



行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

黃豆分離蛋白在各種擠壓成形和冷凍成形加工條件下熱傳導度之測定與預測
Measurement and modeling of thermal conductivity of soybean protein isolate
under various extrusion texturization and freezing texturization process conditions

計畫編號：NSC 88-2214-E-041-001

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：林盈君 嘉南藥理學院食品衛生系

一、中文摘要

本研究利用熱傳導度探針法來測量黃豆分離蛋白在不同水份含量、密度和溫度下之熱傳導度值，粉末狀的黃豆分離蛋白被製備成不同水份含量(20~40%)與密度(300~600 kg/m³)的樣品，利用熱傳導度探針法來測量其在不同溫度(25~160 °C)下之熱傳導度。在整個實驗範圍熱傳導度值從 0.056 到 0.381W/mK。在固定密度下，熱傳導度值隨著水份含量的增加而增加。在固定水份含量下，熱傳導度值隨著的密度增加而上升，這主要歸因於孔隙度的關係。在高水份含量下，熱傳導度值從 60 °C 升高到 160 °C 有一明顯的陡升，這意謂著水和蛋白質起了交互作用。本研究利用 Maxwell 的理論來建立一預測模式，將實驗數據與理論預測值互相比較，得到相近的結果。

關鍵詞：熱傳導度值，黃豆分離蛋白，預測模式

Abstract

The thermal conductivity of granular soybean protein isolate (SPI) was investigated at various bulk densities, temperatures, and moisture contents, using the probe method. The SPI powders were used as the raw material at bulk

density (300~600 kg/m³), temperatures (25~160 °C) and moisture contents (20~40%). The thermal conductivity varies from 0.056 to 0.381W/mK under this investigation. At constant bulk density, the thermal conductivity increased with moisture content. At constant moisture content, the thermal conductivity increased with bulk density. These changes were related to the porosity of the SPI powders. At higher moisture content, The thermal conductivity increased sharply from 60 °C to 160 °C, indicating water-protein interaction. A predictive model based on the Maxwell's theoretical model was established. The experimental data were in good agreement with the predictive value.

Keywords: thermal conductivity, soybean protein isolate, predictive model

二、緣由與目的

近年來各式各樣的素食產品充斥在傳統市場上與超市的大賣場裡，而素食餐館更如雨後春筍般的聳立在大街小巷，這反應了國人瞭解膳食與建康有密切的關聯性，進而改變其飲食習慣所導致的結果。對素食者而言，在營養的需求上最重要的莫過於是高品質之

蛋白質的獲得，因此由黃豆及其衍生物所製成之肉類似物(meat analog)與素食產品的需求是與日俱增。其中又以黃豆分離蛋白(soybean protein isolate)最常被應用於製造組織化的蔬菜蛋白質(texturized vegetable protein)產品上，且廣為大眾接受與喜好，因此可以預期的黃豆分離蛋白的重要性將持續性的增加。

組織化蛋白質產品的生產方法主要有紡織成形技術(Boulet et al., 1982)，其所製得產品的外觀與質感之接受度相當好，唯製程複雜，造成成本過高。以漸被擠壓成形技術(Merier et al., 1989)所取代，而擠壓成形技術之優點是製程簡單且產品具多樣化之特性，是目前最常被使用的技術。基本上，黃豆分離蛋白的擠壓成形牽涉到將水份含量高達 40% 的 soybean protein isolate 加熱至溫度高達 160 °C，而導致其物理性質與化學性質發生了改變，而這些變化基本上和溫度是高度相關的。這其中並伴隨著剪切力的作用，使濕潤膠著狀態的蛋白質物質被迫通過擠壓機的模口而形成組織化的蛋白質產品。

加熱(Heating)在擠壓成形的過程中是引起黃豆分離蛋白性質改變主要的因子，而這過程都是和溫度相關的且對於最後組織化蛋白質產品的品質具有決定性的影響力。黃豆分離蛋白在擠壓機內部溫度分佈的情形知識的建立與獲得是非常重要的，這些資訊在生產程序的控制上可以被用來預測黃豆分離蛋白性質變化的情形，進而產生符合預期品質的組織化蛋白質產品，同時亦可用來改進擠壓機的操作與能源效率。為了建立黃豆

分離蛋白之溫度分佈情形，黃豆分離蛋白熱性質的取得是必須的，其中又以熱傳導度的獲得最為重要。現今的擠壓成形技術已快速的發展，然而對於黃豆分離蛋白在各種擠壓成形過程中的熱傳導度的值仍然未知，特別是溫度將高達 160 °C 時之熱傳導度值。當需要知道各種程序條件下之熱性質時，最有效率且實際的方法便是利用預測模式來獲得，而此模式建立必須包含各種程序加工條件下的熱性質。對黃豆分離蛋白的擠壓成形而言，影響其熱傳導度的主要因素有水份含量、密度、與溫度。因此，本研究之目的乃在測量和預測黃豆分離蛋白在各種擠壓成形加工條件下的熱傳導度值。

三、結果與討論

(一)、熱傳導度探針法的建立

本研究將採用熱傳導度探針法 (the thermal conductivity probe method) 來測量食品之熱傳導度(Lin 和 Hsieh 1996)。熱傳導度探針法的基本原理是以線熱源法 (the line heat source method) 為基礎，這方法的理論基礎已經被許多作者廣泛的討論過，如 Hopper 和 Lepper (1950)；Lentz (1952)。最後熱傳導度的值(k)可以利用任兩點時間(t_1 和 t_2)與其對應之溫度(T_1 和 T_2)，並利用下列公式：

$$k = \frac{f \cdot I^2 \cdot R}{4\pi} \cdot \frac{\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots(1)$$

其中 f 是一校正因子(Lin 和 Hsieh, 1996)，I 是通過加熱線的電流強度以 A 表示，R 是加熱線的電阻以 Ω/m 表示。在進行熱傳導度測

量之前，熱傳導度探針利用 Glycerol ($k=0.284\text{W/mK}$) 進行校正，並得到良好的一致性 ($k=0.2837\text{W/mK}$)。

(二)、密度對熱傳導度之影響

圖 1 代表著一典型的密度對黃豆分離蛋白(水份含量為 40%，溫度範圍為 25~160 °C)熱傳導度之影響。基本上，熱傳導度值隨著密度的增加 ($300\sim 600\text{kg/m}^3$) 而做接近線性的增加，其值的範圍為 $0.08\sim 0.381\text{W/mK}$ ，這些值與一般具孔隙的物質相當。溫度和水份對熱傳導度值亦呈正的相關聯性。Kostaropoulos (1975) 指出冷凍乾燥馬鈴薯之熱傳導度值隨著密度作線性的增加，其密度範圍為 $140\sim 250\text{kg/m}^3$ ，而對應之熱傳導度值為 $0.035\sim 0.045\text{W/mK}$ 。一般而言，熱傳導度值的大小和物質的孔隙度有極密切的關係，本研究黃豆分離蛋白之孔隙度大約在 $0.5\sim 0.75$ 之間，而對於冷凍乾燥馬鈴薯之孔隙度大約在 0.83 以上。

(三)、溫度對熱傳導度之影響

圖 2 代表著一典型的溫度對黃豆分離蛋白(密度為 420kg/m^3 ，水份含量為 20~40%)熱傳導度之影響。基本上，熱傳導度值隨著溫度增加 ($25\sim 160\text{ }^\circ\text{C}$) 而增加。在溫度小於 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 時熱傳導度值隨著溫度做線性的增加，當溫度高於 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 時熱傳導度值隨著溫度的升高而急速的上升，特別是在高水份含量 ($30\sim 40\%$) 時這情形更為明顯。這意謂著水和蛋白質在高溫和高溼的情況下發生了交互作用，而這些變化可能導致密度或孔隙度之改變，進而

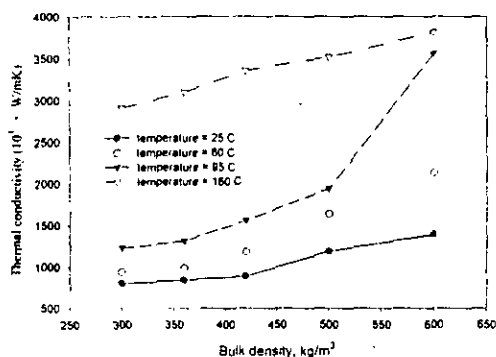


Fig. 1 Effect of bulk density on the thermal conductivity of ISP powders at 40% moisture content

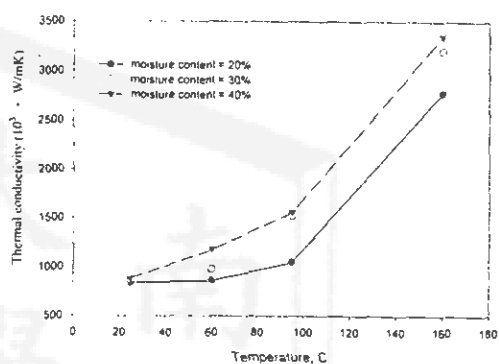


Fig. 2 Effect of temperature on the thermal conductivity of ISP powders at bulk density = 420 kg/m^3

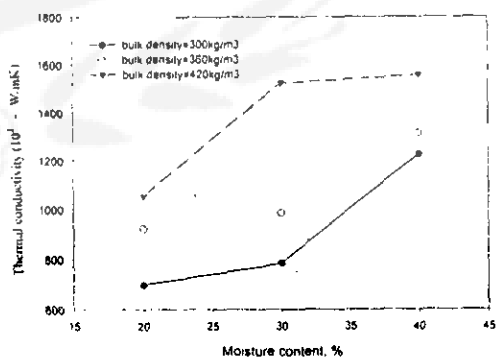


Fig. 3 Effect of the moisture content on the thermal conductivity of ISP powders at $95\text{ }^\circ\text{C}$

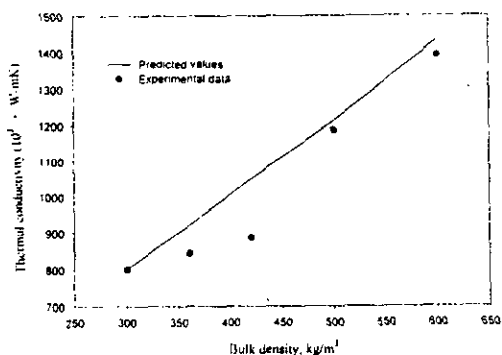


Fig. 4 Comparison the measured thermal conductivity with the predicted values

使熱傳導度值快速的增加。一般而言，溫度上升物質的熱傳導度值會增加，空氣的熱傳導度值亦會增加，導致整體物質熱傳導度值之增加。

(四)、水份對熱傳導度之影響

圖3代表著一典型的水份含量對黃豆分離蛋白(溫度為 95 °C，密度範圍為 300~420kg/m³)熱傳導度之影響。基本上，熱傳導度值隨著水份含量的增加(20~40%)而做線性的增加。在低水份含量低密度時，熱傳導度值接近一定值，在水份含量大於30%時，熱傳導度值明顯的增加。在高密度時，當水份含量大於20%時就造成熱傳導度值快速的增加，這可能的原因是密度高時物質排列較緊密，有較多的機會使水和蛋白質發生了交互作用，導致熱傳導度值增加。

(五)、模式的建立

本研究以 Maxwell's 的理論模式為基礎，將其稍作修正而得到下列方程式：

$$k = k_s \cdot \frac{k_g(2\phi_g + 1) + 2k_s\phi_s}{k_g(1 - \phi_g) + k_s(2 + \phi_g)} \dots (2)$$

其中 k_s 和 k_g 代表著固體和氣體之熱傳導度值，而 ϕ_s 和 ϕ_g 代表著固體和氣體之體積分率。圖4代表著當溫度為 25 °C 水份含量為 40% 時，黃豆分離蛋白熱傳導度之實驗值與由方程式(2)得到之預測值的比較。基本上，實驗值均低於預測值，特別是當密度為 (360~420kg/m³)，實驗值比理論值低大約 10~20%，而其他點的誤差都在 3% 內。

四、計畫成果自評

所建立的熱傳導度探針法可以快速的決定各種食品之熱傳導度值；或利用所建立的模式亦可求出個別食品之熱傳導度值。這些資料將可作為程序分析模擬時之用，進而有效的提升程序效率與食品之品質。對於預測模式如果能將水份溫度與壓力的影響一併考慮，將更能合乎真正的擠壓機內部的行為，值得進一步探討。

五、參考文獻

- Boulet, M.X., Vocan, X., Diep, O. and Castaigne, F. 1982. Spun protein fibers: effect of composition of the spinning dope on texture. *Canadian Institute Food Science Technology Journal*, 15:310.
- Hooper, F.C. and Lepper, F.R. 1950. Transient heat flow apparatus for the determination of thermal conductivities. *Heating, Piping and Air Conditioning*, 22(8): 129-135.
- Kostaropoulos, A.E. 1975. Die wärmeleitfähigkeit von schüttungen gefriergetrockneter lebensmittel. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*, 8:202.
- Lentz, C.P. 1952. A transient heat flow method of determining thermal conductivity ; application to insulating materials. *Canadian Journal of Technology*, 30 : 153-156.
- Lin, Y. and Hsieh, F. 1996. Measurement and prediction of apparent thermal conductivity of plastic foam with or without biomass materials. *Applied Mechanics and Engineering*, 1 (3) : 465-480.
- Mercier, C., Linko, P. and Harper, J.M. (Eds), 1989. *Extrusion Cooking*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.