

酱香型白酒中风味物质的成因研究现状

刘婧玮^{1,2}, 蒋英丽², 沈毅², 刘宇驰², 罗爱民¹

(1. 四川大学食品工程系, 四川 成都 610021; 2. 四川郎酒集团有限责任公司, 四川 古蔺 618200)

摘要: 概述了酱香型白酒的生产现状, 简介酱香型白酒中风味物质的组成及特点, 分析了微生物在酱香型白酒酿造中的作用并对其发展前景进行展望。

关键词: 微生物; 酱香白酒; 酱香物质

中图分类号: TS262.33; TS261.4; Q93-3; TS261.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-9286(2013)05-0085-05

Research on the Formation of Flavoring Substances in Jiang-flavor Liquor

LIU Jingwei^{1,2}, JIANG Yinli², SHEN Yi², LIU Yuchi² and LUO Aimin¹

(1. Food Engineering Department of Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610021;

2. Sichuan Langjiu Group Co.Ltd., Gulin, Sichuan 618200, China)

Abstract: The production status of Jiang-flavor liquor at present was elaborated, the composition and the characteristics of flavoring substances in Jiang-flavor liquor were introduced, and the roles of microbes in the production of Jiang-flavor liquor were summed up and their development was forecasted.

Key words: microbe; Jiang-flavor liquor; Jiang-flavor substances

酱香型白酒属大曲酒,其酱香突出、幽雅细腻、丰满味长、空杯留香持久等特点深受消费者青睐。据相关资料统计^[1],2001年,酱香型白酒产量在全国白酒产量中仅占0.2%,2011年,中国酱香型白酒规模达到了350个亿,占到了整个中国白酒销售的11%以上。全国酱香型白酒产业各项经济指标均取得历史最好成绩,经济效益明显提高,产量、产值、利润得到大幅提升,行业整体实力不断增强,呈现出快速发展的良好态势。

酱香型白酒是以糯红高粱为原料,以酒曲为糖化发酵剂,经蒸煮、糖化发酵、蒸馏、贮存、勾兑而制成的。其生产工艺比较复杂,除与当地环境、气候、水质、原料有关外,又有其独特的工艺特点^[2],主要体现为“四高两长,一大一多”。酱香型白酒生产工艺可以概括为:以优质高粱为原料,用小麦制高温大曲做糖化发酵剂,经2次投料、高温堆积,采用条石筑成的发酵窖,经9次蒸煮、8次发酵、7次取酒,采用高温制曲、高温堆积、高温发酵、高温流酒的特殊工艺,按照分轮次、分类型贮存,即按轮次酒,按醇甜、窖底香、特型调味酒等分别贮存,精心勾兑而成的具有典型酱香型风格的蒸馏白酒^[3]。

关于酱香型白酒风味物质已有很多相关研究,但目前关于酱香型白酒风味物质是什么,还未有准确的定论。

有的从风味化学的角度进行分析,有的从微生物角度进行分析。分析研究均表明,酱香型白酒的生产工艺是呈现酱香型白酒风格特点的主要因素。

1 酱香型白酒中风味物质的来源及风味物质特征

1.1 香味成分主要来源

“曲乃酒之骨”,大曲内在品质与大曲酒品质间存在极为密切的关系^[4]。大曲是用小麦(或配料大麦、豌豆、高粱等)为原料制作曲坯,在开放式操作条件下,自然网罗环境(原料、场地、器具、空气、拌料水)中的微生物,经发酵、贮存而制成的既含有活性微生物菌体同时又含有微生物酶的活性微生态制品。高温大曲是产酱香微生物的重要来源,更是酱香香气的关键来源。由于制曲原料自身就含有大量的酶及蛋白质,通过化学作用和微生物的自身代谢作用,发生了极其复杂的物质转化和能量传递过程,将原料中的淀粉分解为糖类,蛋白质分解为氨基酸^[5]。在适宜条件下,氨基酸与还原性糖可发生美拉德褐变反应生成挥发性化合物,具有浓郁的复合型酱香^[6]。大曲不仅是酿造中的糖化发酵剂,更是酱香物质的前驱者。曲中微生物的大量进入,也给香气的形成创造有利条件。因此,制曲和酿酒过程中原料内部所发生的化学变化以及微生物作用是所有香味物质产生的直接原因。

收稿日期:2012-12-14

作者简介:刘婧玮(1989-),女,在读硕士研究生,主要从事酱香型白酒酿造方面的研究。

通讯作者:罗爱民。

优先数字出版时间:2013-03-11;地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1051.TS.20130311.1445.009.html>。

1.2 风味物质成分

白酒中的主要成分是乙醇和水,两者约占总量的98%,呈香呈味的物质只占其余的2%左右,而这些微量成分可通过嗅觉、视觉、触觉和味觉引起感官的刺激,其种类、含量和量比关系决定着白酒香型和风味质量。

不同含量的单体香味成分,可以起到协调、丰满、舒适酒体的作用,一般认为^[7,8],酱香型原酒分3种类型:第1种是上层酒醅产的酒,酱香突出,微带曲香,杂,风格好;第2种是中层酒醅产的酒,浓香中略带酱香,入口绵甜;第3种是下层酒醅产的酒,窖香浓郁,有明显的酱香。酱香型茅台酒的醇、酯、酸和羰基类化合物组分有着各自的特点。

1.2.1 有机酸总含量偏高

酱香型白酒中有机酸含量明显高于浓香型和清香型白酒。它是白酒中的协调成分,具有多种功能,例如:①酸是新酒老熟的催化剂:新蒸馏出来的基础酒入库贮存,使酒体陈酿老熟。基础酒中的水、醇、酸、酯等组分在贮存过程中,在 H^+ 作用下,经氢键缔合作用,形成协调的分子群,使酒体变得协调醇厚、绵软、回味无穷^[9]。因而,酸的组成情况和含量高低影响着酒的老熟能力;②酸是白酒最重要的味感剂:有机酸可增长酒的味感在口腔中持久的程度,即增长后味,酒体后味的长短,很大程度上取决于有机酸的含量,尤其是一些沸点较高有机酸的含量,适当含量的有机酸可使酒体丰满、醇和、自然感好,并可消除酒的苦味;此外,有机酸还可形成甜味或回甜味,消除糙辣感,增加白酒的醇和感,掩饰中、低度白酒的水味^[10-11]。在有机酸组分中^[7,12],乙酸含量多,乳酸含量也较多,且有机酸的种类也很多,这与品尝酱香型白酒时能明显感觉到酸味有直接的关系。

1.2.2 总醇含量高

酱香型白酒中的醇类尤以正丙醇最为突出^[6,12],这与其“爽口”有很大关系。醇类表现出柔和的刺激感和微甜、浓厚的感觉,同时,由于醇类化合物的沸点比其他组分的沸点低,易挥发,故可以在挥发过程中“拖带”其他组分分子一起挥发,从而起到“助香”作用^[13-14]。

1.2.3 酯类化合物多

白酒中的酯类化合物在一定浓度下一般表现出微甜、带涩,并带有一定的刺激感,有些酯类还表现出一定的苦味。酱香型白酒中己酸乙酯的含量并不高,一般在400~500 mg/L^[3,12]。但酯类组分种类很多,含量最高的是乙酸乙酯和乳酸乙酯,己酸乙酯在众多的酯类中并没有自身突出的香气特征。同时,酯类化合物与其他组分香气相比较,在酱香型白酒的香气中表现也不十分突出^[15-17]。

1.2.4 羰基类化合物总量高

羰基类化合物是构成白酒口味的重要呈味物质^[3],酱香型白酒中的羰基类化合物总量是各类香型白酒相应

组分含量之首,特别是糠醛,它与其他各类香型白酒含量相比是最多的^[18-19];还有丁二酮也是含量最多的。酒体中的羰基化合物具有较强的刺激性口味,赋予酒体较强的刺激感,起到助香作用^[12]。

1.2.5 高沸点化合物含量高

酱香型白酒富含高沸点化合物,是各香型白酒相应组分之冠^[3,12]。这些高沸点化合物包括了高沸点的有机酸、醇、酯、芳香族和氨基酸,这些物质对酱香型白酒的柔和、细腻、丰满起着重要作用。

2 酱香型白酒中主体香气成分研究现状

至今已明确的是浓香型酒的主体香气成分为己酸乙酯;清香型酒是乙酸乙酯;米香型酒可能是乳酸乙酯、乙酸乙酯和 p -苯乙醇。其余的香型酒也分别发现某些特征性成分,但构成其主体香气以及呈味成分还有待于进一步剖析研究。目前,关于酱香型酒的特征香味成分推断众多,但究竟其本质特征是什么,似乎仍然是一个谜。

2.1 4-乙基愈创木酚(4-EG)说

1964年茅台酒试点^[20],根据当时的条件,首次提出了酱香型酒的主体香成分是4-乙基愈创木酚。4-乙基愈创木酚是酱油香气中高沸点化合物中的典型代表,具有酱油的特征香^[21]。1976年^[7,9],用气相色谱分析和感官品尝相结合进行研究,发现4-乙基愈创木酚似北京“薰干”气味,进口醇厚带甜,与酱香无关,故它不是茅台酒的主题香。

2.2 吡嗪及加热香气说

主要认为,酱香物质的生成途径为氨基酸、蛋白质的热分解;糖参与的相关反应以及微生物的一些代谢产物。曹述舜还提出吡嗪类化合物可能与形成酱香有关的观点^[22];高温大曲较中温大曲更具有有一种近似酱香味的香气,其芳香成分可能与反应所产生的挥发性化合物(如醛类和吡嗪类)有关。加之生产过程用曲量大、基质浓度大、反应温度高等因素都不可避免地产生或加剧美拉德反应速度,从而使吡嗪类化合物的生成量增加。蒸馏过程中,由于汽带作用而使吡嗪类化合物随蒸气一起挥发经冷凝进入酒中,造就酱香风格。在后来的研究中^[3],有研究者对四甲基吡嗪进行感官鉴定,发现其气味不明显,似泡豆子水气味,味甜,有浓厚感。

吡嗪类化合物具有青椒的香气和焙烤香,大量存在于焙烤食品中,能使食品产生类似爆玉米花、坚果、咖啡、菠菜和巧克力等风味,但类似酱香、酱油和麦酱香的化合物除四甲基吡嗪外,其他的都没有^[12,21,22],故认为吡嗪类化合物的呈香作用有限。

该化合物中,有的阈值十分低,有的却很高。如吡嗪的阈值高达300 mg/L(在水中),2-甲基吡嗪阈值可达30 mg/L(在水中)^[23],而2-甲氧基-3-异丁基吡嗪的阈值

仅有 $0.002 \mu\text{g/L}$ (在水中)^[24],其阈值相差甚大,且也不呈现酱香。有研究者的添加试验证明^[25],吡嗪特别是含量高的四甲基吡嗪的添加,并不能产生细微的酱香香气。即将吡嗪类化合物添加到浓香型白酒中,并没有发现浓香型白酒具有酱香气味;同时,将吡嗪类化合物加入到不典型的酱香型白酒中,也没有发现该酱香型白酒变得更加典型。因此,吡嗪类化合物不是酱香型白酒的关键香气成分或主体香,但却是酱香型白酒的特征成分。

2.3 呋喃类和吡喃类衍生物说

1983年,有研究推测,呋喃类和吡喃类物质是酱香型白酒的重要呈香物质和特征化合物。酱香型白酒中香气^[26]主要由酱香、焦香、酯香、醇香组成的一种复合香气,而决定酱香型白酒的重要成分是酱香和焦香,这两种物质来源于原料中的脂肪和氨基酸成分由酵母的代谢而产生的物质,在生产过程中,受到原料、酿造工艺、曲菌、水质、老熟时间的影响。这些呋喃类与吡喃类化合物可能包括 HEMF、HDMF,而 HEMF 有饼干香气,加入酱油中,增香明显;加入白酒中,风格未见明显改善。说明酱油或酱的酱香与酱香型白酒的酱香成分,并非相同^[27]。

酱香型白酒的糠醛含量较其他香型白酒含量高,这已成为此类香型白酒的一个标志组分,其独特的酱香也许与高含量的糠醛有某种内在的必然联系^[12,28]。而有一些研究报道是利用液液萃取-气质联用技术研究五粮液和剑南春酒,检测出了7种呋喃类物质^[29]。还有利用 HS-SPME 技术,研究了高温大曲中的呈香物质,发现了9种呋喃类物质^[30],这是目前关于中国白酒大曲的研究中发现的呋喃类物质含量最多的报道^[31]。因此,有研究者推测酱香型酒主体香成分可能是呋喃类和吡喃类衍生物。

2.4 高沸点酸性物质与低沸点酯类物质组成的复合香气说

该观点认为,酱香型酒的主体芳香组分可能是由高沸点的酸性物质和低沸点的酯类物质组成的复合香。酱香型酒闻香分为前香和后香(也称空杯香)两部分^[32]。所谓前香,即开瓶后首先闻到的幽雅细腻的芳香,在茅台酒的前香研究中^[10,33],共鉴定出12种化合物,其中以乙醇、乙酸乙酯、乙缩醛为主;而所谓后香,即喝过酒后那种经久不散的“空杯香”,其芳香组分沸点较高、挥发较慢,以酸性物质为主,对酱香的呈味作用较大^[9,34]。

由于酱香型白酒组成复杂,含量不均匀,基体复杂,种类繁多,检测十分困难,上述四大论点也都缺乏足够的理论依据支撑^[35-36]。随着科技的发展,酱香型白酒风味物质特征的研究将会取得更全面更精准的研究成果。

3 微生物及特殊工艺在酱香物质形成中的作用

酒的酿造离不开微生物的作用,由于白酒酿造采用开放式操作,自然网罗环境中的微生物接种培菌发酵,其

微生物种类多、数量大,酶系也比较复杂^[37]。在自然条件下,各类群微生物之间相互依存,相互制约,并与环境相互联系,构成了酱香型白酒酿造的完整微生物区系^[36,38]。应该说酱香物质与独特工艺及微生物区系密不可分。

3.1 微生物与高温制曲

高温制曲为生成酱香物质提供了基础。为曲坯入室创造良好的条件,保持酶及微生物的活力,使得大曲发酵时温度变化呈现“前缓、中挺、后缓落”的规律,是达到优质高产目的的必要条件^[39,40]。曲坯刚入室时,曲坯温度较低、湿度大,富集于曲坯上的各种微生物经过数小时的迟缓适应,调整体内的有关酶系。封窖后3~4d,由于酶的作用和微生物的生长繁殖,糖化发酵作用逐步加强,呼吸代谢所释放出的热量,促使酒醅品温逐步升高,由于入窖温度低,糖化较慢,相应的酵母发酵也慢^[41]。这一阶段为“低温培菌”期或“前发酵”期,也是酿酒先辈们强调的“前缓”时期。

通常高温制曲时最高温度可升至 65°C ^[19],所谓“中挺”,即要求发酵在最高温度时维持时间较长,使发酵进行彻底,酒的产量和质量也会提高^[41]。已长出的霉菌和酵母菌随温度进一步的升高而增殖受阻,逐渐趋向衰老死亡,形成了以嗜热芽孢杆菌为主的特殊细菌群,这有利于蛋白质的热分解和糖的裂解并形成吡嗪之类的香气成分和褐变反应物质^[5,42]。此阶段曲坯的酒度、酸度和淀粉浓度将逐步趋于平稳,且产生各种大曲特殊香味,即由原来的一般物质成分转化为具有香味的物质。在曲坯拆曲出室、并经3个月的贮存期后,霉菌和酵母菌几乎死亡殆尽,只有一些经长期驯化而耐高温的微生物得以生存。

曲坯经贮存后出窖,品温缓慢下降,称之为“后缓落”,曲坯水分已大部分挥发,酵母已逐渐失去活力,细菌的作用有所增强,菌丝由表面开始内插生长。主发酵期基本完成,即各类物质已经形成,酒精等醇类和各种酸类在进行缓慢而复杂的酯化作用,进入发酵过程的后熟阶段,开始呈现出成品酒较多的芳香成分^[41]。

酱香型酒风格质量的好坏主要取决于曲药的好坏,曲药质量的好坏取决于制曲温度的高低,因此,高温制曲是提高酱香型酒风格质量的基础^[43]。高温曲与中温曲相比^[44],其细菌、芽孢菌、霉菌在数量上要比中温大曲多得多,但中温大曲酵母菌要比高温大曲多得多。高温曲糖化酶和糖化力都很低,发酵力几乎没有,它的主要作用是生香,把制曲过程中积累的酱香物质或酱香前体物质带入酒中,通过堆积和发酵,为最终生成酱香型酒主体香奠定基础。这个最大的差异决定了大曲酱香型酒生产的两个显著工艺特点:一是用曲量大,二是窖外堆积^[19]。这些都说明高温才能培养出酱香型白酒需要的微生物及其各种酶类^[18,44]。

3.2 微生物与高温堆积

酒醅在入窖发酵前,先经堆积这一工序,是大曲酒中的唯一独特工序^[40],高温堆积阶段也要求温度达50℃左右^[45],它对热能的需求与微生物的能量供给是密切联系的,为再次网罗空气中有益微生物、制酒母及进一步制造酱香物质和积累酱香前体物质创造条件,它是生成酱香物质的接力站,直接关系到产品的风格质量。可以说没有这些独特的工艺就没有酱香风味^[43,46]。

由于高温大曲本身的糖化力、发酵力低等特点,堆积过程实际上是一个“平衡体系”的形成过程,它要弥补高温曲的欠缺——糖化功能和发酵功能,又要进一步为生香创造条件,既要满足糖化功能的形成,也要满足发酵动力的生成,还要达到香味物质形成的条件^[47]。在高温堆积相对开放式的条件下,大曲充分接触空气,再加上适当的酸度条件,为微生物的重组,特别是产酯酵母的大量繁殖创造了条件^[40]。酵母菌在堆积发酵过程中大量繁殖,使入窖发酵得以顺利进行。堆积终了时^[48],不但活菌数大量增加,微生物种类也有明显增加,堆积过程对富集独特的产酯酵母和细菌等微生物群落有重要作用,且进一步加强了微生物区系由常温类群向嗜热类群的转化,由类群复杂的微生物组成逐渐向种群组成较为单一的方向转化,有利于特定香味物质的形成。因此,有称酱香型白酒的堆积发酵工序为二次制曲^[36,46,47]。

3.3 微生物与高温发酵

白酒界有句行话叫“生香靠发酵”,可见窖内发酵环境对产生香气物质的重要性。酱香型酒由于窖池上层、中层、下层发酵所处温度、酸度、水分、糖分不完全一样,酒的香味成分与感官特征也迥然不同^[44,48];窖底糟直接接触窖泥,发酵温度低、时间长、水分多、酸度高、压力大。窖泥中的己酸菌产生己酸较多,生成己酸乙酯也多,所产的酒窖香浓郁并带明显酱香;窖面酱香酒产生于窖面是由于上层糟醅除自身温度外,发酵过程中产生的热气、二氧化碳、汽态的乙醇往上窜,温度偏高,嗜热芽孢杆菌在适宜的温度下代谢旺盛,促进了酱香型物质的大量形成。窖面糟醅产的酒酱香突出,微带曲香、略涩、稍杂,但风格很好;而窖中糟醅的环境没有窖面、窖底复杂,因而产生的香气也是相对“纯净”的酱香醇甜型酒。

此外,高温大曲中纷繁复杂的微生物区系,进入酱香型白酒发酵体系中又进一步彼此消长地生长繁殖和生化代谢,高温酵母不仅在45℃的高温下能良好发酵产生乙醇,而且还能产生乙酸乙酯、乙醛、异丁醇、异戊醇等香味物质^[49],而在堆积过程中还有地霉属、假丝酵母属、毕赤酵母、汉逊酵母等,它们也参与发酵;一部分细菌也有产生酒精的能力,林氏假单胞菌、嗜糖假单胞菌都能利用葡萄糖进行酒精发酵,生成的产物和酵母菌的酒精发酵相似,是乙醇和二氧化碳;乳酸菌的异型发酵也能生成部分乙醇,由此可见,“多微共酵”是酱香型酒发酵的另一大特

点^[44]。

3.4 酶及代谢产物的作用

由微生物所产生的酶与微生物一样是酒曲生物活性的重要来源之一。酶的活性不仅影响到酒曲中各种物质的转化,也直接影响到呈香呈味物质的种类及数量。

地衣芽孢杆菌^[35]在堆积过程中充分生长,分泌大量的淀粉酶,将高粱中的淀粉分解为还原糖,发酵过程中被充分利用,所以出酒率高。同时,地衣芽孢杆菌对所生产的生物酶对美拉德反应具有较强的催化作用,加上高温多水的工艺环境为嗜热芽孢杆菌提供了良好的生长条件,这样就更进一步促进了美拉德反应。芽孢杆菌^[50]可以强化美拉德反应从而大量生成酱香物质,这方面的研究日益被大家重视,成为从细菌方面间接提升酒质的另一关键。

除此以外,堆积过程除了地衣芽孢杆菌生长外,还有大量的糖化菌种及霉菌生长,也产生大量的酶类或者代谢产物,如^[14]糖化酶具有良好的热稳定性、耐酸性、耐酒精等特点,即在较长的发酵周期内,糖化酶不会因酒醅升温、生酸而迅速纯化失活。霉菌可代谢产生柠檬酸、葡萄糖酸、草酸等有机酸,还可以生成淀粉酶、蛋白酶等酶制剂;曲霉代谢的甾角甾醇能抑制癌细胞活性,麦角甾醇能抵抗伤痛^[26]。由此看出,霉菌在前期分解原料、生成有机酸以此增加酱香、赋予酱香酒保健功能等方面都起着重要作用。这些酶类及代谢产物均可以提高出酒率和改善基酒的风味。

近年^[27]已从窖池中分离出部分放线菌,产生淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶、酸性磷酸酶、角质分解酶、果胶酶、甘露糖苷酶、苯基甘露糖酐酶,具有脱臭生香的作用。放线菌对白酒影响的相关研究处于初级阶段。

4 展望

酱香型白酒酿造过程中利用的微生物种类繁多,除了每种微生物各自的作用外,其间的相互作用更是极其重要。现如今通过分离、筛选和鉴定的微生物技术对一些功能菌展开了一系列的研究,但由于研究环境大多数都在实验室中,离开了窖池,因此便不同于酿酒生产时的环境,故对功能菌之间的相互作用始终未能得到更全面的了解,这方面的研究还有待深入。

在酱香型白酒的微量成分研究方面,大多数研究是集中在这些微量成分产生的途径及其呈香呈味方面的作用。笔者认为,这些微量成分是否会具有一定的保健作用值得进一步研究,可研发关于酱香型保健白酒类产品,更符合当今消费者追求美味与健康的消费心理。

参考文献:

- [1] 钟方达.酱香型白酒生产现状分析及思考[J].酿酒科技,2009(11):123-127.

- [2] 蒋英丽,陈小林,程伟,陈世斌.酱香香自苦寒来——红花郎酒的酿制、鉴评与欣赏[J].酿酒科技,2005(7):41-44.
- [3] 熊子书.酱香型白酒酿造[M].北京:中国轻工业出版社,1994.
- [4] 康琚,倪江波.四川酒文化的剖析[J].商业文化,2010(2):97-98.
- [5] 连宾.微生物在酱香型白酒香味物质形成中的作用[J].中国酿造,1997(1):13-14.
- [6] 傅金庚.酱香型白酒风格与工艺关系的研究[J].酿酒科技,1991(1):8-11.
- [7] 熊子书.贵州茅台酒调查回眸[J].酿酒科技,2000(4):26-29.
- [8] 徐占成.酒体风味设计学[M].北京:新华出版社,2003.
- [9] 熊子书.中国三大香型白酒的研究(二)酱香·茅台酒篇[J].酿酒科技,2005(4):25-30.
- [10] 程誌青,吴惠勤,张桂英,等.酱香型酒香气成分研究.1.珍酒、茅台酒空杯香分离及官能色谱探索[J].分析测试学报,1996,15(4):1-4.
- [11] 吴惠勤,张桂英,何守明,等.酱香型酒香气成分研究.2.珍酒、茅台酒空杯留香成分的GC/MS分析[J].分析测试学报,1996,15(4):5-8.
- [12] 沈海月.酱香型白酒香气物质研究[D].无锡:江南大学,2010:1-8.
- [13] 杨国华,邱树毅,黄永光.酱香白酒生产中产香微生物研究[J].酿酒科技,2011(4):24-27.
- [14] 胡鹏刚,邱树毅,李继杰.酱香大曲酒生产工艺关键环节与其风格质量的关系[J].酿酒科技,2010(8):36-39.
- [15] 丁云连,范文来,徐岩.老白干香型白酒香气成分分析[J].酿酒,2008,35(4):109-113.
- [16] 徐成勇,郭波,周莲,等.白酒香味成分研究进展[J].酿酒科技,2002(3):38-40.
- [17] 栾天罡,张展霞,莫崇林.白酒中二元酸二乙酯的固相微萃取与气相色谱联用快速测定[J].分析测试学报,2002,21(1):51-54.
- [18] 崔利.酱香型高温大曲的高温多水微氧或缺氧与曲药质量的关系[J].酿酒科技,2007(4):76-79.
- [19] 崔利,彭追远,郑朝喜,等.高温大曲在酱香型酒酿造中的作用及标准浅说[J].四川食品工业科技,1995(3):41-43.
- [20] 周恒刚.4-乙基愈创木酚[J].酿酒,1989(6):7-9.
- [21] 崔利,彭追远,杨大金.酱香型酒的主香成分是什么?对酱香型酒主香成分的几种主要说法的浅见[J].酿酒,1990,56(1):13-15.
- [22] 曹述舜,王民俊.吡嗪化合物与加热香气[J].酿酒科技,1981(2):21-25.
- [23] Masuda H, Mihara S. Olfactive properties of alkylpyrazines and 3-substituted 2-alkylpyrazines[J]. Agric. Food Chem, 1988,36:584-587.
- [24] Seifert R M, Buttery R G, Guadagni D G, Black D R, Harris J G. Synthesis of some 2-methoxy-3-alkylpyrazines with strong bell pepper-like odors, J[J]. Agric. Food Chem, 1970, 18(2):246-249.
- [25] 范文来,徐岩.酱香型白酒中呈酱香物质研究的回顾与展望[J].酿酒,2012,39(3):8-16.
- [26] 周良彦.关于酱香型白酒中主香成分的探讨[J].酿酒,1983(1):20-22.
- [27] 曹述舜.酱香型酒风味成分的探讨[J].酿酒科技,1991(4):47-48.
- [28] 许汉英.白酒中糠醛含量与香型之间关系的研究[J].酿酒,2002,29(5):29-30.
- [29] FAN W, QIAN C M. Characterization of aroma compounds of Chinese "Wuliangye" and "Jiannanchun" liquors by aroma extract dilution analysis[J]. 2006(54):695-2703.
- [30] 范文来,张艳红,徐岩.应用HS-SPME和GC-MS分析白酒大曲中微量挥发性成分[J].酿酒科技,2007(12):74-78.
- [31] 赵书圣,范文来,徐岩.酱香型白酒生产酒醅中呋喃类物质研究[J].中国酿造,2008,21:10-13.
- [32] 季克良,郭坤亮.剖读茅台酒的微量成分[J].酿酒科技,2006(10):98-100.
- [33] 张荣.产酱香功能细菌的筛选及其特征风味化合物的研究[D].无锡:江南大学,2009:1-8.
- [34] 范文来,徐岩.中国白酒风味物质研究的现状与展望[J].酿酒,2007,34(4):31-37.
- [35] 吴生文,张志刚,李旭晖.大曲微生物在大曲酒生产中的研究开发现状及发展前景[J].中国酿造,2011,230(5):8-12.
- [36] 刘晓光,谢和,屈直.酱香型白酒风味物质的形成与微生物关系的研究现状与进展[J].贵州农业科学,2007,35(2):131-134.
- [37] 李长江,张洪远,沈才洪等.武陵酱香型白酒工艺创新——酱香糟醅堆积“二次制曲”的工艺研究(第三报)[J].酿酒科技,2010(4):52-55.
- [38] 吴衍庸.酒曲微生物分析与白酒香型初探[J].酿酒科技,2004(5):38-39.
- [39] 罗小云,袁秀平,许德富.试谈泸州酒酿造的“前缓中挺后缓落”[J].酿酒科技,1992(3):21-23.
- [40] 沈怡方.试论酱香型白酒的工艺特点与发展前景[J].酿酒,2012,39(3):3-5.
- [41] 章克昌.酒精与蒸馏酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1995.
- [42] 梁思宇,陆兆新.高溶纤维素活性枯草芽孢杆菌的分离筛选与鉴定[J].微生物学通报,2001,28(5):25-30.
- [43] 崔利,杨大全.提高大曲酱香型酒风格质量几个关键环节的探讨[J].酿酒,1988(1):2.
- [44] 崔利.形成酱香型酒风格质量的关键工艺是“四高两长,一大一多”[J].酿酒,2007(3):24-35.
- [45] 庄名扬.再论美拉德反应产物与中国白酒的酱香味[J].酿酒科技,2005(5):34-39.
- [46] 杨漫江.堆积发酵对酱香型白酒风味物质形成的影响[J].酿酒科技,2011(7):72-73.
- [47] 刘宇驰,蒋英丽,邓皖玉,等.引入“酱香功能菌”概念探索酱香型白酒风味成因[J].酿酒科技,2009(12):47-50.
- [48] 周恒刚.酱香型白酒生产工艺的堆积[J].酿酒科技,1999(1):15-17.
- [49] 魏述众.生物化学[M].北京:中国轻工业出版社,1996.
- [50] 杨涛,梁明锋,李国友,等.微生物技术在酱香型白酒生产中的应用研究[J].酿酒科技,2011(4):20-28.