

# 啤酒中双乙酰含量的控制

鲍会梅

(江苏食品职业技术学院,江苏 淮安 223003)

**摘要:** 啤酒中双乙酰含量的变化与许多因素有关。通过对酵母、麦汁组成、溶解氧、发酵条件、发酵工艺等方面的研究、分析,制定出一系列控制双乙酰的措施。

**关键词:** 啤酒; 双乙酰; 影响因素; 控制方法

中图分类号:TS262.5;TS261.4

文献标识码:B

文章编号:1001-9286(2008)10-0077-04

## Control of Diacetyl Content in Beer

BAO Hui-mei

(Jiangsu Food Occupational Techniques College, Huai'an, Jiangsu 223003, China)

**Abstract:** The change of diacetyl content in beer is related to many factors. Through the research on beer yeast, wort compositions, dissolved oxygen, fermentation conditions, and fermentation techniques etc., a series of measures to control diacetyl content was put forward. (Tran. by YUE Yang)

**Key words:** Beer; diacetyl; factors; control methods

### 1 双乙酰

双乙酰是发酵过程中酵母(或污染菌)生长代谢的副产物,双乙酰在啤酒中含量超过其味阈值,会给啤酒带来不愉快的馊饭味。

#### 1.1 双乙酰的产生

双乙酰的产生途径有:①双乙酰是酵母含氮物质生物合成的旁路产物;②生产过程污染能产生双乙酰的细菌(如乳酸菌中足球菌);③酵母自溶,其体内的 $\alpha$ -乙酰乳酸渗出,氧化脱羧形成双乙酰。

双乙酰和2,3-戊二酮都含有邻位双羰基,总称为联二酮,两者化学性质相似,赋予啤酒生青味,使啤酒产生不成熟、不协调的口味和气味。但2,3-戊二酮在啤酒中的含量比双乙酰低得多,其口味阈值约为2 mg/L,是双乙酰口味阈值的10倍,所以对啤酒风味影响不大,起主要作用的仍是双乙酰。

#### 1.2 双乙酰对啤酒风味的影响

造成啤酒风味不成熟的原因不是由于缺少某些物质,而是由于在主酵期间,酵母产生影响啤酒风味的某些代谢产物没有排放到人们能够接受的程度。在众多影响啤酒风味成熟的物质当中,双乙酰是关键,被认为是衡量啤酒成熟与否的决定指标。优质啤酒的双乙酰含量应控制在0.1 mg/L以下。

#### 1.3 控制双乙酰的主要目的

控制双乙酰的主要目的是对双乙酰在主酵生成、后酵还原及滤酒、包装过程的影响因素进行分析控制,使双乙酰的含量降低到合理的水平。

#### 1.4 双乙酰的形成及还原机理

形成双乙酰的前体物质是 $\alpha$ -乙酰乳酸,而 $\alpha$ -乙酰乳酸是酵母在合成缬氨酸时形成的。研究结果表明, $\alpha$ -乙酰乳酸形成数量的多少取决于酵母对缬氨酸的需求量及麦汁中缬氨酸的含量。麦汁中的缬氨酸含量多时,酵母合成缬氨酸的量就会减少,可抑制 $\alpha$ -乙酰乳酸的生成,最终抑制双乙酰的生成。

酵母细胞内的 $\alpha$ -乙酰乳酸不会直接转化为双乙酰,必须被酵母排出细胞外(发酵液中),经非酶氧化脱羧形成双乙酰。发酵液中的双乙酰再依靠双乙酰渗透酶输送入酵母细胞中,在细胞内靠双乙酰还原酶还原成2,3-丁二醇,然后再排出酵母细胞外。

如在发酵液中加 $\alpha$ -乙酰乳酸脱羧酶,可直接将双乙酰的前体物质—— $\alpha$ -乙酰乳酸催化分解,还原成乙偶姻,从而避免和减少了双乙酰的生成,可大大缩短双乙酰的还原时间。

### 2 影响啤酒中双乙酰含量的因素

影响啤酒中双乙酰含量的因素有很多,但总的来说有3大方面:酵母、原料和麦汁的组成、发酵工艺。

收稿日期:2008-06-24

作者简介:鲍会梅(1974-),女,江苏淮安人,本科,实验师,主要从事食品理化检验实验教学工作。

## 2.1 酵母

### 2.1.1 酵母菌种

不同的酵母菌株具有不同的 $\alpha$ -乙酰乳酸合成酶活力,其形成双乙酰前体物质的能力差异也很大。在相同发酵条件下,有的酵母生成双乙酰前体物质的峰值很低,仅有0.3 mg/L左右,有的酵母形成的前体物质则高达1.0 mg/L以上。

同一酵母菌株,其接种量愈高,则新生成的细胞也愈少,双乙酰前体物质形成的峰值也愈低。

衰退、发酵迟缓的酵母。贮存日久或高温贮存的酵母,发酵力不强,其还原双乙酰的能力低。

凝聚性强、沉淀快和分散不良的酵母,还原双乙酰慢。

酵母变异、混有呼吸缺陷型的小菌落变异株。此变异株不同程度地降低了缬氨酸的生物合成途径中的各种酶的活力,还原异构酶和琥珀酸脱氢酶活力降低,显著增加 $\alpha$ -乙酰乳酸的积累和减少双乙酰的还原,足以是双乙酰含量远远超过其味阈值。

酵母被杂菌(球菌和乳酸菌)污染后,易产生大量的双乙酰。此类污染菌能继续在沉淀酵母中生长,因此也存在于接种酵母中。

### 2.1.2 酵母添加量

控制适宜的酵母添加量。添加量过多,乙酰乳酸形成就越多,分解也越迅速和强烈。添加过少,则酵母起发慢,增殖停滞期延长,乙酰乳酸等的生成和分解也会相应延迟。

### 2.1.3 酵母数峰值

峰值酵母数过高,峰值出现时间过早,则反映酵母生长繁殖及代谢过于旺盛,联二酮类物质含量偏高。反之,则表明生长代谢迟缓,影响后酵联二酮类物质的还原。一般而言,增殖级数 $<3$ ,可有效地降低乙酰乳酸的含量。

### 2.1.4 酵母使用代数不高于5代。

酵母死亡率过高、自溶现象严重,也会造成双乙酰含量升高。

## 2.2 原料和麦汁的组成

### 2.2.1 麦芽

在溶解不良的麦芽所制麦汁和高辅料的麦汁中易缺乏缬氨酸,双乙酰峰值和后期含量会较高。

### 2.2.2 麦汁 $\alpha$ -氨基氮含量

根据麦芽质量调整糖化工艺,控制麦汁 $\alpha$ -氨基氮含量在合理的水平。因为提高麦汁的 $\alpha$ -氨基氮含量,就相应地提高麦汁中缬氨酸的含量,减少了前体物质 $\alpha$ -乙酰乳酸的合成和积累,也就相应地降低了 $\alpha$ -乙酰乳

酸分解为双乙酰的支路代谢。 $\alpha$ -氨基氮含量过高也是不必要的,会导致酵母营养过剩和高级醇含量过多。

据文献报道,在同一发酵条件下,含游离 $\alpha$ -氨基氮30 mg/L的麦汁,主发酵期间形成的 $\alpha$ -乙酰乳酸峰值(2.1 mg/L)是含游离 $\alpha$ -氨基氮为220 mg/L的麦汁所形成的 $\alpha$ -乙酰乳酸峰值(0.5 mg/L)的4倍以上。

### 2.2.3 麦汁组成

麦汁组成直接影响酵母的生长和双乙酰的降解。充足的 $\alpha$ -N有利于酵母繁殖,缬氨酸有反馈抑制,浅色麦芽缬氨酸含量高于深色麦芽,其酿制的啤酒双乙酰含量相对较低。麦汁中Zn含量提高,可减少双乙酰生成量。麦汁应清亮透明,成分合理。

## 2.3 发酵条件

### 2.3.1 发酵温度

从理论上讲,提高发酵温度,酵母的繁殖及新陈代谢速度加快,其形成 $\alpha$ -乙酰乳酸的量会增高;但高温发酵使 $\alpha$ -乙酰乳酸的非酶氧化及双乙酰的酶还原速度也会加快。高温发酵会影响成品啤酒的风味。

高接种量和高温发酵, $\alpha$ -乙酰乳酸形成得快,消失得也快;高接种量,低温发酵,当大部分可发酵糖发酵后再升温还原双乙酰,这样的工艺, $\alpha$ -乙酰乳酸形成少,双乙酰还原快,酒中含双乙酰相对较低。

### 2.3.2 麦汁和发酵液的pH值

pH值越低,其转化速度越快,pH4.0~4.2时转化迅速。控制定型麦汁pH5.1~5.5,进而控制发酵液pH3.9~4.3,pH对双乙酰前驱体的转化及双乙酰还原都有重要影响,其结果见表1。

表1 pH对双乙酰的转化及双乙酰还原的影响

项 目	pH		
	3.9~4.1	4.1~4.3	4.3~4.5
平均还原时间(d)	6.5	7	7.5
双乙酰(mg/L)	0.060	0.060	0.060

### 2.3.3 麦汁溶解氧

麦汁溶解氧含量高,酵母繁殖快,双乙酰前体物质形成得快,消失得快。溶解氧含量过低,酵母繁殖不良,发酵不旺盛, $\alpha$ -乙酰乳酸峰值虽不高,但双乙酰还原慢,酒液中双乙酰含量相对较高。

### 2.3.4 发酵方式

大罐发酵较传统的发酵,悬浮于酒液中的酵母密度大,沉淀时间长,双乙酰还原相对较快。

### 2.3.5 其他方面

发酵以后的酒液中总含有或多或少的双乙酰前体物质,啤酒过滤后,应尽量避免酒液与氧接触,如:酒液管道中空气的排除,硅藻土调浆水的除氧、滤酒机和助

滤剂中空气的排除以及瓶颈空气的排除等等,否则啤酒过滤后,残留的前体物质将继续氧化分解为双乙酰,此时酒内已无酵母存在,将导致包装后的啤酒双乙酰回升。

### 3 控制啤酒中双乙酰含量的措施

控制啤酒双乙酰含量的措施主要有两方面:①选择有效的检测方法;②选择有效的控制指标。

#### 3.1 选择有效的检测方法

两种双乙酰检测方法的比较:

方法一:样品直接按 GB4928-2001 中啤酒双乙酰的试验方法测定。

该方法测出的双乙酰包含酒液本身的双乙酰和在实验操作过程中部分 α-乙酰乳酸转化的双乙酰两部分。其中后者具有一定的不确定性,故方法一测定的结果不能有效反映酒液中双乙酰和 α-乙酰乳酸的总量。

方法二:对样品进行预处理:低温(<5℃)下用 2 个烧杯以细流来回倾倒 5 次(增加酒液氧含量),转移酒液到密闭容器中,于 60℃水浴恒温 1 h(使 α-乙酰乳酸转化成双乙酰),再将酒液冷却,按 GB-4928-2001 的方法测定双乙酰含量。

该方法通过样品预处理使酒液中绝大部分 α-乙酰乳酸在蒸馏前就转化成了双乙酰。故方法二能有效反映酒液中双乙酰和 α-乙酰乳酸的总量。用方法二测出的双乙酰含量通常比方法一测得的结果高。

两种双乙酰检测方法的对比结果见表 2。

表 2 两种双乙酰检测方法的对比结果

方法	样品					
	1	2	3	4	5	6
方法一	0.07	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05
方法二	0.13	0.08	0.14	0.10	0.08	0.11

表 2 表明,用方法二测定双乙酰合格的酒液,即使以后 α-乙酰乳酸氧化,酒液的双乙酰也不会超标,这对有效控制双乙酰是有利的。

#### 3.2 选择有效的控制指标

##### 3.2.1 必须控制合理的麦汁 α-氨基氮含量

α-氨基氮是酵母繁殖的主要氮源,不同浓度的麦汁要求其含量不同。它对双乙酰的生成与还原产生直接影响,见表 3。

表 3 不同的 α-氨基氮含量对双乙酰峰值的影响

项目	α-AN (mg/L)					
	157	161.8	166	173	176	180.5
VDK	0.25	0.24	0.24	0.15	0.15	0.13

麦汁中 α-氨基氮含量越高,双乙酰的生成量越低。

糖化生产过程中,在原料的选择上应注意以下几点:

①选择蛋白质溶解良好的麦芽,库尔巴哈值应在 38%~42%;若生产高浓度啤酒,则库尔巴哈值应达到 42%~46%。麦芽 α-氨基氮含量要求在 170 mg/L 左右为宜。

②根据麦芽中 α-氨基氮的含量来确定原辅料比例,一般按下试计算:

$$X = \frac{A}{B \times M}$$

式中:X——原辅料比;

A——糖化麦汁要求达到的 α-氨基氮含量;

B——糖化麦汁吨耗粮(kg);

M——100 g 麦芽 α-氨基氮的量。

③对溶解不足的麦芽,应确定合理的蛋白休止时间和温度,来弥补原料的不足,使麦汁中含有足够的 α-氨基氮。

##### 3.2.2 适量增加麦汁中的溶解氧

发酵罐麦汁溶解氧控制在 6~8 mg/L,可以改变发酵液的氧化还原值,使发酵液中的 α-乙酰乳酸尽可能多地转化成双乙酰而被酵母自身还原,从而减少成品酒中 α-乙酰乳酸的残留量,避免啤酒贮存过程中双乙酰反弹的现象。

##### 3.2.3 提高酵母的使用质量

应选择双乙酰峰值较低(小于 0.2 mg/L)、还原能力强壮的酵母。表 4 是 A、B 两种不同的酵母发酵,双乙酰还原情况的跟踪比较。

表 4 A、B 两种不同的酵母发酵双乙酰还原情况 (mg/L)

项目	时间(d)				
	1	2	3	4	5
酵母 A	0.0683	0.5881	0.8676	0.5035	0.2215
酵母 B	0.0520	0.0874	0.1183	0.2052	0.0976

表 4 表明,酵母 B 比较符合要求。

提高酵母使用质量,包括避免酵母被污染,生产过程中,要加强微生物管理。因为发酵液染菌也是造成双乙酰含量高的另一主要因素。酵母应采用低温(0℃)贮藏,并尽可能快地使用。污染和未被污染的发酵液其风味测定结果的比较见表 5。

表 5 染菌与未染菌的发酵液中风味物质及双乙酰含量

理化指标	无污染的发酵液	污染的发酵液
乙醛(mg/L)	1.7	3.3
正丙醇(mg/L)	12.6	26.5
双乙酰(mg/L)	0.13	0.17
2, 3-戊二酮(mg/L)	0.08	0.03
腐败菌(个/0.1 mL)	0	不可计

从表 5 中可看出,被污染的发酵液其双乙酰含量较未污染的高。

### 3.2.4 制定合理的发酵工艺

①降低酵母接种温度(7~9℃),加大酵母接种量为(15~18)×10<sup>6</sup>个细胞/mL,主发酵前期采用低温发酵(9~10℃),可减少α-乙酰乳酸的形成。

②当主发酵外观发酵度达到65%左右时,提高主发酵后期双乙酰的还原温度(12~13℃),以加速双乙酰的还原。

③当外观发酵度达70%以上,外观糖度降到3.5P时再升压,可避免酵母过早沉降,以使双乙酰继续还原。

④双乙酰含量降至0.06mg/L以下时,才开始降温,直至降至0~1℃贮酒。

⑤利用二氧化碳洗涤发酵液,也可排除双乙酰。

### 3.2.5 控制啤酒灌装过程溶解氧的含量

①避免清酒在管路中产生涡流现象,这样会使清酒中溶解氧含量增加。

②灌装过程中使用二氧化碳背压,并采用二次抽真空,来降低灌装增氧量。

③采用高压引沫除氧装置,降低瓶颈空气的含量,控制在1mL/L以下。

④啤酒巴氏杀菌温度不宜过高,杀菌强度应控制在15~20PU。

### 3.2.6 适量添加α-乙酰乳酸脱羧酶降低双乙酰含量

添加α-乙酰乳酸脱羧酶不仅可以缩短双乙酰的还原时间,同时也减少了酒液中的α-乙酰乳酸含量。适量添加α-乙酰乳酸脱羧酶降低双乙酰含量结果见表6。

从表6中可看出,添加α-乙酰乳酸脱羧酶可缩短发酵时间2~3d,同时还防止了成品啤酒中双乙酰的反弹。

## 4 结论

啤酒中的双乙酰含量过高会影响啤酒的口味,生产

表6 添加α-乙酰乳酸脱羧酶双乙酰的还原情况

项 目	添加量 (mg/L)						
	未加	5	10	15	20	25	
发酵时间(d)	18	17	16	15	14	14	
双乙酰	清酒	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
	成品酒	0.09	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04

过程要注意以下几点:①双乙酰含量是啤酒成熟的标志;②乙酰乳酸必须迅速转化为联二酮,为此需快速发酵至最终发酵度,低pH值,酵母添加后要避免吸氧,主酵和后熟要在较高温度下进行;③后熟需要有活力的酵母细胞,防止酵母过早沉降;④发酵晚期吸入氧气是非常危险的,氧气的存在会使α-乙酰乳酸氧化为双乙酰,这时生成的双乙酰已不可能被酵母降解。

### 参考文献:

- [1] 申华,张玲玲,索德斌,等.浅谈发酵副产物对啤酒风味的影响及改进措施[J].酿酒,2002,29(4):56-57.
- [2] 王德强,王雪青,姜宏伟,等.浅谈单色啤双乙酰含量的控制[J].酿酒,2002,29(4):62.
- [3] 范秀英.啤酒酿造中双乙酰的代谢调控的研究进展[J].酿酒,2003,(3):54-55.
- [4] 秦玉静,高东,刘巍峰.啤酒生产中双乙酰形成的分子遗传学及其控制[J].工业微生物,1999,29(2):38-43.
- [5] 韩志芳,刘凤海,于春滨,彭博学.浅谈如何控制啤酒中的双乙酰[J].酿酒,2000,(4):64-65.
- [6] 李英.浅谈啤酒生产贮存中双乙酰的诱因及控制[J].内蒙古科技与经济,2000,(1):11-14.
- [7] 刘海兵.从代谢途径中看啤酒生产中双乙酰的调控[J].酿酒,2004,31(5):55-56.
- [8] 谭冬梅.啤酒生产中双乙酰的形成及控制措施[J].酿酒,2003,30(3):66-67.
- [9] 黄祖新.控制啤酒酿造过程中的双乙酰的生物工程技术进展[J].酿酒,1998,(3):12-15.

## 贵州“新八大名酒”产生

本刊讯:由贵州省商务厅、贵州省经济贸易委员会、贵州省科学技术厅、贵州省工商行政管理局和贵州省质量技术监督局等单位共同组织的贵州名酒评选专家委员会,经过几个月的认真评审评选,贵州“新八大名酒”于2008年19日晚在历史名城遵义汇川艺术中心“贵州名酒”授牌晚会上公布。

新八大名酒分别为:贵州茅台酒厂(集团)习酒有限责任公司生产的习水大曲(浓香型52%vol)、贵州茅台酒厂集团习酒有限责任公司生产的习酒(酱香型53%vol、浓香型52%vol)、贵州茅台酒股份有限公司生产的茅台王子酒(酱香型53%vol、酱香型46%vol)、贵州茅台酒股份有限公司生产的茅台迎宾酒(酱香型53%vol)、贵州金沙窖酒酒业有限公司生产的金沙回沙酒(酱香型52%vol、酱香型51%vol、酱香型48%vol)、贵州青酒厂生产的青酒(浓香型38%vol五星、浓香型52%vol十五年洞藏)、贵州醇酒厂生产的贵州醇(浓香型35%vol)和贵州董酒股份有限公司生产的董酒(董香型54%vol、董香型45%vol)。

在新八大名酒中,茅台王子酒、茅台迎宾酒、习酒、贵州醇等4个品牌首次获得“贵州名酒”称号。(孙悟)



领导为“新八大名酒”企业授牌