

利用麵包表面色澤與數值模擬評估

對流烘箱之二維溫度場分析

Analysis on Temperature inside Convective Oven by using Surface Color of Bread Products and Numerical Simulation

詹德勝

Der-Sheng Chan

黎明技術學院 資訊科技系

Department of Information Technology, Lee-Ming Institute of Technology

詹育融

Yu-Jung Chan

桃園縣平興國民小學

Ping Sing Elementary School

李正雲 蘇俊旗

Jeng-Yune Li, Chun-Chi Su

健行科技大學餐旅管理系

Department of Hospitality Management, Chien Hsin University of Science and
Technology

摘 要

傳統的對流烘箱加熱不均，常導致麵包在製備過程中，其表面產生褐變反應及色澤呈現不均勻的狀態；同一烤盤內，麵包的色澤卻呈現不均勻的外觀，此不但影響麵包產品良率，同時影響麵包銷售數量。利用麵包色澤判斷麵包良率是常用準則之一，但對於烘箱內部的溫度高低差異卻無法得知，故經由數值分析推估烘箱內部的溫度分布與差異性更顯得重要。本研究利用烘焙麵包的色澤與數值模擬的研究結果顯示，烘焙麵包的 CIE 1931- (\bar{x}, \bar{y}) 值與烘箱溫度不均勻性存在直接關聯，同時，麵包的色澤與數值分析可推估對流烘箱不均勻溫度分布的直接準則。

關鍵詞：麵包、對流烘箱、數值分析、色澤



Abstract

Baking is a process coupling heat and mass transfer phenomena. The process is so complex in phase change that it is not easy to analyze. It is very useful to understand the rate determining process by a mathematical model. Surface color of bread products is one of the characteristics because it contributes to consumer preference. Surface color is chiefly determined by the baking temperature during baking process. The main objectives of this study are to investigate the effect of the baking temperature of convective oven on surface color of bread. The results of the experimental and numerical studies can be summarized as: temperature distribution and temperature difference between the front and bottom of oven are key factors to attain a method for evaluation of baking.

Key Words: bread, convective oven, numerical analysis, surface color



1. 簡介

1.1 麵包對於生活的重要性

在現代的生活中心，時時可以看到麵包的身影，處處可以聞到麵包的香味飄散。但是台灣食用麵包的歷史並不如歐美等國家那麼的悠久。台灣主要主食為白米，從荷據到日據時代，雖有種植小麥，但只有少部分的富裕家庭在食用。到國民政府播遷來台，北方麵食才開始的漸漸興盛，半發酵的麵食才漸漸普及。一直到 1960 年代，美國大力輸出小麥的政策以及台灣政府為稻米出口的經濟價值大於小麥雙重效應下，政府才開始大力推廣麵包產業，培養出大批的麵包師傅及大量麵包店鋪如雨後春筍般開立，就是在此時麵包才漸漸走入我們的生活中，與我們密不可分。

早期台灣人在早餐時食用大多為稀飯饅頭等中式早餐。近年來國人生活習慣及飲食習慣的改變，為求方便及效率，早晨不再有時間慢慢享用下，早餐多食用麵包土司或是三明治等西式餐點為主食，同時，下午茶的興起，也間接造成了麵包產業的興盛。在此之後，造成麵包供不應求，為解決民眾對於麵包的需求，麵包製作由人力漸漸走向由機械大規模生產製作，這樣，麵包的取得就更加容易。便利商店大賣場處處可見麵包的身影。易於攜帶與方便性以及易於取得，也令麵包與我們生活更加緊密[1-3]。

最近台灣吹起自製酵母手工製作麵包的風潮[2-3]，國人越來越重視健康養身與自然有機的觀念影響下，麵包的食材多講究使用當季的、在地的、新鮮的原料，再加上使用天然方式培育出的酵母製作而成的人工麵包。同時，以當季食材加上自製

天然酵母的所製作出來的手工麵包，其風味及口感更是與一般由機器大量生產而出的麵包大相逕庭。光是從自製天然酵母來說，家家培育出的酵母風味都不盡相同，每一家都有自己的味道，當然製作出的麵包風味也都不一樣。在台灣麵包製造業者百家爭鳴及爭奇鬥艷，只為想爭一席之地留住消費著的心和味蕾，莫不使出渾身解數，而隨著國外品牌的引進及本土品牌的發展，麵包已然成為台灣的新興熱門產業。

1.2 麵包色澤之形成與意義

以輸送現象的角度來看麵包的烘焙，看麵包可視為多孔組織，加熱過程同時發生熱傳與質傳的現象[5]。熱傳由外而內，麵包表面的溫度最高，利用周圍的熱空氣使麵包加熱，麵包表面逐漸脫水，當水分含量降低至 10%，麵包表面形成痂皮，麵包溫度因此上升迅速；當溫度到達 180°C 以上時，表面產生焦糖化反應，同時麵包成分中的羰基(carbonyl group)與氨基(amino group)產生梅納反應，使麵包表面形成褐變並產生特殊香氣。

隨著烤箱溫度增加，麵包色彩空間(顏色)與質地(texture values)的反應速率常數亦隨之增加[6]，梅納反應與焦糖化是烘焙品的重要反應，決定了烘焙產品的顏色及感官性質(sensory properties)[7]。在烘焙過程中，烘焙產品的外觀可以用來評估整體的產品品質，Abdullah 等人[8]以顏色作為監測馬芬蛋糕品質的指標，Jusoh 等人[9]利用色澤推估麵包痂皮的厚度，發現麵包痂皮厚度介於 6.02-9.0mm 之間，其厚度與其色彩 Lab 值呈現負相關，與其總色差(ΔE)呈現正相關，可利用麵包表面的顏色推估痂皮厚度，色澤可以做為麵包品質的重要指標。



2. 實驗與色彩量測

2.1 麵包製作因素與流程

2.1.1 麵包製作因素

麵粉、糖、酵母、鹽、奶油為麵包的主要製作食材，若要製作不同口味的麵包可另行添加其他材料作為口味的調整配方。麵包是將麵粉等材料經過混合、攪拌、發酵、整型、再發酵、分割滾圓整型、再發酵、烘焙、脫模及冷卻等一連串製程所產生的產品[4]。生產麵包主要設備為攪拌機、發酵箱及烤箱，攪拌機主要功能是使麵包食材能快速混和均勻及節省勞力輸出，可由調節攪拌機轉速快慢，來決定麵包食材混合的程度。攪拌機上的攪拌器依產品目的約可分為網狀、槳狀及鉤狀三種攪拌器，製作麵包攪拌器為鉤狀攪拌器；使用攪拌機主要考量因素，包括攪拌機轉速高低、攪拌時間長短以及攪拌最終溫度高低，均會影響麵包的良窳。

麵糰攪拌過程可分為六大階段，依序為拾起階段、捲起階段、擴展階段、完成階段、攪拌過度階段及麵筋斷裂階段。攪拌程度過與不及的判斷主要是麵包出現筋性與否，藉此研判麵糰的是否達成完全階段。發酵箱所須考慮因素包括發酵溫度、發酵溼度及發酵時間。發酵箱設計目的是使麵糰能夠處於恆定濕度、固定溫度以及一定時間內達成發酵效果的環境。發酵箱的設計主要是使麵糰中的酵母能夠產生足夠二氧化碳的量並建置麵包蓬鬆所需的立體空間，並使麵包具有柔軟膨脹的口感以及利用各種特殊酵母增加麵包的風味。另外影響麵包品質是烤箱的型式，依烤箱外型結構可分為自然對流烤箱、蒸氣式烤箱、旋風式烤箱、熱風旋轉式烤箱、隧道式烤箱及搖籃爐等設計。本論文是以最常

用的自然對流烤箱為研究對象。

就固定烤箱外型結構而言，麵包烘焙所需的時間長短決定於烤箱上下層溫度設定、麵糰型式、麵糰大小、麵糰數量多寡、麵糰擺放位置、麵包食材的成分等因子。麵包烘焙溫度越高，烘焙所需的時間越短；但烤箱設定溫度太高會使麵糰表皮產生焦化反應而使麵糰烘焙彈性下降，甚至形成內部沒熟透而外表焦炭化的現象。若溫度太低，麵糰熟透所需的時間愈長，麵糰除表皮上色不易外，將使麵包生產效率下降。若將數個麵糰集中於一側，將使烤箱內部溫度分布不均。為使麵包能達成量產目標，如何將數個麵糰同時置於烤箱，並使各個麵糰溫度履歷相同，換言之，使各個麵糰在烤箱不因擺放位置而產生很大溫度差異，因此烤箱內部溫度分布均勻是烤箱設計最重要的指標

2.1.2 麵包製作流程

本研究的麵包製作流程，首先進行麵包製作原料準備工作，製作原料以高筋麵粉為百分之百，糖、鹽、奶粉、酵母、奶油、蛋、冰水等材料以 100%高筋麵粉相對百分比方式調製，麵粉、糖及鹽等材料相對百分比詳列於表一。

麵包製作流程詳述如下，將乾料(麵粉、糖、酵母、鹽、奶粉)倒入攪拌機。為防止鹽降低酵母發酵能力，將酵母與鹽分開置於高筋麵粉兩側以減小酵母與鹽直接接觸，緊接著倒入冰水。初期為減少因攪拌而引起麵粉之粉體飛出攪拌槽體，攪拌機設定為低速(轉數為 1)，當麵糰攪拌至拾起階段，關掉攪拌機並將濕料(奶油、蛋)倒入攪拌槽體內並將攪拌速度切換至中速(轉數為 2)，攪拌 15 分鐘，當麵糰攪拌依序由拾起階段、捲起階段、擴展階段及完成階段等四大攪拌階段之後，關掉攪拌機。



接著取出一小塊麵糰做為測試，以手拉開麵糰觀測是否可延展成相當薄透亮的薄膜狀，並且斷口為平直狀不為鋸齒狀，以代表麵糰出現良好筋性，作為判斷麵糰攪拌是否已進入製作麵包最佳程度之完全階段。完成攪拌之後，將麵團放入基本發酵箱內進行發酵，發酵時間 50 分鐘，溫度為 28°C，相對濕度 75%，基本發酵後，取出麵團並分割成多小塊，將麵團滾圓。接著置於發酵箱進行中間發酵，中間發酵之溫度與濕度設定與基本發酵相同，發酵時間 10 分鐘使麵團鬆弛。完成中間發酵後，拿出麵團整型並置於發酵箱進行最終發酵，最終發酵時間設定為 15 分鐘、溫度 38°C、相對濕度 85%。最終發酵完成後，緊接著為烘焙製程，將烤箱烘焙上火溫度設定為 200°C，下火溫度設定為 150°C，烘焙時間設定為 15 分鐘。麵包完成烘焙製程之後，進行最後放涼程序。

表一 麵包材料相對百分比

材料	高筋麵粉	糖	鹽	冰水	即溶酵母	奶粉	蛋	奶油	合計
百分比	100	10	1	47	1	4	15	10	188

2.2 麵包色彩量測

本研究將藉由測定麵包烘焙過程中顏色的變化，推估對流烘箱內溫度分佈，同時，利用數值分析及 CIE 1931- (\bar{x}, \bar{y}) 值量測，其中光譜色度值 \bar{x} ， \bar{y} 以下二式求得，

$$\bar{x} = \frac{0.49000 r + 0.31000 g + 0.200000 b}{0.66697 r + 1.13240 g + 1.20063 b} \quad (1)$$

$$\bar{y} = \frac{0.17697 r + 0.81240 g + 0.01063 b}{0.66697 r + 1.13240 g + 1.20063 b} \quad (2)$$

其中 r、g 及 b 值為 CIE 1931-(R,G,B)光譜三刺激值。本研究利用光譜 (\bar{x}, \bar{y}) 色度值佐證麵包顏色的差異並推估烘箱溫度分布與溫度的差異，此研究結果可作為改善烘箱效率的重要參考。麵包色彩量測是以電腦搭配台灣超微光學之微型光譜儀，波長範圍 300-800 nm。以光譜 (\bar{x}, \bar{y}) 色度值呈現麵包表面色彩，將不同擺放位置的麵糰標記並分別量測其光譜 (\bar{x}, \bar{y}) 色度值。

3. 數學模式與數值分析

為了解烘箱溫度分布對於烘焙麵包產品的影響，常使用數學模式評估麵包受熱狀況[10-12]，本論文是以二維模擬烘箱，其幾何模擬剖面如圖 1，模擬幾何尺寸為 0.75 m * 0.2 m，座標表示如下： $0 \leq x \leq 0.75$ m， $0 \leq y \leq 0.2$ m， $x = 0$ 表示烤盤入口處， $x = 0.75$ m 表示烘箱底部，其中六個長方形表示麵糰位置，分別為 A、B、C、D、E 及 F，麵糰距離為 0.12 m，麵糰長度為 0.03 m，高 0.005 m。

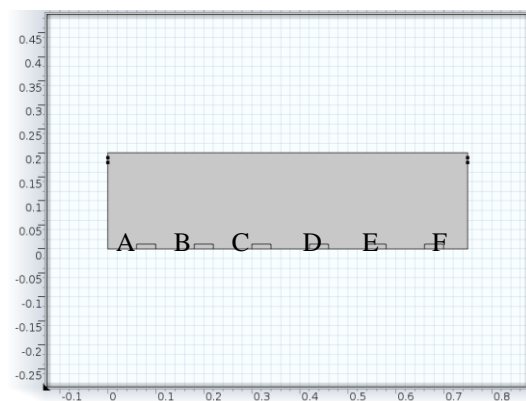


圖 1 烘箱剖面及麵糰擺放位置圖



3.1 數學模式與邊界條件

能量控制方程式：

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial T}{\partial y}) \quad (3)$$

初始條件 1. 烘箱空氣，

$$T = 25^\circ\text{C} + x/0.75 * 200^\circ\text{C}$$

初始條件 2. 麵糰， $T = 25^\circ\text{C}$

邊界條件 1. $y=0, 0 \leq x \leq 0.75, T = 150^\circ\text{C}$

邊界條件 2. $y=0.2, 0 \leq x \leq 0.75, T = 200^\circ\text{C}$

邊界條件 3. $x=0, 0 \leq y \leq 0.18, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$

邊界條件 4. $x=0, 0.18 \leq y \leq 0.185, T = 25^\circ\text{C}$

邊界條件 5. $x=0, 0.185 \leq y \leq 0.2, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$

邊界條件 6. $x=0.75, 0 \leq y \leq 0.2, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$

其中 T 為溫度、 ρ 為麵糰密度、 C_p 為麵糰比熱、 k_x 與 k_y 麵糰熱傳導係數。

水分控制方程式：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) \quad (4)$$

初始條件 1. 烘箱空氣， $C = 0.1$

初始條件 2. 麵糰， $C = 1.0$

邊界條件 1. $y=0, 0 \leq x \leq 0.75, \frac{\partial C}{\partial x} = 0$

邊界條件 2. $y=0.2, 0 \leq x \leq 0.75, \frac{\partial C}{\partial x} = 0$

邊界條件 3. $x=0, 0 \leq y \leq 0.18, \frac{\partial C}{\partial x} = 0$

邊界條件 4. $x=0, 0.18 \leq y \leq 0.185, C = 0.1$

邊界條件 5. $x=0, 0.185 \leq y \leq 0.2, \frac{\partial C}{\partial x} = 0$

邊界條件 6. $x=0.75, 0 \leq y \leq 0.2, \frac{\partial C}{\partial x} = 0$

其中 C 為水分百分比、 D_x 與 D_y 水分擴散係數。

3.2 數值分析與方法

在進行數值分析前，必須先建置網格(元素)，以分析各網格點之溫度數值與水分數值。為求溫度數值與水分數值精確度，本研究對於幾何為 $0.75\text{m} * 0.2\text{m}$ 之烘箱，其模擬總網格數為 21,157 個三角網格，烘箱剖面及模擬網格配置如圖 2，圖中藍色正方形所示區域即為麵糰所在的位置。本研究在鄰近麵糰位置進行網格細化處理，以求麵糰與空氣之間的溫度與水分劇烈變化精確度。

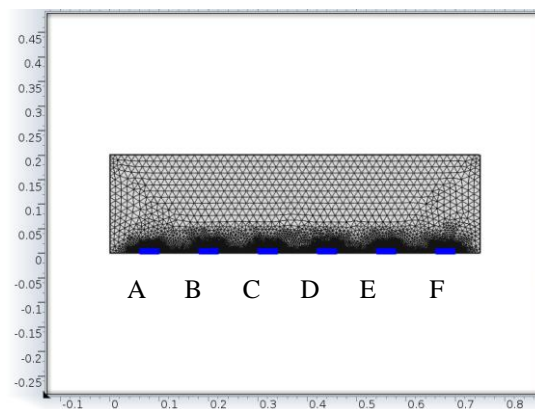


圖 2 烘箱剖面及模擬網格配置圖

4. 結果與討論

4.1 麵包顏色與位置

麵包烘焙成品於圖 3，左邊麵包成品偏淡黃色，右邊麵包成品呈黃褐色。以光譜 (\bar{x}, \bar{y}) 色度值呈現麵包表面色彩，在點 A、C、E 位置的麵糰，其色度值詳如表二。



表二 不同位置麵包之 CIE 1931- (\bar{x}, \bar{y}) 色度

麵包位置	\bar{x}	\bar{y}	外觀色澤
A	0.392	0.399	偏淡黃色
C	0.413	0.414	偏黃色
E	0.422	0.411	偏黃褐色



圖 3 麵包烘焙成品圖

對於 A、C、E 位置而言，A 位置較偏烘箱烤盤入口處，C 位置臨近烤箱中央，E 位置則較深入烘箱底部(較遠離入口處)。A 位置麵包呈淡黃色，隨深入烘箱底部色彩偏向褐色，此即為糖或蛋黃經烘焙所經歷的褐變反應。由 A、C、E 位置呈現不同的色彩可得知麵糰所受溫度是不同，故有進一步了解烘箱內部溫度分布及溫度差異之必要性。

4.2 溫度分布與相對性溫度分布

不同的烘箱設計，烘箱烘焙溫度常呈現不均勻的現象。為求接近烘焙真實程序，本論文由麵糰送入烤箱開始進行溫度與水分電腦分析，同時設定烘箱初期溫度由入口至底部為 x 座標的線性函數。當烘箱門打開進行麵糰置入作業時，烘箱內部空氣與室內空氣進行直接接觸與交換，室內溫度 25 °C，烘箱設定上火溫度 200 °C，下火溫度 150 °C，富含水分的麵糰初期溫度 25 °C。烘箱入口逃氣孔高 1cm 且

溫度假設為 25 °C。

溫度數值分析結果顯示於圖 4 至圖 8，圖 4 至圖 8 烘焙時間分別是 2 秒、50 秒、200 秒、500 秒及烘焙最終時間 900 秒之烘箱內部溫度分布圖。鄰近入口處烤盤麵糰溫度較低，烘箱底部溫度較高，在時間為 2 秒時(如圖 4)，位置 A 麵糰溫度約 50 °C，位置 F 處，麵糰溫度約 75 °C。在圖 4 中烘箱位置在 $x=0.7$ ， $y=0.18$ ，溫度 175 °C，然而位置在 $x=0.1$ ， $y=0.18$ ，溫度約為 50 °C，烘箱內部溫度初期存在極大差異性。由圖 4 至圖 8 烘箱內部溫度圖得知，隨時間增加烘箱內部溫度初期溫度變化大(如圖 4)，烘箱的溫度漸趨溫度設定值(上火 200 °C，下火 150 °C)，由上得知不同位置的麵糰所經歷溫度履歷截然不同。

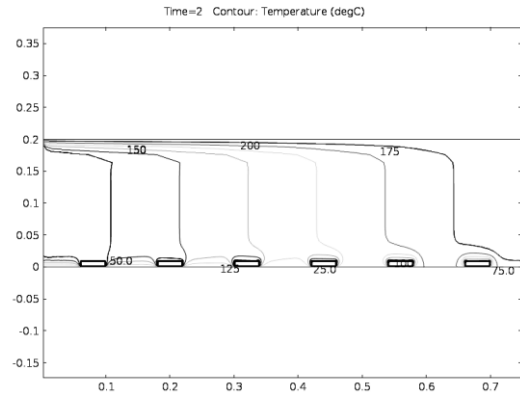


圖 4 烘焙時間 2 秒 二維溫度等位圖

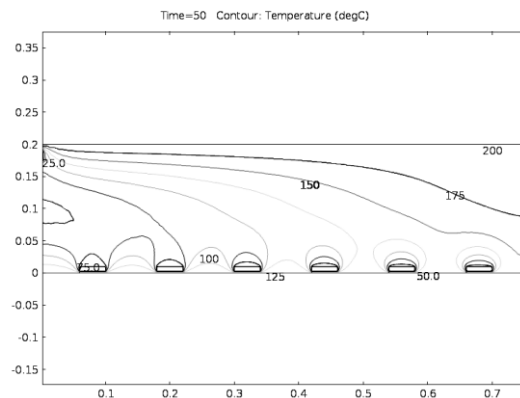


圖 5 烘焙時間 50 秒 二維溫度等位圖



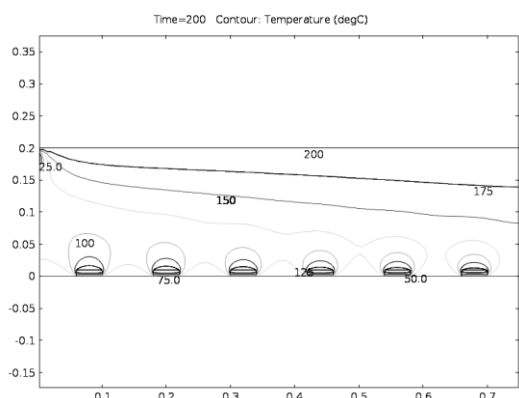


圖 6 烘焙時間 200 秒 二維溫度等位圖

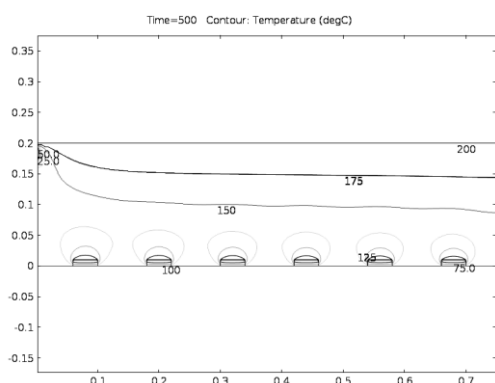


圖 7 烘焙時間 500 秒 二維溫度等位圖

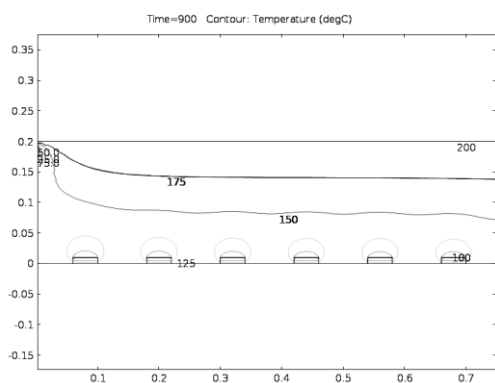


圖 8 烘焙時間 900 秒 二維溫度等位圖

4.3 麵糰擺放位置對於麵糰溫度與水分分布的影響

麵糰溫度與麵糰位置有所直接的關聯，如圖 9-圖 10，圖 9 中為烘焙時間 2 秒時，A 位置麵糰處於 28°C，F 位置麵糰 37°C。各麵糰的溫度隨進入烤箱底部位置而上升。各麵糰的溫度隨烘焙時間增加，如

烘焙最終時間 900 秒，麵糰溫度與麵糰位置如圖 10，A 位置麵糰接近表面溫度約為 81°C，F 位置麵糰接近表面溫度約為 83°C。

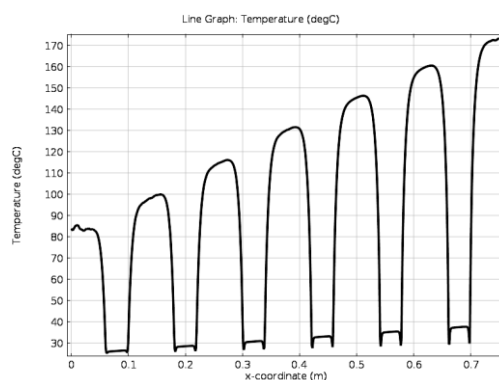


圖 9 烘焙時間 2 秒 一維溫度分布圖

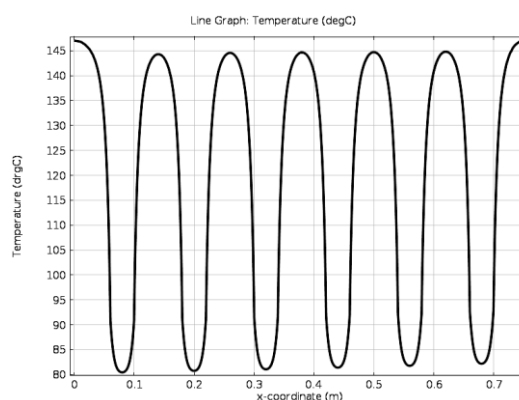


圖 10 烘焙時間 900 秒一維溫度分布圖

隨烘焙時間增加，麵糰在不同位置溫度差趨於接近。麵包表面上色關鍵因子在於所麵糰經歷溫度與時間，麵糰的水分逸失與蒸發效應有關。如圖 11 為各麵糰中心表面溫度與時間關係圖。A、B、C、D、E 及 F 位置，麵糰中心表面溫度與時間關係結果於圖 11。由圖 11 中得知，初期時間為 2 秒時，A 位置溫度約 25°C，F 位置溫度約 57°C，二者差異高達 30°C，隨時間增加至時間為 900 秒時，圖中 A 位置與 F 位置溫度差異僅約 2°C。換言，A 位置與 F 位置初期溫度差很大(30°C)，烘焙最



終時間溫度差很小(2°C)。另外，各麵糰水分亦為麵包品質控制之一，如何得知麵包產品的水分亦為我們所關心。各麵糰中心表面水分與加熱時間有直接關聯性，隨時間增加，麵糰水分與加熱時間關係模擬結果於圖 12。麵糰表面水分將由 100 % 下降至 38-42 %，A 位置麵糰水分較高(42 %)，F 位置麵糰水分較低(38 %)，由表二得知，A 位置光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值為(0.392, 0.399)，其溫度由初期 25°C 變化至 79°C；E 位置光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值為(0.422, 0.411)，其溫度由初期 57°C 變化至 81°C。A 位置的麵糰溫度較低，其光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值亦較小，換言之，E 位置麵糰溫度較高，其光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值亦較大。

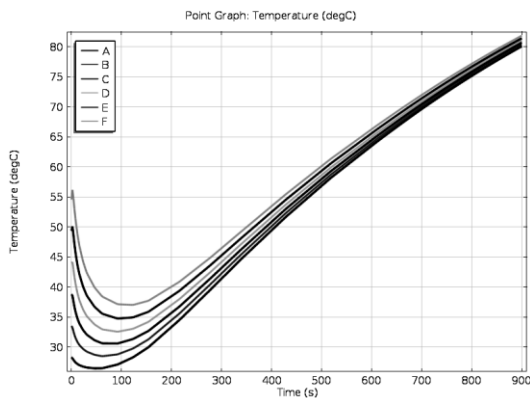


圖 11 各麵糰中心表面溫度與時間關係圖

5. 結論

本論文利用烘焙麵包的色澤與數值分析結果顯示，烘焙麵包的光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值與烘箱溫度不均勻性存在直接關聯。綜合結果如下：

1. 麵包色澤與溫度分布有關，得知不同位置的麵糰所經歷溫度履歷截然不同。同

時，初期溫度差應是造成麵包色澤差異的主要因素。

2. A 位置較偏烘箱烤盤入口處溫度較低，E 位置則較深入烘箱內部底部溫度高。A 位置麵糰呈淡黃色而隨深入烘箱底部 E 位置色彩偏向褐色。
3. 在 $t=2$ 秒，位置 A 麵糰溫度約 50 °C，位置 F 處，麵糰溫度約 75 °C。初期溫度變化大(如圖 4)，二者差異高達 30 °C，隨時間增加至時間為 900 秒時，A 位置與 F 位置麵糰溫度差異約 2 °C。
4. A 位置光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值為(0.392, 0.399)，其溫度由初期 25°C 變化至 79°C；E 位置光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值為(0.422, 0.411)，其溫度由初期 57°C 變化至 81°C。A 位置的麵糰溫度較低其光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值亦較小，換言之，E 位置麵糰溫度較高，其光譜(\bar{x} , \bar{y})色度值亦較大。
5. 麵包的色澤與數值分析可推估對流烘箱不均勻溫度分布的直接準則。

參考文獻

1. 王思涵，怎麼吃麵包就怎麼過生活，遠見電子報，2013。
2. 吳寶春，吳寶春的味覺悸動，時報文化出版，2010。
3. 張源銘，舞麥！麵包師的12堂課，四塊玉文化出版，2013。
4. 盧訓，張惠琴，徐永鑫等，烘焙學，華格納企業出版，2008。
5. Hussein, M.A. and Becker, T., An Innovative Micro-Modelling of Simultaneous Heat and Moisture Transfer during Bread Baking Using the Lattice Boltzmann Method. Food



- Biophysics. 5,161–176(2010)
6. Icoz, D., Sumnu, G. and Sahin, S., Color and Texture Development During Microwave and Conventional Baking of Breads. *International Journal of Food Properties*. 7(2) , 201–213(2004)
 7. Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I. Ait-Ameur, L. And Fogliano, V. Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. *European Food Research and Technology*. 228, 311–319 (2008).
 8. Abdullah, M.Z., Abdul Aziz, S., Dos Mohamed, A.M., Quality inspection of bakery products using a colour based machine vision system. *Journal of Food Quality*, 23, 39–50.(2000)
 9. Jusoh, M.Y.M., Chin, N.L., Yusof, Y.A. and Rahman, A., Bread crust thickness measurement using digital imaging and L a b colour system. *Journal of Food Engineering* 94, 366–371(2009).
 10. Chen, H., Baradley P., Marks, and Murphy, R.Y., Modeling Coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties. *Journal of Food Engineering*, 42,139–146(1999).
 11. Melike, S.Y., Figen,K.E. and Ilicali, K.C., Modeling of simultaneous heat and mass transfer during convection oven ring cake baking. *Journal of Food Engineering*, 111,289–298(2012).
 12. Zaroni, B., Peri, C. and Bruno, D., Modeling of Browning kinetics of bread crust during baking. *Lebensm. -Wiss.u.-Technol.*,28,604-609(1995).

