

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 農業及生物科技科

第一名

最佳創意獎

091402

「紋」虎色變-虎皮蛋糕紋路形成之探討

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者： 職二 陳怡穎 職二 何宜諺 職二 吳亭妤 職二 盧璿元	指導老師： 郭坤鵬 王俊雄
---	-----------------------------

關鍵詞：虎皮蛋糕、紋路、黏度

壹、摘要

本研究針對虎皮蛋糕的製程與配方進行一系列探討，實驗結果顯示，烘烤溫度宜設定在 210~230°C；攪拌時間宜採用 3~6 分鐘；滯留時間宜在 10 分鐘以內，時間愈短愈好；蛋黃含量宜在 80~120%；採用糖粉、細砂、二砂對蛋糕表面的紋路影響並不明顯；各種穀粉皆可形成紋路，其中玉米粉、在來米粉之紋路較長。統整各實驗結果，發現糊漿黏度對於虎皮蛋糕紋路長短與粗細影響甚大，若糊漿的黏度愈低，則蛋糕的紋路愈長。

實驗結果亦顯示，糊漿泡沫內的澱粉粒愈多，糊漿黏度愈高，烘烤時高溫使糊漿表面凝固結皮，並改變了糊漿的表面張力，導致其表面扭動與內縮變形，進而形成凹凸的紋路，同時高溫也促使蛋糕形成金黃色的虎皮紋路。

貳、研究動機

「虎皮蛋糕」是一種常見的蛋糕，但它卻有不凡的美麗紋路，有如披上了夢幻般的外衣，深深地吸引著我們，使我們充滿了好奇感，想進一步探索虎皮蛋糕紋路之形成原因。

首先，我們利用網路搜尋「虎皮蛋糕」，相關資料雖然很多，可惜眾說紛紜，莫衷一是，更重要的是缺乏科學證據，較無學術參考價值。於是我們請教老師，接著展開一連串沒有週休的研究過程。

參、研究目的

1. 探討虎皮蛋糕「製作條件」對紋路之影響。
2. 探討虎皮蛋糕「原料配方」對紋路之影響。
3. 驗證我們的推論，探討虎皮蛋糕紋路之形成過程與原理。

肆、研究設備與材料

一、研究設備

1. 顯微照相系統 (Nikon)
2. 翻拍架(LPL COPY STAND TYPE-II)
3. 熱電藕&溫度計 (YSCYS-947D)
4. 黏度計 (BROOKFIELD DV-E)
5. 攪拌機 (正大食品機械 JD-61)
6. 雙門自動電器烤箱 (正大食品機械)



顯微照相系統



翻拍架



黏度計



熱電藕&溫度計

二、材料

1. 玉米粉(CHUNGMAN TRAD)
2. 在來米粉(上統農產股份有限公司)
3. 糯米粉(屏東農產股份有限公司)
4. 太白粉(福美珍食品原料行)
5. 低筋麵粉(統一企業股份有限公司)
6. 糖粉(福美珍食品原料行)
7. 精製細砂 (簡稱：細砂) (台灣糖業公司)
8. 貳號砂白 (簡稱：二砂) (台灣糖業公司)

伍、研究過程與方法

一、文獻探討

有關「虎皮蛋糕」有學術參考價值的研究文獻非常少，蒐集到的相關文獻，我們整理其研究成果，摘錄如下：

(一) 中華穀類食品工業技術研究所之研究⁽⁶⁾⁽⁷⁾

此研究分 (I) (II) 兩篇，皆將實驗結果以相片形式呈現說明。

1. 探討使用蛋白取代配方中的一部份蛋黃，對於虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：使用的蛋白比率愈高；虎皮蛋糕的紋路愈不明顯。
2. 探討使用全蛋取代配方中的蛋黃，對於虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：虎皮蛋糕的紋路完全消失。
3. 探討烘烤溫度對虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：烘烤溫度 230°C 外觀最佳。
4. 探討穀粉種類對虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：玉米粉、低筋麵粉、蓬萊米粉皆可形成明顯紋路。

(二) 國立高雄餐旅學院烘焙管理系之研究⁽⁹⁾

此研究探討配方中蛋黃、糖粉、玉米粉、攪拌程度、烤箱溫度等五個因子對虎皮蛋糕紋路之影響，透過問卷評分方式，將評分統計分析。

結論：蛋黃含量為 140% 評價最好^(註)。

(三) 國立蘇澳高級海事水產職業學校水產食品科之研究⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾

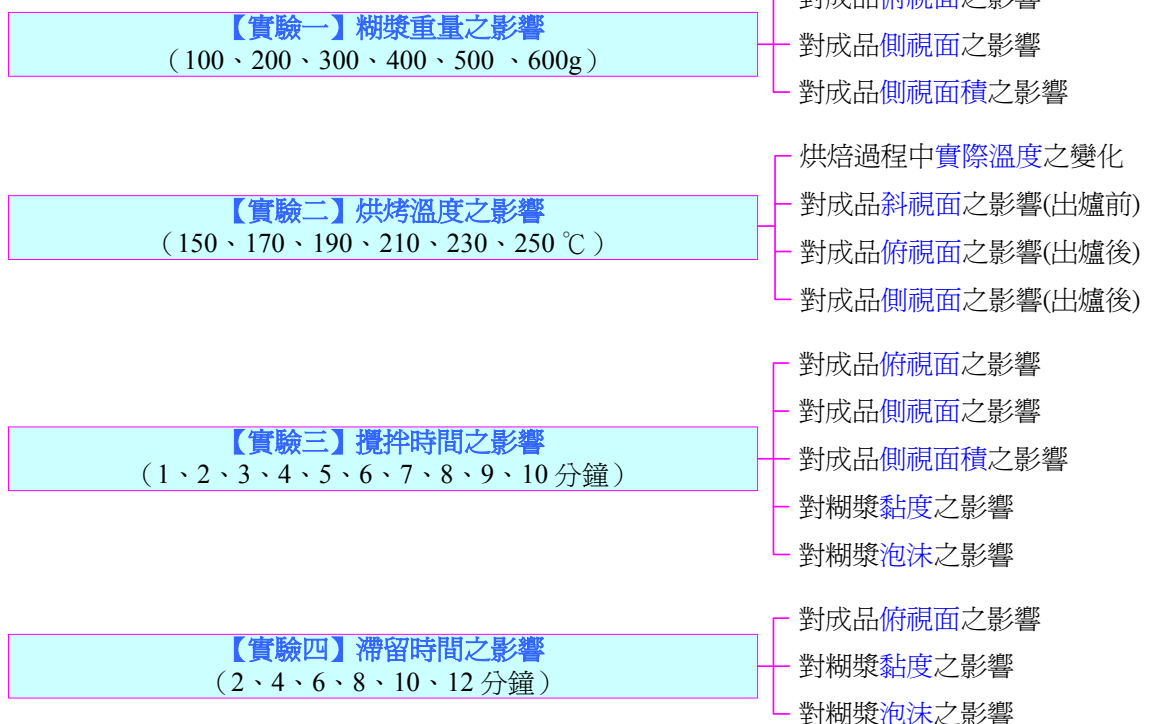
此研究共三篇，皆將實驗結果以相片形式呈現說明。

1. 探討蛋黃含量對虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：成品紋路幾乎都不好。
2. 探討穀粉種類對虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：只有玉米粉紋路明顯。
3. 探討烤焙溫度對虎皮蛋糕紋路之影響。
結論：烘烤溫度宜採 210°C。

※ 註：烘焙百分比是烘焙專用的百分比，其特點是定配方內麵粉之百分比為 100%⁽⁸⁾。

二、研究架構

《研究一》製作條件之探討



《研究二》原料配方之探討



《研究三》推論之驗證



三、研究方法

《研究一》製作條件之探討

首先，我們針對虎皮蛋糕的製作條件（糊漿重量、烘烤溫度、攪拌時間、滯留時間）進行一系列探討，希望找出最適的製作條件。

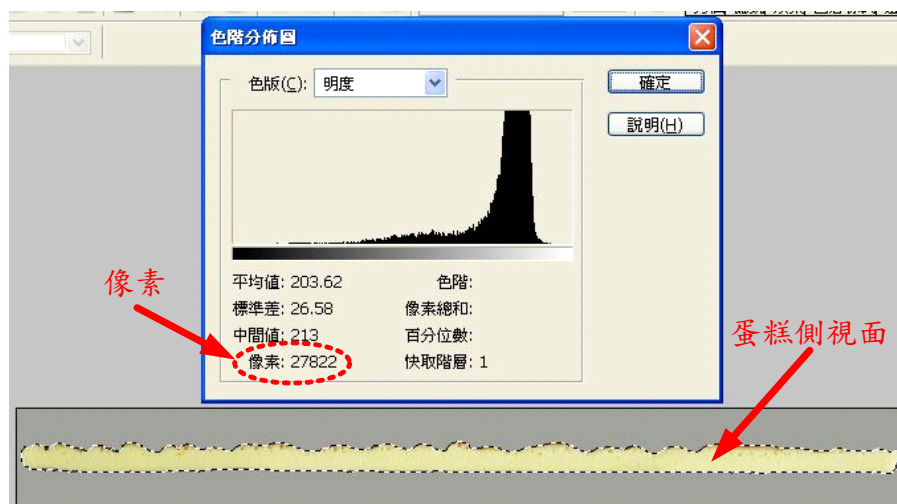
【實驗一】糊漿重量之影響

前言：本研究必須多次重複實驗，爲了避免材料費超出預算，我們決定採用較小的烤盤進行實驗，因此，我們要先找出適當的糊漿重量。



步驟：

1. 實驗變因：糊漿重量（100、200、300、400、500、600g）。
2. 參考中華穀類食品工業技術研究所「虎皮蛋糕」的配方與製程⁽⁶⁾：
 - (1) 配方：蛋黃 100%、砂糖 30%、玉米粉 15%。（烘焙百分比）
 - (2) 製程：
蛋黃、砂糖用鋼絲拌打器先以低速攪拌 1 分鐘 → 再以中速攪拌 4 分鐘 → 玉米粉過篩後加入拌勻 → 倒入鋪蛋糕紙的烤盤表面抹平 → 入爐烘烤（上火設定 230℃；下火關閉，烘烤 7 分鐘） → 成品出爐。
3. 在翻拍架上拍攝蛋糕之俯視面（出爐後 10 分鐘）及側視面（出爐後 20 分鐘）。
4. 使用 Photoshop Elements 影像處理軟體，將每一張相片調整成相同之像素（1000×100），分析蛋糕側視面的像素多寡，做爲側視面積大小的量化指標，如下圖所示。



結果：

1. 由圖 1 顯示，糊漿重量 100~600g 皆可形成紋路，但 100g 的紋路較不明顯且邊緣嚴重焦化。
2. 由表 1、圖 2、圖 3 顯示，糊漿重量遞增；成品側視面積隨之呈現線性遞增。

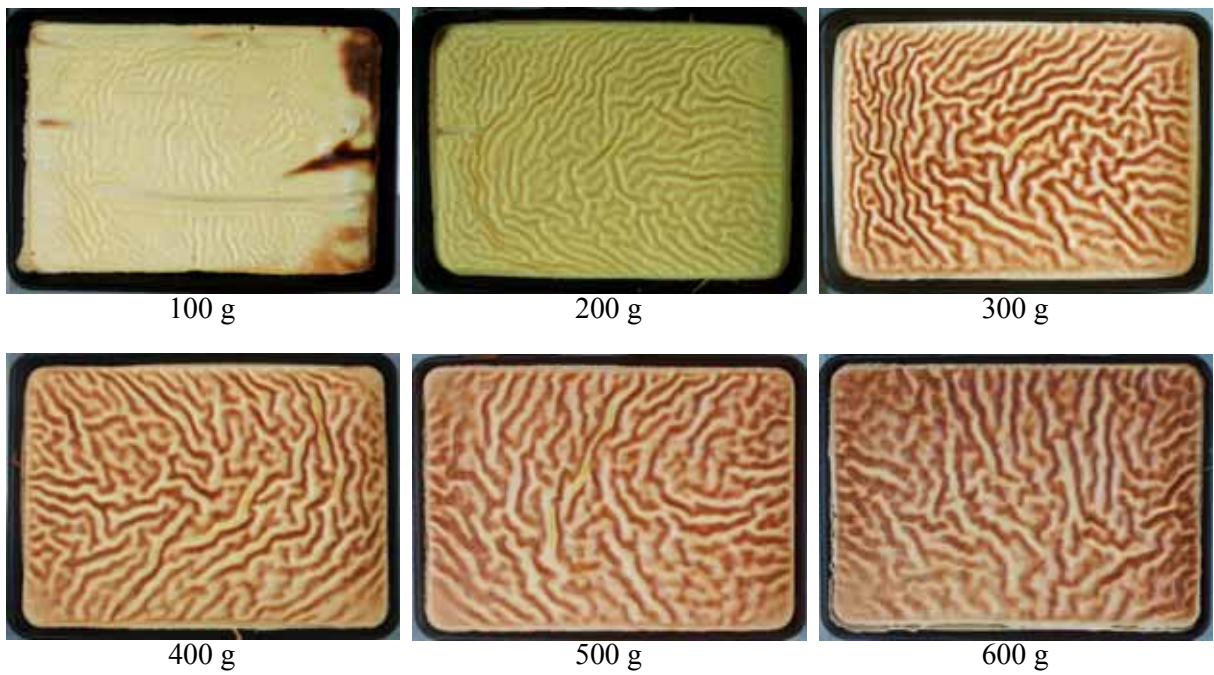


圖 1 糊漿重量對成品俯視面之影響

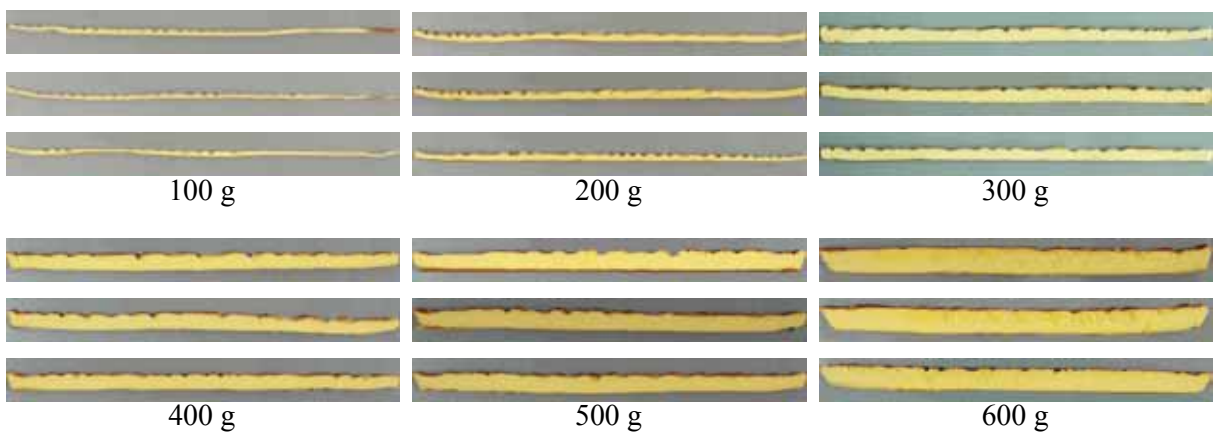


圖 2 糊漿重量對成品側視面之影響

表 1 糊漿重量對成品側視面積之影響

糊漿重量(g)	成品側視面積 (像素)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均	標準差
100	9246	8124	10022	9131	954
200	17454	17148	18863	17822	915
300	27822	29802	30575	29400	1420
400	36328	36297	36407	36344	57
500	43420	42984	41909	42771	778
600	52452	58244	60956	57217	4344

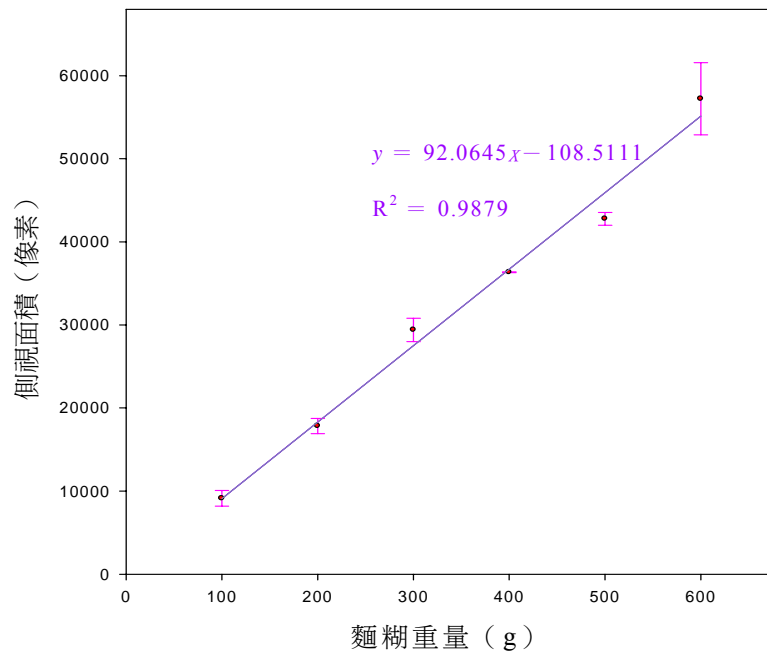


圖 3 糊漿重量對成品側視面積之影響

討論：

1. 糊漿重量愈小；原料成本愈低，但糊漿太薄，易使蛋糕外觀產生焦化，因而失去商品價值。
2. 考量原料成本與蛋糕外觀，本研究的糊漿重量決定採用 300g。

【實驗二】烘烤溫度之影響

前言：中華穀類食品工業技術研究所之研究已做過四種烘烤溫度⁽⁶⁾。我們爲了更深入瞭解烘烤溫度之影響，擬進行更多烘烤溫度之探討。

步驟：

1. 實驗變因：烘烤溫度（150、170、190、210、230、250℃）。
2. 使用同一烤箱，依序分別設定 150、170、190、210、230、250℃，以熱電藕測定烤箱中實際溫度（量測烤盤底面上方 1cm 處之溫度，如右圖）。
3. 虎皮蛋糕之配方與製程，同「實驗一」。（糊漿重量採用 300g）
4. 拍攝烤箱中蛋糕之斜視面（出爐前）。
5. 俯視面及側視面之拍攝，同「實驗一」。



結果：

1. 由圖 4 顯示，熱電藕測得之實際溫度，明顯低於烤箱之設定溫度。在烘烤過程中，當烤箱開啓時，烤箱溫度會急遽下降，但約經 1~2 分鐘，烤箱溫度即回升趨近穩定。
2. 由圖 5、6 顯示，設定的烘烤溫度逐漸升高；蛋糕表面之色澤逐漸加深。
3. 比較圖 5、6 發現，蛋糕出爐前，150~250℃皆可形成紋路；蛋糕出爐後，150℃紋路完全消失；170℃紋路變得較不明顯；190℃以上，無論出爐前後，紋路凹凸皆明顯可見。

4. 由圖 7 顯示，在 150°C 時，只有糊漿上層表面結皮，其內部仍呈現半流體狀態；在 190°C 以上時，其內部凝固情形較佳，縱切面較平整。

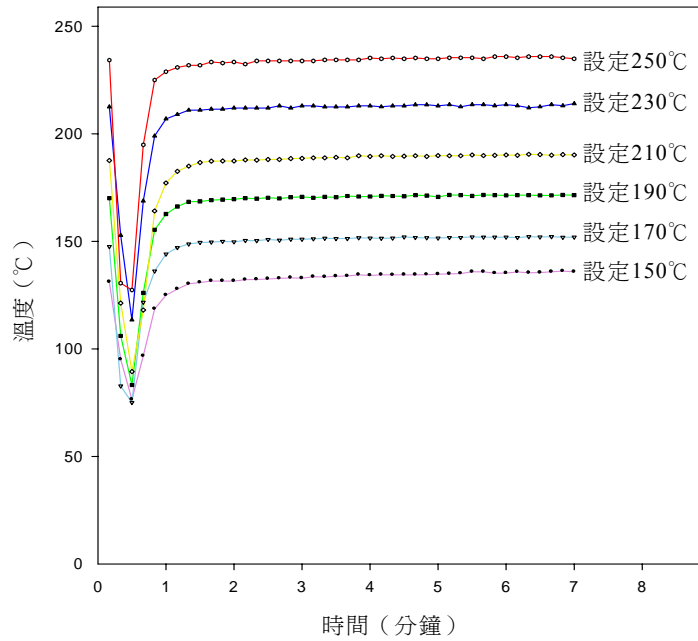


圖 4 烘烤過程中烤箱內實際溫度變化情形

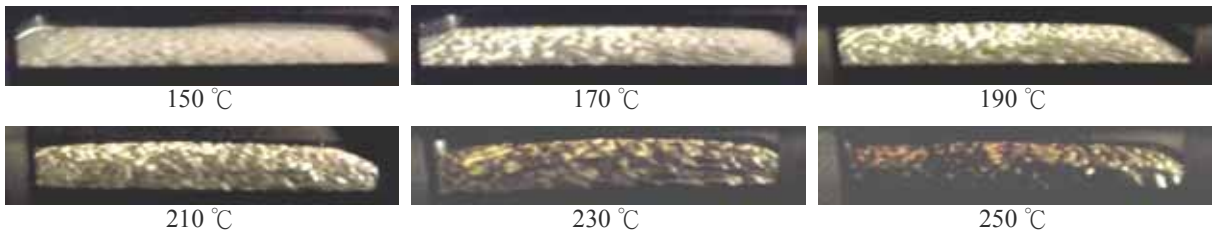


圖 5 烘烤溫度對烤箱中蛋糕斜視面之影響（出爐前）

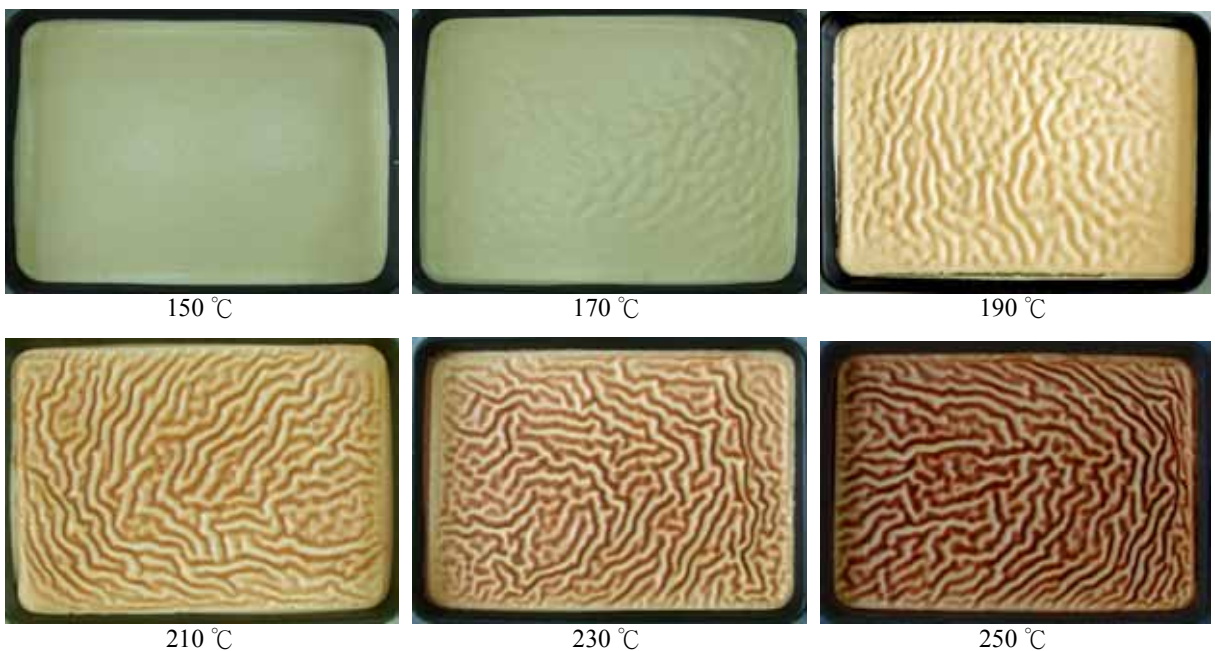


圖 6 烘烤溫度對蛋糕俯視面之影響（出爐後 10 分鐘）

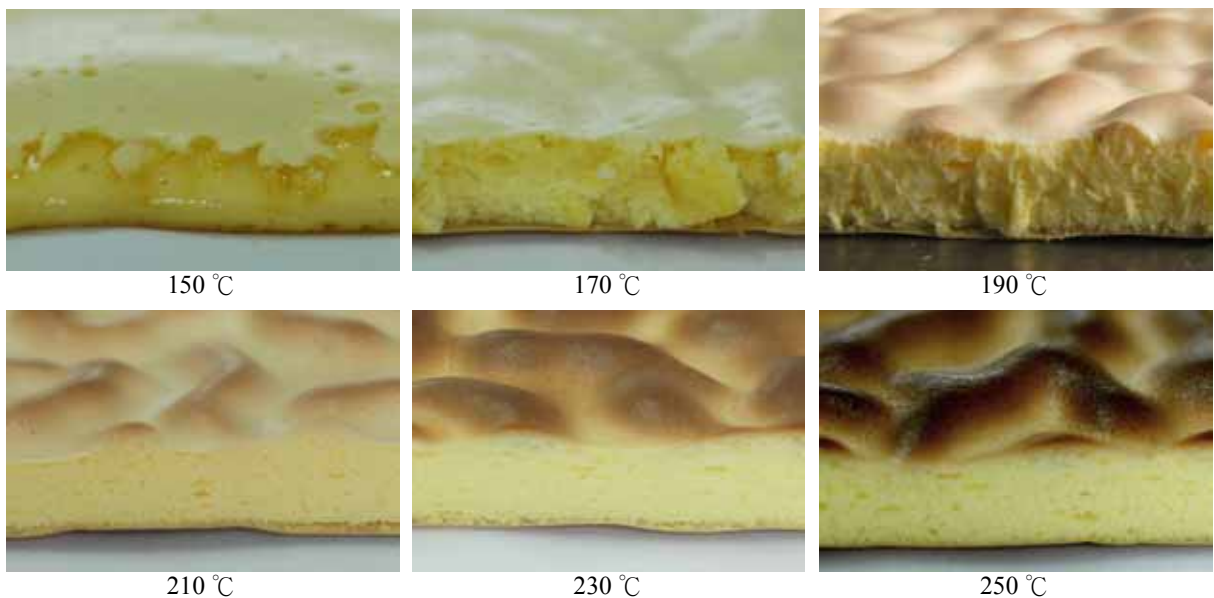


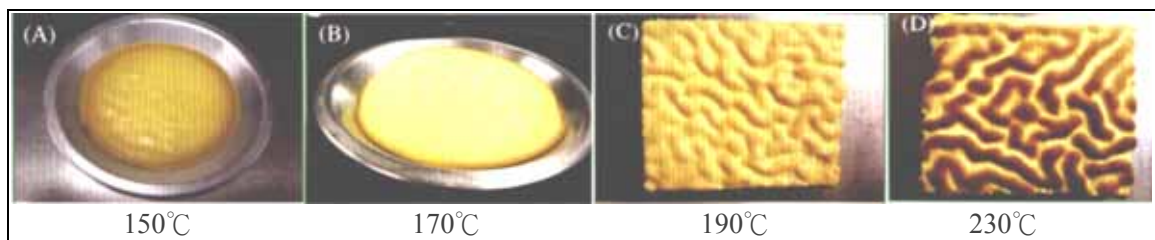
圖 7 烘烤溫度對蛋糕側視面之影響（出爐後 20 分鐘）

討論：

1. 以熱電藕測得烤箱內的實際溫度，明顯低於設定溫度。這可能是因為熱電藕測試點之位置，低於烤箱中溫度計測試點之位置（如下圖），且烤箱只開啓上火；而關閉下火所致。



2. 烘烤溫度設定 150°C 時，蛋糕出爐前仍然可形成紋路（如圖 5）；但蛋糕出爐後可能因糊漿內部未烤熟，其支撐力量不足，導致紋路消失（如圖 6）。
3. 我們的研究發現，烘烤溫度設定 170°C 時，蛋糕在出爐前後，皆可形成紋路（如圖 5、6）。但是中華穀類食品工業技術研究所之實驗結果（如下圖）⁽⁶⁾，170°C 時並沒有形成紋路，這可能是其實驗中所採用之烤盤及糊漿量並非完全相同所致。



4. 由實驗結果，我們推論糊漿只要吸收足夠的熱量，蛋糕出爐前，烘烤溫度設定 150~250 °C 皆可形成紋路。蛋糕出爐後，設定 150°C 時，可能因蛋糕內部糊漿未凝固，支撐紋路的力量不夠，導致紋路消失；設定 190 °C 以上時，可能因蛋糕內部糊漿已凝固，支撐紋路的力量足夠，所以出爐前後，其紋路都不會消失。

【實驗三】攪拌時間之影響

前言：攪拌時間會影響糊漿中的泡沫多寡與大小，我們推測攪拌時間對蛋糕紋路會有明顯的影響。

步驟：

1. 實驗變因：攪拌時間（1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 分鐘）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程、俯視面及側視面之拍攝、側視面積之測定，同「實驗一」。
3. 糊漿停止攪拌後 2 分鐘，利用黏度計測定糊漿黏度。
4. 糊漿停止攪拌後 4 分鐘，拍攝糊漿泡沫之顯微影像（40 倍）。

結果：

1. 由圖 8 顯示，攪拌時間 2~7 分鐘，皆可形成較細密的紋路，若攪拌時間太長或太短，都會造成紋路變粗。除了攪拌時間 1 分鐘之外，隨著攪拌時間的遞增，用肉眼觀察紋路長度似乎有遞減之趨勢。
2. 由圖 9 顯示，攪拌時間 1 分鐘時，糊漿中的蛋黃沉澱現象非常明顯。
3. 由圖 10 顯示，隨著攪拌時間的遞增，側視面積呈現線性遞增之趨勢。
4. 由表 2、圖 11 顯示，隨著攪拌時間的遞增，糊漿黏度呈現遞增之趨勢。
5. 由圖 12 顯示，隨著攪拌時間的遞增，糊漿結構中的泡沫大小逐漸相近。

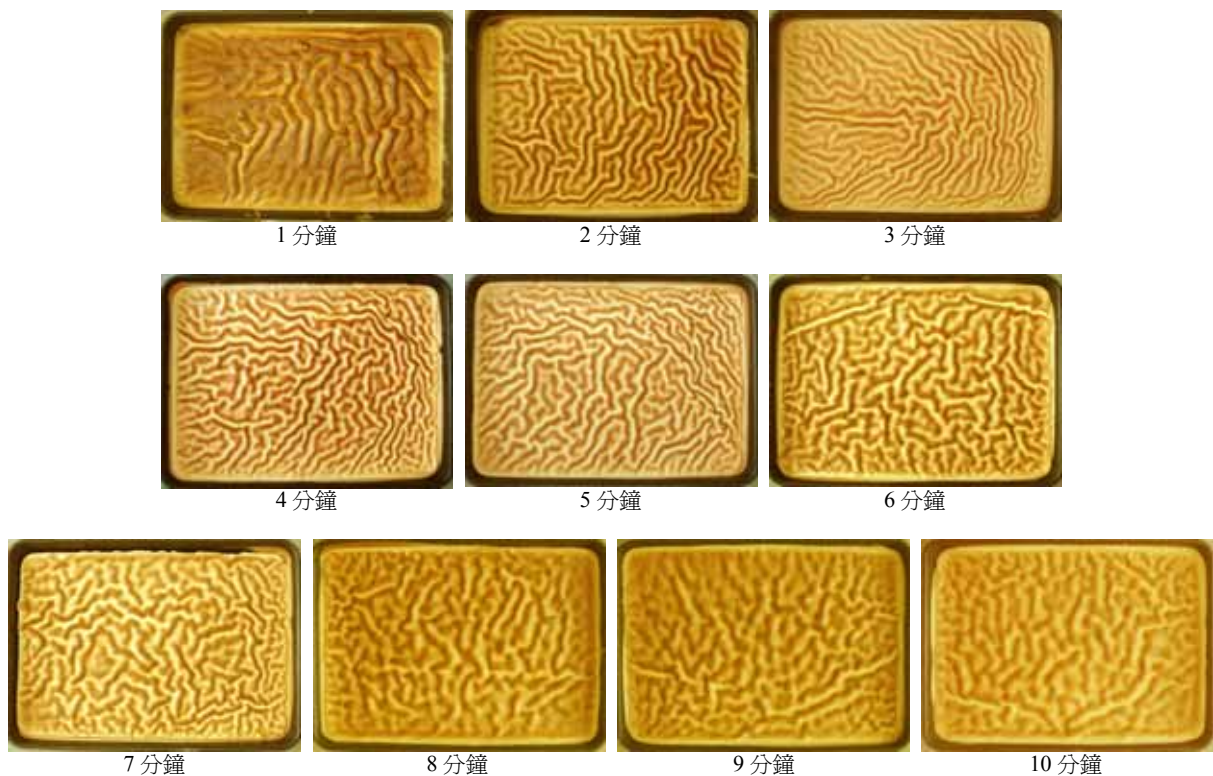


圖 8 攪拌時間對成品俯視面之影響

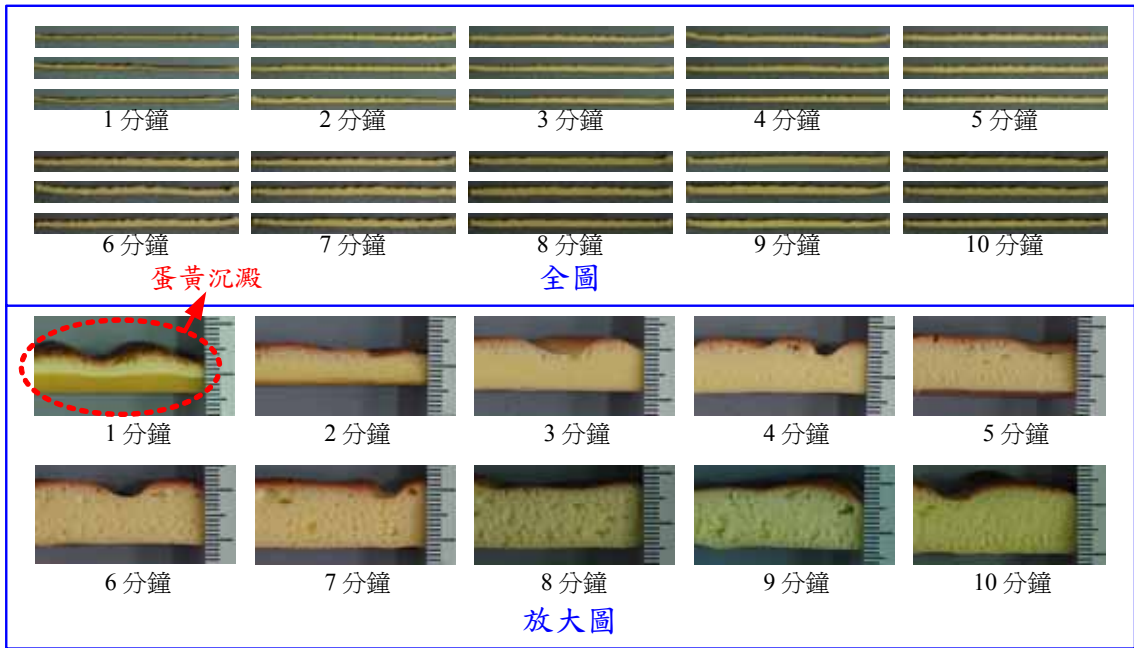


圖 9 攪拌時間對成品側視面之影響

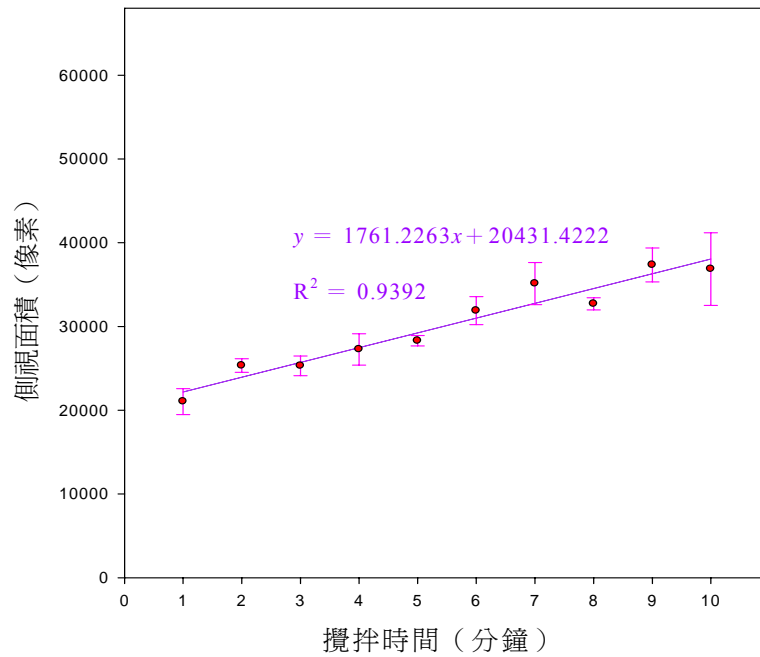


圖 10 攪拌時間對成品側視面積之影響

表 2 攪拌時間對糊漿黏度之影響

攪拌時間(分鐘)	黏度(cP)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值	標準差
1	810	1220	1356	1129	284
2	1650	2016	2886	2184	635
3	2286	2298	4560	3048	1309
4	2904	4530	4860	4098	1047
5	5295	8160	7020	6825	1442
6	9990	11080	10620	10563	547
7	15030	12220	11200	12817	1983
8	16710	15900	15120	15910	795
9	18820	21850	21050	20573	1570
10	20780	25550	25750	24027	2813

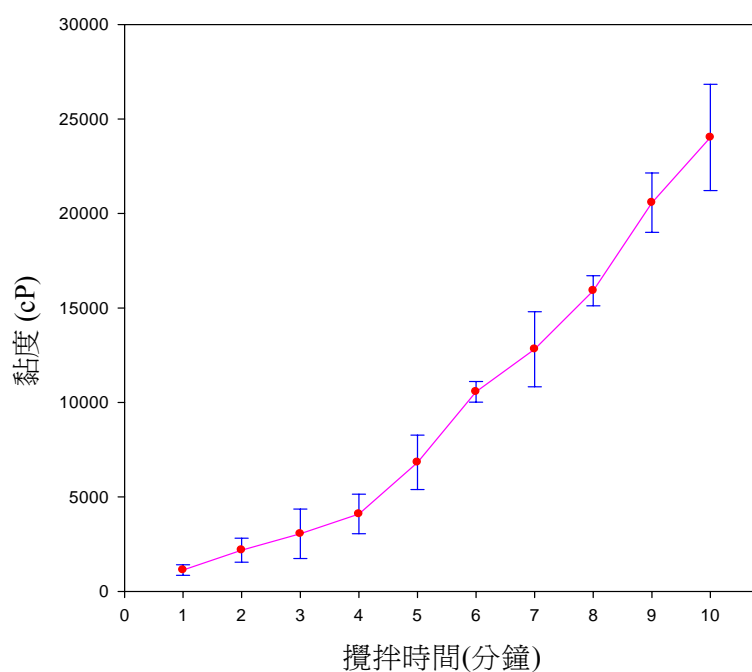


圖 11 攪拌時間對糊漿黏度之影響

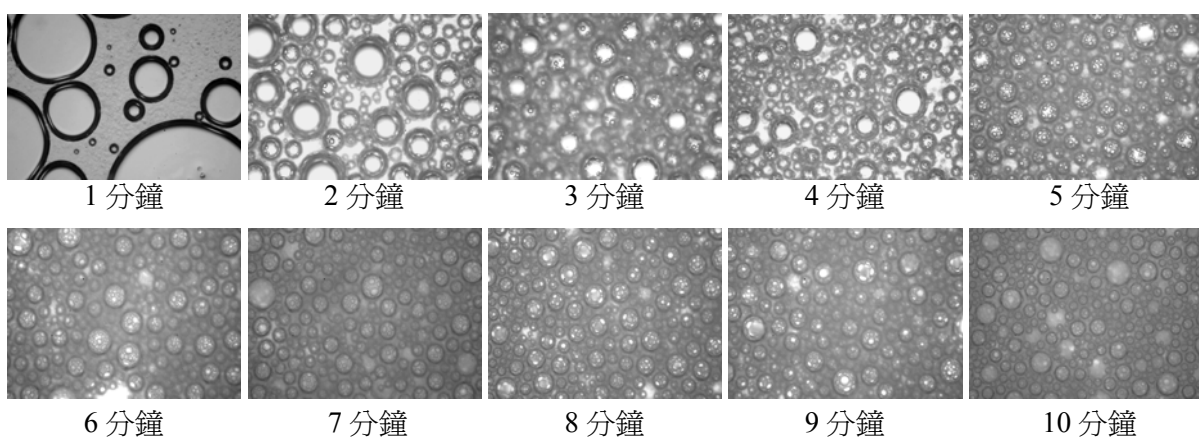


圖 12 攪拌時間對糊漿泡沫之影響 (放大 40 倍)

討論：

1. 用肉眼觀察圖 8 的紋路長度，似乎與表 2、圖 11 的糊漿黏度關聯性很高。因此，我們初步推論糊漿黏度會影響紋路長度。
2. 由圖 12 顯示，糊漿中的泡沫似乎逐漸混入顆粒狀物質（這可能是澱粉粒）。因此，我們初步推論糊漿攪拌時間愈久，進入泡沫內的澱粉粒會愈多，糊漿黏度隨之升高。當糊漿受熱時，因為黏度的差異，使蛋糕表面形成美麗的紋路。

【實驗四】滯留時間之影響

前言：糊漿中泡沫的結構並非固定不變，可能因攪拌後滯留時間的長短，造成泡沫結構的差異，進而影響蛋糕的紋路。

步驟：

1. 實驗變因：攪拌後滯留時間（2、4、6、8、10、12 分鐘）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程、俯視面之拍攝，同「實驗一」。
3. 糊漿黏度之測定、糊漿泡沫顯微影像之拍攝，同「實驗三」。

結果：

1. 由圖 13 顯示，滯留時間 12 分鐘時，紋路明顯變粗變少。
2. 由表 3、圖 14 顯示，隨著滯留時間的遞增，糊漿黏度有遞減之趨勢。
3. 由圖 15 顯示，隨著滯留時間的遞增，糊漿泡沫中的澱粉粒有逐漸脫離泡沫之趨勢。

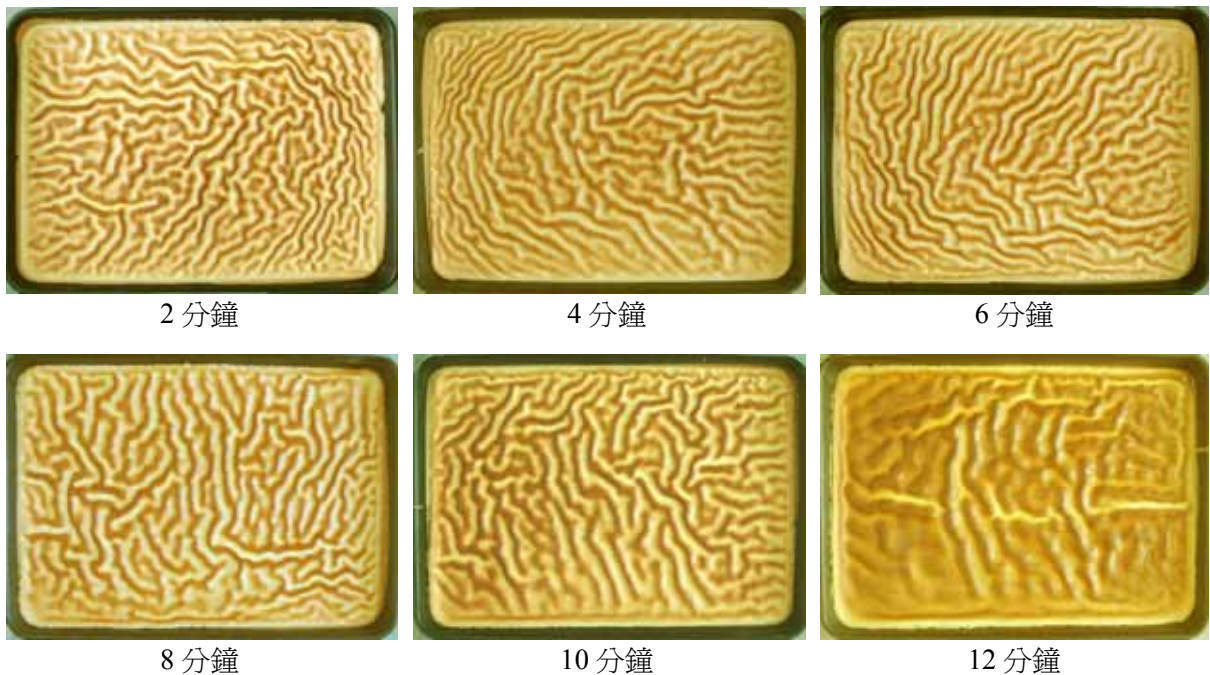


圖 13 滯留時間對成品俯視面之影響

表 3 滯留時間對糊漿黏度之影響

滯留時間(分鐘)	黏度(cP)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值	標準差
2	4668	3490	4650	4269	675
4	3960	2820	4520	3767	866
6	3762	3680	4450	3964	423
8	2268	2860	3000	2709	389
10	2250	2700	2668	2539	251
12	2620	2015	2652	2429	359

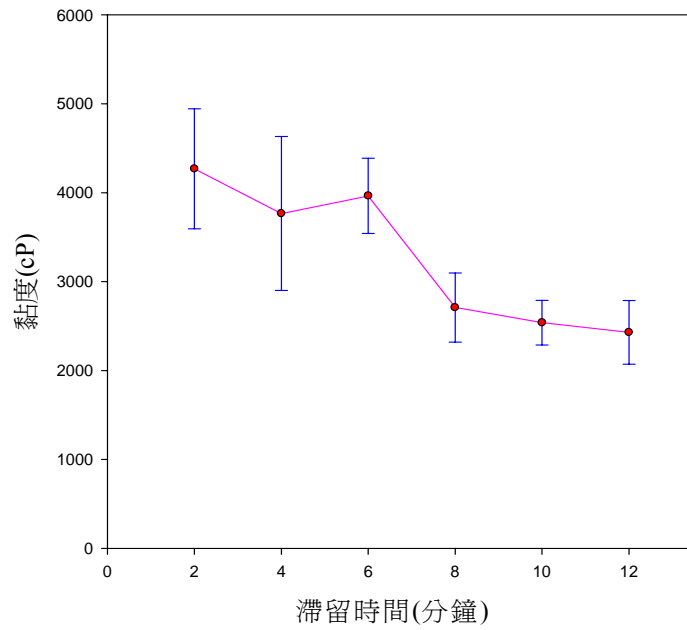


圖 14 滯留時間對糊漿黏度之影響

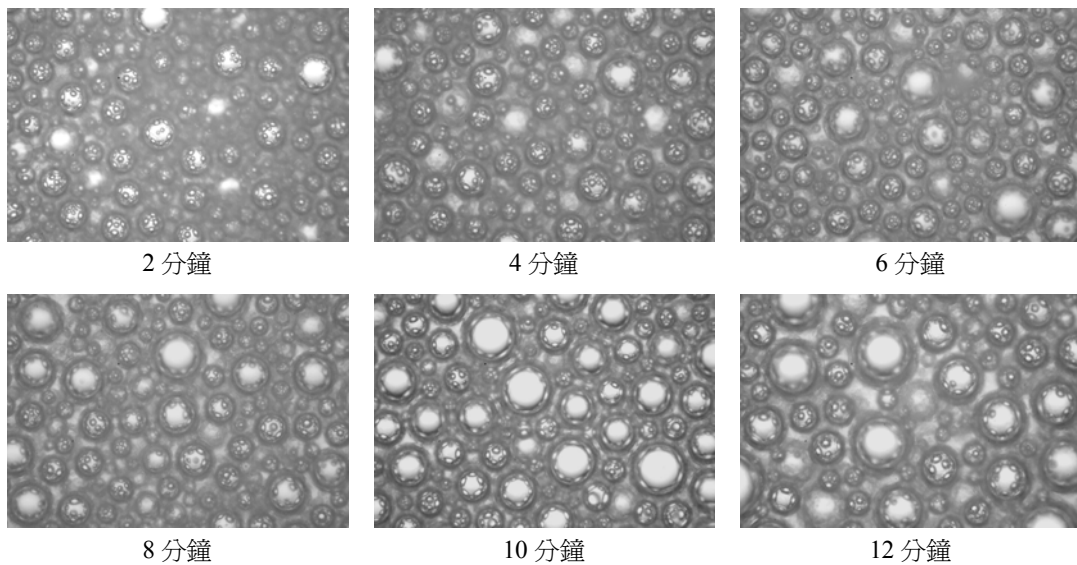


圖 15 滯留時間對糊漿泡沫之影響 (放大 40 倍)

討論：

1. 在「實驗三」中，攪拌時間愈長，糊漿黏度愈高；在本實驗中，滯留時間愈長，糊漿黏度愈低。
2. 分別將糊漿黏度表 2、圖 11 與圖 12；表 3、圖 14 與圖 15 比對後，我們發現其共同點，就是進入糊漿泡沫內的澱粉粒愈多，則糊漿黏度會愈高。

《研究二》原料配方之探討

接著，我們針對虎皮蛋糕的原料配方（蛋黃含量、糖類顆粒大小、穀粉種類）進行一系列探討，希望瞭解原料配方與紋路之關係。

【實驗五】蛋黃含量之影響

前言：國立高雄餐旅學院烘焙管理系之研究結果顯示，當蛋黃含量為 140% 時，蛋糕紋路的評價最好⁽⁹⁾。但是蛋黃中膽固醇的含量較高⁽¹⁰⁾，就膽固醇含量與原料成本的觀點而言，140% 的蛋黃含量並不適宜。

步驟：

1. 實驗變因：蛋黃含量（40、60、80、100、120、140、160%）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程、俯視面之拍攝，同「實驗一」。
3. 糊漿黏度之測定、糊漿泡沫顯微影像之拍攝，同「實驗三」。

結果：

1. 由圖 16 顯示，蛋黃含量 60~120% 時，俯視面皆可形成較明顯的紋路。
2. 由表 4、圖 17 顯示，隨著蛋黃含量遞增，糊漿黏度遞減。
3. 由圖 18 顯示，蛋黃含量愈高，糊漿中的泡沫有愈大的現象。

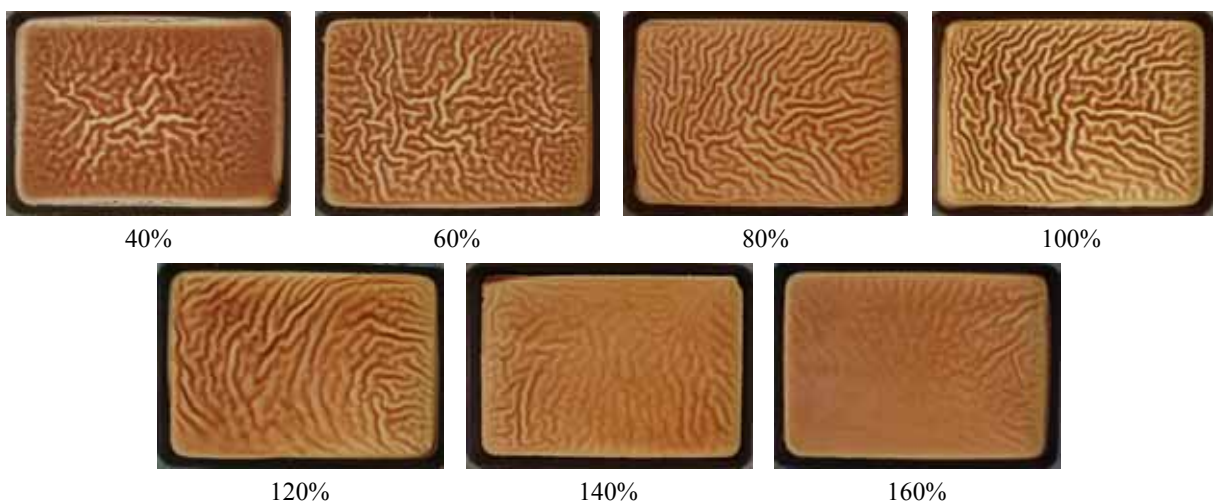


圖 16 蛋黃含量對成品俯視面之影響

表 4 蛋黃含量對糊漿黏度之影響

蛋黃含量(%)	黏度(cP)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值	標準差
40	24650	26000	21050	23900	2559
60	10550	10620	8360	9843	1285
80	6520	7620	7020	7053	551
100	4450	5540	4530	4840	608
120	2910	2838	3730	3159	496
140	2530	2418	3000	2649	309
160	2010	2616	2730	2452	387

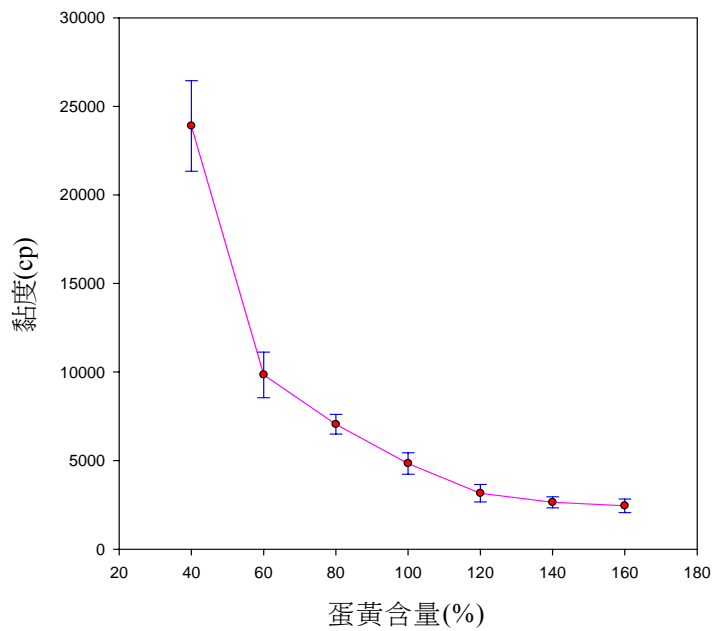


圖 17 蛋黃含量對糊漿黏度之影響

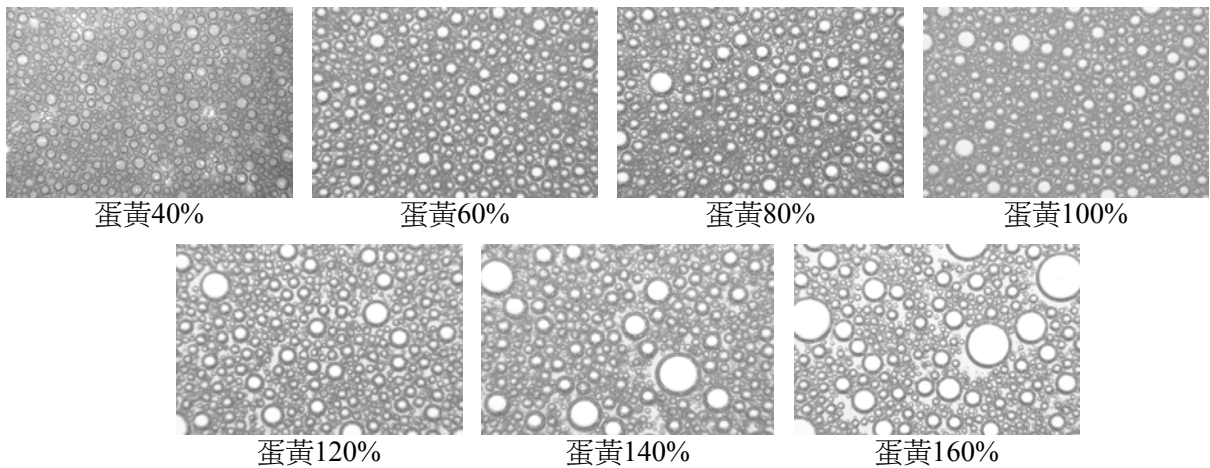


圖 18 蛋黃含量對糊漿泡沫之影響 (放大 40 倍)

討論：

1. 我們將表 4、圖 17、圖 18 比對後，發現蛋黃含量愈高，則糊漿黏度愈低，糊漿泡沫愈大。
2. 國立高雄餐旅學院烘焙管理系之研究結果顯示，當蛋黃含量為 140%時，蛋糕紋路的評價最好⁽⁹⁾。但是本實驗的研究結果並非如此，當蛋黃含量超過 120%後，紋路凹凸反而逐漸不明顯，這可能是蛋黃含量愈高，糊漿黏度愈低，其流動性愈好所致。

【實驗六】糖類顆粒大小之影響

前言：通常製作虎皮蛋糕是採用糖粉，但是其顆粒較小，與空氣接觸的表面積較大，所以較易吸濕結塊。因此，我們想探討其他顆粒較大糖類是否會影響紋路的形成？

步驟：

1. 實驗變因：糖類顆粒大小（糖粉、細砂、二砂）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程、俯視面之拍攝，同「實驗一」。
3. 糊漿黏度之測定、糊漿泡沫顯微影像之拍攝，同「實驗三」。

結果：

1. 由圖 19 顯示，採用糖粉、細砂、二砂，蛋糕俯視面皆有明顯的紋路，但是紋路長度的差異，用肉眼觀察並不明顯。
3. 由表 5、圖 20 顯示，隨著糖類顆粒大小遞增，其黏度有些微遞減之趨勢。
4. 由圖 21 顯示，隨著糖類顆粒大小遞增，其糊漿泡沫並無明顯差異。



糖粉

細砂

二砂

圖 19 糖類顆粒大小對成品俯視面之影響

表 5 糖類顆粒大小對糊漿黏度之影響

糖之種類	黏度(cP)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值	標準差
糖粉	4260	4560	5420	4747	602
細砂	5400	2766	5160	4442	1456
二砂	4500	3492	4550	4181	597

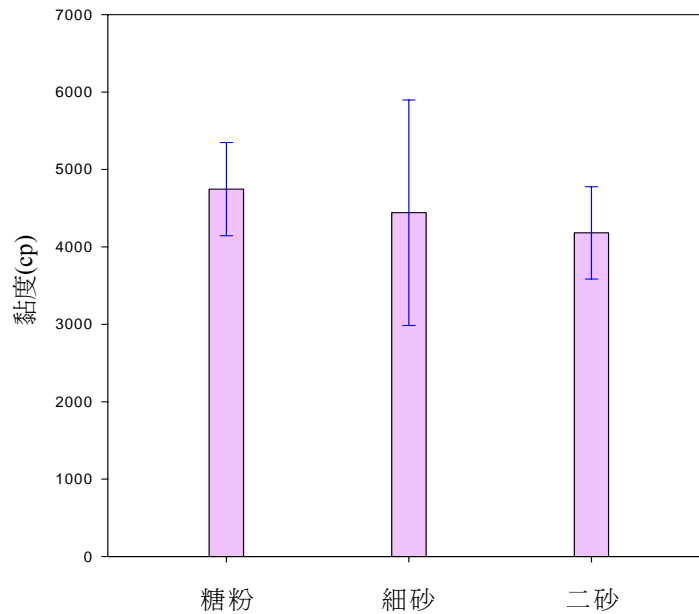


圖 20 糖類顆粒大小對糊漿黏度之影響

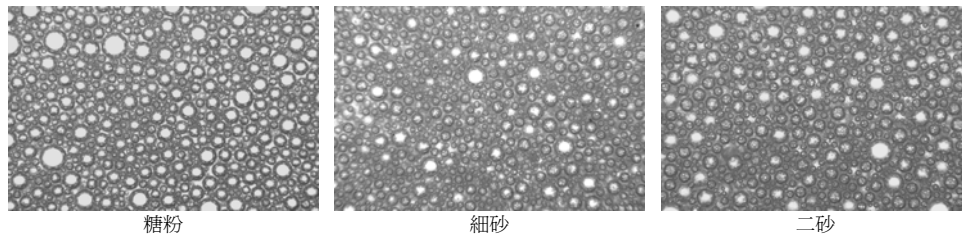


圖 21 糖類顆粒大小對糊漿泡沫之影響（放大 40 倍）

討論：

1. 本實驗證明糖類顆粒大小對虎皮蛋糕的影響並不顯著，可能是因為蛋黃與糖類用鋼絲拌打器先以低速攪拌 1 分鐘，再以中速攪拌 4 分鐘後，其溶解情形良好所致。
2. 本實驗結果發現，糖類顆粒大小並不是影響虎皮蛋糕紋路之主因。

【實驗七】穀粉種類之影響

前言：中華穀類食品工業技術研究所已實驗證明玉米粉、低筋麵粉、蓬萊米粉皆可形成明顯紋路⁽⁷⁾。我們想進一步探討，不同種類的穀粉，所形成的紋路是否有差異？

步驟：

1. 實驗變因：穀粉種類（玉米粉、太白粉、低筋麵粉、蕃薯粉、在來米粉、蓬萊米粉、糯米粉）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程、俯視面之拍攝，同「實驗一」。
3. 糊漿黏度之測定、糊漿泡沫顯微影像之拍攝，同「實驗三」。

結果：

1. 由圖 22 顯示，無論採用何種穀粉，蛋糕俯視面皆可形成明顯的紋路，但是紋路長度卻有所差異。用肉眼觀察發現，玉米粉、在來米粉之紋路長度似乎較長。
2. 由表 6、圖 23 顯示，糊漿黏度最低的是在來米粉，次低的是玉米粉，這表示糊漿黏度與紋路長度的相關性很高。
3. 由圖 24 顯示，澱粉粒進入糊漿泡沫的比率，最低的也是在來米粉。

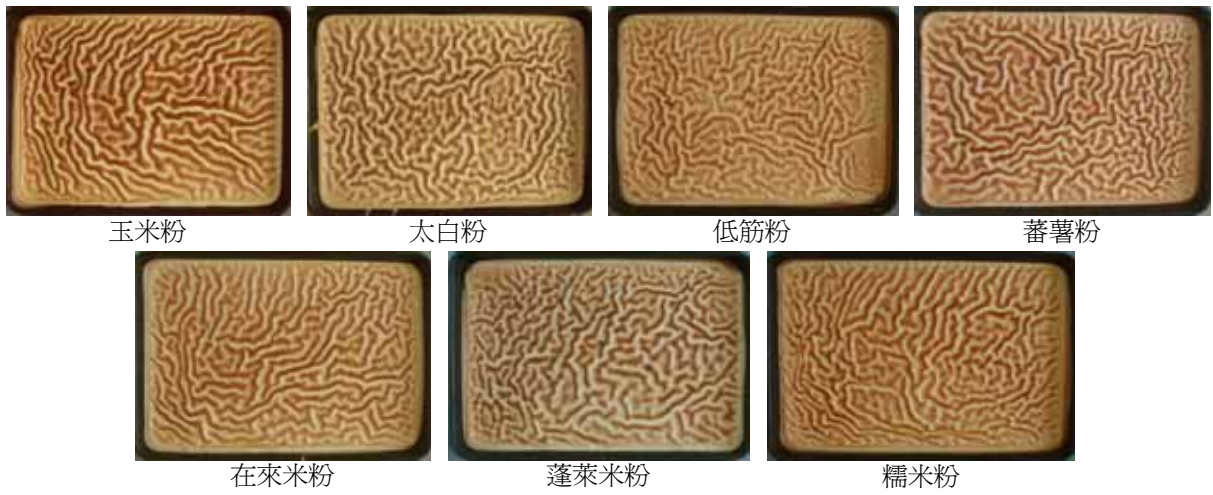


圖 22 穀粉種類對成品俯視面之影響

表 6 穀粉種類對糊漿黏度之影響

穀粉種類	黏度(cP)				
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值	標準差
玉米粉	4630	3870	5340	4613	735
太白粉	3396	6830	4640	4955	1739
低筋粉	8140	6160	5960	6753	1205
蕃薯粉	7320	9440	8350	8370	1060
在來米粉	2610	2418	2982	2670	287
蓬萊米粉	7750	6700	8420	7623	867
糯米粉	8200	8120	8660	8327	291

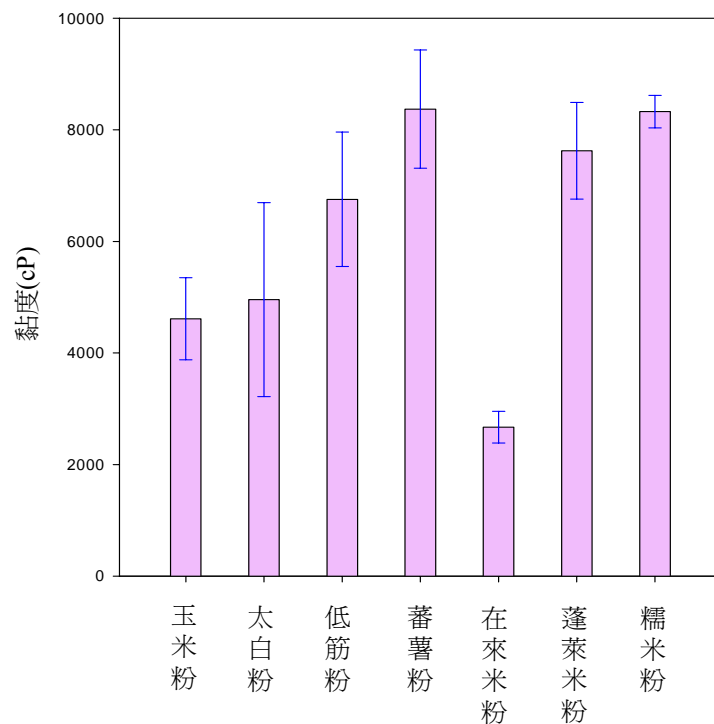


圖 23 穀粉種類對糊漿黏度之影響

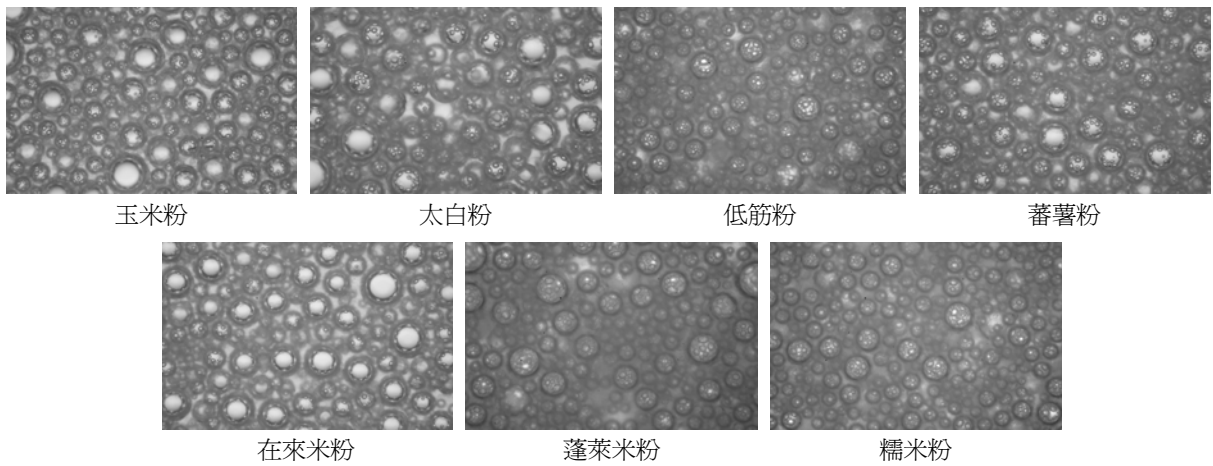
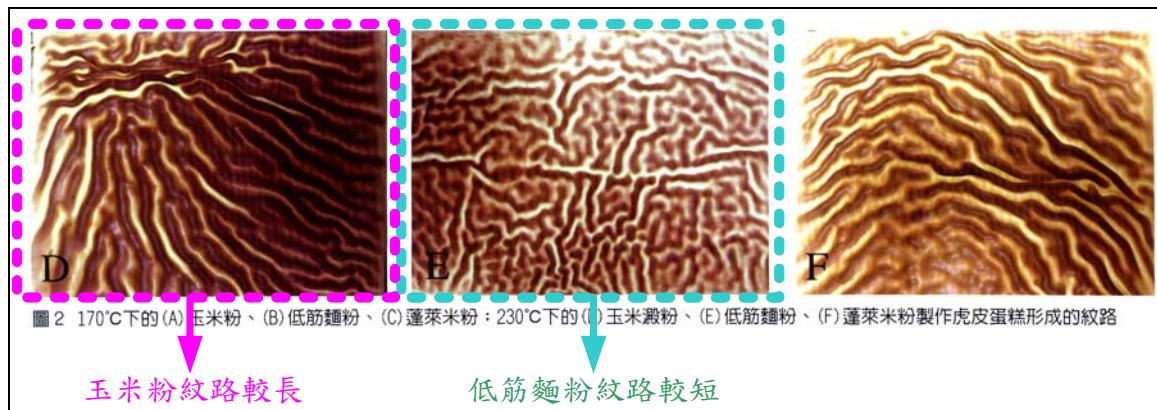


圖 24 穀粉種類對糊漿泡沫之影響（放大 40 倍）

討論：

1. 中華穀類食品工業技術研究所之研究證明玉米粉、低筋麵粉、蓬萊米粉皆可形成明顯紋路⁽⁷⁾。我們也發現其研究的紋路長短差異很大，如下圖中低筋麵粉的紋路明顯較短。



2. 我們綜合本實驗結果推測，這可能是在來米粉糊漿泡沫內，所含澱粉粒的比率較低，因此糊漿的黏度較低，導致蛋糕紋路長度較長。

《研究三》推論之驗證

根據「研究一」、「研究二」之實驗結果，我們對虎皮蛋糕紋路之形成，初步整理出以下四點推論：

1. 設定較低的烘烤溫度時（如 150°C），只要延長烘烤時間，使糊漿吸收足夠的熱量，其內部就能逐漸烤熟凝固，成品出爐後仍可形成紋路。
2. 糊漿黏度的高低，與蛋糕紋路的長度關係密切。若糊漿的黏度較低，則蛋糕紋路的長度較長。
3. 進入糊漿泡沫內澱粉粒的多寡，與糊漿黏度的高低有關。若進入糊漿泡沫內的澱粉粒較多，則糊漿的黏度較高。
4. 烘烤虎皮蛋糕通常設定較高的烘烤溫度（230°C⁽³⁾⁽⁶⁾、250°C⁽⁹⁾），使糊漿的表面迅速凝固結皮並形成紋路；糊漿內部的泡沫則因高溫而逐漸膨脹，導致蛋糕體積變大。

【實驗八】烘烤時間之影響

前言：在「實驗二」中，我們推論糊漿只要吸收足夠的熱量，150~250 °C皆可形成紋路。我們想證明在較低的烘烤溫度下（如 150°C），延長烘烤時間使糊漿吸收足夠的熱量，出爐後也可形成紋路。

步驟：

1. 實驗變因：烘烤時間（10、20、30、40、50、60 分鐘）。
2. 虎皮蛋糕之配方與製程，同「實驗一」。
3. 拍攝觀察蛋糕的俯視面與側視面。

結果：

1. 如圖 25 所示，隨著烘烤時間的遞增，蛋糕的表面紋路逐漸明顯。
2. 如圖 25 所示，隨著烘烤時間的遞增，內部糊漿逐漸凝固，縱切面逐漸平整。

討論：

1. 本實驗結果與「圖 6、7」比較，發現其蛋糕表面的紋路、內部糊漿凝固情形類似。
2. 烘烤時間在 40 分鐘以上，蛋糕出爐後仍可形成明顯的紋路。這證明在較低的烘烤溫度下（設定 150°C），延長烘烤時間使糊漿吸收足夠的熱量，出爐後也可形成明顯的紋路。

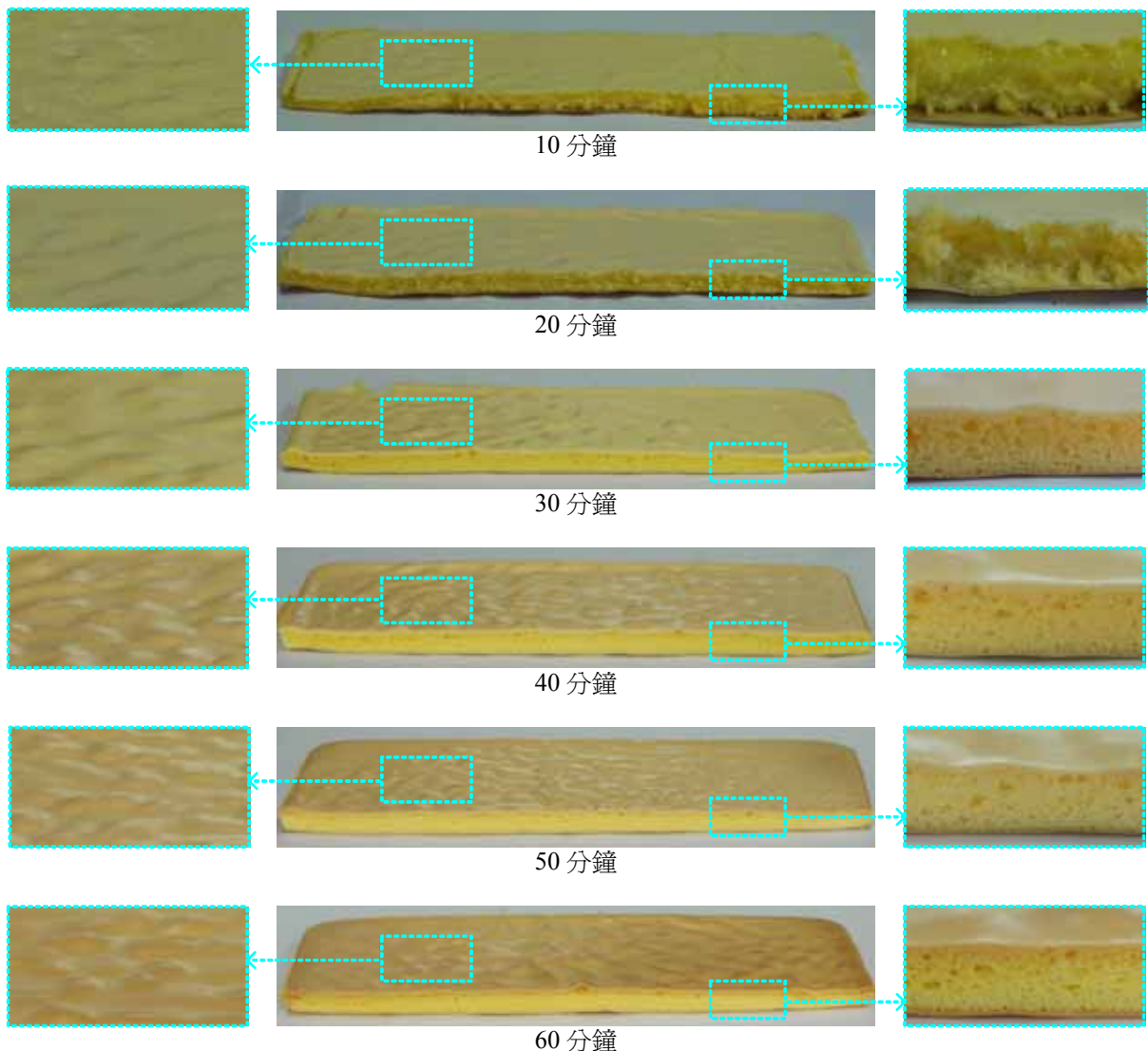


圖 25 烘烤時間對俯視面、側視面之影響

【實驗九】紋路長度之測定

前言：由「實驗三、四、五、七」的實驗結果中，我們用肉眼觀察虎皮蛋糕俯視面，初步發現紋路長度與糊漿黏度關係密切。為了驗證我們的推論，擬進一步將紋路長度量化處理。

步驟：

1. 分別將俯視面相片(圖 8、13、16、22)，利用 Photoshop Elements 影像處理軟體，搭配數位板描繪紋路之線條軌跡，線條寬度固定 10 個像素。
2. 因為線條寬度的像素固定，所以分析線條面積的像素，即可做為線條長度(紋路長度)的量化指標，如下圖所示。



結果：

1. 由圖 26 顯示，除了攪拌時間 1 分鐘之外，隨著攪拌時間的遞增，紋路長度有遞減之趨勢。
2. 由圖 27 顯示，隨著滯留時間的遞增，紋路長度有遞增之趨勢。
3. 由圖 28 顯示，隨著蛋黃含量的遞增，紋路長度有遞增之趨勢。
4. 由圖 29 顯示，紋路長度最長的是在來米粉，其次的是玉米粉。

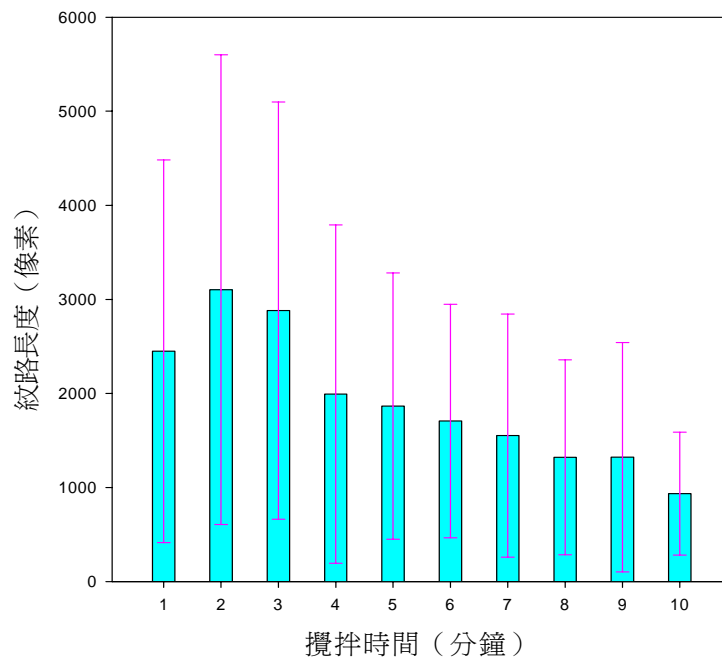


圖 26 攪拌時間對紋路長度之影響

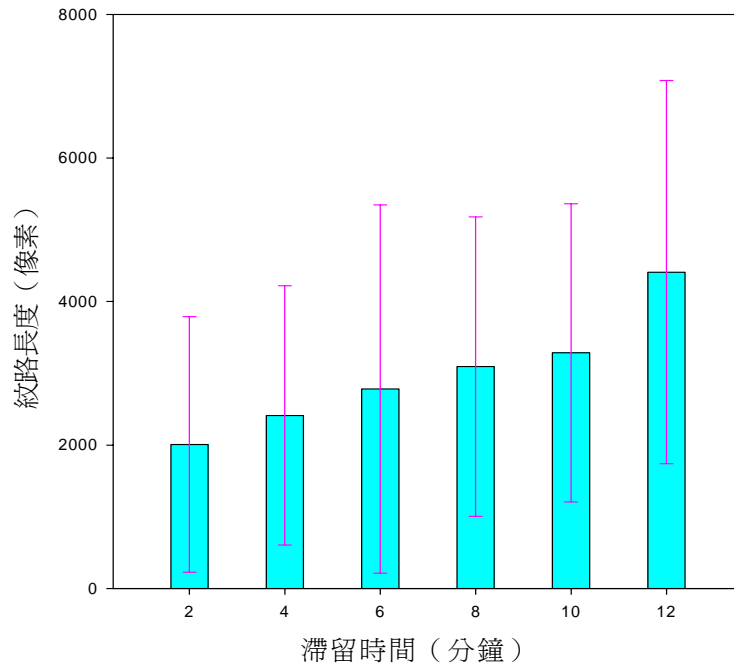


圖 27 滯留時間對紋路長度之影響

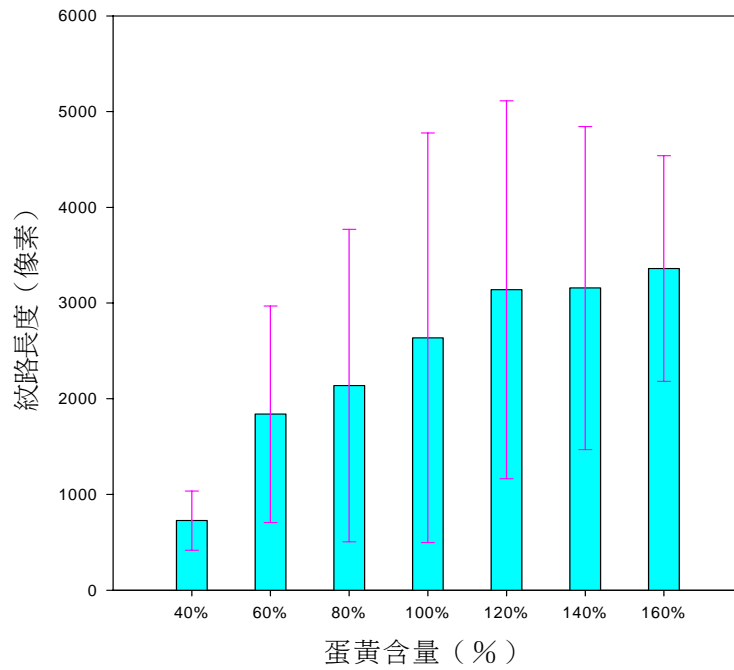


圖 28 蛋黃含量對紋路長度之影響

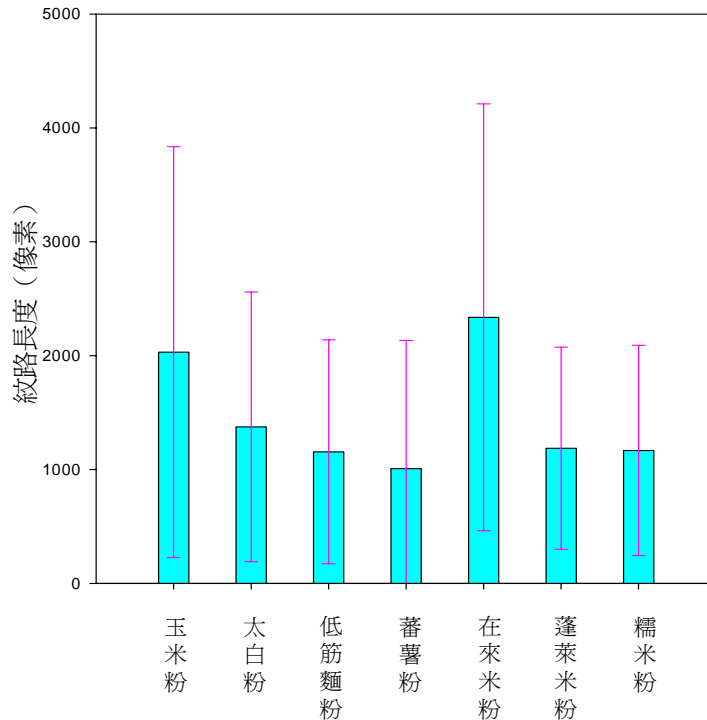


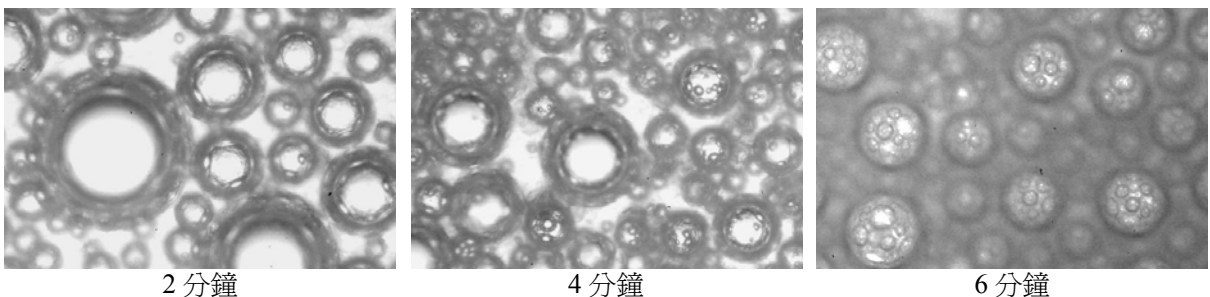
圖 29 穀粉種類對紋路長度之影響

討論：

1. 依序將紋路長度（圖 26、27、28、29）與糊漿黏度（圖 11、14、17、23）比對後，驗證紋路長度與糊漿黏度關聯性確實很高，當糊漿的黏度值遞增，則紋路的長度遞減。
2. 我們可藉由調整糊漿的黏度，粗略控制虎皮蛋糕紋路的長度。

【實驗十】糊漿中澱粉粒之檢出

前言：在「實驗三」的討論中，我們推論澱粉粒會因糊漿的攪拌而進入泡沫內，導致糊漿黏度改變，但是必須證明我們觀察到的小顆粒是澱粉粒，如下圖所示（將圖 12 中的相片裁取 1/4 局部放大）。



步驟：

1. 實驗變因：攪拌時間（2、4、6 分鐘）。
2. 加入少量碘液與糊漿一起攪拌。
3. 糊漿泡沫顯微影像之拍攝，同「實驗三」。

結果：

1. 由圖 30 顯示，糊漿加少量碘液染色後，澱粉粒之位置明顯可見。
2. 糊漿攪拌時間愈久，進入大泡沫內的澱粉粒與小泡沫會愈多。

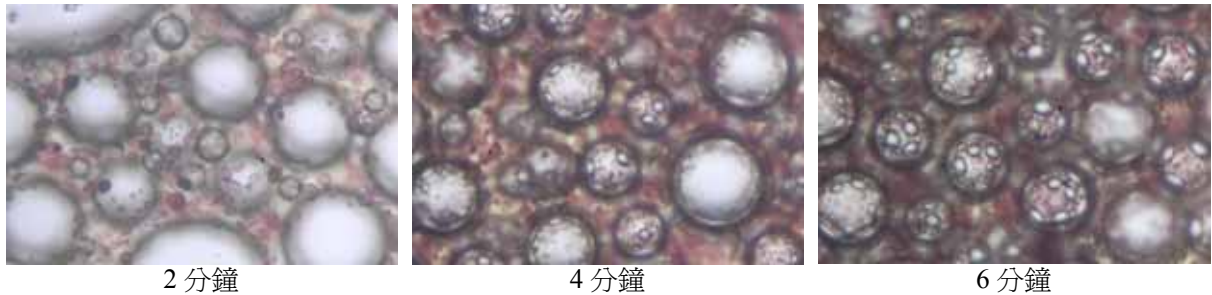


圖 30 糊漿加少量碘液染色後之情形（裁取 1/4 局部放大）

討論：

1. 由圖 30 可證明，糊漿泡沫混入的顆粒狀物質確定是澱粉粒。
2. 糊漿攪拌時間愈久，進入大泡沫內的澱粉粒會愈多。這可合理解釋糊漿攪拌時間愈久，則糊漿的黏度會愈高。

【實驗十一】蛋糕烘烤過程之觀察

前言：糊漿在烘烤過程中蛋糕紋路是如何形成與變化呢？我們擬利用數位相機的攝影功能拍攝觀察蛋糕紋路之形成過程。

步驟：

1. 虎皮蛋糕之配方與製程，同「實驗一」。
2. 利用 Casio 數位相機的攝影功能拍攝蛋糕紋路之形成過程，如下圖。



3. 分別擷取烘烤過程中 15 秒、1 分鐘、2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、6 分鐘、7 分鐘之影像。

結果：

由圖 31 顯示，蛋糕約 1 分鐘時紋路開始出現；約 2 分鐘時紋路外形固定；約 5 分鐘時紋路開始著色，約 7 分鐘時達到理想的色澤。

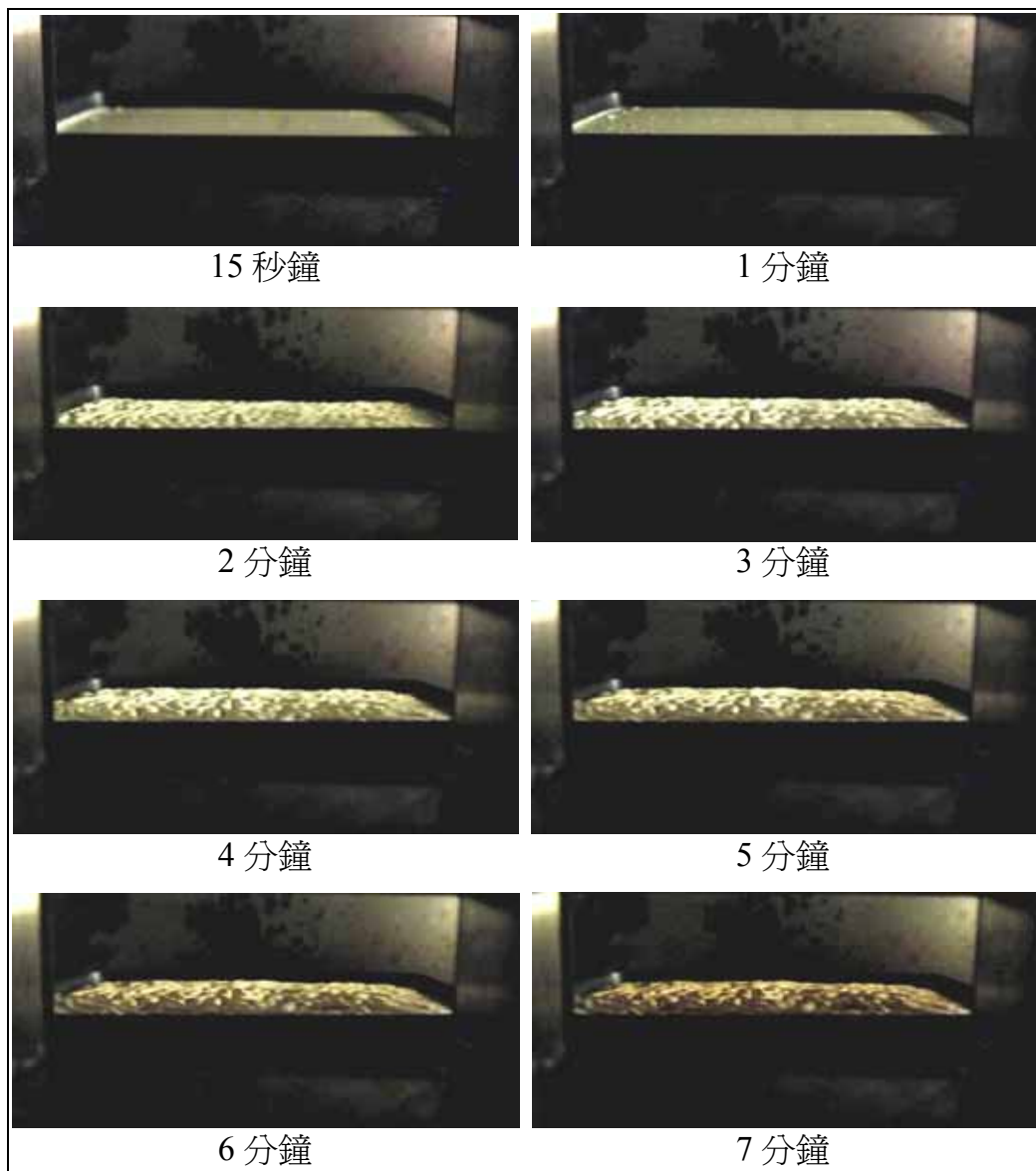


圖 31 蛋糕紋路之形成過程

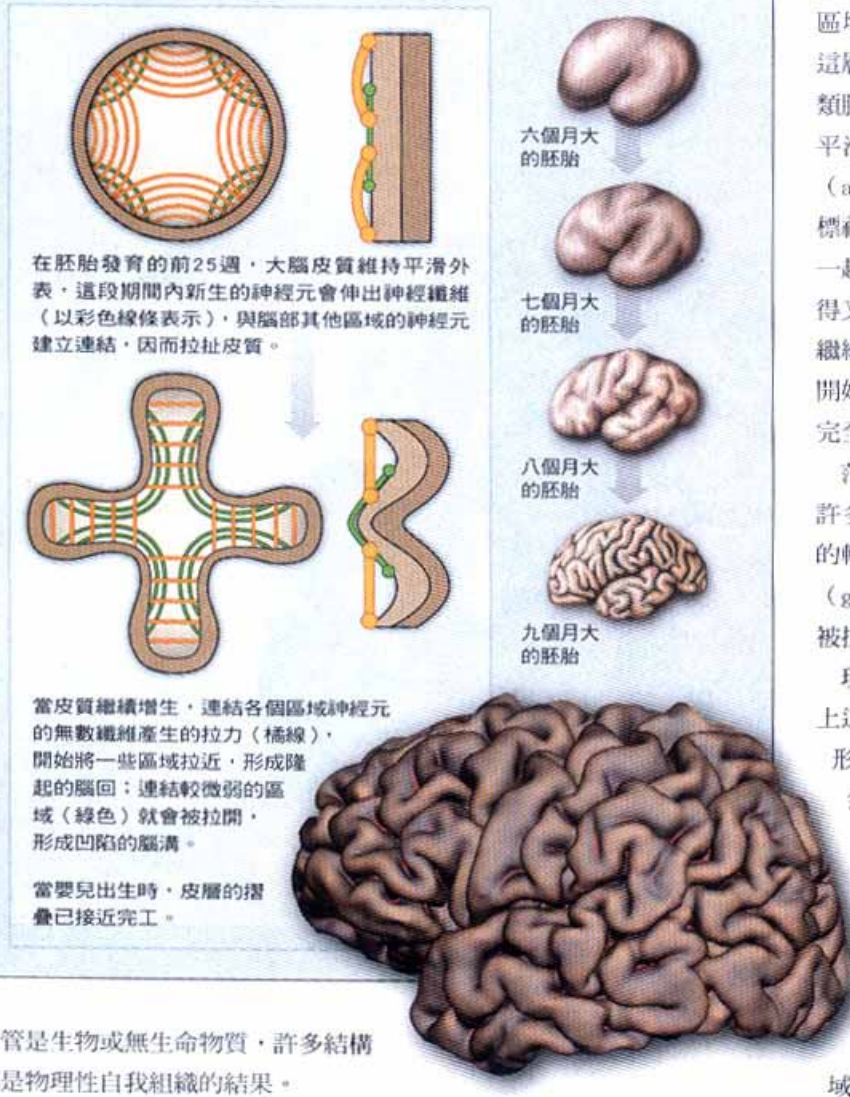
討論：

1. 糊漿泡沫中因包含許多氣體，因受熱而導致蛋糕體積膨脹。
2. 在第 47 屆全國科展優勝作品中，曾有人探討水珠因高溫而表面張力產生變化，導致水珠扭動變形⁽⁴⁾。我們推論糊漿也是流體，雖然其黏度較大，流動性較水差，但糊漿也可能因高溫而改變表面張力，導致糊漿表面扭動與內縮變形；另一方面糊漿也因高溫而凝固成形，因而在短時間內蛋糕表面會形成美麗的紋路。
3. 在第 85 期的科學人雜誌中，有一篇文章「大腦為何這麼皺？」⁽¹⁾，文中探討大腦外層皮質如何產生皺摺，如圖 32 所示，大腦皮質因無數纖維產生的拉力，使一些區域拉近形成隆起，因而造成皺摺。蛋糕在受熱過程中，糊漿表面因表面張力產生內縮的拉力；糊漿內部因體積變大產生向外的膨脹力，此二力相互作用，最後，因糊漿烤熟凝固而定形，因此約 2 分鐘時紋路外形固定後，蛋糕表面紋路就不再改變。

基本概念

腦的摺疊

位於腦部最外層的大腦皮質是在胚胎時期開始產生皺摺的，研究顯示，連結不同腦區的神經元纖維會產生拉力，造成皮質摺疊，如同左下簡化的皮質示意圖。



不管是生物或無生命物質，許多結構都是物理性自我組織的結果。

圖 32 第 85 期的科學人雜誌「大腦為何這麼皺？」

陸、研究結論

一、實驗結論

虎皮蛋糕表面的紋路是一種配方與製程之完美組合，本研究將形成紋路之較佳條件範圍整理如下：

1. 製程

(1) 烘烤溫度：宜設定在 210~230℃。

若設定的烘烤溫度太低，則紋路不明顯，蛋糕的色澤太淺。

若設定的烘烤溫度太高，則蛋糕的色澤太深。

(2) 攪拌時間：宜採用 3~6 分鐘。

若攪拌時間太短，則紋路較粗較少。

若攪拌時間太長，則紋路較粗較短。

(3) 滯留時間：宜在 10 分鐘以內，時間愈短愈好。

若滯留時間太長，則紋路較粗較少。

2. 配方

(1) 蛋黃含量：80~120%。

若蛋黃含量太低，則紋路較短。

若蛋黃含量太高，則紋路凹凸較不明顯。

(2) 糖類顆粒大小：只要糊漿攪拌後，糖類顆粒能溶解，採用糖粉、細砂、二砂對蛋糕表面的紋路影響不明顯。

(3) 穀粉種類：各種穀粉皆可，但糊漿黏度愈低，則紋路愈長。

例如：在來米粉、玉米粉的糊漿黏度較低，則紋路較長。

二、具體貢獻

1. 以較嚴謹的實驗方法建立虎皮蛋糕之較佳製程與配方。
2. 因為蛋黃中膽固醇的含量較高⁽¹⁰⁾，攝取過多的膽固醇對健康有害。本實驗證明較低的蛋黃用量（80%），亦可使虎皮蛋糕形成美麗的紋路。
3. 台灣盛產稻米，以省產的在來米粉取代進口的玉米粉，亦可形成較長且細緻的紋路。
4. 統整各實驗結果，糊漿黏度對於虎皮蛋糕紋路的長短與粗細影響甚大。我們初步確認，糊漿的黏度愈低，蛋糕表面的紋路愈長，糊漿黏度約略在 2000~10000cP 的範圍內，大多能形成不錯的紋路。
5. 藉由一系列的實驗證明，使我們對虎皮蛋糕表面紋路的形成過程與原理，有了更多的瞭解。

三、未來展望

1. 由於本研究的時間十分有限，我們希望未來能進行更多糊漿黏度相關實驗，更加確認較佳黏度之條件，更希望進一步建立簡易的糊漿黏度判斷方法，使製作虎皮蛋糕者，能簡單迅速判別適當的糊漿黏度，製作出美麗可口的虎皮蛋糕。
2. 本研究雖然建立了虎皮蛋糕之較佳製程與配方，但也很遺憾因時間不夠，未能進一步進行官能品評試驗，希望以後能有機會測試消費者對產品之實際接受度。

柒、參考資料

1. 希爾格泰戈(Claus C. Hilgetag)、巴巴斯(Helen Barbas)、徐可欣 譯(2009)。大腦爲什麼這麼皺。科學人雜誌，85:38-43
2. 李依依、涂欣如、游雅純 (2008)。穀粉種類影響虎皮蛋糕品質的研究。中學生網站 (<http://www.shs.edu.tw/>)，小論文971031 梯次得獎作品。
3. 林芮年、周羿岑 (2008)。蛋黃含量影響虎皮蛋糕品質的研究。中學生網站 (<http://www.shs.edu.tw/>)，小論文971031 梯次得獎作品。
4. 崔德昕、楊鎧蔚 (2007)。見微知“駐”－水珠律動與圓駐波。中華民國第 47 屆中小學科學展覽優勝作品。
5. 張智培、張湘苓、郭霆宥 (2008)。烘焙溫度影響虎皮蛋糕品質的研究。中學生網站 (<http://www.shs.edu.tw/>)，小論文971031 梯次得獎作品。
6. 黃健興、許雅琄 (2008)。揭開虎皮卷蛋糕的神秘面紗 (I)。烘焙工業，139:24-26
7. 黃健興、許雅琄 (2008)。揭開虎皮卷蛋糕的神秘面紗 (II)。烘焙工業，140:30-32
8. 黃麗卿 (2008)。烘焙 (I)，p88。格致圖書有限公司。
9. 葉連德、林佳蓁、李允先 (2001)。影響虎皮蛋糕紋路因素之探討。第一屆觀光休閒暨餐旅產業永續經營研討會。國立高雄餐旅學院烘焙管理系。
10. 廖崑富 (2009)。葉署長健康小叮嚀。衛教週報 152 期。行政院衛生署衛生教育推動委員會。

【評語】 091402

- 1、 計畫說明書撰寫詳細完整。
- 2、 實驗主題具有創意及應用性。
- 3、 實驗設計變數考慮周詳，並能善用統計方法進行分析，
呈現最佳實驗結果。
- 4、 從生活中發現小問題，做深入探討，具研究精神。