

計畫編號：DOH88-TD-1055

行政院衛生署八十八年度科技研究發展計畫

人工甜味劑對代糖蛋糕加工變化之探討

Effects of Artificial Sweeteners on Processing
Changes of Sugar Substitute Cakes

研 究 報 告

執行機構：輔仁大學食品營養學系

計畫主持人：黃瑞美

研究人員：葉素青

執行期間：87 年 7 月 1 日至 88 年 6 月 30 日

摘 要

蛋糕具高糖及高熱量特性。為使消費大眾能享用美味蛋糕，並兼顧健康需求，本研究選用戚風蛋糕為樣本。以人工甜味劑阿斯巴甜(aspartame)、微膠囊化阿斯巴甜(encapsulated aspartame)或醋磺內酯鉀(acesulfame-K)及增量劑 polydextrose 取代部分蔗糖製作低糖蛋糕。以傳統戚風蛋糕為對照，並利用反應曲面設計法(response surface methodology)，尋求低糖蛋糕較適配方。再依所得條件製作蛋糕，並比較傳統和低糖蛋糕麵糊之理化性質、蛋糕品質及其貯存變化。

依反應曲面設計法所得之 96% polydextrose、45%砂糖及 70%水(fwb)為較適配方，配合使用阿斯巴甜，所製低糖戚風蛋糕，其內部質地和風味與傳統蛋糕均無顯著差異($p>0.05$)。因 polydextrose 提升澱粉糊化溫度之程度高於蔗糖，故低糖蛋糕麵糊的糊化溫度顯著較高($p<0.05$)，烤焙時黏度會較低，使保氣性較差，導致蛋糕體積顯著較小($p<0.05$)，感官品評外皮苦味較強($p<0.05$)，消費者之喜好度顯著較低($p<0.05$)，但仍在可接受範圍內。此外，它可減低 67%糖量及 18%熱量。

低糖蛋糕烤焙過程，以阿斯巴甜所製者，阿斯巴甜之回收率顯著較微膠囊化阿斯巴甜所製者為低($p<0.05$)，其回收率分別為 24%及 41%。隨貯存時間增加，蛋糕中阿斯巴甜含量亦下降，且貯存溫度愈高，阿斯巴甜的分解速率愈快。其中，置 25℃貯存者阿斯巴甜的降解速率最快，貯存 5 天後降解量達 41-79%；而置-18℃貯存者，其含量變化較小。

以澱粉的回凝程度、蛋糕硬度及感官品評之整體感得分來評估蛋糕老化。結果傳統和低糖戚風蛋糕均隨貯存時間增加，老化程度亦增，尤以貯存前 3 天增加最快，且置 25℃及 4℃貯存者，老化較-18℃者為快；而低糖蛋糕因含糖量較少，貯存時澱粉易回凝，故老化較快。

關鍵詞：蛋糕、低糖、增量劑、人工甜味劑、阿斯巴甜。

Abstract

Cake is rich in calories and sugar. For the purpose of making high-quality and low-calorie cake products, aspartame, encapsulated aspartame, or acesulfame-K were used as sweeteners and polydextrose as a bulking agent, to partially replace sucrose in chiffon cakes. Response surface methodology (RSM) was used to optimize the formulations of low-sugar cakes. Then, physiochemical characteristics of cake batter, qualities of products and quality changes during storage for traditional and low-sugar cakes were compared.

When aspartame was used as sweetener, the optimum formulation of low-sugar cake was a combination of 96% polydextrose, 45% sucrose, and 70% water on flour basis. Crumbs texture and flavor of the low-sugar cake were not significantly different from traditional cake ($p>0.05$). However, polydextrose increases starch gelatinization temperature to a higher value than sugar, thus the starch gelatinization temperature was significantly higher in low-sugar cake batters ($p<0.05$). Due to the low viscosity of batters for the low-sugar cake the retention of air bubbles decrease during baking. Consequently, the volume of low-sugar cake was significantly smaller ($p<0.05$). According to results of sensory evaluation, low-sugar cakes had more bitter crust. The extent of consumer preference was significantly lower, but was still in the acceptable range ($p<0.05$). The formulation of low-sugar cake reduced 67% amounts of sugar and 18% calories of traditional cake.

Compared to the cake used encapsulated aspartame as sweetener, the cake used aspartame powder had lower ratio of aspartame recovery. The recovery ratio was 24% and 41%, respectively. As the storage time increased the content of aspartame for low-sugar cakes decreased. The higher storage temperature, the greater the degradation of aspartame. About 41-79% aspartame was degraded after 5 days at 25 °C, but did not show obvious changes at -18°C during storage.

The extent of staling of chiffon cake was evaluated according to the degree of starch retrogradation, hardness and overall scores of cakes. The degree of staling progressed during storage, especially for

the first three-days of storage. The degree of staling was faster at 25 °C and 4°C than at -18°C. The lower sugar concentration of low-sugar cake resulted in rapid starch retrogradation. Therefore, the degree of staling was higher for low-sugar cake.

Key words: Cake, low-sugar, bulking agent, artificial sweeteners, aspartame.

目 次

	頁次
第一章 前言.....	1
第二章 材料與方法.....	3
一、試驗設計與統計分析.....	3
(一)低糖戚風蛋糕較適配方之探討.....	3
(二)傳統和低糖戚風蛋糕品質之探討.....	3
(三)傳統和低糖戚風蛋糕之貯存品質變化.....	7
二、戚風蛋糕之材料及製作.....	7
(一)蛋糕之材料.....	7
(二)蛋糕之製作.....	7
1.傳統蛋糕之製作.....	7
2.低糖蛋糕之製作.....	11
(三)蛋糕之包裝及貯存.....	11
三、戚風蛋糕麵糊之特性測定.....	13
四、戚風蛋糕之品質測定.....	13
(一)蛋糕理化性質測定.....	13
(二)感官品評試驗.....	16
第三章 結果與討論.....	19
一、低糖戚風蛋糕較適配方之探討.....	19
(一)因子的種類及範圍之選擇和人工味劑之選用.....	20
(二)模式適合性的探討和各因子對低糖蛋糕品質 之影響.....	21
(三)低糖蛋糕較適配方之探討.....	24
(四)低糖蛋糕較適配方之評估.....	24
1.反應區面法所得的推測值和實驗值之比較.....	24
2.傳統和低糖蛋糕的感官及質地特性之比較.....	29
3.消費者對低糖蛋糕之喜好度.....	29
二、傳統和低糖戚風蛋糕品質之探討.....	33
(一)低糖蛋糕之人工甜味劑選用.....	33

(二)傳統和低糖蛋糕的麵糊理化性質.....	33
(三)傳統和低糖蛋糕的品質特性.....	34
1.傳統和低糖蛋糕之理化性質.....	34
2.低糖蛋糕之阿斯巴甜含量及其裂解產物.....	39
3.傳統和低糖蛋糕之感官特性.....	42
4.傳統和低糖蛋糕之熱量.....	46
三、傳統和低糖戚風蛋糕貯存品質變化之探討.....	46
(一)傳統和低糖蛋糕之老化程度.....	46
1.澱粉之回凝程度變化.....	49
2.蛋糕硬度之變化.....	52
3.蛋糕整體感之變化.....	52
(二)低糖蛋糕之阿斯巴甜安定性.....	55
第四章 結論.....	58
參考文獻.....	59
附錄 戚風蛋糕感官品評問卷.....	65

表 次

頁次

表一、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面設計因子 及其變級.....	5
表二、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面設計.....	6
表三、戚風蛋糕貯存試驗的複因子試驗設計.....	8
表四、戚風蛋糕各原料之製造商.....	8
表五、傳統戚風蛋糕之配方.....	9
表六、低糖戚風蛋糕之配方.....	12
表七、戚風蛋糕定量描述分析之感官特性的 定義與品評步驟.....	18
表八、戚風蛋糕定量描述分析之參考樣品.....	18
表九、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面法的試驗結果.....	22
表十、低糖戚風蛋糕反應曲面法之試驗結果的變 異數分析.....	23
表十一、感官品評和質地特性之編碼和真實複 迴歸係數.....	25
表十二、傳統戚風蛋糕的感官和質地特性.....	26
表十三、低糖戚風蛋糕的感官和質地特性之目標值.....	26
表十四、低糖戚風蛋糕之較適配方.....	28
表十五、不同配方製出的低糖戚風蛋糕之感官和 質地特性的推測值及實驗值.....	30
表十六、傳統和低糖戚風蛋糕的感官和質地特性.....	31
表十七、低糖戚風蛋糕之消費者型品評員的人 口統計資料.....	32
表十八、消費者型品評團所得之低糖戚風蛋糕 的感官特性.....	32
表十九、傳統和低糖戚風蛋糕之理化特性.....	35
表二十、傳統和低糖戚風蛋糕麵糊之澱粉糊化 溫度和熱焓量.....	37

表二十一、低糖戚風蛋糕中阿斯巴甜之濃度及回收率.....	41
表二十二、試驗分析型品評團所得之傳統和低糖戚風蛋糕的感官特性.....	43
表二十三、戚風蛋糕之消費者型品評員的人口統計資料.....	44
表二十四、消費者型品評團所得之傳統和低糖戚風蛋糕的感官特性.....	44
表二十五、消費者、減重者及糖尿病患者對低糖戚風蛋糕的購買意願.....	45
表二十六、減重者品評團所得之低糖戚風蛋糕的感官特性.....	47
表二十七、糖尿病患者品評團所得之低糖戚風蛋糕的感官特性.....	47
表二十八、傳統和低糖戚風蛋糕之熱量.....	48
表二十九、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之回凝澱粉熔解溫度.....	50
表三十、貯存期間低糖戚風蛋糕之阿斯巴甜含量.....	56

圖 次

	頁次
圖一、實驗架構流程圖.....	4
圖二、傳統和低糖戚風蛋糕之製程.....	10
圖三、重疊感官品評的甜味和整體感分數及硬度、脆 性、咀嚼性及膠性之等高線圖的適當區域.....	27
圖四、傳統和低糖戚風蛋糕麵糊之示差掃描熱分析圖.....	36
圖五、傳統和低糖戚風蛋糕之橫切面圖.....	38
圖六、在等比例阿斯巴甜和醋磺內酯鉀所製低糖戚風蛋 糕中阿斯巴甜及其裂解產物之高效液相層析圖.....	40
圖七、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕的回凝澱粉熔 解熱焓量之變化.....	51
圖八、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之硬度變化.....	53
圖九、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之感官品評 試驗的整體感得分變化.....	54
圖十、貯存期間低糖戚風蛋糕之阿斯巴甜分解情形.....	57

第一章 前言

隨國人生活日漸富裕，飲食內容日趨豐富，結果營養過剩，導致肥胖、糖尿病及心血管疾病等患者與日俱增，而高糖與高熱量之蛋糕與西點是國人生活中重要的消費食品，在生日、宴會或節慶等場合，均少不了它們。為使消費大眾能享用美味蛋糕，有必要研發兼具健康導向，又不失美味之低糖低熱量烘焙製品。

糖於烘焙食品中除供甜味外，亦扮演許多功能。烘焙產品品質受糖的化學性質影響很大(Barndt and Antenucci, 1993; Giese, 1993);如蔗糖可鬆軟蛋糕組織，賦予產品金黃色澤和良好風味，延緩蛋糕老化及降低水活性等(郭, 1995; Barndt and Antenucci, 1993; Neville and Setser, 1986; Ponte, 1990; Pateras and Rosenthal, 1992)，這些功用對蛋糕組織結構和口感影響極大。製作蛋糕時，由於人工甜味劑僅能提供甜味，因此完全改用人工甜味劑取代蔗糖，將面臨諸多蔗糖功能無法被取代的問題，必須配合使用增量劑(bulking agents)來解決(Pszczola, 1988; Shukla, 1995)。

學者們曾以 polydextrose、麥芽糊精(maltodextrins)或糖醇(polyols, sugar alcohols)等增量劑，及阿斯巴甜(aspartame)或醋磺內酯鉀(acesulfame-K)等人工甜味劑來製作低糖或代糖麵糊類蛋糕(batter type cake)，並探討其麵糊與製品之特性(Frye and Setser, 1992; Hess and Setser, 1983, 1986; Olinger and Velasco, 1996; Pong *et al.*, 1991; Rasper and Kamel, 1989; Rosenthal, 1995)。至於乳沫類蛋糕(foam type cake)，這方面之研究極少(Attia *et al.*, 1993)；而戚風類蛋糕(chiffon type cake)則尚無人探討過。故本研究選用國內消費量最大，但尚乏人研究的戚風蛋糕為樣本。以人工甜味劑阿斯巴甜和醋磺內酯鉀及增量劑 polydextrose 取代部分砂糖來製作低糖蛋糕。以傳統戚風蛋糕為對照，利用反應曲面設計法(response surface methodology, RSM)，尋求低糖蛋糕較適配方。再依所得配方製作蛋糕，並比較傳統和低糖蛋糕麵糊之理化性質、蛋糕品質

及其貯存變化，以供低熱量食品研發者參考。期望依此來開發更多樣化之低糖蛋糕，除造福糖尿病患與減肥者，亦提供消費大眾新的選擇方向。

第二章 材料與方法

一、試驗設計與統計分析

本研究分較適化階段、比較階段及貯存試驗 3 階段進行。先尋求低糖蛋糕較適配方，再依所得條件製作蛋糕，並探討傳統和低糖蛋糕麵糊之理化性質、蛋糕品質及其貯存變化(圖 1)。

(一)低糖戚風蛋糕較適配方之探討

為尋求低糖蛋糕較適配方，乃以反應曲面法(response surface methodology, RSM)設計實驗。採三個因子(factor)和五個變級(level)之二階次中心組合旋轉設計(central composite rotatable second order design)(表 1)(Cochran and Cox, 1957)，並以蛋糕之體積、感官及質地特性為反應變量(response)。試驗共計 20 次，採隨機進行，包括中心點重覆 6 次(表 2)。實驗數據以 SAS 6.12 套裝軟體(SAS Institute Inc., Cary, NC)中的 RSREG/LACKFIT 程序進行變異數分析及二次多項式統計分析(SAS, 1990)，先求得迴歸方程式，再以 GCONTOUR 程序繪製等高線圖(contour plot)(SAS, 1990)，以找出低糖蛋糕之 polydextrose、蔗糖及水的較適用量。

篩選 RSM 預估出之低糖蛋糕配方時，則採完全隨機設計(completely randomized design, CRD)。實驗數據以 SAS 的 ANOVA 程序考驗多種處理均值之差異顯著性(SAS, 1990)，再以丹內特測驗法(Dunnett's test)比較對照處理組(傳統蛋糕)和參試處理組(低糖蛋糕)的均值差異(Dunnett, 1955)；另以鄧氏新多變域測驗法(Duncan's new multiple range test)比較不同配方條件所製低糖蛋糕的差異，以選出較佳之低糖蛋糕配方。

(二)傳統和低糖戚風蛋糕品質之探討

依 RSM 及 CRD 所得較適配方，以阿斯巴甜(aspartame, APM)

較適化階段

反應曲面設計



蛋糕品質測定

體積

感官品評

物性測定



評估低糖蛋糕
之較適配方



找出低糖蛋糕之較適配方



比較階段

完全隨機設計



蛋糕麵糊之特性測定

比重

黏度

pH 值

澱粉之糊化溫度

蛋糕品質測定

烘焙損耗

體積和對稱性

顏色

水分和水活性

pH 值

阿斯巴甜含量及其裂解產物

感官品評



找出低糖蛋糕之人工甜味劑較適組合



貯存試驗階段

複因子設計



蛋糕品質變化測定

澱粉之回凝程度

物性測定

感官品評

阿斯巴甜含量



找出戚風蛋糕的較適貯存條件

圖一、實驗架構流程圖。

Fig. 1. A flow chart of experiment design.

表一、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面設計因子及其變級

Table 1. Factors and their levels for response surface methodology of low-sugar chiffon cake formulas

Factors	Levels				
	-1.682	-1	0	1	1.682
X ₁ (polydextrose, % ^a)	59.77	70	85	100	110.23
X ₂ (sucrose, % ^a)	18.18	25	35	45	51.82
X ₃ (water, % ^a)	48.18	55	65	75	81.82

^a Percentage of ingredients based on cake flour weight basis.

表二、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面設計

Table 2. Experimental design for response surface methodology of low-sugar chiffon cake formulas

Treatment number	Coded Variables			Natural Variables ^{a, b}		
	X ₁	X ₂	X ₃	§ ₁	§ ₂	§ ₃
1	-1	-1	-1	70	25	55
2	1	-1	-1	100	25	55
3	-1	1	-1	70	45	55
4	1	1	-1	100	45	55
5	-1	-1	1	70	25	75
6	1	-1	1	100	25	75
7	-1	1	1	70	45	75
8	1	1	1	100	45	75
9	-1.682	0	0	59.77	35	65
10	1.682	0	0	110.23	35	65
11	0	-1.682	0	85	18.18	65
12	0	1.682	0	85	51.82	65
13	0	0	-1.682	85	35	48.18
14	0	0	1.682	85	35	81.82
15	0	0	0	85	35	65
16	0	0	0	85	35	65
17	0	0	0	85	35	65
18	0	0	0	85	35	65
19	0	0	0	85	35	65
20	0	0	0	85	35	65

^a §₁: polydextrose (%); §₂: sucrose (%); §₃: water (%).

^b Percentage of ingredients based on cake flour weight basis.

微膠囊化阿斯巴甜(encapsulated aspartame)及等比例混合之阿斯巴甜和醋磺內酯鉀(acesulfame-K, ACK)(APM:ACK=1:1) 3 種人工甜味劑組合製作低糖蛋糕，採 CRD 設計實驗。實驗數據以 SAS 的 ANOVA 程序考驗多種處理均値之差異顯著性(SAS, 1990)，再以鄧氏新多變域測驗法進行事後比較(unplanned comparisons)，以探討不同人工甜味劑組合所製低糖蛋糕與傳統蛋糕，其麵糊理化性質及蛋糕品質的差異。

(三)傳統和低糖戚風蛋糕之貯存品質變化

採複因子試驗(factorial experiment)進行蛋糕貯存試驗，A 因子為貯存時間(0, 1, 3, 5, 7, 14 天)，B 因子為貯存溫度(-18, 4, 25 °C)，以 CRD 法重覆 3 次(表 3)，以瞭解貯存時間和溫度對蛋糕的老化程度和阿斯巴甜安定性之影響。此外，以皮爾遜積差相關法(Pearson product-moment correlation)，對各項評估老化之指標進行相關性統計分析。

二、戚風蛋糕之材料及製作

(一)蛋糕之材料

傳統和低糖戚風蛋糕的各項材料來源如表 4 所示。

(二)蛋糕之製作

1.傳統蛋糕之製作

依徐等(1995)之配方(flour weight basis, fwb)(表 5)和製程(圖 2)來製作傳統戚風蛋糕。其製作特色是將蛋白與蛋黃分開攪拌，形成麵糊類(batter part)和乳沫類(foam part)兩部分。麵糊類部分是將低筋麵粉、發粉、全脂奶粉及食鹽等乾料過篩，再依序將蛋黃、大豆油、水、75%砂糖及過篩乾料加入混勻；乳沫類部分則是將蛋白加入塔塔粉(酒石酸氫鉀, $\text{KH}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$)置攪拌缸中，以攪拌機

表三、戚風蛋糕貯存試驗的複因子試驗設計

Table 3. Storage tests on chiffon cake determined by factorial experiment

Storage temperature (°C)	B factor	A factor Storage time (days)					
		0	1	3	5	7	14
		(a ₁)	(a ₂)	(a ₃)	(a ₄)	(a ₅)	(a ₆)
-18 (b ₁)		a ₁ b ₁	a ₂ b ₁	a ₃ b ₁	a ₄ b ₁	a ₅ b ₁	a ₆ b ₁
4 (b ₂)		a ₁ b ₂	a ₂ b ₂	a ₃ b ₂	a ₄ b ₂	a ₅ b ₂	a ₆ b ₂
25 (b ₃)		a ₁ b ₃	a ₂ b ₃	a ₃ b ₃	a ₄ b ₃	a ₅ b ₃	a ₆ b ₃

表四、戚風蛋糕各原料之製造商

Table 4. Manufacturers of ingredients for chiffon cake

Ingredients	Manufacturers
Cake flour	聯華實業股份有限公司, 桃園縣
Egg	高農食品廠股份有限公司, 台北縣
Distilled water	欣原蒸餾水行, 台北縣
Soy bean oil	台灣糖業股份有限公司, 高雄市
Whole milk powder	台灣雀巢股份有限公司, 新竹縣
Baking powder	Crescent Foods, Inc., Kent, WA, USA
Salt	台鹽實業股份有限公司, 苗栗縣
Cream of tartar	Butakem Ltd., Transkei, Southern Africa
Sweeteners and bulking agents	
Fine granulated sugar	台灣糖業股份有限公司, 嘉義縣
Polydextrose (Litesse®)	Pfizer, Inc., NY, NY, USA
Aspartame (NutraSweet®)	NutraSweet Kelco Co., Deerfield, IL, USA
Encapsulated aspartame	NutraSweet Kelco Co., Deerfield, IL, USA
Acesulfame-K (Sunett®)	Hoechst AG, Frankfurt, Germany

表五、傳統戚風蛋糕之配方

Table 5. Formulation for traditional chiffon cake

Ingredients	Flour basis (%)	Percent (%)
Batter part		
Dry ingredients		
Cake flour	100.0	19.47
Baking powder	4.0	0.78
Whole milk powder	8.0	1.56
Salt	1.0	0.19
Sucrose	75.0	14.61
Wet ingredients		
Egg yolk	50.0	9.74
Soy bean oil	50.0	9.74
Distilled water	65.0	12.66
Foam part		
Egg white	100.0	19.47
Cream of tartar	0.5	0.01
Sucrose	60.0	11.68
Total	513.5	100.00

乳沫類部分

蛋白加塔塔粉打至濕性發泡



加入 60%砂糖
(分 3 次加入 60%
polydextrose 及砂糖)*



打至硬性發泡

麵糊類部分

蛋黃、大豆油及水拌勻



加入 75%砂糖及過篩乾料混勻
(加入打蛋白時剩餘
之 polydextrose)*



兩者混合拌勻



在 8 吋鋁製圓形烤模中，倒入 500.0 ± 1.0 g 麵糊



以上火 170°C /下火 200°C 烘烤



取出倒扣冷卻

圖二、傳統和低糖戚風蛋糕之製程。

Fig. 2. Procedure for making traditional and low-sugar chiffon cakes.

* Procedure for making low-sugar chiffon cake.

(K5SS, KitchenAid, St. Joseph, MI, USA)經鋼絲拌打器 6 速打至濕性發泡(wet peak stage)，再加入 60%砂糖繼續打到硬性發泡(stiff foam stage)，此時比重約 0.20。最後，將打發之乳沫類和麵糊類兩部分以橡皮刮刀混合拌勻，此時麵糊比重約 0.46，再於鋁製圓形活動烤模(直徑 8 吋，深度 2.75 吋)中倒入 500.0 ± 1.0 g 麵糊；置入烤箱(Jenn Dah Foods Machinery Co., Ltd., Taipei, Taiwan)以上火 170°C /下火 200°C 烤焙約 33 分鐘，取出倒扣於架上冷卻即成。

2. 低糖蛋糕之製作

低糖戚風蛋糕是依表 6 之配方，以 polydextrose 及人工甜味劑阿斯巴甜、微膠囊化阿斯巴甜或 APM:ACK=1:1 取代部分蔗糖來製作。製作方法則是依傳統蛋糕製程加以修飾(圖 2)，找出 polydextrose 和人工甜味劑添加之順序與方法。製作時，麵糊類部分是將乳沫類部分，攪打蛋白剩餘之 polydextrose 及人工甜味劑與其他乾料一起過篩，再與預先拌好之蛋黃、大豆油及水混勻；乳沫類部分則是先將蛋白加入塔塔粉打至濕性發泡，再以 polydextrose 和砂糖總用量為 60% (fwb)為原則，分 3 次加入部分 polydextrose 及全部砂糖，並繼續打到硬性發泡。最後將乳沫類和麵糊類兩部分拌勻成麵糊，比重亦控制在 0.46 左右。至於蛋糕烤焙溫度和時間及冷卻方式，皆與傳統蛋糕相同。

(三)蛋糕之包裝及貯存

將出爐之蛋糕，置室溫冷卻至中心溫度達 25°C ，再分別以 1 mm 厚 PE 袋包裝，並用封口機(Tish-300, 台灣電熱工業公司, 台北縣)密封後，置於 25°C 室溫(相對濕度 60-65%)、 4°C 冷藏及 -18°C 冷凍暗處貯存 1、3、5、7 及 14 天。

表六、低糖戚風蛋糕之配方

Table 6. Formulation for low-sugar chiffon cake

Phases/Ingredients	Flour basis (%)
Optimization phase	
RSM phase	
Constant ingredients	
Cake flour	100.00
Egg white	100.00
Egg yolk	50.00
Soy bean oil	50.00
Whole milk powder	8.00
Baking powder	4.00
Aspartame	1.62
Salt	1.00
Cream of tartar	0.50
Variable ingredients	
Polydextrose	59.77-110.23
Sucrose	18.18-51.82
Water (distilled)	48.18-81.82
Validation phase	
Variable ingredients	
Polydextrose	86, 96, 100
Sucrose	25, 27, 45
Water (distilled)	61, 60, 55, 70
Comparison and storage test phase	
Additional ingredients held constant	
Polydextrose	96
Sucrose	45
Water (distilled)	70
Variable ingredients	
Aspartame	1.62
Encapsulated aspartame	8.10
Aspartame:acesulfame-K=1:1	0.68:0.68

三、戚風蛋糕麵糊之特性測定

1. 比重

將打至硬性發泡之蛋白或蛋糕麵糊的重量除以同體積的水重，即為其比重。

2. 黏度

將 500 mL 蛋糕麵糊置於 600 mL 燒杯中，以黏度計(DV-II+, Brookfield Engineering Labs., Inc., Stoughton, MA, USA)測定。當迴轉針(spindle)轉速固定為 50 rpm 時，以 LV 4 號迴轉針旋轉 30 秒，測定 25°C 之麵糊黏度。

3. pH 值

取 60 g 蛋糕麵糊置於 150 mL 三角錐瓶中，以 pH 計(3000-A ion analyzer, Suntex Co., Taipei, Taiwan)測定之。

4. 澱粉之糊化溫度

取 10 mg 蛋糕麵糊封入鋁製樣品皿中，以示差掃描熱分析儀(differential scanning calorimeter, DSC)(910 thermal analyzer, DuPont Co., Wilmington, DE, USA)每分鐘 10°C 的升溫速率，由 20°C 加熱至 140°C，並用密封空樣品皿為對照(Pateras and Rosenthal, 1992)。

四、戚風蛋糕之品質測定

待出爐之蛋糕冷卻後，測其品質特性。另將貯存之蛋糕定時取出，置室溫回溫再取樣，分別測其貯存品質變化。

(一) 蛋糕理化性質測定

1. 體積和對稱性(symmetry)

蛋糕體積採 Template Method 10-91 (AACC, 1983)及油菜籽置

換法(rapeseed displacement)(黃等, 1990)測定。對稱性則採 Template Method 10-91 (AACC, 1983)測定。

2. 烘焙損耗

蛋糕烘焙損耗 % = [(蛋糕麵糊的重量 - 蛋糕烘焙後的重量) / 蛋糕烘焙後的重量] × 100%

3. 顏色

以色差計(ND1001 DP color and color difference meter, Nippon Denshoku, Japan)分別測定蛋糕表面及內部不同部位的 L、a、b 值，並以標準白板 X=94.76、Y=92.76 及 Z=112.30 校正。

4. 水分

水分採 Vacuum-oven Method 44-40 (AACC, 1983)測定。將蛋糕皮或去皮蛋糕撕碎，置 100°C 真空烘箱(Deng Yng Instruments Co., Ltd., Taipei, Taiwan)烘至恆重。

5. 水活性

將蛋糕撕碎後，以水活性測定儀(AquaLab CX-2, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA) 於 25°C 測定之。

6. pH 值

取 15 g 撕碎蛋糕置入 150 mL 三角錐瓶中，加入 100 mL 蒸餾水，攪拌 30 分鐘，再以 pH 計測定之。

7. 物性測定

將蛋糕切成 2.5^3 cm^3 ，以物性測定儀(NRM-2002 rheometer, Fudoh Kogyo Co., Tokyo, Japan)進行咀嚼試驗(chewing test)。測試時，使用 2 kg 感測器(sensor)，1.5 cm 塑膠斧型套頭(adaptor)，載物台升降速度(table speed)及記錄器掃描速度(sweep speed)同為 30 cm/min，測定蛋糕不同部位之硬度、內聚性(cohesiveness)、彈性、

脆性(brittleness)、咀嚼性(chewiness)及膠性(gumminess)等質地特性，每組試驗測定 5 個樣品，求其平均值。。

8.澱粉之回凝程度

將去皮之蛋糕以凍乾機(FD24, Kingmech Co., Ltd., Taipei, Taiwan)凍乾，再磨成粉末。分別取約 6 mg 去離子水和 4 mg 凍乾蛋糕粉(比例約為 1.5:1.0)封入樣品皿中，再以 DSC (910 thermal analyzer, DuPont Co., Wilmington, DE, USA)每分鐘 10°C 的升溫速率，由 20°C 加熱至 120°C，並用密封空樣品皿為對照(Czuchajowska and Pomeranz, 1989)。

9.阿斯巴甜含量及其裂解產物測定

(1)試驗溶液之配製

① Carrez I 和 Carrez II 溶液之配製

將 3.6 g 黃血鹽($K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$)以水定容至 100 mL，即成 Carrez I 溶液。將 7.2 g 硫酸鋅($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)以水定容至 100 mL，即成 Carrez II 溶液。

② 高效液相層析法(HPLC)移動相之配製

取 0.17% 磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)配成 0.0125 M 溶液，並以 5% 磷酸溶液調至 pH 3.5，再與 HPLC 級氯甲烷 (Kallinckrodt Co., Kentucky, USA)以體積 85:15 比例混勻。經 0.45 μm 濾膜(Celman Sciences)過濾，再以超音波脫氣 30 分鐘，即成 0.0125 M KH_2PO_4 緩衝液(pH 3.5)/氯甲烷(85:15, v/v) HPLC 移動相。

③ 標準溶液之配製

將 L- α -aspartyl-L-1-phenylalanine methyl ester (aspartame) (NutraSweet)、3,6-dioxo-5-(phenylmethyl)-2-piperazineacetic acid (diketoperazine, DKP) (Bachem)、N-L- α -aspartyl-L-phenylalanine (Bachem)、L-aspartic acid (Sigma)及 L-phenylalanine (Sigma)標準品，以去離子水配成 1 mg/mL 溶液，再依需要配製數種濃度之標準液。

④檢液之製備

為使檢液中阿斯巴甜的濃度為 90-100 $\mu\text{g/mL}$ ，取 3 g 以阿斯巴甜或微膠囊化阿斯巴甜及 7 g APM:ACK=1:1 製成之低糖蛋糕。將蛋糕撕碎置入 100 mL 定量瓶中，加入 70 mL 去離子水，以 40°C 萃取 30 分鐘，再置超音波振盪 10 分鐘。待溶液冷卻至室溫，分別加入 5 mL Carrez I 和 Carrez II 溶液，並用力搖勻，再以去離子水定容至 100 mL，混合液經濾紙(Toyo)過濾，濾液再經 0.2 μm 濾膜(Supor® Acrodisc® 25)過濾，供作檢液(Prodoliet and Bruelhart, 1993)。

(2)阿斯巴甜及其裂解產物之鑑別和定量分析

①高效液相層析條件

將檢液分別以 HPLC 進行分析，層析條件係以 0.0125 M KH_2PO_4 緩衝液(pH 3.5)/氘甲烷(85:15, v/v)混合液為移動相，流速 0.8 mL/min (PM-80 HPLC solvent delivery system, Bioanalytical Systems, Inc., West Lafayette, IN, USA)，樣品注入量為 20 μL (Hamilton microliter syringes, Hamilton Co., Reno, NV, USA)；以 μ Bondapak C18 (10 μm , 300× 3.9 mm)(Waters Associates, Milford, MA, USA)為層析管，Guard-Pak μ Bondapak C18 (10 μm)為保護管柱；於偵檢器靈敏度 0.2 AFUS，波長 214 nm 檢測(Waters 486 UV/VIS detector, Waters Associates, Milford, MA, USA)(Prodoliet and Bruelhart, 1993)。

②鑑別試驗及含量測定

將阿斯巴甜及其裂解產物之標準液分別注入 HPLC，就檢液所得波峰之滯留時間(SISC層析積分處理系統，訊華股份有限公司，台北市)，分別對照標準品鑑別。並由檢液之阿斯巴甜的波峰面積與標準曲線比較，進而求出蛋糕中阿斯巴甜之濃度。

(二)感官品評試驗

1. 定量描述分析(quantitative descriptive analysis, QDA)

(Stone *et al.*, 1974)

以電刀(EK-15, General Electric, CT, USA)除去蛋糕外皮，再由中心切成 2.5^3 cm^3 樣品。品評前，將樣品置於標示 3 位亂數之白色塑膠盤中，並以 PE 膜密封。

於輔仁大學食品營養研究所挑選出 6 位已受過訓練之品評員，男女各半，年齡為 20-48 歲，並依 Bramesco 和 Setser (1990) 建立之蛋糕感官品評方式稍做修改。各感官特性如樣品的彈性、硬度及濕潤度等質地特性，甜味和後味(aftertaste)等風味特性及整體感，其定義與品評步驟(表 7)及參考樣品的種類(表 8)，均由品評員共同認可，再以不同配方之低糖戚風蛋糕和參考樣品進行訓練。品評時，所有蛋糕樣品均須與參考樣品比對(表 8)，再進行定量；除整體感外，每項感官特性分別給予極弱(0 cm)和極強(15 cm)之參考樣品。採無結構尺度評分法(unstructured scale)，於兩端各置垂直線之 15 cm 直線上進行定量。

2. 喜好性品評法(hedonic scale method)(Peryam and Pilgrim, 1957)及 food action rating scale (FACT)(Schutz, 1965)

將帶皮及去皮之蛋糕，分別以電刀切成 2.5^3 cm^3 樣品。品評前，將樣品置於標示 3 位亂數之白色塑膠盤中，並以 PE 膜密封。品評員以輔仁大學師生、輔大婦女減重班學員及馬階紀念醫院糖尿病患者為主，就樣品之外觀、甜度、風味、質地及整體感，分別進行喜好程度評分；並以 food rating scale 調查消費者對蛋糕之購買意願。兩者均採用 9 分制評分法，9 分表示極喜歡或極想買，1 分表示極不喜歡或極不想買。

表七、戚風蛋糕定量描述分析之感官特性的定義與品評步驟

Table 7. Definitions and procedures of sensory attributes of quantitative descriptive analysis for chiffon cake

特性	定義	品評步驟
彈性 (springiness)	樣品受部分壓縮後，恢復至原高度的程度和速度。	樣品置大拇指和食指間，緩慢地將之壓縮至原高度的 50%，再放開。
硬度 (firmness)	完全咬斷樣品所需用的力。	樣品置於白齒間，將之完全咬斷。
濕潤度 (moistness)	樣品表面的濕潤度。	樣品含在口中 5 秒，感受其濕潤度。
甜味 (sweetness)	樣品經咀嚼的甜味。	樣品咀嚼 8 下，再感受其甜度。
後味 (aftertaste)	樣品完全下嚥後，殘留在口中的餘味。	樣品吞下 5 秒後，感受其後味。

表八、戚風蛋糕定量描述分析之參考樣品

Table 8. Reference samples of quantitative descriptive analysis for chiffon cake

Attributes/ Intensity	References	Sample size	Manufacturers
Springiness			
Low	Cheese cake	2.5 cm cube	金凱蒂食品有限公司, 台北市
High	White toast	2.5 cm cube	常青園食品有限公司, 台北市
Firmness			
Low	France pudding	1/5 piece	光泉牧場股份有限公司, 嘉義縣
High	Frozen pound cake	2.5 cm cube	福麥食品有限公司, 台北市
Moistness			
Low	Cracker	1/4 piece	義美股份有限公司, 桃園縣
High	Cheese cake	2.5 cm cube	金凱蒂食品有限公司, 台北市
Sweetness			
Low	Distilled water	20 mL	
High	30% sucrose soln.	20 mL	
Aftertaste			
Low	Distilled water	20 mL	
High	0.4% aspartame and 30% polydextrose soln.	20 mL	

第三章 結果與討論

一、低糖戚風蛋糕較適配方之探討

本研究選用阿斯巴甜(aspartame)與醋磺內酯鉀(acesulfame-K)兩種人工甜味劑。阿斯巴甜之甜度約為蔗糖的 180-200 倍(Homler, 1984; Mazur, 1984)，甜味近似蔗糖。安定性不佳，易受水分、水活性、pH 值、溫度、光照及貯存條件等影響。它不耐高溫，烘焙過程易部分分解降低甜味。行政院衛生署(1998)於 1995 年公告，本品限食品製造或加工必須時使用；添加阿斯巴甜之食品，應顯著標示「苯酮尿症患者(phenylketonurics)不宜使用」(衛署食字第 731556 號公告)。醋磺內酯鉀之甜度亦約為蔗糖的 200 倍，與阿斯巴甜併用，具相乘效果(synergism)(Hanger *et al.*, 1996; von Rymon Lipinski, 1988);高濃度時帶有苦味(Ott, *et al.*, 1991; von Rymon Lipinski, 1988)。它在 pH 3-7 極安定，又耐高溫烤焙。可使用於蜜餞、飲料、糖果、甜點、調味料與醬菜等，但在特殊營養食品使用時，必須先獲中央機關核準(行政院衛生署，1998)。

Polydextrose 是 1973 年由美國輝瑞公司(Pfizer, Inc., New York, NY)研發，1979 年 FDA 才核准用在烘焙上(Peck, 1994; Rennhard, 1973)。分子量介於 162-18,000 之間，且大部分(90%)均低於 5,000 MW (Deis, 1994; Murray, 1988)。它主要由葡萄糖分子以(1→6)糖苷鍵(glycosidic bonds)鍵結而成，少部分以其它方式鍵結；整個聚合物尾端，則接上山梨醇基及以單酯鍵結合的檸檬酸(Torres and Thomas, 1981)。

Polydextrose 可分為 polydextrose、polydextrose-N、polydextrose-K 及 polydextrose-F (Litesse[®]) 4 種形態(Frye and Setser, 1993)。為非結晶粉末，不具甜味，其水溶液為酸性(pH 2.5-3.5)並略帶苦味(Torres and Thomas, 1981)。Litesse[®]則是

近年改良產品，風味較佳(Deis, 1993, 1994)。行政院衛生署(1998)於 1987 年公告，可使用於各類食品，如一次食用量超過 15gm，應顯著標示「過量食用對敏感者易引起腹瀉」。

(一)因子的種類及範圍之選擇和人工甜味劑之選用

為尋找低糖戚風蛋糕之較適配方，本研究採反應曲面法(response surface methodology, RSM)設計實驗。首先需確認 2 至 3 個影響產物性質之關鍵因子(factor)，但數目不宜太多，否則結果將不易解釋(Giovanni, 1983)。

製作低糖蛋糕時，蔗糖在蛋糕中之功能，無法只用人工甜味劑來取代，必須配合使用增量劑(bulking agents)(Shukla, 1995)。在眾多增量劑中，最常用 polydextrose 來取代蔗糖。它雖不具甜味和結晶性，加工特性卻類似蔗糖，如極易溶於水；吸濕性強，具保濕作用(Torres and Thomas, 1981)；它在 130°C 以上會熔化，冷卻後可變成硬脆而透明的玻璃狀組織(Torres and Thomas, 1981)；又可提高澱粉糊化與蛋白變性溫度(Kim *et al.*, 1986; Pateras and Rosenthal, 1992)；亦能替代蔗糖和部份脂肪、穀粉及澱粉所提供的組織及口感(Rennhard, 1973, 1975)，尚可和甜味劑混合使用，拉大成品之甜味範圍(Torres and Thomas, 1981)。由於人體僅能部分代謝它，故熱量值只有 1 g/kcal (Figdor and Bianchine, 1983)，既可增量又能降低食品熱量。Frye 和 Setser (1992)即曾以數種增量劑組合製作減熱量蛋糕(reduced-calorie cake)，結果 polydextrose 和蔗糖併用時，所製蛋糕質地最佳。故本研究即選用 polydextrose 和阿斯巴甜取代大部分蔗糖來製作低糖戚風蛋糕，以求得較適配方。

由於 polydextrose 取代量大，對蛋糕質地影響甚大；阿斯巴甜則因用量極少，故除甜味外，其影響較小。本階段欲先研製與傳統蛋糕質地相似之低糖蛋糕，故暫不考慮阿斯巴甜對蛋糕之影響，乃固定其用量，以便找出 polydextrose 之較適用量。阿斯巴甜的甜度約為蔗糖的 180-200 倍(Homler, 1984; Mazur, 1984);由於

它不耐高溫烤焙(Homler, 1984)，為彌補因高溫分解所損失之部分甜味，乃將其用量由蔗糖的 0.5%調高為 1.2% (1.62%, fwb)(表 6)。此外，配方含水量會影響澱粉糊化特性，進而影響蛋糕品質(Frye and Setser, 1992; Glover *et al.*, 1986; Lineback and Wongsrikasem, 1980; Nevile and Setser, 1986)。故本研究在固定阿斯巴甜用量下，選擇 polydextrose、蔗糖及水 3 種重要因子進行試驗設計，即以 polydextrose 取代部分蔗糖，配合調整配方之含水量來製作低糖蛋糕；並以蛋糕之感官和質地特性為反應變量(response)，進行三因子五變級(level)之反應曲面設計(表 1 及表 2)。

至於各因子的範圍限定，則依預實驗結果及蛋糕之含糖量而定。由預實驗發現，以 polydextrose 完全取代蔗糖，所製蛋糕口感會變得十分黏密而苦澀，Frye 和 Setser (1992)之研究亦同；但取代蔗糖量只要低於 80%，蛋糕之風味和質地就可被接受，故將 polydextrose 取代量上限訂為原蔗糖用量(135%, fwb)的 82%，即 110.23% (fwb)。又期望所研製之低糖蛋糕至少能降低 60%糖量，故將 polydextrose 及蔗糖之用量範圍，分別訂在原蔗糖用量的 44-82%及 13.5-38.4%，即 59.77-110.23% 及 18.18-51.82% (fwb)(表 2)。水的用量範圍則由預實驗結果，訂在 48.18-81.82% (fwb)，依此設計條件所製低糖戚風蛋糕品質尚佳，且約可較傳統蛋糕減低 62-86%糖量及 16-30%熱量。

(二)模式適合性的探討和各因子對低糖蛋糕品質之影響

將 13 種反應變量之試驗結果(表 9)，分別進行變異數分析及二次多項式統計分析。結果感官品評試驗之甜味及整體感分數，和質地分析之硬度、脆性(brittleness)、咀嚼性(chewiness)及膠性(gumminess)的總迴歸變異均顯著($p < 0.05$)，且決定係數(R^2)數值均相當高，但欠合度(lack of fit)均不顯著($p > 0.05$)(表 10)。表示此 6 種反應變量所得之迴歸模式能合宜地代表欲探討的系統(Thompson, 1982)，故可用其推測低糖戚風蛋糕之較適配方。而其它反應變量之 R^2 數值較低(表 10)，可能是品評員間的變異較大(變異係數, CV=20.1-28.5%)，或另有其他原因。

表九、低糖戚風蛋糕配方之反應曲面法的試驗結果

Table 9. Results of response surface methodology for low-sugar chiffon cake formulation

Treatment number	Volume index (mm)	Sensory evaluation						Texture analysis					
		Springiness	Firmness	Moistness	Sweetness	Aftertaste	Overall	Hardness (g)	Cohesiveness	Elasticity	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
1	206.5	10.9	5.4	6.7	9.2	6.0	7.5	97.3	0.486	0.580	91.3	30.7	48.0
2	166.0	8.5	5.7	9.4	8.6	6.5	6.9	89.0	0.398	0.476	83.0	16.9	35.4
3	169.5	9.4	6.3	8.3	9.6	4.1	9.1	110.5	0.687	0.859	104.5	65.2	75.9
4	151.0	8.2	6.5	9.8	9.3	8.0	6.4	112.5	0.601	0.750	107.3	57.2	70.7
5	134.5	8.0	7.9	8.2	4.7	4.9	7.0	260.8	0.700	0.858	256.3	156.3	182.4
6	141.0	9.3	6.1	9.2	8.2	8.7	7.2	126.8	0.668	0.834	121.0	72.5	85.9
7	161.5	11.0	5.1	7.0	6.4	5.5	6.5	79.0	0.417	0.469	73.0	15.5	33.0
8	142.0	9.3	7.3	9.1	10.0	7.4	6.7	98.0	0.473	0.520	92.0	27.4	47.3
9	180.0	11.0	5.0	8.3	6.8	5.3	7.6	89.8	0.400	0.467	83.8	16.7	35.9
10	175.0	5.7	4.3	9.7	8.6	6.8	5.4	65.8	0.510	0.479	59.8	15.3	32.6
11	170.0	9.5	4.8	8.4	7.9	7.0	7.2	111.8	0.535	0.726	106.0	46.2	60.9
12	158.0	7.6	7.1	9.4	9.5	8.4	5.9	99.0	0.626	0.748	93.0	49.0	62.4
13	160.0	8.7	6.1	7.8	7.7	7.9	9.6	114.3	0.667	0.841	108.3	64.1	76.2
14	148.5	6.4	5.5	9.8	6.3	5.5	7.5	158.0	0.631	0.788	151.8	78.3	99.4
15	156.5	9.4	4.8	7.2	7.0	6.6	7.7	114.0	0.656	0.775	108.0	62.8	76.5
16	170.0	9.2	4.9	8.4	7.0	5.7	7.1	87.5	0.376	0.434	81.5	14.3	32.8
17	164.0	8.5	4.6	7.2	6.5	6.2	7.8	74.8	0.529	0.551	68.8	25.5	40.3
18	169.5	12.6	4.0	7.9	6.8	5.4	9.3	71.8	0.457	0.488	65.8	15.8	32.3
19	165.5	11.4	6.6	8.3	6.7	6.2	8.3	106.8	0.663	0.803	100.5	57.0	70.9
20	168.5	9.9	6.6	8.2	9.5	5.9	8.2	90.5	0.395	0.425	84.5	15.4	35.9

表十、低糖戚風蛋糕反應曲面法之試驗結果的變異數分析

Table 10. Analysis of variance for experimental results of response surface methodology of low-sugar chiffon cake

Source of variation	df	Sum of squares						
		Volume Index (mm)	Sensory evaluation					Overall
			Springiness	Firmness	Moistness	Sweetness	Aftertaste	
Regression	9	3606.8*	25.4	8.7	11.5	31.5**	16.3	17.8**
Linear	3	1918.1**	13.1	1.2	7.5*	17.1**	12.1*	6.5*
Quadratic	3	622.2	7.8	4.4	2.5	5.9	3.8	8.6**
Crossproduct	3	1066.5	4.5	3.0	1.4	8.5*	0.4	2.8
Residual	10	1117.1	27.0	12.6	5.7	7.8	11.4	4.4
Lack of fit	5	988.8*	14.9	6.7	4.2	1.6	10.6**	1.6
Pure error	5	128.3	12.1	5.9	1.5	6.1	0.8	2.8
R ²		0.764	0.484	0.407	0.667	0.802	0.588	0.803

Source of variation	df	Sum of squares					
		Texture analysis					
		Hardness (g)	Cohesiveness	Elasticity	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
Regression	9	27019**	0.15	0.37	27418**	17408*	18436*
Linear	3	8536*	5.85×10 ⁻⁴	3.39×10 ⁻³	8608*	2661	3731
Quadratic	3	6032	0.05	0.16*	6066	4653	4540
Crossproduct	3	12451**	0.10*	0.21*	12744**	10094**	10166**
Residual	10	6044	0.10	0.15	6101	5137	5200
Lack of fit	5	4621	0.02	0.01	4685	2465	3176
Pure error	5	1424	0.08	0.14	1416	2672	2024
R ²		0.817	0.613	0.714	0.818	0.772	0.780

*, ** Significant at 5% and 1% level, respectively.

至於各因子對低糖戚風蛋糕的感官及質地特性之影響(表 11)所示。當單用某一材料或二種材料混用時，低糖蛋糕之風味和質地均顯著受其線性項、二次項或交感項之影響($p < 0.05$)，對全部的特性則並無影響。在 3 個因子中，以水對低糖蛋糕之感官及質地特性影響最大，故為其最佳預測變項(predictor)，此與 Neville 和 Setser (1986)之研究結果相符；次為蔗糖及 polydextrose。

(三)低糖蛋糕較適配方之探討

將感官品評試驗所得之甜味及整體感分數，和質地分析所得之硬度、脆性、咀嚼性及膠性的複迴歸方程式(表 11)，用 SAS 軟體(SAS, 1990)繪製等高線圖(contour plot)，以探討低糖蛋糕之較適配方。當編碼變數(coded variable) X_1 、 X_2 及 X_3 為 -1.682、-1、0、1 或 1.682 時，將其中 1 個因子的變級固定，分別代入 6 個反應變量之複迴歸方程式，以繪製另 2 個因子對蛋糕之甜味或整體感分數及硬度、脆性、咀嚼性或膠性之等高線圖。

為求得等高線圖之重疊區域，進而找出 polydextrose、蔗糖及水的較適用量，故依傳統戚風蛋糕的特性(表 12)，訂定低糖蛋糕欲達到之感官及質地特性的目標值(表 13)。將甜味及整體感分數和硬度、脆性、咀嚼性及膠性所得之等高線圖重疊，並與所訂定之目標值對照(表 13)，即可得滿足 6 個反應變量之要求的重疊區域。當編碼變數為 -1，蔗糖及水的變級分別固定為 25%及 55%時(圖 3a, b)；或當編碼變數為 1，polydextrose 及蔗糖的變級分別固定為 100%及 45%時(圖 3c, d)，均可找到此重疊區域，進而求得 polydextrose、蔗糖及水的較適用量。以疊圖法共找出 4 組低糖蛋糕之較適配方(表 14)，依此可減低 67-80%糖量及 18-22%熱量。

(四)低糖蛋糕較適配方之評估

1. 反應曲面法所得的推測值和實驗值之比較

將所得配方分別代入甜味及整體感分數和硬度、脆性、咀嚼性及膠性之複迴歸方程式中，求得推測值。另依 4 組配方分別製

表十一、感官品評和質地特性之編碼和真實複迴歸係數

Table 11. Second-order polynomials computed using coded and actual data^a for sensory and textural properties

Predictor ^b	Sensory attributes				Textural properties							
	Sweet score		Overall score		Hardness		Brittleness		Chewiness		Gumminess	
	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual
Intercept	7.24*	50.67	8.04*	-10.36	90.41*	484.83	84.36*	478.55	31.51*	-76.64	47.76*	-25.45
X ₁	0.68*	-0.350	-0.50*	0.380	-11.83	-4.761	-11.87	-4.820	-7.03		-7.72	
X ₂	0.53*	-0.479	-0.16	0.364	-14.29*	5.681	-14.40*	5.717	-7.80	19.69	-8.96	18.99
X ₃	-0.72*	-0.589	-0.44*	-0.042	16.75*	-9.847	16.80*	-9.781	9.20	-7.342	11.55	-8.046
X ₁ ×X ₂	0.07		-0.26		20.41*	0.136	20.66*	0.138	12.67		14.78	
X ₁ ×X ₃	0.98*	0.006	0.46		-13.59		-13.84		-6.25		-8.04	
X ₂ ×X ₃	0.31		-0.26		-30.91*	-0.290	-31.22*	-0.293	-32.59*	-0.306	-31.43*	-0.295
X ₁ ×X ₁	0.23		-0.55*	-0.002	-1.61		-1.53		-3.58		-2.72	
X ₂ ×X ₂	0.61*	0.006	-0.52*	-0.005	8.16		8.28		7.57		6.96	
X ₃ ×X ₃	-0.01		0.18		19.02*	0.167	19.06*	0.168	15.92*	0.140	16.20*	0.143

^a Only significant (p<0.05) predictors were included in the actual models.

^b X₁: polydextrose ; X₂: sucrose ; X₃: water .

* Significant at 5% level.

表十二、傳統戚風蛋糕的感官和質地特性

Table 12. Sensory attributes and textural properties^a for traditional chiffon cake

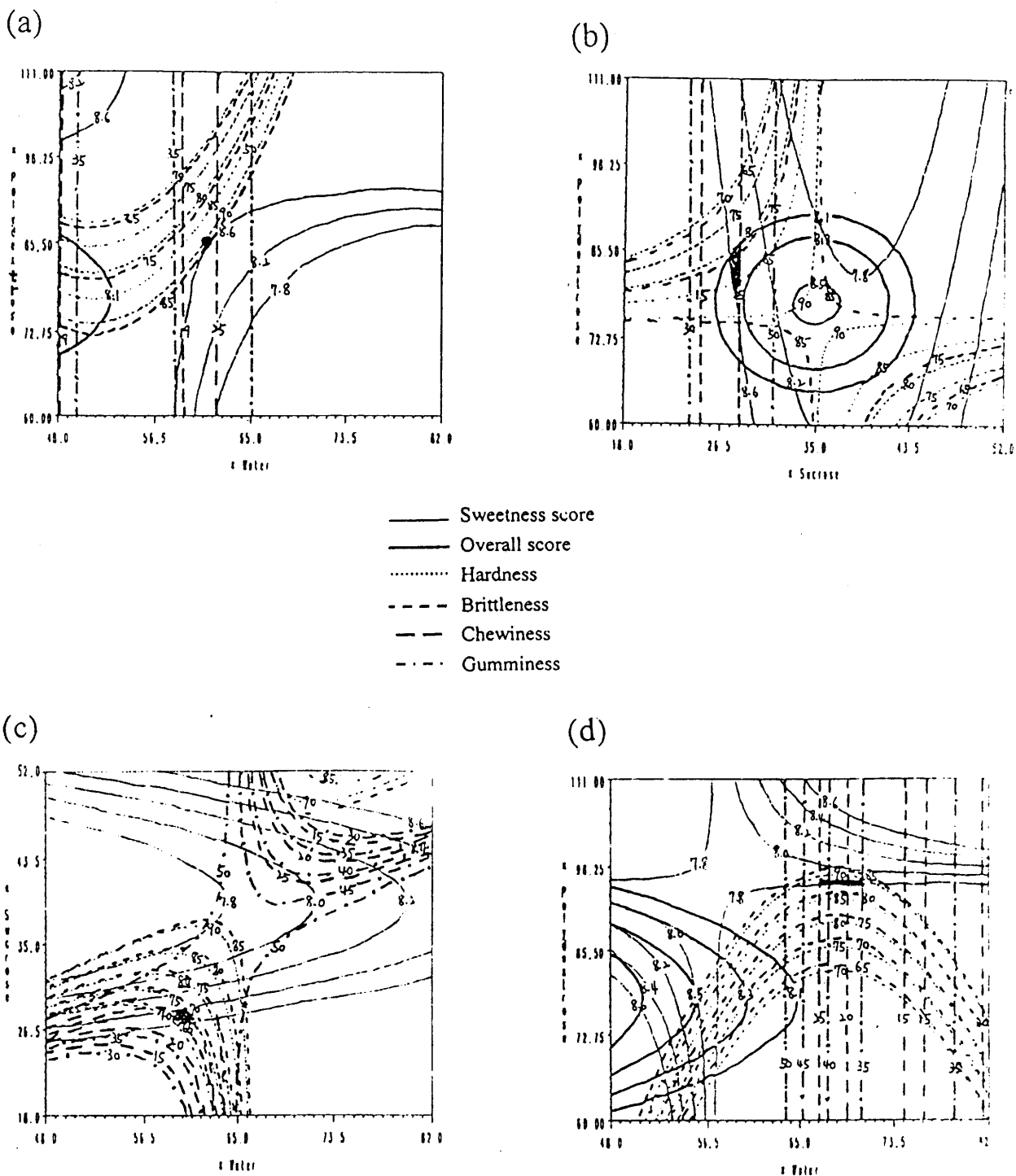
Sensory attributes		Textural properties			
Sweetnes	Overall	Hardness (g)	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
8.1± 0.9	10.1± 2.4	79.5± 10.1	73.0± 9.9	17.0± 9.3	37.8± 10.5

^a Mean and standard deviation, at least five replications.

表十三、低糖戚風蛋糕的感官和質地特性之目標值

Table 13. Targets of sensory attributes and textural properties for low-sugar chiffon cake

Sensory attributes		Textural properties			
Sweetnes	Overall	Hardness (g)	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
7.8-8.6	> 6.5	70-90	65-85	15-25	30-50



圖三、重疊感官品評的甜味和整體感分數及硬度、脆性、咀嚼性及膠性之等高線圖的適當區域。

Fig. 3. Optimum regions by superimposing contour plots of sweet score over overall score, hardness, brittleness, chewiness, and gumminess. (a) sucrose=25%; (b) water=55%; (c) polydextrose=100%; (d) sucrose=45%.

表十四、低糖戚風蛋糕之較適配方

Table 14. The optimum formulation of low-sugar chiffon cake^a

Treatment group	Polydextrose	Sucrose	Water
A	86	25	61
B	86	27	55
C	100	27	60
D	96	45	70

^a Percentage of ingredients based on cake flour weight basis.

作低糖戚風蛋糕，求得實驗值。結果 A 組配方所製蛋糕之感官和質地特性的推測值及實驗值差異最大；而 D 組所製者差異最小(表 15)，且各項特性皆能符合最初訂立之目標值。

2. 傳統和低糖蛋糕的感官及質地特性之比較

由感官品評試驗結果(表 16)，發現低糖蛋糕之彈性均顯著較傳統戚風蛋糕為高，且 B 組配方所製者後味較濃($p < 0.05$)，其它感官特性則無顯著差異($p > 0.05$)。由質地分析結果(表 16)，顯示 A 和 B 組蛋糕之所有的質地特性，以及 C 組蛋糕之硬度、彈性及脆性，均顯著異於傳統蛋糕($p < 0.05$)。A、B 及 C 組配方的含糖量較低，所製蛋糕之彈性卻均顯著高於傳統者($p < 0.05$)；Ngo 和 Taranto (1986)亦發現蔗糖用量較低時，蛋糕的彈性較高。至於 D 組配方所製者，其質地特性與傳統蛋糕則無顯著差異($p > 0.05$)。

3. 消費者對低糖蛋糕之喜好度

為評估消費者對低糖戚風蛋糕之接受性，乃以輔仁大學食營系 103 位師生進行喜好性品評試驗(hedonic scale method)(Peryam and Pilgrim, 1957)。其中男女各占 44%和 56%，年齡以 18-25 歲居多(表 17)。結果(表 18)消費者對 4 組低糖戚風蛋糕之外觀、質地及甜味的喜好度並無顯著差異($p > 0.05$)，但對風味及整體感之喜好度，則以 A 及 D 組配方顯著較高($p < 0.05$)。

綜合上述結果，可知 D 組配方所製低糖戚風蛋糕，其各項感官和質地特性皆能符合欲達到之目標(表 13)，風味和質地亦最近似傳統蛋糕(表 16)，且消費者對其喜好度尚佳(5.9-6.3 分)(表 18)。故本試驗乃選擇 D 組配方，即 96% polydextrose、45%蔗糖及 70% 水(fwb)為研製低糖蛋糕的較適配方。

表十五、不同配方製出的低糖戚風蛋糕之感官和質地特性的推測值及實驗值

Table 15. Predicted and actual values of sensory attributes and textural properties for low-sugar chiffon cake

Treatment group	Sensory attributes		Textural properties			
	Sweetness	Overall	Hardness (g)	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
A						
Predicted	8.6	7.6	90.1	84.0	22.7	39.4
Actual	5.3	9.0	108.3	113.3	69.3	81.4
B						
Predicted	8.7	8.0	80.0	72.8	20.9	38.2
Actual	8.8	9.2	105.3	99.0	65.3	77.8
C						
Predicted	8.6	6.8	71.6	65.4	23.5	40.1
Actual	7.9	8.8	100.5	94.0	34.6	55.8
D						
Predicted	7.8	6.6	88.9	82.8	18.8	35.7
Actual	8.1	8.9	84.8	78.3	21.8	41.0

表十六、傳統和低糖戚風蛋糕的感官和質地特性

Table 16. Sensory attributes^a and textural properties of traditional and low-sugar chiffon cakes^b

Sensory attributes						
Treatment	Springiness	Firmness	Moistness	Sweetness	Aftertaste	Overall
Control	6.9	5.3	6.7	8.1	3.1	10.1
Low-sugar						
A	10.4*	4.8	6.6	5.8	3.6	9.1
B	11.0*	5.1	7.0	8.8	6.3*	9.3
C	11.4*	4.7	7.5	7.9	3.7	8.8
D	10.7*	5.6	7.4	8.2	3.9	8.9

Textural properties						
Treatment	Hardness (g)	Cohesiveness	Elasticity	Brittleness (g)	Chewiness (g)	Gumminess (g)
Control	79.5	0.49	0.43	73.0	17.0	37.8
Low-sugar						
A	108.3*	0.75*	0.85*	113.3*	69.3*	81.4*
B	105.3*	0.74*	0.84*	99.0*	65.3*	77.8*
C	100.5*	0.55	0.59*	94.0*	34.6	55.8
D	84.8	0.48	0.53	78.3	21.8	41.0

^a Means score from 0 to 15. 0 = hard, not springy, dry, unsweet, nonaftertaste, dislike; 15 = soft, very springy, wet, intensely sweet, strong aftertaste, like.

^b Means with * are significantly different with control as determined by Dunnett's test ($p < 0.05$).

表十七、低糖戚風蛋糕之消費者型品評員的人口統計資料

Table 17. Demographics for consumer panelists evaluating sensory characteristics of low-sugar chiffon cake

Characteristics	Number	Percent
Sex		
Female	58	56.3
Male	45	43.7
Age in years		
18-21	48	46.6
22-25	40	38.8
26-29	11	10.7
30-45	4	3.9

表十八、消費者型品評團(n=103)所得之低糖戚風蛋糕的感官特性

Table 18. Sensory attributes of low-sugar chiffon cake^a using a consumer panel (n=103)^b

Treatment group	Appearance	Texture	Sweetness	Flavor	Overall
A	5.9 a	6.2 a	6.3 a	6.3 a	6.3 a
B	6.0 a	5.9 a	6.1 a	5.9 b	5.9 b
C	5.9 a	6.0 a	5.9 a	5.8 b	5.8 b
D	5.9 a	6.1 a	6.2 a	6.3 a	6.3 a
CV ^c	20.9	22.1	23.6	21.5	21.2

^a A 9-point hedonic scale (9=like extremely; 8=like very much; 7=like moderately; 6=like slightly; 5=neither like nor dislike; 4=dislike slightly; 3=dislike moderately; 2=dislike very much; 1=dislike extremely) was used.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^c Coefficient of variation, %.

二、傳統和低糖戚風蛋糕品質之探討

為瞭解傳統蛋糕與不同人工甜味劑組合所製低糖蛋糕，其蛋糕品質的差異，故依前階段所得之較適配方 96% polydextrose、45% 蔗糖及 70% 水(fwb)，配合使用阿斯巴甜、微膠囊化阿斯巴甜(encapsulated aspartame)或等比例混合之阿斯巴甜和醋磺內酯鉀(acesulfame-K, ACK)(APM:ACK=1:1)製作低糖蛋糕(表 6)，並測定蛋糕麵糊之理化性質及蛋糕品質特性。

(一)低糖蛋糕之人工甜味劑選用

在諸多人工甜味劑中，以阿斯巴甜的甜味較類似蔗糖(Larson-Powers and Pangborn, 1978a, 1978b; Ott *et al.*, 1991; Wiet and Beyts, 1992)；如與等比例之醋磺內酯鉀(acesulfame-K, ACK)併用，甜味則更接近蔗糖，且具相乘效果(synergism)(Hanger *et al.*, 1996; von Rymon Lipinski, 1988)。為瞭解人工甜味劑對蛋糕品質之影響，此階段即選用阿斯巴甜、微膠囊化阿斯巴甜及 APM:ACK=1:1 3 種人工甜味劑組合製作低糖蛋糕，以找出低糖蛋糕較佳之人工甜味劑組合。

阿斯巴甜不耐高溫烤焙(Homler, 1984)，為彌補因高溫分解所損失之部分甜味，故將其用量由蔗糖的 0.5%調高為 1.2% (1.62%, fwb)，用量同前一階段。微膠囊化阿斯巴甜只含 20%阿斯巴甜(NutraSweet, 1996)，故用量需較阿斯巴甜高 5 倍即 6% (8.10%, fwb)。醋磺內酯鉀極安定，不易受高溫影響而失去甜味(von Rymon Lipinski, 1988)，故當阿斯巴甜和醋磺內酯鉀以 1:1 比例混合時，其用量則分別為蔗糖的 0.5% (0.68%, fwb)(表 6)。

(二)傳統和低糖蛋糕的麵糊理化性質

蛋糕麵糊為一複雜的乳化系統，由氣體、固體及液體三相組成，其理化性質對蛋糕品質影響極大(Shelke *et al.*, 1990; Taranto, 1983)。攪拌完成之麵糊需有足夠黏度，以防烤焙初期氣泡由表面逸失(Kim and Walker, 1992)。相較於傳統戚風蛋糕，以微膠囊化

阿斯巴甜所調出蛋糕麵糊的黏度顯著較低($p<0.05$)；而以阿斯巴甜或 APM:ACK=1:1 調製者，則並無顯著差異($p>0.05$)(表 19)。

蛋糕烤焙期間，麵糊之烤焙表現主要受澱粉糊化特性之影響，故可藉此控制蛋糕品質(Beane *et al.*, 1978; Glover *et al.*, 1986)。戚風蛋糕麵糊經示差掃描熱分析(differential scanning calorimetry, DSC)結果顯示(圖 4 及表 20)，低糖蛋糕的澱粉糊化尖峰溫度均顯著高於傳統者($p<0.05$)，而起始糊化溫度和熱焓量(enthalpy, ΔH)則無顯著差異($p>0.05$)。Pateras 和 Rosenthal(1992)發現當低筋麵粉和 60-80% polydextrose 溶液混合(1:2 或 1:1)，polydextrose 可提高澱粉的糊化溫度，提升程度卻較蔗糖為高。由於本研究以 polydextrose 取代大部分蔗糖製作低糖蛋糕，故 polydextrose 的添加可能導致低糖蛋糕的澱粉糊化尖峰溫度顯著較傳統者高($p<0.05$)；如以 polydextrose 完全取代蔗糖製作高成分蛋糕(high-ratio cake)，亦可發現以 polydextrose 所調出麵糊的糊化溫度較高(Pateras and Rosenthal, 1992)。此外，在戚風蛋糕麵糊之 DSC 圖中(圖 4)發現，含微膠囊化阿斯巴甜者約在 61°C 出現一吸熱峰，此乃包覆於微膠囊化阿斯巴甜表面之氫化棉籽油(hydrogenated cottonseed oil)溶解吸熱所致。

(三)傳統和低糖蛋糕的品質特性

1.傳統和低糖蛋糕之理化性質

蛋糕烤焙期間，若能使麵糊中之二氧化碳氣體及水蒸氣適度擴張後，麵糊再凝固(set)，即可得體積較大之蛋糕(Kim and Walker, 1992a; Ngo and Taranto, 1986)。蛋糕的凝固時間與澱粉糊化溫度有關，糊化溫度太高或太低，均無法製得品質良好之蛋糕(Howard *et al.*, 1968)。相較於傳統蛋糕，因低糖戚風蛋糕麵糊的糊化溫度顯著較高($p<0.05$)(表 20)，致其烤焙時黏度較低，使保氣性較差，故蛋糕的體積均顯著較小($p<0.05$)(表 19)。由對稱性(symmetry)指標得知(表 19)，以阿斯巴甜或 APM:ACK=1:1 所製蛋糕的外型輪廓顯著較扁平($p<0.05$)，而以微膠囊化阿斯巴甜所製者則無顯著差異($p>0.05$)，蛋糕輪廓均呈圓弧形(圖 5)。至於蛋糕外皮的顏色

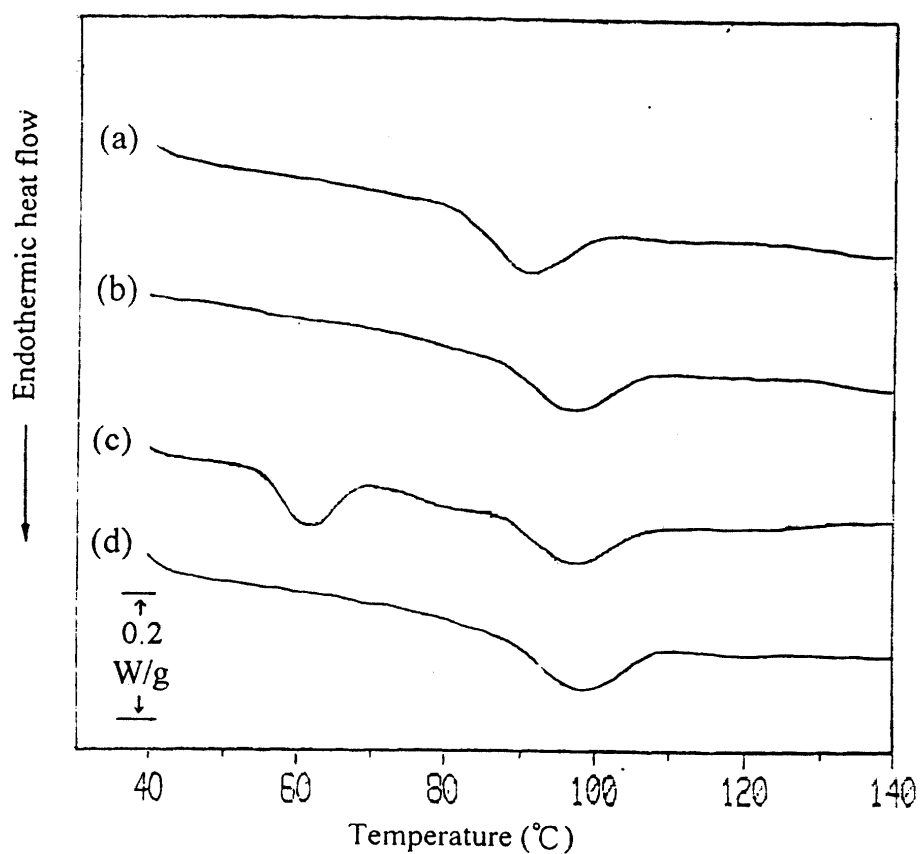
表十九、傳統和低糖戚風蛋糕之理化特性

Table 19. Physiochemical characteristics of traditional and low-sugar chiffon cakes^a

Physiochemical characteristics	Control	Aspartame	Encapsulated aspartame	APM:ACK ^b =1:1
Batter				
Viscosity (cP)	11249 a	11174 a	9658 b	10090 ab
pH	7.10 a	6.78 c	6.83 bc	6.87 b
Cake				
Bake loss (%)	8.19 a	8.70 a	8.03 a	8.21 a
Volume				
Template method (mm)	216.5 a	196.5 b	201.5 b	194.0 b
Rapeseed displacement (mL)	1735 a	1510 b	1521 b	1516 b
Symmetry (mm)	20.5 a	12.0 b	19.0 a	11.5 b
Color				
Crust				
L	43.3 a	39.4 a	40.9 a	39.6 a
a	15.6 a	14.4 a	15.5 a	14.3 a
b	19.4 a	18.0 a	18.8 a	17.7 a
Crumb				
L	88.0 a	73.8 b	71.7 b	72.8 b
a	-0.6 b	2.1 a	1.4 a	1.5 a
b	23.1 a	23.5 a	23.2 a	24.1 a
Moisture (%)				
Crust	19.0 a	17.9 a	19.0 a	18.1 a
Crumb	35.9 a	36.7 a	36.0 a	36.5 a
Water activity	0.934 b	0.944 a	0.944 a	0.946 a
pH	7.69 a	6.72 c	6.74 c	7.00 b

^a Means (three replications) with different letters in a row are significantly different ($p < 0.05$).

^b APM:ACK=aspartame:acesulfame-K.



圖四、傳統和低糖戚風蛋糕麵糊之示差掃描熱分析圖。

Fig. 4. Differential scanning calorimetry thermograms for traditional and low-sugar chiffon cake batters containing (a) control, (b) aspartame, (c) encapsulated aspartame, and (d) aspartame:acesulfame-K = 1:1.

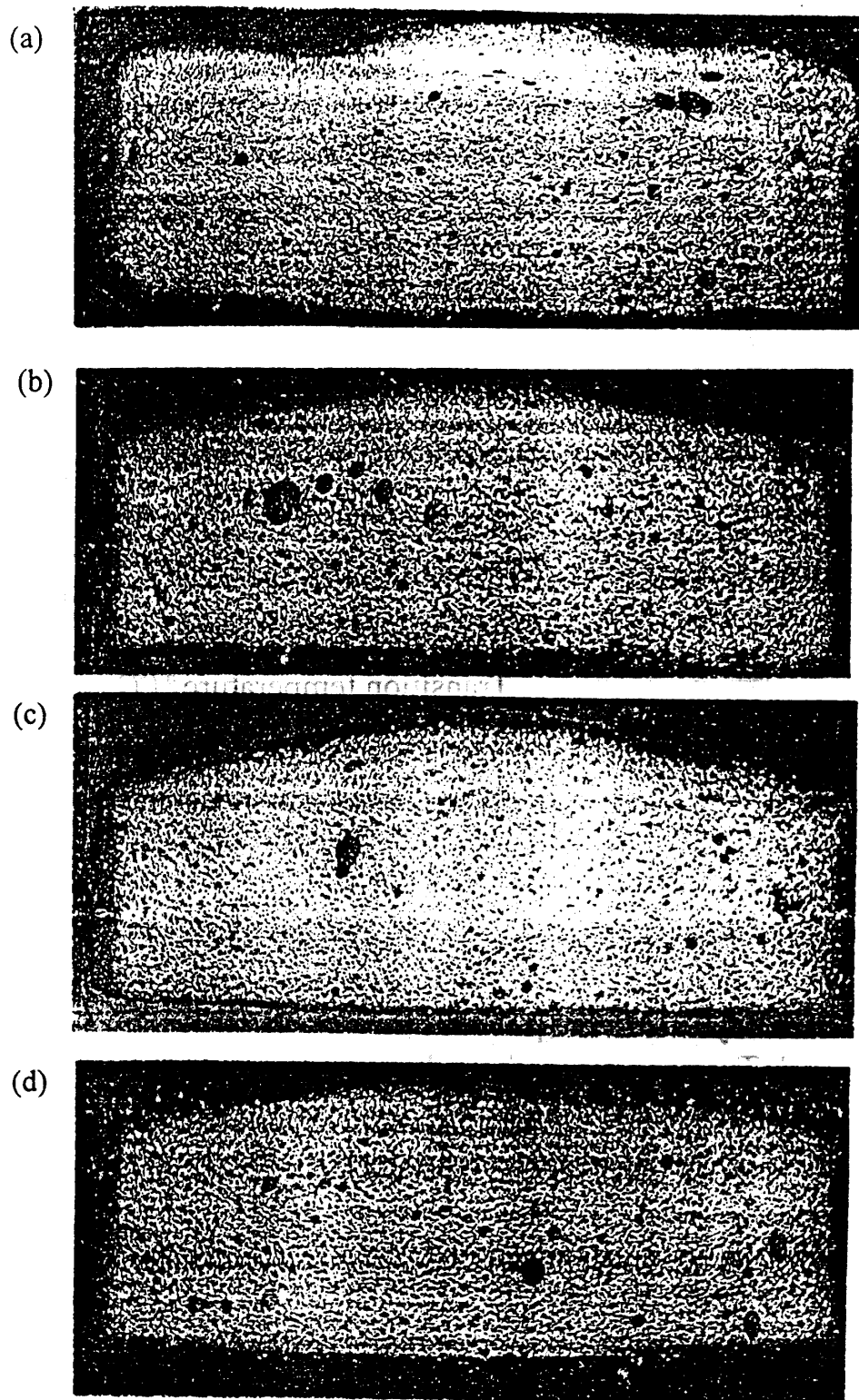
表二十、傳統和低糖戚風蛋糕麵糊之澱粉糊化溫度和熱焓量
 Table 20. Starch gelatinization temperatures and enthalpies for traditional and low-sugar chiffon cake batters^a

Ingredient variation	Transition temperature ^b (°C)		ΔH^b (J/g)
	T _o	T _p	
Control	84.4 a	92.8 b	2.17 a
Aspartame	87.8 a	96.9 a	2.12 a
Encapsulated aspartame	86.3 a	96.2 a	2.23 a
APM:ACK=1:1 ^c	87.1 a	97.1 a	2.01 a

^a Means (three replications) with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^b T_o and T_p = onset and peak transition temperatures. ΔH = transition enthalpy.

^c APM:ACK=aspartame:acesulfame-K.



圖五、傳統和低糖戚風蛋糕之橫切面圖。

Fig. 5. Traditional and low-sugar chiffon cakes cross sections. (a) control; (b) aspartame; (c) encapsulated aspartame; and (d) aspartame:acesulfame-K=1:1.

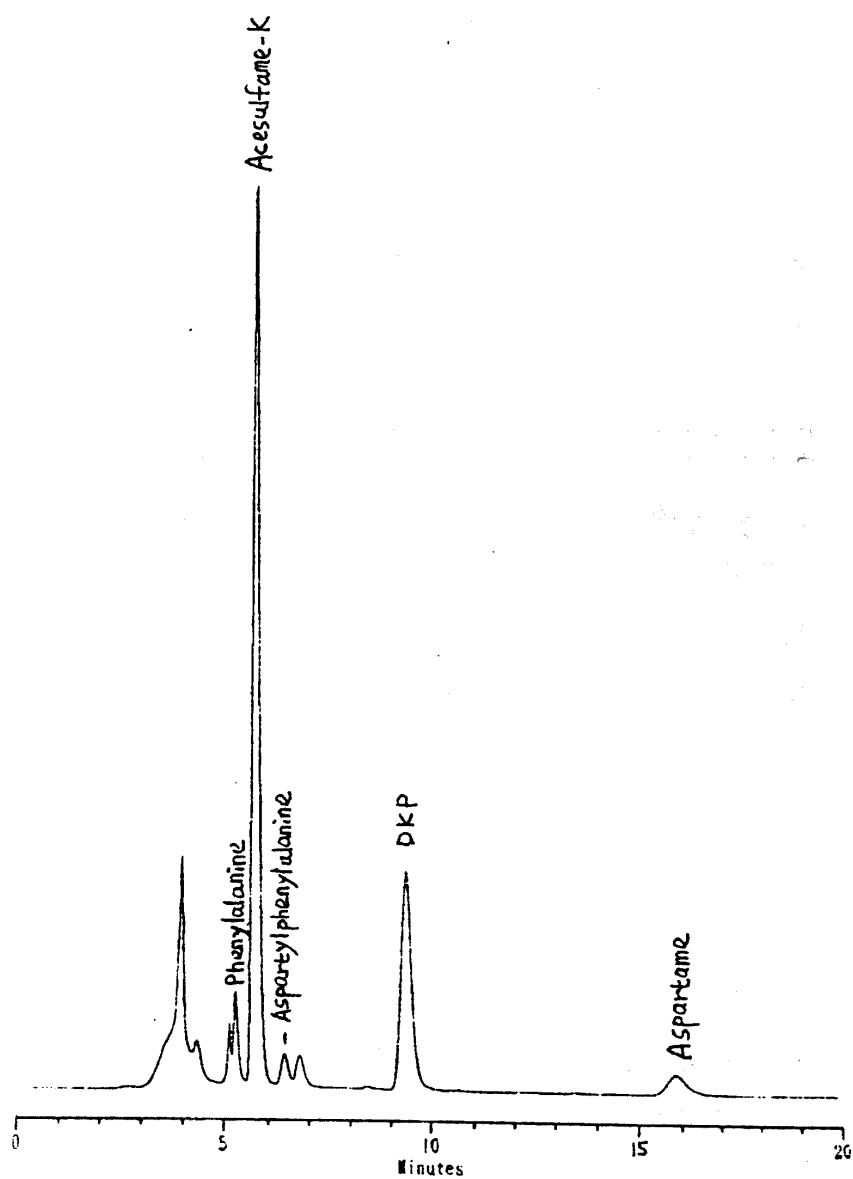
無顯著差異($p>0.05$)，但內部則以低糖蛋糕的 L 值較低且 a 值顯著較高($p<0.05$)(表 19)，顯示其內部顏色較暗並偏紅色。

低糖和傳統戚風蛋糕之外皮及內部水分，分別介於 17.9-19.0% 及 35.9-36.7%，彼此並無顯著差異($p>0.05$)。但與傳統蛋糕相較，低糖蛋糕之水活性均顯著較高($p<0.05$)(表 19)，故貯存在室溫環境($25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 60-65%)，它亦比傳統者早 1 天發霉，保存期限較短。此外，因 10% polydextrose 水溶液之 pH 值為 2.5-3.5，其 pH 值較低，故低糖蛋糕之麵糊和蛋糕的 pH 值均顯著較低($p<0.05$)(表 19)。

2. 低糖蛋糕之阿斯巴甜含量及其裂解產物

阿斯巴甜為低糖戚風蛋糕的甜味來源之一，但因其不耐高溫，烘焙過程易分解而降低甜味(Homler, 1984)，故須探討低糖戚風蛋糕烤焙期間阿斯巴甜之安定性。本試驗以高效液相層析法(HPLC)檢測蛋糕中的阿斯巴甜及其裂解產物，就檢液所得波峰滯留時間分別與標準品比較鑑別，結果發現 3 種低糖戚風蛋糕中均含苯丙胺酸(phenylalanine)、aspartylphenylalanine (AP) 及 diketopiperazine (DKP) 3 種阿斯巴甜的裂解產物(圖 6)。Prodoliet 和 Bruelhart (1993)曾檢測 24 種市售低熱量食品，發現可樂、果肉漿(pulp)、巧克力奶及優格等製品皆含苯丙胺酸、AP 及 DKP；低熱量碳酸飲料於室溫貯存 6 或 36 個月，亦可發現這 3 種裂解產物(Tsang *et al.*, 1985)。阿斯巴甜的這些分解產物均無甜味，亦無異味產生(Homler, 1984)。

為瞭解蛋糕烤焙過程阿斯巴甜之裂解程度，故就檢液之阿斯巴甜的波峰面積與標準曲線比較，以求出低糖戚風蛋糕中阿斯巴甜之濃度及回收率(recovery)(表 21)。以微膠囊化阿斯巴甜所製蛋糕，阿斯巴甜回收率達 41%，顯著高於以阿斯巴甜和 APM:ACK=1:1 所製者($p<0.05$)；Wetzel 和 Bell (1998)發現如用微膠囊化阿斯巴甜製作輕奶油黃蛋糕(yellow layer cake)，回收率則為 32-35%。而以阿斯巴甜製作蛋糕，其回收率達 24%，顯著低於微膠囊化阿斯巴甜所製者($p<0.05$)。相較於阿斯巴甜，以微膠囊化阿斯巴甜製作戚



圖六、在等比例阿斯巴甜和醋磺內酯鉀所製低糖戚風蛋糕中阿斯巴甜及其裂解產物之高效液相層析圖。

Fig. 6. HPLC chromatogram of aspartame and its decomposition products in low-sugar chiffon cake containing aspartame:acesulfame-K =1:1.

表二十一、低糖戚風蛋糕中阿斯巴甜之濃度及回收率

Table 21. Concentration and recovery of aspartame (APM) in low-sugar chiffon cake

Ingredient variation	Concentration (%)			Recovery ^{a, b} (%)
	Batter	Cake		
		Calculated	Measured	
APM	0.310	0.339	0.080	23.7± 1.8 b
Encapsulated APM	0.304	0.333	0.136	40.9± 2.6 a
APM:ACK=1:1 ^c	0.129	0.141	0.020	14.0± 2.7 c

^a Recovery (%) = (Measured conc./calculated conc.) × 100%.

^b Means (three replications) with different letters in a column are significantly different (p < 0.05).

^c APM:ACK=aspartame:acesulfame-K.

風蛋糕，可增加 73%回收率；而用其製作輕奶油黃蛋糕，亦可增加 70-79%回收率(NutraSweet, 1994; Wetzel and Bell, 1998)。由於微膠囊化阿斯巴甜表面包覆氫化棉籽油，至烘焙末期，阿斯巴甜才被釋出，故可減緩於高溫烤焙所受之破壞(NutraSweet, 1996; Peck, 1994; Pszczola, 1988)。此外，發現 APM:ACK=1:1 所製蛋糕之阿斯巴甜回收率為 14%，顯著較其他兩者低($p<0.05$)，其原因有待進一步探究。

3.傳統和低糖蛋糕之感官特性

蛋糕的感官特性方面(表 22)，除後味及整體感外，傳統和低糖戚風蛋糕之彈性、硬度、濕潤度及甜味均無顯著差異($p>0.05$)。但相較於傳統蛋糕，以 APM:ACK=1:1 所製者，其外皮和內部的後味均顯著較強，後味主要為苦味；且整體感得分顯著較低($p<0.05$)。而以阿斯巴甜所製者，其後味外皮顯著較強($p>0.05$)；以微膠囊化阿斯巴甜所製者，其整體感得分顯著較低($p>0.05$)，其餘感官特性則與傳統蛋糕無顯著差異，且兩者之感官特性彼此均無顯著差異($p>0.05$)。由於以微膠囊化阿斯巴甜所製蛋糕之整體感得分顯著較低傳統者($p<0.05$)(表 22)，且微膠囊化阿斯巴甜因含棉籽油，故熱量較阿斯巴甜高(8 kcal/g)(Peck, 1994)，價格又較昂貴，故本試驗選用阿斯巴甜製作低糖戚風蛋糕，並評估消費者對蛋糕之接受度。

喜好性品評試驗(Peryam and Pilgrim, 1957)係以輔仁大學 107 位師生為主，其中男性和女性各占 55%和 45%，年齡以 18-25 歲居多(表 23)。因低糖蛋糕的外皮略帶苦味，故分別以帶皮及去皮蛋糕進行品評。結果顯示(表 24)，消費者對低糖戚風蛋糕之外觀、質地、甜味、風味及整體感的喜好度均顯著低於傳統者($p<0.05$)，但低糖蛋糕各項感官特性得分落在 5.3-5.9，仍在可接受範圍內。而去皮之低糖蛋糕的質地和整體感得分均顯著高於未去皮者($p<0.05$)，且消費者對去皮者之購買意願顯著較高($p<0.05$)(表 25)，故可考慮以去皮型態來販售低糖蛋糕。

表二十二、試驗分析型品評團(n=6)所得之傳統和低糖戚風蛋糕的感官特性
Table 22. Sensory attributes of traditional and low-sugar chiffon cakes^a using an experienced panel (n=6)^b

Ingredient variation	Springiness	Firmness	Moistness	Sweetness		Aftertaste		Overall
				Crust	Crumb	Crust	Crumb	
Control	7.7 a	4.9 a	6.9 a	9.7 a	8.2 a	5.0 b	2.4 b	9.9 a
Aspartame	10.7 a	5.6 a	7.4 a	8.3 a	8.2 a	9.7 a	3.9 b	8.9 ab
Encapsulated aspartame	9.8 a	5.4 a	8.0 a	10.2 a	10.3 a	8.1 ab	4.5 b	6.1 b
APM:ACK =1:1 ^c	10.4 a	5.2 a	7.7 a	7.7 a	9.7 a	10.0 a	8.1 a	5.8 b

^a Means score from 0 to 15. 0 = hard, not springy, dry, unsweet, nonaftertaste, dislike; 15 = soft, very springy, wet, intensely sweet, strong aftertaste, like.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^c APM:ACK=aspartame:acesulfame-K.

表二十三、戚風蛋糕之消費者型品評員的人口統計資料

Table 23. Demographics for consumer panelists evaluating sensory characteristics of chiffon cake

Characteristics	Number	Percent
Sex		
Female	59	55.1
Male	48	44.9
Age in years		
18-21	43	40.2
22-25	51	47.7
26-31	13	12.1

表二十四、消費者型品評團(n=107)所得之傳統和低糖戚風蛋糕的感官特性

Table 24. Sensory attributes of traditional and low-sugar chiffon cakes^a using a consumer panel (n=107)^b

Cake	Appearance	Texture	Sweetness	Flavor	Overall
With crust					
Control	6.0 ab	6.2 ab	6.5 a	6.7 a	6.4 a
Low-sugar	5.5 c	5.5 c	5.5 b	5.3 b	5.3 c
Crumb					
Control	6.3 a	6.6 a	6.6 a	6.5 a	6.5 a
Low-sugar	5.7 bc	5.9 b	5.9 b	5.6 b	5.7 b
CV ^c	22.7	23.3	23.6	25.9	23.9

^a A 9-point hedonic scale (9=like extremely; 8=like very much; 7=like moderately; 6=like slightly; 5=neither like nor dislike; 4=dislike slightly; 3=dislike moderately; 2=dislike very much; 1=dislike extremely) was used.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^c Coefficient of variation, %.

表二十五、消費者、減重者及糖尿病患者對低糖戚風蛋糕的購買意願

Table 25. A consumer, overweight and obese or diabetic panel's desire for consuming low-sugar chiffon cake^{a, b}

Cake type	Consumer	Obesity	Diabetic
With crust	5.0± 1.8 b	5.9± 1.6 a	5.4± 2.1 b
Crumb	5.8± 1.5 a	6.1± 1.9 a	7.1± 1.6 a

^a Scores range from 1 to 9 with 1=low likelihood to consume the product and 9=high likelihood to consume the product.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

此外，為瞭解減重者及糖尿病患者對低糖蛋糕之接受性，分別對其進行喜好性品評試驗。減重者以 28 位 35-55 歲輔大婦女減重班學員為主，採 BMI (body mass index) 方式計算理想體重，即以身高² (m²)×22 (BMI) 為其理想體重，而品評員之體重均超出理想值 10-20% (overweight) 或 20% 以上 (obese)。糖尿病患者則以 14 位馬階紀念醫院病患為主，其中男女各占 29% 和 71%，年齡為 45-72 歲。結果發現(表 26 及表 27)，低糖蛋糕的各項感官特性得分落在 5.4-7.5，減重者及糖尿病患者對其喜好度均高於一般消費者，購買意願亦較強(表 25)。

目前國內唯有台北市富都飯西點部、twin'、福利麵包公司與基隆長庚醫院，利用代糖製作少量蛋糕，供應顧客享用。

4. 傳統和低糖蛋糕之熱量

依食品工業發展研究所訂定之 86 年台灣地區食品營養成分資料庫計算戚風蛋糕的熱量(表 28)。相較於傳統蛋糕，食用 1/4 塊 8 吋(約 100 g)的低糖蛋糕，可少攝取 18 g 蔗糖及 56 kcal 熱量，約能減低 67% 糖量及 18 % 熱量。

三、傳統和低糖戚風蛋糕貯存品質變化之探討

為瞭解貯存時間和溫度對戚風蛋糕品質之影響，分別將傳統和低糖蛋糕置於 25℃ 室溫、4℃ 冷藏及 -18℃ 冷凍貯存 14 天，並定時取樣進行品質分析。

(一) 傳統和低糖蛋糕之老化程度

澱粉製品經貯存易產生老化現象(staling)(Seow and Teo, 1996)。老化被廣泛定義為澱粉製品在貯存期間，發生非微生物污染所造成的品質劣變，使消費者接受度降低(Bechtel *et al.*, 1953; Seow and Teo, 1996)。以麵包為例，與老化有關的特性如風味及內部水分損失、產品變硬及易碎、澱粉的結晶度增加、可溶性澱粉及水合力減少等(Herz, 1965)。

表二十六、減重者品評團(n=28)所得之低糖戚風蛋糕的感官特性
Table 26. Sensory attributes of low-sugar chiffon cake^a using a overweight and obese panel (n=28)^b

Cake type	Appearance	Texture	Sweetness	Flavor	Overall
With crust	5.9 b	5.9 b	5.9 a	6.2 a	6.1 a
Crumb	6.7 a	6.9 a	5.8 a	6.4 a	6.5 a
CV ^c	22.9	22.7	33.6	24.5	29.1

^a A 9-point hedonic scale (9=like extremely; 8=like very much; 7=like moderately; 6=like slightly; 5=neither like nor dislike; 4=dislike slightly; 3=dislike moderately; 2=dislike very much; 1=dislike extremely) was used.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^c Coefficient of variation, %.

表二十七、糖尿病患者品評團(n=14)所得之低糖戚風蛋糕的感官特性

Table 27. Sensory attributes of low-sugar chiffon cake^a using a diabetic panel (n=14)^b

Cake type	Appearance	Texture	Sweetness	Flavor	Overall
With crust	6.5 b	6.7 a	5.4 b	6.5 a	6.1 b
Crumb	7.5 a	7.4 a	7.1 a	7.1 a	7.3 a
CV ^c	17.9	14.2	21.9	18.5	16.1

^a A 9-point hedonic scale (9=like extremely; 8=like very much; 7=like moderately; 6=like slightly; 5=neither like nor dislike; 4=dislike slightly; 3=dislike moderately; 2=dislike very much; 1=dislike extremely) was used.

^b Means with different letters in a column are significantly different ($p < 0.05$).

^c Coefficient of variation, %.

表二十八、傳統和低糖戚風蛋糕之熱量

Table 28. Calories of traditional and low-sugar chiffon cakes

Composition	Control		Low-sugar cake	
	Content (g/100 g)	Calories (kcal/100 g)	Content (g/100 g)	Calories (kcal/100 g)
Protein	5.23	20.92	5.10	23.48
Aspartame			0.31	1.24
Lipid	13.26	119.34	12.96	116.64
Carbohydrate				
Starch	15.18	60.72	14.83	59.32
Lactose	0.57	2.28	0.55	2.20
Sucrose	26.29	105.16	8.56	34.24
Polydextrose			18.26	18.26
Total		308.42		252.3

為瞭解貯存時間和溫度對傳統和低糖戚風蛋糕老化之影響，本試驗依第 1 階段所得之較適配方，即 96% polydextrose、45%蔗糖及 70%水(fwb)，配合使用阿斯巴甜來製作低糖蛋糕(表 6)，並選擇澱粉之回凝程度、蛋糕的硬度及感官品評之整體感得分，作為評估蛋糕老化程度的指標。

1.澱粉之回凝程度變化

澱粉凝膠(gel)貯存期間，其回凝與糊化後的直、支鏈澱粉重新排列有關，直鏈澱粉主導早期之回凝過程，而後期則由支鏈澱粉所主導(Miles *et al.*, 1985)。由貯存傳統和低糖戚風蛋糕的 DSC 圖中，發現 2 個吸熱峰，其中回凝澱粉的吸熱峰出現在 55-60°C，而第 2 個超過 100°C 之吸熱峰則為直鏈澱粉與脂質複合物溶解所致(Czuchajowska and Pomeranz, 1989)。DSC 結果顯示(表 29)，傳統和低糖戚風蛋糕之回凝澱粉平均起始溫度(T_o)為 51.5°C，尖峰溫度(T_p)為 57.5°C；兩種蛋糕之平均起始或尖峰溫度皆差 1.1°C，差異不大。此外，當傳統或低糖戚風蛋糕於較高溫貯存，回凝澱粉之尖峰溫度並無升高趨勢；而 Soulaka 和 Morrison (1985)卻發現麵包置較高溫貯存，其回凝澱粉之尖峰溫度亦升高。回凝澱粉之起始和尖峰溫度溫度的改變主要受系統含水量之影響(Eberstein *et al.*, 1980)；在戚風蛋糕貯存期間，可能其含水量異於麵包，導致兩者回凝澱粉之尖峰溫度改變程度迥異。

由蛋糕的回凝澱粉溶解熱焓量之貯存變化(圖 7)得知，傳統和低糖戚風蛋糕之澱粉熱焓量均隨貯存時間增長而增加，且貯存於 4°C 者之熱焓量較 25°C 及 -18°C 者為高，顯示貯存時間較長或冷藏貯存，回凝澱粉之結晶程度均較高。因蔗糖具延緩澱粉回凝之功能(Ponte, 1990)，而低糖蛋糕含糖量較少，貯存時澱粉較易回凝，故熱焓量較傳統者高。蔗糖可延緩澱粉回凝，此可能是糖易與澱粉形成架橋構造，增加澱粉非結晶區之穩定性，使澱粉不易再結晶，同時亦限制其內水分的移動及氫鍵之形成所致(黃等, 1988; Spies and Hosney, 1982)。低糖戚風蛋糕因含糖量較低，所形成之架橋較少，致澱粉回凝程度較快。

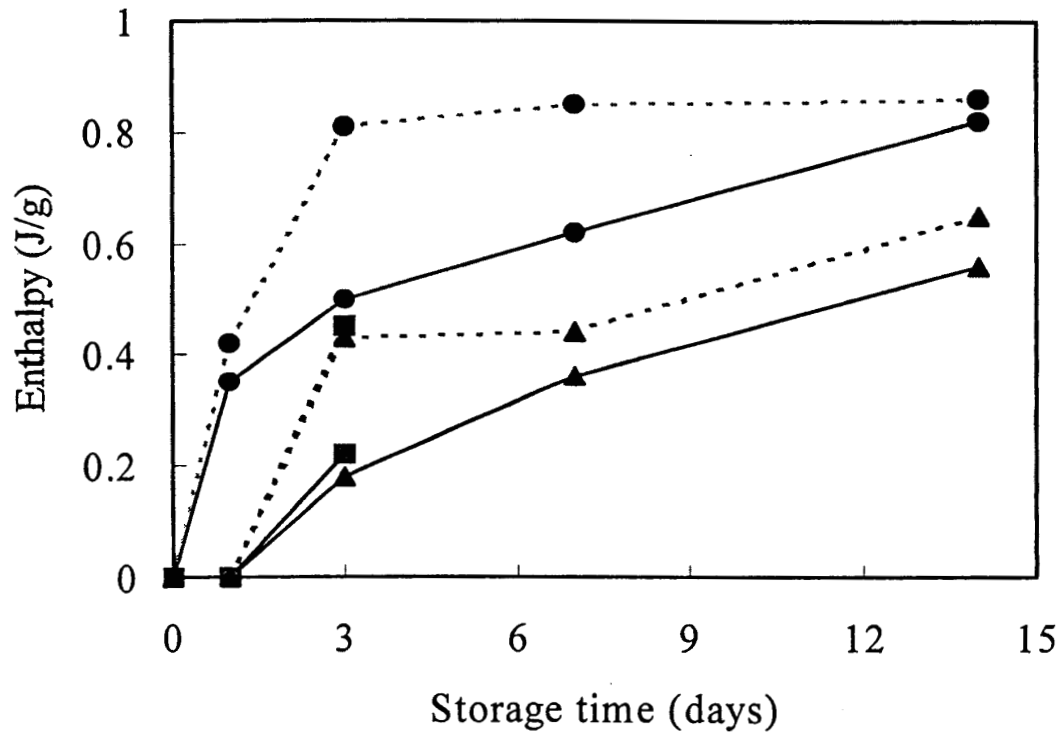
表二十九、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之回凝澱粉熔解溫度

Table 29. Melting temperatures of starch retrogradation in traditional and low-sugar chiffon cakes during storage

Storage temp. (°C)	Storage time (days)	Traditional cake Temperature (°C) ^a		Low-sugar cake Temperature (°C) ^a	
		T _o	T _p	T _o	T _p
Freshly prepared		-	-	-	-
25	1	-	-	-	-
	3	53.6	57.6	52.0	59.5
	4	52.5	60.3	52.1	57.0
	7	50.8	56.7	49.8	56.0
-18	14	50.3	56.6	49.2	55.0
	1	-	-	-	-
	3	55.9	60.4	52.4	58.9
	7	52.2	59.2	52.1	57.5
Mean	14	49.7	55.6	49.1	55.4
		52.0	58.0	50.9	56.9
SD		2.00	1.79	1.40	1.64

^a T_o and T_p = onset and peak transition temperatures.

^b Based on dry crumb weight.



圖七、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕的回凝澱粉溶解熱焓量之變化。

Fig. 7. Changes in melting enthalpies of starch retrogradation in traditional and low-sugar chiffon cakes during storage.

Traditional: Low-sugar: —; 25°C: ■ 4°C: ● -18°C: ▲

2. 蛋糕硬度之變化

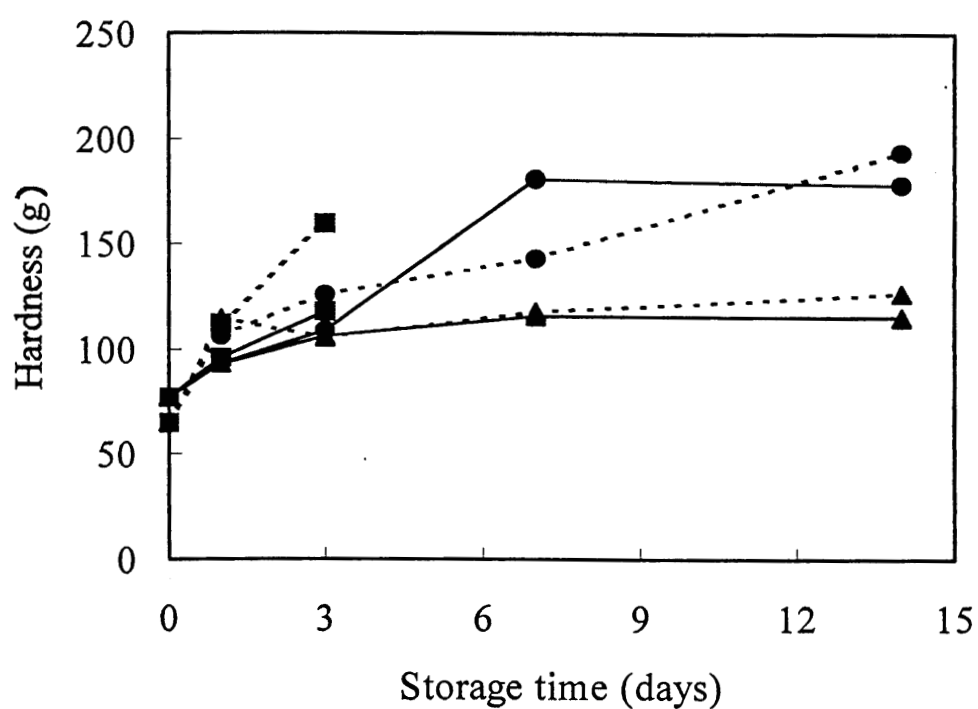
以物性測定儀(rheometer)測定蛋糕硬度之貯存變化(圖 8)。結果發現，傳統和低糖戚風蛋糕之硬度均隨貯存時間增長而增加，且大致以貯存前 1 或 3 天，硬度增加最快，第 3 天後則趨於平緩，而許多研究皆發現麵包之趨勢亦雷同(Ghiasi *et al.*, 1984; Martin *et al.*, 1991; Seow and Teo, 1996)。溫度對傳統和低糖戚風蛋糕硬度之影響頗大，置 25°C 貯存者硬度增加最快，次為 4°C，而-18°C 貯存者硬度增加最緩；海綿蛋糕貯存亦發現，置 25°C 者之硬度增加較 4°C 快(Guinot and Mathlouthi, 1991; Taranto, 1983)。除蛋糕於 4°C 貯存 7 天外，貯存期間低糖戚風蛋糕之硬度均較傳統者高。

在貯存過程，傳統和低糖戚風蛋糕之含水量並無明顯改變；由相關分析結果顯示，蛋糕硬度與澱粉的回凝熱焓量呈顯著正相關($r=0.80$, $p<0.05$)，故推測戚風蛋糕硬度的改變可能與澱粉的回凝有關。Rogers 等(1988)卻發現由 DSC 熱焓量所得之澱粉再結晶速率與麵包的硬度無關，可能因產品不同所致。

3. 蛋糕整體感之變化

由感官品評測定蛋糕整體感之貯存變化(圖 9)。結果顯示，品評員對傳統和低糖戚風蛋糕之接受度，均隨貯存時間增加而下降，尤以貯存前 3 天下降幅度最大，第 3 天後則趨於平緩。溫度對戚風蛋糕整體感之影響頗大，於 4°C 貯存期間整體感得分下降最快，而以-18°C 和 25°C 貯存者變化較小。新鮮低糖蛋糕之整體感得分略低於傳統者，而經貯存後其差異會變得更明顯。

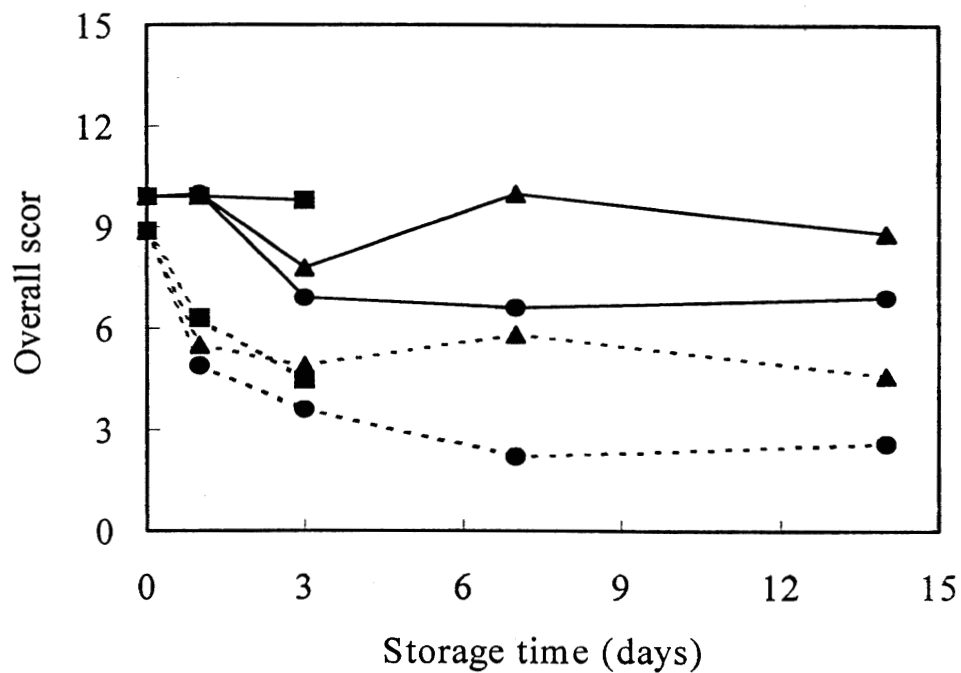
由相關分析結果得知，品評員對戚風蛋糕的整體感與硬度呈顯著負相關($r=-0.65$, $p<0.05$)，Bechtel 等(1953)亦發現老化麵包的硬度與消費者的整體接受性呈顯著負相關。顯示蛋糕或麵包愈硬，消費者之接受性愈低。此外，蛋糕的整體感得分亦與回凝澱粉的熱焓量呈顯著負相關($r=-0.71$, $p<0.05$)。



圖八、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之硬度變化。

Fig. 8. Changes in hardness of traditional and low-sugar chiffon cakes during storage.

Traditional: Low-sugar: —; 25°C: ■ 4°C: ● -18°C: ▲



圖九、貯存期間傳統和低糖戚風蛋糕之感官品評試驗的整體感得分變化。

Fig. 9. Changes in overall scores of sensory evaluation of traditional and low-sugar chiffon cakes during storage.

Traditional: Low-sugar: —; 25°C: ■ 4°C: ● -18°C: ▲

(二)低糖蛋糕之阿斯巴甜安定性

阿斯巴甜是低糖戚風蛋糕的主要甜味來源之一。由於它易受周遭環境之影響而分解，並失去甜味(Homler, 1984)，故蛋糕貯存期間，阿斯巴甜之含量變化值得探討。為瞭解人工甜味劑組合對蛋糕中阿斯巴甜之安定性之影響，乃選用阿斯巴甜、微膠囊化阿斯巴甜及 APM:ACK=1:1 製作低糖蛋糕(表 6)，並測其貯存過程阿斯巴甜之含量變化。

低糖戚風蛋糕儲存期間，由阿斯巴甜含量及殘留量變化(表 30 及圖 10)可見，隨貯存時間增長，低糖蛋糕之阿斯巴甜含量亦下降，且貯存溫度愈高，阿斯巴甜的分解速率愈快。其中，置 25℃貯存者阿斯巴甜的降解速率最快，貯存 5 天後降解 41-79%；而置-18℃貯存者，則無明顯變化。此外，阿斯巴甜之安定性亦因蛋糕所使用之人工甜味劑種類而異，以微膠囊化阿斯巴甜所製蛋糕之安定性最高，而以阿斯巴甜或 APM:ACK=1:1 所製者安定性較差。在室溫環境貯存 3 天，以微膠囊化阿斯巴甜所製戚風蛋糕，阿斯巴甜降解約 31%；Wetzel 和 Bell (1998)卻發現如用其製作輕奶油黃蛋糕，則降解約 10%，兩者之阿斯巴甜降解程度差異頗大。

阿斯巴甜之安定性主要受時間、水分、pH 值、溫度及光照等因素影響(Homler, 1984; Kim *et al.*, 1997)。在低糖蛋糕 14 天的貯藏過程，蛋糕均貯存於暗處，且其水分及水活性並無明顯差異。在 25℃的緩衝液中，阿斯巴甜於 pH 3-5 安定性最佳(Homler, 1984)，而低糖戚風蛋糕的 pH 值約 6.7-7.0 (表 19)，不在阿斯巴甜較安定性的 pH 值範圍內。由此可知，低糖蛋糕貯存期間，pH 值和貯存溫度可能是影響阿斯巴甜安定性之主因。因此，如能適當調整蛋糕之 pH 值，並將蛋糕置低溫環境貯存，也許可降低阿斯巴甜之分解率。

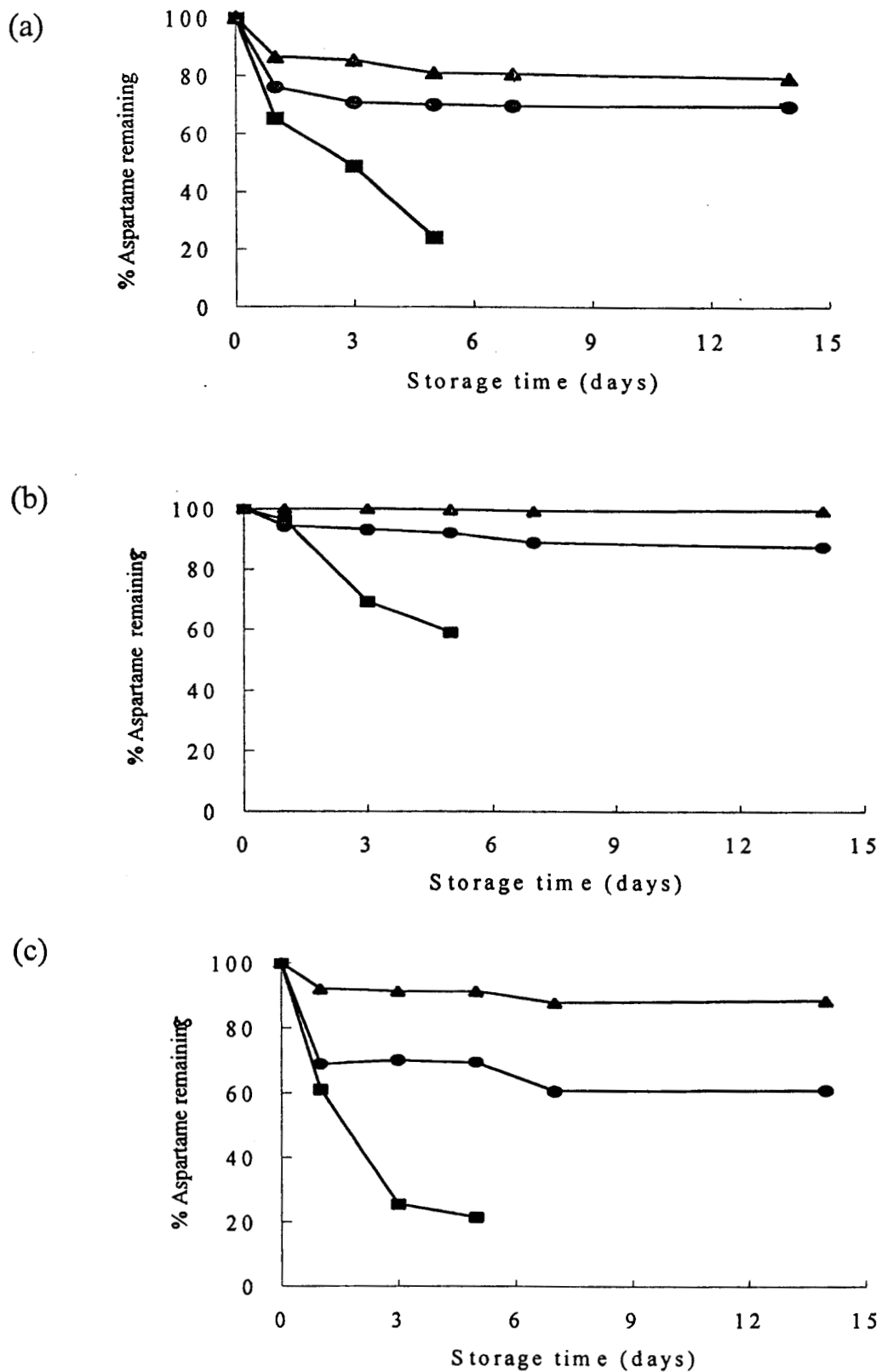
表三十、貯存期間低糖戚風蛋糕之阿斯巴甜含量

Table 30. Levels of aspartame (APM) in low-sugar chiffon cake during storage

Storage temp. (°C)	Storage time (days)	Aspartame		Encapsulated aspartame		APM:ACK=1:1 ^b	
		mg APM/ g cake	% APM ^a remaining	mg APM/ g cake	% APM ^a remaining	mg APM/ g cake	% APM ^a remaining
Freshly prepared		0.802	100.0	1.364	100.0	0.198	100.0
25	1	0.523	65.2	1.312	96.2	0.121	61.1
	3	0.389	48.6	0.945	69.3	0.050	25.5
	5	0.191	23.9	0.805	59.0	0.043	21.5
	7	0.191	23.9	0.805	59.0	0.043	21.5
4	1	0.609	80.0	1.288	94.5	0.136	68.8
	3	0.567	70.7	1.270	93.1	0.139	70.0
	5	0.561	69.9	1.252	91.8	0.138	69.4
	7	0.558	69.6	1.213	89.0	0.120	60.7
-18	14	0.557	69.4	1.193	87.5	0.121	60.9
	1	0.693	86.5	1.364	100.0	0.182	92.0
	3	0.684	85.3	1.364	100.0	0.181	91.3
	5	0.649	80.9	1.362	99.9	0.181	91.3
	7	0.647	80.7	1.354	99.2	0.174	87.7
	14	0.636	79.3	1.357	99.5	0.175	88.4

^a On the basis of percentage of the original level as 100% aspartame.

^b APM:ACK=aspartame:acesulfame-K.



圖十、貯存期間低糖戚風蛋糕之阿斯巴甜分解情形。
 Fig. 10. The degradation of aspartame in low-sugar chiffon cake containing (a) aspartame; (b) encapsulated aspartame; and (c) aspartame:acesulfame-K=1:1 during storage.
 25°C:■ 4°C:● -18°C:▲

第四章 結 論

依反應曲面設計法所得之 96% polydextrose、45%砂糖及 70% 水(fwb)為較適配方，配合使用阿斯巴甜，所製低糖戚風蛋糕，其內部質地和風味與傳統蛋糕均無顯著差異；消費者之喜好度較低，但仍可被接受。此外，它可減低 67%糖量及 18%熱量。蛋糕烤焙過程阿斯巴甜會分解，以阿斯巴甜所製者，阿斯巴甜之回收率顯著較微膠囊化阿斯巴甜所製者為低，其回收率分別為 24%及 41%。又隨貯存，蛋糕中阿斯巴甜含量會下降，且貯存溫度愈高，阿斯巴甜分解速率愈快。室溫貯存 5 天後降解量達 41-79%；而置-18℃貯存者，其含量變化較小，只有 0-19%。

低糖戚風蛋糕含糖量較少，貯存易老化，尤以貯存前 3 天老化最快，且置 25℃及 4℃貯存者，老化較-18℃者為快；故可將蛋糕冷凍貯存，食用時置室溫回溫即可。未來擬繼續進行品質改良，如添加保濕劑或老化抑制劑等，以提高低糖戚風蛋糕的品質。

參考文獻

- 行政院衛生署. 食品添加物使用範圍及用量標準. 食品衛生彙編. 1998.
- 徐華強, 黃登訓, 顧德材. 蛋糕與西點. 台北: 中華穀類食品工業技術研究所, 1995:153-157, 201.
- 郭文怡. 可使用於烘焙食品的代用糖. 烘焙工業 1995, 62:52-55.
- 黃瑞美, 呂政義, 蔣見美. 傳統式鳳片糕老化機制之探討. 中國農業化學會誌 1988, 26:338-352.
- 黃瑞美, 林子清, 蔣見美, 呂政義. 不同品系稻米及製程對發糕品質之影響. 中國農業化學會誌 1990, 28:267-275.
- AACC. *Approved Methods of the AACC*. 8th ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1983.
- Attia EA, Shehata HA, Askar A. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. *Food Chem* 1993, 48:169-172.
- Barndt RL, Antenucci RN: Fat and calorie-modified bakery products. In Khan R ed. *Low-Calorie Foods and Food Ingredients*. Glasgow, UK: Blackie Academic & Professional, 1993:106-137.
- Bean MM, Yamazaki WT, Donelson DH. Wheat starch gelatinization sugar solutions. II . Fructose, glucose, and sucrose: cake performance. *Cereal Chem* 1978, 55:945-952.
- Bechtel WG, Meisner DF, Bradley WB. Effect of the crust on the staling of bread. *Cereal Chem* 1953, 30:160.
- Bramescio NP, Setser CS. Application of sensory texture profiling to baked products: some considerations for evaluation, definition of parameters and reference products. *J Texture Stud* 1990, 21:235-251.
- Cochran WG, Cox GM: Some methods for the study of response surfaces. In Cochran WC, Cox GM eds. *Experimental Designs*. NY, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1957:335-369.

- Czuchajowska Z, Pomeranz Y. Differential scanning calorimetry, water activity, and moisture contents in crumb center and near-crust zones of bread during storage. *Cereal Chem* 1989, 66:305-309.
- Deis, R.C. Adding bulk without adding sucrose. *Cereal Foods World* 1994, 39: 93-97.
- Deis, R.C. Low-calories and bulking agents. *Food Technol.* 1993, 47(12): 94.
- Dunnett CW. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. *J Am Statist Ass* 1955, 50:1096-1121.
- Eberstein K, Hopcke R, Konieczny-Janda R, Stute, R. DSC investigations on starches. I . Feasibility of thermoanalytical methods to characterize starches. *Starch/Stärke* 1980, 32:397-404.
- Figdor SK, Bianchine JR. Caloric utilization and disposition of [^{14}C] polydextrose in man. *J Agric Food Chem* 1983, 31:389-393.
- Frye AM, Setser C.S: Bulking agents and fat substitutes. In Altschul AM, ed. *Low-Calorie Foods Handbook*. New York, NY : Marcel Dekker, Inc., 1993 : 211-251.
- Frye AM, Setser C.S. Optimizing texture of reduced-calorie yellow layer cakes. *Cereal Chem* 1992, 69:338-343.
- Ghiasi K, Hosney RC, Zeleznak K, Rogers DE. Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal Chem* 1984, 61:281-285.
- Giese JH. Alternative sweeteners and bulking agents. *Food Technol* 1993, 47(1):114-115, 118, 120-122, 124-126.
- Giovanni M. Response surface methodology and product optimization. *Food Technol* 1983, 37(11):41-45, 83.
- Glover JM, Walker CE, Mattern PJ. Functionality of sorghum flour components in a high ratio-cake. *J Food Sci* 1986, 51:1280-1283, 1292.

- Guinot P, Mathlouthi M. Instron measurement of sponge cake firmness: effect of additives and storage conditions. *J Sci Food Agric* 1991, 54:413-420.
- Hanger LY, Lotz A, Lepeniotis S. Descriptive profiles of selected high intensity sweeteners (HIS), HIS blends, and sucrose. *J Food Sci* 1996, 61:456-458, 464.
- Herz KO. Staling of bread-a review. *Food Technol* 1965, 19:1828-1841.
- Hess DA, Setser CS. Alternative systems for sweetening layer cakes using aspartame with and without fructose. *Cereal Chem* 1983, 60:337-341.
- Hess DA, Setser CS. Comparison of aspartame- and fructose-sweetened layer cakes: importance of panels of users for evaluation of alternative sweeteners. *J Am Diet Assoc* 1986, 86:919-923.
- Homler BE. Properties and stability of aspartame. *Food Technol* 1984, 38(7):50-55.
- Howard NB, Hughes DH, Strobel RGK. Function of the starch granule in the formation of layer cake structure. *Cereal Chem* 1968, 45:329-338.
- Kim KO, Hansen L, Setser CS. Phase transitions of wheat starch-water systems containing polydextrose. *J Food Sci* 1986, 51:1095-1097.
- Kim SK, Jung MY, Kim SY. Photodecomposition of aspartame in aqueous solutions. *Food Chem* 1997, 59:273-278.
- Kim CS, Walker CE. Changes in starch pasting properties due to sugars and emulsifiers as determined by viscosity measurement. *Cereal Chem* 1992, 57:1009-1013.
- Larson-Powers N, Pangborn RM. Paired comparison and time-intensity measurements of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners. *J Food Sci* 1978*a*, 43:41-46.
- Larson-Powers N, Pangborn RM. Descriptive analysis of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners. *J Food Sci* 1978*b*, 43:47-51.

- Lineback DR, Wongsrikasem E. Gelatinization of starch in baked products. *J Food Sci* 1980, 45:71-74.
- Martin ML, Zeleznak KJ, Hoskeney RC. A mechanism of bread firming. I . Role of starch swelling. *Cereal Chem* 1991, 68:498-503.
- Mazur RH: Discovery of aspartame. In Stegink LD, Filer LJ eds. *Aspartame Physiology and Biochemistry*. New York, NY: Marcel Dekker, Inc., 1984:3-9.
- Miles MJ, Morris VJ, Orford PO, Ring SG. The roles of amylopectin and amylose in the gelation and retrogradation of starch. *CHO Res* 1985, 135:271.
- Murray PR: Polydextrose. In Birch GG, Lindley MG eds. *Low-Calorie Products*. London, UK: Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1988:83-100.
- Neville NE, Setser CS. Textural optimization of reduced-calorie layer cakes using response surface methodology. *Cereal Foods World* 1986, 31:744, 746, 748-749.
- Ngo WH, Taranto MV. Effect of sucrose level on the rheological properties of cake batters. *Cereal Foods World* 1986, 31:317-322.
- NutraSweet. Baked goods. Technical overview. Bulletin No. 5323. NutraSweet Co., Deerfield, IL. 1994.
- NutraSweet. Ingredient specifications. NutraSweet® Custom Encapsulated 20™. Bulletin No. 5318. NutraSweet Kelco Co., Deerfield, IL. 1996.
- Olinger PM, Velasco VS. Opportunities and advantages of sugar replacement. *Cereal Foods World* 1996, 41:110-117.
- Ott DB, Edwards CL, Palmer SJ. Perceived taste intensity and duration of nutritive and non-nutritive sweeteners in water using time-intensity (T-I) evaluations. *J Food Sci* 1991, 56:535-542.
- Pateras IMC, Rosenthal AJ. Effects of sucrose replacement by polydextrose on the mechanism of structure formation in high ratio cakes. *Int J Food Sci Nutr* 1992, 43:25-30.
- Peck A. Intense sweeteners for bakery products. *Am Inst Baking Res Dep Tech Bull* 1994, 16(2):1-8.

- Peryam DR, Pilgrim FJ. Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technol* 1957, 11(9):Insert 9-14.
- Pong L, Johnson JM, Barbeau WE, Stewart DL. Evaluation of alternative fat and sweetener systems in cupcakes. *Cereal Chem* 1991, 68:552-555.
- Ponte JG: Sugar in bakery foods. In:Pennington NL, Baker CW eds. *Sugar: A User's Guide to Sucrose*. New York, NY:Van Nostrand Reinhold, 1990:130-151.
- Prodoliet J, Bruelhart M. Determination of aspartame and its major decomposition products in foods. *J AOAC Int* 1993, 76:275-282.
- Pszczola DE. Applications of aspartame in baking. *Food Technol* 1988, 42(1):56, 58.
- Rasper VF, Kamel BS. Emulsifier/oil system for reduced calorie cake. *J Am Oil Chem Soc* 1989, 66:537-542.
- Rennhard HH. Polysaccharides and their preparation. 1973, U.S. patent 3,766,165.
- Rennhard HH. Dietetic foods. 1975, U.S. patent 3,876,794.
- Rogers DE, Zeleznak KJ, Lai CS, Hoseney RC. Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chem* 1988, 65:398-401.
- Rosenthal AJ. Application of aged egg in enabling increased substitution of sucrose by Litesse (polydextrose) in high-ratio cakes. *J Sci Food Agric* 1995, 68:127-131.
- SAS: *SAS/Graph User's Guide*, 5th ed. Cary, NC, USA:SAS Institute, Inc. 1990.
- Schutz HG. A food action rating scale for measuring food acceptance. *J Food Sci* 1965, 30:365-374.
- Schutz HG. Multiple regression approach to optimization. *Food Technol* 1983, 37:46-48, 62.
- Seow CC, Teo CH. Staling of starch-based products: a comparative study by firmness and pulsed NMR measurements. *Starch/Stärke* 1996, 48:90-93.
- Shelke K, Faubion JM, Hoseney RC. The dynamics of cake baking as studies by a combination of viscometry and electrical resistance

- oven heating. *Cereal Chem* 1990, 67:575-580.
- Shukla TP. Problems in fat-free and sugarless baking. *Cereal Foods World* 1995, 40:159-160.
- Soulaka AB, Morrison WR. The bread baking quality of six wheat starches differing in composition and physical properties. *J Sci Food Agric* 1985, 36:719.
- Spies RD, Hoseney RC. Effect of sugars on starch gelatinization. *Cereal Chem* 1982, 59:128.
- Stone H, Sidel J, Oliver S, Woolsey A, Singleton RC. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technol* 1974, 28(11):24, 26, 28-29, 32, 34.
- Taranto MV: Structural and textural characteristics of baked goods. In Peleg M, Bagley EB eds. *Physical Properties of Foods*. Westport, CT:AVI Publishing Co., 1983:229-265.
- Thompson D. Response surface experimentation. *J Food Process Preserve* 1982, 6:155-188.
- Torres A, Thomas RD. Polydextrose and its applications in foods. *Food Technol* 1981, 35(7):44-49.
- Tsang WS, Clarke MA, Parrish FW. Determination of aspartame and its breakdown products in soft drinks by reverse-phase chromatography with UV detection. *J Agric Food Chem* 1985, 33:734-738.
- von Rymon Lipinski GW: Acesulfame-K: properties, physiology and applications in calorie-reduced and low-calorie products In Birch GG, Lindley MG eds. *Low-Calorie Products*. London, UK:Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1988:101-112.
- Wetzel CR, Bell LN. Chemical stability of encapsulated aspartame in cakes without added sugar. *Food Chem* 1998, 63:33-37.
- Wiet SG, Beyts PK. Sensory characteristics of sucralose and other high intensity sweeteners. *J Food. Sci* 1992, 57:1014-1019.

附錄 戚風蛋糕感官品評問卷

戚風蛋糕定量描述分析法(Quantitative descriptive analysis)

品評問卷

日期：____年____月____日

姓名：_____

年齡：_____

產品代碼：_____

品評步驟：

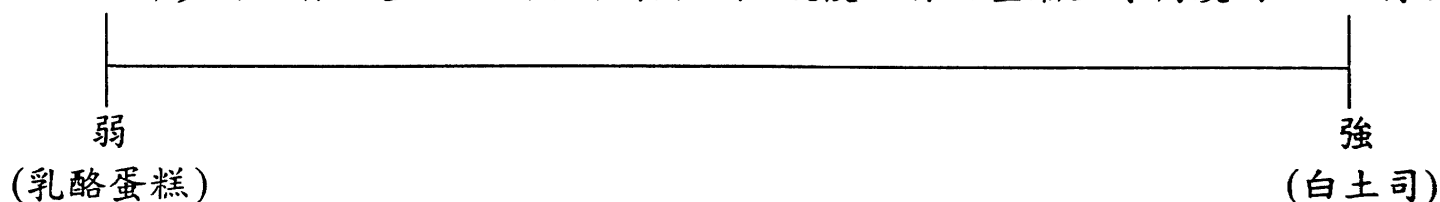
- (1) 先以手指感受樣品的彈性。
- (2) 將整塊蛋糕放入口中，依序感受其硬度、濕潤度、甜味、後味及喜好度。
- (3) 依序就蛋糕的質地及風味等各項官能特性強度，與參考樣品比較，並在適當的尺度位置標示 ”|” 記號。
- (4) 每品嚐完一種樣品，請充分漱口，休息 30 秒後，再品評下一樣品。

1. 質地

(1) 彈性(springiness)

定義：樣品受部分壓縮後，恢復至原高度的程度和速度。

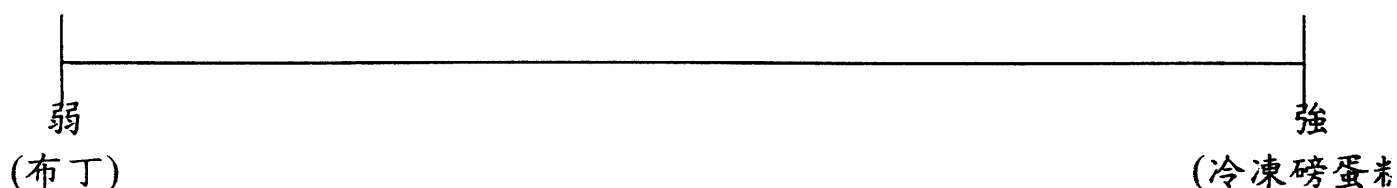
品評步驟：樣品置於大拇指和食指間，緩慢地將之壓縮至原高度的 50%，再方



(2) 硬度(hardness)

定義：完全咬斷樣品所需的力。

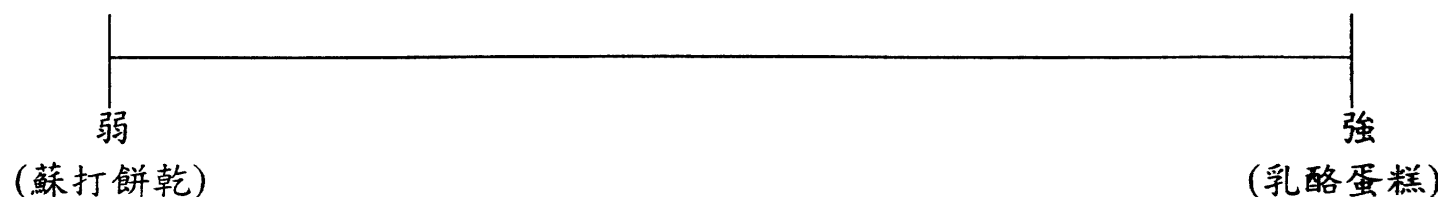
品評步驟：樣品置於白齒間，將之完全咬斷。



(3) 濕潤度(moistness)

定義：樣品表面的濕潤度。

品評步驟：樣品含在口中 5 秒，感受其濕潤度。

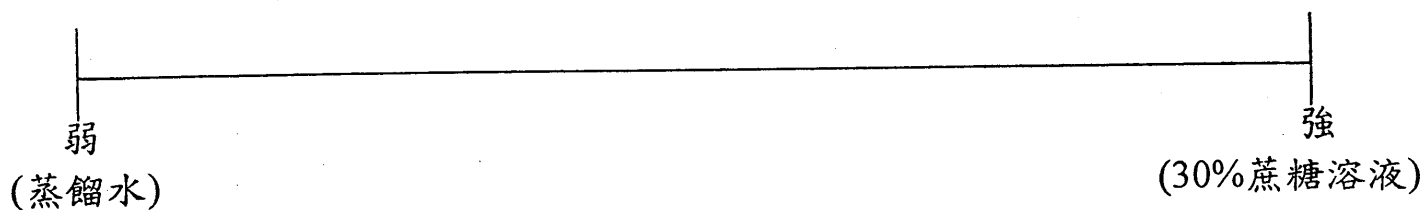


2. 風味

(1)甜味(sweetness)

定義：樣品經咀嚼的甜味。

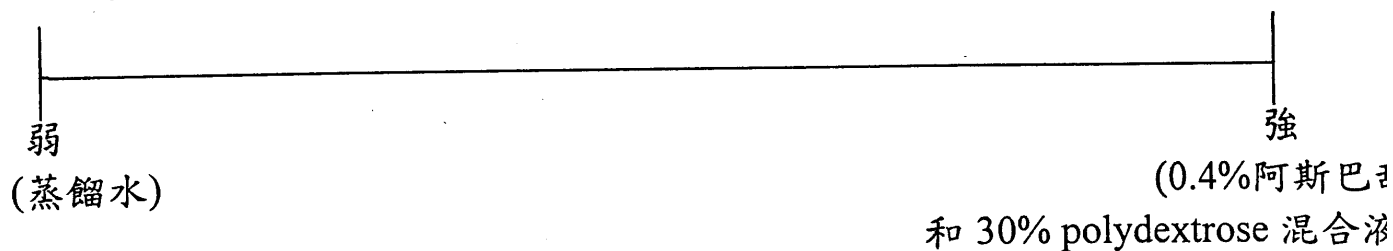
品評步驟：樣品咀嚼 8 下後，感受其甜度。



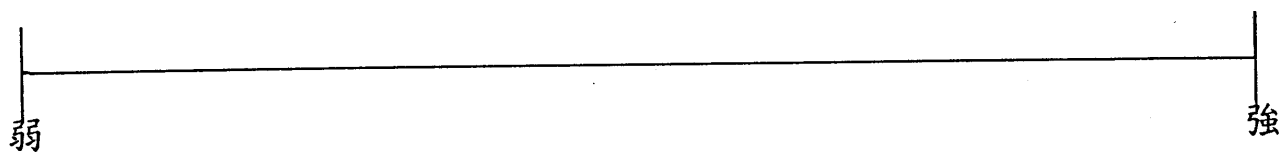
(2)後味(aftertaste)

定義：樣品完全下嚥後，殘留在口中的餘味。

品評步驟：樣品吞下 5 秒後，感受其後味。



3. 整體喜好度



建議： _____

謝謝您的協助，敬祝愉快！

問卷設計者：葉素青

戚風蛋糕喜好性品評法品評問卷

日期：____年____月____日

姓名：_____性別：_____年齡：_____

說明：請依序品評下列產品。請先觀察蛋糕的外觀，再將之放入口中品嚐，針對其質地、甜味、風味及整體感，依您各人喜好程度，在適當的位置打”√“。每品嚐完一種樣品，請充分漱口，稍作休息後，再品評下一樣品。

產品代碼：940

	外 觀	質 地	甜 味	風 味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：039

	外 觀	質 地	甜 味	風 味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：758

	外 觀	質 地	甜 味	風 味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：391

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

謝謝您的協助，敬祝愉快！

問卷設計者：葉素青

戚風蛋糕喜好性品評法品評問卷

日期：____年____月____日

性別：_____

年齡：_____

說明：請先回答第 1 和 2 題，再試吃蛋糕，並“依序”回答第 3 和 4 題。答題時，請在適當的位置打“√”。

1. 您喜歡吃蛋糕嗎？

____很喜歡 ____喜歡 ____不喜歡也不討厭 ____不喜歡 ____很不喜歡

2. 您平常食用多少蛋糕？

____每天 ____每週 3-4 次 ____每週 1-2 次 ____10 天 1 次 ____每月 2 次
____每月 1 次 ____每月 1 次以下

3. 請依序品嚐下列產品，針對其外觀、質地、甜味、風味及整體感，依您各人喜好程度，分別給予評價。每品嚐完一種樣品，請充分漱口，稍作休息後，再品評下一樣品。

產品代碼：359

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：651

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

背頁還有哦！

產品代碼：880

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：029

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

4. 您剛才食用的產品 359 和 029 是低糖蛋糕，相較於傳統蛋糕，可減低 2/3 含糖量及 1/5 熱量。
本產品如上市販售，請問您試吃後，對其購買意願為何？

	359	029
極想買		
非常想買		
想 買		
稍想買		
普 通		
稍不想買		
不想買		
非常不想買		
極不想買		

非常謝謝您的協助，敬祝愉快！

問卷設計者：葉素子

戚風蛋糕喜好性品評法品評問卷

日期：____年____月____日

年齡：_____

說明：請先回答第 1 和 2 題，再試吃蛋糕，並”依序“回答第 3 和 4 題。答題時，請在適當的位置打 ”√“。

1. 您喜歡吃蛋糕嗎？

____很喜歡 ____喜歡 ____不喜歡也不討厭 ____不喜歡 ____很不喜歡

2. 您平常食用多少蛋糕？

____每天 ____每週 3-4 次 ____每週 1-2 次 ____10 天 1 次 ____每月 2 次
____每月 1 次 ____每月 1 次以下

3. 請依序品嚐下列產品，針對其外觀、質地、甜味、風味及整體感，依您各人喜好程度，分別給予評價。每品嚐完一種樣品，請充分漱口，稍作休息後，再品評下一樣品。

產品代碼：359

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

產品代碼：029

	外觀	質地	甜味	風味	整體感
極喜歡					
非常喜歡					
喜 歡					
稍喜歡					
不喜歡也不討厭					
稍不喜歡					
不喜歡					
非常不喜歡					
極不喜歡					
建 議					

背頁還有哦！

4. 您剛才食用的產品 359 和 029 是低糖蛋糕，相較於傳統蛋糕，可減低 $\frac{2}{3}$ 含糖量及 $\frac{1}{5}$ 熱量。
本產品如上市販售，請問您試吃後，對其購買意願為何？

	359	029
極想買		
非常想買		
想 買		
稍想買		
普 通		
稍不想買		
不想買		
非常不想買		
極不想買		

非常謝謝您的協助，敬祝愉快！

問卷設計者：葉素青

附錄三、傳統和低糖戚風蛋糕樣品

Appendix 3. The sample of traditional and low-sugar chiffon cakes

(a) traditional cake; (b) low-sugar cake

(a)



(b)

