

健康糖品 加工与利用技术

JIANKANG TANGPIN JIAGONG YU LIYONG JISHU

李琳 郭祀远 李锦生 徐振波 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

健康糖品 加工与利用技术

JIANKANG TANGPIN JIAGONG YU LIYONG JISHU

李琳 郭祀远 李锦生 徐振波 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

健康糖品加工与利用技术/李琳等主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-5623-3918-2

I. ①健… II. ①李… III. ①糖品-食品加工-研究 IV. ①TS24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 081449 号

健康糖品加工与利用技术

李琳 郭祀远 李锦生 徐振波 主编

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 吴兆强

印 刷 者: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 20 字数: 500 千

版 次: 2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 1100 册

定 价: 98.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

目 录

我国糖业之古往今来	郭祀远(1)
中国发明甘蔗石灰法制糖技术	彭泽文(10)
加快技术进步,提高我国制糖行业的国际竞争力	李锦生,等(16)
糖工程领域的学科建设与人才培养	李琳,等(24)
新形势下中国甜菜糖业发展的思考	郑喜群 刘晓兰(31)
我国糖业发展方向和途径初探	毛礼镭(38)
北方糖业存在问题及未来发展对策	李建国 汪德智(42)
当前糖业改革发展的战略定位	陈庆明(46)
广西蔗糖产业技术需求分析与对科研重点项目的建议	陈山(48)
浅谈我国制糖行业的未来和发展趋势	李超,等(57)
中国糖业的发展方向与途径	梁建波(65)
浅谈臭氧法生产耕地白砂糖	胡海波,等(68)
渗出法在甘蔗提汁方面的应用	杨军,等(73)
葡聚糖酶应用于甘蔗混合汁的工艺优化	贺湘,等(78)
甘蔗糖厂一压汁、二压汁的成分差异分析与研究	李清,等(88)
用正交多项式确定一碳碱度对稀汁色值的影响	郭成宇 安百慧(93)
甘蔗糖汁中二氧化碳和石灰的化学反应	霍汉镇(97)
炼糖生产中浮渣经上浮处理的应用	姚志敏,等(102)
赤砂回溶糖浆直接回煮甲膏试验与实践	廖玉(105)
甜菜制糖连续结晶工艺的应用	李建国,等(111)
单层快速沉降器在亚硫酸法制糖生产中的应用	施德祥 李世锦(115)
多层沉淀池改造为滤汁快沉的方法与效益分析	黄志汉 曹世锐(121)
精炼糖连续结晶在联合吉达糖业应用的经验	A. S. Vawda,等(125)
利用烟道气干燥蔗渣的生产实践及经验探讨	周锡文,等(134)
甘蔗提汁节能高效新技术——轻压洗析提汁法	陈世治,等(139)
目前制糖工艺节汽瓶颈之探讨	钟志才 梁汉平(147)
糖厂锅炉系统节能降耗的分析与措施	卢志荣 周锡文(154)
利用配风燃烧改造糖厂蔗渣锅炉实现节能降耗的实践与思考	何华柱,等(156)
关于蔗渣锅炉的配风改造及效果	古广荣 罗昌森(161)
甘蔗糖厂两化融合促进节能减排效果分析	周锡文 何华柱(166)
甜菜制糖清洁生产与节能减排潜力研讨	魏海涛(171)
糖厂废水的综合治理方法	马松林,等(176)

浅谈甘蔗制糖生产节水措施	李锦生,等(180)
关于甘蔗制糖废水零排放的探讨与实践	何华柱,等(184)
压粕水回收利用	李雪平(194)
CASS 工艺处理制糖末端废水的试验研究	林传松,等(197)
酒精废液提取甜菜碱盐酸盐的试验研究	李建国,等(204)
超声强化臭氧氧化糖蜜酒精废液机理初探	李敏,等(207)
碳法、亚法糖储存期间色值、酚铁、结块等问题研究	何凤仪,等(212)
利用新型糖浆上浮技术提高白砂糖质量的应用研究	孙潇 吴春雷(219)
我国红糖质量安全现状的研究	黄雪影,等(223)
影响单晶冰糖质量因素的分析及控制	陈卫民 胡翔(227)
色素在黄冰糖中的存在形式	何树珍,等(230)
关于绵白糖国家标准修订的探讨	郭剑雄 黄雪影(235)
关于加强我国食糖安全标准体系建设的研究与探讨	黄雪影 郭剑雄(239)
蔗糖业生物工程的新技术和新产品	保国裕 蓝艳华(244)
功能性糖的研究现状及其应用	高亚飞,等(256)
知母多糖提取物生物活性的研究	陈玲,等(261)
超声预处理对两种高结晶多糖酸水解的影响	李娜,等(268)
裂褶多糖的超声降解特性研究	郑必胜 郭祀远(274)
Production of Lipid and Fatty Acids From Cassava Bagasse Hydrolysate (CBH) by Heterotrophic <i>Chlorella Protothecoides</i>	Dong Wei,等(278)
固体甘蔗糖蜜的研制	罗左青,等(282)
曲酸及糖蜜发酵生产曲酸的探究	李军委,等(288)
流变仪显微镜(RheoScope)在淀粉研究中的应用	陈佩,等(294)
阳离子淀粉/DNA 复合物的结构表征	黄晓仪,等(299)
丁二酸酯化对淀粉载体材料的结构和性质影响的研究	司徒文贝,等(305)
啤酒糟不溶性膳食纤维的脱色研究	付全意,等(310)

我国糖业之古往今来

郭祀远

我国古代有几部关于甘蔗种植和制糖的重要典籍，如北魏贾思勰的《齐民要术》、宋朝王灼的《糖霜谱》、明代宋应星的《天工开物》。这些古籍是研究我国古代制糖技术的重要文献。在古代制糖技术的基础上，我国糖业由最初的手工作坊，至形成现代化联营大生产的蔗糖化学工业企业体系，经历了千百年的时代变迁。随着糖业的进步，糖工程学科领域得以拓宽，糖业的产学研结合必将使糖业及其相关的科技得到进一步发展。

一、古代关于糖的记载

（一）“糖”的溯源

糖的科学涵义有广义和狭义两个范畴。广义的糖类如上述，曾用“醴”字表示，通常称碳水化合物。确切地说，是一类包括多羟基的醛、酮、醇及其氧化还原衍生物以及由糖苷键连接此类化合物而成的多聚体。狭义的糖指水溶性单糖和寡糖，通常是蔗糖商品的统称。

“蔗糖”的外文源于古梵文“Sharkara”，意为颗粒状制品。世界各国糖字的发音或字形都与此类似。如古拉丁语 saccharum 和 succarum，英文 sugar、sucrose 和 saccharose，法文 sucre 及 sukere，德文 zucker，俄文 caxap，匈牙利文 cukor，西班牙文 azucker，古巴文 azucar，阿拉伯文 suchar 等。日本的制糖术是由中国传去的，也用汉字的“糖”字。

中国“糖”字的概念是与甜味感相连的。古代称糖为“石蜜”，继而将由粮食制成的糖稀谓之“饴”，较稠的称为“飴”。“蔗浆”始见《楚辞》，而“蔗饴”始见《三国志》。在东汉许慎撰的世界最古老的字典《说文解字》中有“飴，米蘖煎者也”，尚未有“糖”字，至五代宋初人徐铉校定时才在新附字中加“糖”字：“糖，飴也。”

我国的古籍中，有几部关于甘蔗种植和造糖的重要典籍^[1]，如北魏末期贾思勰的《齐民要术》、宋朝王灼的《糖霜谱》、明代宋应星的《天工开物》。这些文字记载尽显我国甘蔗制糖技术的悠久历史。

（二）贾思勰的《齐民要术》

我国北魏末期贾思勰于公元 533—544 年撰写的《齐民要术》，吸收了前人农学研究的成果，对公元 6 世纪以前我国的农业生产技术进行了全面系统的总结，体现了积极进步

作者简介：郭祀远，华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640。

[1] 季羨林. 中华制糖史 [M]. 北京：经济日报出版社，1997.

的农学思想,是我国现存最早的百科全书式的农业科学技术著作,也是世界农业科学史上最早的、不可多得的珍贵典籍。书名表明这是一部关于普天下平民百姓谋生方法的技术要领之专著。

在《齐民要术》自序中言其内容“起自耕农,终于醯醢,资生之业,靡不毕书”。纵观全书,范围广泛,引用了先秦至魏晋古籍一百余种,农谚数十条,还有探询老农的资料。所记述的生产技术以种植业为主,兼及蚕桑、林业、畜牧、养鱼、农副产品储藏加工等,在种植业方面则以粮食为主,兼及纤维作物、油料作物、染料作物、饲料作物、园艺作物等。从地区来说,以反映黄河中下游农业生产技术为主,同时也涉及南方和其他地区的植物品种。全书10卷共92篇,11万余字。卷1有总论耕田、收种2篇和种谷1篇;卷2为各类、豆、麻、麦、稻、瓜、瓠、芋等13篇;卷3包括葵、蔓菁、蒜等蔬菜12篇,还有苜蓿、杂说各1篇;卷4、卷5有总论园篱、栽树2篇,果树12篇,伐木1篇等,共25篇;卷6为家畜、家禽和养鱼,共6篇;卷7是货殖、涂墍各1篇,酿酒4篇;卷8、卷9主要为农产品加工,包括酿造酱、醋、豉及饴糖等食品的制作和储藏22篇,还有煮胶,制笔墨各1篇;卷10为“五谷果蔬菜茹非中国物产者”1篇,引载了甘蔗等100多种有实用价值的热带、亚热带植物和60多种野生可食用植物。

(三) 王灼的《糖霜谱》

我国古代劳动人民在实践中就学会由甘蔗制取蔗糖的原始制糖术:首先将蔗切成小片段,用两个由牛或驴拉动的木轱或石辊把蔗汁压出来,蔗汁用棕漆的瓦罐收集;将蔗汁煮至适当的浓度后在罐里投入小竹片,数天后便可看到微小晶体出现;小晶体长大后沥干,在烈日下晒干即得产品。

宋朝遂宁人王灼在公元1130年前后所写的《糖霜谱》中全面总结了历来的制糖之法。这是世界上现存最早一部甘蔗制糖的专著。

《糖霜谱》全卷分七篇。只有首篇加标题“原委第一”,讲述唐大历中邹和尚教造糖霜之传说。自第二篇以下,则皆无标题。第二篇讨论以蔗成糖之历史记载,指出“蔗浆”始见《楚辞》,“蔗饧”始见《三国志》,而“糖霜”则至宋朝才见于文字。第三篇介绍甘蔗之品种和种蔗之方法。第四篇为蔗汁提取之工具与糖汁浓缩之工艺。第五篇言结霜之操作与过程控制以及糖霜保藏法。第六篇言糖霜或结或不结,糖霜户收功每异,似靠运气,因及于宣和中供御诸事。第七篇则为糖霜之性味及一些糖制品之制作诸方法。

可见早在八九百年前,我国民间就熟谙甘蔗制糖之术,已形成现代制糖技术之雏形。在压榨取汁方面,已有蔗料预处理、强制入轱、多重压榨、热水渗透、蒸发浓缩等技术,在蔗糖结晶方面,已应用冷却结晶、刺激起晶、助晶、分蜜、干燥、晶体分级、产品质量鉴定与保藏等工艺。但是未见蔗汁清净的内容,难怪所得的蔗糖产品为粉霜状或为不定形堆块状,难于形成典型的蔗糖完整晶形,而且结晶速度慢,需时间较长。

(四) 宋应星的《天工开物》

我国明代科学家宋应星于1637年刊行的历史科技巨著《天工开物》,是世界上第一部关于农业和手工业生产的综合性著作。它记载了明朝中叶以前中国古代的各项技术,对农业方面的丰富经验进行了总结,全面反映了工艺技术的成就,构成一个完整的科学技术

体系。《天工开物》全书分为上中下三篇共 18 卷，并附有 121 幅插图，描述了 130 多项生产技术和工具的名称、形状。在其上篇的第六卷《甘嗜》中，主要叙述甘蔗种植、制糖技术和工具，同时还论及蜂蜜和饴饧（麦芽糖）。宋应星还重点介绍了将水稻育秧法移植到甘蔗种植中，推行甘蔗移栽新技术。

《甘嗜》中对木质立式两辊压榨机的结构和轧蔗取汁的操作过程作了详细的介绍。对于蔗汁澄清、蒸浓熬糖、起晶成糖等各工序都作了较详细的阐述。其中明确记载了造糖过程采用加适量石灰（0.5%）使蔗汁中的杂质形成浮渣后撇除，得到澄清蔗汁；在排列成品字形的三星灶开口锅中将澄清糖汁逐级蒸发，煮成浓糖浆；凭经验控制熬糖的火候，使糖浆浓缩至要求的程度；将煮制好的糖装入桶中，冷却后便成含有小晶体的糖膏，即含蜜的红糖；如果要制白糖，则还需经蜜洗分离工序，在瓦质漏钵中用滤清的黄泥水洗去糖膏中晶体之间的糖蜜，所得白糖可与西洋糖媲美。制造冰糖则还要将白糖溶解后加入鸡蛋清进行滤清，再撇去浮渣，将清糖液加热蒸发至适当的浓度后盛入瓦钵中，并投入切成小段的表竹片，冷却过夜甚至数日，便可得到较大晶体的冰糖。除记述红糖、白糖、冰糖的生产技术外，还介绍了兽象糖的制法及当时的糖晶质量分级标准。

二、我国糖业的发展

（一）古代的制糖术

我国是甘蔗制糖业发展的最早的国家之一。古籍《诗经》《楚辞》《汉书》《七辨》《名医别录》《本草纲目》《齐民要术》《异物志》《糖霜谱》《天工开物》等都先后记载和论述了中国古代甘蔗种植和制糖技术及蔗糖的用途。约在 2200 年前的春秋战国时，人们就懂得取饮蔗浆。在古代制糖术出现之前，人们只能“啖蔗”或“取饮蔗浆”来品尝甜味。我国有关甘蔗简单加工制糖的记载，最早见于战国末期（约公元前 200 年）的作品中，《楚辞·招魂》：“膾鼈炮羔 有柘浆是也”句中柘即蔗；“柜枚蜜餌 有餠餠些”句中餠餠即饧，干饧。又东汉经学家郑玄（公元 125—200 年）注释《周礼》“箫管备举”句中的“箫”为卖饴者所吹也；东汉文学家王逸注云：“取之藟蔗汁以为浆饮”。当时湖广地方早有甘蔗生长，当地人熟知榨汁浆饮。汉东方朔所撰《神异经》“南方荒内有甘蔗林，促节多汁，甜如蜜”。《汉书》郊祀歌：“百味旨酒布兰生，泰尊柘浆析朝醒。”由西汉至东晋（公元 4 世纪）四五百年间中国出现“煎蔗为糖”可能就是含蜜砂糖的开始。可见甘蔗取汁制浆，再煎成糖，已有一千多年的历史。根据《汉书南中八郡志》中，关于甘蔗制糖的记述，如“榨取汁暴数时成饴，入口消失，人谓之石蜜”，宋绳祖著《学齐占毕》证明“煎蔗为糖，已见于汉”。由历史文献考证，中国在西汉时就已知甘蔗可以制糖，但制法缺乏记载。

到了东汉（公元 25—220 年）以后，东西交通发达，海陆路均可贯通，其时西域（远至印度、伊朗等国）来中国与中国人往西域日众。印度的甘蔗制糖方法此后才流传入中国，对中国原有的甘蔗取汁煎成糖的生产技术的改进有所借鉴。自春秋战国至宋代一千多年间，我国甘蔗制糖技术，由始创到通过生产实践不断地积累经验，形成中国固有的原始制糖术。此外，在公元 6 世纪初中国就有用麦芽和大米制造饴糖的技术。

唐朝期间（公元7世纪），糖产渐盛，南方糖坊林立。北宋（约公元10世纪）时中国甘蔗制糖技术有新发展，白糖制法已较唐朝时进步。到了宋仁宗时（公元1058年），砂糖制造已遍及川、赣、闽、广等省，民间已有贩销蔗糖为业者。王灼在《糖霜谱》中提到，宋朝元祐间有诗云：“浯江与中冷/共此一味水/冰盘荐琥珀/何似糖霜美”；元符间有答长老寄糖霜云：“远寄蔗霜知有味/胜于崔浩水晶盐/正宗扫地从谁说/我舌犹能及鼻尖”。认为这是“糖霜”始见于文字的例证。可见当时糖业经营渐蔚成专业，产地也有糖坊的组织，而开中国蔗糖企业之先河，故北宋时代可说是中国糖业的形成期。那时的结霜法用糖漏代漆瓮，达到用蔗少而得糖多，且产品美观，制糖技术提高至新的水平。砂糖消费也渐次普及民间，砂糖贩销至日本。南宋时（公元12世纪），蔗糖已成为中国的主要出口商品。

元、明、清以后，种蔗、制糖技术已渐趋科学化，在川、广、闽、台的蔗糖业生产兴盛，砂糖贸易发达，循正常途径泛海销售，糖业与国计民生构成密切的关系，蔗糖产销引起人们普遍的注意，制糖行业一直在发展和壮大。可见，中国始于古代的制糖术经千百年的实践发展，至唐宋期间有很大的进步和提高，并已达到较高的水平，领先西方数百年。意大利马可·波罗（Marco Polo）于公元1270—1275年访问中国时，见到中国南方繁荣的制糖作坊而频频称赞中国制糖技艺高明和糖品质量上乘。

（二）中国糖业的百年变迁

在百年前，我国已成为东方著名的产糖国家，所产蔗糖除自给外，还有输出。1880年，我国食糖出口达到最高峰，到1890年，我国仍有余糖运销海外。但自1895年我国台湾被日本强占以后，我国糖业遂从出超转为入超。

我国大陆的首间机制甘蔗糖厂同安制糖厂是1908年福建华侨设立的制糖公司所建。现代化甘蔗糖厂始于1934—1936年间，初以“无烟糖制造”为开端，后又在广东顺德、东莞、市头、新造、揭阳、惠阳建立6间甘蔗糖厂，不久在广西也建了贵县糖厂。这些糖厂在抗日战争期间大部分被毁。抗日战争结束后，大都未能恢复，处于半停顿状态。

我国的甜菜糖厂始建于1909年，帝俄商人在东北阿什河设立新式甜菜糖厂，同年在呼兰又成立了富华公司。1912年日商在辽宁设立南满制糖株式会社。但我国北方的甜菜制糖工业一直没得到应有的发展。1920年我国曾在山东济南设立溥益糖厂。

新中国成立后，我国的制糖工业在党和人民政府的领导下才走上了恢复、发展的道路。特别是自1958年各地区根据大中小相结合、以中小为主的方针，建立了许多中小型的糖厂，为我国糖业的发展创造了有利条件。同时，我国制糖的科学技术研究、设计和设备制造力量也在迅速地成长。采用三结合方式，贯彻“四化”和推广技术革新运动，使我国的糖业面貌有很大的改变。如甘蔗压榨“四匀九联”操作法，中间汁亚硫酸澄清法，“五一”煮糖法，运蔗一条龙等。这些对制糖技术水平的提高起了很大的作用。此外，根据多种经营、综合利用的方针，我国制糖工业以甘蔗为制糖原料，大力研究副产品的综合利用，使过去单一产品的甘蔗糖厂变成了多种产品的“甘蔗化工厂”，并对国民经济的发展发挥了重要的作用。在发展本国糖业的基础上还进行技术输出，援助亚、非洲一些国家建立不少糖厂。

改革开放以来，我国糖业又有了空前的发展，采用了一些先进的新技术，糖厂的生产

规模不断扩大，产糖量跃居世界第三位，并于新世纪初突破了年产蔗糖一千万吨的大关。成品糖的质量也不断提高。

（三）我国糖业的现状

1. 行业规模与产值

我国的甘蔗及甜菜产糖区主要分布在广西、云南、广东、海南、黑龙江、新疆，这六省区的食糖产量约占全国总产量的 94%。从各主产区生产完成情况看，大部分集中在南方甘蔗糖产区，北方甜菜糖产区只约占总产值的十分之一。近年来我国的蔗糖产量最高达 1500 万吨，稳居世界第三产糖大国。据统计，2010 年上半年，全国制糖行业规模以上工业企业累计完成工业总产值超 455 亿元；实现利税总额逾 50 亿元。

我国淀粉年产量 1900 多万吨，居世界第二位；淀粉糖年产 800 余万吨，行业总体规模也居世界第二位；变性淀粉年产 150 余万吨。我国生产的淀粉 80% 以上为玉米淀粉。目前玉米淀粉生产企业主要集中在山东、河北、吉林和河南等省。据统计，2010 年底，全国淀粉及淀粉制品的上规模制造企业累计实现工业总产值达 1966 亿元。

我国开展生物多糖的研究较晚，而且多集中在食用菌多糖开发方面，对细菌多糖的研究报道极少。2010 年，我国多糖类产品销售额约为 100 亿元。可见，制糖产业及其糖制品在国民经济中具有重要的地位。

2. 制糖行业的发展

在“十五”“十一五”期间，糖工程学科领域取得了令人瞩目的成就，各分支领域不断开创新的科研成果，对整个制糖行业的发展起到了极大的促进作用。目前，我国制糖行业中各类糖制品及其衍生物产量持续快速增长，企业发展规模大型化及布局更趋优势化，大型装备实现国产化、科技进步创新化，产品结构优化调整，新产品琳琅满目，使全行业向循环经济发展模式迈进。

在甘蔗及甜菜制糖工业方面，近十年全行业技术创新能力进一步增强，工艺、技术装备水平得到了显著提升。引进和采用了一批大型、节能、高效、先进的生产设备；综合利用的规模越来越大；一些新材料、新工艺、新设备进入产业化应用阶段。

在淀粉、变性淀粉及其衍生物产业方面，生产企业基本采用水分散法生产，少部分企业建立了干法改性淀粉生产线，且多数企业均为自主设计的生产线。随着相关技术装备的进步，淀粉生产企业不断引进世界先进水平的技术、设备和生产线。淀粉糖方面采用膜分离、高效酶制剂等，取得了多项工业化生产淀粉糖技术等先进技术成果。淀粉、淀粉糖和变性淀粉品种及高附加值产品比重不断增加，产业链不断延长。

一些具有独特生物活性的微生物多糖在我国也得到快速发展。国内的有关研究多集中在多糖分子修饰以提高其生物活性的研究，在糖组学、糖与蛋白的相互作用机制等国际研究热点方面则只处于起步阶段。

3. 我国历年食糖的产量

我国食糖的人均年消费量还不到世界平均水平的一半，近年来才达到人均 10 千克。表 1 为新中国成立以来我国各个生产期的蔗糖总产量。1949 年产糖量约 26 万吨，只排世界第 26 位；经 30 多年的波浪式发展，1985 年度产糖超 500 万吨，跃居世界第 6 位；1990

年度产糖 687 万吨，列第 4 位；1991 年度产糖量达 791 万吨，进入世界前 3 名；2002/2003 年制糖期突破 1000 万吨大关；2007/2008 年制糖期产糖量创历史新高，达 1484 万吨，人均年消费糖量也突破 10 千克。虽然我国糖业发展的道路不平坦，毕竟对国民经济的发展起了一定的作用，而食糖的人均消费水平仍需提高。

表 1 新中国食糖年总产量 单位：万吨

年度	总产量	年度	总产量	年度	总产量	年度	总产量
1949/1950	26	1965/1966	155	1981/1982	340	1997/1998	811
1950/1951	30	1966/1967	150	1982/1983	385	1998/1999	883
1951/1952	46	1967/1968	163	1983/1984	356	1999/2000	687
1952/1953	59	1968/1969	126	1984/1985	431	2000/2001	672
1953/1954	59	1969/1970	126	1985/1986	516	2001/2002	850
1954/1955	69	1970/1971	146	1986/1987	527	2002/2003	1064
1955/1956	72	1971/1972	142	1987/1988	442	2003/2004	987
1956/1957	81	1972/1973	183	1988/1989	485	2004/2005	917
1957/1958	90	1973/1974	195	1989/1990	570	2005/2006	881
1958/1959	110	1974/1975	173	1990/1991	687	2006/2007	1200
1959/1960	63	1975/1976	161	1991/1992	791	2007/2008	1484
1960/1961	41	1976/1977	180	1992/1993	772	2008/2009	1243
1961/1962	31	1977/1978	226	1993/1994	602	2009/2010	1500
1962/1963	32	1978/1979	250	1994/1995	541	2010/2011	1045
1963/1964	83	1979/1980	250	1995/1996	623		
1964/1965	133	1980/1981	300	1996/1997	680		

三、现代的制糖体系

(一) 制糖的化工过程

现代制糖过程是一个典型的化工过程。糖厂是化工设备和单元操作最齐全的化工厂之一。现代的制糖方法实际上是在古代原始制糖方法基础上的改进和发展，以机械化、自动化、连续化、工业化精加工代替人工的间歇、小规模个体作坊式粗加工。如以机电动力代替人力或畜力的驱动；以连续沉降器代替间歇自然沉淀箱；以多效蒸发代替直火蒸煮；以真空浓缩结晶代替开口锅熬糖；以离心分蜜机代替瓦罐糖漏排蜜；以气流调节干燥代替自然晾干或阳光晒干；以过程自动控制代替凭经验的人工操作等等。同时还采用各种化学和物理处理方法不断提高糖产品的质量。

(二) 工业化的工厂型机制糖生产

1. 第一次工业革命浪潮从根本上改变糖厂的生产力

19 世纪后期,手工作坊生产食糖的中国就与古巴、印度、爪哇、菲律宾并称为世界五大产糖国,并有数万吨食糖出口。

由于蒸汽机的发明,出现了机器工业,掀起了第一次工业革命的浪潮,化工技术武装了糖业生产,促使糖业生产技术也大踏步前进。植物糖料压榨提汁采用蒸汽机或机电代替人力或兽力带动;以蒸汽多效蒸发代替明火蒸发;以真空罐代替露空常压结晶;以离心机代替糖钵分蜜。这些设备的革新大大改变了糖厂的生产面貌。

2. 装备新兴的化工技术以提高产品的产量和质量

自 19 世纪末期以后,陆续采用先进的化工技术武装了糖业,机制糖厂的规模在扩大,制糖过程包括最多化工单元,机制糖厂成为一个制糖化工厂,其重要装备都发展成为专业设备,既有针对性又能配套,并不断改进性能,提高了生产效率。如:压榨机由一座品字形三辊子机发展成为二组三辊子压榨机列和三组三辊子压榨机列;真空蒸发罐由单效发展成多效真空蒸发罐;分蜜离心机由最初的间歇座式发展成吊篮式离心机,能连续分蜜。

3. 开发糖料的综合利用以扩大糖厂的产业面和新品种

1958 年以广东“国营江门甘蔗化工厂”的命名为里程碑,在我国打开糖料甘蔗综合利用的新局面,扩大了糖厂的产品种类,使糖业以崭新的产业面貌出现。甘蔗综合利用包括糖厂本身蔗糖产品的全面利用以及制糖过程产生的副产品如蔗渣、糖蜜、滤泥等的综合利用。

(三) 现代化的企业型联营大生产

1. 蔗糖化学工业的潜力

由于甘蔗化工体系的形成,促进糖业生产以新的姿态出现。对糖运用化学和化工手段进行精加工和深加工,形成的产业面会更突出专业性,而生产规模更加扩大,使这种产业结构变成企业型联营大生产。从蔗糖化学及其衍生物开发形成的物系,可成为许多新物质资源。制糖科学新领域就是从蔗糖化学深入和扩大发展的新范畴,超过了单纯的利用,打破蔗糖物质利用的界限,通过化学手段和生化手段去创制新产品,使其不但不同于原来物质性质,而且扩大了利用功能。

2. 蔗糖化学工业企业体系的形成

由蔗糖化学工业制品组成的企业体系,本身具有庞大的物系,虽然可简称为蔗糖化学产品,但还有待深入研究来定性。根据原料特性,蔗糖制造化工原料和中间体有:有机物质中最纯的碳源,有机化工原料,有机合成中间体。蔗糖精细化工品有:表面活性剂,乳化剂,助溶剂,发泡剂,分散剂,悬浮剂,增稠剂,稳定剂,保鲜剂,保形剂,甜味剂,增塑剂,润滑剂,洗涤剂等^[1]。

3. 蔗糖有关的企业体系的互促发展

与蔗糖有关的企业体系除制糖工业外,还包括:发酵工业,纤维工业,医药工业,饲料工业,建材工业。随着现代化的企业型联营大生产体系的建立,制糖工业的发展必将带

[1] 陈树功. 蔗糖工业化学 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 1994.

动其他相关企业的繁荣；同时，相关企业的发展又会促进制糖工业的科技进步。

（四）糖工程学科研究领域及糖业发展

1. 糖工程学科的研究领域

糖工程学科是在传统制糖工程学科的基础上以学科的前瞻性及人才的复合型为主要目标，立足化学工程理论与技术，融入生物学、材料学等多学科知识体系，对传统制糖工程学科的内涵和外延不断调整、拓宽和重新定位而不断充实和发展起来的。糖工程学科研究对象已由原有的单糖、低聚糖扩展到多糖、材料和药物范畴；学科研究领域也从轻工食品拓宽到生物、化工、医药和材料领域。目前，糖工程学科不断为产业提供较强的科技支撑作用，成为我国学科群体建设的重要组成部分。

2. 糖工程学科的科技内容

随着我国经济社会建设的不断发展，糖工程学科的主要科学与技术内涵不断拓展，由最早的单糖及低聚糖加工拓宽为涵盖糖类及其衍生物的提取、分离、纯化和高效利用，并渗透到糖类功能材料、糖类药物和生命科学等学科。糖工程学科以解决生命过程中必需的糖源问题为目标，主要是应用基础科学及工程知识来研究糖类物质的物理、化学、生化性质及糖类物质加工原理的一门科学。通过结合现代生物化学、化工分离、材料科学与工程、营养学、医药科学等学科的研究成果和工程技术手段，不断探索糖类物质提取、分离、纯化和高效利用以及糖生物学、糖药理学、糖组学等领域的学科前沿，丰富和发展糖工程学科相关理论知识。将糖工程学科建设成为制糖工程、淀粉资源与工程，以及糖类物质与生物学、营养医学和材料学等多领域的交叉学科。

3. 糖业的产学研结合

在“十五”“十一五”期间，我国各级政府与糖工程产业一起对糖工程学科的科学研究和学科建设投入了大量资金，科学研究和学科建设取得了巨大成就。2000—2010年国家自然科学基金资助的与糖工程学科有关的科研项目共有2596项，单2010年就有676项，资助资金达2.7亿元，研究应用领域逐步扩大^[1]。此外，国家科技支撑计划、高技术研究计划、各部级科技计划以及各级地方政府的自然科学基金、科技攻关项目等对糖工程学科的投入都逐步加大。此外，糖工程产业各产品的生产和市场开发不断向学科交叉方向发展，因此，很多企业与高校等科研单位通过产学研合作，组建产学研创新基地和产业联盟，投入大量资金支持糖工程产业领域的科研开发和技术进步。通过生产企业与高等学校和科研设计单位的有机结合和通力合作，以科技进步推动生产的不断发展。所有这些都对我国糖业的发展起着巨大的促进作用。

四、结束语

我国有关甘蔗种植和造糖的《齐民要术》《糖霜谱》《天工开物》等古籍是记载和研究我国古代制糖技术的重要文献。在古代制糖技术的基础上，我国糖业由手工作坊到建立

[1] 中国食品科学技术学会. 2010—2011 食品科学技术学科发展报告 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2011.

起现代制糖体系，历经千百年的时代变迁。第一次工业革命浪潮从根本上改变糖厂的生产力，装备新兴的化工技术提高了糖品的产量和质量，开发糖料的综合利用扩大了糖厂的产业面和新品种，现代化联营大生产形成了蔗糖化学工业企业体系及其发展。随着糖业的发展，糖工程学科领域得以拓宽，糖业的产学研结合乃是糖业科技不断进步之必由之路。

中国发明甘蔗石灰法制糖技术

彭泽文

科学是人类认知物质世界的不竭长河，技术是人类对生存环境发展方式的不倦创造。现代科技构建的大厦，不断地改变着人类文明进程和日常生活，并以其无限的魅力影响着人类心灵，开创人类的未来。中国是人类文明的一个重要发源地，她曾经孕育了辉煌的科技文明。古老的历史，并没有全部记载在浩瀚的史书里；悠久的文明，也没有全部保留在人们的记忆中。往事如烟，岁月漫漫，华夏文明源远流长，中国的发明，是一个说不尽的话题，也是一个挖掘不尽的丰富宝藏^[1]。

中国四大发明早已妇孺皆知，蜚声海内外。在四大发明之外，中国古代还有许多发明，对人类的进步起着积极重要的作用，如甘蔗制糖技术。本文侧重于探讨我国古代，特别是夏商时期，华夏先圣们对甘蔗制糖技术的贡献。

一、新石器时代我国的甘蔗制糖技术

（一）中国是甘蔗的原产地

甘蔗在远古时代是一种热带和亚热带的禾木科植物。四五千年前的华夏大地的四川、河南、山东地区，其年平均温度比现在高出 5 ~ 6℃，属于亚热带气候和阔叶林、禾木科植物的生长带，在沃野四平原、河谷岸边，到处都有成片的野生的甘蔗林出现……甘蔗在亿万年的进化过程中，特别经华夏的先民们的人工栽培和改良，才培植成现在既高产又高糖和组织完善的高光效的优良品种。

中国古代称甘蔗为“拓”。汉书开始用“甘蔗”称之。据植物学家和考古学家的考证，中国和印度是野生甘蔗的原产地。后来向西传入阿拉伯、埃及；再经地中海传入西班牙和美洲，并向南传入南太平洋各岛国；现在蔗区遍布五大洲。

（二）甘蔗制糖技术是中国的一项古发明

1. 新石器时代红糖粉的面世

甘蔗是由“芒”科植物，经过亿万年进化来的。新石器时代的夏商时期，四川地区属温湿的亚热带气候，沱江流域的内江和成都平原地区，到处长满甘蔗。

相传彭祖（原姓钱名铿，出生于四川省彭山县，长寿 800 岁，是黄帝的第七代孙）

作者简介：彭泽文，华南理工大学，广东广州 510640。

[1] 路甬祥. 走进殿堂的中国古代科技史 [M]. 上海：上海交通大学出版社，2000.

受命开展探寻长生不老药——仙丹，他与亲属及弟子等夜以继日地对万余种植物及其果实进行探寻和筛选工作，力求寻找延年、益寿、营养、健康、安全的食品。他们以沱江两岸采集到野生甘蔗的样品对成条的甘蔗荆剥壳去叶、除根、洗净之后，用红铜刀（中华的先祖在七千年前就发现了红铜，并制成了生活用具）切片、切丝、榨汁等预加工，后改用重器对成条成熟的甘蔗进行重击、敲打，使甘蔗条破裂变扁，然后进行扭绞、拧压，获取蔗茎中流出的汁液；当用盆收集到一定容量时，将蔗汁倒入陶锅中煮炼、蒸发、浓缩；当浓缩成为粘稠状的糖浆，并达到相当的粘稠度之后，将糖膏倒到陶盆上，经降温和不断搅拌，糖膏就变成橙黄色粉状的结晶糖。在世界的甘蔗原产地——中国，开创了人类甘蔗制糖的纪元。

2. 甘蔗石灰法制糖技术的诞生

已制成的神奇食品——橙黄色的“糖粉”，是否是“仙丹”？彭祖首先进行的是安全性的毒性试验，即用这些仙丹去喂猪、喂狗，证实猪、狗不但没死，反而更肥、更胖之后，彭祖身边的亲人和弟子们也开始食用，都觉得像蜂蜜一样香甜、甘美。这样彭祖又继续开展该项试验。首先像研制雉鸡羹一样，在蔗汁、糖浆中加入稻禾、麦、豆类、莲子……经过煮制，做成各种香甜可口的羹汤（粥）类；同样又在糖膏中加入花生、核桃仁和各种豆类，制成花生糖、核桃糖之类的固体糖类食品……

在继续对蔗汁的浓缩加工进行深入的研究中，彭祖也像研制各种羹汤类食品习惯于加入猪油和食盐一样，当蔗汁浓缩到一定程度时，就加入少量的猪油，结果发现蒸煮锅上面的许多泡沫消失了，此后就用猪油作为制糖过程的消泡剂；当加入食盐之后，发现有许多副作用，就停止使用，改用一种能使鸡蛋、鸭蛋蛋白质凝固制成皮蛋的另一种盐——石灰。加石灰于蔗汁中，能凝聚蔗汁中的蛋白质之类的胶体物质，对蔗汁的澄清起着重要的作用。这就是甘蔗石灰法制糖工艺的发现，是制糖技术的另一项进步。

（三）甘蔗制糖作坊的创建

1. 粉碎式甘蔗压榨提汁装置

在早期的探索阶段，甘蔗的破碎和提汁，都是依靠利器或重器来解决。在扩能的提高生产能力阶段，彭祖设计制造了石碓对蔗茎起破碎作用。成条的甘蔗，经刀砍切成小段，将小段的蔗茎放入石臼或石碓窝中，再用人力提升石碓头或石杵头，并使其快速下降依靠所产生的冲力，将蔗茎击碎，如此反复，直到将蔗茎撞击成丝粒状为止。

将经过破碎成丝粒状的蔗料，包裹成与榨机槽孔大小相宜的球体，装入压榨槽内，装好间隔夹板，装入木楔，用撞机施加挤压力，将蔗汁压出，并经集汁沟的小孔，流入压榨机底部的集汁缸中。榨汁一次后拆机，在蔗料中再喷淋少量清水，再装机压榨，如此重复多次，使蔗料中所含的糖分尽量榨出。如古籍记载：“凡开榨，辟中凿划平槽一条，以宛凿入中，削圆上下，下沿凿一小孔，削一小槽，使汁出之时流入承藉器中。其槽约长三四尺，阔三四寸。”“空中其量随木大小，大者受石有余，小者受五斗不足。”“凡榨木巨者，围必合抱，而中空之，其木樟为上，檀（香）与杞（柳）次之，此三木者脉理循环结长，非有纵直纹。故竭力挥椎，实尖其中，而两头无璺拆之患。”这是早期压榨甘蔗提取蔗汁

的一种原始压榨机（图1）。

2. 甘蔗压榨式制糖作坊的诞生

基于改变原始的用臼舂、杵臼舂对蔗茎破碎的方式，随后出现了对整条甘蔗进行压榨、提汁的压榨机。这是平卧式两辊压榨机。压榨机长5米，装嵌后其厚度 $\frac{4}{3}$ 米，两端厚各 $\frac{2}{3}$ 米。

用两根加工成龙门状的机架将底辊的槽底削成直线形的出汁沟，并在底辊的中央底槽加钻出汁孔，保证榨出的蔗汁顺畅地流经榨机底部的受汁桶，借以解决榨出汁的重吸现象。锯齿形的结构有利于增大压榨面积，齿尖则加大了压榨的挤压力，有利于甘蔗茎的破碎和蔗汁的榨出。

这是现代压榨辊刻齿开沟的雏形。压榨机的材料是取自成都地区原始森林中的樟木、檀香木或楠木等优质坚硬的巨形林木。一般用单株树木，经精细加工而成。

彭祖在炼丹的过程中，又发明了青铜冶炼技术，这项技术又日趋成熟。彭祖特地为甘蔗蔗糖作坊设计了用于蒸发、煮炼蔗汁用的青铜釜，并设计和建造安装了青铜釜的灶台，使蔗汁的煮炼过程更趋科学化。同时又在附近的山地砍伐了杉树，指导木匠们制作了用于红糖粉冷却、加工的糖槽。

至此，大彭国甘蔗制糖作坊的设备，从压榨提汁—加灰澄清—蒸发煮炼糖膏—冷却加工成红糖粉的制糖全过程基本配套完整，在成都地区出现中国第一间甘蔗石灰法制糖作坊。

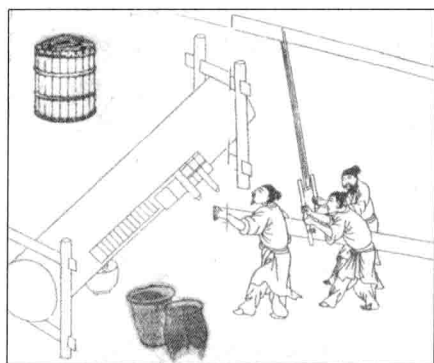


图1 古代甘蔗压榨提汁装置

二、甘蔗制糖作坊工艺设备的完善

（一）畜力两辊式甘蔗压榨提汁装置

早期的甘蔗提汁，是利用人工施加压力形成的水平或垂直挤压力将蔗料挤压出蔗汁；每榨一批蔗料再拆机喷淋渗浸水，然后又装机重榨提汁。鉴于人的力量大小的极限性和装机拆机的繁琐，为了提高生产能力，将两辊（板）卧式压榨机改为竖式两圆辊压榨机，并由人工施加压力改为牛力拉动的圆周方形剪切力，大大提高了压榨机提汁能力，并使机械事故减少。牛力拉动的竖式两辊式甘蔗压榨装置如图2所示。

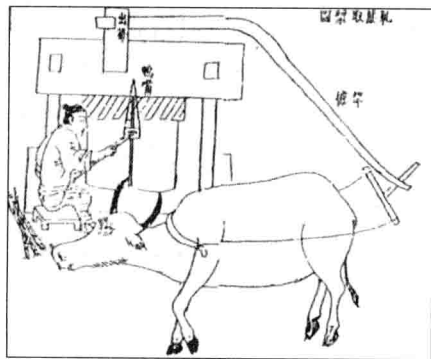


图2 牛力甘蔗压榨装置

（二）蔗汁加石灰充气澄清工艺

甘蔗制糖技术在四川地区城镇、乡村推广时，没有强调蔗汁一定要加石灰，加石灰与否由各作坊自行决定。大彭国建都彭城后，当该