

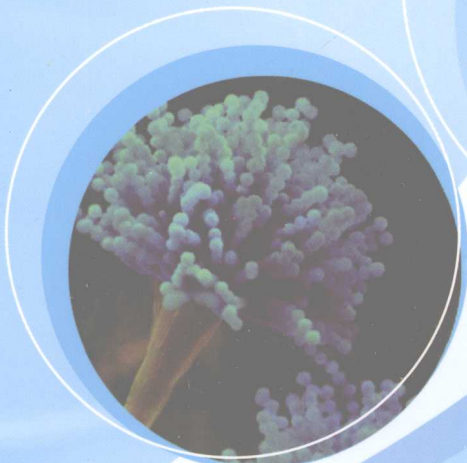
普通高等教育“十一五”规划教材

发酵产品工艺学

FAJIAO CHANPIN GONGYIXUE

● 陶兴无 主 编

● 江贤君 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

发酵产品工艺学

陶兴无 主编

江贤君 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书选取工业上比较成熟的、工艺上有代表性的 16 种产品,按每一章(或节)介绍一种产品进行编排。全书共分 10 章:酒(啤酒、葡萄酒、黄酒和白酒)与酒精、柠檬酸、乳酸、酸奶、谷氨酸及味精、酱油、酱品、食醋、酱腌菜、青霉素和头孢菌素 C,按章(或节)分别论述了每种产品的生产菌种及其发酵机制、生产原辅料及其预处理、发酵过程工艺控制以及产物提取与精制等。使读者在了解各种产品生产工艺的基础上,能举一反三,掌握发酵生产的基本规律。

本书适合生物工程、生物技术以及生物科学、食品科学与工程、生物化工、制药工程等专业作专业课教材或教学参考书,也可供发酵工厂技术人员参考。社会上从事相关行业的决策、投资、管理、生产和经营者通过阅读本书也可以了解相关产品的生产技术现状和发展趋势。

图书在版编目(CIP)数据

发酵产品工艺学/陶兴无主编. —北京:化学工业出版社, 2008.6

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02987-4

I. 发… II. 陶… III. 发酵食品-生产工艺-高等学校-教材 IV. TS26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 076657 号

责任编辑:赵玉清

文字编辑:周 侗

责任校对:宋 夏

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{2}$ 字数 359 千字 2008 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:27.00 元

版权所有 违者必究

前 言

生物工程产业是 21 世纪新兴支柱产业之一, 生物工程研究成果的商业价值大多最终以发酵产品的形式来实现, 发酵工艺是生物工程专业学生必须掌握的重要知识和技能。我国教育部于 1998 年在高校本科专业调整中将原来的生物化工(部分)、微生物制药、生物化学工程(部分)、发酵工程等四个专业统称为生物工程专业。由于专业范围的扩大, 各高校受教学学时的限制, 普遍将过去这四个专业按发酵产品类型编写的十几门专业课教材压缩成《生物工艺原理》, 主要内容为生物及发酵的一般工艺原理, 而具体的生产工艺内容很少, 难以达到“学以致用”的目的。编写这本教材的目的就是为了给学生补充这些内容, 使其全面系统地掌握这些专业知识和技能, 适应培养实用型工程人才的要求。

发酵产品众多, 生产工艺各异, 内容非常繁杂。本书的编写原则是: ①选择工业上比较成熟的、在工艺上有代表性的发酵产品, 突出实用性; ②内容涵盖面广, 包括化工、食品、制药等领域, 便于整体了解发酵工业全貌; ③主要介绍每种产品生产的发酵工艺原理与方法, 减少与其他教材内容的重复; ④以有限的篇幅尽可能做到内容全面, 满足教学选用和读者自学两方面的需要。

本书适合生物工程、生物技术以及化工、食品、制药等专业作专业课教材或教学参考书, 也可供发酵工厂技术人员参考。社会上从事相关行业的决策、投资、管理、生产和经营者通过阅读本书也可以了解相关产品的生产技术现状和发展趋势。

本书是作者在多年讲授生物工程专业课的基础上编写而成的, 陶兴无任主编, 江贤君任副主编, 高冰、屈廷启以及杨雪、陈强和李政等也做了大量的工作。在编写过程中参考了大量文献资料, 除书末所列部分外, 其余未一一列出, 谨此表示感谢。

受作者学识水平所限, 书中难免存有疏漏之处, 恳请读者批评指正。

陶兴无

2008 年 5 月

目 录

第一章 酒与酒精	1
第一节 啤酒	1
一、啤酒酿造原辅料	1
二、麦芽制造（制麦）	2
三、麦芽汁的制备（糖化）	5
四、啤酒发酵	11
五、啤酒的过滤包装	15
第二节 葡萄酒	16
一、葡萄汁制备	17
二、葡萄酒发酵机制	18
三、葡萄酒酿造工艺	20
四、葡萄酒的贮存与后处理	23
第三节 黄酒	24
一、原料大米的预处理	25
二、糖化发酵剂的制备	25
三、黄酒发酵	27
四、几种典型的黄酒发酵工艺要点	29
第四节 白酒与酒精	29
一、生产原辅料	30
二、糖化发酵剂的制备	32
三、大曲酒、麸曲白酒生产工艺（固态发酵法）	33
四、小曲酒生产工艺（固态发酵法、半固态发酵法）	36
五、液态法白酒的生产工艺	36
六、白酒的贮存、勾兑调味及低度白酒生产	38
七、酒精	38
第二章 柠檬酸	42
第一节 黑曲霉的柠檬酸发酵机制	42
一、黑曲霉柠檬酸合成途径	42
二、柠檬酸合成的理想途径	43
三、柠檬酸积累的代谢调节机制	44
第二节 柠檬酸生产菌种及其扩大培养	47
一、柠檬酸高产菌黑曲霉的生理特征	47
二、生产菌种的扩大培养	47
第三节 薯干原料发酵柠檬酸工艺	49
一、发酵培养基	49
二、温度	50
三、pH	50
四、通风与搅拌	50
五、发酵时间	51
第四节 玉米粉发酵柠檬酸工艺	51
一、玉米粉发酵的工艺特点	52
二、玉米粉发酵的技术指标	53
第五节 柠檬酸的提取工艺	53
一、工艺流程	53
二、发酵醪的热处理	54
三、发酵醪过滤	54
四、中和	54
五、酸解	55
六、净化（脱色、离子交换）	56
七、蒸发浓缩	57
八、结晶干燥	57
第三章 乳酸	59
第一节 乳酸代谢途径及产乳酸微生物	59
一、乳酸代谢途径	59
二、乳酸发酵微生物	61
第二节 乳酸生产原辅料及其预处理	64

一、原料	64	三、原位产物分离乳酸发酵简介	71
二、辅料	65	第四节 乳酸的提取和精制	71
三、原料的预处理	65	一、发酵液的预处理(碱化)	71
第三节 乳酸发酵工艺	66	二、乳酸提取工艺	72
一、细菌乳酸发酵工艺	66	三、乳酸精制工艺	75
二、米根霉发酵 L-乳酸工艺	70		
第四章 酸奶	77		
第一节 酸奶发酵剂	78	二、预热、均质	87
一、酸奶发酵剂中常用菌种	78	三、热力杀菌	87
二、酸奶发酵剂的类型	81	四、冷却接种	88
三、生产发酵剂(工作发酵剂)的制备 及其质量	82	第四节 酸奶的发酵工艺	88
第二节 原料乳	83	一、发酵工艺控制	88
一、牛乳的组成	83	二、凝固型酸奶的工艺要点	90
二、牛乳的化学成分	83	三、搅拌型酸奶的工艺要点	91
三、牛乳的酸度和 pH 值	85	第五节 酸奶的质量控制	94
第三节 混合料的预处理	86	一、酸奶的质量指标	94
一、配料	86	二、酸奶的品质控制	94
第五章 谷氨酸及味精	96		
第一节 谷氨酸生产菌种及其产酸机制	96	三、糖化液的质量指标	104
一、谷氨酸生产菌合成谷氨酸的途径	96	四、发酵培养基的组成	104
二、葡萄糖发酵谷氨酸的理想途径	98	五、发酵培养基配制及灭菌	106
三、控制谷氨酸生产菌细胞膜渗透性 的方法	99	第三节 谷氨酸发酵	107
四、谷氨酸生产菌的特征和种类	100	一、谷氨酸发酵过程控制原理	107
五、生产菌种的扩大培养	101	二、谷氨酸发酵工艺	111
第二节 淀粉质原料糖化及发酵培养基 配制	103	三、异常发酵现象及其处理	113
一、淀粉原料的双酶法糖化工艺	103	第四节 谷氨酸提取与味精制造	114
二、大米原料的双酶法糖化工艺	103	一、谷氨酸提取	114
		二、味精制造	117
第六章 酱油	121		
第一节 酱油生产的工艺原理	122	第三节 酱油曲的制备	126
一、生产工艺流程	122	一、酱油曲生产菌种	126
二、发酵过程中的物质变化	122	二、米曲霉的特性	127
第二节 酱油生产原料及其处理	123	三、种曲制备	127
一、酱油生产原料	123	四、成曲制备(厚层通风制曲)	129
二、豆饼(豆粕)的处理方法	124	五、制曲过程中的生化变化	130
三、其他原料的处理方法	125	六、成曲质量标准	131

第四节 酱油的发酵及其浸出(压滤)	132	第五节 成品酱油的后处理	139
一、低盐固态发酵工艺	132	一、酱油的加热	139
二、高盐稀态发酵工艺	135	二、成品酱油的配制	139
第七章 酱品	141		
第一节 大豆酱生产工艺	141	二、酶法制酱	144
一、大豆直接制曲法	141	第三节 蚕豆酱生产工艺	146
二、外加成曲法	142	一、一般蚕豆酱的生产	146
第二节 甜面酱生产工艺	143	二、蚕豆辣酱	147
一、传统曲法制酱	143		
第八章 食醋	148		
第一节 酿醋原辅料及糖化发酵剂	149	三、麸曲法制醋	154
一、酿醋原辅料	149	四、酶法液化通风回流制醋	156
二、糖化发酵剂	150	第三节 液态深层发酵法酿醋工艺	158
第二节 固态发酵法酿醋工艺	151	一、淀粉质原料液态深层发酵制醋	158
一、大曲法制醋	151	二、水果原料制醋	159
二、小曲(麦曲)法制醋	153		
第九章 酱腌菜	161		
第一节 蔬菜的腌渍原理	162	一、盐渍工艺流程	174
一、食盐的渗透作用	162	二、盐渍工艺操作	175
二、微生物的发酵作用	163	第三节 泡酸菜的加工工艺	177
三、腌制品色、香、味物质的变化与 形成及护色保脆	165	一、泡制过程中微生物菌群的演变及 发酵情况	178
四、有害微生物的作用与亚硝基胺的 产生及其防止	170	二、泡菜的制作	179
五、影响乳酸发酵的主要因素	171	第四节 酱、糖醋渍菜的加工工艺	180
六、人工接种乳酸菌腌制蔬菜	173	一、咸菜坯的脱盐、脱水处理	180
第二节 盐渍菜的加工工艺	174	二、酱渍加工	181
		三、糖醋渍加工	182
第十章 青霉素和头孢菌素 C	183		
第一节 青霉素生产工艺	185	第二节 头孢菌素 C 生产工艺	202
一、青霉素生产菌种	186	一、头孢菌素 C 生产菌种	202
二、青霉素的生物合成机理	187	二、头孢菌素 C 生物合成与代谢调控	203
三、青霉素发酵	190	三、头孢菌素 C 的发酵	205
四、青霉素的提取	196	四、头孢菌素 C 的分离纯化工艺	206
参考文献	209		

第一章 酒与酒精

酒是含乙醇的饮料。发酵酒主要分为酿造酒和蒸馏酒两大类。酿造酒即发酵原酒，是以谷物、果实为原料，利用酵母的作用，将糖或淀粉经过糖化发酵作用转化为含有乙醇的饮料，包括啤酒、葡萄酒和黄酒等。蒸馏酒是将经过发酵的酒醪（醅）经过蒸馏提取的高乙醇含量的饮料，包括中国白酒、Brandy（白兰地）、Vodka（伏特加）、Whisky（威士忌）、Rum（老姆酒）、Gin（金酒）等。

酒精是将发酵醪液通过多次蒸馏（粗馏和精馏）得到的纯乙醇制品。

第一节 啤 酒

啤酒（beer）是以大麦为主要原料，以其他谷物等为辅料，并添加少量酒花，采用制麦芽、糖化、发酵、过滤、包装等工艺酿制而成的，含有二氧化碳的、起泡的、低酒精度的酿造酒。全世界啤酒年产量已居各种酒类之首，啤酒生产几乎遍及各个国家。

生产时常根据所用原麦芽汁浓度，啤酒分为高、中、低三种浓度。而中浓度啤酒（原麦芽汁浓度11%~14%，酒精含量3.2%~4.2%）产量最大，淡色啤酒多属此类型。

此外，根据啤酒色泽可分为淡色、浓色和黑色啤酒；根据杀菌方法可分为纯生啤酒、鲜啤酒和熟啤酒；根据啤酒酵母性质可分为上面发酵啤酒和下面发酵啤酒。还有一些特殊啤酒，如小麦啤酒、果味啤酒、佐餐啤酒、粉末啤酒、无醇（低醇）啤酒、干啤酒、冰啤酒、低热量啤酒、营养啤酒和酸啤酒等。

啤酒生产过程大致可分为麦芽制造和啤酒酿造（包括麦芽汁制造、啤酒发酵、啤酒过滤灌装三个主要过程）两大部分。

一、啤酒酿造原辅料

酿造啤酒的原料为大麦、酿造用水、酒花、酵母以及辅料（玉米、大米、大麦、小麦、淀粉、糖浆和糖类物质等）和添加剂（酶制剂、酸、无机盐和各种啤酒稳定剂等）。

1. 大麦

大麦便于发芽，酶系统完全；大麦的化学成分适于酿制啤酒，制成的啤酒风味独特；大麦的皮壳是很好的麦芽汁过滤介质。根据大麦的播种时间，可将大麦分成春大麦和冬大麦两类。大麦依麦粒在穗轴上的排列方式可分为六棱大麦、四棱大麦、二棱大麦。二棱大麦籽粒皮薄、大小均匀、饱满整齐，与六棱大麦、四棱大麦相比，淀粉含量相对较高，蛋白质含量相对较低，是酿造啤酒最好的原料，使用比较普遍。

二棱大麦或六棱大麦适于酿造啤酒。二棱大麦的浸出率高，溶解度较好；六棱大麦的农业单产较高，活力强，但浸出率较低，麦芽溶解度不太稳定。大麦的质量标准参照GB/T 7416—2000的要求。

2. 酒花

酒花又称忽布（hops）花、蛇麻花、啤酒花。酒花分为香型酒花、兼型酒花和苦型酒花

等 3 种。

酒花赋予啤酒特有的酒花香气；赋予啤酒独特的爽快苦味；增加啤酒防腐能力；增进啤酒泡持性和稳定性，使泡沫经久不散；与麦芽汁共沸时能促进蛋白质凝固，促进蛋白质沉淀，有利于澄清麦芽汁，提高啤酒非生物稳定性。

酒花的有效成分主要包括酒花油、苦味物质和多酚类物质。酒花油气味芳香，易氧化，氧化物不利于啤酒风味。易挥发，延长麦芽汁煮沸时间，有利于 α -酸异构化，但酒花油几乎全部挥发。啤酒的苦味和防腐能力是由酒花苦味物质提供的。新鲜酒花中主要含有 α -酸（占 5%~11%）和 β -酸（占 5%~11%）。多酚类物质是一些具有颜色和苦涩味的还原性有机化合物，主要是花色苷、花青素和单宁等，其中花色苷占 80%。多酚类物质对啤酒的作用是双重的：①单宁与蛋白质在麦芽汁煮沸时形成复合物沉淀，可提高啤酒的非生物稳定性；②如果在麦芽汁煮沸及冷却过程中形成的沉淀不够完全，单宁与蛋白质复合物进入啤酒后由于氧化等原因逐渐聚合形成沉淀，造成啤酒失光、混浊。多酚类物质氧化后颜色加深，将使啤酒颜色加深、口味粗糙，严重影响成品质量。

新鲜酒花干燥后制成的全酒花，不易保管、运输体积大、使用不方便且酒花利用率不高。目前普遍使用的是颗粒酒花、酒花浸膏和酒花油等酒花制品。

3. 啤酒酿造辅料

啤酒酿造的辅料主要是未发芽的谷类、淀粉类和糖类，以用谷物者为多。欧洲和美国用玉米，东方各国大多用大米，非洲一些国家使用木薯淀粉。

淡色下面发酵啤酒生产中，大米是最常用的辅料，使用比例一般为 25%~50%。大米在所有谷物中淀粉含量最高，无水浸出率高，无花色苷，脂肪含量低，并含有较多的糖蛋白（发泡蛋白），酿制出的淡色下面发酵啤酒色泽浅，口味纯净淡爽，泡沫洁白细腻，泡持性好，啤酒的非生物稳定性较高。添加部分大米，可减少麦芽用量，提高麦芽汁得率，降低生产成本，故使用非常普遍。但大米用量过大，会造成麦芽汁 α -氨基氮含量过低，影响酵母的繁殖和发酵，出现发酵迟缓、酵母易衰老以及啤酒饮用后容易“上头”等现象。

为调节麦芽汁中糖的比例，生产高发酵度的啤酒或增加每批麦芽汁的产量，通常在煮沸锅中直接添加糖类（蔗糖、葡萄糖）和淀粉糖浆（大麦糖浆、玉米糖浆等）。糖的添加量一般为 10%~15%。糖浆的添加量稍高，可达 30% 左右。生产深色啤酒时也可添加部分焦糖，以调节啤酒色度。

4. 啤酒酿造用水

啤酒生产用水包括加工水及洗涤、冷却水两大部分。加工用水中投料水、洗槽水、啤酒稀释用水直接参与啤酒酿造，是啤酒的重要原料之一，习惯上称为酿造用水。洗酵母水、啤酒过滤用水等也或多或少地会进入啤酒。

成品啤酒中水的含量最大，俗称啤酒的“血液”。酿造用水直接进入啤酒，是啤酒中最重要的成分之一。水中所含钙盐、镁盐的浓度称为水的硬度。通过水的残余碱度（RA）可以预测水中碳酸氢盐、钙硬、镁硬对麦芽汁和啤酒的影响程度，残余碱度是衡量水质的一项重要指标。

加酸可将碳酸盐硬度转变为非碳酸盐硬度，使水的残余碱度降低，降低麦芽汁的 pH，使糖化操作能够顺利进行。加石膏可以消除 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的碱度，消除磷酸氢二钾的碱性，起到调整水中钙离子浓度等作用。

二、麦芽制造（制麦）

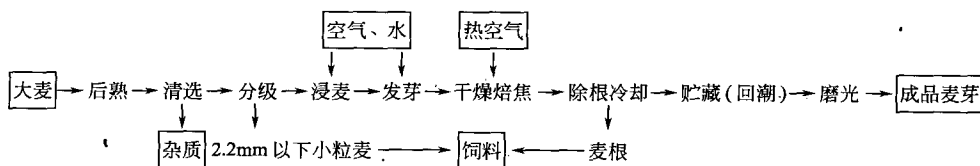
大麦在人工控制的外界条件下发芽和干燥的过程，称为“制麦”。发芽后制得的新鲜麦芽叫绿麦芽，经干燥和焙焦后的麦芽称为干麦芽。

麦芽制造的主要目的如下。

① 大麦发芽后生成各种酶，作为制造麦芽汁的催化剂。大麦胚乳中的淀粉、蛋白质在酶的作用下，达到适度溶解。

② 通过干燥和焙焦除去麦芽中多余的水分和绿麦芽的生腥味，产生干麦芽特有的色、香、味，以便保藏和运输。

大麦籽粒具备发芽能力是大麦发芽的内因，但适宜的外部条件也是必不可少的，其中大麦含水量、温度、氧气的供给和二氧化碳的排除是大麦发芽的外因四要素。麦芽制造的工艺流程如下。



（一）大麦的后熟

新收获的大麦有休眠期，种皮的透水性、透气性均较差，发芽率低，只有经过一段时间的后熟期才能达到真正的发芽率，一般后熟期需要6~8周。由于后熟期种皮的性能受到温度、水分、氧气等外界因素的影响而发生改变，大麦的发芽率得到提高。

（二）大麦的清选和分级

原料大麦含有各种有害杂质，如尘土、砂石、铁屑、麻绳、杂谷及破粒大麦等，均会有害于制麦工艺，直接影响麦芽的质量和啤酒的风味，并直接影响制麦设备的安全运转，因此在投料前需经处理。

粗选的目的是除去各种杂质和铁屑。精选的目的是除掉与麦粒腹径大小相同的杂质，包括荞麦、野豌豆、草籽和半粒麦等。

大麦的分级是把粗精选后的大麦，按腹径大小用分级筛分级。分级的目的是得到颗粒整齐的大麦，从而为浸渍均匀、发芽整齐以及获得粗细均匀的麦芽粉创造条件。

大麦精选率是指原大麦中选出的可用于制麦的精选大麦质量与原大麦质量的百分比。对二棱大麦，指麦粒腹径在2.2mm以上的精选大麦。

大麦整齐度是指分级大麦中同一规格范围麦粒所占的质量分数。整齐度高的大麦有利于浸渍，发芽均匀。

（三）浸麦

浸麦的目的如下：①使大麦吸收充足的水分，达到发芽的要求，国内最流行的浸麦度为45%~46%，而欧美有些厂家浸麦度为42%~45%时即转入发芽箱，并在发芽箱适当喷水；②在水浸的同时，洗涤除去麦粒表面的灰尘、杂质和微生物；③在浸麦水中适当添加石灰乳、 Na_2CO_3 、 NaOH 、 KOH 、甲醛中任何一种化学药物，加速麦皮中酚类、谷皮酸等有害物质的浸出，促进发芽并适当提高浸出物。

1. 大麦的水敏性

水敏性是部分大麦的一种特殊生理现象。水敏性大麦吸收水分到某一程度时，发芽即受到抑制；再稍增加吸水量，发芽率反而下降。

具有水敏性的大麦发芽率低于正常大麦，遇有水敏性的大麦要采取以下措施破坏其水敏性：①浸麦时加过氧化氢（0.1%），或添加氧化性物质；②分离皮壳、果皮和种皮；③浸麦度在32%~35%时，进行长时间空气休止；④将大麦加热至40~50℃，保持1~2周。

2. 浸麦方法

浸麦的方法很多，常用的方法有间歇浸麦法、喷雾（淋）浸麦法等。

间歇浸麦法（浸水断水交替法）是大麦每浸渍一定时间后就断水，使麦粒接触空气，浸水和断水交替进行，直至达到要求的浸麦度为止。常采用浸二断六、浸四断四、浸六断六、浸三断九等方法。在可能的条件下，浸水和断水期间均通风供氧，并延长断水时间。

喷雾（淋）浸麦法是在浸麦断水期间，用水雾对麦粒进行淋洗，因此比间歇浸麦法更为有效。其特点是耗水量减少，供氧充足，发芽速度快。

（四）大麦发芽

大麦发芽的目的如下：①激活原有的酶，大麦中含有少量的酶，通过发芽使其激活；②生成新酶，麦芽中绝大部分酶是在发芽过程中产生的；③半纤维素、蛋白质和淀粉等大分子适度分解，同时胚乳的结构也发生改变。

浸渍大麦达到要求的浸麦度后，即进入发芽阶段。实际上大麦的萌发在浸麦期间就已经开始，只不过浸麦条件并不完全适合发芽，特别是不能均匀通风、及时降温 and 完全排除 CO_2 。

发芽的基本工艺条件，主要是使麦粒具备足够的水分、适当的温度和适量的新鲜空气。发芽后期，还要保持相当数量的二氧化碳气体，以便控制呼吸强度来保证发芽质量。发芽时主要控制发芽水分、发芽温度、发芽时间和通风。

现在普遍采用通风式发芽。通风式发芽是采用厚层发芽，采用机械强制向麦层通入调温、调湿的空气，来控制发芽的温度、湿度以及氧气与二氧化碳的比例，达到发芽的目的。通风的方式有连续通风和间歇通风、加压通风和吸引通风等。空气调节有集中空调和分散空调两种。目前，普遍采用的通风发芽设备有萨拉丁发芽箱、劳斯曼发芽箱、塔式制麦系统以及发芽罐等。

萨拉丁发芽箱是以发明者法国工程师萨拉丁（Saladin）命名的，是应用最早、最广泛而且至今仍普遍使用的经典箱式发芽设备。它由箱体、翻麦机和空调系统组成（图 1-1）。

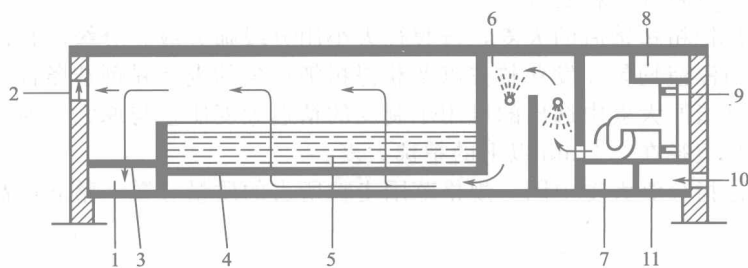


图 1-1 萨拉丁发芽箱示意

1—回风汇集通道；2—废气挡板；3—回风格栅；4—金属假底；5—发芽箱；6—增湿室；7—空压机；8—回风分配通道；9—调节挡板；10—新鲜空气进口；11—新鲜空气分配通道

工艺操作与要求如下：当浸渍大麦进入发芽箱，根据麦温情况进行通风，提供新鲜空气和排出二氧化碳及热量。如浸麦度低应喷水增湿。注意通风，最好采用连续通风，发芽后期应适当回风，控制麦层中二氧化碳体积分数在 4%~8%。发芽室空气湿度要保持 93% 以上。萎凋期，停止通风和搅拌，使二氧化碳在麦堆中适度积存，抑制麦粒呼吸强度，减少制麦损失，为下一步干燥做好准备。

（五）干燥焙焦

干燥焙焦是指用热空气强制通风进行干燥和焙焦的过程。干燥焙焦的目的如下。①除去绿麦芽的多余水分，便于贮藏。绿麦芽水分含量为 41%~46%，通过干燥焙焦水分含量降至 2%~5%，终止酶的作用，使麦芽生长和胚乳连续溶解停止。②除去绿麦芽的生腥味，使麦芽产生特有的色、香、味。③使麦根易于脱落。麦根有苦涩味，且吸湿性强，不利于麦

芽贮藏，并且容易使啤酒混浊。

目前，普遍采用的干燥设备是间接加热的单层高效干燥炉，水平式（单层、双层）干燥炉及垂直式干燥炉等。麦芽干燥的具体操作基本上可分为如下3个阶段。

1. 表面自由水干燥（萎凋）阶段

经过强烈通风，将麦芽水分从43%~46%降至23%左右，排出的水分为表面水分，无阻力，空气温度控制在50~60℃，并适当调节空气流量，使排放空气的相对湿度稳定地维持在90%~95%。

2. 内部水分干燥（烘干）阶段

当麦芽水分降至23%左右后，麦粒内部水分扩散至表面的速率开始限制水分的蒸发速率，水分的排除速率下降，排放空气的相对湿度也降低，此时应降低空气流量和适当提高干燥温度，直至麦芽水分降至12%左右。

3. 结合水干燥（焙焦）阶段

当麦芽水分降至12%左右后，麦粒中水分全部为结合水，空气温度要进一步提高，空气流量要进一步降低，并适当回风。淡色麦芽麦层温度升至82~85℃，深色麦芽麦层温度升至95~105℃，并在此阶段焙焦2~2.5 h，使淡色麦芽水分降低至4%~5%，浓色麦芽水分降至1.5%~2.5%。

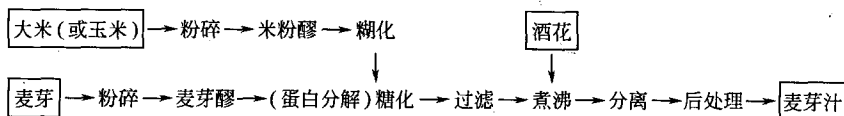
（六）干麦芽的后处理

干麦芽后处理包括干燥麦芽的除根冷却、贮藏（回潮）以及商业性麦芽的磨光。

干麦芽后处理的目的是如下：①出炉麦芽必须在24h之内除根，因为麦根吸湿性很强，否则将影响去除效果和麦芽的贮藏；②麦根中含有43%左右的蛋白质，具有苦味，而且色泽很深，会影响啤酒的口味、色泽以及啤酒的非生物稳定性；③必须尽快冷却，以防酶的破坏，致使色度上升和香味变坏；④经过磨光，除去麦芽表面的水锈或灰尘，提高麦芽的外观质量。

三、麦芽汁的制备（糖化）

糖化是指麦芽和辅料粉碎加水混合后，在一定条件下，利用麦芽本身所含有的酶（或外加酶制剂）将麦芽和辅料中的不溶性大分子物质（淀粉、蛋白质、半纤维素等）分解成可溶性的小分子物质（如糖类、糊精、氨基酸、肽类等）。由此制得的溶液称为麦芽汁。其工艺流程如下。



麦芽汁中溶解于水的干物质称为浸出物，麦芽汁中的浸出物对原料中所有干物质的比例称为浸出率。

糖化的目的就是要将原料（包括麦芽和辅料）中可溶性物质尽可能多地萃取出来，并且创造有利于各种酶的作用条件，使很多不溶性物质在酶的作用下变成可溶性物质而溶解出来，制成符合要求的麦芽汁。

（一）原辅料粉碎

粉碎的目的如下。①增加原料的内容物与水的接触面积，使淀粉颗粒很快吸水软化、膨胀以至溶解。②使麦芽可溶性物质容易浸出。麦芽中的可溶性物质粉碎前被表皮包裹不易浸出，粉碎后增加了与水和酶的接触面积而易于溶解。③促进难溶解性的物质溶解。麦芽中没有被溶解的物质以及辅料中的大部分物质均是难溶解的，必须经过酶的作用或热处理才能变

成易于溶解的。粉碎可增大与水、酶的接触面积，使难溶性物质变成可溶性物质。

麦芽可粉碎成谷皮、粗粒、细粒、粗粉、细粉五部分，一般要求粗粒与细粒（包括细粉）的比例大于1:2.5。粉碎的要求是麦芽皮壳应破而不碎，胚乳适当地细，并注意提高粗细粉粒的均匀性。粉碎时皮壳太碎，因麦皮中含有苦味物质、色素、单宁等有害物质，会使啤酒色泽加深，口味变差；过碎还会造成过滤困难，影响麦芽汁收得率。但是太粗，又会影响滤出麦芽汁的清亮度。

辅料（如大米）应粉碎得越细越好，以增加浸出物的收得率。

（二）糖化时主要物质的变化

原料麦芽的水浸出物仅占17%左右，绝大部分为不溶性和难溶性物质如麦芽淀粉、蛋白质、 β -葡聚糖等。非发芽谷物原料的可溶性物质更少。经过糖化过程的酶促分解和热力作用，麦芽的无水浸出率提高到75%~80%，大米的无水浸出率提高到90%以上。

1. 淀粉的分解

麦芽淀粉和大麦淀粉的性质基本一致，只是麦芽淀粉颗粒在发芽过程中，因受酶的作用，其周边蛋白质层和细胞壁的半纤维素物质已逐步分解，部分淀粉也受到分解，麦芽中淀粉质量分数比大麦减少4%~6%，淀粉结构变化使支链淀粉含量有所减少，直链淀粉含量稍有增加，比大麦淀粉更容易接受酶的作用而分解。

淀粉的分解分为糊化、液化、糖化三个阶段。大米或玉米作为麦芽的辅料，主要是提供淀粉，为了促进糊化、液化，防止糊化醪出现糊锅现象，必须在辅料中加入15%~20%麦芽或 α -淀粉酶（6~8U/g原料），使其在55℃起就开始糊化、液化，还可缩短操作时间。

淀粉不可全都分解为可发酵性糖，而应保持一部分不发酵和难发酵的低级糊精，可发酵性糖与非发酵性糖的比例必须根据啤酒的品种维持一定的数值。一般浓色啤酒糖与非糖之比控制在1:(0.5~0.7)，浅色啤酒控制在1:(0.23~0.35)。

2. 蛋白质的分解

糖化时蛋白质的分解称为蛋白质休止，分解的温度称为休止温度，分解的时间称为休止时间。

糖化时蛋白质的分解既影响啤酒泡沫的多少、泡沫的持久性、啤酒的风味和色泽，又影响酵母的营养和啤酒的稳定性。麦芽汁总可溶性氮，对全麦芽啤酒一般要求达到900~1000mg/L，对添加辅料，并且有较长贮酒期的啤酒为700~800mg/L，而对淡爽型啤酒应达到600~700mg/L，如果低于550mg/L，酿成的啤酒就显得淡薄。

3. β -葡聚糖的分解

麦芽中的 β -葡聚糖是胚乳细胞壁和胚乳细胞之间的支撑和骨架物质。在35~50℃时，麦芽中的高分子葡聚糖溶出，提高醪液的黏度。尤其是溶解不良的麦芽， β -葡聚糖的残存高，麦芽醪过滤困难，麦芽汁黏度大。因此，糖化时要创造条件，通过麦芽中内 β -1,4-葡聚糖酶和内 β -1,3-葡聚糖酶的作用，促进 β -葡聚糖分解，使 β -葡聚糖降解为糊精和低分子葡聚糖。

4. 有机磷酸盐的分解

麦芽所含的磷酸盐酶在糖化时继续分解有机磷酸盐，游离出磷酸及酸性磷酸盐。麦芽中可溶性酸及其盐类溶出，构成糖化醪的原始酸度，改善醪液缓冲性，有益于各种酶的作用。以后由于微生物的作用，产生了乳酸，蛋白质分解产生氨基酸以及琥珀酸、草酸等，均会使滴定酸度增加，pH下降。

5. 多酚类物质的变化

多酚类物质与高分子蛋白质配位化合，形成单宁-蛋白质的复合物，影响啤酒的非生物稳定性；多酚物质的酶促氧化聚合，又会产生涩味、刺激味，导致啤酒口味失去原有的协调

性，使之变得单调、粗涩淡薄，影响啤酒的风味稳定性。因此，采用适当的糖化操作和麦芽汁煮沸，使蛋白质和多酚物质沉淀下来。

(三) 影响糖化效果的主要因素

糖化过程是一项非常复杂的生化反应过程。糖化的要求是麦芽汁的浸出物收得率要高，浸出物的组成及其比例符合产品的要求。而且要尽量减少生产费用降低成本。

糖化过程中的各种酶主要来自麦芽，有时为了补充酶活力的不足，也外加 α -淀粉酶、葡萄糖淀粉酶（糖化酶）、支链淀粉酶、 β -葡聚糖酶和蛋白酶等酶制剂。麦芽中的酶系统对整个糖化过程起决定作用。而酶活性主要与温度、时间和 pH 有关，因此糖化工艺条件选择的依据就是影响酶作用效果的这三个因素。

1. 糖化温度

各种酶在不同温度下的作用效应见表 1-1。

表 1-1 各种酶在不同温度下的作用效应

温度/℃	效 应
35~37	浸出各种酶,提高酶活力
40~45	有机磷酸盐分解, β -葡聚糖分解,蛋白质分解,R-酶对支链淀粉的解支作用
45~52	蛋白质分解形成多量的低分子含氮物质, β -葡聚糖继续分解,R-酶和界限糊精酶对支链淀粉的解支作用,有机磷酸盐分解
50	有利于甲醛氮的形成
55	有利于内肽酶作用,形成大量的可溶性氮,内 β -葡聚糖酶和氨肽酶等逐渐失活
53~62	有利于 β -淀粉酶作用,形成大量麦芽糖
63~65	蛋白酶的分解能力下降, β -淀粉酶的作用最强,形成最高量麦芽糖
65~67	有利于 α -淀粉酶的作用, β -淀粉酶的作用减弱,糊精生成量相对增加,麦芽糖生成量相对减少,界限糊精酶失去活力
70	α -淀粉酶的最适温度,生成大量短链糊精, β -淀粉酶、内肽酶和磷酸酯酶等失活
70~75	α -淀粉酶的反应速度加快,形成大量糊精,可发酵性糖的生成减少
76~78	α -淀粉酶等耐高温的酶仍起作用,浸出率开始降低
80~85	α -淀粉酶开始失活
85~100	麦芽中的酶基本都被破坏

2. 糖化 pH

淀粉酶作用最适 pH 也随温度的变化而变化（表 1-2）。

表 1-2 不同温度下 α -淀粉酶和 β -淀粉酶作用的最适 pH

项 目	温度/℃						
	20	40	50	55	60	65	70
α -淀粉酶	—	4.6~4.8	4.7~4.9	4.9~5.1	5.1~5.4	5.4~5.8	5.8~5.0
β -淀粉酶	4.4~4.6	4.5~4.7	4.4~4.8	4.8~5.0	5.0~5.2	5.2~5.4	5.0~5.5

由表 1-2 可知，对于啤酒的糖化，一般在 63~70℃， α -淀粉酶和 β -淀粉酶的最适 pH 较宽，可以在 pH 5.2~5.8 波动，影响不大。

对蛋白质分解条件而言，pH 比温度更重要。通常通过调节麦芽醪 pH 至 5.2~5.4 来得到合适的麦芽汁组分。

3. 糖化醪浓度

糖化醪浓度增加则黏度变大，影响酶对基质的渗透作用，从而降低淀粉的水解速率，可发酵性糖含量也会降低，也会抑制酶对淀粉的作用，降低浸出物收率，糖化时间延长。所以糖化醪的质量分数以 14%~18% 为宜，超过 20% 则糖化速率受到显著影响。所以在生产上酿制浅色啤酒物料加水比一般为 1:(4~5)；酿制浓色啤酒的物料加水比为 1:(3~4)。

4. 糖化时间

糖化时间是指糖化醪达 $63\sim 70^{\circ}\text{C}$ 起, 到由碘液检查证明糖化完全的这一段时间。在麦芽质量良好的正常操作条件下, 醪液达 65°C , 约 15 min 即可糖化完全, 麦芽汁过滤也很顺利。若麦芽质量一般, 约 30min 糖化完全, 麦芽汁过滤尚不困难。如果麦芽质量低劣, 酶活力很差, 在 1h 内还不能糖化完全的, 麦芽汁过滤困难, 则应掺用质量良好的麦芽, 或采取添加酶制剂等措施。

(四) 糖化方法

糖化设备有糊化锅、糖化锅、过滤槽、煮沸锅等。糊化锅主要用于辅料的液化与糊化, 并对糊化醪和部分糖化醪液进行煮沸。糖化锅用来浸渍麦芽并进行蛋白质分解以及混合醪液糖化的设备。

麦芽和辅料的糖化方法很多, 主要可分为两大类, 即浸出糖化法和煮出糖化法。

浸出糖化法是纯粹利用麦芽中酶的生化作用, 不断加热或冷却调节醪的温度, 浸出麦芽中可溶性物质。它要求麦芽质量必须优良, 只适合全麦芽酿制上面发酵啤酒和低浓度发酵啤酒。由于麦芽醪不经煮沸, 如果使用的麦芽质量太差, 虽然延长糖化时间, 也难达到理想的糖化效果。添加谷物辅料的下面发酵啤酒, 一般不采用此法。

煮出糖化法是将糊化锅的糊化醪, 或把糖化锅内的部分醪液泵入糊化锅内进行煮沸后, 再泵回糖化锅, 使全部醪液分阶段地升温到不同的酶解温度。煮出糖化法根据醪液煮沸的次数又可分为一次、两次及三次煮出法。煮出糖化法可弥补麦芽溶解不良的不足。

1. 一次煮出糖化法

使用溶解良好的麦芽, 采用一次煮出糖化法, 蛋白分解温度适当高一些, 时间可适当控制短一些, 其工艺流程见图 1-2。

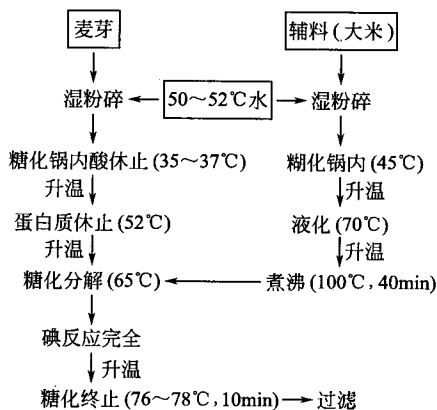


图 1-2 一次煮出糖化法工艺流程

2. 二次煮出糖化法

使用溶解一般的麦芽, 采用二次煮出糖化法, 蛋白分解温度可稍低, 延长蛋白分解和糖化时间。其工艺流程见图 1-3。

3. 外加酶制剂糖化法

使用溶解较差、酶活力低的麦芽, 或谷物辅料用量较大, 可采用外加酶制剂糖化法以弥补麦芽酶活力的不足。

外加酶制剂糖化法是指麦芽用量小于 50%, 使用部分大麦 (占 25%~50%) 和大米或玉米 (25%) 双辅料, 并添加适量酶制剂制备麦芽汁的方法, 此法可以大幅度降低原料成本, 生产的啤酒质量与正常啤酒相近, 其糖化工艺流程见图 1-4。

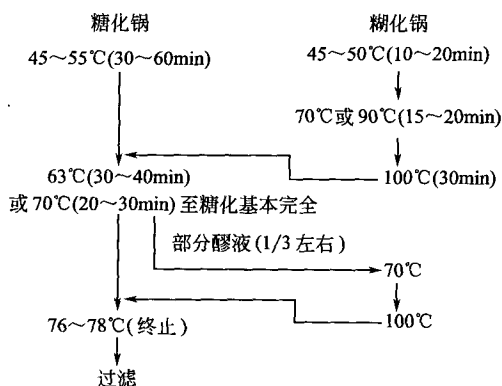


图 1-3 二次煮出糖化法工艺流程

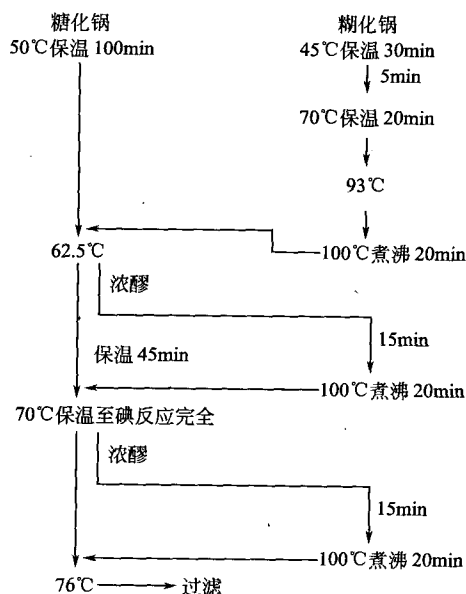


图 1-4 外加酶制剂糖化法工艺流程

(五) 麦芽汁的过滤

过滤槽法是目前国内啤酒厂大多使用的方法，过滤效果较好。过滤槽的主要构件为滤板，滤板与槽底之间有一定的空间用于收集麦芽汁，槽底开有许多滤孔，麦芽汁导管连接在滤孔上将麦芽汁引导出来。过滤槽的中心轴上装有可以旋转、升降的耕槽机，用来疏松过滤层。过滤槽内还装有可随耕槽机旋转的喷水管，用来喷洒洗槽热水。

将糖化好的醪液泵入过滤槽，静置 10min，回流 10~15 min，使麦糟形成过滤层，至麦芽汁清亮透明，开始过滤到煮沸锅，此过滤麦芽汁为头道麦芽汁。将麦糟滤层边加热（76~78°C）边连续加入 78°C 热水，使残糖含量在 1% 以下，过滤洗糟结束。

影响麦芽汁过滤速度及质量的因素有以下几点：①麦芽汁黏度；②滤层厚度；③滤层阻力；④过滤压力；⑤洗槽用水量。

头道麦芽汁滤出后，用水将残留在麦糟中的糖液洗出所用的水称为洗槽用水。洗槽用水量主要根据糖化用水量来确定，这部分水约为煮沸前麦芽汁量与头道麦芽汁量之差，其对麦芽汁收得率有较大的影响。制造淡色啤酒，糖化醪液浓度较稀，洗槽用水量则少；制造浓色

啤酒，糖化醪液较浓，相应地洗糟用水量。

洗糟用水温度为 $75\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，残糖质量分数控制在 $1.0\%\sim 1.5\%$ 。酿造高档啤酒，应当提高残糖质量分数在 1.5% 以上，以保证啤酒的高质量。混合麦芽汁浓度，应低于最终麦芽汁质量分数 $1.5\%\sim 2.5\%$ 。过分洗糟，会延长煮沸时间，对麦芽汁质量会产生不利影响，而且也是不经济的。

（六）麦芽汁的煮沸和酒花的添加

麦芽汁煮沸的目的有：①蒸发水分、浓缩麦芽汁；②钝化全部酶和麦芽汁杀菌；③溶出酒花的有效成分；④蛋白质变性和絮凝；⑤降低麦芽汁的 pH；⑥还原物质的形成；⑦挥发出不良气味。

1. 常压煮沸

国内啤酒厂普遍采用蒸汽常压煮沸法。它是在麦芽汁的容量盖过加热层后开始加热，使麦芽汁温度保持在 80°C 左右，待麦糟洗涤结束后，即加大蒸汽量，使麦芽汁达到沸腾。同时测量麦芽汁的容量和浓度，计算煮沸后麦芽汁产量。

煮沸时间随麦芽汁浓度及煮沸强度而定，一般为 $70\sim 90\text{min}$ 。麦芽汁在煮沸过程中，必须始终保持强烈对流状态，使蛋白质凝固得更多些。同时须检查麦芽汁蛋白质凝固情况，尤其在酒花加入后，可用清洁的玻璃杯取样向亮处检查，必须凝固良好，有絮状凝固物，麦芽汁清亮透明，当在预定时间达到产量后即可停汽，并测量麦芽汁浓度。

2. 低压煮沸

压力小于 $1\times 10^4\text{Pa}$ ($100\sim 120^{\circ}\text{C}$) 的加压煮沸，称为低压煮沸。常用的低压煮沸设备是在煮沸锅内安装加热器或用锅外热交换器与煮沸锅结合起来。

先常压预煮沸，再低压煮沸。预煮沸和强烈后煮沸阶段是必需的，以便蒸发和除去挥发性异味物质，对除去挥发性物质来说，强烈的后煮沸阶段比预煮沸阶段更加有效。内加热煮沸具体操作如下。

煮沸温度约 $102\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。第一次酒花加入后开放煮沸 10min ，排出挥发物质，然后将锅密闭，使温度在 15min 内升至 $104\sim 110^{\circ}\text{C}$ 煮沸 $15\sim 25\text{min}$ ，之后在 $10\sim 15\text{min}$ 降至大气压力，第二次加入酒花，总煮沸时间为 $60\sim 70\text{min}$ 。此法可加速蛋白质的凝固和酒花的异构化，利于二甲基硫及其前体物质的降低。

低压煮沸，煮沸时间比传统方法可缩短近 $1/3$ ，麦芽汁色度比较浅，麦芽汁中的氨基酸和维生素破坏的少，麦芽汁的色度和可凝固氮、DMS 等有明显降低，延长了保质期，可提高设备的利用率，煮沸时不产生泡沫，也不需要搅拌，并可节能 50% 以上。

低压煮沸由于煮沸温度较高，如果煮沸时间过长容易产生热损伤。不同的煮沸温度、相同的处理时间与常规煮沸相比较可以看出，低压煮沸的麦芽汁苦味值都高于常压煮沸。麦芽汁的热损伤造成异味并导致啤酒容易老化，并破坏泡沫性能。

3. 酒花的添加

添加酒花的目的如下。①赋予啤酒特有的香味。酒花中的酒花油和酒花树脂在煮沸过程中经过复杂的变化以及不良的挥发成分的蒸发，可赋予啤酒特有的香味。②赋予啤酒爽快的苦味。酒花中 α -酸经异构化形成的异 α -酸以及 β -酸氧化后的产物，均是苦味甚爽的物质。认真掌握工艺条件，可赋予啤酒理想的苦味。③增加啤酒的防腐能力。酒花中的 α -酸和 β -酸具有防腐灭菌作用。④提高啤酒的非生物稳定性。单宁、花色苷等多酚物质与麦芽汁中蛋白质形成复合物而沉淀出来，提高了啤酒的非生物稳定性。⑤防止煮沸时串沫。

酒花的添加量应依据酒花的质量（含 α -酸的量）、消费者的嗜好习惯、啤酒的品种、浓度等不同而不同。一般浅色啤酒要突出清香及爽口的苦味，应多加些，如比尔森啤酒酒花加量为 $0.4\%\sim 0.5\%$ ，浓色啤酒要突出麦芽香，可少加些，如慕尼黑啤酒酒花用量为 $0.18\%\sim 0.2\%$ 。