

## 可可脂的同质多晶型体的转变

华聘聘

(粮油系)

### 前 言

用天然可可脂或类可可脂制作的各种巧克力产品,假如生产过程中调温不好,或储藏温度不当,都会导致巧克力产品失去光泽,表面产生一种白色或灰色的霜斑,在夏天尤为经常发生。

为了避免或防止巧克力起霜,了解可可脂的同质多晶态的特性是十分必要的。只有掌握可可脂各种晶态相互转化的规律,才可能有效地控制巧克力的质量。

另外,研究和了解可可脂多晶态特性及其转变规律,对于更好地应用类可可脂制作巧克力的工艺也是极为必要的。

人们对可可脂同质多晶现象的研究,促使了一种晶形改良剂的诞生。在天然可可脂中添加适量的乳化剂,会有效地抑制巧克力起霜。这种晶形改良剂是 Span65 与 Tween65 的混合物。

### 1 可可脂的同质多晶现象

天然可可脂大致由:52~57% POS、19~22% SOS、12~16% SOO、9~7.5% POO 等甘油三脂组成。

用X射线衍射的方法确定天然可可脂有6种晶型<sup>[1]</sup>,根据熔点递增的次序,分别被称为 I、II、III、IV、V、VI型。

可可脂的I型和III型晶体可能是几种晶相的混合物。但II、IV、V、VI型晶体各自为单种单一的晶相体。

可可脂各种晶型SOS、POS甘油三酯晶型之间的关系见表1。<sup>[2,3]</sup>

表中:“ $\beta$ ”意味着具有4.6Å强短间距的一种晶型;“Sub $\beta$ ”,有时也称为“x-3”,它们均代表熔点比“ $\beta$ ”低数度,并且具有4.7Å左右短间距的晶型;“ $\beta'$ ”代表短间距接近4.2Å和3.8Å,并具有中等熔点的晶型;“ $\alpha$ ”代表短间距接近4.2Å只有单一的强短间距的晶型;“Sub $\alpha$ ”代表具有与它们的 $\beta'$ 晶型所具有的短间距类似的低温晶型。“-3”表示晶格的长间距为分子链长的3倍;“-2”表示晶格的长间距为分子链长的2倍。

表1 根据熔点下降次序, 二饱和脂肪酸甘油三酯同质多晶体的情况

| SOS                         | POS            | POP            | 可可脂和<br>25% SOS 60%<br>POS 15% SOO |
|-----------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|
| $\beta-3$                   | $\beta-3$      | $\beta-3$      | VI                                 |
| Sub $\beta-3$ or $\alpha-3$ | $\beta-3$      | $\beta-3$      | V                                  |
| $\beta'-3$                  | $\beta'-3$     | $\beta-2$      | IV                                 |
|                             | $\beta'-2$     | Sub $\beta-2$  | III                                |
| Sub $\alpha-3$              | $\alpha-2$     | $\alpha-2$     | II                                 |
| $\alpha-3$                  | Sub $\alpha-3$ | Sub $\alpha-3$ | I                                  |

关于衍射间距的强度, 用“S”表示强、“M”表示中等、“W”表示弱、“V”表示非常、“aiff”表示漫射。长间距以“L.S”表示, 短间距以“S.S”表示。

必须说明的是, SOS酯的X-3型晶体与 Sub $\beta-3$ 型晶体所具有的短间距稍有不同, 但可认为是同一晶型; SOS酯的 $\beta'-3$ 晶型只能来自溶剂中的迅速冷却过程; SOS酯的“Sub $\alpha-3$ ”型晶体的长间距为80 Å, 短间距为二个: 4.22 Å为非常强、3.82 Å为中等强度。只有Malkin

$$\lambda = CuK_{\alpha-1} = 1.5405 \text{ \AA}$$

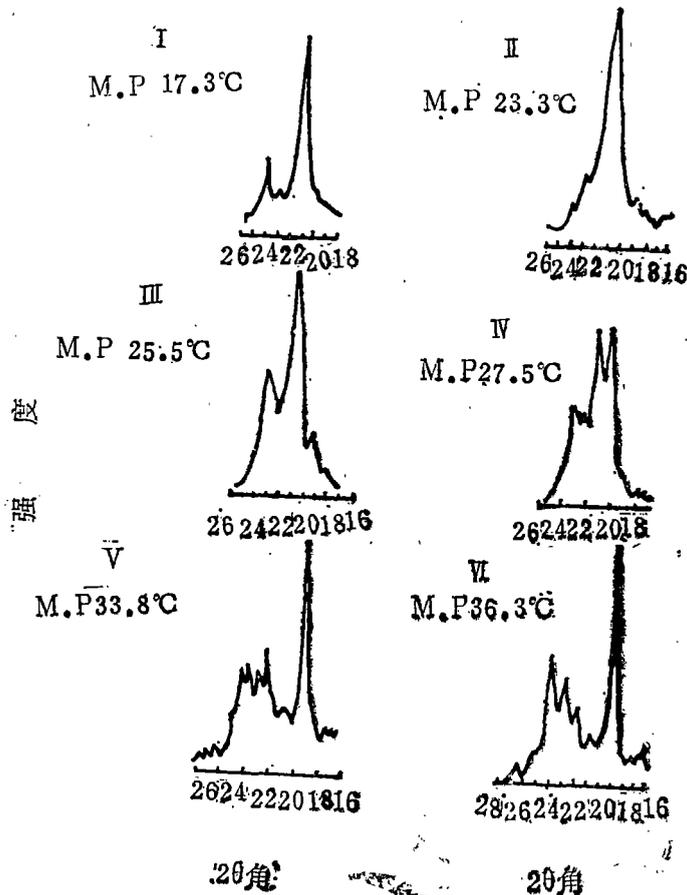


图1 可可脂的6种晶型的衍射短间距图谱

等报道<sup>[6]</sup>: POP 酯有“Sub $\beta$ -3( $\beta$ )”型晶体。POP 酯的“Sub $\alpha$ -3”型晶体的长间距为 69 Å, 短间距有二个: 4.16 Å 非常强, 3.80 Å 为弱强度。

可可脂和 25% SOS、50% POS、25% SOO 混合酯的 I 型晶体的衍射长间距数据的截取是十分困难的。可可脂的 I 型晶体可能是“Sub $\alpha$ -3”与长间距高度不完整的非常小晶体的混合物。

R.L. Wilie 等用 Narelco 衍射仪对可可脂的 6 种晶型进行了测定, 所获得衍射短间距图谱列于图 1<sup>[1]</sup>。

从图 1 中不难看出, 当衍射角为 20~25° 时, 可可脂 V 型与 VI 型晶体的衍射图谱明显不同。

Nissim Garti<sup>[7][11]</sup> 等人将可可脂 V 型晶体与 VI 型晶体以各种不同比例相混合, 然后用 x 射线衍射识别, 所得到各种不同配比的混合晶体的衍射图谱示于图 2。

从图中, 明显看到将可可脂 VI 型晶体逐渐添加到可可脂 V 型晶体中, 会导致衍射图谱逐渐变化, 并且开始与可可脂 VI 型晶体的衍射特征谱相似。

可可脂 6 种晶态的 x 射线衍射数据可见表 2。

如表 2 所示, 可可脂 V 型与 VI 型晶体在 x 射线衍射长间距方面不存在很大的差异。并且在  $\beta$  型晶体所具有的特征短间距—4.6 Å 方面, 二者也没有很大不同。但是可可脂 V 型, 3.98 Å 为强短间距, 3.87 Å、3.75 Å 为中等强度短间距, 3.67 Å 为弱短间距。而可可脂 VI 型在接近 3.98 Å 的 4.04 Å 为弱短间距, 3.70 Å 却为强短间距。

表2 可可脂各种晶型体的热量数据和 X 射线衍射数据

|                | I               | II          | III                                |
|----------------|-----------------|-------------|------------------------------------|
| 熔点 °C          | 17.3            | 23.3        | 25.5                               |
| 熔化热 J/g 在 11°C |                 |             |                                    |
| 加热曲线方法         |                 | 87.0        | 111.0                              |
| 热量计方法          |                 | 86.3        | 112.6                              |
| x 射线衍射 hkl     |                 |             |                                    |
| 长间距 Å 001      | 55.1W           | 49.0vs      | 49.0vs                             |
| 2              | 34.0M、26.8W     |             | 24.6vw                             |
| 3              |                 | 16.3s       | 16.35s、15.24w                      |
| 4              |                 |             |                                    |
| 5              | 13.8W           | 9.6vw(diff) | 9.82                               |
| 6              |                 |             |                                    |
| 7              |                 |             |                                    |
| 8              |                 |             |                                    |
| 9              |                 |             |                                    |
| 平均值            | 68.5和54.5       | 49.0        | 49.1                               |
| 短间距 Å          | 4.19vs<br>3.70s | 4.24vs      | 4.92vw<br>4.62w<br>4.25vs<br>3.86s |

接 表 2

|               | IV         | V      | VI      |
|---------------|------------|--------|---------|
| 熔点 °C         | 27.5       | 33.8   | 36.3    |
| 熔化热 J/g 在11°C |            |        |         |
| 加热曲线方法        | 121.4      | 141.5  | 148.2   |
| 热量计方法         | 117.7      | 136.9  | 148.2   |
| x射线衍射 hkl     |            |        |         |
| 长间距 Å 001     | 45.0vs     | 63.1M  | 63.1vs  |
| 2             | 22.64vw    | 32.2vs | 32.0    |
| 3             | 14.87s     | 21.02w | 21.25vw |
| 4             |            | 16.05w | 16.00w  |
| 5             | 8.93w      | 12.80s | 12.70s  |
| 6             |            | 10.84M | 10.62w  |
| 7             |            | 9.40vw | 9.20vw  |
| 8             |            | 8.04M  | 7.96M   |
| 9             |            | 7.10w  | 7.08M   |
| 平均值           | 45.0       | 64.1   | 63.8    |
| 短间距 Å         | 4.35vs     | 5.40M  | 5.43M   |
|               | 4.15vs     | 5.15w  | 5.15w   |
|               | 3.97M}diff | 4.58vs | 4.59vs  |
|               | 3.81M}     | 4.28vw | 4.27vw  |
|               |            | 3.98s  | 4.04w   |
|               |            | 3.87M  | 3.86M   |
|               |            | 3.75M  |         |
|               |            | 3.67w  | 3.70s   |
|               |            | 3.39vw | 3.36vw  |

注 表示衍射间隔的强度字母: S—强烈 M—中等 w—弱 v—非常 diff—漫射

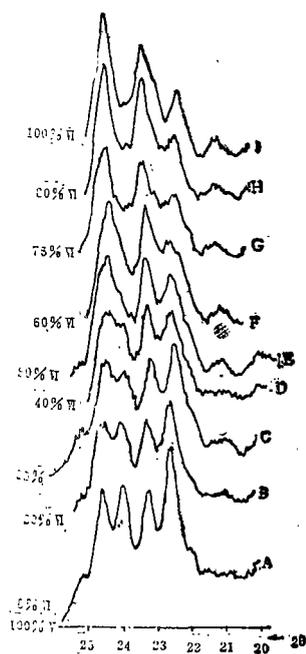


图 2 可可脂的 V、VI 型混合晶体的 x—衍射图谱

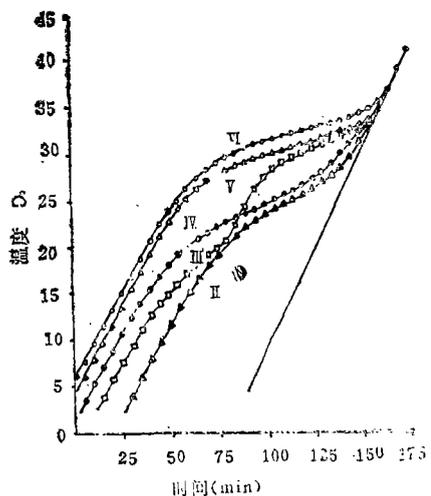


图 3 可可脂的加热曲线

可可脂的各种晶态的加热曲线见图3。其样品处理方法如下：将5克可可脂放入 $\phi 15 \times 90$ 毫米试管中，在 $55 \sim 60^\circ\text{C}$ 熔化5分钟。将此样放在冰水中凝固20分钟，则得II晶样，将熔化的可可脂在冰水中凝固1小时，然后在 $5^\circ\text{C}$ 放置24小时，可得III型晶体；将熔化的可可脂在冰水中凝固1小时，然后在 $16^\circ\text{C}$ 放一夜，即得IV型晶样；将熔化的可可脂在冰水中凝固15分钟，然后在 $16^\circ\text{C}$ 放一夜，在 $21^\circ\text{C}$ 放3天，可得V型晶样；将熔化的可可脂在冰水中凝固15分钟，在 $16^\circ\text{C}$ 放2小时，在 $28^\circ\text{C}$ 放11天，在 $21^\circ\text{C}$ 放一夜，可得VI型晶样。除II型晶体外，其余样品在测定其加热曲线之前均应放在冰水中1小时。测定时，样品放入始终保持 $5^\circ\text{C}$ 温差的空间内。测定该系统输入的热量，并根据脂样的加热曲线来计算可可脂各晶型的熔化热。可可脂各晶型的熔化热数据列于表2。

很明显，按照可可脂I  $\rightarrow$  VI型的次序，相应的熔点逐渐升高，晶型的熔化热逐渐增大。

Fulton等用膨胀计法测定了可可脂各种晶型的固体脂肪含量指数(S.C.I)<sup>[4]</sup>，见图4。

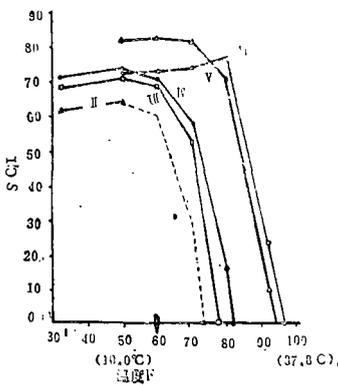


图4 可可脂的SFI曲线

为了维护可可脂各种晶型，Fulton在测定时，对温度的控制作了必要的修改，方法如下：将熔化的2克可可脂在 $0^\circ\text{C}$ 冷却1小时，可得II型晶样；将II型晶体在 $10^\circ\text{C}$ 放2小时，即得III型晶样；将II型晶体在 $15.6^\circ\text{C}$ 放2小时，可得IV型晶样；将II型晶体在 $21.1^\circ\text{C}$ 放1天，在 $26.7^\circ\text{C}$ 放1天，再在 $10^\circ\text{C}$ 放1夜，即得V型晶样。将II型晶体在 $21.1^\circ\text{C}$ 放1天，在 $26.7^\circ\text{C}$ 放3个星期，再在 $10^\circ\text{C}$ 放1夜，可得到VI型晶体。

从图4可知，巧克力糖果中的可可脂以V型晶体存在，具有最佳的硬脆性、口溶性及脱模性。

## 2 可可脂同质多晶型体间的转变

应用x射线衍射技术或采用差速扫描测热仪(DSC)均可以正确地识别甘油三酯各种晶型。

表3 可可脂各种晶型体的稳定性

| 温度<br>( $^\circ\text{C}$ ) | I    |     | II   |   | III  |   | IV              |   | V   |   | VI  |       |       |
|----------------------------|------|-----|------|---|------|---|-----------------|---|-----|---|-----|-------|-------|
|                            | a    | b   | a    | b | a    | b | a               | b | a   | b |     |       |       |
| -30                        | >4小时 |     | 5小时  |   |      |   |                 |   |     |   |     |       |       |
| 0                          | 15秒  | 15分 | <2小时 |   | 16小时 |   |                 |   |     |   |     |       |       |
| 5                          |      |     |      |   | 5天   |   | >1星期            |   |     |   |     |       |       |
| 10                         |      |     | <1小时 |   | 1天   |   | 3天 <sup>c</sup> |   | 2天  |   | 2星期 | >14星期 | >18星期 |
| 16                         | 2秒   |     |      |   | <4小时 |   | 4小时             |   | 3小时 |   | 1天  | 7星期   | 3星期   |
| 21                         |      |     | 熔化 b |   | 熔化 b |   | <1小时            |   | 1小时 |   | 4天  |       | 稳定    |
| 26                         |      |     |      |   |      |   |                 |   |     |   |     |       |       |

a: 晶体开始转变的大概时间

b: 晶体完全转变为下一个较高熔点晶体的大致时间

c: 直接转变为V型固体

d: 在30分钟内重新固化为V型晶体

R.L.Wille, E.S.Lutton曾用x射线衍射仪对可可脂6种晶态的热力学稳定性进行研究,测得数据列于表3<sup>[1]</sup>。

研究证实了:可可脂晶体的热力学稳定性按I→Ⅵ型的顺序递增。

可可脂熔体在0℃下较低温度时凝固,首先产生I型晶体。该晶体在0℃放置15分钟全部转变为II型。如将II型晶体重新放在-70℃30分钟,或在-30℃4小时,它不能逆转为I型晶体<sup>[1][5]</sup>。正如表3所示,可可脂I型晶体具有极低的热力学稳定性。

可可脂II型晶体必须从可可脂在0℃或0℃以下温度的最初形式——I型转化而成,而无法从可可脂熔体结晶直接获得。尝试从温度为5~18℃的可可脂熔体结晶直接得到可可脂II型晶体,但多次实验发现:这样做一律产生比II型熔点高的晶体。

可可脂熔体迅速凝固几分钟后,并在0℃放1小时,可得到可可脂II型晶体。II型晶体在0~5℃放置将转变为III型,如在16~21℃放置,II型转变为IV型晶体。在25℃时,II型晶体几乎完全融化,并缓慢重结晶为V型晶体。

可可脂熔体在5~10℃凝固将产生III型晶体。在10℃放3天,III型转变为V型。在16~21℃III型转变为IV型,在26℃III型部分融化,并在30分钟内重结晶为V型晶体。

可可脂熔体在16~21℃凝固,将产生IV型晶体。在任何温度下,IV型均向V型转化。

可可脂在溶剂中结晶,或可可脂较低熔点的晶体转化。或可可脂熔体直接固化,均可以获得可可脂V型晶体。将可可脂放在一个逐渐升温的环境里,它将从I型晶体逐渐转变,通过全部的中间晶型转变为V型晶体。具体做法如下:将可可脂熔体滴入一只浸泡在冰中的杯子中,首先形成I型晶体的薄片。在0℃15分钟后I型转变为II型(M.P.23.3℃),在5℃过夜得到III型晶体(M.P.25.2℃),在16℃5小时转为IV型(M.P.27.2℃)在24℃2天内变为V型(M.P.33.0℃),在室温下(大约24~25℃)保存2个月,一种最终的晶体——VI型(M.P.36.3℃)被产生。

可可脂V型晶体在21℃时向VI型转变是十分缓慢的,但在较高温度下,这种转变将加速。

可可脂VI型从来没有从可可脂熔体凝固中直接获得,它只能来自V型晶体的转变。

R.L.Wille, E.S.Lutton的研究是成功的。他们向人们揭示了这样一个事实:可可脂的任何一种较高熔点的晶型体均可以从较低熔点的晶型体转化而得;可可脂除II、VI型外,均可以从可可脂熔体直接固化而获得;可可脂V型向VI型转变是在固态状况下进行的,而不是以液相作为晶型转变的媒介。

可可脂V型向VI型转变的本质是尤其令人感兴趣的。因为这种转变与巧克力起霜有关。H.M.Adenier已发现:可可脂V型向VI型转变与巧克力起霜同步发生。

巧克力生产过程中,通常将巧克力物料升高到足够高的温度(32℃),以消除低熔点的晶体,然后冷却到巧克力晶核中心已形成,或者说物料已具有良好的脱模性时,将物料迅速冷却固化,但在平常温度下储藏,仍不可避免地发生巧克力霜斑。

用x射线衍射技术对此现象作了分析研究,从来没有发现起霜的样品中脂晶体不是VI型晶体的;也从来没有发现一种光亮的样品中的脂晶体而不是V型晶体的。VI型晶体团从亚微观大小长到微观大小,就会导致霜斑的发生。

### 3 食品乳化剂对可可脂多晶型转变的影响

N. Garti<sup>[12]</sup>等早已证实, 从溶剂中结晶的硬脂酸, 会由于乳化剂的存在而延缓不稳定晶型向稳定晶型转变的进行。从而认为: 对于硬脂酸, 乳化剂

可以作为一种晶体结构改良剂使用。在他的另一个研究中已发现: 对于硬脂酸精或棕榈油来讲, 添加适量 Span 60 或 Span 65 对抑制晶体从  $\alpha$  型向  $\beta$  型转变是最有效的。

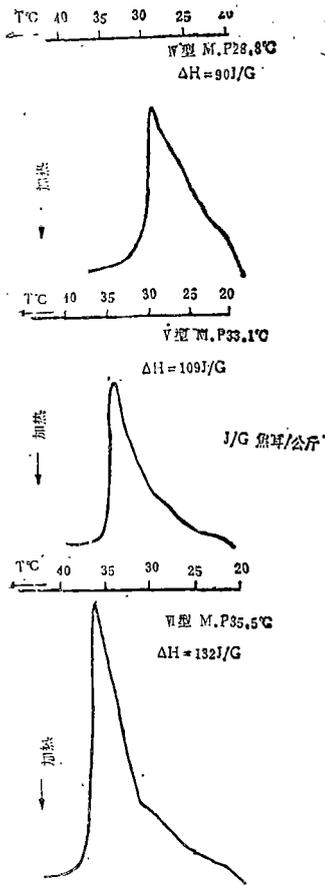
M. Krog<sup>[14]</sup>在调查研究了甘油三酯中间体的稳定性后, 指出山梨糖醇酐硬脂酸酯可以作为一种晶体行为调节剂而被采用。

最近 N. Garti<sup>[11]</sup>等应用 x 射线粉末衍射及差速扫描测热技术(DSC), 调查研究了食品乳化剂对可可脂多晶型转变的影响, 并发现了乳化剂的物理性质与这种影响之间的关系。

在巧克力糖果中最值得关注的是可可脂 IV、V、VI 型晶体的转变。根据 R. L. Wille、E. S. Lutton 的研究成果, 再次证实了可可脂 IV 型转变为 V 型是通过液相进行的, 而 V 型转变为 VI 型只能通过固相发生。

如前所述, 可可脂 V 型晶体在 21°C 时向 VI 型转变非常缓慢, 但随温度升高, 这种转变将加速进行。在 30°C 非液态的可可脂虽然不是十足的固体, 不管这样, 它是可塑的。塑性足以允许分子排列发生微小的修改, 以致构成一种较为复杂而紧凑的排列。但实验结果表明: 当温度高于 30°C 时, 可可脂向 VI 型晶体转变的可能性将减少。在 30°C 温度以下范围内, 随温度升高, V 型向 VI 型转变加速, 应归于温度的升高促使固相中脂分子的微小运动加剧之故。而当温度高于 30°C 时, 由于可可脂大部分已为液态, 只能通过固相才能进行的

图 5 可可脂的 IV V VI 型晶体的 DSC 加热曲线



V 向 VI 型的转化将由此而减弱。

N. Garti<sup>[11]8-10]</sup>对可可脂 IV、V、VI 型晶体进行 DSC 检测, 所得特征温谱图示于图 5。从图 5 可以看出: 热力学稳定性的增强与吸热值的增大和结晶度的加强有关。热力学稳定性的增强表现为熔点范围变得较为狭窄。这是因为晶体结构逐渐稠密的缘故。

根据图 1、5 可以确定可可脂中 IV、V 与 VI 型晶体的量。

在可可脂中添加 5% (以重量计) 的食品乳化剂——Span 系列及 Tween 系列。用 x 射线衍射技术进行测定可可脂 V 型向 VI 型转变的情况, 结果列于表 4。

表4 根据X衍射计算而测得的乳化剂对可可脂V型向VI型转变的影响

| 乳 化 剂 种 类 | V型晶体保存的百分比(%) | 乳化剂熔点(°C) |
|-----------|---------------|-----------|
| 0         | 0             | —         |
| Span 20   | 40            | 在室温下为液体   |
| Span 40   | 50            | 48        |
| Span 60   | 60            | 48        |
| Span 65   | 100           | 54        |
| Span 80   | 30            | 在室温下为液体   |
| Span 85   | 20            | 在室温下为液体   |
| Tween20   | 50            | 在室温下为液体   |
| Tween40   | 65            | 在室温下为液体   |
| Tween60   | 50            | 在室温下为液体   |
| Tween65   | 50            | 在室温下为液体   |
| Tween80   | 50            | 在室温下为液体   |
| Tween85   | 40            | 在室温下为液体   |

表4中第一项“零”表示不添加乳化剂的纯可可脂在相同实验条件下全部由V型转为VI型。

很明显,在Span系列中保护V型最有效的是Span65,其熔点为54°C。Span60(M.P, 48°C)Span40(M.P.48°C)比Span65效果差。Tween系列的添加对保护V型的效果相仿。这是与Tween系列乳化剂在室温下是液态有关。

Span与Tween的各种不同配比的混合物的存在对可可脂V型向VI型转变的影响见表5。

表5 根据X衍射计算测得混合乳化剂对可可脂V型向VI型转变的影响

| 乳 化 剂 种 类               | V型晶体保存的百分比(%) | 乳化剂熔点(°C) |
|-------------------------|---------------|-----------|
| Span65 + Tween60(25:75) | 60            | 41        |
| Span65 + Tween60(50:50) | 75            | 46        |
| Span65 + Tween60(75:25) | 100           | 53        |
| Span60 + Tween65(25:75) | 60            | 42        |
| Span60 + Tween65(50:50) | 100           | 50        |
| Span60 + Tween65(75:25) | 100           | 54        |
| Span65 + Tween60(25:75) | 60            | 38        |
| Span65 + Tween60(50:50) | 100           | 47        |
| Span65 + Tween60(75:20) | 100           | 49        |
| Span65 + Tween65(25:75) | 75            | 40        |
| Span65 + Tween65(50:50) | 100           | 49        |
| Span65 + Tween65(75:25) | 100           | 53        |

如表4、5所示,在可可脂中只添加一种Span60乳化剂时,只有60%的V型晶体被保存,而在可可脂中添加Span60与Tween60(3:1v/v)混合乳化剂后在相同实验条件下,V

型晶体可100%被保存；随着乳化剂熔点的升高，其保护V晶体的效果也越好。当Span与Tween以一定比例混合时，混合物的熔点越高，保护V型的效果也就越好。

这一结果说明，一种有效的晶体结构改良剂必须是固体，并且应与可可脂相容。亲液(lypopyllic)和亲水(hydrophilic)乳化剂以一定比例混合，形成稳定的o/w乳浊液有很好的稳定性。二种不同乳化剂的混合物比它们之中的任何一种具有更大的功效，这可归因于乳化剂间的协合作用(synergism)。Span60和Tween60之间的协合作用可看作为在一种分子完全分散物系中互相溶解度的增加。

在可可脂中添加单一的Span65乳化剂。用DSC方法测定乳化剂在可可脂Ⅵ型向V型、型V向Ⅵ型转变方面的影响，所测的温谱图如图6。必须说明的是：在室温下可可脂完全转为Ⅵ型大约需要2个月的时间，为了加速这种转变，采用20~30℃温度循环的加热方法，可使V型向Ⅵ型转变所需时间缩短到几天。

图6a所示的温谱曲线全部是可可脂V型的特征曲线。当添加了较多的乳化剂后，增加了可可脂中具有特殊温度的液态馏分，因而导致温谱线形状较为平缓，样品熔点下降。图6b所示是把下述样品用温度循环加热处理后的温谱图。可以看出：不加Span65纯可可脂已经产生可观的Ⅵ型晶体，而在添加10%Span65的可可脂中Ⅵ型晶体的存在是微不足道的。

在可可脂中添加不同百分比的Span65，各样品以3℃/分的冷却速度冷却到16℃，然后均放置室温下4小时，同DSC法观察Ⅳ型向V型转变的情况。各样品的温谱曲线见图7

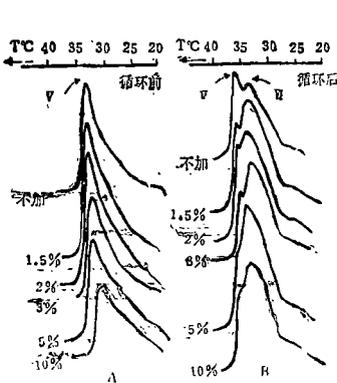


图6 从添加了不同百分比的Span65的可可脂熔体中结晶而得的可可脂的DSC加热曲线

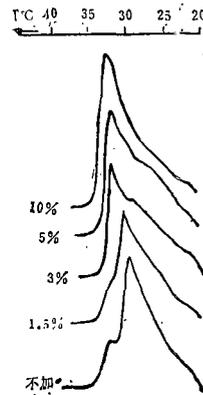


图7 添加各种百分比Span65的可可脂样品的加热曲线

很明显由于Span65的存在，加速了可可脂Ⅳ型向V型的转变。

把纯可可脂与添加2%乳化剂的可可脂样品作比较。这二只样品均以0.3℃/min的速度冷却至16℃后，放置于室温。用DSC法测定不同时刻时各样品的温谱曲线，见图8。

很明显为促使可可脂Ⅳ型向V型转变，添加乳化剂是权宜之计。

将纯可可脂与添加Span65的可可脂样品在30℃温度储存。观察储存期间V型晶体消失的情况，结果见图9。此试验再一次证明乳化剂对可可脂V型向Ⅵ型转化起抑制作用。

从上述，可以得出这样的结论：可可脂中乳化剂的存在，将促使Ⅳ型向V型转变，而抑制或延缓V型向Ⅵ型转变。前者的作用应归因于乳化剂的存在，增加了可可脂的液态馏分，

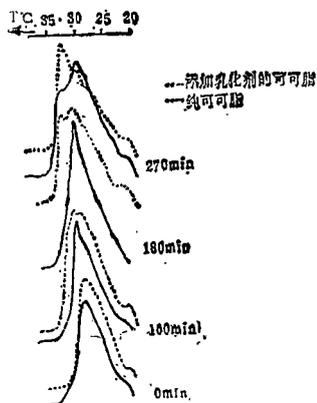


图8 纯可可脂和添加2%乳化剂的可可脂不同时期的DSC加热曲线

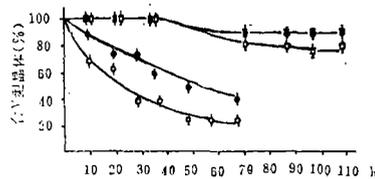


图9 在向VI型晶体转变过程中V型晶体消失情况

而IV型向V型转化正是通过液相来完成的，后者的作用是与乳化剂的物理结构有关。Nissim Garti 等认为：高熔点的乳化剂具有碳链紧密排列，不易弯曲的结构，正是由于这种刚硬结构，阻碍了脂分子的微小运动，从而延缓了那种只有通过固相才能进行的晶型转变，而可可脂V型向VI型转变恰恰只能通过固相完成。

科学家杰出的研究揭示了可可脂同质多晶现象的规律，并提出了一种有效的可可脂晶体结构改良剂，对避免或延缓巧克力糖果霜斑的产生，无疑是意义深远的。

### 参 考 文 献

- [1] While R L, and E.S.Lutton. J.Am Oil chem.Soc. 1966
- [2] Chapman D. The Structure of Lipids. John Wiley and Sons Inc. New York, 1965
- [3] Lutton E S. JAOCS 1957; 34, 521
- [4] Fulton N D., E S. Lutton and R L. Wille JAOCS 1954; 31, 98
- [5] Lutton E S. and F L. Jackson, JACS, 1948; 70, 2445
- [6] Malkin T. and B R. Wilson, J. Chem. Soc, 1949; 369
- [7] Garti N JAOCS, 1986; 63, 230
- [8] Hampson J W. and H L. Rothbard. JAOCS, 1983; 60, 1102
- [9] Lovegren N V. and M S. Gray. JAOCS, 1978; 55, 310
- [10] Lovegren N V. and M S. Gray., R O. Feuge. JAOCS, 1976; 53, 519
- [11] Garti N E. Wellner and S Sarig. JAOCS, 1981; 58, 1058
- [12] Garti N E. Wellner and S Sarig. JAOCS, 1982; 59, 181
- [13] Kawamura K. JAOCS, 1980; 57, 48
- [14] Krog N. JAOCS, 1977; 54, 124