

Beer Fermentation
and Ester Formation

啤酒发酵 与酯的形成

杨东升 编著



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

啤酒发酵与酯的形成

杨东升 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

啤酒发酵与酯的形成/杨东升编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2017. 11

ISBN 978 - 7 - 5184 - 1527 - 4

I. ①啤… II. ①杨… III. ①啤酒发酵—研究
IV. ①TS262. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 185101 号

责任编辑: 江 娟 车向前

策划编辑: 江 娟 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 15.75

字 数: 300 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-1527-4 定价: 48.00 元

邮购电话: 010 - 65241695

发行电话: 010 - 85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

170419K1X101ZBW

前 言

挥发酯类是啤酒中最大的一类风味物质，它们主要形成水果味道。酯类总的含量并不高，但由于其阈值低，对啤酒风味影响很大。啤酒发酵产生的酯种类繁多，目前 100 余种不同的酯已被鉴定，它们可以被分成两大类：乙酸酯和中链脂肪酸乙酯。单纯研究酯类对啤酒的影响是片面的，啤酒中存在多种高级醇，它们既是酯生成的底物，又是重要的风味物质。高级醇与酯在啤酒中的含量比构成了啤酒品质的关键指标：醇酯比。醇酯比对现代大体积单罐啤酒产品生产具有重要的指导意义，对高浓发酵产品质量的纠正也十分必要。当前，全球对啤酒中乙酸酯的研究较为深入，发现了乙酸酯生成的限制因子——醇乙酰基转移酶，并从基因层面调控乙酸酯的生成，但对中链脂肪酸乙酯的研究仍处在起步阶段。

本书主要的研究内容涉及以酵母代谢为中心的啤酒发酵操作如麦汁生产、发酵、后熟的环节；涉及参数如浸出物浓度、氨基氮、微量元素、氧和 pH 值（氧化还原势）、酯类、高级醇、双乙酰等；参与细胞基本生化活动的重要辅因子——乙酰辅酶 A 在酯生成过程中以底物形式介入的生理作用；醇乙酰基转移酶（AATase）在乙酸酯合成中的关键因子作用及中链脂肪酸乙酯的合成过程；乙酸酯合成及中链脂肪酸乙酯合成的基因调控及酯生成对酵母本身的生理作用；新型啤酒酿造如高浓发酵和大型发酵罐技术应用对酯生成的影响及工业调控；现代啤酒发酵新工艺和大型酿造设备介绍。

本书的编写得到海南省自然科学基金资助，项目批准号：317006。在此衷心表示感谢。本书可供从事啤酒发酵技术领域的技术工作者参考应用。

由于作者水平和经验有限，本书错漏和不足之处恳请读者批评指正。

杨东升
于海南大学

目 录

第一章 啤酒发酵过程中酵母的代谢作用	1
第一节 啤酒发酵简介	2
第二节 啤酒酵母的代谢	16
第二章 啤酒发酵过程中发酵参数及成分变化	26
第一节 糖的变化	27
第二节 酸度 (pH) 的变化	31
第三节 氨基氮的变化	32
第四节 氧和 rH 值 (氧化还原势) 的变化	35
第五节 风味物质含量的变化	36
第六节 脂质的变化	42
第三章 酵母中的乙酰辅酶 A 及啤酒中的高级醇	54
第一节 酵母中的乙酰辅酶 A	55
第二节 乙酰辅酶 A 对酯合成的影响	58
第三节 乙酰辅酶 A 对酵母生理代谢的影响	63
第四节 啤酒中高级醇的生成及特点	67
第五节 影响高级醇生成因素	70
第六节 高浓发酵下的高级醇	74
第七节 小麦啤酒中的高级醇	79
第八节 高级醇与酯形成的关系	82
第九节 啤酒中高级醇的检测	85
第四章 啤酒中的酯及其形成	93
第一节 啤酒中酯的种类	94
第二节 啤酒发酵期间酯的变化	97
第三节 酯含量与啤酒质量	101
第四节 高浓度发酵啤酒中的酯	106
第五节 小麦啤酒中的酯	111
第六节 酯形成中的关键底物和酶	115
第七节 啤酒中乙酸酯类的合成	119

第八节	中链脂肪酸酯 ($C_6 - C_{10}$) (MCFA 酯) 的合成	125
第九节	啤酒中酯合成的生理调控	128
第十节	啤酒中酯类的检测	131
第五章	啤酒中酯合成的基因调控	138
第一节	酯酶	139
第二节	乙酸酯合成的调控	145
第三节	MCFA 乙酯合成的调控	148
第四节	啤酒中风味成分的主成分分析	155
第六章	啤酒发酵过程中酯类的工业调控	160
第一节	酵母特性对酯类合成的影响	162
第二节	麦汁组成的工业调控	165
第三节	发酵条件 (参数) 的影响	175
第四节	酯生成的控制	180
第七章	现代啤酒发酵工艺设备及对啤酒醇酯比的影响	190
第一节	现代啤酒发酵工艺	190
第二节	啤酒发酵工艺设计实例	195
第三节	啤酒发酵设备——圆柱锥底发酵罐	200
第四节	啤酒工厂设备设计实例	212
第五节	圆柱锥底发酵罐容积对发酵液醇酯比的影响	215
附 录		225
参考文献		230

第一章 啤酒发酵过程中酵母的代谢作用

在啤酒生产中，涉及的微生物种类不多，其中啤酒酵母是啤酒生产中的主要微生物。过去，手工作坊生产的啤酒由于生产条件所限，不能达到纯种发酵的要求，因此产品质量会受到很大的影响。随着生产技术的发展，工业化啤酒生产已经演变为纯种发酵，生产过程以及产品质量的可控性增强。为了优化发酵条件，使啤酒风味多元化，必须对各种啤酒酵母的代谢作用进行深入细致的研究。首先从酵母自身来说，其个体性能是啤酒生产水平及质量高低的先决条件，采用不同的酿酒酵母就能生产不同风味的啤酒。对其特性的研究，比如酵母活力、产酒精能力的大小、产酯能力高低等，是对其先天代谢能力的具体描述。这些具体参数的研究对酵母优良菌种的筛选具有指导意义，同时对接下来的啤酒发酵也具有十分重要的影响。其次，生产工艺条件对酵母的代谢起到至关重要的作用，进而对啤酒的风味组成造成积极或消极的影响。酵母的最终代谢水平是与发酵条件紧密相关的，各种发酵条件和参数如原料、辅料、浸出物浓度、氮浓度、溶解氧、主酵温度、后熟温度、罐内压力、时间，甚至发酵容器的大小，均对酵母代谢构成影响。因此，研究生产工艺条件对酵母代谢的影响对啤酒的工业化生产具有实际指导意义。

就本书而言，啤酒酯类的生成是一个复杂的代谢过程，不单与酵母自身活力大小有关，更与各种关键代谢产物的变化有关，这些代谢产物的改变往往引起代谢通道的变更，对产物生成水平造成影响。比如，乙酰辅酶 A 是合成酯类脂质等重要化合物的前体物质，参与了酵母中 100 多条合成与代谢途径。在酵母中过量表达乙酰辅酶 A 合成酶基因，可以导致乙酰辅酶 A 显著增长。逐渐增加乙酰辅酶 A 水平导致乙酸合成途径的碳代谢流量加大和乙酸快速积累。同时，乙酰辅酶 A 是 TCA 循环的前体，胞内乙酰辅酶 A 池的大小直接决定了 TCA 循环的碳流通量。在一定的发酵条件下，乙酰辅酶 A 池的大小决定着酵母生长能力的大小，同时决定着产酯能力的大小，由其代谢流向决定酵母的代谢是以生成细胞组分为主，还是以产酯为主。因此，研究酯的生成，要从酿酒酵母最基本的代谢作用开始。

第一节 啤酒发酵简介

啤酒是一种以大麦芽和水为主要原料,加入啤酒花和酵母后发酵而成的富含二氧化碳的低酒精度气体饮料,是世界上消耗最多的发酵饮料之一,全世界每年消费量近1.4亿吨。中国每年啤酒的消耗量位居世界第一,达到4000多万吨。2016年我国啤酒年产量达到4506万吨,是世界第一大啤酒生产国。但由于生产科研及地域口味习惯等的诸多限制,我国啤酒出口水平不高,只有19万吨,出口总量占生产总量不到1%,是一个啤酒出口小国。在生产工艺方面,多采用低温发酵贮藏技术,酿制啤酒的主要原料如啤酒大麦69%要靠进口,其他辅料则依地域不同采用大米、淀粉、蔗糖等。目前,啤酒现代生产工艺逐步由低浓度发酵向高浓度发酵演变。20世纪70年代,美国和加拿大采用高浓投料、高浓发酵、过滤前稀释的工艺,率先推出了高浓酿造啤酒。到现在为止,对高浓酿造技术一直在不断进行深入研究,麦汁浓度可提高至18~24°P,稀释率已达300%。高浓酿造啤酒与传统低浓度酿造啤酒在风味上存在较大差别,尤其在谐调柔和方面。谐调柔和是对啤酒口感的整体评价,也是啤酒各种风味物质相互作用的结果。口感谐调指酒体中酸、甜、苦、涩及酒精固有的辣味等配合得恰到好处,口味柔和、苦味小、酸感低、酿造香味淡、给人浑然一体的愉快感觉。啤酒高浓酿造技术能显著降低生产成本,提高产品淡爽度,满足激烈的市场竞争对降低成本的迫切需求,解决旺季生产能力不足等实际问题。然而,当稀释率达到一定程度时,酒样易产生水味、寡淡口味等不良风味,影响成品酒品质。

啤酒可以按照发酵的方式分为上面发酵和下面发酵,上面发酵的一律称为爱尔啤酒(ale),所用的酵母可称为爱尔酵母;下面发酵的一律称为拉格啤酒(lager),所用的酵母可称为拉格酵母。上面发酵多为高温发酵,酵母多浮于发酵液上层;下面发酵多为低温发酵,酵母多沉于发酵罐底部。其实酵母的浮沉与温度的关系要大些,温度高,进入发酵量旺盛期快,酵母多数上浮;而温度低,酵母代谢活性受到抑制,则酵母多数下沉。而且酵母的浮与沉也与发酵罐压力有关,当敞口发酵或罐压较低时,酵母多数上浮;罐压增加,则酵母多数下沉,所以不能一概而论。我国啤酒行业多采用拉格酵母,主要工艺为低温发酵。低温发酵可以防止或减少细菌的污染,但同时酵母增殖慢,最高酵母细胞浓度低,发酵过程中形成的双乙酰、高级醇等代谢副产物少,同化氨基酸少,pH下降缓慢,酒花香气和苦味物质损失少,酿制出的啤酒风味醇厚,此外酵母自溶少,使用代数多。不过,低温发酵生产周期较长,设备利用率不高,成本

较高。相反,上面发酵生产周期较短,生产效率高,成本较低。从产品风味来说,下面发酵啤酒口味醇和,高级醇等代谢副产物较少,而上面发酵啤酒口味强烈,酵母生长代谢快,形成双乙酰、高级醇等代谢副产物较多,还原双乙酰的速度也快,同化氨基酸数量多,pH下降快。正是氨基酸的脱氨作用生成高级醇,使啤酒产生各种高级醇风味,并以高级醇为基质生成各种酯。啤酒生产流程图见图1-1。

一、啤酒发酵的主要原料

(一) 大麦芽

有史以来,啤酒都是以大麦(图1-2)作为主要原料,大麦经发芽,生成全面的酶系统,能有效水解麦芽原料的主要成分,变成可发酵糖、氨基酸等。大麦生长遍布全球各地,非主粮,用来酿制啤酒成本低廉,故啤酒酿造者一直沿袭使用。由于大麦作为粮食的原料并不受欢迎,因此用来生产麦芽酿造啤酒是经济的选择。

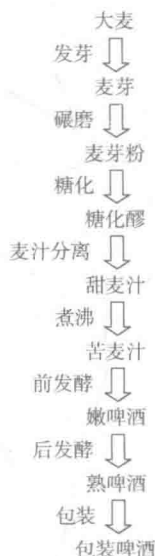


图1-1 啤酒生产流程图

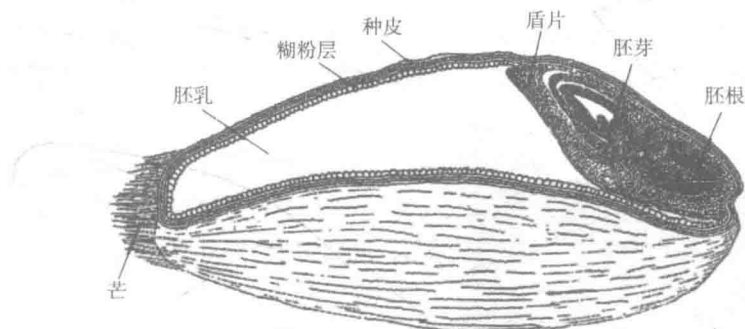


图1-2 大麦结构

大麦的主要成分为水分、碳水化合物、蛋白质、有机磷酸盐、无机盐、维生素、酶等。水分含量一般为11%~20%。碳水化合物包括淀粉、纤维素、半纤维素、麦胶物质、糖类。大麦中淀粉占其干重物质质量的58%~65%，是大麦种子的贮藏养料。小颗粒淀粉约占全部淀粉颗粒的10%左右，小颗粒淀粉的含量与大麦的蛋白质含量成正比，蛋白质含量越高，小颗粒淀粉含量则越多。小颗粒淀粉受到蛋白质的包裹保护，使糖化过程中淀粉分解不完全。大麦淀粉

在化学结构上分为直链淀粉与支链淀粉两种，直链淀粉占大麦淀粉含量的17%~24%，支链淀粉占大麦淀粉含量的76%~83%。淀粉无味、无臭、白色，具有吸湿性，呈晶体状。

大麦所含蛋白质对啤酒酿造具有重要影响，其发芽、糖化、发酵以及成品酒的泡沫、风味、稳定性等质量指标，都受到蛋白质的影响。酿造用大麦一般蛋白质含量占9%~12%。蛋白质含量高的大麦淀粉含量就低，麦芽的浸出率也低，按一般规律，蛋白质含量升高1%，影响麦芽浸出率约0.6%。蛋白质含量高的大麦，因为蛋白质较难溶解，所以制成麦芽的溶解度也较差，制成的啤酒也较易浑浊。蛋白质含量高的大麦，其蛋白质分解产物容易形成深色物质，如类黑素等，因此适宜生产浓色啤酒，而不宜生产淡色啤酒。蛋白质含量高，其麦胶物质含量也高，在制造麦芽的过程中，如欲蛋白质较低，必须改变制备麦芽的工艺条件，如浸麦、发芽、干燥等均需加强。蛋白质含量高，啤酒的口味一般粗重一些，风味稳定性也比较差。但如果酿造低浓度啤酒，为了保持泡沫性能和适当酒体，应选用蛋白质含量略高的大麦品种。同时，蛋白质含量过低(9%以下)，会影响啤酒的泡沫度和适口性。

19世纪啤酒开始大规模的工业化生产之后，全球大麦开始供不应求，大多数国家的生产厂家开始使用大麦芽的替代品，比如大米、玉米、薯类淀粉、糖浆等，这就造成了啤酒口感、风味的多样化。迄今为止，世界上用法律规定啤酒必须且只能使用麦芽的国家是德国。早在1516年，德国颁布了啤酒《纯净法》，规定啤酒的粮食原料只能使用麦芽。如果使用小麦酿造必须使用上面发酵工艺，所以德国的小麦啤酒全部都是上面发酵酿造。至今，德国市面上销售的啤酒还是不允许使用其他原料，也不允许其他国家生产的非全麦芽啤酒在德国销售。

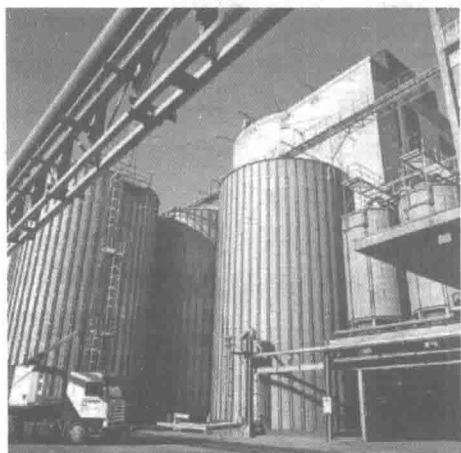


图1-3 麦芽贮仓

啤酒大麦是生产啤酒的主要原料，大麦在人工控制的条件下发芽和干燥的过程，即为麦芽生产(图1-3)。麦芽生产过程中，浸渍：精选大麦，浸渍水中，吸收发芽所需要的水分；人工发芽：浸渍后的大麦在合适的温度和湿度下进行发芽，形成各种酶系；焙燥：发芽完毕的绿麦芽，利用热空气进行干燥和焙焦。经干燥和焙焦的麦芽，其内部发生了十分复杂的生化反应，不但形成了完整的水解酶系，而且还生成了大麦芽特有的香味，使啤酒风味独特。

浸渍、发芽、干燥和焙焦过程中，由于条件的变化，可以生产浅色麦芽和深色麦芽，即适用于下面发酵的拉格浅色麦芽（pale lager malts）和深色麦芽（mild lager malts），适用于上面发酵的爱尔浅色麦芽（pale ale malts）和深色麦芽（mild ale malts）。因此应根据啤酒的品种和特性来选择麦芽种类。

小麦啤酒是以小麦麦芽为主要原料，使用部分大麦麦芽、辅料（大米等），添加酒花，采用上面发酵工艺酿制成的特殊类型的啤酒，其特点是口味清爽、柔和，酒精含量较高，泡沫性能好，类似于国外的白啤酒或上面发酵啤酒。与我们熟知的普通淡色啤酒不同，小麦啤酒富有浓郁的水果香味，甚至有些小麦啤酒会加入燕麦酿造以得到更为香甜的味道，而在外观上酒体苍白泡沫丰富，也让小麦啤酒又有了白啤酒之称。一般选择蛋白质含量低、色度和黏度较低的小麦制成小麦芽。由于小麦麦芽性质与大麦麦芽不同，因此要选择合适的小麦麦芽进行啤酒生产。

（1）小麦麦芽的溶解度一般低于大麦麦芽，粗细粉浸出物差值偏高，库尔巴哈值偏低，蛋白质的溶解不足，此时要强化蛋白酶的作用，在糖化时应加强对蛋白质的分解。因为小麦蛋白质含量较高，所以其对应的小颗粒淀粉也较多，而且被包裹于蛋白质内，故其溶解度较大麦麦芽低，所以必须强化蛋白酶的使用，延长糖化时间，尤其是蛋白质分解时间。

（2）小麦麦芽没有粗糙的皮壳，其无水浸出率比大麦麦芽高约5%。由于小麦麦芽先天的无壳优势，其糖化过程中损失的浸出物比大麦麦芽少。但是在过滤操作环节缺少麦皮助滤将使麦汁过滤发生困难，同时增加动力支出和损耗。此外，皮壳能为麦汁带来色素，小麦麦芽生产的麦汁颜色由于缺少皮壳色素更显浅淡。小麦麦芽中花色苷的含量较低，洗槽水温可以提高到80℃（洗槽水先进行酸化处理）。

（3）小麦麦芽糖蛋白含量较高，酿制出的啤酒泡沫性能好，泡沫丰富持久、洁白细腻、泡持性一般可达250s以上。蛋白质高同时意味着高级醇含量高，因为酵母生长旺盛，可以同化更多的氨基酸，生成大量高级醇。高级醇有利于提高啤酒的泡持性，使小麦啤酒的泡沫丰富于大麦啤酒。

（4）小麦麦芽由于细胞溶解不足，小麦麦芽中 β -葡聚糖等半纤维素的含量高，制成的麦汁黏度高，易造成麦芽汁过滤困难，糖化时应添加适量的 β -葡聚糖酶、戊聚糖酶以降低麦汁黏度，加快过滤的进行。淀粉颗粒溶解不足一方面与蛋白质包裹有关，另一方面与其半纤维素含量高有关，增加 β -葡聚糖酶、戊聚糖酶可以有效分解包裹淀粉的半纤维素，使糖化效率提高。

（5）小麦麦芽中蛋白质含量较高，会造成麦汁过滤困难和啤酒的非生物稳定性较差。在特种啤酒的生产上，有专门选择小麦麦芽生产浑浊啤酒的工艺，这也是小麦啤酒对啤酒成品种类多元化形成的贡献。如果需要生产澄清啤酒，应尽量选用蛋白质含量较低的小麦品种制备小麦麦芽，同时麦芽汁过滤时尽量

采用麦汁压滤机，以强化过滤速度和效果。

(6) 传统的小麦啤酒具有明显的酯香味和酸味，而采用下面酵母低温发酵酿制出的小麦啤酒风味变化不大。由于酯、高级醇和特定的酚类结合物含量较高而给小麦啤酒带来典雅的香味，使其风味独特。上面发酵的过程与下面发酵明显不同，小麦啤酒的代表工艺就是上面发酵，自然形成高级醇多，有酯香的风味特征，水果香明显。

(7) 小麦啤酒滤酒前添加硅胶可以提高啤酒的澄清度，使啤酒易于过滤。添加硅胶主要是使浑浊物发生沉淀，取上清液过滤可以提高效率，减少过滤损失，减少压力损失。

(二) 水

水在啤酒生产中用量最大，也最直接影响到啤酒的品质。酿造用水主要包括糖化用水、发酵罐清洁用水、酵母洗涤用水、高浓发酵的稀释用水等。不同硬度的麦芽糖化用水适于酿制不同色泽类型的啤酒，酿造淡色啤酒对水质的要求较高，宜用硬度较软的或残余碱度较低的水，制出的啤酒，口味淡爽，酒体柔和，香气纯正，色泽较浅；酿制浓色啤酒，可以用中等硬度的水，制出的浓色和黑色啤酒，口味醇厚，香气浓郁，色泽较深，泡沫较好。

酿造用水的处理主要是为了除去水中超标的离子及藻类、微生物等。改变水质的主要处理方法有：煮沸（降低水质硬度）、加酸（使水的残余碱度 RA 降低）、离子交换（除去水中多余的盐分）、电渗析（除去盐和降低总硬度）、反渗透（除去盐及胶体物质）、活性炭吸附（除去有机杂质和细微颗粒杂质）。消毒和灭菌的主要方法有：砂滤棒过滤器除菌、加氯杀菌、臭氧杀菌、紫外线杀菌等。高浓发酵的稀释用水的用水标准较严格：应清澈透明，无色无异味，无微生物和化学污染。在使用前要进行如下处理：调整 pH，去氯，去盐；排除空气，使含氧量在 0.3mg/L 以下；要充 CO_2 ，使啤酒稀释后不降低 CO_2 含量；要经巴氏杀菌；预冷至接近 0℃，再用以兑制啤酒。

冷凝冷却用水一般达到城市自来水标准即可，后处理主要是防止循环用水的水垢生成。通常采用的水处理方法是加石灰法，苏打石灰法，沸石离子交换法等，也可以采用加酸调节循环水的 pH。水中离子对啤酒发酵的影响见表 1-1。

表 1-1 水中离子对啤酒发酵的影响

离子	影响
铵	有机物分解污染的指示离子
钙	具有多重影响的重离子；与磷酸盐和蛋白质相互作用降低糖化液 pH 同时促进麦汁清亮；促进草酸盐（容易在麦汁和啤酒中起雾）沉淀；活化糖化液中的淀粉酶和蛋白酶；促进酵母在发酵罐底部的絮凝；防止酒花浸出物在高温下成脂；具有苦味收敛的作用

续表

离子	影响
铜	在高浓度下对酿酒酵母具有毒害作用；以不溶性硫化物方式将 H_2S 从啤酒中除去
铁	毒害酵母；能在啤酒中产生雾状沉淀和颜色变化
镁	与磷酸盐作用降低糖化液 pH，但没有钙离子重要；多种酶的辅助因子，特别是那些在发酵过程中催化丙酮酸分解的酶；包括 ATP 在内的多种酶的组成部分
锰	许多酵母和麦芽酶的辅助因子
钾	能赋予啤酒咸味
钠	与氯化物混合赋予啤酒咸味
锌	在高浓度（ $>100mg/L$ ）下抑制酵母的生长，但在低浓度下（ $0.1 \sim 0.3mg/L$ ）刺激酵母发酵
重碳酸盐	在高浓度（ $>100mg/L$ ）下引起糖化液 pH 上升，伴随抽提物生成的减少
氯	在高浓度（ $>600mg/L$ ）下抑制发酵；在低浓度下对丰富啤酒口感有贡献，但浓度（ $>400mg/L$ ）时呈现咸味
硝酸	<i>Obesumbacterium proteus</i> 形成的亚硝胺的前体
磷酸	与钙或锰作用降低糖化液的 pH；酵母生长的重要营养成分
硫酸	酵母在麦汁中以低浓度氨基酸合成含硫氨基酸的前体；由酵母形成的促进啤酒风味稳定的亚硫酸盐的前体；由酵母形成的硫化物的前体

（三）辅助原料

在麦汁的生产中，由于啤酒生产规模在世界范围内不断扩大，推高了大麦麦芽成本，在麦芽的酶活力和可同化氮含量比较高的情况下，世界各国充分利用自身条件，为了降低生产原料成本，采用各种植物淀粉或糖替代大麦麦芽。澳大利亚用蔗糖作辅料，用量高达 20% 以上。美国用大米作辅料，用量高达 50%。中国南方盛产大米，北方盛产玉米，可作辅料。此外，未发芽的大麦和小麦，以及薯类淀粉均可用来充当辅料。我国辅料用量最高达到 40% ~ 50%，一般为 20% ~ 30%。可见辅料的用量是相当大的，它的作用不可小视。

啤酒生产使用辅料的优点：添加便宜的淀粉质谷类作为麦芽辅助原料，可以减少麦芽用量，降低生产成本；通过合理调整麦芽与辅料的比例，可使麦芽对麦汁质量的影响减小；直接使用糖浆为辅助原料，可以节省糖化设备，提高设备利用率；添加辅助原料，可以降低麦汁中蛋白质含量和易氧化的多酚物质含量，改善啤酒的非生物稳定性；使用小麦等含蛋白质高的谷料原料，有利于改进啤酒泡沫性能；可以丰富啤酒色度，形成多元化啤酒产品的风味；可以通过辅料的使用比例完善产品结构。

常用玉米淀粉在糖化过程中要注意以下几点：

(1) 玉米淀粉在生产中易沉淀、结块，故投料过程中一般控制温度在 $50 \sim 55^{\circ}\text{C}$ ，投料速度不可过快，且搅拌的速度需大于 16r/min ，同时需要添加中温淀粉酶及耐高温淀粉酶，保证糊化和液化的效果，料水比控制在 $1:3$ 。淀粉酶的添加要配合 Ca^{2+} 的添加，以提高其耐高温性。由于传质和传热的需要，搅拌应形成湍流的效果，能使淀粉酶的作用更加均匀，糊化效果更好。

(2) 在麦汁过滤过程中，因糟层较薄，原麦汁颜色较暗，回流不清，需过滤 25min 后麦汁清亮度才好转，应避免过度深耕，防止糟层破坏，影响过滤时间、麦汁清亮度和后期回旋效果。糟层的形成相当重要，它是提高过滤效果的保障，在糟层较深的情况下，麦汁过滤容易清亮；在糟层较浅的情况下，应当充分沉降，回流清澈后才开始正式接收过滤液。糟层一旦形成，不要轻易破坏，以利于过滤通道形成。

(3) 淀粉上料人员需加强 PPE 防尘用具的佩戴，防止吸入粉尘对身体造成伤害。可采用水溶糖化单独进行工艺，使淀粉在进行糊化前在相对封闭空间进行水溶操作，再通过料泵送到糊化锅进行糊化操作，避免淀粉对空间，特别是糖化车间设备的污染。

(4) 因淀粉的蛋白质含量低，应特别注意 α -氨基酸态氮的控制，需选用 α -N 含量高的麦芽，还可以适当添加小麦芽，防止后酵期间酵母的营养不良。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，相应地，所制啤酒中的双乙酰含量则较高。据文献报道，在同一发酵条件下，含游离 α -氨基氮 130mg/L 的麦汁，主发酵期形成的 α -乙酰乳酸高峰值 (2.1mg/L) 是含游离 α -氨基氮为 220mg/L 的麦汁所形成的 α -乙酰乳酸高峰值 (0.5mg/L) 的 4 倍以上。



图 1-4 啤酒花

(四) 啤酒花

啤酒花的学名是蛇麻 (英文名 hop)，为大麻科多年生蔓性草本植物，见图 1-4。啤酒花在啤酒酿造中最主要的成分是酒花树脂、酒花油和多酚物质。其中酒花树脂中的主要成分是 α -酸和 β -酸。啤酒花的加工产品多以酒花粉、酒花颗粒、酒花浸膏的形式在工业上广泛应用。

啤酒花是现代啤酒必不可少的原料之一，它能增加啤酒的苦味、香味，还能杀菌，提高啤酒的防腐力。还可以起到澄清麦汁、提高啤酒的非生物稳定性、提高泡沫持久性、

赋予啤酒以醇厚酒体的作用。啤酒花于麦汁煮沸时分批加入，总用量约为1~1.4kg/t啤酒。世界上以美国和德国两个国家的酒花产量最大，约占总产量的50%以上，我国的酒花种植基地主要有新疆、甘肃等地。

（五）酶制剂

添加辅料的啤酒酿造由于来自麦芽本身的酶活力有限，需要添加一定量的酶制剂用以进行辅料的糖化水解。参与糖化过程酶反应的人工添加的制剂称为酶制剂。常用酶制剂是 α -淀粉酶、木瓜蛋白酶等。

在啤酒工业上，使用酶制剂可达到如下的效果：

提高啤酒的辅料比例。一般使用 α -淀粉酶，使大米比例提高到40%~45%，大米可有效液化和糖化。

提高啤酒的发酵度。主要使用淀粉葡萄糖苷酶、支链淀粉酶，以水解淀粉和糊精 α -1,6键，提高啤酒发酵度。

弥补麦芽质量的缺陷。使用 β -葡聚糖酶对过滤有利，能解决麦芽溶解不好、糖化不完全、过滤困难、麦汁组成不理想、浸出物浓度低等问题。

提高啤酒稳定性。木瓜蛋白酶可以用来澄清啤酒，延长啤酒保质期。 α -乙酰乳酸脱羧酶可降低啤酒中双乙酰含量。葡萄糖氧化酶可以防止啤酒氧化老化，保持啤酒风味。

提高氮源同化率。使用中性蛋白酶或木瓜酶，可提高麦汁中 α -氨基氮含量，降低生产成本。

二、麦芽汁生产

麦芽汁生产包括麦芽及辅料粉碎、糖化制成麦芽汁、过滤分离麦糟和麦芽汁、麦汁煮沸、回旋沉淀、冷却等步骤。麦汁制成即可泵入发酵罐进行主发酵。

（一）麦芽及辅料粉碎

在糖化前，麦芽及其辅助原料必须先进行粉碎，原料粉碎的粗细程度对麦汁的质量好坏、浸出率的大小及原料利用率有着密切的关系。粉碎原料一般由机械粉碎机（多用辊式粉碎机）完成。麦芽粉碎要求保留麦芽皮，要破而不碎。麦皮太碎太细会增加麦皮中有害成分的溶出，还会引起麦汁过滤困难。粉碎过粗则影响麦芽汁的有效组成，降低麦汁浸出率和原料利用率。粉碎时要求控制麦芽及其辅料适宜的粉碎度，有助于较好地处理质量较差的麦芽，降低麦皮的浸出物含量，加快糖化过程的物质溶解，缩短糖化时间，提高收得率，使糖化过程的自动化操作处于最佳状态。

麦芽的粉碎方法，有干法、回潮法和湿法三种。传统方法是干法粉碎。要

求麦芽含水量 5% ~ 8%，此时麦粒松脆，较容易进行粉碎，这种方法的缺点是麦皮较易破碎，容易影响麦汁过滤，麦皮浸出物增多引起啤酒的口味、色泽不稳定。

麦芽回潮粉碎就是用水蒸气令麦芽轻微地返潮，吸水量在 0.8% ~ 2%，使麦皮具有韧性不易破碎，有助于形成疏松的助滤层，便于麦汁过滤，同时能减少麦皮成分的浸出。



图 1-5 麦芽粉碎机

麦芽的湿粉碎是用 60℃ 水浸渍麦芽，使麦芽吸水量达 20%，用湿式粉碎机粉碎，可以减少粉尘，提高麦汁收得率，控制粉碎粒度，使麦汁色度下降，口味柔和。

干法麦芽粉碎机有多种型式（图 1-5），大多是对辊式粉碎机，有二辊、三辊、四辊、五辊及六辊。使用溶解较差的麦芽时，大多选用六辊粉碎机。粉碎机使用时要遵守以下安全规章：粉碎机应空车启动，运行平衡后再准备进行入料粉碎；粉碎时应均衡进料，检查电流是否超负荷，如发现问题，应立即停车，及时找出原因；粉碎设备应定期清洁，除去积灰，清理筛子，去除磁铁上铁块；运转部件应加防护装置，操作人员肢体及衣物不得超越防护装置。

（二）糖化及糖化设备

糖化即通过分段加热保温的方法，利用麦芽本身所含的多种酶系（或外加酶制剂）的作用，使麦芽及其辅料中大分子物质如淀粉、蛋白质等降解。最终使麦芽和辅料中可溶性物质如糖类、糊精、氨基酸、肽类等溶出的过程。溶出液称为麦芽汁（麦汁）。组成麦芽汁中的溶解物称为浸出物。

糖化的目的：通过酶的作用，促使麦芽及其辅料的内含物质有效溶解，制成符合要求的麦芽汁。要求较高的收得率，较短的糖化和固液分离时间，最低的能量消耗。

大米或玉米的糊化。大米或玉米作为麦芽的辅助原料，先粉碎细化，投入糊化锅中，锅内先加水升温至 55℃，在 α -淀粉酶作用下液化后煮沸。辅料煮沸称为预煮，一般液化后加热到 100℃，保温 30min。预煮可进一步使淀粉充分糊化，提高浸出率，同时可提供合醪升温所需要的热量，达到阶段升温糖化的目的。良好的糊化醪不稠、稍黏、不发白，上层呈水样清液，碘反应呈紫红色或红棕色为正常。

糊化锅：用来加热煮沸辅料，使淀粉糊化和液化的专用设备。

糖化方法：全麦芽酿造啤酒，可以采用煮出糖化法、浸出糖化法。

全麦芽煮出糖化法：糖化过程中对部分醪液进行煮沸的方法称为煮出法。根据部分醪液煮沸的次数，分为一次、二次、三次煮出法。方法是取部分醪液加热到沸点，然后并入未煮沸的醪液，使全部醪液温度升高到不同酶分解所要求的温度，最后达到糖化终了温度。

全麦芽浸出糖化法：糖化过程中仅以酶的作用进行降解的方法称为浸出法。该方法是将醪液从一定的温度开始，通过缓慢升温，在最适酶作用温度范围保温一定时间，继续升温到糖化结束。此法要选用质量好的麦芽，麦汁色较浅，口感柔和，浸出率偏低。

添加辅料的糖化方法可以采用双醪糖化法。

双醪糖化法（图1-6）：辅料、麦芽分别投料入糊化锅、糖化锅，辅料在糊化锅内糊化、液化并煮沸后并入糖化锅。根据所需温度控制糊化醪与糖化醪比例，到所需要的糖化温度保温一定时间。根据糖化锅兑醪的次数，分为一次、二次、三次糖化法。

双醪二次糖化法流程如下：

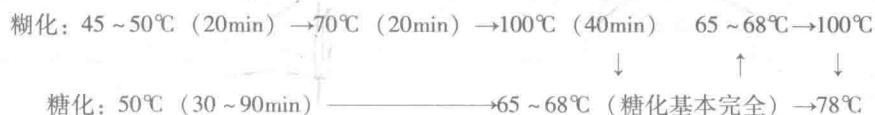


图1-6 双醪二次糖化法流程

糖化锅（图1-7）：用来糖化水解麦芽淀粉和蛋白质等，同时使辅料糖化的专用设备，是制备麦汁的主要设备之一。

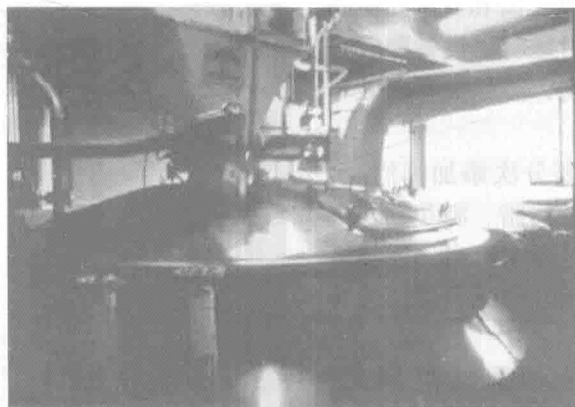


图1-7 糖化锅