏或不均衡,可能限制微生物的正常生长,导致发酵效率低下,影响黄酒的最终品质。故而,精选高品质发酵原料,是优化微生物群落结构、保障黄酒品质的重要前提。

五、微生物群落结构优化对黄酒品质提升的策略

5.1 发酵工艺参数的精准化管控

发酵工艺参数的精准化调控,是提升黄酒品质的关键策略之一。通过合理优化发酵温度、时间等核心参数,能够对微生物群落的组成及活性进行有效调节,从而优化黄酒的风味、口感和营养品质。正如前面所阐述的,精确控制温度对于维持酵母菌与其他微生物之间的生长平衡至关重要;与此同时,恰当设定发酵时长直接影响微生物代谢的充分程度。在实际生产过程中,可以利用先进的实时监测系统,根据发酵进程动态调整温度变化曲线,并且结合不同品类黄酒的独特特性,制定个性化的发酵时长方案,以此实现微生物群落结构的最优化配置,最大限度地挖掘黄酒的品质提升潜力。

参考文献

- [1]穆歆迪,李文通,张语涵,等.百合荔枝黄酒的制备及其微生物群落和风味品质分析[J/OL].农产品加工, 1-7[2025-06-17].
 - [2]傅建伟.科技赋能! 古越龙山以现代科技解密中国黄酒[J].中国酒, 2025, (02): 18-27.
 - [3]蒋佳佳.氨基酸添加对黄酒品质影响的微生物学机制研究[D].浙江农林大学, 2024.
 - [4]郑卓玥.绍兴酒药中合成微生物群落的构建及功能验证[D].江南大学, 2024.
 - [5]叶书建,刘甜甜,毛健,等.黄酒循环浸米中核心微生物群落组装[J].食品与发酵工业, 2025, 51 (08): 77-84.
- 作者简介: 庞卫华, 出生年月: 1979年7月9日, 男, 汉族, 籍贯: 浙江省海盐县, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向: 食品制造。

5.2 优质发酵原料的严苛遴选

对优质发酵原料进行严苛筛选,是保障黄酒品质的重要基础。含有丰富优质淀粉、适量蛋白质以及多种微量元素的原料,能够为微生物生长提供全方位的营养保障,有助于促进微生物的高效代谢,进而提升黄酒的香气、口感和营养价值。在原料采购过程中,必须建立一套严格且完善的质量标准体系,对原料的品种、产地来源、各项理化指标等进行严格把关;此外,还要加强原料的储存管理工作,采取有效的措施防止因储存条件不当而导致原料营养成分流失或发生变质现象。通过确保原料品质始终保持稳定且优良的状态,为微生物群落创造一个良好的生长环境,从生产源头为高品质黄酒的产出提供坚实保障。

5.3 现代微生物技术的创新性运用

将现代微生物技术创新性地应用于黄酒酿造,是实现黄酒品质提升的创新途径。借助菌种选育技术,可以从自然界丰富的微生物资源或者现有的菌种库中,筛选出具备优良发酵性能、产香能力突出的微生物菌株,有针对性地对黄酒发酵特性进行改良;而合理使用微生物制剂,则能够精确调控发酵体系中的微生物群落结构,增强有益微生物在生态竞争中的优势地位,有效抑制有害微生物的生长繁殖。另外,随着基因工程、代谢工程等前沿生物技术的不断发展和逐步应用,有望更加深入地揭示微生物的代谢机制,为黄酒发酵工艺的优化提供更为坚实的理论支撑。通过综合运用各类现代微生物技术,能够打破传统酿造工艺的固有局限,推动黄酒品质向更高水平迈进。

六、结论

微生物群落结构对黄酒发酵品质具有重要影响。通过优化发酵工艺参数、选择优质原料和应用现代微生物技术,可以有效调控微生物群落结构,提升黄酒的风味、口感和营养成分,为黄酒酿造工艺的现代化和品质提升提供科学依据。未来,应进一步加强微生物群落结构的研究,探索更多优化黄酒品质的策略,推动黄酒产业的发展。