

甘蔗制糖技术

(下册)

广东化工学院制糖教研组编

甘蔗制糖技术

下 册

广东化工学院制糖教研组编

(214)

(219)

(224)

第五篇 煮 炼

第一章 煮糖与助晶

- | | | | |
|-----|--------------------|-----|-------------|
| 第一节 | 晶核的形成与结晶的原理……(245) | 第四节 | 煮糖技术……(274) |
| 第二节 | 晶体的长大与结晶动力学……(255) | 第五节 | 生产管理……(283) |
| 第三节 | 煮糖设备……(262) | 第六节 | 助晶……(299) |

第二章 分蜜、干燥、筛分和包装

- | | | | |
|-----|--------------|-----|--------------------|
| 第一节 | 离心分蜜……(303) | 第三节 | 砂糖的筛分、包装、贮藏……(313) |
| 第二节 | 砂糖的干燥……(309) | | |

第三章 最终糖蜜的形成与提高煮炼回收率的途径

- | | | | |
|-----|-------------------|-----|-------------------------|
| 第一节 | 最终糖蜜的形成原因……(316) | 第三节 | 减少糖分损失与提高煮炼回收的途径……(319) |
| 第二节 | 最终糖蜜的标准纯度与产量(319) | | |

第四章 几种糖的制造

- | | | | |
|-----|-----------|-----|------------|
| 第一节 | 精糖……(323) | 第四节 | 片糖……(337) |
| 第二节 | 方糖……(332) | 第五节 | 粉糖……(339) |
| 第三节 | 冰糖……(336) | 第六节 | 速溶糖……(340) |

第六篇 糖厂的热源及其经济性

第一章 蒸汽的性质及蒸汽热力过程

- | | | | |
|-----|-------------------|-----|-----------------|
| 第一节 | 蒸汽的饱和状态……(341) | 第三节 | 水蒸汽表及蒸汽图……(345) |
| 第二节 | 定压下蒸汽的发生过程……(343) | 第四节 | 蒸汽的热力过程……(351) |

第二章 锅 炉

- | | | | |
|-----|------------------|-----|-------------------|
| 第一节 | 锅炉设备的一般概述……(353) | 第四节 | 糖厂常用锅炉及其选型……(368) |
| 第二节 | 燃料……(356) | 第五节 | 锅炉的运行管理……(377) |
| 第三节 | 燃烧过程及炉子分析……(360) | | |

第三章 糖厂的动力间

- | | | | |
|-----|----------------------|-----|---------------------|
| 第一节 | 糖厂动力间的型式及其经济性……(384) | 第二节 | 降低热力装置耗汽率的方法……(395) |
|-----|----------------------|-----|---------------------|

第七篇 糖厂物料、汽、水平衡计算

- | | |
|-----|---------------|
| 第一章 | 物料平衡计算……(402) |
| 第二章 | 用汽平衡计算……(427) |
| 第三章 | 给水平衡计算……(439) |

第三篇 澄清

概 说

从甘蔗提取出来的蔗汁，成分非常复杂，除蔗糖外还有很多非糖分，且由于甘蔗品种、土壤、气候、耕耘等情况及提汁条件的不同而有很大的变动，有时候还要处理受霜害或因其他原因而变坏的甘蔗。针对蔗汁这一特性，提净蔗汁所采取的处理方法，也有多种多样。

从物理及化学的观点来看，澄清的目的，就是为改善粗汁的品质，为煮糖结晶提供一些清彻透明、色泽良好的原料；甘蔗原汁中的蔗糖分应尽量保留及避免转化；非糖分应尽量除去。另一方面，从生产及经济的观点来看，澄清过程须迅速，劳动及原材料的消耗要尽量节省，并考虑预防设备及管道的腐蚀损耗。因此，粗蔗汁的澄清必须遵循科学原则来灵活处理，才能达到较高的澄清效率。

我国制糖工业的广大职工，在中国共产党的正确领导下，解放以来，为改革和发展制糖技术，做出了很大的贡献。特别是在党的建设社会主义总路线的光辉照耀下，深入开展“工业学大庆”的群众运动，促进了技术革新和技术革命，在简化澄清过程，提高澄清效率方面，更进了一大步。管道硫熏中和是澄清技术的一项重大革新，同时还摸出了一套行之有效的处理顽性蔗汁及咸水蔗的经验，此外还创造了提高澄清效果，直接出精糖的先进技术。

良好的澄清处理，要求达到下列四点：

- 1、凝聚蔗汁中的胶体，增大沉淀颗粒，提高沉降过滤效率，缩短澄清时间；
- 2、调整蔗汁中的氢离子浓度，使达到胶体物质凝聚的最适pH值，控制适宜的温度，避免蔗糖转化和还原糖的破坏；
- 3、较多地除去蔗汁中的悬浮物及非糖分、灰分，减低蔗汁的粘度，减少造蜜因素，减少蒸发罐的积垢；
- 4、提高蔗汁质量，使之清晰透明，为提供优质糖浆创造有利条件，使煮糖吸收容易，降低糖蜜重力纯度。

理想的澄清，应尽量除去蔗汁中所有的非糖分杂质。但在澄清过程中，由于条件控制不当会使一些糖分分解及生成钙盐等杂质。每增加一部分可溶性钙盐及葡萄糖分解物，都对制糖工作造成很大的麻烦。原有非糖分的除去和新的非糖分的生成，贯穿着整个澄清过程的始终，澄清过程就是做矛盾转化工作的过程，通过各种澄清处理，使矛盾向非糖分的除去方面转化，以达到澄清的目的。

蔗汁澄清的主要因素为pH值、温度和澄清过程的停留时间。控制这些因素的变化，可使尽可能多的非糖分沉淀除去。

澄清的处理过程主要分为三个：

加热处理、澄清处理、沉淀分离处理。这三个过程是连贯着的物理和化学的变化过程。

澄清方法依采用的澄清剂而命名，大致上有石灰法、亚硫酸法、碳酸法，这都是工业生产常用的方法。石灰法只用于制造粗糖，我国古代早已知道用石灰法制造片糖，亚硫酸法、碳酸法用于制造耕地白糖。

在这三大类的澄清方法中，由于处理的步骤和方式的不同，还可分为若干种澄清方法。兹将较常见的方法分列如下：

一、石灰法

- 1、冷加灰法
- 2、热加灰法
- 3、分次加灰法

二、亚硫酸法

- 1、酸性亚硫酸法
- 2、碱性亚硫酸法
- 3、中性亚硫酸法
- 4、磷酸亚硫酸法
- 5、中间汁亚硫酸法

三、碳酸法

- 1、单次碳酸法
- 2、二次碳酸法
- 3、多次碳酸法
- 4、中间汁碳酸法

以上三大类的澄清方法，均有两点类同的地方，即加入石灰乳及进行加热处理。但随着pH值的要求不同，控制的温度也因之而异。

此外还有离子交换澄清法，在国外用于生产精糖；利用电及电渗析的方法进行澄清也是一种途径，但到目前为止尚不能在生产上推广，有待今后继续努力，使制糖工业不断推陈出新。

本篇以亚硫酸法为主，叙述澄清的工艺及设备，并简单介绍碳酸法的生产及其他的澄清方法。

第一章 澄清的基本原理

第一节 蔗汁的成分及性质

蔗汁的成分及性质，由于甘蔗品种、土壤、气候、耕作情况和地区的不同而有很大的差异，现把蔗汁的组分含量及成分分析的一般数据列出，以供参阅。

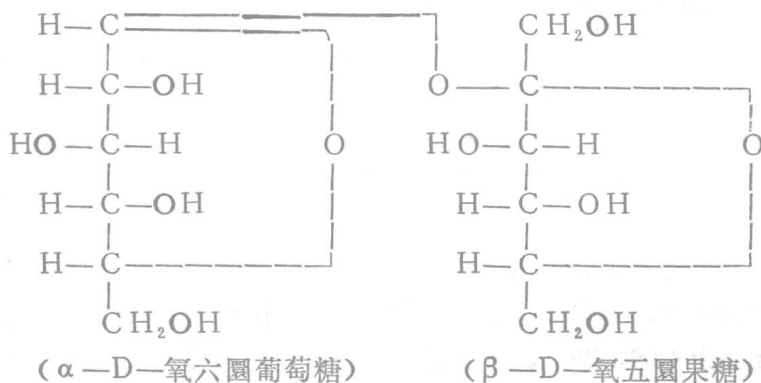
表 3—1—1 蔗汁的组分及含量

组 成	蔗糖分	水 分	还原糖	胶质物	含 氮 物	灰 分
对蔗汁重量%	9~18	80~85	0.3~3.0	0.4~1.2	0.02~0.07	0.2~0.6

注：表 3—1—2 见第11页

一、蔗 糖

蔗糖是没有还原性的双糖，实验式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，是由两个单糖 D—葡萄糖和 D—果糖组成的一种双糖，分子量为 342.296。蔗糖结晶属单斜晶系形成异极晶形的（楔形的）晶体，其化学名称为 α -D-氧六圆葡萄糖- β -D-氧五圆果糖，构造式为：



(一) 物理性质

1. 溶解度

蔗糖极易溶于水，溶解度随温度的升高而增大。杂质的存在，对蔗糖水溶液的溶解度有很大的影响。一般盐类浓度大时均能使蔗糖的溶解度增加，还原糖的存在，有助于降低蔗糖

水溶液的溶解度，还原糖含量愈多，则蔗糖水溶液的溶解度就愈小。

蔗糖在含有杂质（蔗汁或甜菜汁）的溶液中，其溶解度不仅决定于温度而且决定于纯度（ $100 \times \text{蔗糖} / \text{干固体}$ ），并且也决定于杂质的性质。

蔗糖不溶于汽油、石油、三氯甲烷、四氯化碳、二硫化碳和松节油等有机溶液，易溶于苯胺、氮苯、乙酸乙酯、乙酸戊酯、熔化的酚、液态氨、酒精与水的混合物以及丙酮与水的混合物，但不溶于纯酒精。

2. 结 晶

饱和的蔗糖溶液当其被冷却或当其中的水分被蒸发时，便成过饱和溶液，过饱和溶液是不稳定的，过剩的蔗糖会从溶液中析出，并生成蔗糖结晶。晶体表面所吸附的不纯物，阻碍结晶的成长，在蔗糖晶粒中的大部不纯物是存在于晶体表面的附近。

3. 比 重

当蔗糖溶解于水中或当浓蔗糖溶液用水稀释时，即发生体积的收缩，蔗糖溶液的容积和热膨胀有关。

纯蔗糖晶体的比重为1.588，大量的白砂糖晶体的视比重约为0.87。蔗糖溶液的比重则随浓度和温度的不同而变化，浓度愈高，比重愈大，温度上升，比重减小。因此，可用比重计测出糖液的浓度，并根据温度校正为标准情况下的浓度以便统一计算。一般糖厂化学管理所用的比重计的刻度已换算为糖液的浓度，称为糖度（或糖锤度）计，故可直接读出某温度下蔗汁和糖液的浓度。

4. 折光性

蔗糖溶液的密度与空气不同，当光线斜射入蔗糖溶液时，光线路径被蔗糖溶液所屈折，屈折的角度与糖液的浓度有关。入射角的正弦对折射角的正弦的比值叫做折光率。蔗糖溶液的折光率也和比重一样，随着浓度的增大而递增。因此，可利用蔗糖溶液的折光性由折光计测得蔗糖溶液的浓度。

甘蔗汁及甜菜汁中的杂质也具有折光能力，其所引起的折光率与蔗糖所引起的折光率相近，故利用折光法所测得的浓度并非蔗糖的浓度，而是接近于全部干固物的浓度。

5. 旋光性

很多物质都具有光学活性，即是具有旋转通过其间的偏振光线的偏光平面的能力，有机物的光学活性是和不对称的碳原子的存在有关的，蔗糖分子有不对称的碳原子，因而也具光学活性。

旋光质将偏振平面旋转的角度与偏振光所通过的溶液厚度和旋光质的浓度成比例。当光线通过全长1分米的溶液，旋光质的浓度为每100毫升中100克时所测得的旋光度叫做比旋光度，纯蔗糖的比旋度为 $+66.529^\circ$ 。基于这个原理，便可测定蔗糖溶液中所含蔗糖分并计算出总干固体中蔗糖的含量，从而了解制糖过程糖液的纯度变化。

蔗糖溶液中具有旋光性的杂质（如还原糖、氨基酸等）和非活性物质（如无机盐类）都会影响糖液的旋光度。

6. 粘 度

蔗糖溶液的粘度是随浓度的升高而增加，增高温度即可使粘度降低。

不纯的蔗糖溶液，其粘度比纯蔗糖溶液的粘度较高或较低。在甘蔗汁或甜菜汁中，因含

有果胶质、树胶质和蛋白质等高分子化合物，使粘度较纯糖液的高；无机及有机杂质的粘度通常较蔗糖小。

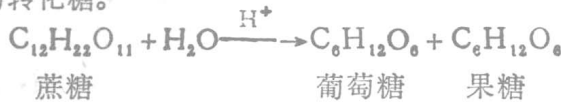
粘度对于煮糖结晶过程有着很大的影响，在生产季节的末期或遇上变坏的甘蔗或甜菜，这种影响尤为显著。

蔗糖物理性质的各项测定数据，前人已做了很多研究工作，并整理列表，附于有关制糖文献及手册里，以供制糖工作者参阅。

(二) 化学性质

1. 酸的作用

蔗糖溶液在酸性条件下即发生加水分解，这种反应叫做转化。转化后产生等量葡萄糖和果糖，统称为转化糖。



使蔗糖产生转化反应的主要因素是氢离子浓度和温度。转化速率在同一温度时与氢离子浓度成正比例，并且随着温度的升高而增大，也随着时间的增长而增多。

2. 碱的作用

蔗糖能与碱土金属类的溶液化合物生成碱性的蔗糖盐，在加石灰时蔗糖的第2、4、6个H被Ca所置换，能生成各种钙盐，如 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot 2\text{CaO}$ 、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 等，除蔗糖三钙外，均极易溶解，当大量的蔗糖钙盐结合成大分子时则增加蔗汁的粘度。

蔗糖溶液在氢氧离子存在时受热则发生分解，分解产物为糠醛、丙酮、乳酸、乙酸、甲酸、二氧化碳等物质。在正常的情况下，在制糖过程中蒸发或煮炼时，每1克分子蔗糖大约分解生成3克当量的酸，pH每升高一单位或温度升高10℃时，损失量约增加3倍，损失量也几乎与时间成正比。

在碱性溶液中，有银或铜等催化剂的存在，蔗糖可被氧化生成草酸，草酸与石灰生成草酸钙沉淀在蒸发罐形成积垢。在加灰澄清过程中，加入石灰而生成蔗糖化钙，因此石灰在蔗糖溶液中的溶解度远较在水中的大。

3. 盐类的作用

蔗糖与盐类同溶于水中时，蔗糖及盐类的溶解度均发生变化，此种效应决定于盐类的性质、蔗糖与盐类的浓度及温度。通常少量的盐类可使蔗糖的溶解度减少，但多量的盐类反使其溶解度增大，这是由于蔗糖能与之生成加成化合物的缘故。由于蔗糖与可溶性的盐类加成，因而妨碍了蔗糖的结晶，造成最终糖蜜中含有大量的糖分，这种效应可用来解释废蜜生成的原因，在正常的废蜜中每1克盐类平均就有5克不能结晶的蔗糖。有机化合物，特别是氮化合物，对溶解度也有很大的影响。故在澄清处理时，务使盐类尽量除去，这对于提高糖分收回有着很重要的意义。

4. 受热的分解

在熔点（185~186℃）以下，蔗糖的分解很慢，但如继续加热熔化的蔗糖，即能迅速分

解。

在熔点时，有色物的生成很慢，但在温度较高时，则十分强烈，在约 200°C 时，生成一种棕黑色的物质，这是一种可溶于水的含有各种棕色物质的混合物，没有甜味，也不能发酵。这样的混合物称为焦糖，此物愈被加热，失去的水分愈多，最后的残渣几乎为纯粹的碳所组成。

在接近熔点的温度下进行蔗糖的热分解时其馏出物含有水分、羟甲基糠醛及其他糠醛衍生物。在较高温度时则生成醛、丙稀醛、二氧化碳及其他挥发性的物质。

在热分解时，各种杂质的存在，对于色泽增加的影响完全不同，当不纯物的熔化物的溶液为中性时色泽不增加；当熔化物带酸性或碱性时，色泽增加。

5. 酶的作用

蔗糖在某些酶的催化作用下，水解为D—葡萄糖和D—果糖；水解后生成的转化糖，由酵母或酶菌之助，可得到很多的解裂产物如酒精、乳酸、丁酸、醋酸、柠檬酸、甘油、丙酮等。

蔗糖由于某些细菌的作用会产生多缩葡萄糖，它形成类似凝胶状物质，造成制糖过程的麻烦，1%多缩葡萄糖可使蔗糖溶液的粘度增加一倍以上。

提汁及提净工段的卫生消毒工作做得不好，细菌易于孳生，发出酸败味，甚至使贮箱、管道死角中的蔗汁变酸或冒泡膨胀，有时还出现俗名“蔗饭”的凝胶状物，这是由左右旋胶菌族分泌生成的多缩葡萄糖。因此从压榨机出来的混合汁要加少量的石灰杀菌，加热也是抑制细菌生长的方法，但主要的还在于认真做好提汁工段的清洁消毒工作。

二、还 原 糖

蔗汁中的还原糖主要为葡萄糖和果糖，也有少量甘露糖存在。蔗汁受酸或醇水解，结果生成等量的葡萄糖和果糖。当水解时，旋光性由正值变为负值，这反应称为转化，而结果所得的葡萄糖和果糖混合物，统称转化糖。由于其结构上含有一个还原性羰基而具有还原金属离子如费林溶液中的铜的能力，因而又名还原糖，所有的单糖都属于这一类。成熟甘蔗中含还原糖0.5~1.4%；甜菜中的含量较少，约为0.07%；不成熟的甘蔗和过熟的甘蔗的还原糖含量较高。甘蔗收割后放置得时间太久，也因蔗糖的转化而增加还原糖的含量。在生产过程中，消毒防腐的卫生工作做得不好，由于细菌作用，或在酸性、高温的情况下，亦会促使蔗糖转化而大量地增加蔗汁中还原糖的含量。

还原糖的溶解度比蔗糖大，所以在煮糖时它有助于蔗糖结晶的析出。在甘蔗汁或甜菜汁中，还原糖均不能结晶，一直留存至废蜜中。还原糖的比重、折光率与蔗糖相似，但旋光度则大不相同，在蔗糖溶液中，有还原糖的存在就会影响蔗糖分的旋光测定。

还原糖溶液中葡萄糖和果糖的分解反应的特性决定于pH值，反应速率是温度的函数，这两种糖在pH=3.0时稳定性最大。

碱性蔗汁在温度 38°C 时，还原糖开始破坏，在温度 55°C 时其分解速度加剧，胶体、色素、有机酸等不断生成。酸类的形成约与温度的增加成几何级数增加，大约每增加 10°C 反应速

度即增加 2~3 倍。至于还原糖分解后所生成的酸类则因各种情况而异，主要的有乳酸、糖二酸，或生成葡萄糖酸及草酸，若在高温强碱时（温度70℃以上）可生成同分异构的格鲁西酸、糖酸及其衍生物，亦可生成一部分类腐植质化合物。此二酸与游离钙化合，变为中性盐。蔗汁若加过量的石灰，则生成此二酸的钙盐，格鲁西酸之钙盐为一种不安定的化合物，自行分解后生成碳酸、醋酸、蚁酸、腐植酸。故碱性的蔗汁蒸浓后，呈现显著的酸性。由上所述，分解生成的有机酸类的阴离子，一经与钙离子结合后即成为可溶性钙盐，它不但影响澄清及增加蒸发罐的积垢，甚至使煮糖分蜜工作发生困难，废蜜产量也相应增加，因而降低了煮炼回收率及降低设备的效能。

多年来，制糖工作者的实践证明，还原糖碱性热分解所生成的黑色腐植质产物及与氨基酸起棕色反应而生成的深色缩合物，大大地加深蔗汁的色度，影响成品色泽。此种色素的产生，即使后来再加硫熏或降低糖汁的pH值，仍无法将其除去。在采用亚硫酸法制造白糖的工艺当中，如还原糖分解过多，除增加蔗汁中的胶体及钙盐外，尚产生一部分具有色素的葡萄糖酸钙，此种钙盐，容易吸附于蔗糖结晶表面引起成品色泽加深，其影响较蔗汁原来所含的有色物质尤甚。因此，在甘蔗制糖过程中应尽量避免还原糖的破坏。

至于还原糖的分解，必须具备温度、碱度及时间三项主要条件，而其中碱度又是最主要的，只要pH值控制得当，分解作用是可以降到最低的。

三、胶 质 物

蔗汁中的胶质物主要是果胶质和树胶质。

1. 果胶质

果胶质主要存在于植物的中间细胞组织中，为甘蔗成分之一，其含量因品种而异，未熟的甘蔗较多，甜菜中含有相当大量的果胶质（2.5%），其中有一小部分存在于甜菜汁中（0.1%），其余部分则是不溶解于冷水的原果胶质，为甜菜肉的主要成分。蔗汁中的含量约为0.1%。

果胶质的基本化学构造是半乳糖醛酸聚合体的长链，是由5—羧基—4— α —D氧六圆半乳糖或所连结起来的，而其羧基的一部分是被酯化为甲酯，一部分是游离的。甲酯被酸、碱或特种酶如果胶酯酶水解而生成果胶酸，这种果胶酸与钙化合生成不易溶解的盐类。自然界的果胶与多缩半乳糖和多缩阿拉伯糖相类似，这两种物质曾被认为是果胶的主要组成部分之一，后来单独分离出来并证明是多缩戊糖。果胶质不溶于冷水，微溶于热水，果胶的特性能使糖汁变成胶凝状，特别是有钙离子存在时尤为显著。蔗汁中加石灰至pH=8.8时能使大部分果胶沉淀析出。果胶主要存在于细胞壁物质中，其含量主要决定于压榨的程度。在强酸或碱性介质中，特别是温度较高时，果胶也易从悬浮的蔗渣糠中分解而溶入蔗汁中。果胶的存在会使蔗糖的溶解度增大，也能增大蔗汁的粘性，对蔗糖结晶造成困难。

2. 树胶质

甘蔗树胶质，以多缩戊糖为主，加酸分解得戊糖，能溶于热水中，故在提汁过程所用的渗浸水温度不能取得太高，否则把树胶质溶解出来。蔗渣糠中含有大量的多缩戊糖，在压榨

加灰和加热过程中都会进入蔗汁中，因此把蔗渣糠滤去可避免胶质物含量的增加。

蔗汁加少量石灰后，便呈微碱性，一部分甘蔗树胶质可以沉淀。在强碱性时，其含量中的70%可以沉淀。

果胶质和树胶质，在加灰时沉淀，最主要的因素是多缩戊糖的溶解，把加灰蔗汁加热，更易于沉淀析出。

3. 右旋胶及左旋胶

这类胶质化合物，是由微生物的作用而产生的。右旋胶为胶状物，不溶于水而溶于碱液，加酸水化则成为右旋糖。产生右旋糖的细菌在冷碱性糖汁中繁殖甚速，生成乳酸及醋酸后细菌的繁殖才被阻止。碱性糖汁在管道中流过，常因细菌繁殖太速生成多量胶状物，使管道堵塞，故于加灰前必须先用蒸汽杀灭细菌。左旋胶也为胶质物，与右旋胶相似，加酸成左旋糖，可溶于水，似阿拉伯胶。

四、含氮物质

甘蔗的含氮有机物，因甘蔗的品种、地区和氮肥施用量的不同而有显著的差异，其含量大致在0.2~0.32%（对蔗汁干固物）。含氮有机物存在于甘蔗的根、茎、叶中，控制和促进甘蔗多方面的活化作用。叶梢部位是植物光合活动的中心，含氮有机物较多。甘蔗的根部含氮量较少而茎及汁液中含氮更少。

在制糖工业中，蔗汁中的含氮有机物主要是蛋白质、氨基酸、氨基酸酰胺等。

蔗汁中的蛋白质以胶体状态存在，当蔗汁用石灰澄清和加热处理时，大部分蛋白质凝聚并在沉降时能吸附蔗汁中的其他杂质与无机沉淀物一同被除去，但仍有一部分留在胶体溶液中。氨基酸及其酰胺是以真溶液状态存在于蔗汁中，在澄清过程中可以成为钙盐而被除去。但因为这些盐类并非完全不可溶解，所以只有小部分被沉淀随滤泥排出，未被除去的部分则随糖汁通过其后制造过程而参与糖蜜的形成，其含量虽少，但可能是重要的造蜜因素。制糖工作者把它称为“有害氮”，这是因为它们与还原糖化合而生成深色的具有高分子量的拟黑色素，这些都是能形成分散胶体的物质，虽是少量的存在，也有阻碍结晶的作用。还原糖和氨基酸的反应也是糖蜜在贮箱中发生泡沫的原因，同时有碳酸气逸出。

五、无机物（灰分）

蔗汁中含有代表性的无机成分，阳离子是：钾、钠、镁、钙、铁、铝，阴离子有硫酸酐、硅酸、磷酸及氯离子等。这些物质的含量随品种、地区、土壤及生长情况等的不同而异。其中主要的无机物是碱类（ K_2O 及 Na_2O ），而含量最多的还是钾，大部分以阳离子状态存在于蔗汁中。硅酸、三价铁、铝大部分成溶胶状态存在，磷酸则成单磷酸、双磷酸或有机磷酸盐存在，其它都成无机盐的形式存在于蔗汁中。

据分析，粗蔗汁中碱金属约占阳离子总额的49.2~76.2%，碱土金属37.8~17.7%，三价氧化物6.1~13%，此外蔗汁中还有微量的其他元素如铜、锰、铅、砷等。

在通常使用的澄清方法中，碱土金属及三价氧化物可以有效地除去，但碱金属的钾和钠的除去是非常有限的，甚至没有什么改变。钾、钠和氯离子全部留存于废蜜中，磷酸盐、硅酸盐和硫酸盐成为蒸发罐积垢的主要成分。

蔗汁中所含的无机物，对澄清亦有影响，含氯甚少的甘蔗澄清后的蔗汁大都带乳浊色，但含多量钾、氯及硫酸盐时则对澄清有利；多量的镁，增加滤布的损耗，还会造成赤砂糖带苦涩味。

在甘蔗制糖工业中，澄清的目的之一就是要最大限度地把无机非糖分除去。

六、非 氮 有 机 酸

蔗汁中非氮有机酸有乌头酸($C_6H_3O_6$) H_3 、苹果酸($C_4H_4O_5$) H_2 、草酸(C_2O_4) H_2 、柠檬酸($C_6H_6O_7$) H_3 、琥珀酸($C_4H_4O_4$) H_2 、延胡索酸($C_4H_2O_4$) H_2 等，受病害或霜冻的甘蔗极易发酵而产生酯酸($C_2H_3O_2$) H 。蔗汁中以乌头酸含量最多，约占甘蔗重量的0.05~0.15%，它有缓冲作用，有调节蔗汁酸度的作用。这些有机酸及其碱盐，十分易溶于水中，在澄清的反应中有着重要的影响，它们比无机酸较不安定，并能同糖分及蔗汁中其他的有机成分起复杂的反应而被认为是重要的成蜜剂。乌头酸盐和草酸盐是促使积垢形成的主要因素，对糖厂中的加热和蒸发效能有很大的影响。

七、色 素

蔗汁的色素包含二类，一类是甘蔗本身的植物色素如叶绿素、蔗黄素、花色素等，另一类是在生产过程中形成的或衍生的有机化合物色素。

叶绿素为一绿色柔软物质，本身是胶体物，大部分不溶于水及糖液，可以被沉淀物吸附和滤泥一起除去。叶黄素、胡萝卜素是植物中存在的黄色素，与叶绿素紧密结合在一起，均不溶于水及糖液，都是以悬浮的状态分布在蔗汁中，大部分能被滤去。花色素又称蔗红素，是甘蔗中存在的红色、蓝色、紫色等有色物质的总称，是花色素与葡萄糖和其他糖类相结合而组成的一种可溶性色素，在浓盐酸溶液中呈深红色，在10%氢氧化钠溶液中则生成紫红色。花色素是属于多酚类，并且遇铁时即呈暗色。碳酸饱和可将全部花色素除去，而硫熏仅能除去部分，要视所生成的沉淀物的数量而定。亚硫酸仅能起暂时的脱色作用，氯气可使之脱色，强碱能使其沉淀。

在甘蔗所存有的许多原为无色，但与其他化合物结合或反应之后而生成有色的物质，主要的有多酚类及氨基化合物类。

多酚类有单柠酸、酚羟、蔗黄素。此外糖腐植质及拟黑色素均含有酚羟，所有这些多酚类与空气接触及在碱性溶液中均变成深色，而遇高价铁盐时生成深色的有机物质。单柠酸是d-邻苯二酚的衍生物，与铁盐氧化生成暗绿色。

氨基化合物多以氨、氨基酸及酰胺的形态存在。它们在澄清过程中与还原糖起反应生成有色的化合物，加热时，它们先变为黄色，然后转变为棕色，最后生成深棕色或黑色无定形

物质，即典型的黑色素类。

八、类脂物

甘蔗的类脂物有蔗蜡和蔗脂，蔗蜡是存在于蔗茎或蔗株的表皮上的白色粉状物，紧接于蔗节下面的白色环带，是蔗蜡积聚最多的地方，它和其他天然的蜡状类脂物一样，是酯、游离酸、醇和碳氢化合物的混合物。蔗脂则存在于整个甘蔗茎的内部及甘蔗的其他部分。它是细胞原形质的主要组成，包括着真脂肪或油、甘油酯、甾醇和其他的脂类、游离酸和醇、碳氢化合物和含磷及含氧的化合物。

甘蔗的类脂物是表面活性物质，为蔗汁的主要起泡剂，它们有的成悬浮状存在于蔗汁中，有的受热成浮渣而部分被除去，少部分溶于蔗汁中。

蔗汁加灰时，蔗蜡、蔗脂与石灰作用生成难溶的钙皂，大部分成沉淀而滤去，溶解的少部分在加热、蒸发时，则成积垢而析出。

甘蔗类脂物约有40%分散于蔗汁中，澄清过程要将类脂物除去，就要看澄清剂生成凝结物的数量及与类脂物接触后能否把它吸着，倘泥汁处理不适当时，能使类脂物以及其他的胶体物又大量地重新分散，其分散程度随蔗汁的pH值升高而增大，因而使被凝结物所除去的数量减少，阻碍蔗汁的过滤。

九、酶

粗蔗汁里有各种具有水解能力和产生色素的酶或酶类物质的存在，它们和糖蜜的生成有关系。甘蔗植株中含有能水解蔗糖的转化酶，这是和甜菜不同的地方。蔗汁里的转化酶使蔗糖量减少，相应地提高了还原糖量。产生色素的酶类以氧化酶、乳酸酶、过氧化酶和酪氨酶作代表，这些酶作用到蔗汁的芳香环化合物，可以生成酚类和醌类，它们和高铁离子作用就产生黑色的络合物。

十、淀粉

甘蔗中含有少量淀粉。甘蔗淀粉是高分子量的多糖类，即葡萄糖的聚合物，其实验式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，聚合度n大约为300~400葡萄糖单位。

甘蔗淀粉粒子在浸渍时很容易分散于蔗汁中，而且在澄清过程加热成凝胶后，并没有被除去而是聚集在糖蜜中。微量的淀粉存在，也会增加蔗汁的粘度并且影响过滤，在煮糖过程中产生显著的成蜜效应。

糊精和类似淀粉而具有较低分子量的物质主要是因压榨过多的蔗梢和蔗叶而导入蔗汁中的，这些物质比较容易溶解，也会有成蜜作用。

表3—1—2 广东珠江三角洲甘蔗蔗汁的分析

成 分	对蔗汁重量百分数		平 均 值
	最 高 值	最 低 值	
1. 干固物	19.09	14.90	16.42
2. 糖分			
蔗糖分	16.85	13.31	14.66
还原糖分	0.68	0.141	0.393
3. 非糖分			
总胶体	0.74	0.322	0.529
果胶体	0.604	0.142	0.366
全氮	0.056	0.017	0.377
蛋白质氮	0.039	0.011	0.025
非蛋白质氮	0.028	0.004	0.0126
总灰分	0.55	0.114	0.337
SiO ₂	0.093	0.011	0.0404
R ₂ O ₃	0.069	0.014	0.0304
CaO	0.030	0.01	0.0191
MgO	0.053	0.011	0.0226
P ₂ O ₅	0.0591	0.0269	0.0370
4. pH	5.8	5.0	5.5
5. 滴定酸度	0.0286	0.0116	0.0188
6. 色 度	19.07	6.77	11.23

第二节 澄清基本原理

在了解了蔗汁各组分的性质后，还需要对它们的总体——混合汁或渗出汁的胶体性质进一步认识，并掌握加入澄清剂后发生的变化与规律，才可以能动地变革蔗汁，达到澄清的目的。

一、蔗汁的胶体性质

我们知道溶质的粒子在0.5微米~1毫微米时它在溶液中具有胶体性质，蔗汁中的各种非糖成分及夹杂的泥砂、蔗糖等是以不同大小的粒子成为胶体状态分散于蔗汁中的，其中如夹杂的泥砂、蔗糖、蔗蜡，属粗分散系的悬浮体，其粒径大小约为50~0.1微米，它们能很快沉淀和过滤除去。大部分带有长链的有机胶质物如蛋白质、果胶、单宁、戊糖体及部分类脂物、色素、甜菜中的甜菜碱等，具有不同的水化程度，称亲水溶胶，其粒子约在0.1~0.001微米左右，它们能通过滤纸、滤布，在一般的显微镜下看不见。蔗汁中的各种碳水化合物、有机酸及无机盐类以分子和离子状态存在，其粒径约在0.001或小于0.001微米。因此，蔗汁是不但包含粗分散系而且也包含了非均一相的溶胶和均一相的高分子化合物溶液的复杂胶体体系。要把蔗汁进行提净，其中心问题是一个胶体化学的问题。由于本课程的内容所限，有关胶体化学的理论问题将在《制糖工艺学原理》中讲述，这里只作一般的蔗汁胶体性质的介绍。

(一) 胶体的基本性质

胶体的基本性质有下列各点：

1、高度的分散，是胶体的基本特性之一。极高的分散性使胶体体系有一定的动力稳定性，使胶体具有一定的扩散能力。

2、其次是不均匀态，虽是分散度高，但还保持着胶体粒子的一定大小，使它与溶剂有一定的分界面。

3、分散相物质具有巨大的表面积，一般用比表面来表示表面积的值：

$$\text{比表面} = \frac{\text{总表面积}}{\text{总容积}} \left[\frac{1}{\text{厘米}} \right]$$

比表面大的胶体，表面能亦大。

4、由于胶体是表面积、表面能非常大的体系，就使得胶体粒子处于极度不稳定的状态，它们会相互结合起来变成大粒子而沉淀下来，丧失了胶体的稳定性。

(二) 蔗汁胶体的稳定因素

从胶体是一个表面能极大的体系来说，是不稳定的，它们必然要互相结合成大粒子；但胶体也必然有自卫的能力，以克服这种不稳定的势力而取得稳定状态。胶体的带电现象及溶

剂化便是造成蔗汁胶体稳定的因素。

蔗汁胶体的带电现象可以通过电泳仪来观察。将蔗汁置于电泳仪中通电时，便可看到蔗汁中的胶体粒子向电极一端移动，由此可见胶粒是带电的，其电荷来源于表面分子的电离或表面吸附。如蔗汁中 SiO_2 形成硅酸胶时，胶粒表面上的分子与水接触而形成的 H_2SiO_3 能进行离解：



把电离出来的氢离子送入蔗汁中，因而带负电。又如由 FeCl_3 水解：



生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶，则因表面吸附了部分 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 与 HCl 作用生成的 FeOCl 电离的 FeO^+ 而带正电。蔗汁中的蛋白质具有两性的化学性质，在酸性介质中它吸附 H^+ 后成为带正电荷的胶粒；在碱性介质中它吸附 OH^- 后成为带负电荷的胶粒。

蔗汁胶体能在电场中移动是由于胶粒产生双电层的缘故。例如硅酸胶的双电层可由下面示意图来表示。

图中 SiO_2 为胶核，它吸附 SiO_3^{--} （称电位离子）而带负电形成双电层的内层，在胶核周围分布着与其电性相反电荷相等的 H^+ 离子（称反离子），此即双电层的外层。因为外层的反离子是在液体中，因此具有扩散能力；但同时外层反离子也感受着胶核表面上双电层对它的电的吸引，因此反离子是扩散状的分布，靠近胶核固体表面的反离子分布稠密，远离胶核表面的反离子分布稀疏，其结构也可用简单的公式表示：

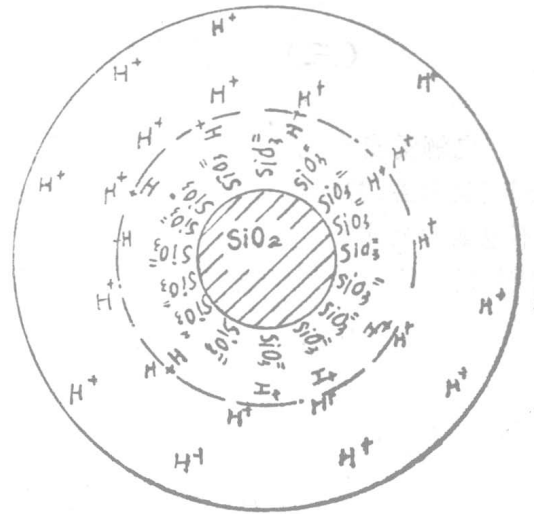
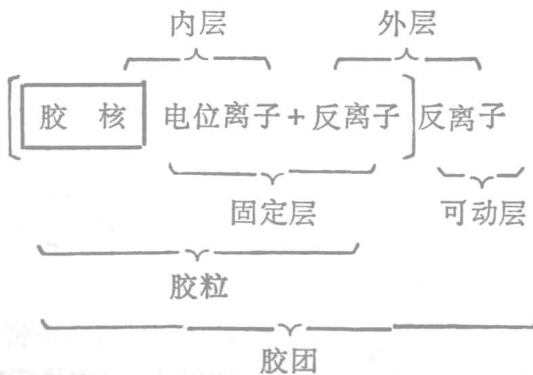


图 3—1—1 胶粒结构示意图



当有外界电场时，双电层的错动是发生在贴附于固体表面而随固体移动的液膜与邻近液层之间的（如图中虚线）位置，也就是错动发生在固定层与可动层之间。此二层之间的电位差称电动电位，用字母 ζ 表示。因此电动电位是电位离子与固定层中反离子总数的差与可