



行政院國家科學委員會專題研究計畫
成果報告

計畫編號：NCS 88-2313-B-019-023

題目：肉品熱加工硬直度分析儀組裝
和對肉品熱加工品管的利用

執行期限：87年7月至90年6月

主持人：龔鳴盛教授

執行機關：國立台灣海洋大學食品科
學系

壹. 中英文摘要

本研究的目的為設計及組裝一套肉品熱硬直分析儀 (meat thermal processing rigorometer; MTRM) 供肉品儲藏及熱加工上的品管利用。全程規劃於三年完成(民國87年7月至90年6月)。本報告第一年(87年度)單元子題為「I. MTRM 初步組裝和對吳郭魚死後僵直進程的偵測」。研究結果目前已完成儀器基礎設計、零件選購、委託加工，並組裝出一部「附有乾式樣品槽」的 MTRM 原型機。本儀器的樣品槽具有可程控的水浴循環水夾層，可供測試 0~90°C 內任何恆溫和昇(降)溫中肉品的長度變化。而機上所自行組配的「光電位移計 (photoelectric displacement detector; PDD)」之最大容許測定肌肉長度變化為 35mm，解析度為 0.11mm，準確度為 ±0.2mm。而且在該範圍內，長度測值和其對應的光電管的電壓值變化，線性度佳。

利用此儀器進行觀測 4°C 及 20°C 恆溫下吳郭魚肌肉的死後僵直收縮變化，發現在 4°C 低溫靜置中，可能因氫鍵效應存在，使得收縮率會隨切片厚度而異，厚度 < 3mm 可收縮 10%；厚度愈厚，收縮率變小，測定靈敏度即相對下降；20°C 常溫，即無肉厚差異。由 MTRM 圖譜可研判出其僵直分三階段進程(未僵直期、僵直進行期、及解僵期) 4°C 及 20°C 全僵直達成時間分別為 12 及 24 小時。並將結果配合示差掃描熱量分析儀 (differential scanning calorimeter; DSC) 測定之肌肉變化圖譜相對照比

對，確認了 MTRM 對於吳郭魚魚體僵直進程偵測的準確性。

Abstract

The main object of this project is to design and construct of a meat thermal processing rigorometer (MTRM) to be used on quality controls of meat storage and thermal processing. The full-term of this research is expected to be accomplished in three years (July 1998 ~ June 2001). The subtitle for the first year study (July 1998 ~ June 1999) is "I. preliminary design and construction of MTRM and its study on the rigor mortis development of tilapia". Up to the present, we have been able on schedule to finish the design, purchasing of necessary parts, and construction of a proto-type "MTRM with a dry sample chamber". As proven by experiments, the PDD (photoelectric displacement detector) allows a maximum 35mm length change of muscle slice to be detected, with a resolution 0.11mm and accuracy ± 0.2mm. In addition, good linear correlation of the displacement and voltage signal change detected by PPD was evident.

In-line study on the rigor mortis progress of tilapia muscle slices in terms of shortening at two isothermal aging temperatures, 4°C and 20°C was performed by MTRM. It was evidenced that only at a thickness < 3mm, a maximum shortening of 10% could be detected; thicker muscle slices aging at 4°C could only give incomplete shortenings, possibly due to cold induced hydrogen bonding effect. No thickness effect was observed in 20°C measurements. The rigor mortis can be divided three stages: pre-rigor, in-rigor, and full-rigo stages. Postmortem agings for 12 and 24 hr are required to reach the full-rigor state while at 4 and 20°C, respectively. DSC was used to do the off-line study for the comparison, and its result confirms

that the MTRM is suitable to be used to detect the progress of rigor mortis.

貳. 緣由與目的

1963年Partmann和Buttkus二位學者組裝出一套用於觀測肌肉在死後僵直過程中，張力變化的簡易儀器，稱之為僵直分析儀(Rigorometer;RM)。而後陸續有多位學者(Bito et al.,1983;Mutsuyosi et al.,1998;)，沿用此儀器或以略加改進的儀器觀測不同肉品肌纖維因死後僵直所產生的張力(tension)變化；並配合一般生理代謝指標進行肉品僵直進程的探討。然而，死後肌肉的收縮和張力變化與傳統的一些死後僵直指標並不十分相符。以1990年Korhonen等以吳郭魚為實驗樣本，用RM觀察在0°C觀測肌肉內部張力隨時間變化。即與「整尾魚垂尾度」測定法所測得魚體僵直度Rlbody達到全僵直的時機，並不十分吻合。因此，造成RM至今尚未能被廣泛使用於肉品僵直進程鑑定之用。

鑑於以上的缺點，1996年本實驗室，組裝出一部改良版的僵直分析儀(RM)，亦為肉品熱加工硬直度測量儀(MTRM)的先導機種，稱其為熱僵直分析儀(thermalrigorometer;TRM)(蘇等，1996.)。其不同於傳統RM設計的部份有：一.可以恆溫或定速率的昇溫來加熱肉樣。二.肉樣是沿纖維走向切成長肉片令其橫臥的置於樣本槽中，不像RM一樣，肌肉採垂直垂吊並被施加一定重量砝碼的張力。三.實驗過程讀取不是肌肉張力的變化，而是直接讀取肉品纖維向長度的變化。經實驗結果發現，藉TRM在10°C恆溫下所測得烏鰂背肉肌肉纖維向僵直度Rlfiber變化和魚體在在10°C溫度中靜置的Rlbody變化進程幾乎完全相符合。證明肌肉樣品必須在不垂吊砝碼或施大的外力下，測定肌纖維之僵直收縮變化的結果，就能與整尾魚垂尾度所換算出的外觀

僵直度一樣有效地反映僵直度的變化。由此，證明以往以RM測定肌肉死後僵直張力變化時，需懸吊砝碼的方法是錯誤的。本計畫的第一年度所規畫的子題為「MTRM初步組裝和對吳郭魚死後僵直進程的偵測」。研究重點在將TRM進一步改良，使其功能性及準確度能更加提昇。除了具備上述TRM的既有功能外，並設計以光電位移感測器連接電腦採程控方式，連續的觀測並記錄實驗結果，以完成對吳郭魚死後僵直進程的偵測。

參. 結果與討論

1. MTRM之組裝：

本研究目前已組裝完成一部配置有乾式樣品槽的肉品熱硬直度分析儀(MTRM)試驗機一部。結構如圖一(Fig. 1.)。其乾式樣品槽細部構造如圖二(Fig. 2)，光電位移計(PDD)，構造如圖三(Fig. 3.)。MTRM儀器實體之外觀照像相片，如圖四(A)及(B)(Fig. 4(A). and (B).)。樣本槽中並配置溫度感測器用以測定測試過程中樣品槽內之溫度變化；另外藉光電位移計(photoelectric displacement detector; PDD)，偵測出肉品試樣的長度變化，分別予以記錄。實際測試時，樣品槽內另放置一盛滿水的小容器，使樣品槽內在測定過程中保持近飽合之溼度，防止肉樣發生乾燥變質。該MTRM之樣品乾式槽，可容許置入試樣尺寸為50 X 20 X 3 mm(L x W x T)之肉品切片，本系統容許以恆溫或動態昇溫兩種方式加熱，可用以觀察肌肉纖維向之長度變化以反映肉品於儲藏過程中僵直、嫩化、及蒸煮過程中熱變性之發生。

本儀器之PDD的長度校正用標準曲線，如圖五(Fig. 5.)。PDD標準曲線圖之X軸為光透過狹縫的長度(狹縫總長度為48.0mm)，而Y軸為光狹縫被試樣遮蔽後的殘留可透光的光亮度。該光亮度是被以四只光電二極體採並聯方式串接所感測之電壓

值。以標準長度的試片來遮蔽光狹縫進行校正測試，發現在 $X=13.0\sim 48.0\text{mm}$ 範圍內呈極佳之線性關係式，亦指出可供測的變動長度為 35mm 。經由 sigma plot 統計軟體計算出其線性回歸曲線公式為 $Y = -6.883 + 1.827X$ ， $R^2 = 0.994$ 。光電感應對長度偵測的解析度為 0.11mV 亦即位移值為 0.18mm ；準確度為 $\pm 0.2\text{mV}$ （位移值為 0.109mm ）。實際測定發現，當光狹縫長度 X 小於 13.0mm 以下，光線太弱令光電二極體無法正常動作， Y 值和 X 值會呈非線性變化。因此在實際測定時需用透光狹縫長度大於 13.0mm 以上部份來使用。此基礎值在標準曲線讀入電腦程式時，藉由軟體進行修正。

2. 以 MTRM 觀測吳郭魚魚肉死後僵直的進程：

經無掙扎宰殺後的吳郭魚取其魚體背部白肉切片，進行 20°C 及 4°C 恆溫儲藏的 MTRM 測試，纖維收縮率（percentage of fiber shortening；S%）的變化。肌肉切片為厚度 $10\text{mm}\times 20\text{mm}$ 長度為 50mm （方向為與肌纖維同向）。以 MTRM 觀測其在 20°C 及 4°C 恆溫儲藏中肌肉長度纖維收縮率（percentage of fiber shortening；S%）的變化。

MTRM 圖譜圖六（fig. 6.）及圖七（fig. 7.）中可觀察出 20°C 恆溫儲藏時的肌纖維收縮率於 24 小時達到最大收縮率 4.48% ， 4°C 恆溫儲藏時的肌纖維收縮率於 12 小時達到最大收縮率 6.7% 。此結果與由 DSC 僵直圖譜及實驗室（黃；1997）以人工方式觀測魚片達到全僵直的時間均為相同。由此也證明，MTRM 用以觀測魚體死後僵直進程的適用性與實驗數據具有再現性。當吳郭魚魚肉置於 4°C 進行恆溫儲藏試驗時，初期 2 小時收縮率急遽上升。推論其原因為冷收縮效應（Cold shortening）的產生；肌肉內形成多量氫鍵（hydrogen bond）、

肌漿內質網（sarcoplasmic reticulum；SR）快速釋鈣引發 ATP 快速降解所致；而當魚肉置於 20°C 恆溫儲藏時則不具有此種肌纖維快速收縮的現象發生。

3. 以 MTRM 觀測不同厚度吳郭魚魚片恆溫儲藏試驗：

經由以往實驗得知吳郭魚魚肉肌纖維收縮率（S%）在低溫 10°C 、 15°C 及高溫 40°C 進行恆溫儲藏實驗時，魚肉肌纖維收縮率均可達到全僵直時的最大收縮率 10% 。但當以 $0\sim 4^\circ\text{C}$ 進行魚肉片恆溫儲藏實驗時，卻發現魚肉肌纖維的最大收縮率只能達到約 7% ；因此，此次實驗分別取吳郭魚背部白肉不同厚度的魚肉切片（ $50\text{mm}\times 20\text{mm}\times T\text{mm}$ ；其中最長方向為順肌纖維走向）， T 分別為 $2\text{-}3\text{mm}$ 、 5mm 、 8mm 及 10mm 。進行 20°C 及 4°C 恆溫儲藏試驗。由實驗結果得知，肉樣置於 20°C 儲藏時，肌纖維的最大收縮率與肉片厚度無關；而肉樣置於 4°C 儲藏時肌纖維的最大收縮率卻會因肉片厚度不同而有所差異，如圖六（fig. 6.）及圖七（fig. 7.）。圖六（fig. 6.）中可觀察出當以 20°C 儲藏時，不同厚度的魚肉切片其肌纖維收縮率均隨著僵直的進行而呈現正比的趨勢，在 24 小時達到肌纖維最大收縮率 4.48% 。而當魚片以 4°C 恆溫儲藏時初期 2 小時內，不同厚度魚片均發生肌纖維快速冷收縮的現象。隨著死後僵直的進行，各實驗組均在 11-12 小時達到最大收縮率。但可觀察出 $2\text{-}3\text{mm}$ 之薄肉片可達全僵直之最大肌纖維收縮率 10% ，其餘 5mm 、 8mm 及 10mm 的肉片只能達到的肌纖維最大收縮率分別為 8.7% 、 7.5% 、 6.7% 。因此由以上實驗結果得知，不同厚度的魚片在 4°C 儲藏實驗中達到全僵直的時間均為相同；但是各實驗組所達到的肌纖維最大收縮率卻各有不同，推論是由於冷卻初期肉樣厚度不同而導致熱傳上的差異所致。為證實以上推論，進一步取不同

厚度吳郭魚魚肉切片(3mm、5mm及10mm)進行熱傳實驗,如圖八(fig. 8.)。發現3mm的魚肉切片其中中心溫度可在短時間內(2.22min)由室溫降至4°C,而5mm及10mm的魚肉切片則各需6.75min及7.83min才能由室溫降至4°C。因此歸結,較厚的魚片在冷卻初期,外層肌纖維已發生冷收縮效應(氫鍵產生、ATP降解),但內層的肌纖維由於溫度與外層仍有差異,因此並未同時被促進引發冷收縮效應。待內層肌纖維達到4°C欲產生冷收縮效應時,由於外層肌纖維中ATP已經大量降解阻礙了內層肌纖維的收縮,故厚度大於3mm吳郭魚魚片在達到全僵直時的肌纖維最大收縮率無法達到10%。

4. 僵直過程中嫩化作用的競爭效應:

當以MTRM觀察吳郭魚魚肉恆溫儲藏過程中肌纖維收縮率的變化時,得知在20°C靜置過程中肌纖維的最大收縮率只能達到4.48%。由實驗結果推論,魚體在20°C靜置過程中,必定產生較以0°C、10°C、15°C恆溫儲藏時更為嚴重的嫩化作用,使得死後僵直所反映出的肌纖維最大收縮率有所不同。故尚需進一步以MTRM進行實驗,期能深入瞭解吳郭魚肌肉在恆溫儲藏過程中嫩化作用的進行。

肆. 計畫成果自評

1. MTRM原型機已依原規劃順利組裝完成,其解析能力及再現性均證明達到預期的標準。
2. 經以吳郭魚背肉肉片進行4°C和20°C的恆溫條件下偵測肌肉長度變化來反應死後僵直的進程。發現在厚度<3mm以下,可避免熱傳的干擾,能有效利用肌肉收縮率,換算出纖維長度僵直度RIfiber的變化,而證明4°C和20°C下達全僵直的時間分別為12和24小時。並得知吳郭魚魚肉存在有冷收縮效應。

3. 將進一步以MTRM測試僵直中嫩化作用進行的程度。並再進行昇溫蒸煮的肉品收縮變化行為之試驗。

伍. 參考文獻

- 陳東輝。1995。吳郭魚死後僵直中嫩化作用對肉品品質的影響。國立臺灣海洋大學水產食品科學研究所碩士論文。
- 蘇崇文,蔡欽泓,龔鳴盛。1996。藉DSC探究青魚魚肉蒸煮過程中變化的應用。食品科學 23(3):434-443。
- 蘇崇文、陳福隆、吳友欽、龔鳴盛。1996。以TRM鑑識青魚死後僵直進程及其在低溫蒸煮加工上的應用。食品科學 23:126。
- 黃壬鍵。1997。吳郭魚肉在常溫儲藏及水煮加工肉質變化。國立臺灣海洋大學水產食品科學系博士論文。
- Bito, M. Yamada, K. Mikumo, Y. and Amano, K. 1983. Studies on rigor mortis of fish-1, Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 109:1833-1839.
- Davey, C.L. and Gilbert, K.V. 1974. The mechanism of cold-induced shortening in beef muscle. J. Food Tech. 9:51.
- Iwamoto, M., yamanaka, H., Watabe, S., and Hashimoto, K. 1987. Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. J. food Sci. 52(6):1514-1517.
- Korhonen, R. W., Lanier, T. C., and Giesbrecht F. 1990. An evaluation of

simple methods for following rigor development in fish. *J. Food Sci.* 55(2):346-348,368.

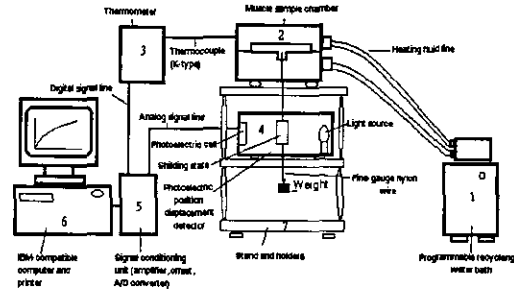
Mutsuyosi, T. Takaharu, Y. Kyung, H. L. Zihua, W. Tosio, M. and Katsuyasu, T. 1998. The influence of Ca^{2+} -ATPase on the speed and pattern of rigor mortis in fish species cultured and wild fish. *Fisheries sci.* 64(1):148-154.

Okitani, A., Kodama, S., Seigemori, S., Ito, T., Nishimura, T., Fukazawa, T. and Kato, H. 1983. The relationship between an optimal condition for cooking of carp "arai" (fresh muscle stiffened by dipping in water) and heat contracture. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 49 : 907-911.

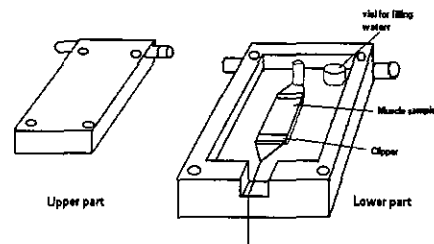
Park, J.W. and Lanier, T.C. 1988. Calorimetric changes during development of rigor mortis. *J. Food Sci.* 53 : 1312.

Watabe, S., Hwang, G. C., Ushio, H., Hatae, K., Yamanaka, H. and Hashimoto, K. 1990. Acceleration of physicochemical change in carp muscle by washing in either chilled or heated water. *J. Food Sci.* 55:674-677, 692.

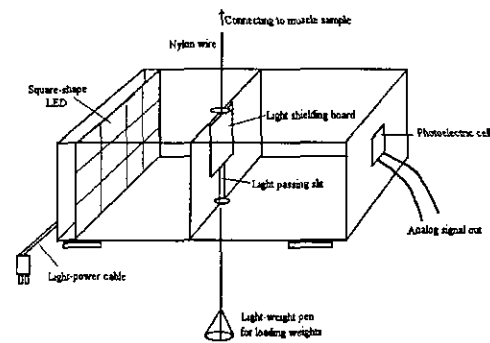
Wright, D.J., Leach, I.B. and Wilding, P. 1977. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins. *J. Sci. Food Agric.* 28 : 557.



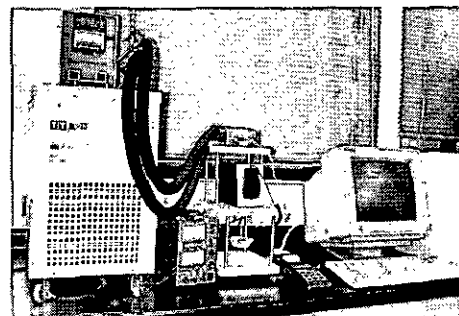
圖一.配置乾式樣品槽的MTRM原型機結構圖
Fig. 1. Construction framework of the proto-type MTRM.



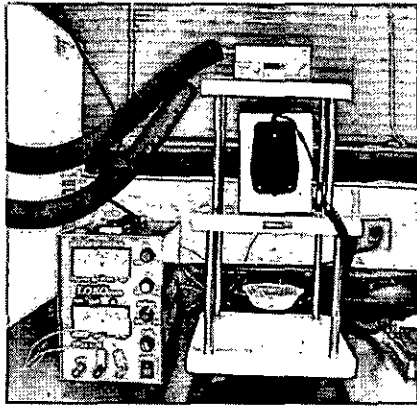
圖二. MTRM 乾式樣品槽組裝細部圖
Fig. 2. Sample chamber assembly of the proto-type MTRM



圖三. MTRM 光電位移偵測器組裝細部圖
Fig. 3. Photoelectric position displacement (PPD) detector assembly of the proto-type MTRM.

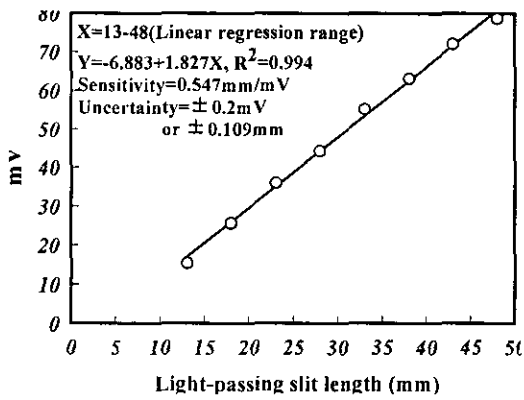


圖四 A. MTRM 原型機照片
Fig. 4A. Photography of the proto-type MTRM



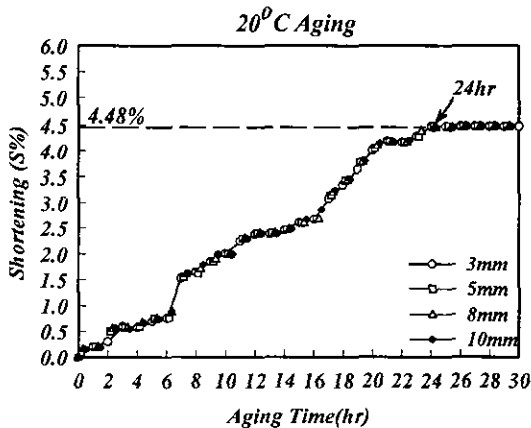
圖四 B.配置乾式樣品槽及光電位移偵測器 MTRM 照片

Fig. 4B. Photography of "Dry sample chamber" and "Photoelectric displacement detector" compartments



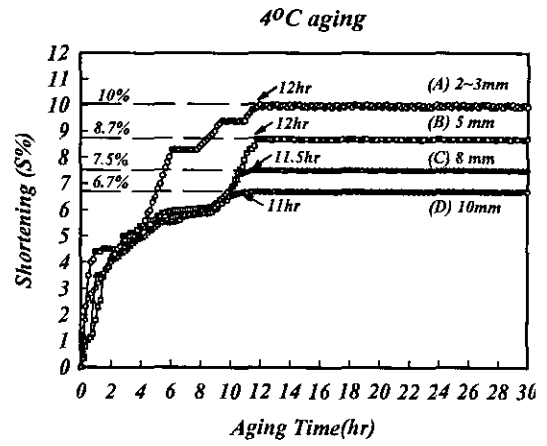
圖五. MTRM 原型機之光電位移偵測器其內光透過狹縫量 and 光電感應二極體對應產生電壓的標準曲線圖

Fig. 5. The standard curve plot of photocell sensing voltage(mV) against length of light passing slit(mm) of the proto-type MTRM.



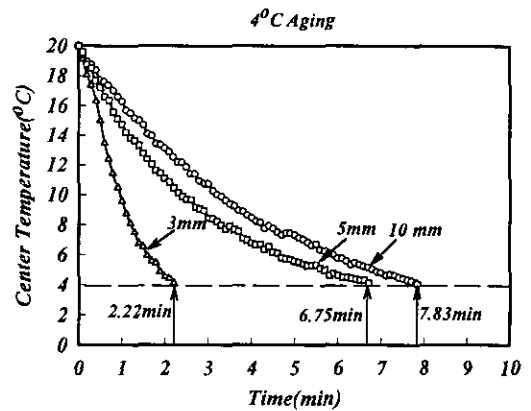
圖六. 不同厚度吳郭魚背肉於 20°C 靜置肌纖維收縮率 (S%) MTRM 圖譜

Fig. 6. MTRM shortening of tilapia dorsal muscle effected by different sample thickness, during postmortem aging at 20°C with external loading of 1.0g.



圖七. 不同厚度無郭魚背肉於 4°C 靜置肌纖維收縮率 (S%) MTRM 圖譜

Fig. 7. MTRM shortening of tilapia dorsal muscle effected by sample different thickness, during postmortem aging at 4°C with external loading of 1.0g.



圖八. 4°C 靜置不同厚度吳郭魚片中心溫度變化 Fig. 8. Changes of the center temperature of different thickness fillet during 4°C aging.