

高等职业教育项目课程教材



GAODENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

• 高等职业教育教材 •

Starch

saccharide and sugar alcohol
production technology

淀粉糖与糖醇加工技术

李平凡 钟彩霞 主编



中国轻工业出版社

高等职业教育项目课程教材

淀粉糖与糖醇加工技术

李平凡 钟彩霞 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

淀粉糖与糖醇加工技术/李平凡,钟彩霞主编.

—北京:中国轻工业出版社,2012.3

高等职业教育项目课程教材

ISBN 978-7-5019-8589-0

I. ①淀… II. ①李… ②钟… III. ①淀粉糖品—生产工艺—高等职业教育—教材②糖醇—生产工艺—高等职业教育—教材 IV. ①IS245.4②TQ351.37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 013255 号

责任编辑:张 靛 责任终审:张乃柬 封面设计:锋尚设计
版式设计:宋振全 责任校对:燕 杰 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:航远印刷有限公司

经 销:各地新华书店

版 次:2012年3月第1版第1次印刷

开 本:720×1000 1/16 印张:11.5

字 数:231千字

书 号:ISBN 978-7-5019-8589-0 定价:22.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

111380J2X101ZBW

淀粉糖是以谷物、薯类等农产品为主要原料(其中最主要的是玉米淀粉),运用生物技术经过水解、转化而生成的糖,包括麦芽糖、葡萄糖和果葡糖浆以及以淀粉糖为原料加氢催化的糖醇系列等。

淀粉糖是淀粉深加工产业链中产量最大的产品。它的消费领域广、消费数量大,为推动食品工业的发展,以科技带动农业发展,提高农产品附加值,促进以生物科技带动农业产业化发展做出了重要贡献。淀粉糖的发展为市场提供了多糖源,对于稳定市场价格,带动农民增收,促进农业和食品工业协调发展有着重要意义。近年来,伴随着玉米深加工,食品工业的发展以及酶制剂等生物技术的进步和人们消费结构的变化,我国淀粉糖行业发展迅速,朝着多品种、个性化、专一化、规模化方向发展,产量大幅增加,品种结构日益完善。淀粉糖也从1999年的年产60万吨发展到目前接近900万吨的规模,每年保持近两位数的增长率。

本书针对高职高专特点,贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》提出的“加大课程建设与改革的力度,增强学生的职业能力”的要求,根据淀粉糖的工艺特点,以产品实现及工作过程为导向,以“工学结合”为切入点,以相关职业资格标准和基本工作要求为依据来指导本书的编写。

全书共分为6个模块。模块一介绍了谷类和薯类淀粉的生产工艺;模块二介绍了淀粉的水解工艺;模块三介绍了常见淀粉糖浆的生产工艺;模块四介绍了常见固态淀粉糖的生产工艺;模块五介绍了常见的淀粉原料生产糖醇的工艺;模块六介绍了常见的低聚糖生产工艺。

本书的编写注重对各典型产品生产过程的实际操作问题的解决,内容针对性强。可以作为高职高专食品、生物、化工类专业教材,也可以作为相关企业技术人员的参考书。模块中又分数个分项目和任务,实践性较强,建议授课时多使用多媒体或进行实践性教学。

本书由李平凡、钟彩霞任主编,阳元娥、石琳、罗合春任副主编。编写分工如下:模块一由包头轻工职业技术学院钟彩霞编写;模块二、模块四由广东轻工职业技术学院李平凡编写;模块三由重庆工贸职业技术学院罗合春编写;模块五由广东轻工职业技术学院石琳、谭才邓编写;模块六由广东轻工职业技术学院阳元娥、重庆三峡技术学院聂玉青编写。全书由李平凡统稿。

本书编写过程中,得到了华南地区最大淀粉糖企业广州双桥股份有限公司的大力支持,并参考了国内外许多作者的著作和文献资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平和能力有限,书中缺点错误难免,敬请读者批评指正。

1	模块一 淀粉的制备
1	学习内容
1	学习目标
1	背景知识
3	项目一 淀粉的生产
3	一、淀粉的基本知识
10	二、玉米的结构与组成
11	三、玉米淀粉湿法生产
23	任务一 玉米的浸泡
24	任务二 玉米的细磨与纤维分离、洗涤
24	任务三 淀粉乳的后处理
26	项目二 薯类淀粉的生产
26	一、马铃薯的特性及工艺特点
29	二、木薯的特性及工艺特点
30	任务 木薯淀粉的制备
31	链接与拓展
38	模块二 淀粉水解制糖技术
38	学习内容
38	学习目标
38	背景知识
39	项目一 淀粉酸水解制糖
39	一、淀粉的水解反应概述
40	二、影响淀粉酸水解糖化的因素
43	三、酸法制糖工艺
47	四、酸法糖化液的精制
51	任务一 间歇加压罐酸法糖化
51	任务二 酸法糖液的脱色过滤
51	项目二 淀粉双酶法水解制备葡萄糖
52	一、淀粉的液化原理
52	二、淀粉的液化工艺

- 56 三、影响液化的因素
- 63 任务 淀粉中低压蒸汽喷射一次加酶酶法液化
- 64 项目三 酶法糖化生产
- 64 一、糖化机理
- 64 二、糖化及影响因素
- 67 三、酶法糖液的过滤
- 70 任务一 双酶法淀粉制备葡萄糖
- 71 任务二 酶法糖化液的过滤
- 71 链接与拓展

83 模块三 糖浆生产技术

- 83 学习内容
- 83 学习目标
- 83 背景知识
- 84 项目一 葡萄糖浆的制备
- 84 一、葡萄糖浆的特性
- 85 二、淀粉酶法生产葡萄糖浆工艺
- 85 任务一 淀粉酸法制备中转化葡萄糖浆
- 86 任务二 淀粉酶法制备葡萄糖浆
- 87 项目二 麦芽糖浆的制备
- 87 一、麦芽糖浆的特性
- 88 二、麦芽糖浆的生产
- 89 三、麦芽糖浆生产过程中防止染菌的措施
- 90 任务一 大米酶法制备饴糖浆
- 91 任务二 木薯淀粉酶法制备高麦芽糖浆
- 92 项目三 果葡糖浆的制备
- 92 一、果葡糖浆的特性
- 93 二、葡萄糖与果糖的异构化反应
- 94 三、果葡糖浆的生产工艺
- 96 任务一 F-42 果葡糖浆制备前准备工作
- 98 任务二 F-42 果葡糖浆生产(开机)
- 99 任务三 F-42 果葡糖浆生产(停机)
- 100 任务四 异构柱的预处理及装柱(1m^3 柱)
- 101 项目四 啤酒糖浆的生产
- 101 一、啤酒糖浆的特性
- 102 二、啤酒糖浆的生产工艺流程

- 102 任务一 淀粉液化水解
- 102 任务二 液化淀粉糖化生产啤酒糖浆
- 103 任务三 啤酒糖浆的精制
- 103 链接与拓展
-
- 109 **模块四 固态糖生产技术**
- 109 学习内容
- 109 学习目标
- 109 背景知识
- 110 项目一 冷却结晶法生产含水结晶葡萄糖
- 110 一、葡萄糖在水溶液中的平衡体系
- 111 二、结晶葡萄糖生产工艺
- 113 任务一 结晶葡萄糖液的制备
- 113 任务二 一次冷却结晶含水 α -葡萄糖准备
- 113 任务三 一次冷却结晶含水葡萄糖
- 114 任务四 结晶葡萄糖悬浮液离心分离
- 115 任务五 湿结晶葡萄糖干燥
- 115 任务六 含水 α -葡萄糖投种法起晶和养晶
- 115 任务七 含水 α -葡萄糖留种法起晶和养晶
- 116 项目二 结晶果糖制备
- 116 一、结晶果糖的特性
- 116 二、果糖结晶的生产方法
- 116 三、果糖结晶的影响因素
- 117 任务一 玉米淀粉制备 F-42 果葡糖浆
- 118 任务二 F-42 果葡糖浆制备结晶果糖
- 118 项目三 淀粉制备全糖粉
- 118 一、淀粉制备全糖粉定义和应用
- 118 二、淀粉制备全糖粉工艺流程
- 119 任务一 淀粉酸法制备全糖粉
- 120 任务二 淀粉酶法制备全糖粉
- 121 项目四 麦芽糊精制备
- 121 一、麦芽糊精的特性
- 123 二、麦芽糊精生产原理
- 124 三、麦芽糊精的主要用途
- 124 四、麦芽糊精的生产工艺
- 128 任务一 玉米淀粉生产麦芽糊精液化液的制备

- 129 任务二 麦芽糊精液的干燥
- 130 链接与拓展
- 134 **模块五 糖醇生产技术**
- 134 学习内容
- 134 学习目标
- 134 背景知识
- 136 项目一 山梨醇的制备
- 136 一、山梨醇的特性
- 137 二、山梨醇的生产工艺
- 141 任务 淀粉水解葡萄糖液的氢化
- 142 项目二 麦芽糖醇的制备
- 142 一、麦芽糖醇的特性
- 142 二、麦芽糖醇的工艺流程
- 143 任务一 淀粉酶法制备麦芽糖
- 144 任务二 麦芽糖醇浆的制备
- 144 任务三 结晶麦芽糖醇的制备
- 145 项目三 甘露醇的制备
- 145 一、甘露醇的特性
- 145 二、甘露醇的应用
- 146 三、甘露醇的生产工艺
- 146 任务一 淀粉酶法水解制备葡萄糖浆
- 146 任务二 葡萄糖浆异构制备 F-42 果葡糖浆
- 146 任务三 F-42 果葡糖浆制备固体甘露醇
- 147 链接与拓展
- 151 **模块六 低聚糖生产技术**
- 151 学习内容
- 151 学习目标
- 151 背景知识
- 153 项目一 低聚异麦芽糖的生产
- 153 一、低聚异麦芽糖的特性
- 155 二、低聚异麦芽糖的生理功能
- 156 三、低聚异麦芽糖的应用
- 157 四、低聚异麦芽糖的生产工艺
- 158 任务一 低聚异麦芽糖 IMO-500 的生产

158	任务二 高纯度低聚异麦芽糖 IMO - 900 的制备
159	项目二 低聚果糖的生产
159	一、低聚果糖的物理性质
160	二、低聚果糖的生理特性
160	三、低聚果糖的生产方法
160	任务一 菊芋酶法水解制备粗低聚果糖
161	任务二 蔗糖酶法水解制备粗低聚果糖
161	项目三 低聚木糖的生产
161	一、低聚木糖的物理性质
161	二、低聚木糖的生理性质
163	三、低聚木糖的生产工艺
163	任务一 玉米芯的预处理和蒸煮
163	任务二 木糖醇液的脱色除杂精制
164	链接与拓展
170	参考文献

模块一

淀粉的制备

学习内容

- 生产淀粉的原料和理化性质；
- 淀粉的化学结构；
- 干湿法生产玉米淀粉；
- 木薯淀粉的生产；
- 淀粉生产的物料平衡和清洁生产管理。

学习目标

1. 知识目标

- 掌握淀粉的理化性质、淀粉的分类；
- 了解淀粉的干法生产、马铃薯淀粉的生产技术；
- 熟悉玉米淀粉的湿法生产；
- 了解玉米淀粉的干法生产和木薯淀粉的制备工艺；
- 熟悉玉米淀粉湿法生产的节能措施和清洁生产管理。

2. 能力目标

- 能够进行玉米淀粉湿法生产操作和常见问题的处理。

背景知识

以淀粉为原料,在一系列酶或酸等催化剂作用下生产出的糖品通称为淀粉糖。淀粉糖产品种类多,生产历史已有 2000 多年。

利用酸法水解淀粉制备淀粉糖品的方法始于欧洲。1940 年,美国开始采用酸酶法糖化工艺制备高甜度糖浆,避免了葡萄糖的复合和分解反应,产品甜味更加纯正。1960 年,日本开始用 α -淀粉酶液化和葡萄糖淀粉酶糖化的双酶法生产结晶葡萄糖,该工艺制备的糖品纯度高,甜味纯正,能省去结晶工序而制成全糖,工艺简单,生产成本低,对环境污染小,所以在全球迅速推广,并

逐渐淘汰了旧法的酸法糖化工艺。1966年,日本首先利用异构酶生产果葡糖浆,应用酶法水解淀粉,得到高纯度的淀粉糖化液,用异构酶使部分葡萄糖转化成果糖,因为产品的组分主要是葡萄糖和果糖,所以称作果葡糖浆。果葡糖浆在美国、日本等国家发展非常迅速。近年来,我国果葡糖浆的应用和使用也越来越广,发展前景巨大。

当今世界很多发达国家很重视淀粉糖的发展,美国利用本土2亿多吨玉米快速发展淀粉糖工业,自20世纪90年代以来,各种淀粉糖年产量已经超过了900万吨,远远比甘蔗糖和甜菜糖多。我国玉米种植面积广,产量仅次于美国,具备了发展淀粉糖工业的良好条件:①淀粉原料来源广,生产不受地区限制;②淀粉制糖不受季节限制,可以常年不间断开工;③酶制剂技术的快速发展为淀粉糖工业奠定了良好的发展基础;④高校、研究院等科研机构非常重视淀粉深加工和综合利用等研发工作;⑤玉米在我国不是主粮。我国淀粉糖工业虽然起步较晚,但在国家和各级政府的政策指引下,连续多年都是以两位数增幅增长,具体增长如图1-1所示。

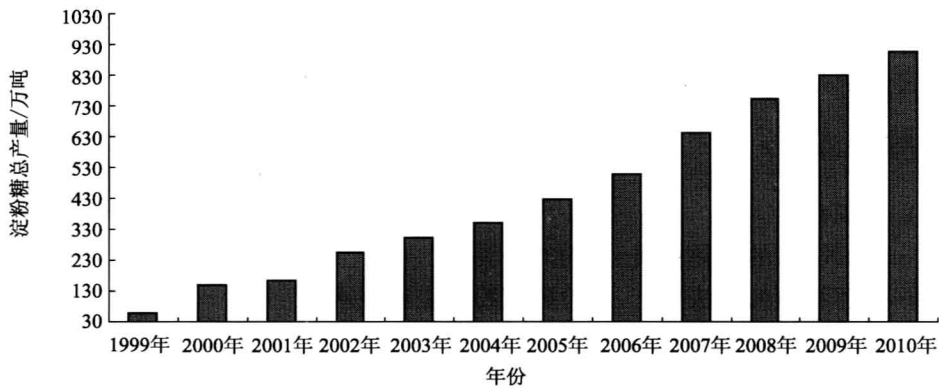


图1-1 近年来我国的淀粉糖产量

从图1-1可以看出,淀粉糖产业发展迅速。该行业的健康发展为广大消费者提供了更加丰富的糖食品,同时也可以有效地平抑糖价的波动。

世界上生产淀粉的原料以玉米为主,以玉米为原料生产的淀粉占80%以上。我国淀粉原料的选择必须考虑几个因素:淀粉含量高、产量大、副产品利用率高;原料加工、储藏、销售容易;价格便宜;不与人争口粮等。

项目一

淀粉的生产

一、淀粉的基本知识

(一) 淀粉的概述

淀粉是一种多糖,是葡萄糖的高聚体,分子式($C_6H_{10}O_5$),严格讲应该是($C_6H_{10}O_5$)_n,*n*是不定数,被称为聚合度(DP),一般为800~3000, $C_6H_{10}O_5$ 为脱水葡萄糖基(AGU)。淀粉糖水解到二糖阶段为麦芽糖,分子式 $C_{12}H_{22}O_{11}$,完全水解后得到葡萄糖,分子式 $C_6H_{12}O_6$ 。

淀粉是植物储存能量的一种方式,除食用外,工业上用于制糊精、麦芽糖、葡萄糖、酒精等,也用于调制印花浆、纺织品的上浆、纸张的上胶、药物片剂的压制等,应用非常广泛。淀粉主要存在于玉米、薯类、大米等植物中。

(二) 淀粉的化学结构

1. 直链淀粉和支链淀粉的结构

从分子结构来说,淀粉一般可以分为直链淀粉(糖淀粉)和支链淀粉(胶淀粉)。普通玉米淀粉中一般是直链淀粉约占26%,支链淀粉约占74%;木薯淀粉一般是直链淀粉约占17%,支链淀粉约占83%。

淀粉中直链淀粉和支链淀粉的含量因品种不同而异,表1-1所示为常见的淀粉中直链淀粉的含量。

表 1-1 不同品种淀粉中直链淀粉的含量 单位:%

名称	直链淀粉含量	名称	直链淀粉含量
大米	17	糯米	0
普通玉米	26	燕麦	24
甜玉米	70	高粱	27
蜡质玉米	0	糯高粱	0
小麦	24	木薯	17

一般来讲,淀粉中除了直链淀粉和支链淀粉外,尚有5%~10%的其他结合形式的物质。

直链淀粉分子的葡萄糖单元是以 $\alpha-1,4$ -糖苷键连接,呈椅式构象,易于转变成螺旋结构。直链淀粉的葡萄糖单元(也称为聚合度)为100~6000,一般为几

百。聚合度乘以葡萄糖单元 $C_6H_{10}O_5$ 的相对分子质量 162 即可以得到直链淀粉的相对分子质量。直链淀粉的分子结构如图 1-2 所示。

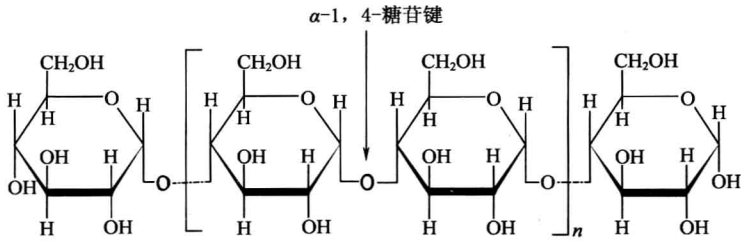


图 1-2 直链淀粉分子结构图

在水溶液中,直链淀粉能呈螺旋状态存在,一般是每 6~8 个葡萄糖单位组成一圈,如图 1-3 所示。

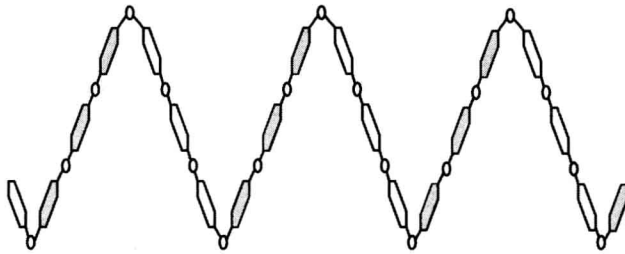


图 1-3 直链淀粉的螺旋结构示意图

支链淀粉的直链由葡萄糖分子以 α -1,4-糖苷键相连接,而支链与直链葡萄糖分子以 α -1,6-糖苷键相连接。支链淀粉分子是近似球形的庞大分子,相对分子质量比直链淀粉大得多,一般在 200000 以上,聚合度一般在 1000~3000000,分子中有 50 个以上的支链,每一支链由 24~30 个葡萄糖残基组成,因此支链淀粉有 4~5 个 α -1,6-糖苷键。支链淀粉是天然的高分子化合物中最大的一种,其分子结构及分子模型示意图如图 1-4 和图 1-5 所示。

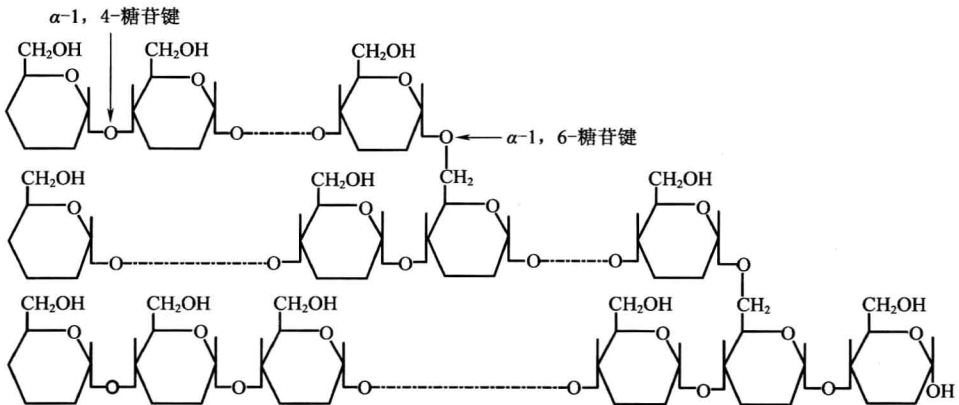


图 1-4 支链淀粉分子结构图

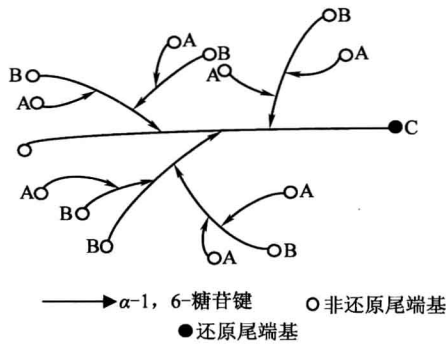


图 1-5 支链淀粉分子模型图

2. 直链淀粉与支链淀粉的比较

直链淀粉和支链淀粉的性质有较大的差别,一般而言,两种淀粉的主要差别见表 1-2。

表 1-2 直链淀粉和支链淀粉的主要差别比较

名称	直链淀粉	支链淀粉
分子形状	直链分子	交叉分子
聚合度	100 ~ 6000	1000 ~ 3000000
尾端基	分子一端为非还原尾端基,另一端为还原尾端基	分子具有一个还原尾端基和许多个非还原尾端基
碘-淀粉反应	深蓝色	红紫色
吸附碘量/%	19 ~ 20	< 1
凝沉性质	溶液不稳定,凝沉性强	易溶于水,溶液稳定,凝沉性很弱
络合结构	能与极性有机物和碘生成络合结构	不能
X 光衍射分析	高度结晶结构	无定形结构
乙酰衍生物	能够制成强度很高的纤维和薄膜	制成的薄膜很脆弱

(三) 淀粉的分类

淀粉的分类如图 1-6 所示。

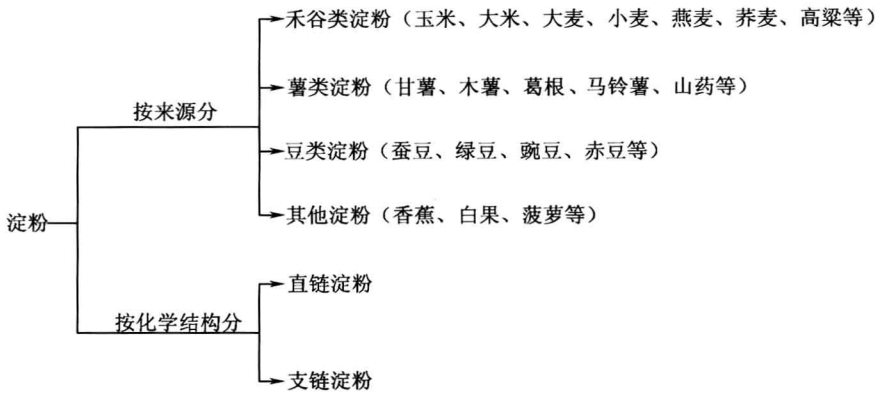


图 1-6 淀粉的分类

(四) 淀粉的水分

淀粉表面上感觉很干燥,但实际上含水量相当高,一般的淀粉含水量都达到

10% ~ 20%。虽然含水量如此高,但却感到淀粉非常干燥并不潮湿,这是因为淀粉分子中的羟基与水分子相互生成氢键的缘故。不同品种淀粉的含水量不同,是因为淀粉分子羟基自行结合以及与水分子结合的程度不同的缘故。比如,玉米淀粉分子的羟基自行结合的程度较马铃薯的要大,所以剩余能量通过氢键与水分子相结合的游离羟基数目相对地减少,则淀粉的水分含量较低。

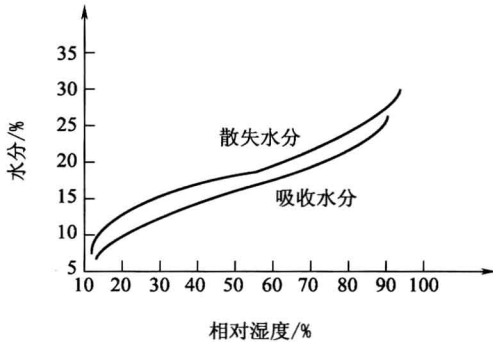


图 1-7 玉米淀粉水分平衡曲线

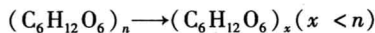
在不同的相对湿度下,淀粉有较强的吸水或散失水分的能力。图 1-7 所示为淀粉在不同相对湿度下的平衡水分的变化曲线。

(五) 淀粉的性质

1. 淀粉的糊化

(1) 淀粉糊化的定义 淀粉粒不溶于冷水,若在冷水中,淀粉粒因其相对密度大而沉淀。但若把淀粉的悬浮液加热,到达一定温度时(一般在 55℃ 以上),淀粉粒突然膨胀,因膨胀后的体积达到原来体积的数百倍之大,所以悬浮液就变成黏稠的胶体溶液,这一现象称为“淀粉的糊化”,也有人称之为 α 化。淀粉糊化用分子

反应式表达如下:



(2) 淀粉糊化温度 淀粉粒突然膨胀的温度称为“糊化温度”。又称糊化开始温度,因各淀粉粒的大小不一样,待所有淀粉粒全都膨胀又有另一个糊化过程温度,所以糊化温度有一个范围。不同品种的淀粉,糊化温度有所不同。常见的各种淀粉的糊化温度如表 1-3 所示。

淀粉原料名称	糊化开始温度	糊化终点温度
普通玉米	62.0	72.0
蜡质玉米	63.0	72.0
马铃薯	50.0	68.0
木薯	52.0	64.0
小麦	58.0	64.0
大米	68.0	78.0
高粱	68.0	78.0
豌豆	57.0	70.0

(3) 影响淀粉糊化温度的因素

- ① 淀粉颗粒:颗粒越小,结构紧密,糊化温度提高。
- ② 直链含量:直链含量多,分子结合力强,糊化温度提高。
- ③ 电解质:电解质可破坏分子间氢键,糊化温度降低。
- ④ 非质子有机溶剂:如二甲基亚砷、脲等,促进糊化,糊化温度降低。
- ⑤ 物理因素:强烈研磨、挤压、蒸煮、射线等,促进糊化,糊化温度降低。
- ⑥ 化学因素:酯化、醚化,糊化温度提高。
- ⑦ 糖、盐:破坏水化膜,降低水分活度,糊化温度提高。
- ⑧ 脂类:淀粉与硬脂酸合成的复合物,糊化温度提高。
- ⑨ 亲水胶体:明胶、干酪素、CMC 等与淀粉争水,糊化温度提高。
- ⑩ 酸解和交联:增加分子间形成氢键的能力,糊化温度提高。
- ⑪ 生长环境:在高温下,糊化温度提高。

(4) 糊化的本质 淀粉糊化的本质要从淀粉粒的晶体结构去理解。借助仪器对淀粉糊化过程的观察,可将糊化分为三个阶段。

第一阶段:淀粉粒在水中,当水温未达到糊化温度时,水分子由淀粉粒的孔隙进入淀粉粒内,与许多无定形部分的极性基相结合,或被吸附。这一阶段,淀粉粒内层虽有膨胀,但悬浮液黏度变化不大,淀粉粒外形未变,在偏光显微镜下观察,仍可看到偏光十字,这说明淀粉粒内部晶体结构没有变化,此时取出淀粉粒干燥脱水,仍可恢复成原来的淀粉粒。所以这一阶段的变化是可逆的。

第二阶段:水温达到开始糊化温度时,淀粉粒突然膨胀,大量吸水,淀粉粒的悬浮液迅速变成为黏稠的胶体溶液。这时若用偏光显微镜进行观察,则偏光十字全部消失。若将溶液迅速冷却,也不可能恢复成原来的淀粉粒了,这一变化过程是不可逆的。偏光十字的消失,就意味着晶体崩解,微晶束结构破坏。所以淀粉粒糊化的本质,是水分子进入微晶束结构,拆散淀粉分子间的缔合状态,淀粉分子或其集聚体经高度水化形成胶体体系。由于糊化,晶体结构解体,变成混乱无章的排列,所以糊化后的淀粉无法恢复成原有的晶体状态。

第三阶段:淀粉糊化后,如果继续加热,使温度进一步升高,则会使膨胀的淀粉粒继续分离支解,淀粉粒成为无定形的袋状,溶液的黏度继续增高。

总体而言,糊化的本质即是指水分子进入淀粉粒中,结晶相和无定形相的淀粉分子之间的氢键断裂,破坏了淀粉分子间的缔合状态,分散在水中成为亲水性的胶体溶液。

(5) 淀粉糊化后淀粉糊黏度的变化 与淀粉使用质量有很大关系的是糊化后的淀粉性质。为了表示淀粉糊的性质及其在不同温度下黏度的变化,一般采用淀粉糊化仪检测出的黏度曲线来表示。图 1-8 所示为淀粉黏度曲线。

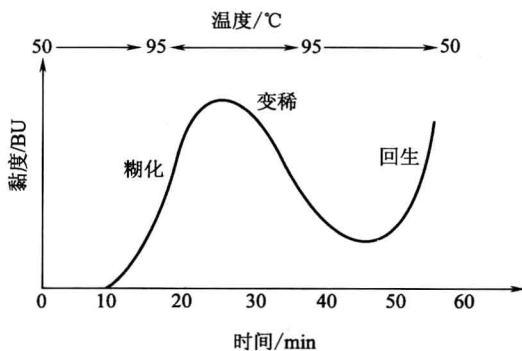


图 1-8 淀粉黏度曲线图

如图 1-8 所示,在 95℃ 下保持 1h,淀粉即被认为已熟化(有时可能更短至 30min,视原料不同而异)。1h 内,淀粉混合物的黏度显著下降,黏度的下降是因为淀粉混合物在受到搅拌的情况下,可溶淀粉分子自身定向排列而引起的,这一现象称为切变稀释(sheared thinning),是淀粉糊的一个重要特性。

在 95℃ 条件下稳定加热 1h 后,控制冷却速度(1.5℃/min),使黏度仪从 95℃ 冷却到 50℃,此时,黏度迅速上升,此现象称为回生(setback)。不同淀粉的回生程度是不同的。回生现象是因混合物系统中能量降低,产生更多的氢键,从而使黏度增加。