

高等学校轻工专业试用教材

甜菜制糖工艺学

大连轻工业学院
齐齐哈尔轻工业学院 合编

轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

甜 菜 制 糖 工 艺 学

大 连 轻 工 业 学 院
齐 齐 哈 尔 轻 工 业 学 院 合 编

轻 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书系统阐述甜菜制糖的工艺过程、基本原理和工艺计算等,对原料甜菜,糖厂的物料、热量和供水衡算,以及精糖的制造也作了必要介绍。

本书经轻工高等学校制糖专业教材编审委员会审定,可作为高等院校试用教材,也可供制糖专业人员参考。

高等学校轻工专业试用教材

甜菜制糖工艺学

大连轻工业学院、齐齐哈尔轻工业学院 合编

*

轻 工 业 出 版 社 出 版

(北京阜成路3号)

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

*

850×1168毫米1/32 印张:22 12/32 字数:1022千字

1982年6月第一版第一次印刷

印数: 1—4,500 定价: 3.00 元

统一书号: 15042·1681

编者说明

本书根据 1978 年 9 月轻工高等院校制糖专业教材编审委员会制定的“甜菜制糖工艺学”编写大纲和轻工业部关于教材编审原则的要求，由大连轻工业学院和齐齐哈尔轻工业学院合编。

本书系统阐述甜菜制糖的工艺过程、基本概念、基本原理和主要的工艺计算。对原料甜菜，糖厂的物料、热量和供水衡算，以及精糖的制造也作了必要的介绍。

本书经轻工高等院校制糖专业教材编审委员会审定，可作为高校试用教材，也可供从事制糖专业的人员参考。

本书的绪论、甜菜及贮藏、甜菜预处理、切丝由杨祁涛编写；渗出由杜松龄编写；清净、蒸发、糖厂物料、热量和供水衡算由沈香临编写；煮炼、精糖制造由杨祁涛、王鞠合写。杨祁涛主编，由轻工业部甜菜糖业科学研究所马彰主审。

本书邀请了王维文、刘道元、王素新、王本贵、王明利、鲍镇欧、于是今、李荫繁、张威俊、张雪清等同志参加审稿。孙占奇同志对本书也提出过宝贵意见。对上述诸同志的帮助和指导，表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中难免存在缺点和错误，请读者批评指正。

编者

目 录

绪 论	1
一、国外甜菜糖业的历史及现况	1
二、我国甜菜糖业的历史及现况	4
三、我国甜菜糖厂现行工艺流程	5
第一篇 甜菜及其保藏	11
第一章 糖用甜菜	12
第一节 甜菜生物学基础	12
第二节 甜菜的种植	22
第二章 甜菜的化学成分	31
第一节 甜菜化学成分及工艺品质的评价	31
第二节 甜菜化学成分的性质	36
第三章 甜菜保藏	72
第一节 概 述	72
第二节 甜菜保藏中的变化	74
第三节 甜菜保藏方法	79
第二篇 渗 出	91
第一章 甜菜预处理	91
第一节 甜菜的收购、贮运	91
第二节 甜菜的流送与升送	93
第三节 甜菜的洗涤	105
第二章 切 丝	110
第一节 切丝机与切丝刀	110
第二节 切丝要求与操作	116
第三章 糖分的渗出	122
第一节 渗出的基本原理	123

第二节	扩散定律及扩散系数	129
第三节	渗出过程的数学分析	132
第四节	常用渗出器及其流程特点	142
第五节	影响渗出过程的主要因素	154
第六节	渗出操作及自动调节	175
第七节	渗出的工艺效果及评价	178
第八节	渗出过程的几项查定	182
第九节	废粕压榨及压粕水的利用	188
第三篇	糖汁清净	197
第一章	双碳酸法清净及其基础化学	198
第一节	概 述	198
第二节	双碳酸法的基础化学	208
第二章	双碳酸法清净工艺	224
第一节	加 灰	224
第二节	饱 充	244
第三节	糖汁硫漂	264
第四节	沉降及过滤	275
第五节	石灰及二氧化碳的制备	288
第六节	清净管理	305
第三章	其它清净方法及流程	313
第一节	几种流行的碳酸法工艺流程	313
第二节	离子交换法	326
第四篇	糖汁蒸发	342
第一章	蒸发过程的化学变化及积垢的防除	345
第一节	蒸发过程的化学变化	345
第二节	蒸发罐积垢的生成	355
第三节	蒸发罐积垢的防除	360
第二章	蒸发热力方案	367
第一节	各种蒸发方案的比较与选择	368

第二节	提高热能利用的途径	376
第三节	蒸发操作	380
第三章	蒸发计算与查定	383
第一节	蒸发过程的基本计算	383
第二节	蒸发查定及热力系统的调整	405
第五篇	煮 炼	419
第一章	蔗糖结晶的基本理论	420
第一节	晶体的基本知识	420
第二节	结晶技术的理论基础	430
第二章	煮 糖	464
第一节	概 述	464
第二节	糖膏煮制	471
第三节	不正常现象及分析	501
第四节	煮糖物料调配	509
第五节	煮糖技术的进展	531
第三章	助 晶	546
第一节	助晶基本原理	546
第二节	助晶管理	556
第三节	连续助晶	560
第四章	分蜜、干燥和包装	565
第一节	分 蜜	565
第二节	干 燥	580
第三节	筛分、包装和贮藏	585
第五章	废蜜的形成与废蜜糖分回收法	592
第一节	废蜜的形成	592
第二节	废蜜的糖分损失	598
第三节	从废蜜中回收糖分	605
第六篇	糖厂物料热量供水衡算	615
第一章	物料平衡计算	616

第一节	渗出工序物料平衡计算(以Dds连续渗出器为例).....	618
第二节	清净工序物料平衡计算	620
第三节	蒸发工序物料平衡计算	632
第四节	煮炼工序物料平衡计算	634
第二章	热量(汽)平衡计算	650
第一节	渗出工序热量衡算	650
第二节	清净工序热量衡算	653
第三节	煮糖工序耗汽量计算	656
第四节	蒸发工序耗汽量计算	658
第三章	供水平衡计算	664
第一节	用水和供水项目	664
第二节	各种用水量计算	666
第三节	冷水与热水的平衡	674
第七篇	精糖的制造	678
第一章	重结晶法制造精糖	679
第一节	原料与工艺流程	679
第二节	精糖生产基本原理	682
第三节	精糖的煮制	688
第二章	原糖加工	692
附表 1	石灰乳中的 CaO 含量与波美度、锤度及 比重对照表	701
附表 2	饱和水蒸汽表 I (变数为压力)	702
附表 3	饱和水蒸汽表 II (变数为温度)	703
附表 4	低于大气压下饱和水蒸汽的压力与温度 对照表	705
附表 5	蔗糖在不同温度的水中的溶解度	705
附表 6	糖液在 20°C 时锤度、比重、波美度对照表.....	707

绪 论

蔗糖是一种甜味剂，具有较高的营养价值和特有的甜味，既可以直接食用，又是食品、饮料、医药工业的重要原料。

蔗糖在化学上属于碳水化合物中的双糖，是植物光合作用的产物。

现阶段制造蔗糖的原料主要是甘蔗和甜菜。

人们在日常生活中见到的白砂糖、绵白糖、赤砂糖和红糖等，尽管其外观和风味不同，但主要成分都是蔗糖，是制糖工业的产品。

一、国外甜菜糖业的历史及现况

和甘蔗制糖相比，甜菜制糖在世界上的兴起要晚得多，只有近二百年的历史。甜菜起源于阿拉伯，当时是为了食用其叶或用其块根作饲料而种植的。十字军东征时甜菜被移植到西欧^[1]。1747年德国化学家马格拉夫(A. S. Marggraf)首次成功地从甜菜中分离出蔗糖，并结晶成与甘蔗糖同样的糖。1776年马格拉夫的学生阿哈尔德(C. F. Achard)成功地选育出世界上第一个糖用甜菜品种(西里西亚品种)和提出制糖的方法。1802年在普国西里西亚的库诺恩(Cunern, Silesia)建立了世界第一座甜菜糖厂^{[2][3]}。

法国对马格拉夫的研究十分关心，1775年法人菲尔木兰(louis de Vilmorin)从西里西亚引入甜菜，经过努力育种形成一种新的品系(菲尔木兰系)。1811年在帕西(Passy)也建立了甜菜

糖厂。

19 世纪初由于英法间的经济斗争，拿破仑政权于 1806 年宣布大陆封锁政策，断绝了由英国人从其殖民地输入甘蔗糖的来源，因而极大地刺激了处于萌芽状态的欧洲甜菜糖业，加之普、法两国政府采取奖励政策，促使甜菜糖业在欧洲发展起来，并逐步采用新设备和新的生产方法。例如：1812 年普国发明了真空煮糖罐，1821 年法国人介绍甜菜切片热水浸渍提糖法，被认为是渗出法提糖的开端。1840 年开始采用二氧化碳代替硫酸中和加灰糖汁^[4]。此时美国发明的离心分蜜原理也为欧洲糖厂所采用。这样，1840 年以后甜菜糖业便开始走向近代机械化工的道路，后人称该年为甜菜糖业的奠基年。

此后从 1840 年至 1902 年半个世纪甜菜糖在产量方面向甘蔗糖业急起直追，至第一次世界大战前夕已接近了甘蔗糖产量^[5]。大战后因受战火破坏，使两者间差距又加大了（仅为甘蔗糖的 60%）。二次世界大战后甜菜糖增长较快，近二十年大致保持甜菜糖占世界总产糖量 40% 的状态。1977/1978 生产期甜菜糖产量为 3634 万吨，而甘蔗糖产量为 5625 万吨^[6]。

十九世纪后半叶欧洲各国如丹麦、瑞典、挪威、瑞士、意大利、英国、奥地利、匈牙利、比利时和俄国等均先后发展甜菜制糖工业，但其中以德、法、奥、俄等国为主。

美国于 1870 年在加州建立了西半球第一个成功的甜菜糖厂^[7]，经过一个多世纪以来的发展，1977/1978 生产期美国甜菜糖产量居世界第四位^[8]。

当今甜菜糖约 80% 产于欧洲，其余近 20% 分布于北美、南美、亚洲、中亚和地中海地区。随着甜菜种植逐渐南移，温暖地区、甚至亚热带地区试种甜菜，以至建立甜菜甘蔗联合加工厂。

随着科学技术的日新月异，世界甜菜糖业生产技术也有较快的发展，发展的趋势是大型、连续、高效，不断提高机械化和自

动化水平。现今世界上千吨以下的糖厂日益减少，四千吨以上，以至万吨糖厂日益增多。大型化、连续化和自动化，使工艺过程稳定，产量、质量、劳动生产率等都有明显的提高，而消耗、成本相应降低。

为了适应加工能力的增大和加速处理新鲜甜菜，相应建立原料基地，集中种植、建立提汁站将加灰渗出汁送往糖厂，或采用糖浆贮存以延长加工期。

在甜菜种植方面，除已实行机械化外，普遍重视选育和推广新品种，目前美国倾向于培育特定适应性的单粒型二倍体品种；欧洲各国倾向于培育高产的单粒型多倍体品种。如瑞典已全部使用遗传单粒种，芬、英、西德等国已有 90% 播种面积使用遗传单粒种^[9]。国外在发展甜菜生产中致力于提高单位面积产量，目前世界甜菜单产平均已达 30.63 吨/公顷，法、比、美、日、西德、荷兰等国单产平均为 40 吨/公顷以上。

在制糖设备方面，五十年代及六十年代主要是实现机械化、连续化和自动化，近十年来主要是发展高效化、大型化，以适应糖厂规模的扩大。如目前世界最大的连渗器 RT-4 转筒式渗出器的直径达 7 米，长达 50 米，日加工甜菜 1 万吨；标准式蒸发罐的传热面积达到 4000 米²，汁汽室直径为 6.5 米^[10]。

在工艺技术方面，近二十年来发展的趋势主要是：适应设备连续、高效、大型化、自动化的要求；改进“经典”的双碳酸法流程以适应甜菜质量的变化；采用辅助清净手段以提高清净效率。目前双碳酸法的清净效率已由五十年代的 35~40% 提高到 45~50%，采用辅助清净手段，则可达 80~90%^[11]。高效的清净工艺，使无废蜜成糖成为可能，如日本已试验成功喷雾成糖法。在研究领域中也引进了一些新原理和新手段，如超滤、电渗析、反渗透等，预示着甜菜制糖工艺将有重大的变革。

二、我国甜菜糖业的历史及现况

甜菜在我国古代已有种植，根据古书《本草经集注》和《名医别录》的记载，远在公元三百年前的汉、魏时代已开始有甜菜的栽培。据唐代《新修本草》和《本草拾遗》记载，甜菜曾在黄河、长江流域作为蔬菜普遍栽培。其后宋代《嘉佑本草》、元代《五稂农书》、《农桑辑安》以及明代的《本草纲目》、《群芳谱》和《农政全书》均对甜菜有所记载。当时甜菜称为“恭菜”，俗称“蓟苳”，是利用其茎叶充作蔬菜和饲料，其根由于有甜味当时作为滋补药剂^[12]。

甜菜作为糖料大量种植始于1906年，当时波兰商人在东北黑龙江省的阿什河畔引入糖用甜菜种子进行试种，并于1908年在阿城建立第一座机制甜菜糖厂。稍后，清朝官僚在呼兰建了一个糖厂。东北沦陷后，日本侵略者于1936年在呼兰的这个厂的基础上建立哈尔滨糖厂，同时成立满洲制糖株式会社，建立了范家屯糖厂。1920年中国人在山东济南建立了溥益甜菜糖厂，但不久即闭厂。

解放前，我国处于半封建、半殖民地社会，甜菜制糖工业得不到发展，仅有上述几家糖厂而且设备陈旧，生产落后，处于半停产状态。

新中国成立后，甜菜制糖工业迅速发展，除修复和扩建东北三个老厂外，又自行设计、兴建了和平、红光、八一、呼和浩特等糖厂，以及从国外引进成套设备建立了新中国、友谊、包头等糖厂。我国甜菜种植区域已突破北纬40°线南移，中部地区也建立了一些甜菜糖厂。目前，我国甜菜制糖已发展成为一个完整的工业部门，产量和质量都有很大的提高。

解放前我国糖用甜菜种子均从国外进口，解放后发展了甜菜育种工作。已培育出三十多个适合各地气候、环境、含糖较高的良种。1963年以来，我国甜菜种子已能自给^[13]，又成功地培育

了多倍体甜菜品种，制造出机械单粒种。遗传单粒种也在选育中。

解放前我国甜菜糖业生产技术极为落后，解放后一面吸收国际先进技术，一面结合我国情况进行技术改造，取得了一些成果。如由甜菜直接生产精制绵糖，利用瞬间冷主灰热反应加工腐烂变质甜菜，采用管道硫漂、石灰窑正压操作、种子煮糖、连续助晶和三膏连续分蜜等新工艺及操作。在试验研究方面进行了滤泥活化、电磁防垢、离子交换树脂软化糖汁和新清净流程等方面的试验和研究。

设备方面，已设计和制造了斜槽式、塔式、桨叶式、喷淋式连续渗出器、转筒式除石器、碟式密闭过滤机，卧式压粕机、增稠过滤机以及锥形连续离心机等新设备。

自动控制在不少糖厂中已有采用，如温度、压力、流量、pH 的自控，渗出工序自动控制，一砂间断煮糖自动控制以及离心机程序控制等。

在综合利用方面，我国糖厂普遍建立了综合利用车间，用废蜜制造酒精、味精、白酒、酵母、柠檬酸、丙酮、丁醇等发酵产品。用其废液制饲料酵母，提取钾盐、甜菜碱等。

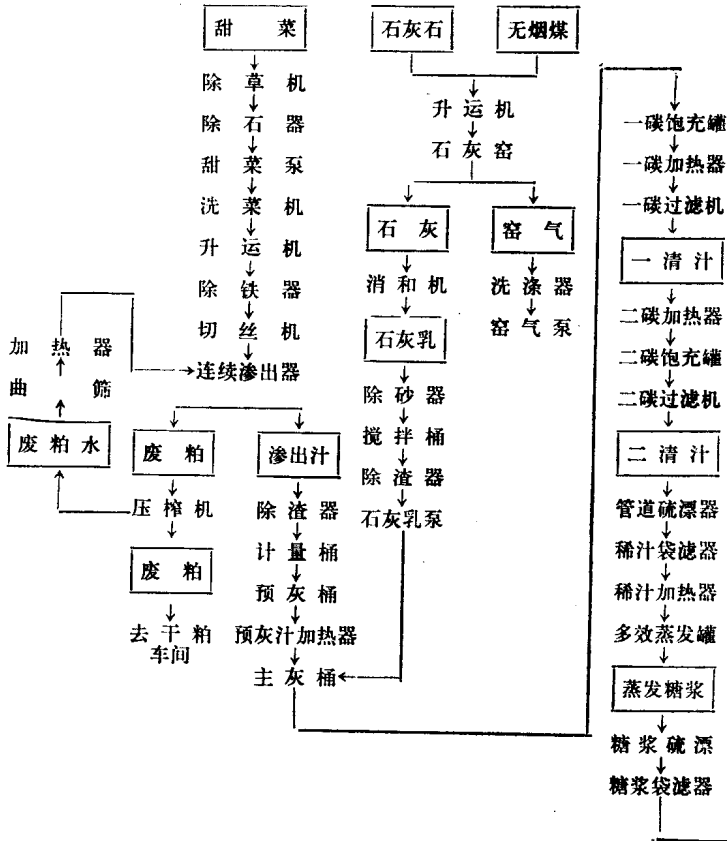
甜菜茎、叶、青头和废粕营养价值很高，当前已被广泛用作牲畜饲料，在发展我国畜牧业中收到了良好的效果。

随甜菜制糖工业的发展，已培养了一支专业的科技队伍。1959 年以后相继建立了糖厂设计、甜菜栽培、制糖工艺等设计和研究部门，建立了糖机设备制造厂。在高等和中等学校设置了甜菜制糖专业。

三、我国甜菜糖厂现行工艺流程

我国甜菜糖厂目前通用的生产工艺流程为双碳酸法。整个工艺过程分为六段：1. 甜菜预处理，2. 糖分提取(渗出)，3. 糖

附图 1 双 碳 酸 法





汁清淨，4. 蒸发，5. 煮糖，6. 分蜜、干燥及包装。

使用水力冲卸器将贮存在甜菜窖中的甜菜按加工量的要求，均衡地冲卸入流送沟，借水力输送至制糖车间，甜菜在输送过程中经过除草、除石、除砂，最后进入洗菜机。清洗干净的甜菜经过升运设备升高，落入磁力除铁器，经除铁后的甜菜借重力进入切丝机和以后各工序。

甜菜在切丝机中切成细薄菜丝，经自动称量后送往连续渗出器，与渗出用水形成连续逆流状态。菜丝被充分提取糖分后称为废粕。废粕经压榨脱水后送往废粕干燥车间，废粕水经除渣后送回渗出器以回收其中的糖分。从渗出器首端抽取的含糖最高的糖汁称为渗出汁，经过除渣、计量后送往清淨工段。

由于渗出汁中含有多种非糖分，不能直接浓缩和煮糖，要在清淨工段中进行一系列处理。首先是向渗出汁中加入少量石灰，称为预(加)灰。预灰目的是使胶体凝聚和沉淀有机酸钙盐。预灰汁经加热后加入对甜菜重 2.0~2.5% 的石灰，称为主(加)灰。目的是使糖汁中某些非糖分分解，并为一碳饱充创造条件。

向主灰汁中通入二氧化碳沉淀石灰的过程称为一碳饱充。一碳饱充生成大量的碳酸钙沉淀，吸附非糖分，同时起助滤作用。一碳汁经加热后进行过滤，便获得纯度已有相当提高的一清汁。

一碳饱充要求一清汁中剩余少量石灰，用二氧化碳除去少量石灰和进一步除去钙盐的过程称为二碳饱充。过滤后得到二清汁。往二清汁通入二氧化硫的过程称为稀汁硫漂，其目的是降低糖汁色值和粘度。硫漂汁经袋滤后便得到纯度 90% 以上，固形物含量 14% 左右的稀(糖)汁，送往蒸发工段。

稀汁经过多效蒸发浓缩成为含固形物 65% 的浓汁，称为蒸发糖浆。经硫漂、袋滤后送往煮糖。

蒸发工段除浓缩糖汁外，还产生大量二次蒸汽(汁汽)和凝结水可供其它加热设备之用，是制糖车间用汽和供汽的中心。

将糖浆(或糖蜜)在结晶罐中进一步浓缩成为过饱和糖液而析

出结晶糖的过程称为煮糖。而结晶糖与母液的混合物称为糖膏。

由蒸发糖浆和低质糖回溶的再溶糖浆在结晶罐中煮成的糖膏叫一号糖膏(一膏)，一膏经分蜜便得到一砂糖(白糖)，和一原蜜、一洗蜜。一砂糖是糖厂的成品，而一原蜜和一洗蜜因含有较多糖分，需要再度煮制，所得的糖膏叫二膏，二膏经分蜜便得到二砂糖和二混蜜。二混蜜再度煮制，所得的糖膏叫三膏，三膏经助晶，使晶体继续长大，以回收更多的糖分。助晶终了的三膏经过分蜜便得到三砂糖和废蜜。三砂糖和二砂糖都是低质糖，一般采取回溶或作种的办法返回煮糖系统，最终煮制一砂糖。废蜜虽含有约 50% 的糖分，但也含有许多妨碍糖分结晶的非糖分，故不能再度煮制，排出车间，做为发酵原料。

一砂糖经过干燥、筛分，质量符合国家标准的，做为成品经过称重、包装、入库。如果产品是绵白糖，除要求颗粒细小外，还须在一膏分蜜所得的白糖中加入 1.5~2.5% 的转化糖浆，使成品保持绵软及具有特殊的风味。

总之，我国甜菜制糖生产工艺在连续渗出、双碳酸法清净、三段煮糖的基础上，结合我国各地区的甜菜特别是冻甜菜的特性，形成了自己的技术路线，今后将在实现四个现代化的道路上阔步前进。

参 考 资 料

1. 杨昌仁译，[苏] П. М. 西林《甜菜糖与精炼糖生产工艺学》，P 3，轻工业出版社，1961 年。
2. 桶口弘《糖业事典》，P 48~51，日本内外经济社出版。
3. R.A.Mc Ginnis《Beet-sugar Technology》2 nd. edition, P 162, 1968.
4. 刘道元“甜菜糖汁清净过程的进展”《甜菜糖业》制糖分册，1979 年第一期。
5. R.A.Mc Ginnis《Beet-sugar Technology》2 nd. edition, P 726,