

国外对啤酒风味活性酯类形成与调控的认识

郝俊光,尹 花,乔万昌,闫 鹏,陈华磊

(青岛啤酒科研中心,山东 青岛 266061)

摘 要: 挥发性酯类可以给啤酒带来水果香味,是啤酒中一类重要的风味活性物质。如今,使用大型锥形罐进行高浓酿造日益兴盛,但容易引起发酵体系酯类不平衡,使啤酒品质下降。目前,在麦汁充氧、麦汁组成、发酵罐设计等关键因素对酯类形成的影响方面,取得了一定的研究进展。啤酒厂可通过优化这些因素,在实际操作中有目的地调控酯类的形成,控制成品啤酒的风味。综述了啤酒生产过程中有关酯类形成的生化反应的相关研究,并讨论了啤酒生产过程控制酯类形成的调节措施。

关键词: 啤酒; 香味; 风味活性酯类; 发酵; 醇酰基转移酶

中图分类号:TS262.5;TS261.4

文献标识码:A

文章编号:1001-9286(2011)09-0076-05

Overseas Cognition of the Formation & the Control of Beer Flavoring Active Esters

HAO Junguang, YIN Hua, QIAO Wanchang, YAN Peng and CHEN Hualei

(Scientific Research Center of Qingdao Beer Group, Qingdao, Shandong 266061, China)

Abstract: Volatile esters, an important group of flavoring compounds in beer, are responsible for fruity aroma of beer. At present, high gravity fermentation, usually performed in lager vertical cylindroconical tanks, may easily cause the unbalance among esters and further deteriorate beer quality. A number of factors influencing ester formation have already been investigated including wort composition, aeration and fermentor design etc. and some accomplishments have been achieved. The optimization of these factors in breweries could effectively realize scientific control of esters formation and beer flavor. In this paper, the relative research on biochemical reactions in the formation process of esters in beer production was reviewed and esters controlling measures were discussed.

Key words: beer; aroma; flavoring active esters; fermentation; alcohol acetyl transferase

尽管啤酒中的酯类含量不高,但其对啤酒风味谱的影响非常大。最重要的酯类是乙酸乙酯(溶剂味)、乙酸异戊酯(水果、香蕉味)、乙酸己酯(酸苹果味)、乙酸辛酯(酸苹果味)、乙酸苯乙酯(花味、玫瑰味、蜂蜜味)。啤酒中风味活性酯类的阈值及其风味描述结果见表 1。

表 1 Lager 啤酒中风味活性酯类的阈值、浓度范围、平均浓度及风味描述 (mg/L)

物质	浓度	平均浓度	阈值	风味描述
乙酸乙酯	8~32	18.4	21~30	水果、溶剂味
乙酸异戊酯	0.3~3.8	1.72	0.6~1.2	香蕉、梨
乙酸己酯	0.05~0.3	0.14	0.17~0.21	苹果、茴香
乙酸辛酯	0.04~0.53	0.17	0.3~0.9	苹果
乙酸苯乙酯	0.10~0.73	0.54	3.8	玫瑰、蜂蜜、甜味

从表 1 可以看出,在啤酒的实际分布中,只有乙酸异戊酯超出其阈值^[1]。当然,不同酯类间能发生协同作用,这就意味着低于阈值的酯类也能对啤酒的整体风味产生

影响。尤其当酯类浓度在阈值附近发生轻微的波动时,会对啤酒的风味带来明显的改变^[2]。在现代酿造中,很多新工艺都容易造成酯类风味不佳的问题,如使用大型锥型罐进行高浓酿造就会引起乙酸酯类产生过多的问题。有研究表明,20 °P 麦汁发酵稀释成 12 °P 啤酒比直接 12 °P 麦汁发酵生产 12 °P 啤酒,乙酸酯类高出 75 %。为获取更多的有关啤酒酯类形成的手段,克服高浓酿造、大罐酿造对啤酒酯类带来的负面影响,人们进行了大量的研究,对啤酒酯类形成的生化反应实质进行了探究。

1 酵母发酵形成酯类的生化反应

酯类是在细胞内产生并分泌到啤酒当中的。由于乙酸酯类是脂溶性物质,其产生后会很快通过细胞膜扩散到发酵液中。不同于乙酸酯类,其他脂肪酸乙酯类会随碳链的增加引起向细胞外分泌的比例下降,如己酸乙酯 100 %分泌,辛酸乙酯 54 %~68 %分泌,癸酸乙酯 8 %~17 %分泌。碳链再长的脂肪酸乙酯不能分泌出去,均保

收稿日期:2011-04-26

作者简介:郝俊光(1971-),男,山东莱州人,博士,高级工程师,主要从事啤酒酿造的基础和应用研发。

留在细胞中。酯类在发酵液和细胞内的分配比例与菌种特性有关,Lager 酵母能在细胞内形成并保留更多的酯类。另外,酯类在胞内和胞外的比例还受温度影响,温度越低,则各酯在细胞内保留的比例越高。

挥发性酯类是乙酰辅酶 A 和高级醇之间通过酶促反应形成的^[3]。多种酶参与了酯类的形成,目前了解比较清楚的有醇酰基转移酶 I(AATaseI)和醇酰基转移酶 II(AATaseII),它们的编码基因分别是 *ATF1* 和 *ATF2*^[4-5]。酶 Atf1p 和 Atf2p 至少部分参与乙酸异戊酯和乙酸乙酯的合成。其他被认为与酯类代谢相关的酶还有 Lg-Atf1p 和 Eht1p,Lg-Atf1p 是一种在 Lager 酵母中发现的与 Atf1p 同源的醇酰基转移酶,而 Eht1p 则是可以催化己酸乙酯的乙醇己酰基转移酶。值得注意的是,酯类合成酶和酯酶如 Iah1P(可以促进酶的水解)之间的平衡,对酯类的累积速度影响很大。在啤酒中残留的活性酯酶会造成酯类水平的下降,这点可以在未灭菌啤酒的贮存过程中得到证实。

简而言之,两种因素对酯的形成速率有影响:两个反应底物(酰基辅酶 A 和高级醇)的浓度以及参与酯类形成和降解的酶类的活力(见图 1)。由此可见,可以影响底物浓度和酶活的相关参数都可以影响到酯类的产生。在人们对酯类产生的认识过程中,形成了不同的学说。

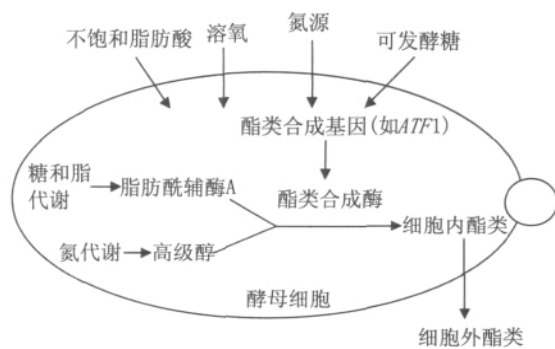


图1 酵母产生酯类物质的生化反应图示

酯类是由高级醇和脂肪酰辅酶 A 在酯类合成酶的催化作用下产生的。能够参与酯类形成的底物浓度主要受相应的碳代谢、氮代谢和脂肪酸代谢的影响;而酯类合成酶的活性主要由其功能基因的表达强度决定。

第一种学说认为,可用于参与酯类反应的底物——乙酰辅酶 A 的含量是酯类形成的主要限制因子;温度、脂肪酸、氮源、氧等都是通过影响乙酰辅酶 A 的合成来影响酯类的形成。换言之,只要能够提高乙酰辅酶 A 的因素都可以促进酯类的形成。提高溶解氧、麦汁固形物、麦汁中的脂肪酸含量都能促进酵母的生长,从而耗费更多的脂肪酸辅酶 A,降低了可用于参与酯类合成的乙酰辅酶 A 的量,从而导致酯类的合成减少。然而,这一学说

不能合理解释葡萄糖、氮源和降低静压等既有促进酵母的生长却同时提高酯类的含量的现象。Yoshioka 则发现发酵参数的改变很难引起乙酰辅酶 A 含量的改变。

第二种学说认为,高级醇的含量是酯类合成的主要限制因子。理由是,向普通和高浓麦汁中补充 3-甲基丙醇可以提高相应的乙酸酯类和乙酸异戊酯的含量。另外,能高产高级醇的突变株和转化菌株也能明显提高酯类的产量,如能过量表达支链氨基酸氨基转移酶的功能基因(BAT2),可以多产 1.3 倍的异戊醇和 1.5 倍的乙酸异戊酯。从而可以看出,高级醇的含量的确影响酯类地产生^[6]。然而,有些对酯类合成影响参数的表现不能简单地用高级醇多寡来解释。例如,高的溶氧和不饱和脂肪酸水平可以增加高级醇的含量,却会降低酯类的形成。

第三种学说是由 Yoshioka^[7]提出,并由 Malcorps^[8]完善的,即醇酰基转移酶 AATase 的活力是决定酯类合成的决定性关键因素。实验证实,发酵过程中醇酰基转移酶的活力变化模式与酯类产生的变化模式相似。此类酶的活性会因培养基中的氧或不饱和脂肪酸含量的提高而受到抑制,这就意味着,醇酰基转移酶编码基因 *ATF1* 的转录可以被不饱和脂肪酸和氧的增加抑制。

另外,有研究表明,*ATF1* 的活性还受蛋白激酶 Sch9p 和蛋白激酶 A(PKA)的调节。这些激酶调节基因的转录水平是受碳、氮、磷含量变化影响的。Sch9p 主要对与细胞生长、胁迫反应、糖原和海藻糖代谢等相关的基因有影响。Verstrepen 证实,使 *ATF* 基因过量表达可以使普通麦汁发酵产生的乙酸异戊酯和乙酸乙酯的含量提高 5 倍以上^[9]。这佐证了啤酒酿造过程中影响酯类合成的关键因素是醇酰基转移酶的活力的高低,而非底物的浓度,因为醇酰基转移酶的活性主要由 *ATF* 基因的表达水平决定。可见,最终决定乙酸酯类合成的关键限制因子是 *ATF* 的转录水平。当然,强调基因表达的关键作用,并不是说反应底物浓度的调节作用可以完全被忽视。

虽然,理论上通过加深对影响酯类产生因素的了解,可以实现对成品啤酒中酯类含量的有效调控,但由于影响 AATase 活性(目前存在多种调控 *ATF* 表达的机理)和底物浓度(受碳代谢、氮代谢和脂肪酸代谢的影响)的因素太多且相互制约,试图在啤酒厂实现酯类的精准调控仍然比较复杂和困难。

2 如何控制酯类的产生

2.1 菌株

不同菌株产生酯类的量及酯类间比例是有差异的。发酵参数如溶氧和温度,对不同菌株的影响效果是不一样的。Ramos-Jeunehomme 将菌株间产生酯类的差异主

要归结为菌株 AATase 酶的活力不同^[10]。理想上,为实现不同工厂酯类的优化,只要从不同特性的酵母库中选取最合适的菌株就可以了。但在实际生产中,啤酒厂家很少通过更换菌种来实现酯类的优化,除非是为了生产新风格的啤酒。Watari 指出,同一菌株在连续的发酵和传代过程中基因也可能发生变化,所以,如想保证品质的完全一致,应周期性进行基因指纹图谱检测和菌株的标准化发酵试验,以判定所用菌株的遗传物质是否发生了变化^[11]。

2.2 麦汁浓度和糖谱

现在,多数 lager 啤酒是通过高浓酿造生产的,容易出现啤酒风味图谱的不谐调,最突出的问题是酯类过高、形成溶剂味和过浓水果味的啤酒。Palmer 发现,20 °P 麦汁较 10.5 °P 麦汁发酵出的啤酒乙酸乙酯和乙酸异戊酯的含量均增加了 4 倍;Anderson 则发现,原麦汁浓度提高 1 倍,不同乙酸酯类增加幅度在 4~8 倍之间,这意味着将高浓啤酒稀释成 5 %vol 酒精度的啤酒较普通麦汁酿造出啤酒的乙酸酯类至少翻了一番^[13]。不过,高浓酿造时乙酸酯类增加的幅度与菌种特性有关,不同菌种产生的酯类增幅不同。

不仅原麦汁浓度对酯类形成有影响,麦汁糖谱组成对酯类的形成影响也比较大。一般来说,葡萄糖和果糖含量高的麦汁比麦芽糖含量高的麦汁发酵容易产生更多的乙酸酯类。与全麦芽麦汁相比,使用 30 %的高麦芽糖糖浆(70 %麦芽糖)为辅料的麦汁发酵产生的乙酸乙酯会低 10 %、乙酸异戊酯会低 40 %。所以,高麦芽糖糖浆适合用于高浓酿造,以适当降低高浓稀释啤酒的酯类含量。关于葡萄糖和麦芽糖使细胞产生酯类能力不同的机理尚不清楚。第一种可能是,葡萄糖会产生较多的乙酰辅酶 A,从而提高乙酸酯类的含量。第二种可能是,在富含葡萄糖的培养基中,酵母容易产生更多的高级醇,从而提供更多的底物用于酯类合成。但事实是,实际生产过程中即使培养集中葡萄糖和麦芽糖的组成不同,也很难发现对应的高级醇含量的变化,也就是说,无法用其解释酯类形成的差异。第三种可能是,葡萄糖提高了 *ATF1* 和 / 或 *ATF2* 的表达,从而提高了酯类合成酶的活性。

2.3 麦汁氮含量

含氮物质对酯类形成的影响更为复杂,也有多种解释。第一种解释由 Peddie 提出,他认为,在 C:N 低的时候,溶解氧是酯类形成的限速因子^[14]。低氧会造成细胞的生长停滞,但此时,乙酰辅酶 A 和高级醇的形成仍在继续,却不能用于细胞生长,这就会引起酯类的增加。如果在使用辅料时,C:N 升高,此时氮源成为限制因子。氮源缺乏造成细胞生长停滞,就会导致乙酰辅酶 A 等形成的下降,引起酯类的减少。由于乙酰辅酶 A 不是酯类形成

的关键限制因素,所以 Peddie 的解释不能成立。

另一种解释就是,氮源对酯类形成的影响是通过含氮物质代谢与高级醇形成之间的链接来实现的。外添加缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸可以增加相应的高级醇-异丁醇、异戊醇和戊醇的产生,进而影响到酯类的形成。理论上,可以通过控制麦汁中氨基酸的含量影响高级醇的含量,进而改变酯类形成的水平。Engan 证实,在实际生产中添加亮氨酸和异亮氨酸可以改变或轻微改变乙酸异戊酯的最终含量^[15]。

第三种解释是,碳氮源可能通过影响 *ATF1* 基因的转录来实现对酯类物质的调控。此解释可以被 *ATF1* 基因的表达受激酶 Sch9p 调控、而 Sch9p 参与感知碳氮物质含量变量的理论所支持。

2.4 麦汁充氧和脂类浓度

发酵液中的酯类形成受高溶解氧抑制。有的学者认为,溶解氧是通过影响细胞的生长和改变乙酰辅酶 A 的含量来实现的。但是,近来的研究表明,溶解氧能抑制酯类合成酶 AATase 的编码基因 *ATF1* 和 *ATF2* 的表达,这就是说,只要麦汁中存在溶解氧,将不会形成酯类合成酶。另一方面,如果麦汁中的溶解氧极低(1 mg/L),酯类合成会因为细胞生长不充分而降低。因而,酯类的形成在某个特定的溶解氧浓度条件下会达到最大,而在溶解氧浓度略高或略低时则会引起酯类合成的下降。可见,在实际生产时,调整麦汁充氧是调整酯类形成的有效途径之一,尽管在实际生产中并不想或不易实现充氧工艺的频繁调整。

不饱和脂肪酸也是通过直接抑制酯类合成酶 AATase 编码基因 *ATF1* 和 *ATF2* 的表达实现对酯类进行调控的。脂肪酸尤其是不饱和脂肪酸含量的控制可以在糖化过滤过程中通过控制麦汁浊度来实现。浑浊的麦汁不饱和脂肪含量高,所以,可以考虑通过提高高浓酿造麦汁的浊度来降低酯类的生成,当然这样容易给啤酒带来风味稳定性差的负面影响。Moonjai 提出了一个有趣的可以提高酯类含量的方法:先对回收酵母补充不饱和脂肪酸,然后清洗掉细胞表面过多的脂肪酸用于接种,接种麦汁时给予相对低的充氧,这样也可以在不改变发酵动力学的基础上提高酯类的含量^[16]。

2.5 酵母营养因子

酵母营养因子也影响酯类的产生。如提高促进乙酰辅酶 A 合成的泛酸盐含量,可以提高酯类的形成量。Hodgson 认为,提高培养基中锌离子的含量,可以通过提高底物(高级醇)含量的形式促进酯类的形成^[17]。不过,该结论是基于小试验的结果,尚未进行大试验验证。

2.6 发酵温度

在 10~25 °C 的范围内,增加发酵温度可以提高酯类的产量。如,Engan 发现,12 °C 发酵比 10 °C 发酵时,酯类整体增加了 75 %;而 Titica 发现,温度从 10 °C 提高到 16 °C,可以增加 40 %~50 % 的酯类^[18]。研究发现,乙酸乙酯和乙酸苯乙酯在 20 °C 发酵时产生最多,而乙酸异戊酯和辛酸乙酯的最高产生温度是 15 °C。当然,最高反应温度因菌株而异,不是所有菌株的酯类形成特性都与报道的一致。还应注意的是,酯类的形成不仅仅决定于主酵温度,还受整个发酵过程的温度曲线影响。Sablayrolles 发现,在起始温度较高的发酵初期酯类形成多,当二氧化碳形成速率达到最大时,酯类形成出现下降^[19]。温度对酯类形成的影响机理尚不清楚,一般认为,温度变化影响了 AATase 的活性。当然,当温度升高时,高级醇含量也会升高,从而可以从提高酯类合成底物的角度来解释高温引起的酯类升高。有一点必须指出,人们在考虑酯类含量的时候,往往会忽略一个重要因素,即挥发。高温时,挥发会加剧,尤其在发酵接近结束时,挥发显得更为重要,因为,此时的酯类浓度较高但形成相对较低。

2.7 接种率和高泡酒

Maule 发现,接种率提高四倍会造成酯类形成减少,而如果接种率变动小的话,乙酸乙酯只会发生轻微的变动^[20]。Amore 发现,为得到理想的酯类分布,25 °P 高浓发酵的适合接种量为 35×10^6 个/mL,而 12 °P 发酵的适合接种量为 15×10^6 个/mL。另外,采用 drauflassen 工艺,即将新鲜麦汁(多数不充氧)分批加入活化酵母工艺中,可提高酯类产生,原因是:drauflassen 工艺条件下,酵母的 AATase 酶活力高且高活力保持时间长。

2.8 发酵罐设计和静压

现代工业常选用大罐发酵,然而,当罐高达 1000~12000 t(视罐形而异)时会引起严重的问题。罐体过大,会造成菌体生长不良、双乙酰还原慢以及酯类形成低。大罐影响风味物质形成的最直接原因是大罐静压高,导致发酵液中二氧化碳含量过高。过多的二氧化碳存在可以抑制酵母的生长和代谢,尤其是抑制对酵母代谢起关键作用的脱羧反应,脱羧反应的减少进而影响酯类合成底物—高级醇和酰基辅酶 A 的形成,从而可以推定二氧化碳对酯类形成的影响是通过抑制合成底物的形式。二氧化碳对大多数菌株都有影响,但影响程度因菌株而异。在高浓或高温酿造工艺中,可通过提高罐压的形式抑制产生过多的酯类。一个利于酯控制的经验公式是罐压 P(以巴为单位)=°C/10。即如果发酵温度是 19 °C,其适合的发酵背压控制在 1.9 巴(含 0.9 巴的静压)。与不带压发酵相比,2 巴背压发酵的二氧化碳含量翻倍、酯类水平降低 50 %。

2.9 基因修饰

敲除 *ATF1* 基因可以降低乙酸异戊酯 80 %、乙酸乙酯 30 %。敲除 *ATF2* 基因,也会降低酯类的合成但降幅较小^[21]。Verstrepen 使工业酿酒酵母中 *ATF1* 基因过量表达,结果啤酒中乙酸乙酯的产量较野生菌株高 5 倍^[9];而使 *ATF2* 过量表达,可少量增加乙酸异戊酯的含量,但对乙酸乙酯的含量没影响。*ATF* 的过量表达对酯类形成的影响显著,进一步侧证,在啤酒厂中决定酯类形成的决定因素是 AATase 酶活的高低,即 *ATF* 基因表达的水平,而非高级醇和酰基辅酶 A 的含量。

3 小结

啤酒酵母产生乙酸酯类主要受 AATase 编码基因的表达程度决定,而酯类形成的两个底物(高级醇和酰基辅酶 A)含量的变化也会引起酯类形成的变化。因此,所有能影响乙酸酯类形成酶活和底物浓度的因素都会改变乙酸酯类的形成速率。诸多方法可以用于调控啤酒生产过程中酯类的分布水平,而各方法实现的难易程度不同,而高浓酿造通常会引发酯类的不平衡。在实践中,比较可取的减少酯类形成的途径有提高罐压,必要时可结合略微降低发酵温度、降低麦汁 α -N、降低葡萄糖含量、提高麦汁充氧或脂肪酸的含量等措施。要注意的是,不能过多降低 α -N 和提高麦汁充氧,否则会因为酵母的胁迫效应而降低酵母的发酵性能。提高酯类的方法比较复杂,最简便的选择是提高充氧和降低背压。当然,也可以考虑使用富氮和高葡萄糖的麦汁、降低接种率或使用 drauflassen 工艺来实现。尽管基因改良可以提高酯类控制的精准度,但出于食品安全的考虑,该技术尚不能被实际生产采用。值得关注的是,目前,对酯类研究较多的是乙酸酯类,而对辛酸乙酯和己酸乙酯等形成机理的研究尚未开展。

参考文献:

- [1] Pisarnitskii A F.Threshold of 239 aroma volatiles[J].MBAA Tech.Quart.,1975, 12:151-168.
- [2] Hammond J R M.Brewer's yeast, In Rose, H A. and Harrison, J S. (ed.), The yeasts. London: Academic Press, 1993:7-67.
- [3] Nordstroom K.Formation of ethyl acetate in fermentation with brewer's yeast IV: metabolism of acetyl coenzyme A[J].Inst. Brew.,1963,69:142-153.
- [4] Hamachi M.Molecular cloning,sequence analysis and expression of the yeast alcohol acetyltransferase gene Appl[J].Environ. Microbial,1994,60:2786-2792.
- [5] Nagasawa N,Bogaki T,Iwamatsu A,Hamachi M and Kumagai C. Cloning and nucleotide sequence of the alcohol acetyltransferase II gene (*ATF2*) from *Saccharomyces cerevisiae* kyokai no. [J].Biosci.Biotechnol.Biochem.,1998,62:1852-1857.
- [6] Watari J,Sato M,Ogawa M and Shinotsuka K Genetic and

- physiological instability of brewing yeast, H.: Genetic and physiological analysis of branched-chain alcohols and isoamyl acetate production in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Appl.Microbial. Biotechnol.,2001,59:501-508.
- [7] Malcorps P,Cheval J M,Jamil S and Dufour J -P.A new model for the regulation of ester synthesis by alcohol acetyltransferase in *Saccharomyces cerevisiae*[J].Am.Sot.Brew.Chem.,1991,49:47-53.
- [8] Fujiwara D, Kobayashi O, Yoshimoto H, Harashima S and Tamai Y.Molecular mechanisms of the multiple regulation of the *Saccharomyces cerevisiae* ATFl gene encoding alcohol acetyltransferase[J].Yeast,1999,15:1183-1197.
- [9] Verstrepen K J, Moonjai N, Derdelinckx G, Dufour J -P, Winderickx J, Thevelein J M, Pretorius I S and Delvaux F R. Genetic regulation of ester synthesis in brewer's yeast: new facts, insights and implications for the brewer,In Smart, K. (ed.), Brewing yeast fermentation performance, 2nd ed. Blackwell Science, Oxford,UK. 2003:234-248.
- [10] Ramos-Jeunehomme C, Laub R and Masschelein C A. Why is ester formation in brewery fermentations yeast strain dependent,In Proceedings of the 23rd European Brewery Convention Congress, Lisbon: Oxford University Press, Oxford, UK.1991:257-264.
- [11] Watari J, Sato M, Ogawa M and Shinotsuka K. Genetic and physiological instability of brewing yeast,In Yeast physiology: a new era of opportunity. Ntirnberg Fachverlag Hans Carl, 2000:148-158.
- [12] Palmer A K and Rennie H. Ester control in high gravity brewing[J].Inst.Brew.,1974,80:447-454.
- [13] Anderson R G and Kirsop B H: The control of volatile ester synthesis during the fermentation of wort of high specific gravity[J].Inst.Brew.,1974,80:48-55.
- [14] Peddie H A B.Ester formation in brewery fermentations[J]. Inst. Brew.,1990,96:327-331.
- [15] Engan S. Wart composition and beer flavour I: the influence of some amino acids on the formation of higher aliphatic alcohols and esters[J].Inst.Brew.,1970,76:254-261.
- [16] Moonjai N,Verstrepen K J,Delvaux F R,Derdelinckx G and Verachtart H.The effects of linoleic acid supplementation of cropped yeast on its subsequent fermentation performance and acetate ester synthesis[J].Inst.Brew.,2002,108:227-235.
- [17] Hodgson J A and Moir M. Control of esters in brewing, In Proceedings of 3rd Aviemore Conf. Malt. Brew. Distill. Institute of Brewing, UK: Aviemore, 1990:266-269.
- [18] Titica M, Landaud S, Trelea I C, Latrille E, Corrieu G. and Cheruy A.Modelling of the kinetics of higher G., and Cheruy A.: Modelling of the kinetics of higher alcohol and ester production based on CO₂ emission with a view to control of beer flavor by temperature and top pressure[J]. Am. Sot. Brew. Chem., 2000,58:167-174.
- [19] Sablayrolles J M and Ball C B. Fermentation kinetics and the production of volatiles during alcoholic fermentaand the production of volatiles during alcoholic fermentation[J].Am. Sot.Brew.Chem.,1995,53:71-78.
- [20] Maule D R J. Rapid gas chromatographic examination of beer flavour[J].Inst. Brew.,1967,73:351-361.
- [21] Fujii T, Yoshimoto H and Tamai T.Acetate ester production by *Saccharomyces cerevisiae* lacking the ATFl gene encoding the alcohol acetyltransferase [J].Ferment. Bioeng., 1996 (81): 538-542.

(上接第 75 页)

制在 0.01~0.08,使组合后的基础酒基本达到清雅纯正、绵甜柔和、醇厚爽净的成品酒质量要求。

5.2 互助青稞酒的调味

在勾兑好的基础酒中加入特制的香、甜、陈、净、多粮型等风格突出的调味酒,找到味觉转变点,弥补和克服基础酒的不足和缺陷,起到“画龙点睛”的作用,完善酒体,突出风格。经检测,互助青稞酒含有近 200 种微量香味成分,其中,酯类物质主要是乙酸乙酯和乳酸乙酯,而油酸乙酯、亚油酸乙酯、棕榈酸乙酯的含量甚微,高级醇类含量较低,乙酸和乳酸含量接近,两大酸的总和占总酸的 90%以上,与“酯”的成分相对应,这些物质形成科学合

理的量比关系,构成了互助青稞酒产品风格的基础因素。

6 小结

尽管公司研究人员对互助青稞酒的风格成因已经做了大量的研究工作,但对于有 400 年酿造历史、博大精深的互助青稞酒来说,发现也许只是管中窥豹。随着科技的不断进步和研究的逐渐深入,更多的未解之谜将有望被解开。

参考文献:

- [1] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [2] 吴兆征,杜新勇.古贝春酒风格成因初探[J].酿酒,2008(5): 92-93.