

水分含量對 魚漿熱凝膠性及魚糕態產品耐煮性之影響

陳輝煌 李賢君

國立宜蘭技術學院
食品科學系

摘要

熱販售的魚漿產品在長時間加熱狀態下，質感及色澤的改變會使品質逐漸劣變，因此本研究擬探討降低水份含量以提高蛋白質濃度，對魚漿熱凝膠性及耐煮性的影響。由熱掃描剛性測定儀(thermal scanning rigidity monitor, TSRM)觀察魚漿在加熱過程中熱凝膠的現象，可明顯的區分低溫凝膠、解膠及第二次凝膠等變化，其中水分含量較低的魚漿低溫凝膠及第二次凝膠效果大於水分含量高者，相對地前者的解膠程度低於後者，顯示魚漿的熱凝膠性隨著魚漿水分含量增高而降低。魚糕態產品的膠強度也是隨著魚漿水分含量增高而降低，且水分含量從 79%增高至 82%時，膠強度有很大的落差。但是整體而言，魚糕態產品在 70°C 水煮時，都在短時間內失去膠強度，顯示其耐煮性不高。在水煮過程中由亮度(L*)、白色度的下降及黃色度(+b*)的增高，顯示水煮過程中伴隨著褐變的產生，且水分含量愈低者愈明顯。

關鍵詞：水分含量、魚漿、魚糕、魚、熱凝膠、耐煮性

Effect of Water Content on the Thermal-Gelation of Surimi and Cooking-Tolerance of Kamaboko Prepared from Horse Mackerel

Hui-Huang Chen Shien-Juin Lee

Department of Food Science, National Ilan Institute of Technology

Abstract

Texture and color change would cause quality deterioration of hot application surimi products during long-term cooking. This study was to investigate the effect of increase in protein concentration by decreasing water content on the thermal-gelation of surimi and cooking tolerance of kamaboko prepared from horse mackerel. The thermal-gelation of surimi during heating was observed by the thermal scanning rigidity monitor (TSRM). Setting, disintegration and second gelation stage could be specified in TSRM thermograms. The setting and second gelation effect in surimi with lower water content was more conspicuous than that in surimi with higher water content. On the contrary, less disintegration was observed in the former than in the latter. It indicated that the thermal-gelation decreased with increase in water content of surimi. The gel strength of kamaboko also decreased with increase in water content of surimi and a remarkable drop was observed between 79% to 82% water content. In general, weak cooking-tolerance was observed for the inferior gel strength behaved when kamaboko cooked at 70°C. It was also accompanied with browning since lightness (L^*) and whiteness decreased, while yellowness ($+b^*$) increased of kamaboko during cooking. This phenomena was more evident in lower water content kamaboko.

Key Words: Water content, Surimi, Kamaboko, Horse mackerel, Thermal-gelation, Cooking-tolerance

一、前言

由於魚漿產品是具有高蛋白、低脂肪的營養食品，近年來消費量不斷增加，但是國內魚漿產業因原料來源等問題，並沒有顯著的成長[1]。以魚漿製成的水產煉製品，有二種消費方式是需要長時間水煮加熱的，一是作為火鍋料，另一是熱販售(hot application)方式。熱販售消費方式早期以攤販為主，類似日本的關東煮(Tokyo-style stew 或 oden)，目前則普及於物流系統(business logistics)中[2]，故此類產品的耐熱性質(thermal tolerance)即成為重要的品質指標，影響產品的質感、色澤及熱販售壽命[3]。

在先前的研究中，發現鮪魚漿及其魚糕態產品的物性隨水含量增高而降低，在水分含量為79%時為一明顯的分界點(boundary)，水分含量超過此分界點時物性大都呈急遽下降[4]。由於水分含量的高低會影響魚漿中肌原纖維蛋白(myofibrillar protein)的濃度，進而影響其膠體網狀結構中的交聯密度(cross-link density)及魚漿的凝膠能力[5-8]，與魚糕態產品的耐煮性應有密切的關係。魚是台灣近海大宗漁獲之一，其中真 (horse mackerel)因賣相較差，大都淪為下雜魚生產魚飼料，雖有一小部份作為魚漿原料，但因凝膠能力較低[9]，仍未能廣泛的利用。而且在不同的水分含量下，是否與鯊魚漿有類似的物性變化，其魚漿製品是否具有耐煮性，仍未有完整的文獻報告。因此，本研究除了調整魚漿水分含量，並以溫度為自變數，測定加熱過程中剛性度的變化，藉以瞭解水分含量對魚漿熱凝膠性質的影響；另將不同水分含量的魚魚糕態產品在70°C恆溫水煮加熱，並以加熱時間為自變數，測定加熱過程中魚漿產品膠強度及色澤的變化，藉以瞭解水分含量對魚魚糕態產品耐煮性的影響。

二、材料與方法

(一)實驗材料

凍藏之真 (horse mackerel, *Trachurus japonicus*)購自南方澳的佳福股份有限公司，為-20°C凍藏2個月的大型圍網魚獲。

(二)樣品製備

1. 魚漿

魚體以低溫(8-10°C)空氣解凍後取其精肉(ordinary muscle)，剝碎後的碎魚肉(約500g)及冰水以1:5比例攪拌漂洗三次，每次漂洗10min，第三次在水中加入0.25%食鹽。漂洗後的碎魚肉以1800rpm離心1min後，以紅外線水分測定器(YST-YL-1, Kao Shing Enterprise Co., Ltd., Chang-wa, R.O.C.)測量水分含量，並調整碎魚肉水分含量為73%、76%、79%、82%及85%，再於細碎乳化機(Stephan UM-5, Stephan Machinery Corp., Germany)空播1min，停機加入魚肉重2.5%的食鹽，經抽真空狀態(50mm-Hg)後繼續播潰2min，成為魚漿。播潰過程中，在容器夾層以循環冰水保持魚肉、魚漿溫度在10°C以下。

2. 魚糕態產品

魚漿灌入周長10cm、長度15cm的PVDC (polyvinylidene chloride)腸衣中，於85°C水浴加熱30分鐘，即為魚糕態產品(kamaboko)，加熱後以冰水迅速冷卻20min，並置於4°C冷藏隔夜，再進行耐煮性(膠強度及色澤等物性)測定。

(三)耐煮性試驗

魚糕態產品切成 30mm（測膠強度用）及 3mm（測色澤用）小段，分別置於 70°C 的恆溫水浴鍋中加熱，於 0.5、1、2、4、6 及 8hr 後取出，迅速進行物性分析，每組樣品皆採六重複。

(四)物性分析

1. 剛性度(rigidity modulus)

參考蘇等[10]之方法，以物性測定儀(SUN RHEOMETER CR-150, Sun Scientific Co., LTD. Japan)為主機組，自行設計探頭及樣品槽(如圖一)，成為簡易之熱掃描剛性測定儀(thermal scanning rigidity monitor, TSRM)。首先將魚漿均勻塗佈在二片式樣品槽之凹槽中，樣品槽對封後以螺絲夾具鎖緊，充滿魚漿的樣品槽固定於物性測定儀的載物檯，緩緩將平板探頭垂直插入樣品槽中心，使探頭與樣品接觸之深度達 5cm，受擠壓溢出之肉漿刮除後，以少量沙拉油塗抹於與空氣接觸之魚漿表面，減少加熱過程中水分蒸發，另將樣品槽接上水浴循環系統即完成組裝。測定時以 1.5°C/min 的升溫速度，將魚漿由 15°C 加熱至 90°C，升溫過程中每隔 2°C 令載物檯以 2mm/min 速度下移 1mm 後復位，記錄並計算魚漿剛性度(rigidity)，以反映在加熱過程中魚漿黏彈性(viscoelasticity)的變化[10,11]：

$$R = (F/A)/(D/T) = F T / 2L W D$$

其中 R、F、A、D、T、L 及 W 分別代表剛性度(kPa)、施予探頭與樣品接觸面之作用力拉力(g)、探頭與樣品接觸面積(cm²)、探頭與樣品槽相對位移距離(cm)、魚漿樣品厚度(cm)、探頭與樣品接觸之深度(cm)及探頭與樣品接觸之寬度(cm)。每組樣品測試二重複以上，直到有明顯再現性，再選取其代表性之圖譜。

圖一 熱掃描剛性測定系統中之平板探頭(A)及樣品槽(B)之結構圖

Fig.1. Scheme of blade (A) and sample cell (B) for thermal scanning rigidity monitor (TSRM) assembly.

2. 膠強度(gel strength)

參照 Chen 及 Lee 的方法[4]，以物性測定儀測定穿破強度(breaking force, g)、變形量(deformation, cm)及膠強度(gel strength, gxcn)，以反映產品整體的彈力。

3. 色差值：

參照 Chen 等的方法[12]，樣品以色差儀(Color Difference Meter, Juki JP7200F, Japan)測定 Hunter's L^* 、 a^* 、 b^* ，並計算其白色度($\text{whiteness}=100-[(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}]^{1/2}$)[13]。

三、結果與討論

(一)水分含量對魚漿熱凝膠性之影響

由魚漿的 TSRM 圖譜中可發現，在加熱過程中水分含量愈高的魚漿剛性度愈低，但不論是何種水分含量的魚漿，都是呈緩慢下降、上升、下降再急遽上升的變化(圖二)。故可將 TSRM 曲線區分為四個階段，以水分含量 73% 的魚漿為例：第一階段，20-40°C，剛性度逐漸下降，此階段並無法觀察出凝膠現象，純粹是由於魚漿自低溫開始升溫過程中，因得自外界的熱量增高，魚漿逐漸軟化，造成平板探頭與魚漿間相對位移所需克服的摩擦力減少；第二階段，40-54°C，剛性度逐漸升高，此階段是由於魚漿因靜置作用(或謂低溫凝膠，setting 或 suwari)而促進凝膠的結果[10,11]，肌肉蛋白質在靜置促膠過程中的改變包括因鹽離子的存在提高蛋白質水和能力、蛋白質變性或改變構形、蛋白質分子間形成架橋等，並可將水分子固定在三度空間的網狀結構中，以增加魚漿的黏彈性[14-16]；第三階段，54-62°C，剛性度稍微降低，由於魚漿靜置時間過久或靜置溫度在 60°C 附近時，反而會造成魚漿膠體結構的脆弱化，即所謂的解膠(disintegration 或 modori)現象[14]；第四階段，62°C 以上，剛性度大幅升高，此階段由於蛋白質的熱變性，使魚漿膠體凝固，網狀結構更為穩定且堅固，是魚漿的第二次凝膠，亦即高溫凝膠[10,11,14]。在具有這四個階段的剛性度變化曲線中，第一個出現的轉折點即為低溫凝膠起始點，在本文中暫以 S_1 代表之，第二個出現的轉折點即為解膠起始點 (D_1)，第三個出現的轉折點即為第二次凝膠起始點 (S_2)。

圖二 不同水分含量魚參魚漿的 TSRM 變化

Fig.2. TSRM thermograms of horse mackerel surimi with different water content.

在不同水分含量的魚漿中，S₁都分佈在40-42°C附近，D₁都分佈在52-54°C附近，雖然低溫凝膠期（即溫度範圍）並無太大差異，但是水分含量73%的魚漿剛性度從11.0kPa增高到16.1kPa，增加了5.1kPa，而水分含量85%的魚漿，在低溫凝膠期間只增高2.3kPa，顯示水分含量愈低的魚漿，因低溫凝膠而增高剛性度的效果愈顯著。由於魚漿在加熱過程中，肌肉蛋白質分子內及分子間的鍵結產生變化，並產生構形的改變[17]，在低溫凝膠時即有氫鍵、離子鍵形成及疏水性的交互作用，這些鍵結或作用力參與蛋白質膠體結構使其剛性度增高[14, 17]。而水分含量較低的魚漿，有較高濃度的肌原纖維蛋白參與其膠體結構的形成，膠體結構中的交聯密度(cross-link density)較高，具有較好的保水能力[5-7]，故魚漿在低水分含量時具有較高的黏稠性，會強力吸附在TSRM夾具中的感應片(blade)上，在上拉測量時需更大的剪切應力以克服魚漿的黏稠度。

S₂從水分含量73%時的62°C往高溫移動，至水分含量85%時為66°C；水分含量73%的魚漿，從D₁到S₂的解膠階段，剛性度只下降了0.3kPa，水分含量82%及85%的魚漿則下降了2kPa以上。反映出魚漿的水分含量明顯的影響在60°C附近的解膠現象，除了解膠期（溫度範圍）延長外，解膠程度（剛性度降低程度）亦大幅提高。雖然對於魚漿在高溫靜置（尤其在60°C附近）時的解膠現象，目前尚未完全明瞭，可能的解膠機制包括蛋白分解酵素的作用、肌原纖維蛋白過度的熱凝聚(thermal coagulation)或非酵素性解膠蛋白質的作用等[18, 19]，但是由圖二中不同水分含量的魚漿在解膠階段變化可以肯定的是，高水分含量的魚漿可能因膠體結構較弱，較易被破壞，故解膠現象較低水分含量的魚漿明顯。至於S₂之後剛性度急遽升高的原因，是由於疏水性交互作用及雙硫鍵等共價性鍵結的大量參與高溫凝膠，使魚漿逐漸形成穩定的網狀結構[10, 14]。

(二)水分含量對魚糕態產品耐煮性之影響

在魚糕態產品膠強度方面，隨著水分含量的增高膠強度大幅降低，至水分含量為85%時，已無法測得膠強度（表一），顯示水分含量愈低時有較佳的彈力表現。70°C恆溫水煮時，水分含量73%的魚糕態產品仍可在加熱1小時後測到極低的膠強度，水分含量82%的產品則在加熱0.5小時的時候，已無法測得膠強度，顯示不論水分含量高低，魚糕態產品的耐煮性不高。

表一 不同水分含量的魚參魚糕態產品在70°C恆溫水煮下膠強度的變化

Table 1 The gel strength change under 70°C cooking of horse mackerel kamaboko with different water content

水分含量(%)	gel strength (g×cm)*					
	0	0.5hr	1hr	2hr	4hr	8hr
73	610.0	448.0	89.6	—	—	—
76	531.3	224.1	—	—	—	—
79	402.2	135.2	—	—	—	—
82	198.7	—	—	—	—	—
85	—	—	—	—	—	—

* mean of six determines

– unmeasurable

由表一中可發現魚漿水分含量從 79%增高至 82%時，魚糕態產品的膠強度由 402.2g×cm 降低至 198.7g×cm，有很大的落差。在先前的研究中亦發現鮪魚漿因水分含量增高引起的最大物性變化速率(maximal change rate of water induced physical property)，在膠強度方面是在水分含量 79%增高至 82%時發生，亦即鮪魚漿在水分含量 79%以上時代表產品彈力的膠強度明顯變低，顯示 79%水分含量為鮪魚漿蛋白質網狀結構水和能力的極限，過多的水分子無法被有效的束縛在網狀結構中而以游離狀態或以極弱的鍵結吸附在魚漿的空隙處[4]。魚糕態產品在膠強度上的表現與鮪魚類似，顯然其膠體的水和能力也是以 79%水分含量為一重要界限。

從表一中膠強度的變化可看出魚糕態產品在 70°C 恆溫水煮時，水分含量較高的產品耐煮性愈低。在長時間加熱時，過多的熱量可能打斷部份蛋白質分子間鍵結並破壞其膠體[14]，而高溫加熱時水分含量高的魚漿膠體似乎較易被破壞，這是因為蛋白質的凝膠能力的增強與蛋白質濃度增高的平方成正比[17, 20]，造成高水分含量的魚糕態產品網狀結構較弱，缺乏抵抗長時間加熱對膠體破壞力的緣故。

在魚糕態產品的色澤方面，當魚漿的水分含量愈高時，魚糕態產品的亮度 (L^*)、綠色度 ($-a^*$) 及白色度愈高，黃色度 (b^*) 愈低；在 70°C 恆溫水煮 0.5 小時後，樣品的亮度及白色度都提高，但是繼續水煮加熱後逐漸降低；隨著加熱時間的增長，綠色度呈現下降，黃色度則呈現上升的趨勢(圖三)。由於在水分含量較高的魚漿中，未被網狀結構束縛的多餘水分會造成 L^* 的提高[21]，在短時間水煮時，亦可能因為樣品表面吸水使亮度提高，但是經長時間加熱後，褐變作用使得亮度及白色度下降而黃色度升高。而魚糕態產品的 a^* 之所以呈現負值，乃因動物肌肉中主要的紅色素肌紅蛋白(myoglobin)，加熱後形成變性氧化肌紅蛋白(denatured metmyoglobin)而呈現出褐色[22, 23]，經長時間水煮加熱後，綠色度逐漸降低的原因，應是這些呈色物質逐漸自魚糕態產品中釋出所致。

圖三 不同水分含量的魚參魚糕態產品在 70°C 恆溫水煮過程中色澤的變化

Fig.3. The color change under 70°C cooking of horse mackerel kamaboko with different water content.

四、結論

不同水分含量的魚漿的熱凝膠性及魚糕態產品耐煮性可由其肌原纖維蛋白質濃度及凝膠能力二方面分析，由加熱過程中剛性度及膠強度的變化顯示，水分含量較低者熱凝膠及耐煮性優於水分含量高者，此乃肌原纖維蛋白質濃度影響

膠體網狀結構強度的緣故；然而魚糕態產品在 70°C 水煮加熱時都在短時間內失去膠強度，顯示 魚的魚糕態產品耐煮性不高，則為肌原纖維蛋白質凝膠能力不足，以致缺乏抵抗長時間加熱對膠體破壞的能力。魚漿水分含量從 79% 增高至 82% 時，膠強度有很大的落差，顯然 79% 水分含量是其膠體水和能力的重要界限。

謝 誌

本實驗承行政院農業委員會補助經費（87-食品會報-01(4)），及佳福股份有限公司提供原料及建議，特誌謝忱。

參考文獻

1. 吳清熊 (1992)，台灣水產加工業現況，第 88-95 頁。行政院農委會出版，台北。
2. 黃惠煥 (1996)，行銷通路與物流管理。八十五年度全面動員降低農業產銷成本—經營管理專業人才培訓課程講義，花蓮農改場。
3. Park, J. W. (1996), "Temperature-tolerant fish protein gels using konjac flour", J. Muscle Foods, Vol. 7, pp. 165-174.
4. Chen, H. H. and Y. C. Lee, (1997), "Effects of water content and chopping method on the physical properties of surimi and kamaboko", Fishery Science, Vol. 63, pp. 755-761.
5. Hamada, M. and Y. Inamasu, (1983), "Influence of temperature and water content on the viscoelasticity of kamaboko", Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 49, pp. 1797-1902.
6. Reppond, K. D., K. Babbitt, S. Berntsen, and M. Tsuruta, (1995), "Gel properties of surimi from pacific herring", J. Food Sci. Vol. 60, pp. 707-710, 714.
7. Sylvia, S. F., J. R. Claus, N. G. Marriott, and W. N. Eigel, (1994), "Low-fat, high-moisture frankfurters: effects of temperature and water during extended mixing", J. Food Sci., Vol. 59, pp. 937-940.
8. Chen, H. H. (1997), "The effect of setting on the physical properties of surimi and kamaboko under various water content and chopping methods", Fishery Science, Vol. 63, pp. 762-768.
9. Chen, H. H., S. N. Lou, T. Y. Chen, Y. W. Chen, and C. H. Lee, (1996), "Gelation properties of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) surimi as affected by operation condition", Food Sci., Vol. 23, pp. 45-55.
10. 蘇崇文、陳東輝、龔鳴盛 (1995)，「以自組 TSM 觀測 20 種肉品的肉漿熱凝膠性之多重相變化」，食品科學，Vol. 22, No. 6, pp. 19-833。
11. Hamman, D. D., S. Purkayastha, and T. C. Lanier, (1990), Applications of thermal scanning rheology to the study of food gels. In "Thermal Analysis of Foods", V. R. Harwalkar and C.-Y. Ma (Ed.), pp. 306-332. Elsevier Applied Science, New York.
12. Chen, H. H., E. M. Chiu, and J. R. Huang, (1997), "Color and gel-forming properties of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) as related to washing conditions", J. Food Sci., Vol. 62, pp. 985-991.
13. Rha, C. (1975), Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials. pp. 267. D. Reidal Publishing, Dordrecht.
14. Niwa, E. (1992), Chemistry of surimi gelation. In "Surimi Technology", T. C. Lanier and C. M. Lee (Ed.), pp. 389, Marcel Dekker, Inc., New York.

15. Niwa, E. and M. Miyake, (1971), "Physico-chemical behavior of fish meat proteins -I. behavior of polypeptide chains of proteins during setting of fish meat paste", Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., Vol. 37, pp. 877-883.
16. Niwa, E. and M. Miyake, (1971), "Physico-chemical behavior of fish meat proteins-II. reactivities of side groups of polypeptide chains during setting of fish meat paste", Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., Vol. 37, pp. 884-890.
17. Asghar, A., K. Samejima, and T. Yasui, (1984), "Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products", CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri., Vol. 22, pp. 27-106.
18. Niwa, E., G. Nakajima, N. Hagiwara, and M. Miyake, (1975), "On the retardation of modori in kamaboko processing", Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 41, pp. 1293-1297.
19. Makinotan, Y. (1982) Modori (Thermo-degradation of meat jelly). In "Science and Technology of Fish Paste Products", Y. Shimizu (Ed.), pp. 36, Koseisha Koseikaku, Tokyo.
20. Samejima, K., K. Ishiroshi, and T. Yasui, (1981), "Relative roles of the head and tail proteins of the molecular in heat-induced gelation of myosin", J. Food Sci., Vol. 46, pp. 1412-1418.
21. Park, J. W. (1995), "Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions", J. Food Sci., Vol. 60, pp. 15-18.
22. Pearson, A. M. and R. B. Young, (1989) Muscle and Meat Biochemistry, pp. 296, Academic Press, Inc. New York.
23. Francis, F. J. (1985) Pigment and other colorants. In "Food Chemistry (2nd ed.)", O. R. Fennema (Ed.), pp. 545, Marcel Dekker, Inc. New York.

87年10月29日 收稿

87年11月24日 接受