

# 酵母发酵副产物与啤酒风味

王志坚

(河北钟楼集团邯郸啤酒有限公司, 河北 邯郸 056001)

**摘要:** 啤酒生产中的副产物有高级醇、有机酸、联二酮、酯类、醛类等物质, 其含量受酵母菌种、麦汁成分、工艺条件等因素的影响。高级醇赋予啤酒醇厚感、泡沫细腻, 使啤酒丰满, 但含量太高会破坏啤酒酒体及风味; 在啤酒中有有机酸含量为  $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 。双乙酰在啤酒中含量高, 阈值低, 对啤酒风味影响很大。酯是啤酒香气的主要载体。乙醛是啤酒中含量最高的醛类, 硫化物主要代表物是硫化氢和二甲基硫, 对啤酒风味影响很大。(孙悟)

**关键词:** 啤酒; 副产物; 啤酒风味

中图分类号: TS262.5; TS261.4; TQ920

文献标识码: C

文章编号: 1001-9286(2001)05-0069-02

## By-products in the Fermentation of Yeast and Beer Flavour

WANG Zhi-jian

(Handan Beer Co. Ltd. of Zhonglou Group, Handan, Hebei 056001, China)

**Abstract:** The by-products in beer brewing include higher alcohols, organic acid, diketone, esters and aldehydes and their contents are dependent on bacterial species of yeast for fermentation, wort components and technical conditions etc. Higher alcohols make the beer full-bodied taste and exquisite foam, but excessive higher alcohols content will destroy beer body and the flavors. The content of organic acid in beer is generally  $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ . Higher content of diacetyl in beer has great effects on beer flavors due to its low threshold. And esters are the main carrying agents for beer flavors. Among aldehydes, the content of aldehyde is the highest. And the main representatives of sulfides are hydrogen sulfide and dimethyl sulfide which also have great effects on beer flavors. (Tran. by YUE Yang)

**Key words:** beer; by-product; beer flavors

酵母在发酵过程中, 除生成酒精、二氧化碳外, 还代谢生成一些副产物, 如高级醇、有机酸、联二酮、酯类、醛类等。这些副产物与酒精、二氧化碳共同组成啤酒的酒体, 并形成啤酒特有风味。

酵母代谢产物受酵母菌种、麦汁成分、工艺条件等因素的影响。酵母代谢产物的改变直接影响到啤酒风味。

啤酒中风味物质大致分为以下4大类。

第一类是浓度高于其口味阈值2倍及2倍以上的物质。缺少此类物质使人感到啤酒缺乏筋骨, 不圆润。但含量过高又会破坏啤酒酒体的协调性。乙醇、二氧化碳、酒花苦味则属此类。

第二类是风味物质的浓度为其阈值的0.5~2.0倍。这类物质是组成啤酒风味重要的成分。其中最重要的是乙酸异戊醇、苯酸乙醇、乙酸乙酯、戊醇等。

第三类风味物质包括浓度为其阈值0.10~0.50倍的所有物质。这些物质若单独存在对啤酒风味影响不大, 但结合或组合后对啤酒风味有较大影响。如乙酸苯酯、异戊醛、甲基硫醇等。

第四类物质则是在啤酒中浓度低于其口味阈值0.1倍的所有物质。这些物质组成啤酒的基础风味。

以上4类物质同时存在于啤酒中, 对啤酒风味产生组合影响。当其中一种或多种物质过高时会改变啤酒风味特性, 形成啤酒风味缺陷。

### 1 高级醇

#### 1.1 高级醇形成的简单机理

收稿日期: 2001-03-27

作者简介: 王志坚(1944-), 男, 河北磁县人, 大学本科, 高级工程师, 长期从事啤酒研究、开发与管理, 获市优秀科技成果三等奖、省优秀新产品二等奖、市科技进步一等奖、省质量管理一等奖各1项, 发表专业论文200余篇, 多篇获奖。

高级醇是酵母发酵过程中由氨基酸形成的。氨基酸经转氨反应生成相应的 $\alpha$ -酮酸, 还原成相应的比原氨基酸少一个碳原子的高级醇。

#### 1.2 影响高级醇生成量的因素

高级醇在啤酒中的总含量一般在  $6.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$  (60~150ppm), 通常下面发酵啤酒高级醇含量在  $6.0 \times 10^{-5} \sim 9.0 \times 10^{-5}$  (60~90ppm)。高级醇主要在主发酵过程生成, 并受酵母菌种、酵母接种量、麦汁成分、发酵温度、贮酒温度、贮酒时间等因素的影响。不同的酵母菌种生成高级醇的种类、数量也不同。而麦汁组成则是影响高级醇生成量最重要因素之一。随麦汁浓度升高, 高级醇生成量随之增加; 麦汁中含有适量氨基酸可使高级醇生成量减少。如果麦汁中可同化氮含量低, 则会使高级醇生成量升高。控制麦汁中 $\alpha$ -氨基氮量原则是: 每升每度麦汁 $\alpha$ -氨基氮含量不低于15mg, 基本可以满足酵母对氮源的需要, 又可防止过多高级醇的生成。而过高的 $\alpha$ -氨基氮含量同样使高级醇生成量增加。增加辅料比, 过量添加酒花, 麦汁通氧过剩均会促进高级醇生成, 还会使乙醛生成量增加。

发酵温度的改变不仅会改变高级醇生成量及种类, 而且会使高级醇之间失去平衡而严重影响啤酒风味。发酵温度升高促使高级醇生成。发酵温度越高, 生成高级醇越多。

在发酵过程实行人工或机械搅拌, 高级醇含量会明显升高。而加压密闭式发酵则会降低其含量。

#### 1.3 高级醇对啤酒风味的影响

啤酒中高级醇含量标准值为:下面发酵啤酒为  $6.0 \times 10^{-5} \sim 9.0 \times 10^{-5}$  (60~90ppm),上面发酵啤酒  $< 1.0 \times 10^{-4}$  (100ppm)。当啤酒中高级醇含量超过  $1.0 \times 10^{-4}$  (100ppm)时,啤酒口味及受欢迎程度会明显变差。

啤酒中高级醇主要是正丙醇、正丁醇、正戊醇、异戊醇、辛醇、活性戊醇、苯乙醇、色醇等。而对啤酒影响最大的是异戊醇。其含量在  $3.0 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-5}$  (30~50ppm)。在正常工艺条件下,发酵液中的高级醇含量不会超过阈值。当工艺条件发生变化时,高级醇生成量会发生波动,甚至超过阈值而影响啤酒风味。

异戊醇含量超过阈值,饮后使人感到头疼。

正丙醇含量超过高级醇总量的20%时,饮后感到有不良口味,并易“上头”。

苯乙醇赋予啤酒独特的、不愉快的香味。其阈值为  $5.0 \times 10^{-5}$  (50ppm),接近阈值呈脂样酸味,啤酒失去典型性。与其他醇结合,起加醇作用,给啤酒风味以不良影响。

高级醇是酵母发酵正常的代谢产物,也是组成啤酒风味的重要成分。赋予啤酒醇厚感、泡沫细腻,使啤酒具有丰满、筋骨之感。但含量太高会破坏酒体及风味的协调。

## 2 有机酸

啤酒中的有机酸主要来自酵母发酵的代谢产物。在啤酒中含量为  $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$  (500~1500ppm)。

啤酒中有机酸分为挥发性有机酸和非挥发性有机酸两大类。

挥发性有机酸主要有:甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、脂肪酸等。一般含量为  $6.0 \times 10^{-4}$  (600ppm)左右。超过  $7.0 \times 10^{-4}$  (700ppm)的啤酒有明显酸味。

非挥发性有机酸主要有:丙酮酸、 $\alpha$ -酮戊二酸、乳酸、苹果酸、琥珀酸、酒石酸、柠檬酸。一般由氨基酸脱氢生成。

啤酒中有机酸含量最多的是琥珀酸,而最重要的是丙酮酸。

$\alpha$ -酮戊二酸与丙酮酸都是酵母酒精发酵时的副产物。氨基化生成谷氨酸,是重要的非挥发性酸类,形成啤酒固有风味。其含量  $6.0 \times 10^{-6} \sim 6.0 \times 10^{-5}$  (6~60ppm)。

乳酸是影响啤酒风味最重要的非挥发性酸类之一,是发酵过程丙酮酸经乳酸脱氢酶催化还原而成。在啤酒中正常含量为  $4.0 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-4}$  (40~120ppm),其阈值为  $4.7 \times 10^{-5} \sim 2.52 \times 10^{-4}$  (47~252ppm)。一旦污染杂菌,其含量会明显升高,啤酒酸味感突出。

苹果酸、琥珀酸、延胡索酸属于羧酸类。其中琥珀酸是酵母发酵生成量最多的有机酸。成品酒中其含量波动在  $3.6 \times 10^{-5} \sim 1.36 \times 10^{-4}$  (36~136ppm)之间;苹果酸含量为  $7.8 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-4}$  (78~100ppm),阈值为  $5.5 \times 10^{-5} \sim 1.35 \times 10^{-4}$  (55~135ppm);延胡索酸含量为  $4.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-5}$  (40~60ppm)。琥珀酸、苹果酸超过阈值,啤酒呈现苦涩味。

啤酒中低碳原子直链脂肪酸有异丁酸、异戊酸等20余种。其中含量最多,最重要的是乙酸,也是对啤酒风味影响最大的挥发酸之一。

乙酸生成的途径主要是:①乙醇或乙醛氧化生成;②酵母在发酵后期吸收丙酮酸,经歧化反应形成乙酸及乳酸;③污染醋酸菌、野生酵母都会生成大量乙酸,致使啤酒变质,口味变坏。啤酒中乙酸含量超过  $1.0 \times 10^{-4}$  (100ppm),肯定污染杂菌。

消费者对酸味比较敏感。啤酒酸度要严格加以控制,达到酸

而不露。

酵母发酵过程有机酸生成量主要受酵母菌种、麦汁成分的影响。不同的酵母菌种酸的生成酶种类、活性均有差异。

麦汁成分是酵母发酵营养基液。麦汁中的糖、维生素及个别氨基酸对成品酒有机酸含量、组成有直接影响。如丙酮酸、 $\alpha$ -酮戊二酸随麦汁中糖量增加而增加,麦汁中氨基酸量同样会影响到琥珀酸的生成量。酵母自溶也会改变啤酒中有机酸含量。酵母细胞内含有多种氨基酸、含氮物质及脂肪酸。当发酵工艺条件改变,酵母不适应环境,就会产生死亡与自溶。所含的大量氨基酸就会进入啤酒中。所以,正确使用酵母,创造适合酵母自身的工艺条件是防止酵母自溶的根本措施。

## 3 联二酮

联二酮是双乙酰和2,3-戊二酮的总称,是酵母发酵代谢产物的后续产物。2,3-戊二酮在啤酒中阈值较高,为  $0.6 \times 10^{-6} \sim 0.9 \times 10^{-6}$  (0.6~0.9ppm),而含量往往很低,对啤酒风味影响较小;而双乙酰则不同,其含量高,阈值低,对啤酒风味影响很大,超过阈值啤酒呈馊饭味,失去再饮性。所以,把啤酒中双乙酰含量作为啤酒成熟度的重要指标加以考核。

影响双乙酰生成的因素很多,如菌种、麦汁成分、发酵温度、氧及瓶颈空气等。因酵母遗传基因差异,不同的酵母菌种双乙酰生成量(峰值)及还原速度也不同。如果麦芽质量差,辅料比高,麦汁中 $\alpha$ -氨基氮含量低,啤酒中双乙酰含量就会升高。麦汁中含氧量过高,促使酵母繁殖过猛,提高了发酵液中副产物浓度,双乙酰含量也会相应增加。提高发酵温度及还原时的压力会加速双乙酰生成与还原,酒液中最终双乙酰含量相应减少。

为了加速啤酒成熟,减少啤酒中双乙酰生成量,应在工艺上采取相应措施。如选育双乙酰生成量低的酵母菌种,添加新鲜、强壮酵母,改善麦汁成分,提高麦汁中 $\alpha$ -氨基氮含量,减少酒液中氧含量及瓶颈空气含量等。啤酒中双乙酰含量控制在标准范围内,啤酒口味就会得到改善。

## 4 酯

酯是酵母发酵代谢产物,是啤酒香气的主要载体。酯是酵母细胞内由乙酰辅酶A与醇缩合而成。

啤酒中酯的含量不仅与酵母特性有关,而且受到生产工艺条件、啤酒中脂肪酸的直接影响。一切能导致酵母强烈发酵的措施,如强烈通风、搅拌、不断追加麦汁都会使酵母发酵过程中酯的生成量明显降低。而高温发酵则会使酯生成量增加。带压密闭发酵,酯的形成会受到抑制。麦汁组成同样会影响到酯的生成量。麦汁中 $\alpha$ -氨基氮含量过高( $> 250\text{mg/L}$ ),会增加酯的生成量。长时间、高浓度、低温贮存,能赋予啤酒愉快酯香气。

酵母发酵时产生酯的代表物是乙酸乙酯。含量在  $1.5 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-5}$  (15~25ppm),其阈值为  $3.0 \times 10^{-5}$  (30ppm)。乙酸甲酯、乙酸异戊酯均微量存在于啤酒中。其他酯类如 $\beta$ -乙酸苯乙酯、己酸乙酯等也微量存在。而啤酒香味及香气往往受这些微量物质的影响,超过阈值会给啤酒带来异香或异味。如乙酸乙酯呈甜味,辛酸异戊酯具有强烈的果香味,2-醋酸苯乙酯呈酸味、苹果味,赋予啤酒不愉快的香味,使啤酒风味失去协调性。

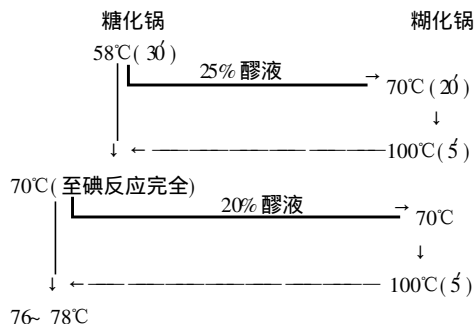
## 5 醛

酵母在较低温度下(7.5~9.0℃)发酵产物主要是乙醇,随发

(下转第68页)

## 1.2.3 糖化工艺

高短糖化法: 58℃/70℃/77℃(见下图)。



## 1.2.4 发酵操作要点

麦汁冷却至9℃,采用德国DAB酵母,酵母添加量为0.5%~1%,满罐24h后排冷凝物,发酵温度控制在11℃。待外观糖度为5.5Bx时,即封罐升压,保压0.08MPa,双乙酰还原时升至0.12MPa,当外观糖度降为2.5Bx时,自然升温至12℃,进行双乙酰还原。后面的操作均与普通酒同。

## 2 结果与讨论

表2为用二次煮出法(50℃/65℃/77℃)与高短糖化法所生产麦汁的组成情况。从结果可以看出,高短糖化法生产的麦汁还原糖含量较二次煮出法略有降低,这是由于62~65℃是β-淀粉酶的最适作用温度,自然,高短糖化法麦汁其可发酵性糖相对低些,非发酵性糊精则相对多些,这对提高低度酒的醇厚性有利。

表2 不同糖化法麦汁组成的比较

糖化方法	原麦汁浓度 (% , m/m)	还原糖 (g/100ml)	总氮 (mg/L)	α-氨基氮 (mg/L)	色度 (EBC)	pH	酸度 (ml/100ml)
二次煮出法	8.13	5.97	785	171	6.9	5.4	1.45
高短糖化法	8.08	5.58	743	155	6.2	5.5	1.33

发酵过程中并没有什么异常,当酒龄达到20天时,对两种不

同糖化工艺生产的酒进行过滤、灌装,两种成品酒的质量状况如表3所示。从表中不难看出,不同的糖化工艺对酒质有较大的影响。

表3 两种糖化工艺所生产啤酒的质量情况

质量指标	二次煮出法	高短糖化法			
感官指标	口味	口味纯正,爽口,酒体空乏	口味纯正,爽口,酒体协调,柔和,具有愉快的杀口感		
	浊度(EBC)	0.47	0.45		
	泡沫形态	泡沫洁白,不够细腻,欠持久,挂杯不明显	泡沫洁白,细腻,持久挂杯		
	泡持时间(s)	158	195		
	酒精度(% , m/m)	2.867	2.766		
理化指标	原麦汁浓度(% , m/m)	8.10	7.97		
	真正发酵度(%)	70.1	68.8		
	色度(EBC)	6.1	5.8		
	总酸(ml/100ml)	1.83	1.77		
	pH	4.3	4.1		
	CO <sub>2</sub> (% , m/m)	0.49	0.51		
	双乙酰(mg/L)	0.03	0.06		
	总氮(mg/L)	489	447		
	区分A(mg/L)	86.1	17.6%	94.3	21.1%
	区分B(mg/L)	75.8	15.5%	79.6	17.8%
区分C(mg/L)	321.1	66.9%	273.1	61.1%	

从理化分析看,酒精度、发酵度、色度、总氮等指标较二次煮出法的略有所降低,原因已在麦汁指标讨论中提到。啤酒的pH值也比二次煮出法的要低,这主要是因为醪液中磷酸酶在58℃下活性较低,磷酸酶的最适作用温度为50~53℃,到60℃即失活。而这种酶能分解麦芽中的有机磷酸盐(植酸盐),产生出游离的磷酸,从而增加了麦汁的缓冲性能。在高短糖化法中,磷酸酶的作用得到限制,从而使麦汁的缓冲性能较差,最终导致啤酒有较低的pH值。●

(上接第70页)

醇温度升高副产物会随之增加,其中包括醛类物质,给啤酒带来辛辣味、不成熟味及其他不良口味。

作为酵母代谢直接产物的乙醛,是醛类物质中最重要的代表物。它由丙酮酸经不可逆脱羧而形成。

乙醛也是啤酒中含量最多的醛类,波动范围比较大,在 $1.0 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-5}$  (1~30ppm),其阈值为 $1.5 \times 10^{-5}$  (15ppm)左右。超过阈值啤酒呈不成熟味、粗糙苦味及腐败生草味。

乙醛的生成主要受发酵温度的影响。大量乙醛在主发酵阶段生成。当发酵度达到35%左右时乙醛含量最高,后发酵期有所下降。

乙醛的生成与下列工艺条件有关: ①最终麦汁pH值偏高,大量通风供氧,加大酵母接种量均有利于乙醛生成。②发酵温度越高乙醛生成量越低。发酵后期乙醛含量有所降低。③发酵压力越高,乙醛生成量越多。④贮酒前期实施敞口发酵或二氧化碳洗涤,可排除残留于啤酒中的乙醛改善啤酒口味,加速啤酒成熟。

## 6 含硫化物

硫化物是啤酒发酵过程不可缺少的微量成分。它在啤酒中含量很低,但对啤酒风味影响很大。其主要代表物是挥发性硫化氢及二甲基硫。

啤酒中硫化物一般来源于原料及酒花。在制备麦芽、麦汁过程中也生成一些硫化物。在麦汁煮沸时大部分已被蒸发掉。另一部分是酵母发酵时产生。但酵母增殖时会消耗掉一部分。所以,残留在啤酒中只是微量硫化物。

硫化氢及二甲基硫是酵母发酵代谢的一般产物。若选用生成硫化物少、后发酵期重新代谢硫化物强的酵母菌种;降低接种温度及接种量,净化麦汁,尽量分离麦汁中凝固物;后发酵初期敞口发酵或二氧化碳洗涤,均有利于减少啤酒中硫化物含量。但添加高泡酒有利于硫化物生成。特别应加强工艺卫生管理,防止杂菌污染。啤酒污染后不仅破坏其口味,也会产生硫化氢及乙醛。

综上所述,酵母发酵副产物与啤酒质量,特别是啤酒风味息息相关。而副产物生成主要受酵母菌种、麦汁成分、发酵温度等因素共同影响。因此,加强工艺管理,完善工艺条件,搞好工艺卫生,就能把发酵副产物控制在合理范围内,酿制出高品质的啤酒。●