

食品工業國外新技术

蔗糖的結晶

〔苏〕Ю. М. 日威尔布良斯基著

輕工業出版社

食品工业国外新技术

蔗糖的结晶

[苏]И.М.日威尔布夏斯基 著

刘永欽 译 盧 明 校

輕工业出版社

1960年·北京

內 容 介 紹

蔗糖結晶問題、過去各國都會做過許多研究，但都是用純糖液來研究的，因此不能很全面很真實地反映出生產過程中蔗糖結晶的特點。蘇聯學 Ю. М. 日威爾布良斯基等研究不同純度的不純糖液內蔗糖的結晶，對指導蔗糖生產實際是有重大意義的。

本書敘述了各種溫度下不純糖液結晶速度與過飽和度、粘度、純度的關係，連續結晶時不同純度糖液的晶體成長條件和成長速度的各種因素，及廢糖的成份和物理化學性質，影響廢蜜產率、廢蜜糖份損失及造蜜系數的各種因素等。

本書可供制糖工業工程技術人員，科學研究人員及高等學校有關專業師生學習。

Ю. М. ЖВИРВЛЯНСКИЙ
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ САХАРА

本書根據蘇聯食品工業出版社1958年莫斯科版譯出

食品工業國外新技術

蔗糖的結晶

[蘇] Ю. М. 日威爾布良斯基 著

劉永欽譯 康明校

*

輕工業出版社出版

(北京市廣安門內白廣路)

北京市書刊出版業營業許可證出字第099號

輕工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行

各地新華書店經銷

*

787×1092毫米 $\frac{1}{32}$ × $\frac{20}{32}$ 印張·75,000字

1960年4月第1版

1960年4月北京第1次印刷

印數：1—3,500 定價：(10) 0.52元

統一書號：15042·1008

目 录

序言.....	4
不純糖液內蔗糖結晶的动力学.....	5
高溫条件下不純糖液的蔗糖結晶动力学.....	30
不煮炼糖羔制取結晶糖.....	51
糖厂废蜜化学成份和物理化学性质的研究.....	88
各种因素对废蜜糖份損失的影响.....	105

序 言

Ю. М. 日 威尔布 良斯基在制糖生产工艺方面作了許多研究工作,主要着重于研究不純糖液內蔗糖的結晶过程。过去,無論是在国内或是国外,对蔗糖結晶問題的許多研究,都是用純糖液来作試驗的,因而不能很全面地反映出生产过程中蔗糖結晶的特点。

过去很少有人从事工艺不純糖液內蔗糖結晶問題的研究,其原因在于它的研究方法复杂。所以Ю. М. 日 威尔布 良斯基及其同事們对不同純度的不純糖液內蔗糖結晶問題的研究,具有原則性的理論意义。并且,将这些研究成果应用在制糖生产上,引起人們极大的注意。因为在甜菜糖的生产过程中,蔗糖的結晶实际上是在含有許多可溶性杂质的糖浆和糖蜜中进行的。

本书收集了Ю. М. 日 威尔布 良斯基对工艺糖液內蔗糖結晶的理論和实际問題的許多最重要的研究成果。

中央制糖科学研究所所长 А. Н. 夏金

不純糖液內蔗糖結晶的动力学

不純糖液內蔗糖結晶的問題很少有人从事过研究。因为，用不純糖液进行試驗的方法复杂（如測定不同溫度下不同純度糖液的过饱和度），以及影响蔗糖在不純糖液內結晶速度的因素众多（如过饱和度，溫度，純度，非糖份的組成份等）。

国外在这方面作过些零星的工作，由于使用不正确的，有些甚至是有缺陷的研究方法，因而，沒有得到一点可靠的結果。如美国的研究者尼斯和胡格尔福德，在糖液純度下降和过饱和度变化的条件下去測定蔗糖的結晶速度；飽和系数不是用試驗方法測出，而是从溶解度表中查得。他們自己也承認这种研究方法的不正确性，并放弃了在結晶的各因素間建立数学关系的打算。

格尼沙（Гинниса）的研究采用了視过饱和度和其他数据，因而其結果也不可靠。

蔗糖在不同純度的不純糖液內的結晶速度，首先應該引起制糖技術人員的注意。因为在甜菜糖生产过程中，蔗糖的結晶实际上是在糖浆和糖蜜中进行的。

为了弥补这方面的不足，中央制糖科学研究所的工艺試驗室研究了不純糖液內蔗糖結晶的动力学，它取决于影响結晶的一系列因素。

糖液中固态糖的含量百分率和晶粒大小，对蔗糖結晶速度的影响的研究結果，曾在定期刊物上发表过①。

本书簡要地敘述了糖液的过剩过饱和度，溫度，非糖份

浓度（即純度）和粘度对不純糖液內蔗糖結晶速度的影响的研究結果。

研究 方 法

采用有科学根据的先进方法作为試驗的基础，根据单顆大粒晶体重量的增加值来計算結晶速度的絕对值。該法为基輔綜合技术学院农业生产技术教研組拟定。在某些方面被我們修改得更为精細，就是将晶体牢固地系紧，而且在整个試驗期間內，使晶体与母液处于相对运动的状态。

为此，先把大粒蔗糖晶体放在分析天秤上称重，然后用絲綫将它固定在晶体支承器上，而晶体支承器又置于高110毫米和直径36毫米的玻璃杯內（图1）。試驗前，将盛有大粒

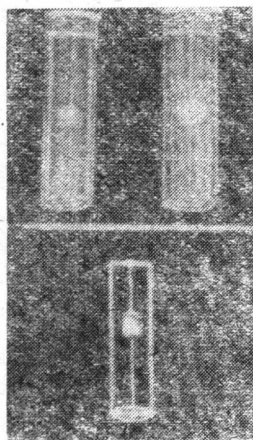


图1 晶体固定装置
（晶体支持器）

晶体的玻杯放在空气恒温箱中，預热到試驗溫度。然后，再将事先預热到試驗溫度用来研究結晶速度的80克糖液注入杯內。随后用橡皮塞子塞紧玻杯，并在塞子与糖液之間留一空隙。

玻杯（10个或者更多一些）固定在容积为72升的水恒温箱轉軸的承放孔內。恒温箱自动地保持到所要求的溫度，其准确度为 0.1°C ，軸每分钟旋轉1~2轉。

盛載玻杯的恒温箱軸轉动时，糖液与固定不动的晶体处于相互运动的状态，并且玻杯內的自由空間容积的大小，恰好使晶体与糖液經常接触。

考虑到晶体的形状和体态的特点，每一試驗我們均設置了3~4个玻杯，每个玻杯內裝有經預先檢驗过的晶粒。

根据糖液純度的高低，試驗時間采为2到8小时。試驗結束时，把晶体取下用清洁碎布小心地抹去粘在晶粒上的糖液。試驗前和試驗后分析糖液的干固物和含糖份。

以同一废蜜（伏洛涅日斯基〈Воронежск〉糖厂废蜜）作为原始試样，配制各种不同純度的糖液。

分析废蜜的結果如下：

Br（錘度）—77.6°；糖份—45.2%；純度—58.25%；

还原糖—0.89%；胶质—3.84%；灰份—8.33%。

为了配制一定的真过饱和度的糖液，試驗初期就按中央制糖研究所的方法②，测定了溫度在75°，60°和40°C 时不同純度糖液的飽和系数。

按此法測得的飽和系数曲綫繪成图2。

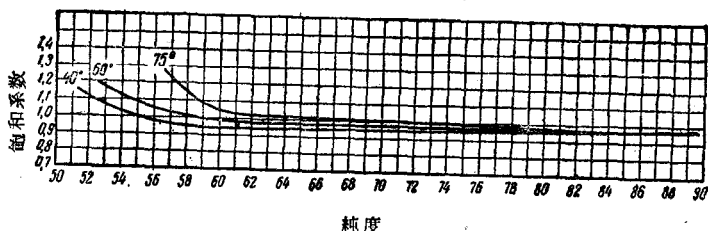


图2 在不同的溫度下伏洛涅日斯克糖厂糖蜜的飽和系数

每次結晶試驗后，均在专用裝置中測量糖液的粘度，該裝置由带粘度計的恒溫箱，带真空計的恒压箱和空气油泵組成。

所有粘度的測量，均在固定真空为300M.M.汞柱和被研究糖蜜試样所具有的那个錘度和溫度条件下进行的。在与測量糖蜜粘度条件相同的情况下，測量了蔗糖結晶速度。

我們采用的研究方法具有下列独特的优点：即整个結晶

試驗期間內，糖液的過飽和度和純度實際上沒有改變。

這就有可能在一定的過飽和度和純度的條件下來獲得結晶試驗的結果。

結晶速度以晶体在平均單位表面積（米²），單位時間（分鐘）內增加的重量（毫克）表示。

試驗研究結果

蔗糖結晶試驗是在40°，60°和75°C的恆溫下，分別在純度為90、80、75和65的糖液內進行的。過飽和度在較大的範圍內變化，並且結晶是在這樣的過飽和度下進行的；即在該純度和溫度下的這樣過飽和度的糖液中能夠生成「偽晶」，即寄生晶体與試驗的單晶体同時存在。

一、40°C時的結晶試驗

試驗結果列入表1。

為了比較，所以把此溫度下蔗糖在純糖液內的結晶速度也列入表內。

從表1看出，糖液的純度與預定的純度值有些差別，但未超過0.6度，因而就不會嚴重地影響到試驗的結果。

根據表內的數據，繪成了圖3和圖4，圖內橫坐標表示真過飽和度，縱坐標表示結晶速度（毫克/米²·分鐘）和粘度（厘泊）。

相應的曲線表明：不同純度糖液的結晶速度隨過飽和度的增加而變化（參看圖3和圖4）。

所有的曲線均有轉折點，在此轉折點之後，結晶速度減慢。這種現象在И.Н.卡加諾夫(Каганов)所作的試驗里也出現過。這種減緩現象不論是由於偽晶的生成，或糖液粘度的

表 1

40°C恒溫時，純度和過飽和度對蔗糖
結晶速度的影響試驗結果總表

試驗 編號	純度 (Δ)	過飽 和度 (Kn)	結晶速度 (S)毫克/ 米 ² ·分鐘	粘 度 (η) 厘 泊	時間 (z) 小時	試驗結束時糖液中寄生晶 的含量
76	100	1.026	255	—	4	在顯微鏡下沒有發現寄生晶粒
76	100	1.064	661	—	4	同 上
76	100	1.083	820	—	4	寄生晶大量生成
76	100	1.102	1180	—	4	同 上
35	89.65	1.044	89	238	4	沒有發現寄生晶
35	89.65	1.100	364	276	4	同 上
35	89.65	1.190	1067	418	4	在顯微鏡視野內有8~10顆寄生晶
54	90.0	1.230	1223	691	4	同 上
54	80.2	1.110	140.6	599.6	6	沒有晶粒
54	80.2	1.200	344.8	1040	6	視野內有個別寄生晶
54	80.2	1.300	352.2	1594	6	很多晶粒
47	80.0	1.039	33.13	—	5	沒有晶粒
47	80.0	1.139	226.15	—	5	同上
47	80.0	1.241	422.61	—	5	大量的小晶粒
36	74.69	1.088	51	—	6	沒有晶粒
36	74.69	1.165	128	—	6	同上
36	74.69	1.298	201	—	6	在顯微鏡視野內出現許多小晶粒
53	74.88	1.078	54.08	748	6	沒有晶粒
53	74.88	1.140	115.43	1080	6	同上
53	74.88	1.210	196.0	1628	6	視野內出現2~3顆晶粒
53	74.88	1.350	203.34	2799	6	很多晶粒
56	65.00	1.160	27	2648	8	沒有晶粒
56	65.00	1.250	35.65	4219	8	同上
56	65.00	1.390	52.1	9490	8	同上
56	65.00	1.510	55.82	14768	8	大量的小晶粒

增加所引起，但在低純度糖液中都特別显著。

例如，純度为75的糖液，其过饱和度在1.28~1.35之間时，由于粘度急剧的增加(为2,800厘泊)，使得結晶速度呈平稳状态，而没有什么增加。

图3上也标出純糖液(D_0 = 純度 = 100)的結晶速度曲线，同时把基輔綜合技术学院研究得的曲线用虛线标列在图上，以茲比較。由于进行試驗的条件不同；如恒溫箱軸的轉数，晶粒与糖液接触時間的长短，晶体形态的特点等等，即

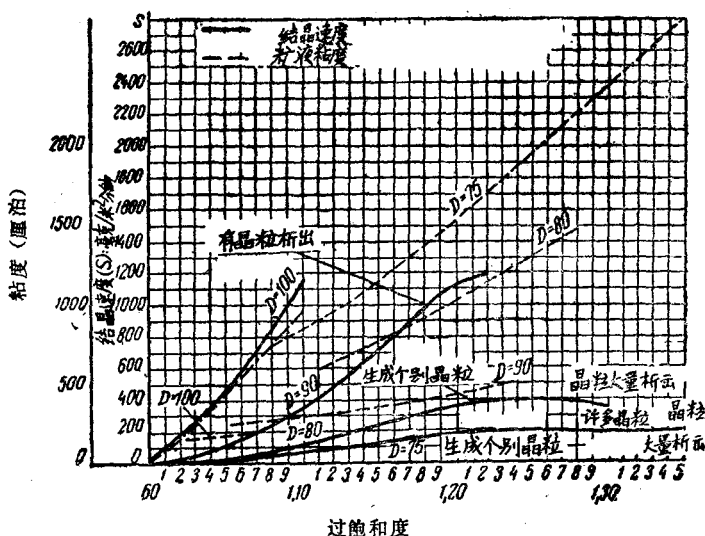


图3 40°C时蔗糖在不純糖液內的結晶速度与过饱和度間的关系

使过饱和度相同时，結晶速度也不相同。

利用图3和图4，找出在同一过饱和度下所有被研究糖液的結晶速度，并編成表2。表2中每一过饱和度对应着純度为100, 90, 80, 75的糖液的結晶速度。

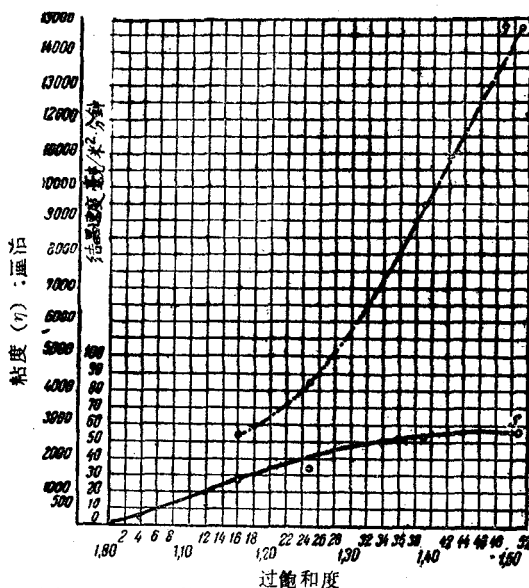


图 4 40°C时蔗糖在65純度的糖液中的結晶速度
与过飽和度間的关系

表 2 40°C时不純糖液中蔗糖結晶速度
(毫克/米²) 与純度和过飽和度間的关系

过飽和度	糖 液 純 度				
	100	90	80	75	65
1.03	280	50	20	—	6
1.06	615	145	52	30	11
1.09	980	300	100	60	16
1.12	—	500	165	95	20
1.15	—	730	240	125	25
1.18	—	975	310	160	30
1.21	—	1170	365	196	35
1.24	—	—	410	200	—
1.27	—	—	400	200	—
1.30	—	—	352	200	—

从同一图上看，不純糖液的蔗糖結晶速度与过剩过饱和度 Δ [$\Delta = K_n - 1$] 不成正比，所以，不能用直綫方程式表出。

特別引人注意的是：結晶速度与过剩过饱和度間的数学关系的被發現。因为，即使在生成了寄生晶或粘度急剧升高的情况下，这个关系也不会被破坏。

为此，取各种純度糖液的过剩过饱和度和相应的結晶速度的对数值，将过剩过饱和度的对数值标列在横坐标上，相应的結晶速度对数值用点标在图 5 上。

由图 5 看出，同一純度糖液的結晶速度对数值的点十分令人滿意地在一直綫上。有个別点在直綫之外，主要是这些点处在結晶速度与过饱和度 ($S - K_n$) 关系曲綫的轉折点附近 (參看图 3)。

过剩过饱和度 0.03 相应的点也在直綫之外，是由于此过饱和度太小的緣故，即是說在測定結晶速度时誤差較大。

图 5 上的直綫相当于由 $S = \alpha \Delta^n$ 变成的直綫方程 $\lg S = n \lg \Delta + \lg \alpha$, α 和 n 为常数。

由表看出：結晶速度随着过剩过饱和度的下降而緩慢。当 $\Delta = 0$ 时，結晶速度也等于零，即晶体停止长大。

用表 2 的数据可繪成曲綫，并推導出在同一溫度和同一过饱和度下，結晶速度与糖液純度間的数学关系。

图 6 表示过饱和度 1.03~1.21 間 (中間間隔为 0.03) 的一組曲綫。从图看出：結晶速度随糖液純度的升高而加快。

如果取純度及其相应的結晶速度的对数值，并把得到的数据标列在坐标系統內，則可以确定在同一条件下 (如过饱和度和溫度，單顆晶粒与母液的相对移动速度，非糖份的成份等等)，結晶速度与純度間的数学关系。

一般來說，条件相同时，結晶速度 (S) 与純度 (D_0)

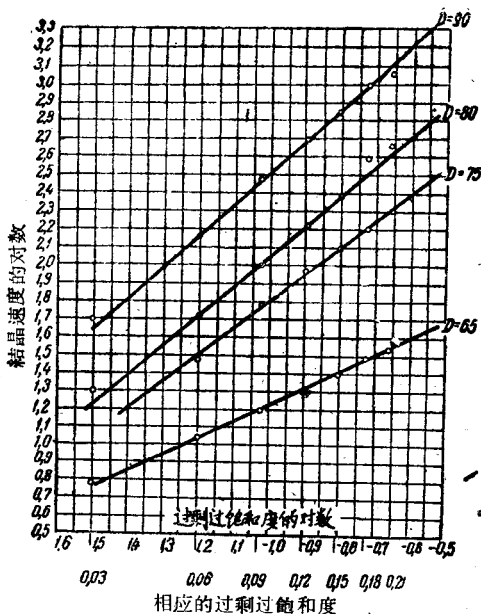


图5 40°C恒温时结晶速度与不同纯度糖液的过剩过饱和度间的关系

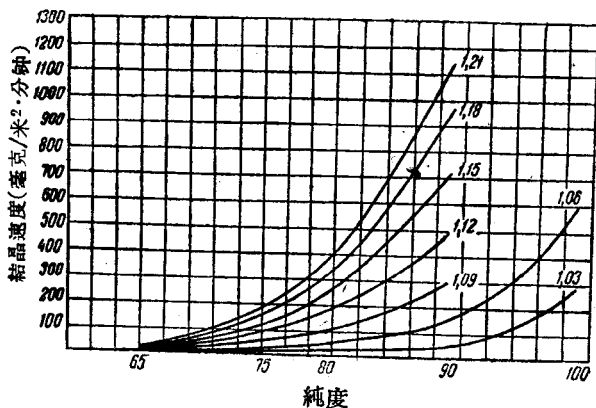


图6 40°C恒温时蔗糖结晶速度与不同过饱和度糖液的纯度之间的关系

間的关系可用以下經驗式表出:

$$S = b \cdot D_6^m$$

式中 m 和 b 均为常数。

結晶速度随純度下降而減慢。当 $D_6 = 0$ 时，結晶速度等于零。当 $D_6 = 100$ 时，結晶速度最大，此时即蔗糖在純糖液内进行結晶。

由表 3 看出，該溫度下，糖液过饱和度相同时，粘度随着純度的下降而急剧上升。但是粘度增加真正原因不在于非糖份本身，而是由于純度的下降，非糖份数量增加的緣故（因饱和系数增大而使蔗糖份数量增多，也自然会使粘度增加），結果使得一定过饱和度的干固物浓度大大的提高。

表 3 40°C 恒溫时，同一过饱和度下蔗糖
結晶速度与粘度間的关系

过饱和度	D690		D680		D675		D665	
	粘度 (厘泊)	結晶速度 (毫克/ 米 ² ·分)	粘度 (厘泊)	結晶速度 (毫克/ 米 ² ·分)	粘度 (厘泊)	結晶速度 (毫克/ 米 ² ·分)	粘度 (厘泊)	結晶速度 (毫克/ 米 ² ·分)
1.10	290	360	560	120	850	70	2000	17
1.12	320	500	645	165	965	95	2000	20
1.15	360	730	780	240	1165	125	2550	25
1.18	400	975	920	310	1390	160	2900	30
1.21	460	1170	1090	365	1630	196	3400	35

由上述原因得知，同一过饱和度的糖液，其粘度随純度的下降而急剧上升。

从表 3 也可看出，粘度急剧上升，无疑地对結晶速度有不良的影响。

因此，糖液純度下降对結晶速度的不良影响，主要与糖

液粘度的提高有关（此时干固物的浓度较大）。

随着过饱和度的上升，純糖液中蔗糖份大量增加，而不純糖液中則是总干固体大量增加。

在恒温条件下，糖液的过饱和度和非糖份的組成都完全相同时，糖液的粘度与非糖份的浓度（即是糖液的純度）特别有关。非糖份浓度增大是一定过饱和度的糖液內干固体含量和蔗糖份增加的主要原因（由于饱和系数的影响）。

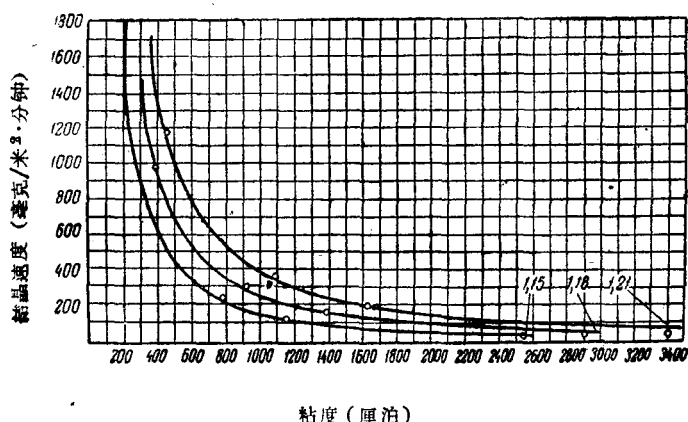


图 7 在同一过饱和度和40°C恒温时蔗糖結晶速度与粘度間的关系

因此，粘度是包括其他許多因素，如象純度因素在內的，对結晶有决定性影响的因素。所以，找出在其他条件（溫度，过饱和度，非糖份組成等）相同时的結晶速度与糖液粘度間的数学关系是十分重要的。

表 3 列出了为此所必需的数据。

坐标图上，橫坐标表示粘度（厘泊），縱坐标表示結晶

速度 (毫克/米²·分), 如图 7。

图上的点是按规律性曲线分布的, 此曲线应与下式相符。

$$y = Cx^p.$$

在过饱和度为 1.15 的曲线上取两点 (360; 730) 和 (1160; 125), 求出 C 和 p 值。

$$730 = C \times 360^p;$$

$$125 = C \times 1160^p,$$

第二式除第一式得

$$\frac{730}{125} = \frac{360^p}{1160^p}.$$

化为对数

$$\lg 730 - \lg 125 = p(\lg 360 - \lg 1160);$$

$$p = \frac{\lg 730 - \lg 125}{\lg 360 - \lg 1160},$$

$$p = -1.50821.$$

从而算出 $C = 5.29 \times 10^6$ 。

为绘制与方程式 $y = 5.29 \times 10^6 \cdot X^{-1.50821}$ 相应的曲线。求出 X 等于 100; 200; 800; 2000 时的诸点, 并得到相应的 y 值。

根据获得的点绘成曲线

从图 7 看出, 试验结果得到的另外两点 (780; 240) 和 (2550; 25) 恰好重合在双曲线上, 这就给予了我们在该条件下 (温度 40°C, 过饱和度 1.15 等等) 采用结晶速度与糖液粘度间的如下数学关系的根据。

$$S_{1.15} = \frac{0.529 \times 10^7}{\eta^{1.51}}.$$