

白酒酿造菌群原位“代谢接力”机制研究新进展

长期以来,白酒、食品及生物制造等泛发酵工业普遍面临微生物群落结构复杂、发酵环境条件严苛等问题。传统多组学技术虽然能够描绘发酵体系中微生物的“组成图谱”,但在高温等极端条件下,哪些微生物仍保持活性并真正参与发酵过程,始终缺乏有效的判别手段。

近日,江南大学生物工程学院徐岩教授团队联合中国科学院青岛生物能源与过程研究所单细胞中心徐健研究员团队,在高温大曲单细胞拉曼分选服务菌群机制解析和原位功能菌资源挖掘等方面取得重要进展,研究成果以“Single-cell phenotyping and sequencing uncover metabolically active low-abundance yeasts in thermophilic fermentation”为题发表于《Bioresource Technology》(IF=9.0)。

研究团队首先建立了适配于高温大曲的群落稳定同位素示踪、拉曼光谱鉴定及单细胞分选技术,对高温大曲发酵过程中酵母菌的原位活性状态及其代谢活力,进行了准确定量和精准分选。结果显示,在高温胁迫条件下,通过测序检测到的酵母物种中,仅



有10%-32%仍保持代谢活性。酵母菌在高温大曲中存活比例的定量结果,表明微生物在群落中的“数量及多样性”,并不等同于其在发酵过程中的“功能”。

研究发现,高温大曲发酵并非由某一种微生物在整个过程中持续主导,而是由多种关键功能酵母在不同阶段分工协作、接力完成。在中温阶段, *Saccharomycopsis fibuligera* 和 *Wickerhamomyces anomalus* 介导底物降解和风味前体合成;而当

温度升高至45℃以上,仅耐热能力更强的 *Pichia kudriavzevii* 能持续保持高活性。这种不同酵母菌株间在原位功能上各具动态特征、分工明确、多步接力式的协作模式,有助于维持高温发酵体系在极端条件下的整体稳定性。

最后,基于比较基因组学和遗传层面的进化分析结果,研究小组进一步揭示了高温大曲中耐热酵母 *Pichia kudriavzevii* 在高温环境中保持活性的适应性进化机制。

■技术前沿

新研究揭示大曲贮藏微生态

近日,由北京工商大学的Xin Yao为第一作者,题为“Storage time drives divergent microbial functions and flavor metabolism in high-temperature Daqu (贮藏时间驱动高温大曲中微生物功能分化与风味代谢)”的文章,在国际期刊《Food Research International》(IF=8.0)上发表。

研究系统探究了不同贮藏时期(1个月、3个月、6个月)高温大曲的理化指标、微生物群落结构、代谢功能及风味化合物的动态演变。结果表明,贮藏期间,大曲水分、淀粉含量及pH值持续下降,而氨基酸氮和酸度在第3个月

达到峰值;酯类在1个月(YQ)含量最高,醇类在3个月(EQ)达到峰值,醛类在6个月(SQ)占主导地位。通过线性判别分析效应大小(LEfSe),鉴定出,象牙色克氏菌和变异拟青霉为YQ的生物标志物,直丝糖多孢菌和谢瓦氏曲霉为EQ的生物标志物,埃默森拉沙姆森氏菌为SQ的生物标志物。宏基因组分析揭示了差异化的碳水化合物和氨基酸代谢通路:YQ中苯乙醇代谢相关酶丰度最高,EQ中吡嗪合成及乙醇代谢相关酶活性最强,而SQ的糖化酶活性更优。此外,四甲基吡嗪在第3个月含量最高,微生物多样性在贮藏后期(6个月)达到峰值。

新菌株显著提高白酒感官评价

近期,由淮北师范大学 Qing Zhao、Di Wu 为第一作者,题为“Screening and mutagenesis breeding of *B. A salt* YB13 for high producing tetramethylpyrazine and the application of its fortified Daqu for improving the quality of mixed-flavor baijiu (产四甲基吡嗪的耐盐芽孢杆菌 YB13 的诱变选育及其强化大曲在提升兼香型

白酒品质中的应用)”的文章在《Food Chemistry: X》(IF=8.2)上发表。

研究首次从高温大曲中分离出一株高产四甲基吡嗪(TTMP)的耐盐芽孢杆菌菌株,并将其用于强化曲制备时,与对照组相比,该菌株显著提高了实验白酒的感官评价得分。本研究结果为白酒酿造原料的选择和感官品质的定向调控提供了科学依据,有助于优化白酒酿造工艺,提升品质。



环保之心·汇聚点滴