

生物工程
生物技术
系列

普通高等教育“十三五”规划教材



发酵产品工艺学

第二版

陶兴无 | 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

发酵产品工艺学

第2版

陶兴无 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《发酵产品工艺学》(第2版)选取工业上比较成熟的、工艺上有代表性的产品,按每一章(或节)介绍一种产品进行编排。全书共分10章,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。

本书适合高等院校生物工程、生物技术以及生物科学、生物化工、制药工程、食品科学与工程等专业作为专业课教材,也可供发酵工厂技术人员参考。



图书在版编目(CIP)数据

发酵产品工艺学/陶兴无主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2016.9
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-27516-5

I. ①发… II. ①陶… III. ①发酵食品-生产工艺-
高等学校-教材 IV. ①TS26

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第149792号

责任编辑:魏巍 赵玉清
责任校对:宋玮

装帧设计:关飞

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:三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张14 字数372千字 2016年9月北京第2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: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

经过前人千百年来不断的总结和发展,发酵工艺在生产技术和微生物培育方面均取得了巨大的进步,为发酵产品的生产和研究提供了有力的支持。发酵工艺作为生物技术产业链中最接近工业化生产的一门应用技术,不仅在生物技术产业的发展中起着举足轻重的作用,也成为支撑医药、食品等生物技术交叉行业的重要技术来源。因此,发酵工艺是生物技术、生物制药、食品科学等专业学生必须掌握的重要技能。本书第1版自2008年出版发行以来,一直被许多高等院校作为生物、食品、医药、化工等专业的本科专业课教材或指定教学参考用书。为了更好地适应科学技术在发酵产品工艺领域的发展,根据各高校在使用本书教学过程中反馈的意见和建议以及发酵生产技术的最新进展,本次修订工作主要针对各章节发酵产品的工艺原理进行了部分补充和更新,对原辅料的介绍也更为详尽,并在各章后增加了复习思考题,便于提高学生总结和归纳学科要点的能力。本书力求做到科学性、先进性与实用性相结合,注重基本理论、基本知识和基本技能的传授。

本书第2版仍保持第1版的结构体系和编写原则,使读者通过对工业上比较成熟的、工艺上有代表性的发酵产品实例的学习,在了解发酵生产一般工艺的基础上,能举一反三,掌握发酵生产的基本规律,以满足高等院校培养工程应用型人才的教学需要,同时也可供相关科研、设计和工厂技术人员参考。

本书第2版由武汉轻工大学陶兴无编写完成,书中难免存有疏漏之处,恳请广大读者对本书在内容和编排等方面存在的问题给予批评指正。

陶兴无

2016年4月于武汉

第一版前言

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：①选择工业上比较成熟的、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。

本书是笔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。

受笔者学识水平所限，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）	3
三、麦芽汁的制备（糖化）	5
四、啤酒发酵	11
五、啤酒的过滤包装	16
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	21
四、葡萄酒的贮存与后处理	25
第三节 黄酒	26
一、原料大米的预处理	27
二、糖化发酵剂的制备	27
三、黄酒发酵	30
四、几种典型的黄酒发酵工艺要点	32
第四节 白酒与酒精	33
一、生产原辅料	33
二、糖化发酵剂的制备	35
三、大曲酒、麸曲白酒生产工艺 （固态发酵法）	37
四、小曲酒生产工艺（固态发酵法、 半固态发酵法）	39
五、液态法白酒的生产工艺	40
六、白酒的贮存、勾兑调味及 低度白酒生产	41
七、酒精	42
复习思考题	45
第二章 柠檬酸	46
第一节 黑曲霉的柠檬酸发酵机制	46
一、黑曲霉柠檬酸合成途径	46
二、柠檬酸合成的理想途径	46
三、柠檬酸积累的代谢调节机制	48
第二节 柠檬酸生产菌种及其扩大培养	50
一、柠檬酸高产菌黑曲霉的 生理特征	51
二、生产菌种的扩大培养	51
第三节 薯干原料发酵柠檬酸工艺	53
一、发酵培养基	53
二、接种量和菌体形态	54
三、温度	54
四、pH 值	54
五、通风与搅拌	55
六、发酵时间	55
第四节 玉米粉发酵柠檬酸工艺	55
一、玉米粉发酵的工艺特点	56
二、玉米粉发酵的技术指标	57
第五节 柠檬酸的提取工艺	57
一、发酵醪的热处理及过滤	57
二、发酵液的中和与酸解	58
三、柠檬酸溶液的净化、浓缩、 结晶和干燥	61
复习思考题	63
第三章 乳酸	64
第一节 乳酸代谢途径及产乳酸微生物	64
一、乳酸代谢途径	64

三、其他原料的处理方法	132	第四节 酱油的发酵及其浸出（压滤） ...	138
第三节 酱油曲的制备	133	一、低盐固态发酵工艺	139
一、酱油曲生产菌种	133	二、高盐稀态发酵工艺	142
二、米曲霉的特性	134	第五节 成品酱油的加热配制	146
三、种曲制备	134	一、酱油的加热	146
四、成曲制备	136	二、成品酱油的配制	146
五、制曲过程中的生化变化	137	复习思考题	147
六、成曲质量标准	138		
第七章 酱品	148		
第一节 大豆酱生产工艺	148	要求	152
一、直接制曲法	148	二、制面酱糕	153
二、外加成曲法	149	三、制曲	153
第二节 蚕豆酱生产工艺	150	四、制醪发酵	154
一、原汁豆瓣酱	150	五、酱醪的研磨	154
二、蚕豆辣酱	151	六、甜面酱的后熟及贮存	154
第三节 甜面酱生产工艺	152	复习思考题	155
一、原料面粉及食盐的质量			
第八章 食醋	156		
第一节 食醋酿造的工艺原理	156	四、酶法液化通风回流制醋	164
一、食醋酿造微生物及其特性	156	第三节 液态发酵法酿醋工艺	166
二、食醋色、香、味、体的形成机理 ...	158	一、淀粉质原料液态深层发酵制醋	166
第二节 固态发酵法酿醋工艺	159	二、氧化塔速酿醋工艺	167
一、大曲法制醋	159	三、水果原料制醋	168
二、小曲（麦曲）法制醋	161	复习思考题	169
三、麸曲法制醋	162		
第九章 酱腌菜	170		
第一节 蔬菜的腌渍原理	171	二、盐渍工艺操作	184
一、食盐的渗透作用	171	第三节 泡酸菜的加工工艺	187
二、微生物的发酵作用	172	一、泡制过程中微生物菌群的演变	
三、腌制品色、香、味物质的变化与		及发酵情况	187
形成及护色保脆	174	二、泡菜的制作	188
四、有害微生物的作用与亚硝基胺的		三、四川泡菜与韩国泡菜的生产	
产生及其防止	179	工艺比较	190
五、影响乳酸发酵的主要因素	181	第四节 酱、糖醋渍菜的加工工艺	190
六、人工接种乳酸菌腌制蔬菜	182	一、咸菜坯的脱盐、脱水处理	190
第二节 盐渍菜的加工工艺	183	二、酱渍加工	191
一、盐渍工艺流程	183	三、糖醋渍加工	192

复习思考题	193
第十章 青霉素和头孢菌素 C	194
第一节 青霉素生产工艺	195
一、青霉素生产菌种	196
二、青霉素的生物合成机理	197
三、青霉素发酵	199
四、青霉素的提取	203
第二节 头孢菌素 C 生产工艺	209
一、头孢菌素 C 生产菌种	209
二、头孢菌素 C 的生物合成机理	210
三、头孢菌素 C 的发酵	211
四、头孢菌素 C 的分离纯化工艺	213
复习思考题	215
参考文献	216

第一章 酒与酒精

凡含有乙醇的饮料，均称做“酒”。按生产工艺不同，酒分为酿造酒、蒸馏酒和配制酒三大类。酿造酒即发酵原酒，是以谷物、果实为原料，经（糖化）发酵及澄清、过滤等处理后而得到的酒，包括啤酒、葡萄酒和黄酒等，其特点是营养丰富、酒精度低。蒸馏酒是将经过发酵的酒醪（醅）进行蒸馏、勾兑、贮存得到的酒，包括中国白酒、Brandy（白兰地）、Vodka（伏特加）、Whisky（威士忌）、Rum（老姆）、Gin（金酒）等，其特点是酒精度高。配制酒是以酿造酒、蒸馏酒或食用酒精为酒基，加入香精、香料或药材，经特定的工艺处理后形成的具有特殊风味或功能的调配酒。

酒精是将发酵醪液经过多次蒸馏得到的纯乙醇制品。

第一节 啤 酒

啤酒是以大麦制成的麦芽、大米或其他谷物、酒花等为原辅料，经糖化和发酵制成的一种含有二氧化碳、低酒精度的饮料。公元前 18 世纪，古巴比伦已有关于啤酒的详细记载。13 世纪，德国使用啤酒花作苦味剂。在中国古代，也有类似于啤酒的酒精饮料，即所谓的蘖法酿醴（依靠谷物发芽糖化酿酒）。目前啤酒生产几乎遍及世界各国，是产量最大的酒。

通常根据生产所用的原麦汁浓度及产品的酒精含量对啤酒进行分类。低、中和高浓度啤酒的原麦汁浓度分别为 2.5%~9.0%、11.0%~14.0% 和 14.0%~22.0%；酒精含量分别为 0.8%~2.5%、3.2%~4.2% 和 4.2%~5.5%。

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

大麦是啤酒生产的主要原料。生产中先将大麦制成麦芽，再用来酿造啤酒。根据大麦籽粒生长的形态，可分为六棱大麦、四棱大麦和二棱大麦。其中二棱大麦的麦穗上只有两行籽粒，籽粒皮薄、大小均匀、饱满整齐，淀粉含量较高，蛋白质含量适当，是生产啤酒的最好原料。

淀粉是大麦中主要的化学成分，贮藏在胚乳细胞，含量占其干物质的 58%~65%。大

麦中蛋白质含量的高低，对大麦发芽、糖化、发酵以及成品酒的泡沫、风味、稳定性都有很大影响。啤酒酿造用大麦一般要求蛋白质含量为 9%~12%。近年来，由于淀粉质辅料使用比例增加，利用蛋白质含量较高的大麦酿制啤酒也成为现实。多酚类物质主要存在于皮壳中，其含量占大麦干物质的 0.1%~0.3%。大麦中的酚类物质含量虽少，但对啤酒的色泽、泡沫、风味和稳定性影响很大。大分子酚（如花色苷、儿茶酸等）经过缩合反应和氧化反应后，具有单宁性质，易和蛋白质起交联作用而沉淀出来。

啤酒原料用大麦要求麦粒有光泽，有新鲜麦香味，籽粒饱满，均匀整齐，皮薄，色浅，无病虫害和霉变，发芽率高。

2. 酒花

啤酒花简称酒花，又称忽布（hops）、蛇麻花或蛇麻草等。酒花能够赋予啤酒特有的苦味和香味。酒花与麦汁共沸时可促进蛋白质凝固，有利于麦汁澄清，增强啤酒的非生物稳定性和泡沫持续性。酒花能抑制乳酸菌生长，增加啤酒的防腐能力和风味稳定性。酒花分成香型酒花、兼型酒花和苦型酒花等类型。香型酒花品质最优。酒花的有效成分为酒花油、酒花苦味物质和多酚类物质。

酒花中含有 0.5%~2.0% 的酒花油。其组成成分很复杂。酒花油易于挥发，容易氧化。酒花油不易溶于水和麦汁，大部分酒花油在麦汁煮沸或热、冷凝固物分离过程中被分离出去。尽管酒花油在啤酒中保存下来的很少，但却是啤酒中酒花香味的来源。

啤酒的苦味和防腐能力主要是由酒花中的苦味物质 α -酸和 β -酸提供的。 α -酸本身具有苦味和防腐能力，微溶于沸水中，在加热、稀碱或光照等条件下易发生异构化形成异 α -酸。异 α -酸具有强烈的苦味，防腐能力也高于 α -酸，是啤酒苦味的主要来源，且苦味更柔和。 α -酸在麦汁中的溶解度不大，需要长时间煮沸才能生成水溶性的异 α -酸。 β -酸溶解度小，有一定的抑制革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌的能力，但苦味和防腐能力不如 α -酸。

酒花中含有 4%~10% 的多酚类物质，主要是花色苷、花青素和单宁等，其中花色苷占 80%。酒花中的多酚含量比大麦中多酚含量要高得多，是影响啤酒风味和引起啤酒混浊的主要成分。酒花中的多酚在麦汁煮沸时有沉淀蛋白质的作用，但这种沉淀作用在麦汁冷却、发酵甚至过滤装瓶后仍在继续进行，从而会导致啤酒混浊。因此酒花多酚对啤酒既有有利的一面，也有不利的一面，需要在生产中很好地控制。

传统的啤酒酿造工艺是将新鲜酒花干燥后制成全酒花添加到麦汁中。由于全酒花不易保管、运输体积大、使用不方便且酒花利用率不高，现已改为使用颗粒酒花、酒花浸膏、异构化酒花浸膏和酒花油等酒花制品。

3. 啤酒酿造辅料

原则上凡富含淀粉的谷物都可以作为辅料，但添加辅料后不应造成过滤困难，不影响酵母的发酵和产品卫生指标，不能带入异味，不影响啤酒的风味。常用的辅助原料有大米、小麦、糖类和淀粉水解糖浆。

使用辅助原料代替部分麦芽的目的是：①以价廉而富含淀粉的谷物为麦芽辅助原料，可降低原料成本和吨酒粮耗；②使用糖类或糖浆为辅料，可以节省糖化设备的容量，同时可以调节麦汁中糖的比例，提高啤酒发酵度；③使用辅助原料（如大米）可以降低麦汁中蛋白质和多酚类物质的含量，降低啤酒色度，改善啤酒风味和非生物稳定性；④使用部分辅助原料（如小麦）可以增加啤酒中糖蛋白的含量，改进啤酒的泡沫性能。

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 值，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。水处理方法有机械过滤、活性炭过滤、砂滤、加酸法、煮沸法、添加石膏法、离子交换法、电渗析法、紫外线消毒法等。

二、 麦芽制造（制麦）

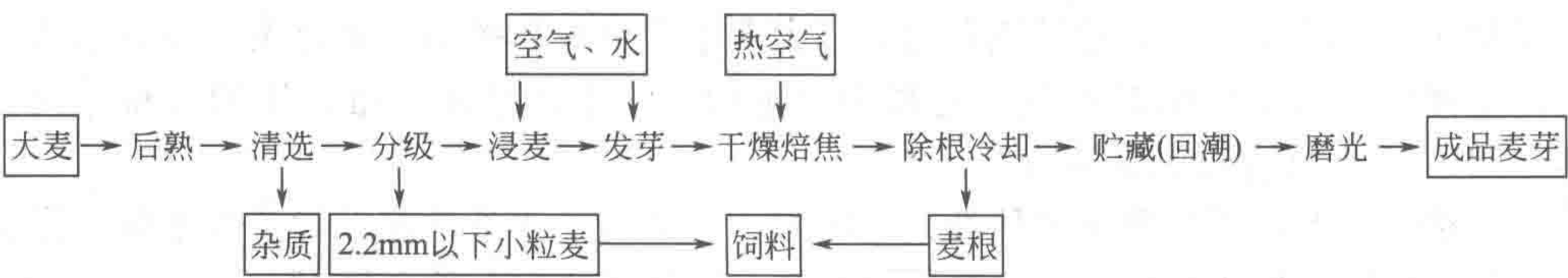
大麦在人工控制的外界条件下发芽和干燥的过程，称为“制麦”。发芽后制得的新鲜麦芽叫绿麦芽，经干燥和焙焦后的麦芽称为干麦芽。

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。

经过发芽的大麦，所含酶量和种类大量增加。发芽的主要条件是：种子含水量、发芽温度和激素。发芽开始，胚部的叶芽和根芽开始发育，同时释放出多种赤霉素（GA），并向糊粉层分泌，由此诱发出的一系列水解酶的形成。故赤霉素是促进水解酶形成的主要因素（图1-1）。

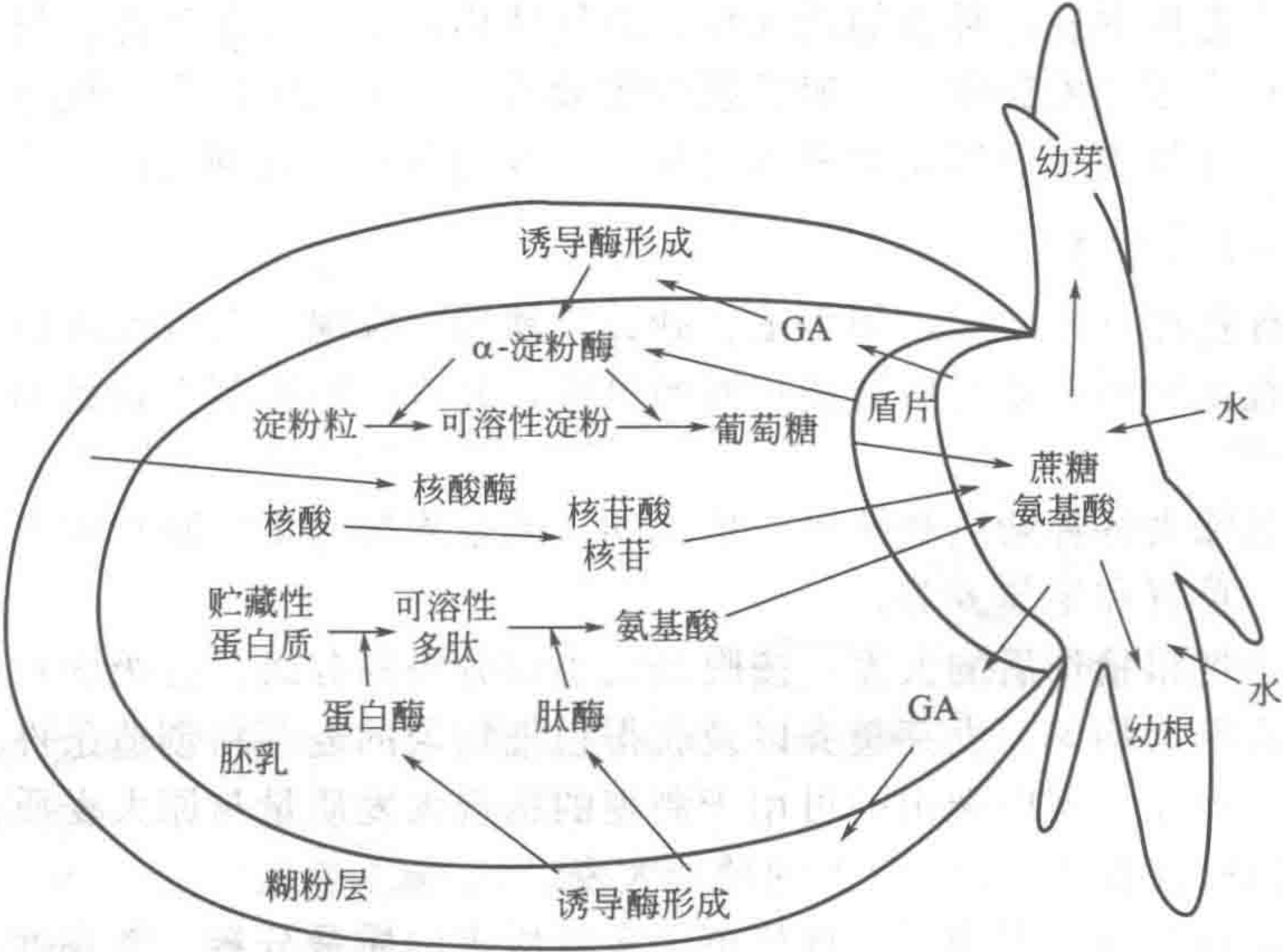


图 1-1 大麦发芽

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。

发芽操作结束得到的麦芽称为绿麦芽。对发芽的质量主要从两方面来判断：一是物质的转化，主要表现在根芽、叶芽的生长以及胚乳的溶解上；二是物质的消耗，要求在合理的物质转化条件下，尽量减少物质的消耗。绿麦芽要求新鲜、松软、无霉烂；手指搓捻呈粉状；发芽率在 90% 以上；叶芽长度为麦粒长度的 $2/3 \sim 3/4$ 。

（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 2~2.5h，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。新干燥的麦芽需要经储藏一个月以上，才能用于酿造。在贮存过程中，麦芽的淀粉酶和蛋白酶的活力都有所提高，有利于糖化。

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。对于浓色啤酒，糖与非糖之比一般控制在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 值下降。

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 值有关，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

温度/℃	效 应
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 值

淀粉酶作用最适 pH 值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 值

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 值较宽，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 值比温度更重要。通常通过调节麦芽醪 pH 值至 5.2~5.4 来得到合适的麦芽汁组分。对残余碱度较高的酿造水应加石膏、酸等处理，也可添加 1%~5% 的乳酸麦芽。

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 63~70℃ 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℃，约 15min 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。

煮出糖化法是将糖化醪液的一部分，分批加热到沸点，然后与其余未煮沸的醪液混合，使全部醪液温度分阶段升高到不同酶分解所需要的温度，最后达到糖化终了温度。根据醪液

的煮沸次数，煮出糖化法可分为一次、二次和三次煮出糖化法，以及快速煮出法等。

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。

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。

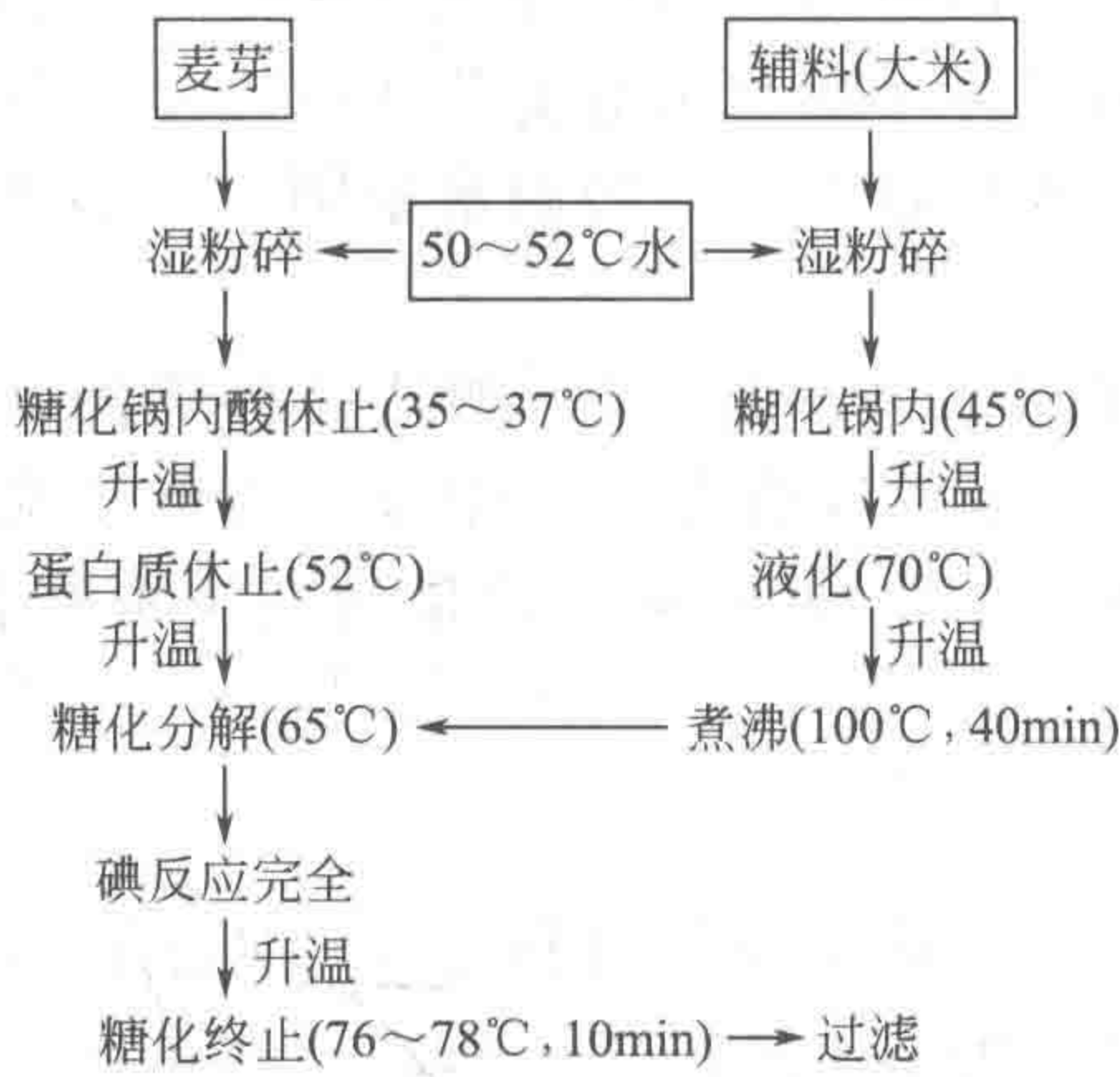


图 1-2 一次煮出糖化法工艺流程

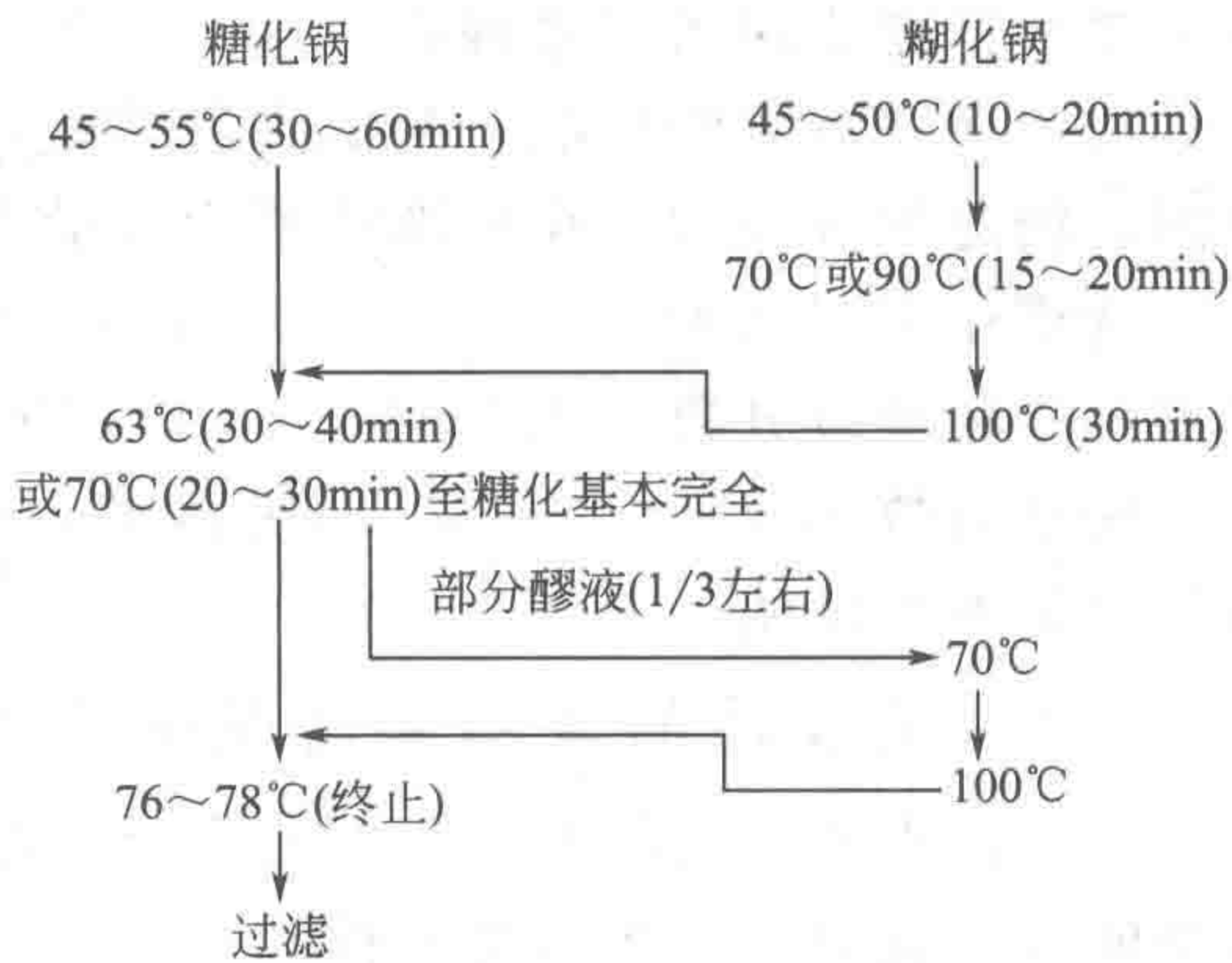


图 1-3 二次煮出糖化法工艺流程

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。

（五）麦芽汁的过滤

麦芽醪的过滤要求是迅速和较彻底地分离出可溶性浸出物，减少有害于啤酒风味的麦壳多酚、色素、苦味物质等被萃取，获得澄清透明的麦汁。麦芽醪的过滤包括如下三个过程：①残留在糖化醪仅剩的耐热性的 α-淀粉酶，将少量的高分子糊精进一步液化，使之全部转变成无色糊精和糖类，提高原料浸出物得率；②从麦芽醪中分离出“头道麦汁”；③用热水洗涤麦糟，洗出吸附于麦糟的可溶性浸出物，得到“二滤、三滤麦汁”。

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

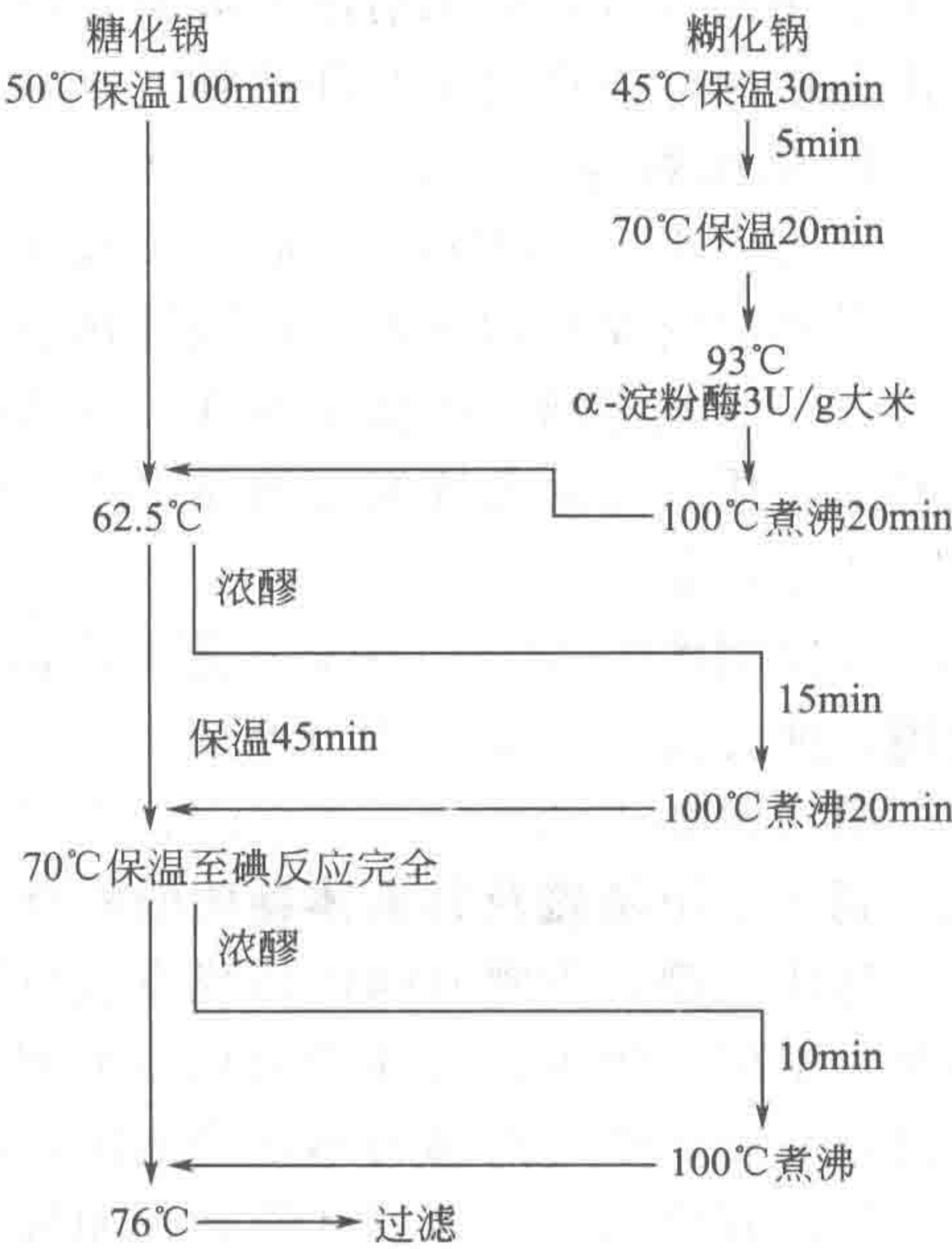


图 1-4 外加酶制剂糖化法工艺流程