

淀粉糖绿色精益制造

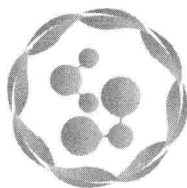
新产品、新技术、新应用

佟毅 编著

Green and Lean Production of Sweeteners from Starches
New Products, New Technologies and New Applications



化学工业出版社



淀粉糖绿色精益制造

新产品、新技术、新应用

佟毅 编著

Green and Lean Production of Sweeteners from Starches
New Products, New Technologies and New Applications



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为淀粉糖绿色精益制造类技术书籍。本书主要围绕淀粉糖的产品、生产工艺和应用三大方面,着重介绍了20世纪90年代以来国内外淀粉糖最新理念和科技进展,即产品的营养健康和功能性,生产技术的绿色环保和精益制造,产品应用领域的日趋广泛和市场的日渐细分。同时,本书也旨在向读者展示该行业在国民生产中的重要性和意义。

本书可供行业内大专院校、科研机构、企业生产的科研和技术人员阅读,也可作为行业外相关人员熟悉本行业的辅助教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

淀粉糖绿色精益制造:新产品、新技术、新应用/
佟毅编著. —北京:化学工业出版社,2018.12
ISBN 978-7-122-33353-7

I. ①淀… II. ①佟… III. ①淀粉糖品-制糖
IV. ①TS245.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第270232号

责任编辑:赵玉清

文字编辑:周 侗

责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

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:北京新华印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张28 彩插2 字数534千字

2018年12月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 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:158.00元

版权所有 违者必究

佟毅，1963年出生，理学博士，教授级高级工程师，十二届全国人大代表，全国劳动模范，当选首批全国粮食行业领军人才，享受国务院政府特殊津贴专家，从事玉米深加工领域科研工作33年。

佟毅同志现任玉米深加工国家工程研究中心主任，中粮生化股份有限公司董事长，中国淀粉工业协会会长，国家粮食安全政策专家咨询委员会委员，中国粮油学会副理事长。他早在1995年便著有《淀粉水解产品及其应用》一书，并连续多年担任《淀粉与淀粉糖》杂志主编，连续3年作为主编出版了《中国玉米市场和淀粉行业年度分析和预测报告》，在淀粉及其衍生物方面获得省部级科技进步一等奖6项，

专利44项，国内外学术刊物上发表论文42篇，主持新建了多条国内领先的玉米深加工生产线，推进和带动引领了中国淀粉及其衍生物行业从无到有、从小到大。



序

由佟毅博士著述的《淀粉糖绿色精益制造——新产品、新技术、新应用》(以下简称《淀粉糖》)一书即将付梓,可喜可贺。本书是在全国践行“中国制造2025”制造强国战略的重要时刻出版的,主旨“绿色精益制造”与战略中“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化”的基本方针遥相呼应,很有现实意义。

淀粉糖是指以淀粉为原料,衍生出的一系列单糖或寡糖的统称。目前,淀粉糖行业是我国食品行业的重要组成部分,是玉米深加工中最重要的环节之一,在国民生活、经济和农业产业化发展方面发挥着举足轻重的作用。我国是仅次于美国的世界第二大淀粉糖生产和消费国,淀粉糖不仅可作为食糖市场的重要补充,同时也是许多食品的重要功能性组成,还是众多发酵制品、生物化工产品和高分子生物基材料制造过程中的基础中间品,可谓应用广泛。

《淀粉糖》一书系统回顾和梳理了二十多年来国内淀粉糖行业技术领域取得的突出成果,对行业的新产品、新技术、新应用做了详细阐述和剖析,涉及酶促催化、现代分离和精制、高效蒸发浓缩等多个技术领域,并对行业未来发展趋势和潜在技术做了深入探讨。著者来自研发与生产一线,长期致力于淀粉糖生产技术的创新与提升,在繁忙工作之余,仍不忘初心,潜心著述,将自己多年专业知识和经验心得无私分享,这种踏踏实实为我国淀粉糖行业发展做基础性工作的精神令人欣慰和鼓舞,其著书时独特的企业观点和立足工程视角,也令人耳目一新。

我相信,《淀粉糖》一书的出版必将对我国淀粉糖行业科技水平的提高和创新发展发挥十分积极作用;也希望能以本书的出版为契机,会有更多的企业、高校和科研单位致力于淀粉糖领域的技术创新和产品力提升,为助推我国食品行业的发展做出新贡献。



中国工程院院士

淀粉糖在我国有悠久的历史，早在公元 500 多年的《齐民要术》中就已提到淀粉糖，并详细地描述了用大米制糖的方法。然而，我国淀粉糖行业真正快速发展起始于国家“九五”计划期间，与玉米深加工产业的快速发展息息相关，一脉相承。起初，我国仅能生产麦芽糖浆和葡萄糖浆两个品种，最大规模企业产能不超过 1 万吨，生产停留在手工作坊式，生产高能耗、高污染、低效率，生产成本居高不下。无论产品本身，还是相关生产技术与装置都严重依赖进口，受制于人。得益于“十五”至“十二五”期间，国家“玉米深加工结构调整的重点是提高淀粉糖等国内供给不足产品”等政策的有力保障，以及行业内全体同仁的不懈努力和辛勤付出，特别是以中粮集团为代表的骨干企业以高度的政治觉悟和市场头脑大胆创新、勇于进取，引领我国淀粉糖行业在规模、产量、品种和技术水平等各方面都取得飞速发展——企业生产日趋精益，产业规模和集中度不断提高，产品种类和质量不断上升，标准建设有序开展，产业竞争力显著增强，对资源节约和环境保护日趋重视，产品和相关技术装备远销海外。目前，我国年淀粉糖产能已超过 1000 万吨，前二十强生产企业占据 80% 以上份额，最大规模企业年产能超过 160 万吨。不夸张地讲，我国淀粉糖行业已达到国际先进水平，部分产品和技术领域甚至取得国际领先水平。

本人从事淀粉糖行业三十余年，亲眼见证、亲身参与了我国淀粉糖产业起步、发展和腾飞，在备感荣幸和骄傲之余，也深感有责任、有义务将自己这些年在淀粉糖领域工作和学习所获取的浅薄经验和知识诉诸文字，为我国淀粉糖行业发展尽绵薄之力，这也是本书的写作初衷。

本书主要围绕淀粉糖的产品、工艺和应用，共分三篇，9 章。其中，第一篇为 1~4 章，综述了淀粉糖行业发展（第 1 章）和重要的淀粉糖新产品（第 2 章葡萄糖、麦芽糊精及麦芽糖，第 3 章果糖，第 4 章功能性低聚糖）；第二篇重点介绍淀粉糖精益生产中最关键的三类技术，即酶技术（第 5 章）、模拟移动床分离技术（第 6 章）和高效蒸发浓缩技术（第 7 章）；第三篇介绍淀粉糖的应用，采用具体案例方式介绍淀粉糖在食品领域的应用，涉及饮料、啤酒、酸乳、糖果、烘焙等领域（第 8 章），以及淀粉糖在医药及日化领域的应用（第 9 章）。在本书写作过程中，以杜邦公司工业生物科技部段刚博士、华南理工大学高群玉教授为代表的多位专家给予了大力支持和帮助，为本书提供了大量宝贵的相关技术资料，并协助完成全书的审查工作。这里，谨向各位专家致以衷心的感谢！

本人期望这次以企业科技人员视角编写专著的尝试能取得预期的效果。由于时间关系和水平所限，难免有疏漏之处，敬请广大读者能及时提出宝贵意见，以便更正。

佟毅

2018 年 5 月写于北京

目录

第一篇 产品篇

第 1 章 淀粉糖概述

1.1 淀粉糖工业的发展	4
1.2 中国淀粉糖行业现状	5
1.2.1 产量	6
1.2.2 品种	7
1.2.3 产值	8

第 2 章 葡萄糖、麦芽糊精及麦芽糖

2.1 葡萄糖	12
2.1.1 葡萄糖浆	12
2.1.2 结晶葡萄糖	17
2.2 麦芽糊精	24
2.2.1 麦芽糊精的物理性质	25
2.2.2 麦芽糊精的生产原理	26
2.2.3 麦芽糊精的生产工艺	28
2.2.4 麦芽糊精的主要用途	30
2.3 麦芽糖	31
2.3.1 麦芽糖简介	31
2.3.2 麦芽糖的性质	32
2.3.3 麦芽糖的制法	33
2.3.4 麦芽糖饴	34
2.3.5 麦芽糖浆	36
2.3.6 固体麦芽糖	39
2.3.7 麦芽糖的应用	40

第 3 章 果糖

3.1 概述	42
3.1.1 果糖产品种类	42
3.1.2 果糖的异构化	42
3.1.3 果糖的特性	46
3.2 果葡糖浆	48
3.2.1 概述	48
3.2.2 果葡糖浆的生产工艺	50
3.2.3 果葡糖浆的特性	51
3.2.4 果葡糖浆的应用	54
3.3 结晶果糖	55
3.3.1 概述	55
3.3.2 结晶果糖的生产工艺	56
3.3.3 结晶果糖的物化特性及应用	60

第 4 章 功能性低聚糖

4.1 概述	64
4.2 低聚异麦芽糖	67
4.2.1 低聚异麦芽糖的理化功能特性	68
4.2.2 低聚异麦芽糖的生理功效	73
4.2.3 低聚异麦芽糖的生产方法	74
4.2.4 低聚异麦芽糖的应用	77
4.2.5 展望	80
4.3 海藻糖	80
4.3.1 海藻糖的理化特性	81
4.3.2 海藻糖的功能特性	82
4.3.3 海藻糖的生产工艺	84
4.3.4 海藻糖的应用	87
4.3.5 前景	90

第二篇 工艺篇

第 5 章 酶制剂在淀粉糖中的应用

5.1 淀粉糖用工业酶制剂概述	94
5.1.1 α -淀粉酶	94
5.1.2 糖化酶	96
5.1.3 葡萄糖异构化酶	109
5.1.4 糖液过滤用酶	111
5.1.5 其他特殊产品用酶	111
5.2 酶制剂在麦芽糊精、麦芽糖浆、葡萄糖浆中的应用	114
5.2.1 酶制剂在麦芽糊精中的应用	114
5.2.2 酶制剂在麦芽糖浆中的应用	118
5.2.3 酶制剂在葡萄糖浆中的应用	125
5.3 酶制剂在果糖中的应用	136
5.3.1 F42 果糖	136
5.3.2 F55 果糖	143
5.4 酶制剂在其他小品种淀粉糖中的应用	149
5.4.1 酶制剂在麦芽低聚糖中的应用	149
5.4.2 酶制剂在异麦芽低聚糖中的应用	154
5.4.3 酶制剂在环糊精中的应用	157
5.5 酶制剂在淀粉糖应用中的展望	158
5.5.1 生料制糖专用酶制剂	158
5.5.2 高稳定性果糖异构酶	160

第 6 章 模拟移动床分离技术

6.1 概述	164
6.1.1 液相色谱及模拟移动床分离技术原理	164
6.1.2 模拟移动床的类型	169
6.1.3 模拟移动床分离用固定相	170
6.1.4 模拟移动床分离用洗提剂	173
6.1.5 原料和洗提剂的精制要求	173
6.2 模拟移动床分离技术开发	174

6.2.1	色谱分离体系评价	174
6.2.2	模拟移动床分离评价	176
6.2.3	模拟移动床色谱分离性能影响因素	180
6.2.4	模拟移动床色谱分离工艺的工业化	182
6.2.5	模拟移动床色谱分离操作参数调整	192
6.2.6	色谱分离对物料和水的要求	195
6.2.7	果葡糖浆色谱分离设备日常维护及故障的排除	198
6.2.8	模拟移动床色谱过程仿真与优化	200
6.3	模拟移动床分离技术在淀粉糖中的应用	219
6.3.1	果葡糖浆的分离	219
6.3.2	淀粉糖化液的纯化	226
6.3.3	多元化异麦芽低聚糖产品	232
6.3.4	色谱法提纯环糊精技术	238
6.3.5	海藻糖的色谱纯化	240
6.4	套色谱技术	244
6.4.1	概述	244
6.4.2	结晶葡萄糖生产的套色谱技术	244
6.4.3	结晶果糖生产的套色谱技术	245

第 7 章 高效蒸发浓缩技术

7.1	蒸发浓缩设备	250
7.1.1	中央循环管式蒸发器	250
7.1.2	悬筐式蒸发器	251
7.1.3	列文式蒸发器	252
7.1.4	强制循环式蒸发器	253
7.1.5	升膜式蒸发器	253
7.1.6	降膜式蒸发器	255
7.1.7	刮板式蒸发器	256
7.1.8	直接接触传热的蒸发器	257
7.2	单效蒸发	258
7.2.1	管式降膜蒸发	258
7.2.2	板式蒸发	259
7.2.3	循环蒸发	259
7.2.4	单效蒸发的工艺计算	260

7.2.5	提高蒸发强度的途径	265
7.2.6	单效蒸发操作要求	265
7.2.7	单效多室蒸发	266
7.3	多效蒸发	266
7.3.1	多效蒸发工艺流程	267
7.3.2	多效蒸发的效数	268
7.3.3	多效蒸发的工艺计算	269
7.3.4	多效蒸发的设备结构计算	274
7.3.5	多效蒸发设计注意事项	277
7.3.6	多效蒸发的应用	279
7.4	热泵蒸发	280
7.4.1	概述	280
7.4.2	热泵工艺流程	281
7.4.3	热泵工艺计算	282
7.5	机械压缩蒸发	284
7.5.1	概述	284
7.5.2	压缩机	288
7.5.3	MVR 蒸发器的特点	300
7.5.4	MVR 蒸发器选型考虑因素	300
7.5.5	MVR 蒸发器工艺计算	301
7.6	蒸发选型	303
7.6.1	不同蒸发型式比较	303
7.6.2	多效与热泵、机械压缩比较	303
7.6.3	行业应用实例分析	304

第三篇 应用篇

第 8 章 淀粉糖在食品领域的应用

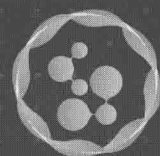
8.1	淀粉糖在饮料中的应用	312
8.1.1	饮料的品类及市场情况	312
8.1.2	淀粉糖在饮料中的应用优势	312
8.1.3	淀粉糖在饮料中的应用举例	314
8.2	淀粉糖在啤酒中的应用	328

8.2.1	啤酒及其分类	328
8.2.2	啤酒的发展历史及我国的市场现状	329
8.2.3	淀粉糖在啤酒酿造中的应用优势	329
8.2.4	麦芽糖浆在啤酒生产中的应用举例	333
8.3	淀粉糖在酸乳中的应用	337
8.3.1	发酵乳的定义及分类	337
8.3.2	酸乳的定义及分类	338
8.3.3	酸乳的发展历史及我国的市场现状	339
8.3.4	淀粉糖在酸乳中的应用优势	340
8.3.5	酸乳的加工	342
8.4	淀粉糖在糖果中的应用	347
8.4.1	糖果分类及市场情况	347
8.4.2	淀粉糖在糖果中的应用及配方举例	348
8.5	淀粉糖在烘焙食品中的应用	362
8.5.1	烘焙食品的品类及市场情况	362
8.5.2	糖类在烘焙食品中的作用	363
8.5.3	烘焙食品的配方组成及加工工艺	364
8.5.4	烘焙类产品配方举例	373
8.6	淀粉糖在冷冻饮品中的应用	380
8.6.1	冷冻饮品的特点及分类	380
8.6.2	冷冻饮品的发展历史及我国的市场现状	383
8.6.3	糖类在冷冻饮品中的作用	383
8.6.4	淀粉糖浆在冷冻饮品中的应用优势	384
8.6.5	冷冻饮品配方举例	390
8.7	淀粉糖在果酱中的应用	398
8.7.1	果酱品类及市场情况	398
8.7.2	果酱的加工及淀粉糖在果酱中的作用	399
8.7.3	果酱产品的配方组成及加工工艺	402
8.8	淀粉糖在番茄调味酱和沙拉酱中的应用	405
8.8.1	番茄调味酱和沙拉酱简介	405
8.8.2	番茄调味酱和沙拉酱的发展历史及我国的市场现状	406
8.8.3	淀粉糖在番茄调味酱和沙拉酱中的应用优势	407
8.8.4	淀粉糖在番茄调味酱和沙拉酱中的应用举例	407

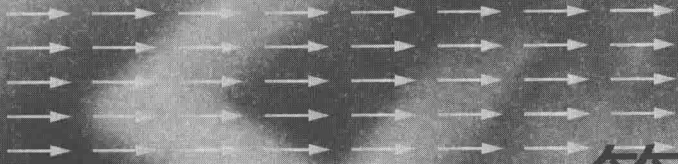
第 9 章 淀粉糖在其他领域的应用

9.1 淀粉糖在医药领域中的应用	412
9.1.1 葡萄糖	412
9.1.2 果糖	414
9.1.3 麦芽糖	418
9.1.4 麦芽糊精	420
9.2 淀粉糖在日化领域中的应用	424
9.2.1 日化领域中的应用概况	424
9.2.2 使用淀粉糖的日化用品配方及制备方法	427

参考文献



第一篇 产品篇



第 1 章

淀粉糖概述

1.1 淀粉糖工业的发展

淀粉糖是指以淀粉为原料，衍生出的一系列单糖或寡糖的统称。淀粉制糖首先开始于我国，在 3000 年前人们就发明了麦芽和大米制糖的酶法工艺，利用麦芽中的 α -淀粉酶和 β -淀粉酶水解米淀粉制成麦芽糖，俗称饴糖，北方叫关东糖，产品有糖浆和糖果等形式。由于麦芽糖产品具有温和的甜味和特殊的风味，一直深受中国人喜爱，在很多的中式糕点和传统食品中，麦芽糖都是主料之一。传统的制糖工艺利用了酶的专一性，直接水解米中的淀粉，而不用先制得淀粉作为原料。

欧洲的淀粉制糖工业从酸法水解淀粉开始。1811 年，德国科学家基尔霍夫 (Kirchoff) 在制造代替阿拉伯树胶用的胶黏剂时，因为错误地在马铃薯淀粉乳中多加了硫酸，得到了黏度低、澄清并具有甜味的液体。之后，基尔霍夫继续研究糖品，把糖浆通过放置一段时间并析出晶体，再用布袋装盛压榨，除去大部分母液后，获得固体产品。在拿破仑战争时代，很多工厂用这种淀粉糖品替代甘蔗糖，主要用于工业供应原料，但后来随着战争结束，甘蔗糖恢复使用，这种淀粉糖品生产也相继停工。1815 年，法国化学家沙苏里 (De Saussure) 确定淀粉水解的最终产物为葡萄糖，与葡萄果汁中的葡萄糖完全相同。

1942 年，第一款淀粉水解产品在美国出现，从此开始了淀粉糖浆的工业化生产。美国玉米资源丰富，淀粉糖的生产主要以玉米淀粉为原料。随着美国食品工业化的发展，各食品企业对淀粉糖浆易于操作、易混合等优势有了进一步的了解，开始在产品中使用淀粉糖并逐步扩大其使用量。

早期的酸转化通常是以淀粉为原料，通过加酸水解制葡萄糖，由于需要在高温下进行，并且使用盐酸作催化剂，因此在生产葡萄糖的同时，必定伴有复合和分解反应，产生一些发酵性糖及一系列有色物质，降低了淀粉的转化率；此外由于生产的糖液质量差，给后序精制带来不利影响。因此，酸水解法一般仅限于 42DE 值葡萄糖浆的生产（即不使其深度水解，以避免副产物的产生）。20 世纪初，酸法技术生产葡萄糖和糖浆还是占主导地位，基于这一技术美国开始较大规模生产淀粉糖产品。大约在 1940 年美国开始用酸酶结合法生产高甜度糖浆，有效地避免了葡萄糖的复合和分解反应，使得产品甜味纯正。20 世纪 60 年代初期，酶法技术开始发展起来，并逐步代替了酸法技术。1960 年，日本开始用 α -淀粉酶和葡萄糖糖化酶的双酶法生产结晶葡萄糖，双酶法制得的糖化液纯度高，甜味纯正，工艺简单，生产成本低。

果糖是天然糖中最甜的，但由于没有合适的农作物含有高含量的果糖，因此工业上未能大批量进行生产。早在 1897 年已发现碱能催化葡萄糖发生异构化反