

川中地区浓香型白酒酒醅风味物质时空差异性比较

蒲领平¹, 黄治国², 饶家权¹, 王晓平¹, 何超¹, 任正茂¹, 邹永芳^{1*}

(1. 舍得酒业有限公司, 四川遂宁 629200)

(2. 四川轻化工大学酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)

摘要: 采用气相色谱-质谱联用法分析了四川中部地区浓香型白酒酒醅发酵过程主要风味物质的时空分布差异, 通过主成分分析结合偏最小二乘分析法探究了中心酒醅和边缘酒醅的差异性代谢产物及其前体物的变化规律。结果表明: 边缘酒醅有 132 种风味物质, 其中酯类 44 种、醇类 26 种、酸类 14 种, 中心酒醅的风味物质有 127 种, 其中酯类为 58 种, 醇类 27 种, 酸类为 15 种; 乙酸、丁酸、己酸、乳酸乙酯、己酸乙酯、亚油酸乙酯、十六酸乙酯为酒醅发酵过程的差异性代谢产物; 边缘酒醅己酸、丁酸整体上呈现先增加较缓, 中后期呈迅速增加的趋势; 中心酒醅的十六酸乙酯、亚油酸乙酯含量均在 76 d 达到峰值, 分别为 23.14、12.90 $\mu\text{g/g}$ 。以期为川中地区浓香型酒固态酿造机制、质量稳定提供理论支撑。

关键词: 浓香型白酒; 酒醅; 风味物质; 时空差异; 川中地区

文章编号: 1673-9078(2023)12-262-269

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.12.1583

Comparison of Temporal and Spatial Differences in Flavor Compounds from Fermented Strong Aroma Baijiu Grains in Central Sichuan

PU Lingping¹, HUANG Zhiguo², RAO Jiaquan¹, WANG Xiaoping¹, HE Chao¹, REN Zhengmao¹, ZOU Yongfang^{1*}

(1. Shede Spirits Co. Ltd., Suining 629200, China) (2. Sichuan University of Science & Engineering, Liquor Brewing Biotechnology and Application Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China)

Abstract: The temporal and spatial distribution differences in the main flavor compounds in the fermented grains of strong aroma baijiu from central Sichuan were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that there were 132 flavor compounds in the marginal fermented grains, including 44 esters, 26 alcohols, and 14 acids. In total, 127 flavor compounds, including 58 esters, 27 alcohols, and 15 acids, were identified in the main fermented grains. Acetic acid, butyric acid, caproic acid, ethyl lactate, ethyl caproate, ethyl linoleic acid, and ethyl hexadecanoic acid were the different metabolites produced during the fermentation process. In the marginal fermented grains, levels of caproic acid and butyric acid gradually increased initially, and thereafter rapidly increased in the middle to late stages. The ethyl hexadecanoate and ethyl linoleate contents in the main fermented grains reached their respective peak values (23.14 and 12.90 $\mu\text{g/g}$) in 76 days. The aim of this research was to establish a theoretical foundation for solid-state brewing and stabilize the quality of strong aroma baijiu in the central Sichuan region.

Key words: strong aroma baijiu; fermented grains; flavor compounds; spatial-temporal differences; central Sichuan

引文格式:

蒲领平, 黄治国, 饶家权, 等. 川中地区浓香型白酒酒醅风味物质时空差异性比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(12): 262-269

PU Lingping, HUANG Zhiguo, RAO Jiaquan, et al. Comparison of temporal and spatial differences in flavor compounds from fermented strong aroma Baijiu grains in central Sichuan [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 262-269

浓香型白酒是中国白酒的代表香型之一, 对中国白酒产业的消费格局影响重大^[1]。酒醅是浓香型白酒酿造主体, 是形成浓香型白酒“窖香浓郁”的关键^[2]。

收稿日期: 2022-12-13

基金项目: 中国生态酿酒产业技术研究院项目 (SD-ST-007)

作者简介: 蒲领平 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 酿酒生物技术及应用,

E-mail: 1334623877@qq.com

通讯作者: 邹永芳 (1977-), 女, 高级酿酒师, 研究方向: 酿酒工程技术,

E-mail: zyfang@tuopai.biz

在实际生产环节中, 对浓香型白酒酒醅的研究工作主要集中于对酒醅入窖前和出窖后理化指标的监测, 而对窖内发酵过程酒醅风味物质的研究则相对较少, 这就导致无法深入了解窖内发酵过程“物系、酶系、菌系”发生了何种变化。由于酒醅样品在发酵过程中难以获得且发酵机理复杂, 窖内不同部位酒醅其发酵进程亦不同, 使得酒醅研究需从多角度多层次进行取样, 这成为目前研究浓香型白酒窖内发酵机理和监测窖内发酵情况的一个重要阻碍因素。

在一定程度上,浓香型白酒的风味特征是由其独特地理位置、特殊酿造工艺和酿酒原料所决定的^[3],四川不同地区生产的浓香型白酒也有一些差异^[4]。例如,范文来等^[5]采用直接进样结合气相色谱检测了浓香型白酒的风味物质,发现四川泸州地区浓香型原酒风味物质种类不同于四川其他3个地区。目前,研究人员对四川泸州^[6]、乐山^[7]、德阳^[8]、川南地区^[9]产出的浓香型白酒进行了大量的研究,涉及了原酒质量分析、窖泥微生物群落结构、酒醅特征风味物质等领域^[10]。然而,目前对四川中部区域浓香型白酒酒醅在发酵过程中主要风味物质与空间结构分布差异的研究仍鲜见报道。

因此,本研究采用气相色谱-质谱联用法(GC-MS)分析了不同发酵期和不同酒醅发酵部位挥发性化合物的积累,通过主成分分析结合偏最小二乘分析法比较了窖池边缘酒醅和中心酒醅在发酵过程中风味物质的差异性,以便深入了解浓香型酒的产香机理。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

采样地点:酒醅样本来自川中某名优浓香型白酒生产企业30年窖龄的窖池。

采样方法:随机选取3个正常发酵池进行跟踪取样,发酵周期76 d,选择夏季5~7月份发酵过程研究,在每个发酵时间点(0、8、18、33、54和76 d),分别从每个窖池中部和边缘采集酒醅样本,按窖池深度差异分为上(距窖顶50~60 cm)、中(距窖顶160~170 cm)、下(距窖顶180~200 cm)三个点进行混合作为代表样本,储存在-20℃冰箱中供进一步使用。

1.1.2 试剂

乙酸正丁酯(色谱纯),Sigma公司;氯化钠(分析纯),成都科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

AR2140电子分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;7890A-5975B气相色谱质谱联用仪,美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 试验方法

采用顶空固相微萃取气质联用(HS-SPME-GC-MS)法^[11],对浓香型白酒酒醅的挥发性风味物质进行分析。

1.3.2 样品前处理

称取3.0 g酒醅于顶空瓶中,分别加入2.0 g的NaCl和50 μL的乙酸正丁酯(84 mg/100 mL)作为内标混匀,置于已预热至70℃的固相微萃取仪中平衡10 min后,插入萃取针头(50/30 μm 二乙烯丙基/碳分子筛/聚二甲基烷氧基)萃取30 min备用。

1.3.3 HS-SPME-GC-MS 测定条件

色谱条件:DB-WAX(60.0 m×0.25 mm×0.25 μm)毛细管柱;99.999%氦气,进样口温度为230℃;升温程序:初温40℃,保持3 min,4℃/min升至150℃,接着再以8℃/min升到230℃保持6 min,总运行时间46.5 min;载气流速为1 mL/min;分流比为20:1。

质谱条件:离子源温度为230℃,四极杆温度为150℃,电离电压为70 eV,电离方式为电子电离(EI),质量扫描范围为35~400 u,溶剂延迟为3 min。

定性分析:采用NIST05a.L标准谱库比对,并通过GC-MS化工作站选择匹配度大于或等于80%(最大值为100%)的物质进行定性分析。

定量分析:乙酸正丁酯为内标物,通过内标法进行定量分析。

1.3.4 数据分析

试验结果均用“平均值±标准偏差”表示;采用Sigma 14.0进行差异性代谢产物分析;并利用SPSS 22.0统计软件,对试验结果进行SNK-q检验和多重比较。各组试验均重复进行三次。

2 结果与分析

2.1 浓香型白酒发酵过程中酒醅风味物质分析

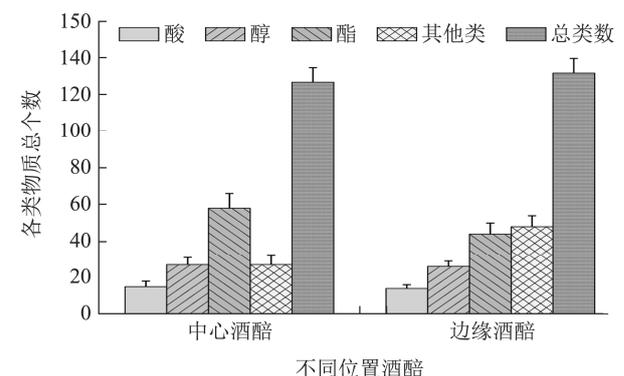


图1 浓香型白酒窖内酒醅风味物质总类数

Fig.1 Total number of flavor substances in Jiupi of China strong aroma baijiu

采用SPME-GC-MS法对整个发酵过程酒醅微量挥发性成分进行测定,在对窖池边缘酒醅和中心酒醅风味物质总类数进行分析,结果发现:中心酒醅共检测到127种挥发性风味物质,其中酯类为58种,醇类27种,酸类为15种,分别占总量的45.67%、21.26%

和 11.81%；边缘酒醅在发酵过程中共监测到 132 种挥发性风味物质，其中酯类 44 种，醇类 26 种，酸类 14 种，分别占总量的 33.33%、19.70%和 10.61%，这与固态发酵酒醅风味物质的多样性相似^[12]。而 0、8、18、33、54、76 d 的中心酒醅微量挥发性成分种类分

别平均为 23、26、30、67、94、111 种，边缘酒醅微量挥发性成分种类分别平均为 26、28、30、90、117、130 种（图 1），经显著性分析检验，表明发酵后期风味物质种类数量间差异显著（ $P<0.05$ ），可能源于酒醅自身所含香味物质的差异性。

表 1 酒醅不同部位风味物质组成及含量

Table 1 Composition and content of flavor substances in different positions of Jippe

种类	序号	化合物名称	相对百分含量/%		质量浓度/($\mu\text{g/g}$)	
			中心	边缘	中心	边缘
酯类	1	己酸乙酯	10.21±0.63	10.49±3.58	223.30±19.27	296.8±119.64
	2	乙酸乙酯	2.68±0.37	3.05±0.99	58.34±6.29	81.76±22.71
	3	丁酸乙酯	0.25±0.03	0.67±0.17	5.57±0.78	18.19±3.43*
	4	戊酸乙酯	0.21±0.13	0.22±0.01	4.50±2.63	5.98±0.79
	5	乳酸乙酯	11.35±6.70	17.75±2.75	244.22±143.01	495.15±116.71
	6	庚酸乙酯	0.39±0.07	0.65±0.27	8.56±1.81	17.38±6.7
	7	己酸丁酯	0.21±0.05	0.30±0.16	4.65±1.02	8.56±4.99
	8	辛酸乙酯	1.55±0.40	1.98±0.12	33.58±7.63	54.27±2.17*
	9	己酸异戊酯	0.27±0.11	0.39±0.24	5.89±2.28	11.24±7.44
	10	壬酸乙酯	0.01±0.01	0.06±0.02	0.24±0.19	1.72±0.76
	11	己酸己酯	0.71±0.17	1.10±0.22	15.63±4.29	29.70±3.96*
	12	丁二酸二乙酯	0.05±0.02	0.05±0.01	1.05±0.43	1.43±0.30
	13	苯乙酸乙酯	0.11±0.04	0.16±0.07	2.51±0.86	4.31±1.74
	14	十六酸乙酯	10.22±1.52	16.46±3.00	222.12±26.21	445.75±40.8*
	15	亚油酸乙酯	3.30±1.45	4.67±2.44	71.08±29.22	128.63±66.35
醇类	16	异丁醇	0.06±0.03	0.03±0.01	1.30±0.79	0.71±0.24
	17	苯乙醇	1.48±0.36	1.34±0.11	32.57±8.92	36.62±2.19
	18	异戊醇	1.32±0.12	1.04±0.14	28.98±3.59	28.59±5.18
	19	三甲基二丁醇	1.13±0.34	0.78±0.06	24.48±6.70	21.38±1.04
	20	糠醇	0.07±0.03	0.15±0.08	1.57±0.70	4.28±2.57
	21	正己醇	0.40±0.16	0.84±0.23	8.52±3.17	22.48±4.89*
	22	正戊醇	0.02±0.01	0.01±0.00	0.53±0.11	0.40±0.14
	23	丙三醇	0.63±0.2	0.76±0.15	13.55±4.02	34.50±10.84
	24	异丙醇	1.94±0.99	1.47±0.24	42.99±23.48	67.49±37.25
	25	十二醇	-	0.05±0.01*	-	2.50±5.59*
酸类	26	乙酸	8.54±2.79	10.31±4.63	185.53±58.58	20.57±2.58
	27	丁酸	0.08±0.06	0.95±1.11	1.81±1.35	40.49±8.37
	28	正戊酸	0.23±0.07	0.45±0.18	5.00±1.59	1.50±0.48
	29	己酸	8.15±1.63	15.34±3.68	179.14±41.94	295.99±163.20*
	30	庚酸	0.26±0.12	0.26±0.03	5.82±2.84	23.93±27.12
	31	辛酸	1.04±0.28	0.90±0.07	22.78±6.86	12.55±5.91
	32	异戊酸	0.08±0.04	0.08±0.04	1.73±0.85	413.67±73.42
其他物质			33.04±8.64	7.24±0.92*	838.81±174.1	197.07±9.41*

注：-表示该物质未被检测出；不同部位酒醅的共有物质相对含量和含量差异均用*表示，有*表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

以风味物质平均相对含量为标准（表 1），边缘酒醅发酵过程主要挥发性物质由高到低为乳酸乙酯、十

六酸乙酯、己酸、己酸乙酯、乙酸、亚油酸乙酯、乙酸乙酯、辛酸乙酯，其平均相对含量分别为 17.75%、

16.46%、15.34%、10.49%、10.31%、4.67%、3.05%、1.98%。中心酒醅发酵过程主要挥发性物质由高到低为乳酸乙酯、十六酸乙酯、己酸乙酯、乙酸、己酸、亚油酸乙酯、乙酸乙酯、异丙醇，其平均相对含量分别为11.35%、10.22%、10.21%、8.54%、8.15%、3.30%、2.68%、1.94%。

2.2 浓香型白酒发酵过程中酒醅风味物质的主成分分析

采用软件 SPSS 26.0 对边缘酒醅和中心酒醅中的 132 种挥发性化合物进行 PCA 分析作降维处理，进而分析其发酵过程变化规律。结果发现：酒醅发酵期间从 6 个不同发酵时间采集的样品可分为四个区域。例如，出窖的边缘酒醅、中心酒醅样本分别位于在第三、四象限，从 8~33 d 采集的边缘酒醅和中心酒醅样本集中在第一、二象限（图 2）。结果表明，整个发酵过程可分为三个阶段，分别对应于 0~18 d、18~54 d 和 54~76 d。同时，酒醅不同的发酵周期具有不同的特征挥发性化合物。

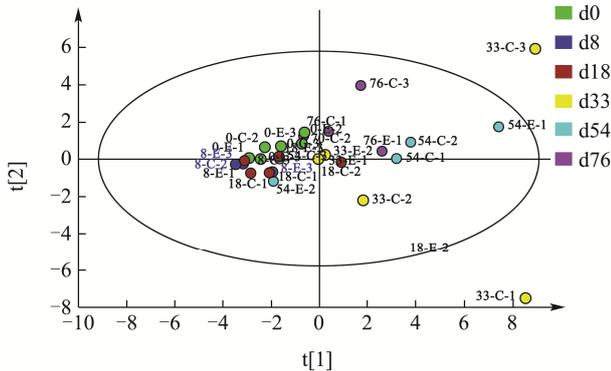


图 2 不同发酵阶段酒醅风味物质综合得分散点图

Fig.2 The distribution points of flavor compounds in different fermentation stages

注：E0、E8、E18、E33、E54、E76 分别代表发酵 0、8、18、33、54 和 76 d 的边缘酒醅；C0、C8、C18、C33、C54、C76 分别代表发酵 0、8、18、33、54 和 76 d 的中心酒醅；字母前面的数字 1、2、3 代表统一样品的三个平行样。

2.3 浓香型白酒发酵过程中酒醅风味物质的偏最小二乘分析

采用软件 SIMCA-P 14.0 对所检出的 132 种风味成分进行 PLS-DA 分析，以强化边缘酒醅和中心酒醅的差异。可变重要性 (VIP) 值 ≥ 1 的化合物为差异化化合物。因此，边缘酒醅和中心酒醅的差异代表化合物有 7 种，包括乙酸、丁酸、己酸、乳酸乙酯、己酸乙

酯、亚油酸乙酯、十六酸乙酯（图 3），这与已有研究认为己酸乙酯、丁酸、乳酸乙酯、己酸、乙酸是酒醅重要的香气化合物的结论相似^[13]。边缘酒醅和中心酒醅发酵生香的差异性，可能来源于不同部位微生物群落构成及代谢活动的差异性^[14]。又由于醇、酸、酯是决定浓香型白酒的风味和质量的重要风味物质，因此进一步对酒醅发酵过程中的挥发性总醇、挥发性总酸、挥发性总酯以及酒醅发酵过程的主要差异性代谢产物进行分析。

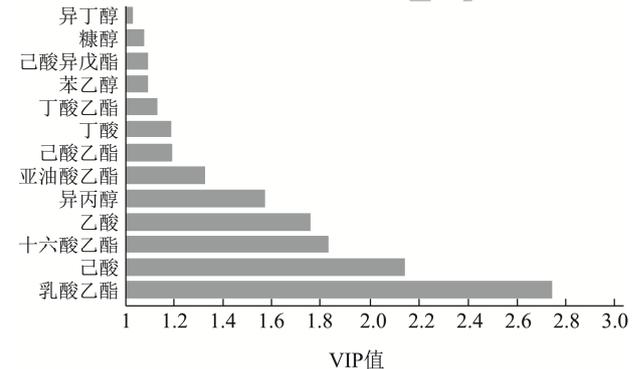


图 3 边缘酒醅和中心酒醅偏最小二乘法判别分析 VIP 值分布图

Fig.3 Distribution diagram of VIP values of marginal Jiupi and central Jiupi by partial least squares discriminant analysis

2.4 浓香型白酒发酵过程中酒醅挥发性总醇含量的变化规律

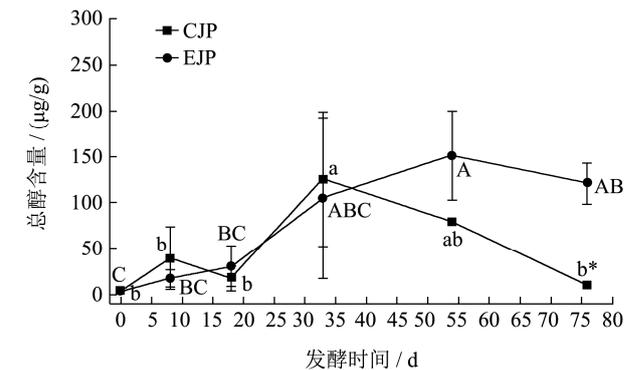


图 4 浓香型白酒发酵过程中酒醅挥发性总醇含量变化

Fig.4 Changes of total alcohol content in volatile Jiupi during China strong aroma baijiu fermentation

注：酒醅不同发酵时间的差异用字母表示 (EJP: 大写字母; CJP: 小写字母)，不具有相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)；* 表示相同发酵时间边缘和中心酒醅差异显著 ($P < 0.05$)；EJP 为窖池边缘酒醅，CJP 为窖池中心酒醅。下同。

醇类物质是浓香型白酒中醇甜和助香的重要物，同时也是其它香味物质形成的前驱物质^[15]。因此，通过研究窖内挥发性总醇含量的变化规律，结果发现：

同一发酵时间(除76 d),不同部位酒醅总醇含量在整个发酵过程中无显著性差异($P>0.05$)。酒醅的总醇含量总体呈先升后降变化(图4),这可能是因为发酵前期酒醅中的淀粉和还原糖可被微生物分解利用生成醇类物质,导致总醇含量增加;而后随着发酵时间的延长,由于酒醅中的能量被逐渐消耗殆尽,导致微生物活性减弱,且利用醇类物质作为前体物质进一步合成酸、酯类等物质,使得酒醅的挥发性醇类物质含量总体呈下降变化^[16]。中心酒醅的总醇含量在发酵过程中呈先增后降再增的变化趋势,边缘酒醅的挥发性总醇含量在发酵54 d前,发酵52 d后趋于稳定,醇类风味化合物的变化趋势大致边缘部位略高^[16]。

2.5 浓香型白酒发酵过程中挥发性总酸含量的变化规律

酸类物质对酒体能起到缓和调味的的作用,也是白酒中酯类化合物的前体物质,其种类、浓度直接影响了白酒发酵风味物质的产生^[17,18]。通过研究酒醅发酵过程中挥发性总酸含量的变化规律,结果发现:同一发酵时间(除第54天),不同部位酒醅挥发性总酸含量不具有显著差异($P>0.05$)。不同部位酒醅挥发性总酸含量在发酵过程中变化趋势基本一致,且均呈先升后降的变化趋势。在发酵0~33 d两者均呈上升趋势,这可能由于发酵前期窖内微生物通过代谢产生酸,使得总酸含量上升,这也与Jung等^[19]的研究结果相一致。发酵后期(54~76 d),酒醅总酸含量呈下降趋势(图5),可能是酸类物质被利用生成其它物质,使总酸含量降低^[20];也有可能是由于芽孢杆菌属(*Bacillus*)能代谢生成白酒醇、酸、酯等风味物质^[21,22],其丰度芽孢杆菌在发酵后期急剧降低,导致总酸含量降低。

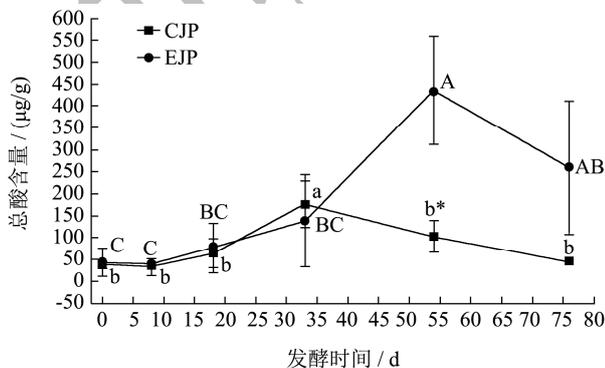


图5 浓香型白酒发酵过程中酒醅挥发性总酸含量变化
Fig.5 Changes of total acid content in volatile Jiupi during China strong aroma baijiu fermentation

2.6 浓香型白酒发酵过程中酒醅挥发性总酯含量的变化规律

酒醅酯类物质是在酒曲以及脂肪酶催化作用下由酸和醇反应生成,酯的种类和数量决定着白酒的香味和风格^[23,24]。酒醅酯类物质可给白酒提供怡人的果香香气,使酒体变得清甜醇香。本试验通过研究酒醅中挥发性总酯含量的变化规律,结果发现:在发酵后期(第54~76天),不同部位酒醅的挥发性总酯含量显著差异($P<0.05$)。边缘酒醅的挥发性总酯含量在发酵0~18 d缓慢上升,在发酵18~54 d后快速上升(图6),说明该阶段仍存在酶促反应和非酶促反应,此变化规律与晋湘宜等研究结果一致^[25,26]。中心酒醅挥发性总酯含量在发酵0~33 d缓慢上升,之后快速下降,这可能是因为发酵中后期酒醅中酸类物质大量减少,进而使得酒醅中的挥发性酯类物质逐渐减少。

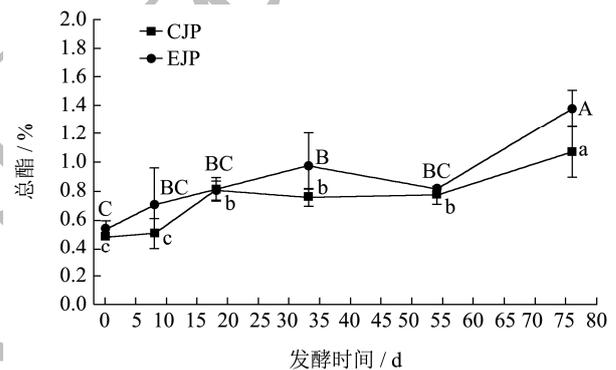


图6 浓香型白酒发酵过程中酒醅挥发性总酯含量变化
Fig.6 Variations of Jiupi total esters in the fermentation of China strong aroma baijiu

2.7 主要差异性代谢产物的变化规律

2.7.1 酸类物质的变化规律

窖池不同部位酒醅的发酵进程,受窖内气温、厌氧条件、微生物群落等诸多因素影响,结果表现为酒醅的风味物质随发酵时间变化,并具有显著差异^[27,28]。因此决定对乙酸、丁酸、己酸、乳酸乙酯、己酸乙酯、亚油酸乙酯、十六酸乙酯的时空变化规律深入跟踪监测。

通过研究酒醅发酵过程的差异性酸类物质,结果发现:不同部位酒醅的己酸、丁酸整体上呈现先增加较缓(0~33 d),中后期呈迅速增加的趋势;整体上边缘酒醅的己酸、丁酸含量高于中心酒醅,其己酸、丁酸含量均在76 d达到峰值,分别为199.70、26.67 μg/g。随发酵时间增加,中心酒醅的乙酸含量在0~33 d左右呈上升趋势,随后开始降低至发酵结束。Hu等^[29]研究表明:发酵环境、微生物种群和原材料显著影

响有机酸的含量,发酵后期酒醅的有机酸主要为乙酸,部分乙酸将被某些群落中的微生物代谢,因此发酵过程中乙酸含量显著增加然后逐渐减少的现象。边缘酒醅的乙酸含量增加明显,到54 d时达到峰值,最高达132.08 μg/g,略高于中心酒醅乙酸含量(图7),这可能是因为边缘酒醅靠近窖泥,窖泥中乙酸菌群落的生理活动利于乙酸生成^[30]。发酵过程中,丁酸含量最低,可能因为丁酸作为己酸代谢途径的中间物,合成己酸消耗了丁酸。由此可知,在发酵前期,酒醅己酸、乙酸和丁酸并未大量积累^[31],表明在浓香型白酒酿造工艺中,延长发酵周期,可以提高酒醅中风味物质的含量。

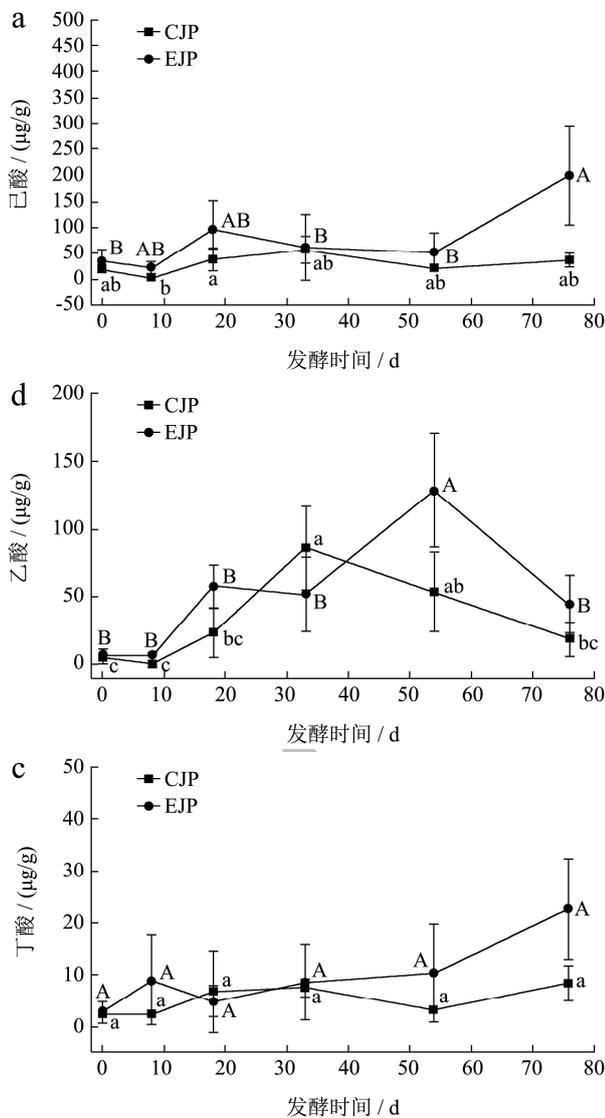


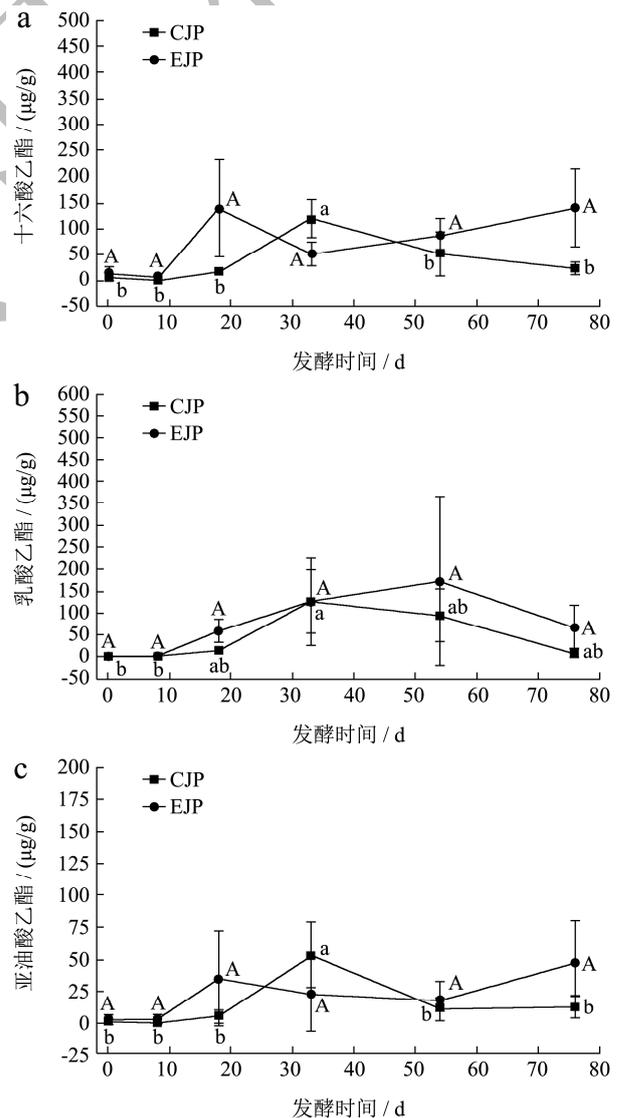
图7 酒醅发酵过程重要酸类物质的变化情况

Fig.7 Content changes of important acid in Jiupi

2.7.2 酯类物质的变化规律

通过研究窖池边缘酒醅和中心酒醅重要酯类物质含量的变化规律,结果发现:边缘酒醅的十六酸乙酯和亚油酸乙酯含量整体上呈现先增加较缓(0~33 d),

中后期呈迅速降低的趋势,而中心酒醅的十六酸乙酯和亚油酸乙酯含量在不同发酵时间段呈上升趋势(图8),这与酒醅中大量风味物质在发酵前期形成的结果一致。中心酒醅的十六酸乙酯、亚油酸乙酯含量均在76 d达到峰值,分别为23.14、12.90 μg/g,在发酵后期其含量皆低于边缘酒醅。亚油酸乙酯具有抗癌、调控代谢、促进动物生长发育等性能^[32],这说明白酒可能具有一定的保健功效在发酵中期(8~33 d),乳酸乙酯含量处于较快的上升阶段,此后乳酸乙酯含量呈下降趋势,但在18~33 d中心酒醅乳酸乙酯含量迅速上升,随后呈下降趋势。整体上,己酸乙酯和乳酸乙酯的生成在前54 d为正相关,而随后中心酒醅的己酸乙酯含量有所减少,可能是由于酒醅中微生物需要补充能源物质来维持其生理需要,此时酯类物质主要起分解作用,酯类合成较少。而边缘酒醅的己酸乙酯含量在发酵后期保持平稳,这可能是因为酒醅中的己酸主要用于合成己酸乙酯,在发酵中后期己酸累计量增多,满足己酸乙酯的合成需要,因此,己酸乙酯的含量呈增加趋势。



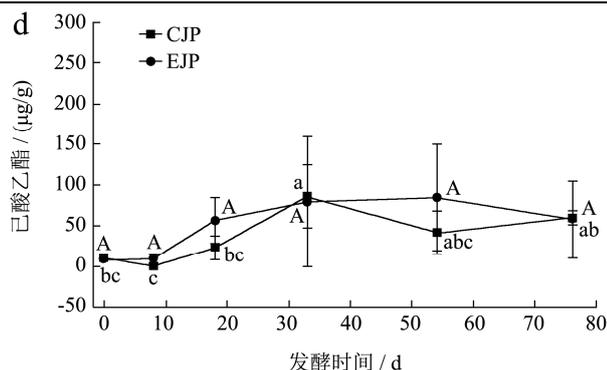


图8 酒醅重要酯类物质含量变化结果

Fig.8 Content changes of important ester in Jiupei

3 结论

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 法对浓香型白酒不同部位酒醅的主要风味物质和发酵过程差异性代谢产物的变化规律进行了分析。边缘酒醅检出 132 种风味物质, 其中酯类 44 种, 醇类 26 种, 酸类 14 种; 中心酒醅的风味物质有 127 种, 其中酯类为 58 种, 醇类 27 种, 酸类为 15 种, 发酵后期风味物质种类数量间变化较大。

使用 SIMCA-P 软件根据定量结果分析出了 7 差异代谢物, 包括乙酸、丁酸、己酸、乳酸乙酯、己酸乙酯、亚油酸乙酯、十六酸乙酯。己酸、丁酸、乙酸含量在发酵前期快速增加, 之后略有缓慢增加趋势, 而丁酸和己酸的含量在发酵 50 d 后持续增加, 直至发酵结束。在发酵前期, 酒醅的十六酸乙酯和乳酸乙酯整体上呈现先增加较缓 (0~33 d), 中后期呈逐渐降低的趋势, 酒醅中的亚油酸乙酯和己酸乙酯呈缓慢增加趋势。

本文比较分析了浓香型白酒酒醅发酵过程主要风味物质在时空层面的差异性, 为进一步研究固态发酵过程提供了理论依据。

参考文献

[1] 余乾伟. 传统白酒酿造技术第 2 版[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.

[2] 李璇, 戚居胜, 韩四海, 等. 浓香型白酒杜康酒醅发酵过程中理化指标变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 52-57.

[3] 沈怡方. 试论浓香型白酒的流派[J]. 酿酒, 1992, 5: 10-13.

[4] 李文芳, 王海英, 张文学, 等. 川皖地区浓香型白酒窖底泥微生物菌群的多样性分析[J]. 酿酒科技, 2013, 1: 23-26.

[5] 范文来, 徐岩. 应用 GC-FID 和聚类分析比较四川地区白酒原酒与江淮流域白酒原酒[J]. 酿酒科技, 2007, 11: 75-78.

[6] 叶光斌, 罗惠波, 杨晓东, 等. 基于免培养法研究泸州地区浓香型白酒窖泥原核微生物群落结构[J]. 食品科学, 2013, 34

(17): 176-181.

[7] 唐梦, 杨龙广, 刘阳. 乐山地区白酒质量调查和分析[J]. 酿酒科技, 2017, 12: 135-138.

[8] 陈俊, 万红梅, 赵凤仙. 德阳地区白酒质量调查和分析[J]. 酿酒科技, 2012, 2: 108-111.

[9] 张欣, 张丽, 张利梅, 等. 川南地区小型白酒厂废水处理工程设计[J]. 工业用水与废水, 2009, 40(6): 95-97.

[10] NIU Yunwei, KONG Jiali, XIAO Zuobing, et al. Characterization of odor-active compounds of various Chinese "Wuliangye" liquors by gas chromatography-olfactometry, gas chromatography-mass spectrometry and sensory evaluation [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(1): 735-744.

[11] 杨阳, 李子健, 张玲玲, 等. 贝莱斯芽孢杆菌对浓香型白酒酒醅微生物群落结构及挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2022, 2: 11-12.

[12] J Zhang, W Cheng, T Pan, et al. Research progress about flavor substances of strong flavour Chinese spirits [J]. Liquor Making, 2019, 46(1): 35-38.

[13] 高江婧, 任聪, 刘国英, 等. 浓香型白酒酒醅风味物质和微生物菌群结构随发酵时间的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 1-6.

[14] 王勇, 徐岩. 应 GC-O 技术分析牛栏山二锅头白酒中的香气化合物[J]. 酿酒科技, 2011, 2: 74-79.

[15] 黄治国, 侯海波, 罗惠波, 等. 浓香型白酒酒醅浓香型白酒酒醅发酵过程中乙醇和总酸变化规律研究[J]. 中国酿造, 2012, 6: 34-38.

[16] 吴树坤, 谢军, 卫春会, 等. 四川不同地区浓香型大曲微生物群落结构比较[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 144-152.

[17] 郎召伟. 泸型酒酿造过程中风味物质变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2015.

[18] 周新虎, 陈翔, 杨勇, 等. 浓香型白酒窖内参数变化规律及相关性研究(三): 相关分析[J]. 酿酒科技, 2012, 9: 58-61.

[19] Jung J Y, Lee S H, Lee H J, et al. Effects of *Leuconostoc mesenteroides* starter cultures on microbial communities and metabolites during kimchi fermentation [J]. Food Microbiol, 2012, 153(3): 378-387.

[20] Li S, Li P, Liu X, et al. Bacterial dynamics and metabolite changes in solid-state acetic acid fermentation of Shanxi aged vinegar [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2016, 100(10): 4395-4411.

[21] 周新虎, 陈翔. 浓香型白酒窖内参数变化规律及相关性研究 (II): 温度及其数学模型[J]. 酿酒科技, 2015, 5: 44-46.

[22] 吕春福, 刘建华. 白酒固态发酵过程中三大变化[J]. 酿酒, 2003, 6: 61-62.

- [23] 张文学,岳元媛.浓香型白酒酒醅中化学物质的变化及其规律性[J].四川大学学报,2005,37(4):44-48.
- [24] 黄治国,侯海波,罗惠波,等.浓香型白酒酒醅发酵过程中淀粉和还原糖的变化规律研究[J].中国酿造,2012,31(7):107-110.
- [25] Gao W, Fan W, Xu Y, et al. Characterization of the key odorants in light aroma type Chinese liquor by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(25): 5796-5804.
- [26] 晋湘宜,蔡开云,陈萍,等.中国白酒酿酒微生物研究概述[J].酿酒,2020,47(5):16-21.
- [27] ZHAO Dongrui, SHI Dongmei, SUN Jinyuan, et al. Characterization of key aroma compounds in Gujinggong Chinese Baijiu by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, and sensory evaluation [J]. *Food Research International*, 2018, 105: 616-627.
- [28] 宫俐莉,李安军,孙金沅,等.溶剂辅助风味蒸发法与顶空-固相微萃取法结合分析白酒酒醅中挥发性风味成分[J].食品与发酵工业,2016,42(9):169-177.
- [29] 肖辰.泸型酒中温大曲微生物群落的演替及其对酒醅发酵的贡献[D].无锡:江南大学,2018.
- [30] HU Xiaolong, DU Hai, Ren Cong, et al. Illuminating anaerobic microbial community and cooccurrence patterns across a quality gradient in Chinese liquor fermentation pit muds [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, 82(8): 2506-2515.
- [31] Tao Y, Li J, Rui J, et al. Prokaryotic communities in pit mud from different-aged cellars used for the production of Chinese strong-flavored liquor [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2014, 80(7): 2254-2260.
- [32] 张文学,乔宗伟,向文良.中国浓香型白酒窖池微生态研究进展[J].酿酒,2004,2:31-35.