

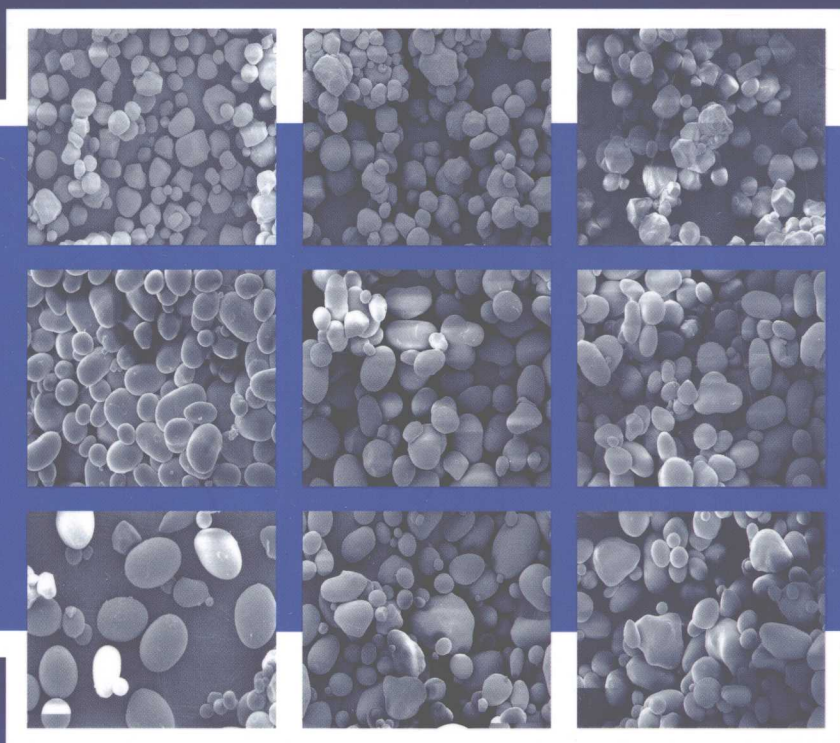
赵凯 编著

# 淀粉

DIANFEN

FEI HUAXUE GAIXING JISHU

# 非化学改性技术



化学工业出版社

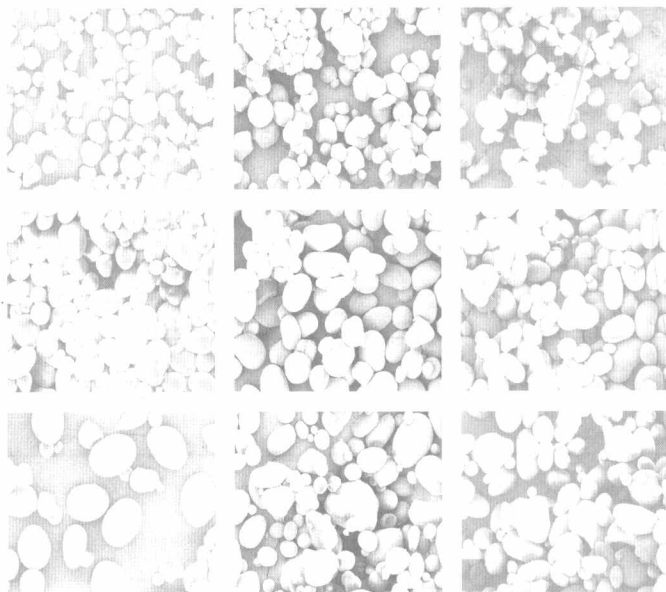
赵凯 编著

# 淀粉

DIANFEN

FEI HUAXUE GAIXING JISHU

# 非化学改性技术



化学工业出版社

·北京·

变性淀粉主要以化学改性为主,一般需加入化学试剂,通过交联、稳定化、转化、亲脂取代等途径进行,但化学改性淀粉应用于食品工业中时要考虑和评价其安全性问题。淀粉非化学改性(物理改性和酶改性)后不含化学试剂的残留,大大改善产品的理化性质,提高产品应用范围和附加值,具有广阔的发展前景和应用空间。

本书在介绍淀粉化学基础、物理改性技术、酶改性技术后,重点介绍非化学改性淀粉的生产、性质及应用,包括抗性淀粉、缓慢消化淀粉、糊精、预糊化淀粉、微波改性淀粉、超高压改性淀粉、超声波改性淀粉、微细化淀粉等。书中列举了一些非化学改性淀粉的制备技术与应用实例,介绍了相关的检测和评价方法,较全面地反映了国内外非化学改性淀粉的生产、开发和应用现状,适合变性淀粉生产企业的生产和应用人员参考,也可供从事改性淀粉研究的相关人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

淀粉非化学改性技术/赵凯编著. —北京:化学工业出版社, 2008.6

ISBN 978-7-122-03280-5

I. 淀… II. 赵… III. 淀粉-改性 IV. TS234

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第105113号

---

责任编辑:温建斌 孟 嘉

文字编辑:孙婷婷

责任校对:徐贞珍

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张16¼ 字数330千字 2009年1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:45.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

淀粉作为一种重要的工业原料，广泛地应用于食品、化工、纺织及建材等行业中。本书主要侧重淀粉在食品工业中的应用，兼顾其他行业。纵观淀粉加工及应用的历史，最初的应用主要是以原淀粉为主。但随着食品加工技术的进步及淀粉科学研究的深入，发现原淀粉在应用中具有很大的局限性。如现代食品加工操作中，通常要经历高温加热、剧烈搅拌或低温冷冻等工艺环节，这些操作将导致淀粉黏度降低和胶体性能破坏，原淀粉的性质不能满足上述加工条件的要求。于是工业上有必要对淀粉进行改性处理，改善其抗热、抗酸和抗剪切力的能力，提高其稳定性。同时，淀粉作为食品工业中的重要基础原料，除了提高食品加工性能外，还有一个重要的作用是提供营养，但原淀粉在体内消化速率较快并易导致餐后血糖迅速升高，属于高血糖生成指数（glycemic index, GI）食品，不适合一些特定人群长期食用，而其对食品口感和质构的调整效果往往是其他食品原料所不能替代的，因此，需要通过对其进行改性处理，以改善消化吸收速度，增强营养价值，如近几年兴起的抗性淀粉、缓慢消化淀粉以及难消化糊精等都属于此类改性产品。国外改性淀粉的品种已达数千种，应用遍及各行各业，而我国改性淀粉的研究起步较晚，但发展迅速，目前已形成一定规模。

对原淀粉进行改性，主要通过化学改性、物理改性、酶改性及复合改性进行。目前，国内外的改性淀粉产品主要以化学改性为主，一般通过交联、稳定化、转化、亲脂取代等途径进行。但在淀粉化学改性的过程中，要改变淀粉的化学结构或引入新的基团，需加入化学试剂，因此，将化学改性淀粉应用于食品工业中时，要考虑和评价其安全性问题。而淀粉经物理改性和酶改性后不含化学试剂的残留，并且可大大改善产品的理化性质，提高产品应用范围和附加值。目前，国外淀粉的非化学改性技术已成为研究热点之一，而国内的相关研究则刚刚起步，具有广阔的发展前景和应用空间。

本书侧重于非化学改性淀粉的生产、性质及应用，以便使淀粉行业对非化学改性淀粉有一个较全面的了解。书中列举了一些非化学改性淀粉的制备与应用的实例，介绍了相关的检测和评价方法，较全面地反映了国内外非化学改性淀粉的生产、开发和应用的现状，适合改性淀粉生产企业的生产和应用人员参考，也可供从事改性淀粉研究的相关人员参考。

本书的出版，得到了黑龙江省十一五重大攻关项目“玉米综合加工关键技术研究（GA06B401）”及国家自然科学基金项目“抗性淀粉抑制大鼠高血脂形成及影响食品流变学机理研究（30271117）”的支持，在此表示感谢。

在本书的编写过程中，一直得到张守文教授、方桂珍教授的关心和鼓励。缪铭

参与了本书第五章第三节部分初稿的编写。另外，编写过程中还得到张甜、梁北珂、谷广烨、孟庆虹、杨春华、刘宁、陈凤莲、刘涛、丁文明、汪志强、张德元等人的帮助。在此一并表示感谢。

由于本书涉及面广，加之编者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

赵凯

2008年8月于哈尔滨

## 食品科学与工程可供图书书目

书 名	作者	出版 时间	开本	装订	单价(元)
淀粉非化学改性技术	赵凯	2009.1	小 16	平	45.00
熏腊肉制品配方与工艺	岳晓禹 安晓兵	2009.2	32	平	22.00(估)
泡菜配方与工艺	李瑜	2008	32	平	25.00
烧烤肉制品配方与工艺	岳晓禹 安晓兵	2008	32	平	19.00
挂面生产配方与工艺	沈群	2008	32	平	19.00
糖果巧克力配方与工艺	刘玉德	2008	32	平	25.00
复合果蔬汁配方与工艺	李瑜	2007	32	平	18.00
新型果脯蜜饯配方与工艺	李瑜	2007	32	平	19.00
食品焙烤原理与技术	肖志刚	2008	小 16	平	27.00
啤酒生产问答	田洪涛	2008	32	平	27.00
现代制糖化学与工艺学	霍汉镇	2008	16	平	59.00
食品安全丛书 ——食品安全与质量控制	朱明	2008	小 16	平	35.00
食品安全丛书 ——食品安全与生物污染防治	谭龙飞 黄壮霞	2007	小 16	平	36.00
食品安全丛书 ——食品安全与国际贸易	邵继勇	2006	小 16	平	45.00
乳酸细菌——基础、技术及应用	张 刚	2007	16	平	85.00
食品工程导论	葛克山 崔建云	2007	16	平	45.00
食品安全与卫生基础 (原著第四版)	[美]戴 维·麦克斯 万等,吴永 宁等译	2006	小 16	平	38.00
食品加工设备选用手册	刘玉德	2006	16	平	40.00
现代食品工业技术丛书 ——食品工业高新技术设备和工艺	邓 立 朱 明	2006	小 16	平	30.00
现代食品工业技术丛书 ——食品仪器分析技术	戴 军	2006	小 16	平	45.00

续表

书 名	作者	出版 时间	开本	装订	单价(元)
现代食品工业技术丛书 ——HACCP 内部审核的策划与实施	钱 和	2006	小 16	平	25.00
现代食品工业技术丛书 ——食品工业分离技术	朱 明	2005	小 16	平	29.00
现代食品工业技术丛书 ——食品杀菌和保鲜技术	杨寿清	2005	小 16	平	39.00
现代食品工业技术丛书 ——食品科学与工程中的计算机应用	赵思明	2005	小 16	平	35.00
现代食品工业技术丛书 ——食品工业生物技术	邬敏辰	2005	小 16	平	36.00
现代食品工业技术丛书 ——食品加工技术	张燕萍	2006	小 16	平	39.00
基因工程食品 ——生产方法与检测技术	刘德虎	2005	16	平	38.00
食品安全检测与现代生物技术	陈福生等	2004	16	平	40.00
食品工业工艺用水系统	钱应璞	2004	小·16	平	38.00
清香型白酒生产技术	康明官	2005	32	平	28.00
食品调味技术	曹雁平	2005 重印	16	平	50.00
食品调色技术	曹雁平 刘玉德	2004 重印	16	平	30.00
酒精高效清洁生产新工艺	马赞华	2004 重印	32	平	24.00
世界干酪文化鉴赏	董暮萤 任发政	2004	18	平	29.00
酒文化问答	康明官	2004 重印	32	平	22.00
配制酒生产技术指南	康明官	2004 重印	32	平	25.00
科学饮酒知识问答	康明官	2001 重印	32	平	20.00

邮购电话/传真：010-64518888 E-mail：a64518888@yahoo.com.cn

如果您需要了解更多图书信息，欢迎登录我社网站：www.cip.com.cn

如果您需要咨询相关信息，欢迎与本书编辑联系：cipwjb@126.com, jia\_meng@sina.com

# 目 录

第一章 淀粉化学基础 .....	1
第一节 淀粉的基本结构与化学组成 .....	1
一、淀粉的基本结构 .....	1
二、淀粉的化学组成 .....	1
第二节 直链淀粉 .....	2
一、直链淀粉的结构 .....	3
二、直链淀粉的含量 .....	5
三、直链淀粉的功能性 .....	6
四、直链淀粉的应用 .....	6
第三节 支链淀粉 .....	7
一、支链淀粉结构及分析 .....	7
二、支链淀粉含量 .....	12
三、支链淀粉的功能性 .....	12
四、直链淀粉和支链淀粉的性质差异 .....	13
第四节 中间级分 .....	14
第五节 淀粉复合物 .....	15
一、直链淀粉与配合体形成复合物 .....	16
二、支链淀粉-脂质复合物 .....	17
三、淀粉-蛋白质复合物 .....	17
第六节 淀粉组分的分离与测定 .....	18
一、直链淀粉和支链淀粉在淀粉颗粒内的分布 .....	18
二、直链淀粉和支链淀粉的分离方法 .....	19
三、直链淀粉和支链淀粉含量测定 .....	20
第七节 淀粉分子的大小 .....	21
一、淀粉分子的平均聚合度 .....	21
二、淀粉分子的链长分布 .....	21
三、淀粉分子的分子量 .....	22
第八节 淀粉的颗粒特性 .....	23
一、淀粉颗粒的形状 .....	23
二、淀粉颗粒的大小 .....	24
三、淀粉颗粒的轮纹结构 .....	25
四、淀粉颗粒的光学性质 .....	26
第九节 淀粉的结晶特性 .....	28
一、淀粉颗粒分子结构 .....	28



二、淀粉颗粒的结晶结构 .....	28
第十节 淀粉的热焓特性 .....	33
一、热分析技术的方法分类 .....	33
二、热分析技术在淀粉研究中的应用 .....	34
三、在进行淀粉的热分析时应注意的问题 .....	34
第十一节 淀粉的物化性质 .....	34
一、淀粉的糊化 .....	34
二、淀粉的老化 .....	41
三、淀粉糊的性质 .....	45
参考文献 .....	47
<b>第二章 淀粉改性技术概述</b> .....	49
第一节 淀粉改性的概念与分类 .....	49
一、淀粉改性的必要性 .....	49
二、淀粉改性的目的 .....	50
三、淀粉改性的概念与分类 .....	51
第二节 淀粉改性程度的评价方法 .....	54
一、改性淀粉通用的评价方法 .....	54
二、化学改性程度的评价方法 .....	58
三、物理改性程度的评价方法 .....	61
四、酶改性程度的评价方法 .....	64
参考文献 .....	68
<b>第三章 淀粉物理改性技术</b> .....	69
第一节 热处理技术在淀粉物理改性上的应用 .....	69
一、淀粉热处理技术的分类 .....	69
二、热处理对淀粉物性的影响 .....	69
三、热处理技术在淀粉改性方面的应用 .....	77
第二节 物理场处理技术在淀粉物理改性上的应用 .....	79
一、超声波在淀粉改性上的应用 .....	79
二、微波在淀粉改性上的应用 .....	79
三、辐射在淀粉改性上的应用 .....	80
第三节 其他技术在淀粉物理改性上的应用 .....	81
一、超高压处理技术在淀粉物理改性上的应用 .....	81
二、挤压技术在淀粉物理改性上的应用 .....	81
三、超微粉碎技术在淀粉物理改性上的应用 .....	82
参考文献 .....	82
<b>第四章 淀粉酶改性技术</b> .....	84
第一节 淀粉改性常用酶及其性质 .....	84
一、 $\alpha$ -淀粉酶 .....	84

二、 $\beta$ -淀粉酶 .....	86
三、葡萄糖淀粉酶 .....	87
四、脱支酶 .....	88
五、环糊精葡萄糖基转移酶 .....	90
六、其他淀粉酶类 .....	91
第二节 单酶处理对淀粉改性 .....	91
一、 $\alpha$ -淀粉酶在淀粉改性上的应用 .....	91
二、脱支酶在淀粉改性上的应用 .....	92
三、淀粉葡萄糖酶在淀粉改性上的应用 .....	93
四、环糊精葡萄糖基转移酶在淀粉改性上的应用 .....	94
第三节 多酶协同处理对淀粉改性 .....	94
一、多酶协同处理的优点 .....	94
二、多酶协同处理的应用 .....	94
参考文献 .....	97
<b>第五章 非化学改性淀粉的制备及应用技术 .....</b>	<b>98</b>
第一节 抗性淀粉 .....	98
一、抗性淀粉概述 .....	98
二、抗性淀粉的形成机制 .....	100
三、影响食品中抗性淀粉含量的因素 .....	102
四、抗性淀粉的功能性 .....	105
五、抗性淀粉的研究手段 .....	105
六、抗性淀粉的测定方法 .....	108
七、抗性淀粉制备技术 .....	113
八、抗性淀粉的性质及在食品工业中的应用 .....	122
第二节 缓慢消化淀粉 .....	129
一、缓慢消化淀粉概述 .....	129
二、缓慢消化淀粉的生理功能 .....	130
三、影响淀粉消化性的因素 .....	131
四、缓慢消化淀粉的体外测定方法 .....	134
五、缓慢消化淀粉的制备技术 .....	135
六、缓慢消化淀粉性能评价方法 .....	137
七、缓慢消化淀粉的应用 .....	138
第三节 糊精 .....	138
一、热解糊精 .....	138
二、麦芽糊精 .....	142
三、难消化糊精 .....	147
四、环状糊精 .....	150
五、大环糊精 .....	157

六、改性环糊精 .....	162
七、其他糊精产品 .....	169
第四节 预糊化淀粉 .....	170
一、基本原理 .....	170
二、生产工艺 .....	171
三、预糊化淀粉的特性 .....	174
四、预糊化淀粉的应用 .....	174
第五节 微波改性淀粉 .....	176
一、微波概述 .....	177
二、微波加热的原理与特点 .....	177
三、微波加热设备 .....	179
四、淀粉微波改性过程中的几个重要参数 .....	181
五、微波对淀粉改性的原理 .....	181
六、微波改性对淀粉性质的影响 .....	182
第六节 超高压改性淀粉 .....	188
一、超高压技术概述 .....	188
二、超高压技术对淀粉改性的原理 .....	189
三、超高压技术装备 .....	189
四、超高压处理对淀粉性质的影响 .....	190
五、超高压处理淀粉的应用展望 .....	197
第七节 超声波改性淀粉 .....	198
一、超声波概述 .....	198
二、超声波对淀粉改性的原理 .....	198
三、超声化学反应器 .....	199
四、超声波处理对淀粉性质的影响 .....	201
五、超声波改性淀粉的应用 .....	205
第八节 微细化淀粉 .....	206
一、微细化淀粉的制备 .....	206
二、淀粉微细化处理设备 .....	208
三、微细化程度的评价 .....	208
四、微细化处理对淀粉性质的影响 .....	209
五、微细化淀粉的应用 .....	213
第九节 颗粒状冷水可溶淀粉 .....	214
一、颗粒状冷水可溶淀粉的制备技术 .....	214
二、颗粒状冷水可溶淀粉的特性 .....	216
三、颗粒状冷水可溶淀粉的应用 .....	221
参考文献 .....	223
第六章 现代分析技术在淀粉研究中的应用 .....	228

第一节 微观结构分析技术在淀粉研究中的应用 .....	228
一、扫描电子显微镜在淀粉研究中的应用 .....	228
二、透射电子显微镜在淀粉研究中的应用 .....	232
三、原子力显微镜在淀粉研究中的应用 .....	233
第二节 光谱分析技术在淀粉研究中的应用 .....	237
一、红外光谱在淀粉研究中的应用 .....	237
二、紫外-可见光谱在淀粉研究中的应用 .....	238
第三节 色谱分析技术在淀粉研究中的应用 .....	239
一、高效液相色谱在淀粉研究中的应用 .....	239
二、凝胶渗透色谱在淀粉研究中的应用 .....	239
三、离子交换色谱在淀粉研究中的应用 .....	239
第四节 核磁共振技术在淀粉研究中的应用 .....	240
一、淀粉老化的研究 .....	240
二、淀粉体系中水分的含量和动力学特性研究 .....	240
三、淀粉糖分析研究 .....	240
四、取代反应方式研究 .....	240
第五节 X射线衍射技术在淀粉研究中的应用 .....	241
一、X射线衍射图谱的分析方法 .....	241
二、结晶度的计算方法 .....	242
第六节 热分析技术在淀粉研究中的应用 .....	244
一、差示扫描量热分析 .....	244
二、热重/差热分析 .....	247
参考文献 .....	248

# 第一章 淀粉化学基础

## 第一节 淀粉的基本结构与化学组成

### 一、淀粉的基本结构

淀粉是高分子碳水化合物，呈白色粉末状，在显微镜下观察，是一些形状和大小都不同的透明小颗粒，其基本构成单位为 D-葡萄糖，葡萄糖脱去水分子后经由糖苷键连结在一起所形成的共价聚合物就是淀粉分子。

淀粉属于多聚葡萄糖，游离葡萄糖的分子式以  $C_6H_{12}O_6$  表示，脱水后葡萄糖单位 (AGU) 则为  $C_6H_{10}O_5$ ，因此，淀粉分子式可写成  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ， $n$  为不定数。严格地讲，淀粉的分子式应该是  $(C_6H_{12}O_6)(C_6H_{10}O_5)_n$ ，因为末端的一个葡萄糖单位没有脱去水，但因为  $n$  的数值很大，故简便起见，用  $(C_6H_{10}O_5)_n$  表示淀粉分子，组成淀粉分子的结构体 (脱水葡萄糖单位) 的数量称为聚合度，以 DP 表示。

组成淀粉的主要有两种类型的分子，呈直链和分支两种结构，分别称之为直链淀粉和支链淀粉。不同来源和种类的淀粉中，两种分子的含量和比例不同，这也是不同淀粉之间性质存在差异的原因之一。近年来的研究发现，在淀粉中还有一部分介于二者之间的中间级分，但含量较少，不同淀粉中中间级分的含量和结构也存在一定差异。

基本的葡萄糖结构单元为环形分子，内有 6 个原子。通常为了简便，把它画成平面结构，但是事实上这个环是可动的且在折叠过程中能变成多种构象。其中椅式是最为常见的一种。其具有两种立体异构： $\alpha$ -D-葡萄糖和  $\beta$ -D-葡萄糖。

### 二、淀粉的化学组成

在以谷类或薯类等作物为原料生产淀粉的时候，在现有的生产工艺和设备条件下，还不能将非淀粉物质完全除去，因此，在商品淀粉中还存在少量的非淀粉成分。表 1-1 为工业生产不同品种淀粉的一般化学组成。

一般商品淀粉水分含量在 10%~20%，淀粉颗粒的水分含量主要受两方面因素影响，其一为淀粉所处环境中的相对湿度，其二为不同淀粉分子中羟基与水分子的结合程度。淀粉颗粒的水分是与周围空气中水分呈平衡状态存在的，如果环境中空气潮湿 (相对湿度大)，则淀粉颗粒会吸收其中的水分，从而导致水分含量增大；反之，如果空气干燥 (相对湿度小)，则淀粉颗粒将会散失部分水分。在通常情况

表 1-1 工业生产不同品种淀粉的一般化学组成

淀粉来源	水分/%	组分(干基重)/%			
		脂肪	蛋白质	灰分	磷
玉米	13	0.60	0.35	0.10	0.015
蜡质玉米	13	0.20	0.25	0.07	0.007
小麦	14	0.80	0.40	0.15	0.060
马铃薯	19	0.05	0.06	0.40	0.080
木薯	13	0.10	0.10	0.20	0.010

下,水分的吸收和散失是可逆的,不会影响淀粉的分子结构。在空气相对湿度相同的情况下,不同淀粉的水分含量不同,主要是因为不同淀粉分子中的羟基与水的结合程度不同,结合程度高的,其水分含量也较高(如马铃薯淀粉),而结合程度低的,其颗粒的水分含量也较低(如玉米淀粉)。工业上应用的商品淀粉,呈干燥的粉末状,具有较好的流动性,无潮湿感,就是因为其中的水分是经氢键与淀粉颗粒结合的,而并非游离存在。

淀粉颗粒含有微量的非碳水化合物,如蛋白质、脂肪酸、无机盐等,其中除脂肪酸被直链淀粉分子吸附,除磷酸与直链淀粉分子呈酯化结合以外,其他物质都是混杂在一起。谷物淀粉(玉米、小麦、高粱、大米)中的脂类化合物含量较高(0.8%~0.9%),马铃薯淀粉和木薯淀粉的脂类化合物含量则低得多( $\leq 0.1\%$ )。淀粉中含有的脂类化合物对淀粉物理性质有影响,脂类化合物与直链淀粉分子结合成络合结构,对淀粉颗粒的糊化、膨胀和溶解有较强的抑制作用。不饱和脂类化合物的氧化产物会产生令人讨厌的气味。薯类淀粉一般只含有少量的脂类化合物,因而受到上述不利影响较小。

淀粉的灰分组成主要为钠、钾、镁和钙无机化合物。天然马铃薯淀粉含有磷酸基,因此其灰分含量相对较高,而其他品种淀粉的灰分含量就相对较低。

淀粉分子中还含有一定量的磷,淀粉中的磷主要以磷酸酯的形式存在,马铃薯淀粉含磷量最高,它以共价键结合存在于淀粉中,与构成淀粉的葡萄糖的C<sub>6</sub>结合成酯结构存在,约200~400个葡萄糖单位就有一个磷酸酯基,相应的磷酸基取代度约0.003。马铃薯淀粉上磷酸酯的平衡离子主要是钾、钠、钙、镁离子,其分布取决于马铃薯淀粉生产过程中所使用的水的成分。这些离子对马铃薯淀粉的糊化过程起重要作用。带负电荷的磷酸基赋予马铃薯淀粉一些聚电解质的性质,磷酸酯基间电荷存在的排斥作用,使淀粉颗粒易于糊化、膨胀,所形成淀粉糊的黏度高、透明度好。

## 第二节 直链淀粉

原淀粉(native starch)由直链淀粉(amylose, AM)、支链淀粉(amylopectin, AP)和中间级分(intermediate, IM)组成。这三种淀粉分子的结构都属于 $\alpha$ -

D-葡聚糖。直链淀粉是脱水葡萄糖单位间经  $\alpha$ -1,4 糖苷键连接，支链淀粉的交叉位置是  $\alpha$ -1,6 糖苷键连接，其余为  $\alpha$ -1,4 糖苷键连接。一般直链淀粉含量在 20%~25%，支链淀粉的含量在 75%~80%。同一品种间直链淀粉和支链淀粉的组成和比例基本相同。三种组分中直链淀粉的相对分子质量最小，一般在几万到几百万之间，支链淀粉的相对分子质量最大，约在几百万到几亿之间，中间级分大小介于二者之间。

### 一、直链淀粉的结构

直链淀粉分子基本结构为  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-葡聚糖，由 700~5000 个葡萄糖单元所组成，直链淀粉的分子结构如图 1-1 所示。

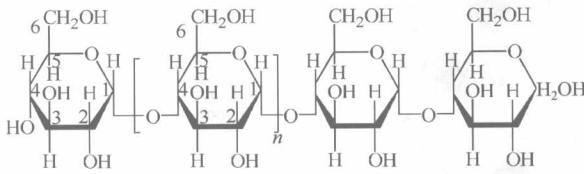


图 1-1 直链淀粉的分子结构 ( $n$  约为 1000)

早期的研究认为，直链淀粉仅有一个还原端与非还原端，故推测其为直链，但 Hizukuri 等 (1981) 证实直链淀粉依然会有部分以  $\alpha$ -1,6 糖苷键的分支点存在，但侧链数量很少，而且较长，对直链淀粉性质无影响。Cura 等 (1995) 也通过 GC-MS 检测经甲基化后的直链淀粉，由 2,3-二甲基葡萄糖百分比得知直链淀粉确有分支，分支的比例约占 2.2% 左右。Hizukuri (1996) 以稻米为例，提出直链淀粉分支结构的模型 (图 1-2)。

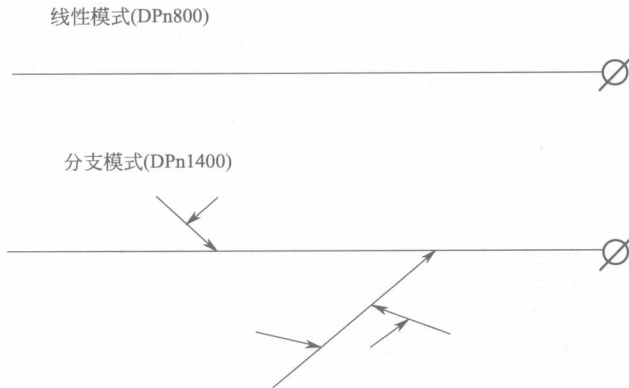


图 1-2 稻米直链淀粉分支结构模型

直链型之数均聚合度约 DP 800，具有分支的则为 1400，经脱支处理后除长侧链 1 (LS1) 及长侧链 2 (LS2) 两长链部分外，其侧链之聚合度集中于 DP 21。

实际上，直链淀粉并不是线性分子，并非一根直的长链，而是由分子内的氢键使链卷曲成螺旋状，形成空心螺旋结构。根据淀粉的 X 射线衍射图谱，提出了淀粉的双螺旋结构学说，即所谓右双螺旋结构及左双螺旋结构。这两种双螺旋结构每一股上都有 3 个吡喃型葡萄糖基，它们构成 1 个环，按单螺旋体看即含有 6 个吡喃型葡萄糖基，两环间距 0.8nm (图 1-3)。

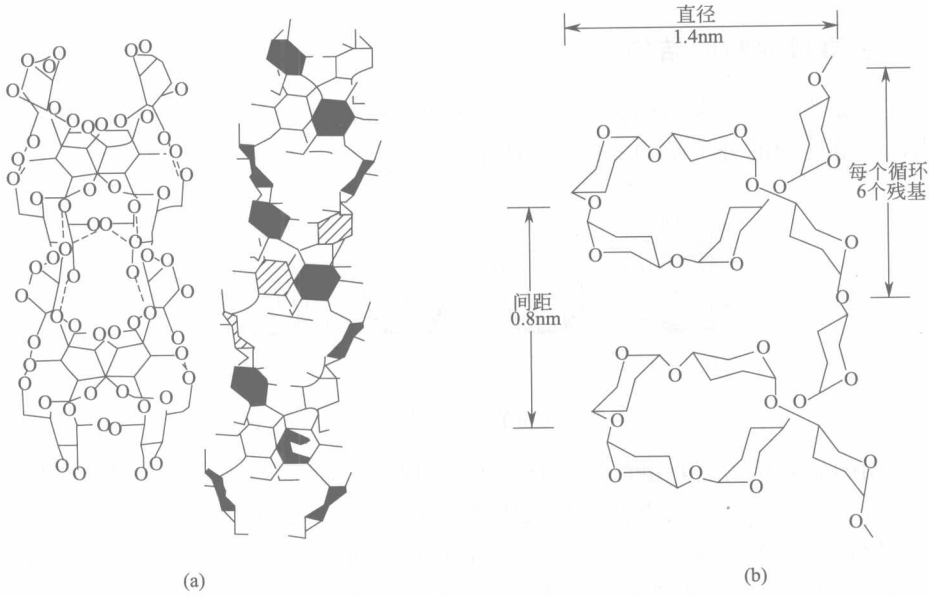


图 1-3 淀粉右双螺旋结构 (a) 与左双螺旋结构 (b)

直链淀粉在溶液中的构型大多倾向认为有 3 种形式 (图 1-4)，即螺旋结构、断开的螺旋结构、不规则的卷曲结构。这 3 种形式均构成了特定的螺旋区域，每一螺旋区域通常由 10~15 个螺旋圈组成。单独存在于水溶液中的直链淀粉会形成螺旋状 ( $\alpha$ -helix)，但两条游离的直链淀粉不会互相连结，而会形成胶状物质。直链淀粉具有较少分支数目，与碘反应时，因碘困于螺旋结构中，而呈蓝色。

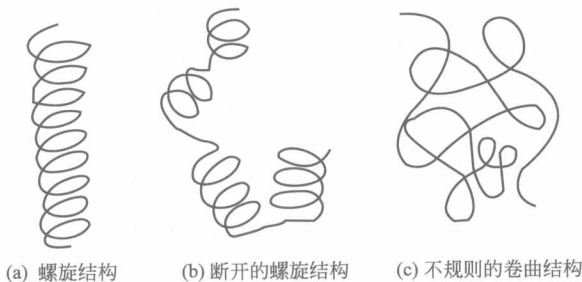


图 1-4 溶液中直链淀粉的 3 种构型



## 二、直链淀粉的含量

不同来源的淀粉，直链淀粉含量不同。一般禾谷类淀粉中直链淀粉的含量约为25%；薯类约为20%；豆类约为30%~35%；糯性粮食淀粉则几乎为零。如玉米淀粉和小麦淀粉的直链淀粉含量约为27%~28%，马铃薯淀粉约为20%~21%，木薯淀粉约为17%，而蜡质玉米淀粉的直链淀粉含量在1%以下。

在自然界中还没有发现完全由直链淀粉组成的玉米品种，1946年R. L. Whistler及H. H. Kramer以育种方式培育出新的玉米品种，其直链淀粉含量从一般的25%提升到65%。随后，其他学者又继续研究培育，使得其直链淀粉含量可高达85%以上，而直链淀粉含量约65%~70%的玉米淀粉也已进入商业化生产。高直链玉米淀粉（high-amylose corn starch, amylo maize starch）具有较高的糊化温度及不易膨润等特性。表1-2列出了部分原淀粉的直链淀粉含量。

表 1-2 部分原淀粉的直链淀粉含量

淀粉来源	直链淀粉含量/%	淀粉来源	直链淀粉含量/%
玉米	27	糯米	0
黏玉米	0	小麦	27
高直链玉米	70	马铃薯	20
高粱	27	木薯	17
黏高粱	0	甘薯	18
稻米	19		

在同一种粮食中，直链淀粉的含量与类型、品种和成熟度有关，如籼米的直链淀粉含量（25.4%±2.0%）一般比粳米高（18.4%±2.7%），糯米几乎为零（0.98%±1.51%）；小麦和玉米未成熟时的直链淀粉含量分别只有16.4%~21.4%和5%~7%，成熟的小麦和玉米一般分别为21.5%和28%。另外，直链淀粉含量还与颗粒大小有关，如表1-3所示。

表 1-3 直链淀粉含量与颗粒大小的关系

玉米		马铃薯	
平均颗粒大小/ $\mu\text{m}$	直链淀粉含量/% (质量)	平均颗粒大小/ $\mu\text{m}$	直链淀粉含量/% (质量)
未分离的	25.4	未分离的	17.2
10~20	26.4	37	19.5
5~10	23.0	28	18.0
<5	25.0	16	16.7
		10	16.0
		7	14.4