

甘蔗渣制浆造纸

窦正远 主编

华南理工大学出版社

甘蔗渣制浆造纸

窦正远(主编) 邱玉桂

编

詹怀宇 周庆乐 刘淑端

华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书在总结国内外甘蔗渣制浆造纸的经验和研究成果的基础上,系统论述了甘蔗渣纤维原料、甘蔗渣制浆各工序(包括备料、各种制浆方法、洗涤筛选、漂白和黑液碱回收)的基本原理、生产工艺、新技术和新理论,甘蔗渣浆的打浆和抄造性能以及甘蔗渣浆的特性对打浆、抄造性能和纸张性质的影响。

本书适于造纸工业的生产、设计和研究人员、工程技术人员和技术工人,也可供大专院校造纸专业的师生参考。

责任编辑:张巧巧

甘蔗渣制浆造纸

樊志远 主编

华南理工大学出版社出版发行

(广州 五山)

广东省新华书店经销 韶关新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 445千

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数 1—3 000

ISBN 7-5623-0148-4/TS·2(课)

定价 3.80元

前 言

随着造纸工业的飞速发展，木材纤维原料的供应日益短缺，除大力发展造林和木材综合利用外，充分利用非木材造纸原料是发展造纸工业的重要途径。甘蔗渣是一种重要的非木材造纸原料，其来源丰富，原料集中，处理方便，适宜生产很多品种的纸和纸板，特别是近年来配用部分木浆或其他纸浆已经生产出新闻纸、纸袋纸和牛皮箱版纸等几十个品种，越来越受到国内外造纸界的重视。很多国家包括木材资源丰富的美国也在研究甘蔗渣制浆造纸，一些缺少木材的国家如秘鲁、古巴、墨西哥、印度、阿根廷等都在研究利用本国甘蔗渣资源制浆造纸，采用新技术、新设备的大中型甘蔗渣制浆造纸厂相继投产。我国南方的广东、广西、福建、四川和台湾等省、自治区有较丰富的甘蔗渣资源，蔗渣用于制浆造纸已有较长的历史和相当的规模，改革开放的春风，必将使我国甘蔗渣制浆造纸工业获得进一步的发展。

我国对甘蔗渣原料造纸的特性、制浆机理及新方法、蔗渣浆的漂白、蔗渣浆打浆、抄纸的特性等进行了长期、系统和较深入的研究，特别是蔗渣快速蒸煮、漂白理论研究成果，已用于生产，取得了明显的经济和社会效益。本书总结了国内外蔗渣制浆造纸的经验、新技术和新理论，在我校编写的《甘蔗渣制浆》(轻工业出版社1977年出版)和《国内外蔗渣制浆造纸经验及发展趋势》(造纸专题情报)的基础上重新编写。

本书共分九章。第一、二章由邱玉桂编写，第三、四章由詹怀宇编写，第五、六、七章由窦正远编写，第八章由周庆乐编写，第九章由刘淑端编写，全书由窦正远主编。

由于水平所限，书中难免会出现一些错误与不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 甘蔗渣原料	1
第一节 甘蔗的生态特征及蔗茎形态解剖	1
一、概述	1
二、甘蔗属于“四碳”植物	2
三、蔗茎的组成及形态特征	3
四、蔗茎的形态解剖	5
第二节 甘蔗纤维的形态及微细结构	10
一、甘蔗纤维形态的特点	10
二、蔗秆不同位置中纤维形态的变化	11
三、甘蔗纤维微细结构的特点	13
第三节 甘蔗渣的化学成分	15
一、甘蔗的化学组成	15
二、甘蔗渣的化学成分	16
三、甘蔗渣元素分析	27
参考文献	28
第二章 甘蔗渣备料	30
第一节 甘蔗渣的储存	30
一、甘蔗渣储存的意义	30
二、蔗渣在储存过程中的变化	30
三、储存方式及其对蔗渣的影响	32
第二节 甘蔗渣的除髓	38
一、蔗渣除髓的意义	38
二、除髓率的确定	42
三、除髓的方法及设备	43
第三节 甘蔗渣的输送和料仓	49
一、胶带运输机和刮板运输机	49
二、卷管型胶带运输机	49
三、鼓风机送料	50
四、料仓	50
参考文献	52

第三章 甘蔗渣碱法蒸煮	54
第一节 碱法蒸煮过程的化学反应	54
一、碱与木素的化学反应	54
二、碱与纤维素的化学反应	55
三、碱与半纤维素的化学反应	56
四、碱与其他物质的化学反应	56
第二节 甘蔗渣硫酸盐蒸煮脱木素的历程	56
第三节 影响蒸煮的主要参数	58
一、蔗渣质量	58
二、原料的预处理	59
三、用碱量	59
四、液比	59
五、硫化度	60
六、蒸煮温度、时间与H—因子	60
第四节 间歇蒸煮的工艺与设备	62
一、间歇蒸煮的生产流程	62
二、间歇蒸煮的工艺技术条件	63
三、间歇蒸煮设备及其操作	64
第五节 连续蒸煮的工艺与设备	66
一、连续蒸煮的生产流程	66
二、连续蒸煮的工艺技术条件	68
三、连续蒸煮的主要设备	71
第六节 甘蔗渣快速蒸煮的理论和实践	75
一、蔗渣原料蒸煮脱木素的特点	75
二、蔗渣快速蒸煮的实践	77
参考文献	79
第四章 甘蔗渣其他制浆方法	80
第一节 亚硫酸镁盐法	80
一、亚硫酸镁盐法蒸煮蔗渣的生产流程	81
二、亚硫酸镁药液的制备	81
三、亚硫酸镁盐蒸煮的化学反应	83
四、蔗渣亚硫酸镁蒸煮脱木素的历程	84
五、影响蒸煮的主要因素	86
六、蔗渣亚硫酸镁盐蒸煮的工艺技术条件	88
七、蒸煮设备与操作	88

第二节 中性和碱性亚硫酸盐法	92
一、中性亚硫酸铵法	92
二、中性亚硫酸钠法	94
三、碱性亚硫酸钠法和碱性亚硫酸钠—蒽醌法	95
四、蔗渣碱性亚硫酸钠和碱性亚硫酸钠加蒽醌的蒸煮历程	97
五、几种蔗渣蒸煮方法脱木素历程的比较	100
第三节 机械法和化学机械法	100
一、国内蔗渣TMP和CTMP的试验	100
二、国外蔗渣CTMP和CMP的研究	106
三、蔗渣生产新闻纸	110
第四节 甘蔗渣制浆新方法的研究	117
一、爆破法	117
二、乙醇法	119
三、氧碱法	121
四、碱性过氧化氢法	122
参考文献	124
第五章 甘蔗渣浆的洗涤和筛选	125
第一节 甘蔗渣浆洗、选的特点	125
一、洗、选的要求	125
二、洗、选的特点	125
第二节 洗涤的原理和设备	126
一、洗涤原理	126
二、洗涤设备	127
第三节 筛选的原理和设备	137
一、筛浆原理和设备	137
二、除渣设备	144
参考文献	146
第六章 甘蔗渣浆的漂白	147
第一节 纸浆的白度和漂白	147
一、漂白的目的和要求	147
二、纸浆的颜色和白度	147
三、漂白的作用原理	149
四、纸浆白度的返黄	149
五、漂白和增白	151
六、漂白术语和概念	151
第二节 甘蔗渣浆的次氯酸盐漂白	152
一、次氯酸盐漂液的性质和制备	152

二、次氯酸盐漂白的化学反应	153
三、次氯酸盐漂白的工艺	155
第三节 甘蔗渣浆的过氧化氢漂白	162
一、过氧化氢的性质和制备	162
二、 H_2O_2 漂白的特点和优点	163
三、 H_2O_2 漂白的化学反应与无效分解	165
四、 H_2O_2 漂白蔗渣化学浆的工艺技术	167
第四节 甘蔗渣化学浆的多段漂白	170
一、氯化	171
二、碱处理	175
三、二氧化氯漂白	176
四、氧碱漂白	178
五、多段漂白的流程、工艺和影响因素	180
第五节 甘蔗渣高得率浆的漂白	190
一、低亚硫酸盐和低亚硫酸盐漂白	191
二、蔗渣高得率浆漂白的生产工艺和方法	194
三、蔗渣高得率浆漂白新技术的研究	197
第六节 甘蔗渣浆漂白的设备	198
一、浆料输送设备	198
二、混合设备	198
三、反应器	198
四、洗涤设备	200
参考文献	200
第七章 甘蔗渣浆黑液的碱回收	201
第一节 甘蔗渣浆黑液碱回收的发展	201
一、碱回收的方法和生产过程	201
二、蔗渣浆黑液碱回收的发展和经验	202
三、蔗渣浆黑液碱回收的特点	202
第二节 甘蔗渣浆黑液性质和处理	203
一、蔗渣浆黑液的化学组成和物理性质	203
二、蔗渣浆黑液的特性	206
三、蔗渣浆黑液的除硅	207
第三节 甘蔗渣浆黑液的蒸发	208
一、黑液浓度的表示方法和蒸发水量的计算	208
二、蔗渣浆黑液的多效真空蒸发	209
三、管垢的形成和消除	215
四、烟道气直接接触蒸发	217

第四节 甘蔗渣浆黑液的燃烧	220
一、蔗渣浆黑液燃烧的工艺流程	220
二、黑液燃烧过程	221
三、破回收炉及其运行	223
四、影响蔗渣浆黑液燃烧的主要因素	227
五、新型碱回收方法	230
第五节 甘蔗渣浆绿液的苛化和石灰回收	232
一、绿液的苛化	232
二、间歇苛化的流程和设备	232
三、连续苛化的流程和设备	234
四、苛化的工艺	237
五、白泥回收	238
参考文献	242
第八章 甘蔗渣浆的打浆特性和抄造性能	243
第一节 甘蔗渣浆的打浆特性	243
一、甘蔗渣浆的固有特性	243
二、甘蔗渣浆的打浆特性	243
三、影响蔗渣浆打浆特性的因素	244
四、甘蔗渣浆的合理打浆工艺	252
第二节 甘蔗渣浆的抄造性能	252
一、抄造性能的表现形式	252
二、甘蔗渣浆的抄造性能	253
三、改进蔗渣浆湿湿抄造性能的途径	256
四、甘蔗渣浆抄造各种纸张的一般配比限度	257
参考文献	258
第九章 甘蔗渣浆的特性对纸张性质的影响	260
第一节 甘蔗渣浆的特性对纸张强度的影响	260
一、纸张的静态强度和动态强度	260
二、甘蔗渣浆纸张的强度特性	261
第二节 甘蔗渣浆纸张的脆性	268
一、纸张的脆性	268
二、甘蔗渣浆脆性的测定方法	268
三、影响蔗渣浆纸张脆性的主要因素	281
四、降低甘蔗渣浆纸张脆性的主要措施	283
第三节 甘蔗渣浆纸张的伸缩率	284
一、纸张的伸缩率	284
二、甘蔗渣浆纸张的伸缩率及影响伸缩率的主要因素	285

第四节 甘蔗渣浆纸张的不透明度	288
一、纸张的不透明度	289
二、甘蔗渣浆纸张的不透明度	289
三、影响甘蔗渣浆纸张不透明度的主要因素	290
第五节 甘蔗渣浆纸张的表面结合强度	294
一、纸张的表面结合强度	294
二、甘蔗渣浆纸张的表面结合强度	295
三、影响蔗渣浆纸张表面结合强度的主要因素	295
参考文献	297

第一章 甘蔗渣原料

第一节 甘蔗的生态特征及蔗茎形态解剖

一、概述

甘蔗源于印度，并于唐朝贞观年间(公元629年)传入我国，以后又相继传到世界上其它热带、亚热带国家和地区。近百年来，交通的日益发达和科学技术的飞速发展，使甘蔗糖业获得了迅速发展。现在世界上主要的蔗糖产国有巴西、印度、古巴、澳大利亚、美国、中国和菲律宾等国。全世界年产蔗糖总量为八千万吨左右，这不但解决了全世界主要的用糖问题，也为制浆造纸、人造板、糠醛、木糖醇等与蔗渣有关的541个副产品提供了近一亿吨廉价的蔗渣原料。

甘蔗糖业的发展与甘蔗育种的发展是相辅相成、互相促进的。目前，世界各主要蔗糖产国、地区均有自己的育种基地和自成体系的甘蔗品种系列(如表1-1)。

表1-1 世界各主要产蔗国、地区的甘蔗品种系列

国家及地区		品种代号及示例
美国	佛罗里达州	CP, 如CP65—35, CP63—558等
	夏威夷	H, 如H61—467、H 32—8560等
澳大利亚		Q, 如Q58、Q90、Q102等
印尼		POJ, 如POJ2878、POJ2725等
印度		CO, 如CO281、CO213、CO 290等
巴西		RB, IAC、CB、如RB70141等
中国	广东	广东1号至14号、尚有广东63/237、广东65/1378等 海南岛的崖城65/1、崖城58/43等
	广西	桂糖1号至13号
	福建	闽农73/35、75/47等, 闽糖64/263等
	四川	川蔗1号至14号, 尚有甜城1号等
	江西	赣蔗1号至14号
	台湾	F, 如F108、F134、F156、F164、F178等以及新台糖1~5号

甘蔗的产量、宿根性，以及蔗茎的形态、颜色、含糖量、纤维分含量等均随品种的不同而异。大茎肉蔗，其节间短而径粗大，蔗皮软且呈红色，纤维分含量低；竹蔗则细茎而节修长，纤维分含量高，蔗皮坚硬，糖分含量低。

甘蔗的宿根期，大部分国家为2~3年，毛里求斯甘蔗的宿根期长达7~8年，古巴甘蔗的宿根期最长，一般为10~11年(最长的达20年)，与种竹子颇为相似。

甘蔗的成熟期，随品种不同及地域的差别而异。同一地区，甘蔗有早、中、晚熟之分；不同地域，相差更大。年间温差大、有霜冻期的地方，甘蔗的生长期短(有的仅9个月左右)，蔗茎短，甘蔗产量及糖分含量都较低；气候炎热地区，甘蔗生长期长(可达14~16个月)，茎较长，蔗产量及糖分含量都较高。夏威夷终年无霜，甘蔗的生长期长达两年，茎高达5~6m。

甘蔗的含糖量，有的高达15~16%，也有的低于8~9%。纤维分含量，有的低于10%(甚至低至5~6%)，也有的高达17%。美国新培育出来的品种，含糖量为7~8%，含纤维分高达35%。泰国甘蔗的糖分含量平均为11.85%，纤维分含量为13.85%；澳大利亚甘蔗的糖分为14~15%(1968年平均为16%)，纤维分则高于15%；中国广东省甘蔗的标准糖分含量为13.3%、纤维分含量为12.5%。

总的来说，成熟的蔗茎，高度一般为2~4m，蔗茎直径为2~4cm，含糖量为11~15%，纤维分含量为10~15%。

二、甘蔗属于“四碳”植物

1. 光合植物分类

自然界中的高等植物，根据各自光合作用中间产物的不同，可分为C₃植物和C₄植物。绝大多数绿叶植物(包括所有树木和大部分禾本科植物)，都属于C₃植物。而C₄植物则仅有甘蔗、玉米等少数植物。

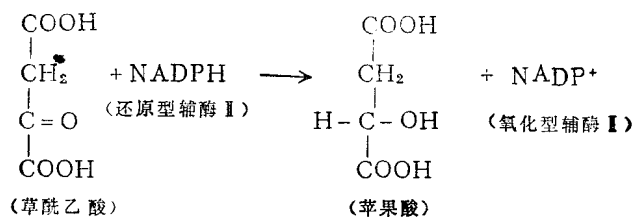
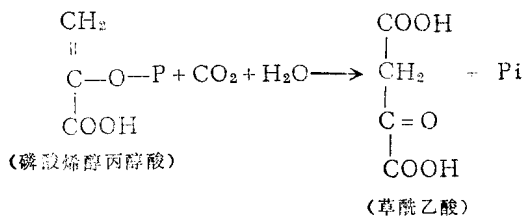
所谓C₃植物，是指在光合作用时，光合碳的还原途径是按卡尔文(Calvin)循环进行的植物。循环中，CO₂的最初受体是3-磷酸甘油酸(即3-PGA)。反应式如下：



(二磷酸核酮糖)

由于3-磷酸甘油酸分子中含有三个碳原子，故植物学上把这类植物称为C₃植物。

哈奇和斯莱克(Hatch and Slack)的研究认为，地球上少数植物在光合作用时，固定CO₂的最初产物是四碳双羧酸——苹果酸和天冬氨酸，主要反应如下：



因为苹果酸、天冬氨酸分子中均含有四个碳原子(及两个羧基),故植物学上把主要以哈奇——斯莱克途径固定 CO_2 的植物称为 C_4 植物。

2. C_4 植物的优越性

C_4 植物的光合作用效率甚高,其光合强度达到 $50\sim 60\text{mg CO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$, (C_3 植物的光合强度仅 $35\text{mg CO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$);而其 CO_2 的补偿点则低于 5 ppm ,即 C_4 植物在空气中 CO_2 的浓度低至 5 ppm 时仍能正常生长(C_3 植物的 CO_2 补偿点为 $40\sim 60\text{ ppm}$)。 C_3 植物的光呼吸(即光合作用时也吸入 O_2 并放出 CO_2 的过程)速率高; C_4 植物的光呼吸速率则很低,且由于 C_4 植物固定 CO_2 效率高,可以把光呼吸中释放出来的少量 CO_2 大部分利用起来。显然,作为光合生物来说, C_4 植物较 C_3 植物优越得多。

3. 甘蔗属于 C_4 植物

格拉斯苏(Glasziou, K.L)和波尔(Burr, G.O)等通过甘蔗的光合作用、细胞代谢及分解作用等方面的研究,证明甘蔗属于 C_4 植物。正是由于甘蔗的光呼吸作用甚微,光合强度高、 CO_2 补偿点低、光合效率高等特点,使甘蔗在光合作用时物质的积累速度甚快,具有良好的丰产基础,单位面积的产量之高,是其它农作物所无法比拟的。世界上甘蔗产量最高的埃塞俄比亚和秘鲁,分别为 158t/ha (158吨/每公顷)和 156t/ha ;美国新培育出的高纤维分(高达35%)甘蔗,产量为 195t/ha 。波尔和格拉斯苏从理论上估计,在十二个月的生长期中,现有甘蔗品种的产量最高潜力为 280t/ha 。

近期的研究表明,甘蔗的净能比大于1(即由甘蔗制备的酒精的能量,大于甘蔗生长时所吸收的能量及加工时所消耗的能量),远高于其它农作物。

理论上的研究和生产的实践,使甘蔗在国际上被当做可再生资源中产量最高、最重要的生物资源和能源资源。现在,全世界每年榨糖后留下的蔗渣,总量近一亿吨。这正是甘蔗这一 C_4 植物对制浆造纸工业、制板工业等所做的特殊贡献。可以预料,在植物纤维原料资源日益枯竭的今天,特别是在木材资源短缺的国家和地区,甘蔗渣的重要性将日益显示出来。发挥 C_4 植物的生理优势,以满足制浆造纸工业和人造板工业的需要为目标,培育出高纤维含量、高产量、长宿根期的新型蔗种,是我们对甘蔗育种专家们的厚望。

三、蔗茎的组成及形态特征

(一)蔗茎的组成及生长变化规律

蔗茎的长度及蔗节的节数通常都是为生长期的长短所制约的。一根完整的蔗茎由若干个节组成,茎的地下部分约有 $5\sim 7$ 节,梢部也有 $5\sim 7$ 节,是刚分化完成而未成熟的。在亚热带地区,如我国的四川内江、江西赣南、美国的佛罗里达州等地,年中有霜期,甘蔗不能越冬,生长期仅 $10\sim 11$ 个月,蔗茎约有 $20\sim 35$ 个节,实际上能用于榨糖的仅有 $18\sim 20$ 节。在北回归线以南的地区,如台湾、广东、广西及云南的南部、印度中部和古巴等地,生长时间为 $14\sim 18$ 个月,蔗茎较长,有 $45\sim 55$ 节,成熟的节可达 $30\sim 40$ 个。

在蔗茎的不同高度位置,节间长度变化是有一定规律的。地下部分(即最早长出的)几乎都是节(即节间很短),蔗径也较小;随着高度上升,节间长度逐渐变长,茎径也增粗;梢部的节间长度及直径均越来越小(如表1-2)。根据蔗茎不同位置中纤维形态的分

表1-2 蔗茎节间长度及蔗径随节序升高而变化

节序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
节长	7.1	8.1	9.2	11.6	11.3	9.8	9.3	10.5	12.0	12.3	12.3
节径	2.01	2.04	2.04	2.20	2.29	2.36	2.39	2.52	2.61	2.68	2.71
节序	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
节长	10.2	10.2	9.9	9.0	6.8	7.7	9.0	7.2	6.3	4.2	
节径	2.74	2.80	2.83	2.83	2.68	2.64	2.55	2.55	2.52	2.52	

注：节长、节径单位为cm，样品取自粤糖65/1240。

布特点可知，蔗茎中段的直径大，节间长度大，制浆造纸价值是比较高的；而梢部和基部则比较差。

表1-2表明，在甘蔗的生长周期中，蔗茎的节长及直径的发育变化是符合植物生长的S型曲线的。所谓S型曲线，指的是植物在生长过程中，不论是细胞，还是个别器官，或是整个植株，在其长度和重量的增加速度上，都表现出这样一个规律：就是开始时缓慢，后来加速，达到最高峰，以后又逐渐减慢以至完全停止。这个过程用曲线表示，正好呈“S”型，故称S型生长曲线。

(二)蔗茎的节部构造及节间形态

1.节部构造

一个完整的蔗节是由节间和节部组成的，联接节间和节部的部分称为生长带。甘蔗的节部具有甘蔗生长的全部器官，故可用蔗茎进行甘蔗育苗。蔗节的组成如图1-1。

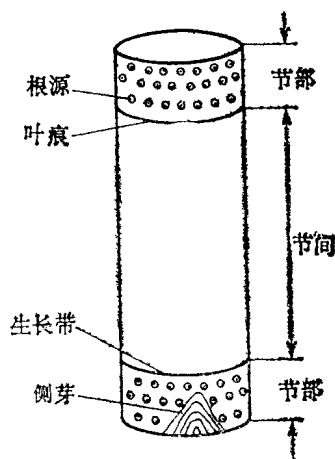


图1-1 甘蔗节的组成及构造

(1) 根源

在甘蔗无性繁殖时，根源是种苗出根的生长点，每甘蔗节有2~4行根源。在甘蔗种苗生长初期，通过根源从土中吸取水分，至2~3个月后，幼苗的母茎(或分蘖茎)长出自己的根——即株根，才逐渐代替种苗根的功能。

(2) 侧芽

蔗茎除梢端一个顶芽外，在每个节间下部根带上长出的芽，称为侧芽。侧芽是一团胚胎的原始组织，具有发育成为一株甘蔗的潜力；与根源配合，长出种根，使侧芽萌发，长出蔗苗。

(3) 生长带

又称生长环，紧接在节间之下，由薄壁细胞组成，故生长环处易折断。当蔗茎被风吹倒时，茎顶芽的生长素经由韧皮部下流至生长环，导致生长环下面的细胞迅速分裂，使未成熟的梢部节间向上弯曲，使茎直立，恢复正常的光合作用。

2. 节间的形态

蔗种不同，蔗茎节间的形态是不同的。据厄尔(EARLE·F·S)等研究，甘蔗的节间可以分为圆筒型、桶型、腰型、圆锥型、倒圆锥型、曲折型等六种类型(图1-2)。

节间是蔗茎的一个生长单位。在高温多雨时期，一个月可以形成3~5个节；低温干燥季节，则仅能长出1~3个节。故甘蔗的节间数目，不仅是蔗龄的代表，也是气候的指数。节间长度以圆筒形为最长(15~25cm)，桶型则最短(8~15cm)，故近代杂交育成的蔗种，其节间多为圆筒形。根据蔗节中纤维形态分布的特点，节间长度大的品种，对制浆造纸将是较有意义的。

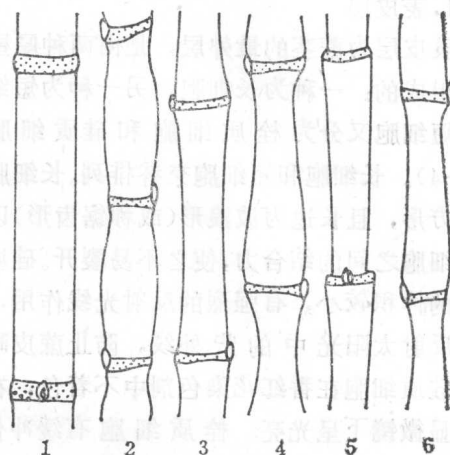


图1-2 甘蔗节间形状

注：1—圆筒形；2—桶形；3—腰形；4—圆锥形；
5—倒圆锥形；6—曲折形

四、蔗茎的形态解剖

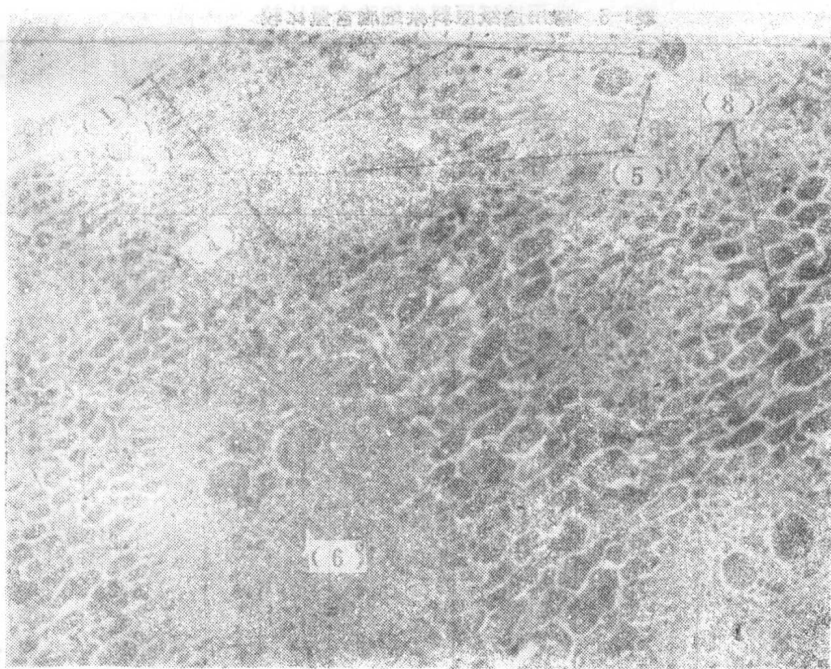


图1-3 甘蔗茎横切面的扫描电镜照片

注：(1)—表皮层；(2)—皮下纤维层；(3)—薄壁细胞组织带；(4)—维管束；
(5)—原生导管；(6)—后生导管；(7)—筛管、伴胞；(8)—基本组织。