

# 經一氧化碳氣體處理之鮪肉在冰藏及凍藏 過程中品質的變化

周照仁<sup>1\*</sup> 謝蘋萍<sup>2</sup> 蔡美玲<sup>1</sup> 朱玉灼<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立高雄海洋技術學院

<sup>2</sup> 省立成功商業水產高級職業學校

## 摘 要

將大目鮪魚肉片(8×6×2 cm)先經一氧化碳(CO)氣體處理5天之後，再與對照肉於0℃下冰藏7天或於-20℃下凍藏6個月，探討鮪魚肉片之表層(表面2 mm厚)、中層(表面下2~4 mm厚)及深層(表面下4~6 mm厚)各部位的氧化型肌紅蛋白比例(metMb%)、色澤及CO殘存量之變化。結果顯示CO氣體處理肉在冰藏7天的過程中，其表、中、深層部位的metMb%有略微上升之現象，但均維持在10%以下；但對照肉之中、深層部位的metMb%於冰藏前即高達50%，且明顯較表層部位之40%為高，但三者冰藏過程中均呈微幅之增加。鮪肉的Hunter L, a, b值顯示，不論表、中、深層部位，CO氣體處理肉之+a值明顯較對照肉為高。鮪肉中的CO殘存量會在冰藏中急速下降，中、深層部位在冰藏7天後無法檢出CO的殘存量。至於CO氣體處理肉在凍藏6個月的過程中，metMb%幾乎維持定值，而對照肉之metMb%則在凍藏中逐漸上升，可高達40~60%，+a值則在凍藏中由11下降至5。鮪肉之表層及中層部位的CO殘存量在凍藏初期有下降之現象，其後則維持定值，深層部位的CO殘存量在凍藏中無明顯之變化。

**關鍵詞：**鮪魚，一氧化碳，氧化型肌紅蛋白，凍藏，冰藏。

## 前 言

超低温冷凍鮪魚係指漁船將鮪魚於-50~-60℃的溫度下凍藏，由於此等超低温冷凍鮪魚在解凍之後會快速褐變<sup>(1,2)</sup>，因此有部份業者嘗試以一氧化碳(CO)氣體在解凍後處理鮪魚淨肉，其方式為將鮪肉切成長約15 cm，寬約6 cm，厚約2 cm之塊狀，再放入大型塑膠袋中，灌入CO氣體，經24~48 hr後取出魚肉塊加以包裝再冷凍。使用CO氣體處理鮪肉可使鮪肉色澤呈現較為漂亮之鮮紅色，即使再以-20℃凍藏的方式或以0℃冰藏的方式流通銷售，也可保有較長之商品期限。甚至有業者，

亦將冰藏的鮪魚也同樣使用CO氣體處理之後，再用冷藏或凍藏的方式銷售。

CO氣體對於血紅蛋白(hemoglobin, Hb)及肌紅蛋白(myoglobin, Mb)均具有極強的親和力，為氧氣的250倍<sup>(3)</sup>，所以極易取代Hb、Mb中的氧氣而形成CO型Hb(HbCO)或CO型Mb(MbCO)，並且一旦形成後則不易氧化成褐色之氧化型Mb(metMb)，因此較與空氣接觸後所產生的紅色氧合型Mb(MbO<sub>2</sub>)更為安定。

當以CO氣體處理鮪肉塊時，CO氣體滲入鮪肉中的速度相當緩慢，需要4~8 hr才能滲透到表面下4~6 mm之深層肉部位<sup>(4)</sup>；而

Journal of Food and Drug Analysis. 1998. 6(3)

且，在處理厚度 1.5 ~ 2 cm 之鮪肉塊時，其深層肉的 CO 含量約在 48 hr 後即幾乎維持定值，不再繼續增加<sup>(5)</sup>。另一方面，有研究<sup>(6,7)</sup>指出魚肉以 CO 氣體處理後，會在爾後冷藏的過程中逐漸減少其 CO 之含量。Watts *et al.*<sup>(8)</sup>曾以 1% CO 氣體在 5°C 下處理碎牛肉 3 天，然後排除 CO 後施以氣密包裝，則其肉中之 MbCO 濃度在同樣溫度下貯藏 3 天時會減少二分之一。日本厚生省<sup>(9)</sup>所訂定之冷凍魚肉片 CO 殘存量的檢驗方法中也有規定，魚肉供試液在冷藏兩天後，其 CO 殘存量若較零天者為低，即表示魚肉曾經以 CO 氣體處理過。因此，雖然 CO 氣體與 Mb、Hb 有較強的親和力，但經 CO 氣體處理過之魚肉，在 CO 不存在的狀況下，反而會有 CO 再度自魚肉（或溶液）擴散出來之現象。至於 CO 氣體處理過之紅色肉在冷凍貯藏過程

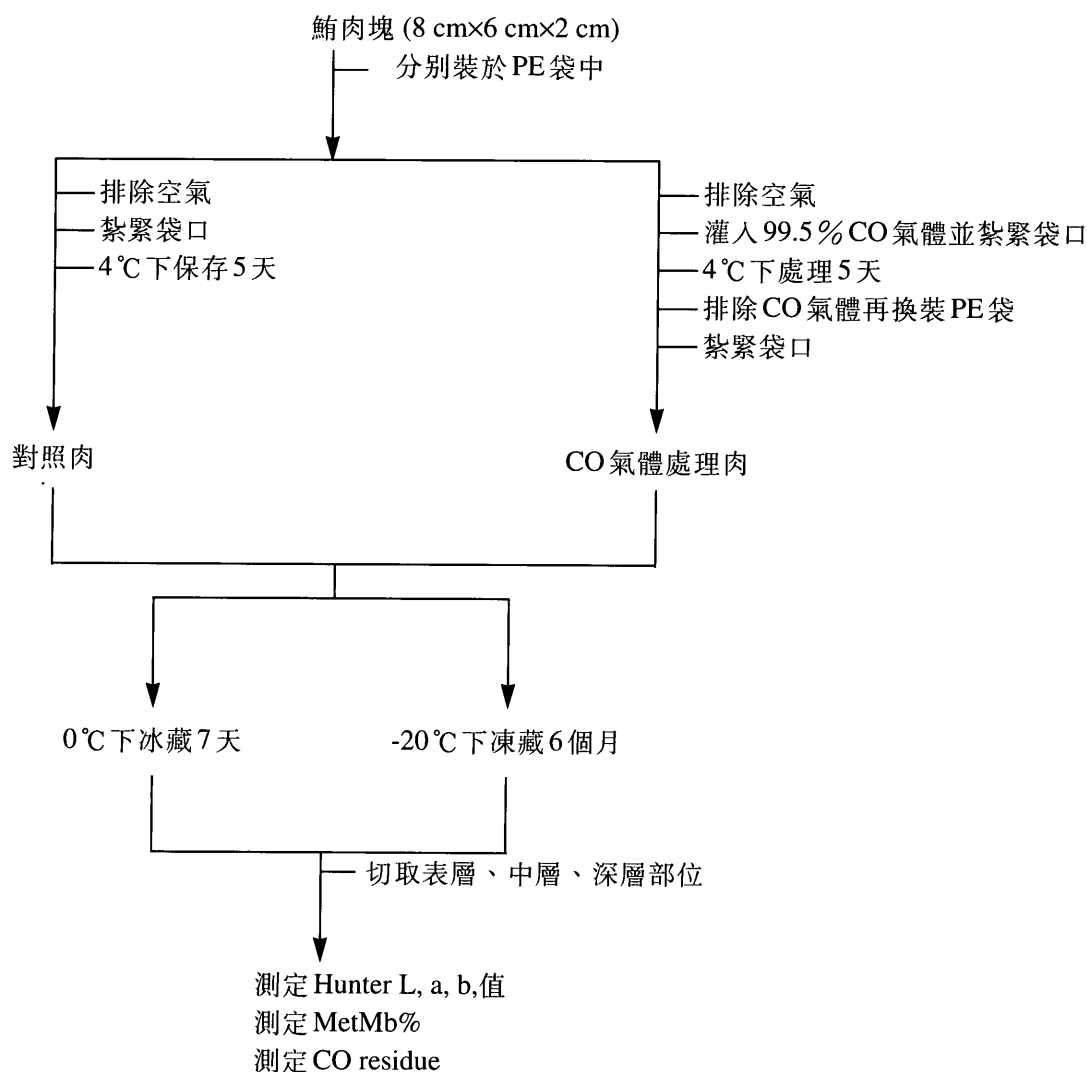
中之變化則無任何文獻可供參考。

本研究為瞭解經 CO 氣體處理過之魚肉，在除去 CO 氣體後包裝並於貯藏過程中，其魚肉品質與 CO 殘存量之變化，因此以大目鮪魚肉片為材料，經過 CO 氣體充分處理之後，再於 0°C 冰藏 7 天或於 -20°C 下凍藏 6 個月，探討肉中的 CO 殘存量以及比較鮪肉的顏色與氧化型肌紅蛋白比例（metMb%）之變化，以瞭解 CO 處理之鮪肉在冰藏及凍藏過程中之品質變化。

## 材料與方法

### 一、材料

本實驗所用之鮪魚均購自東港漁市場。將



實驗流程圖

Journal of Food and Drug Analysis. 1998. 6(3)

新鮮且未經冷凍的大目鮪 (*Thunnus obesus*) 重量約 30~40 kg，於現場購買後，將魚體放入大採樣箱中，覆以大量碎冰保持魚體溫度，立即運回研究室 (車程約 1hr)。魚體在研究室內，立即予以除臟、去頭、去骨、剔除血合肉，以靠近脊椎骨顏色較紅且較均勻之普通肉部位供做實驗用材料。魚體先沿中骨及側腺將魚肉切成四大塊，每大塊再切成 10 cm 一段之魚段塊，先切除皮下部位顏色較淺之魚肉，最後沿著體軸方向輪切成厚度 2 cm 之魚肉塊，所得魚肉塊之大小約 8 cm、寬約 6 cm、厚約 2 cm。將每塊魚肉片分別以 PE (polyethylene)

袋包裝後排於鐵盤，置於 -60°C 的超低温冷凍櫃中，使其迅速凍結，經過 36 小時後予以脫除鐵盤，任取 2 塊為一組予以分裝，再置於 -60°C 冷凍櫃中保存，隨時供下列實驗之用。使用前，魚肉片連同包裝袋置於流水中解凍，至完全解凍後使用。

## 二、方法

本實驗之架構如「實驗流程圖」，分述如下。

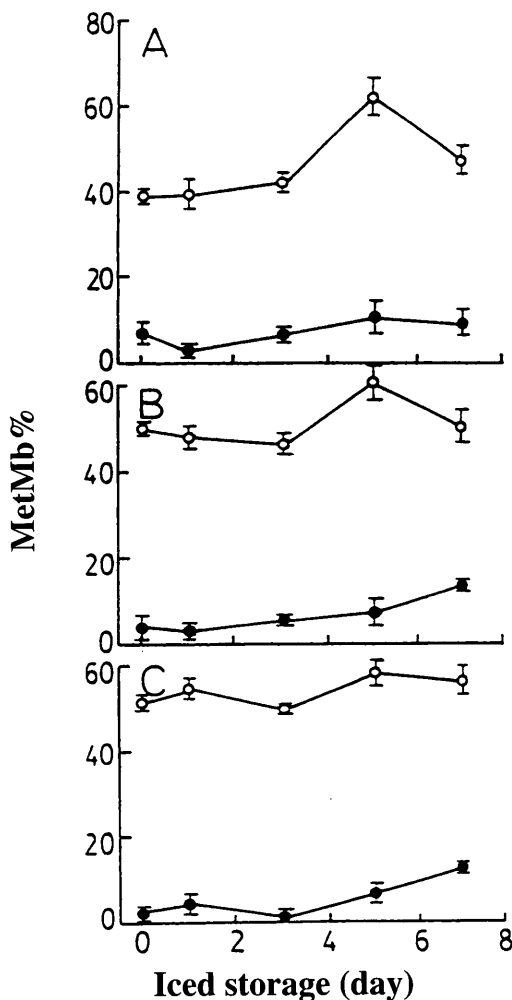
### (一)以 CO 氣體處理鮪肉片

將完全解凍之鮪肉片，以輪切面朝上之方式平鋪置於乾淨之 PE 袋 (19.5 × 14.8cm) 中，每袋放置二塊鮪肉，先排除袋中之空氣後，將 CO 氣體以細管插入袋子底部，使袋子充滿氣體後抽出細管，以橡皮筋紮緊袋口。為防 CO 氣體滲漏，其外再套二層 PE 袋，同樣以橡皮筋紮緊袋口。將袋子置於鐵盤上並於已舖有碎冰的保溫箱中保存，將保溫箱再置於冷房 (4°C) 中，隨時注意添加碎冰以保持鮪肉溫度在 4°C 以下。鮪肉片在袋中以 CO 氣體處理時，每隔 10~12 hr 翻面一次，使 CO 氣體能充分滲透，經 5 天處理之後取出供下列冰藏及凍藏實驗之用。

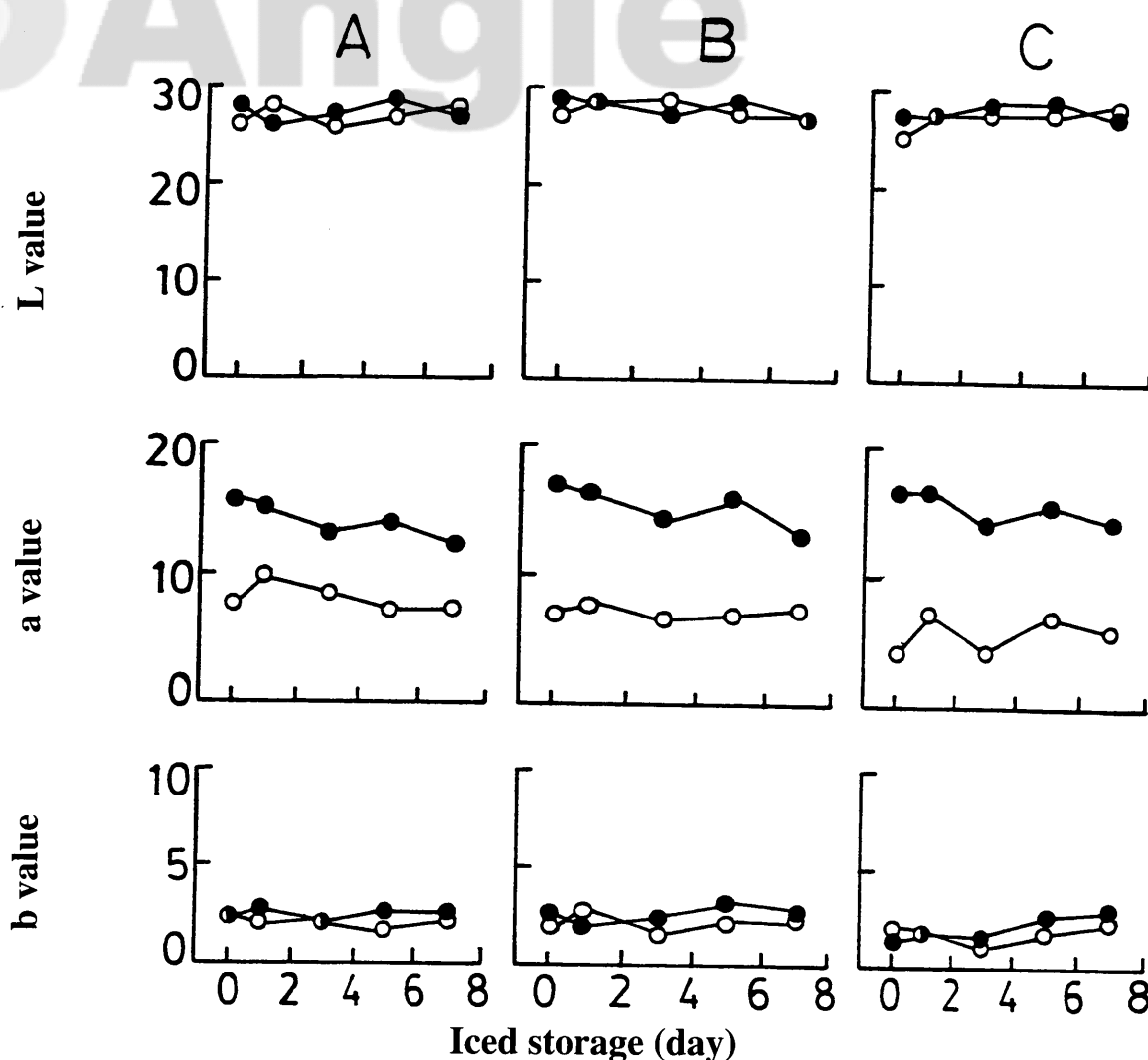
### (二)鮪魚片之冰藏及凍藏

取未經 CO 氣體處理過之對照組鮪肉片 (同樣在 4°C 以下放置 120 hr) 及經 CO 氣體處理 5 天之實驗組鮪肉片同時進行冰藏或凍藏實驗。魚肉之冰藏實驗係任取 2 塊鮪肉片為一袋，分裝成數袋後，同樣以 PE 袋包裝，擠出空氣後束緊袋口，於碎冰中貯存，定期添加碎冰及採樣。進行凍藏實驗時，同樣以 2 塊為一袋，將數袋鮪肉片先於 -60°C 凍結 36 hr 之後，改於 -20°C 冷凍櫃中凍藏並定期採樣。

魚肉片之採樣，冷凍者連同 PE 袋先於流水中完全解凍，冰藏者則直接進行處理。依照前報<sup>(4)</sup>由外而內分別切取表面約 2 mm 厚 (表層肉)、表面下約 2~4 mm 厚 (中層肉) 及表面下約 4~6 mm 厚 (深層肉) 之三層肉片做為分析魚肉之色澤、氧化型肌紅蛋白比例 (metMb%) 及 CO 殘存量之用。



**Figure 1.** Changes in metMb formation in the surface (A), middle (B), and inner layers (C) of big-eye tuna fish steaks during iced storage for 1 week. Symbols used; ○, untreated; ●, tuna steak treated with CO gas for 5 days, A, 2mm layer from surface; B, thickness 2~4mm and C, 4~6 mm from surface. (n=3)



**Figure 2.** Changes in Hunter's color tristimulus values of the surface (A), middle (B), and inner layers (C) of bigeye tuna steak during iced storage for 1 week. Symbols used: ○, untreated; ●, tuna steaks treated with CO gas for 5 days. Refer to the legend in Figure 1. (n=2)

(三) 鮪肉片顏色之測定

同前報<sup>(4)</sup>之方法

(四) 鮪肉片中氧化型肌紅蛋白比例 (metMb%) 之測定

同前報<sup>(5)</sup>之方法

(五) 鮪肉片中 CO 殘存量之測定

同前報<sup>(10)</sup>之方法

一、鮪肉片在冰藏過程中之變化

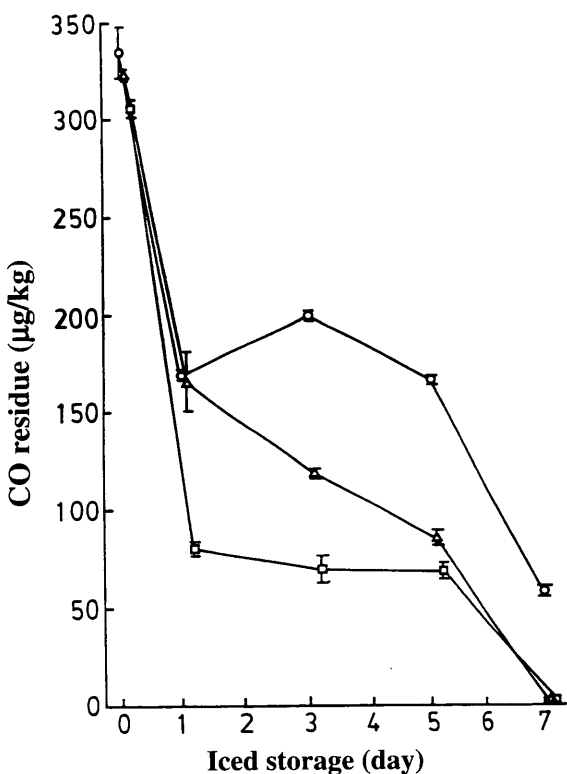
將 CO 氣體處理 5 天之大目鮪魚肉片及同樣條件貯藏 5 天但未以 CO 氣體處理之對照肉，於 PE 袋包裝下，在 0°C 冰藏 1 週，冰藏期間將鮪肉片之表層、中層及深層肉分別切下測定其 metMb% 及色澤之變化，結果如圖一及圖二所示。

圖一顯示冰藏 0 天之鮪肉片的 metMb% 即有明顯之差異，對照肉之表層部位的 metMb% 已達 40%，中層及深層部位的 metMb% 更高達 50%，而處理肉的 metMb% 均在 10% 以下。在冰藏 7 天之過程中，對照肉及處理肉之表層、中層及深層等部位之 metMb% 均有持續緩慢上

結果與討論

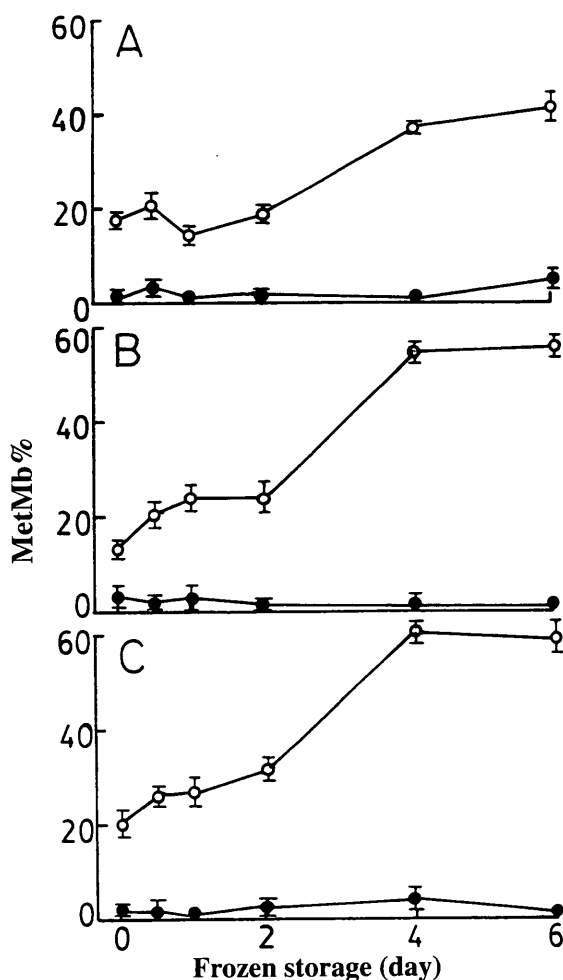
升之現象，顯示可能鮪肉片外圍之CO氣體一旦除去之後，鮪肉片中之MbCO型的量無法繼續維持，會在冰藏過程中將CO再擴散出來，因此Mb便會開始進行氧化而使metMb%逐漸上升，尤其中層及深層部位似有metMb%上升較快之趨勢，其原因可能與肉中之CO向外擴散有關。圖二則為冰藏1週期間，鮪肉片之表層、中層及深層肉之Hunter L、a、b值的變化。其結果顯示L值與+b值在冰藏中均無明顯變化，且對照肉與處理肉之間無明顯差異；但+a值則處理肉明顯高於對照肉，且兩者在冰藏中均有逐漸下降之趨勢，亦即魚肉塊之紅色度會逐漸減退，與圖一之結果互為對應。惟，處理肉在冰藏7天後仍呈現極為鮮紅之顏色。Brewer *et al.*<sup>(11)</sup>將小牛肋排以CO處理30 min再真空包裝後冷藏8週，發現+a值在貯藏中亦有緩緩下降之現象。本研究之結果與彼等的發現極為相似。

尾藤<sup>(12)</sup>曾經發現鮪魚肉在室溫下放置

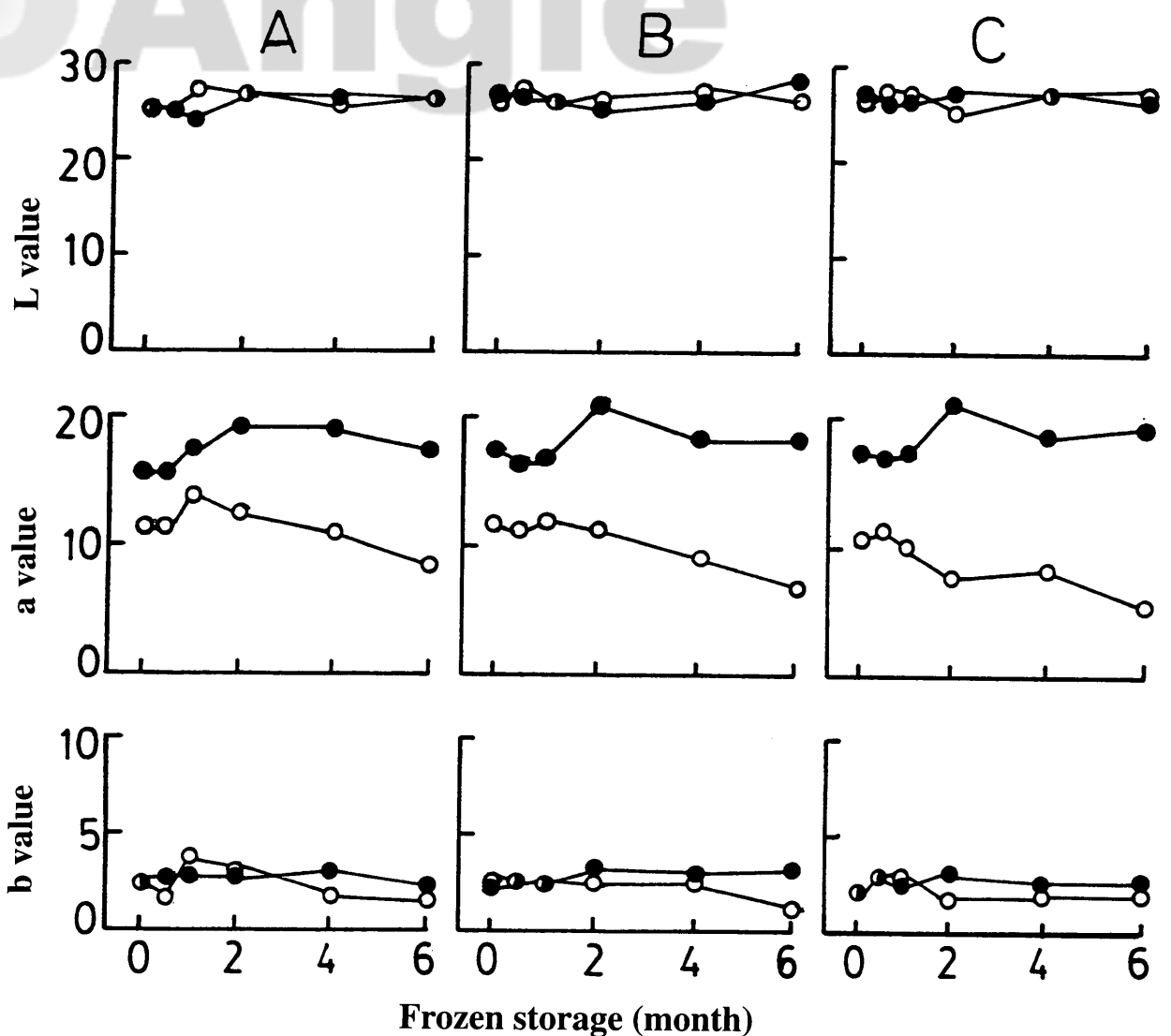


**Figure 3.** Changes in CO residue in the surface (○), middle (△), and inner layers (□) of bigeye tuna steaks during iced storage for 1 week. Tuna steaks were treated with CO gas for 5 days, and then subjected to iced storage. Refer to the legend in Figure 1. (n=3)

時，其外表顏色在1至2日內即會迅速地發生褐變，隨著放置溫度的降低，其褐變速率亦隨之減緩。Chow *et al.*<sup>(13)</sup>也曾經發現如將鮪魚肉以0~-3°C的超冷卻法 (super-chilling) 貯藏，則-3°C下保存者之保持期限較0°C保存者幾乎可以延長一倍。本實驗之對照肉在4°C下的5天放置過程中，表層肉之metMb%已上升至40%，而中、深層肉之metMb%更高達50%左右。尾藤<sup>(14)</sup>也發現鮪肉在2°C下放置解凍時，會有深層肉較表層肉容易褐變之現象。顯示本實驗之對照肉在未經CO處理的5天放置過程中發生「黑心現象」，而以CO氣體處理5天者則仍維持近似原先魚肉之顏色狀態。至於在其



**Figure 4.** Changes in metMb formation in the surface (A), middle (B), and inner layers (C) of bigeye tuna steaks during frozen storage at -20°C for 6 months. Symbols used: ○, untreated control; ●, tuna steak treated with CO gas for 5 days. Refer to the legend in Figure 1. (n=3)



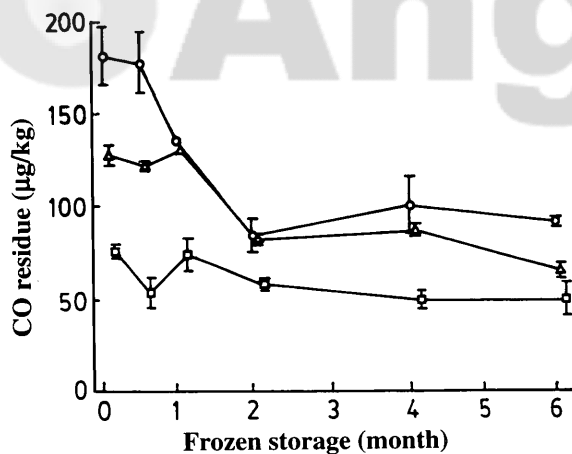
**Figure 5.** Changes in Hunter's color tristimulus values of the surface (A), middle (B), and inner layers (C) of bigeye tuna steak during frozen storage at  $-20^{\circ}\text{C}$  for 6 months. Symbols used: ○, untreated control; ●, tuna steak treated with CO gas for 5 days. Refer to the legend in Figure 1. (n=2)

後的冰藏7天過程中，兩者之 metMb% 則僅有微幅之上升。

將經 CO 氣體處理 5 天之鮪肉片於  $0^{\circ}\text{C}$  下冰藏 7 天，其表、中、深層肉之 CO 殘存量變化如圖三所示。冰藏 1 天之鮪肉其 CO 殘存量即迅速下降，表層與中層肉之 CO 殘存量為原來之半，而深層肉之 CO 殘存量則只剩不到原來的三分之一；若繼續冰藏則三層肉之 CO 殘存量持續下降，經過 7 天之冰藏，鮪肉的中、深層部位已不復檢出 CO，而表層肉亦僅剩  $60\ \mu\text{g}/\text{kg}$ 。此結果顯示滲透進入鮪肉中之 CO，在魚肉外圍沒有 CO 氣體的狀態下會再度

擴散出來，因此鮪肉中之 CO 殘存量會在冰藏中逐漸減少。惟，檢視冰藏 7 天之鮪肉內、外部的色澤仍呈鮮艷之紅色，顯示鮪肉內部並未因 CO 濃度減少而發生明顯褐變。

Gee 和 Brown<sup>(15)</sup> 曾經報導牛肉中之 MbCO 在正常氣壓下貯藏的半衰期為 2.1 天。阿部等<sup>(6)</sup> 曾經指出魚肉供試液中之 CO 濃度會隨著冷藏時間延長而下降；石綿等<sup>(7)</sup> 也發現鮪肉與吳郭魚肉均質液之 CO 濃度均有隨放置日數延長而降低之現象；顯示 CO 雖與 Mb 有強的結合能力，但仍會在貯藏中擴散出來。本研究中圖三之結果也顯示鮪魚肉片中之 CO 在冰藏過程



**Figure 6.** Changes in CO residue in the surface (○), middle (△), and inner layers (□) of bigeye tuna steaks during frozen storage for 6 months. Fish steaks used were treated with CO gas for 5 days, and then subjected to frozen storage. Refer to the legend in Figure 1. (n=3)

中也同樣有自肉片再擴散出來之現象，在7天後，中、深層肉甚至不再檢出CO。前報<sup>(4)</sup>中曾經發現即使以CO氣體處理鮪肉塊120 hr，也無法自鮪肉中得到MbCO特有之吸收光譜，顯示CO氣體在擴散進入鮪肉中與肌漿中Mb結合時，可能係屬於較為疏鬆之結合，或為可逆性之結合。若再與本研究之結果合併來看，則似乎更可以印証CO氣體在擴散進入鮪肉與Mb結合時之型態有別於MbCO之正常結合狀態<sup>(4)</sup>。

## 二、鮪肉片在凍藏過程中之變化

將CO氣體處理5天之鮪肉片及對照肉改於-20℃凍藏時，則在凍藏半年的期間內，處理肉之表、中、深層部位的metMb%均維持在5%以下(圖四)，而對照肉則在-20℃凍藏初期的2個月僅呈微幅上升，但在2個月之後呈大幅之上升，表層肉由20%上升至40%，中層及深層肉則分別由25%及30%上升至57%及60%，產生明顯的冷凍褐變現象，尤其中層及深層部位之metMb%明顯高於表層肉之metMb%，有所謂「黑心現象」<sup>(16,17)</sup>。顯示以CO氣體處理鮪肉可以有效抑制-20℃凍藏時之冷凍褐變之產生。至於凍藏期間鮪肉片顏色之變化如圖五所示，L值與+b值在凍藏期間幾乎維持定值，且對照肉與處理肉之間無明顯差異，但+a值則顯示對照肉有明顯隨凍藏時間而

逐漸下降之現象，由11下降至5；而處理肉之+a值則維持不變。

當鮪肉在-18℃下凍藏時，魚肉會在凍藏2~6個月後發生冷凍褐變<sup>(17,18)</sup>，而且有部份樣品會產生「黑心現象」。鮪肉必須以-40~-60℃的超低溫方能抑制其凍藏中之褐變<sup>(17,19)</sup>。因此經CO氣體處理之鮪肉的確有延長非超低溫冷凍之鮪肉的商品期限(shelf-life)之效果。

CO氣體處理過之鮪肉在凍藏中，即使絕大部份的水分已凍結成冰，但表層肉及中層肉之CO殘存量在凍藏初期2個月仍有逐漸下降之趨勢(圖六)，其後則幾乎維持一個定值，約為原來的一半；至於深層肉之CO殘存量在凍藏6個月的過程中幾乎無明顯之下降。此結果顯示經過CO氣體處理之鮪肉，一旦施以凍結貯藏，則只有靠近表、中層部位之魚肉中的CO會再擴散出來，但其減少量約為一半，而較深層部位肉之CO則不易再擴散出來。顯示凍結會妨礙深層部位肉之CO向外擴散，因此也可以有效地防止鮪肉在-20℃的凍藏中產生「黑心現象」。

由圖四、五、六之結果可以得知，CO氣體處理肉在凍藏中甚為安定，即使於-20℃凍藏半年也可以維持色澤安定並使metMb%不致增加，而鮪肉表層中的CO殘存量則會有因向外擴散而減少的現象。日本厚生省<sup>(9)</sup>訂有鮪肉片中CO的殘存量為100 µg/kg的檢出上限規定。因此，鮪肉若以冷凍方式貯存，則除了表、中層部位外，原有鮪肉深層中之CO將繼續被保存於深層部位，顯示鮪肉在以CO氣體處理時，必須控制處理的時間，以免肉中之CO殘存量過高。

比較CO氣體處理過之鮪肉在凍藏與冰藏時之差別，則在冰藏過程中鮪肉有metMb%緩慢增加及魚肉褐變之現象。而在凍藏過程中，鮪肉metMb%與色澤幾乎維持不變，顯示CO氣體處理肉以凍藏法較為合宜。

綜合以上結果可以得知，若欲使用CO氣體來保持鮪肉之色澤，為了避免被檢測的鮪肉中有超量之CO殘存，則CO氣體處理的時間不宜太長；此外，在CO氣體處理過後不宜立刻包裝，宜讓鮪肉表層部位之CO能有時間再擴散出來，以減少鮪肉中CO之殘存量；包裝後的鮪肉如果以冷藏或冰藏方式保存，則CO會再度由肉中擴散出來，若以冷凍方式保存，則除了表、中層部位肉之CO會略微擴散出來

Journal of Food and Drug Analysis. 1998. 6(3)

外，深層部位肉的CO則大致維持不變，業者必須加以留意。

## 誌 謝

本研究計畫承行政院農業委員會補助全部經費，計畫編號為85科技-1.9-糧-37，實驗期間承劉素梅小姐之協助，使實驗得以順利完成，僅此一併深致謝忱。

## 參考文獻

1. Chow, C. J., Ochiai, Y., Watabe, S. and Hashimoto, K. 1988. Effect of freezing and thawing on the discoloration of tuna meat. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54: 639-648.
2. Chow, C. J., Ochiai, Y., Watabe, S. and Hashimoto, K. 1989. Reduced stability and accelerated autoxidation of tuna myoglobin in association with freezing and thawing. *J. Agric. Food Chem.* 37: 1391-1395.
3. Di Iorio, E. E. 1981. Preparation of derivatives of ferrous and ferric hemoglobin. In "Methods in Enzymology". Vol. 76. pp. 57-72. Academic Press. New York. U. S. A.
4. Chow, C. J., Liu, S. M. and Tsai, M. L. 1997. Characteristics of reaction between carbon monoxide gas and myoglobin in tuna flesh. *Journal of Food and Drug Analysis* 5: 199-206. (in Chinese)
5. Hsieh, P. P., Chow, C. J., Chu, Y. J. and Chen, W. L. 1998. Change in color and quality of tuna during treatment with carbon monoxide gas. *Journal of Food and Drug Analysis* 6: 605-613. (in Chinese)
6. Abe, M., Miyazaki, H., Nagai, Y., Nakajima, M. and Miyabe, M. 1994. Determination of carbon monoxide in dark-fleshed fish by gas chromatography. *Annual Report of Nagoya City Public Health Research Institute* 40: 10-15. (in Japanese)
7. Ishiwata, H., Takeda, Y., Kawasaki, Y., Yoshida, R., Sugita, T., Sakamodo, S. and Yamada, T. 1996. Concentration of carbon monoxide in commercial fish flesh and in fish flesh exposed to carbon monoxide gas for color fixing. *J. Food Hrg. Soc. Japan* 37: 83-90. (in Japanese)
8. Watts, D. A., Wolfe, S. K. and Brown, W. D. 1978. Fate of [<sup>14</sup>C] carbon monoxide in cooked or stored ground beef samples. *J. Agric. Food Chem.* 26: 210-214.
9. Bureau of Life Sanitation, Ministry of Health and Welfare of Japan. 1995. Practice of Carbon Monoxide Inspection in Raw Fishes. Notice of Eika No. 7. Tokyo, Japan. (in Japanese)
10. Chow, C. J., Hsieh, P. P. and Hwang, M. S. 1998. Quantitative determination of carbon monoxide residue in tuna flesh. *Journal of Food and Drug Analysis* 6:439-446. (in Chinese)
11. Brewer, M.S., Wu, S., Field, R.A. and Ray, B. 1994. Carbon monoxide effects on color and microbial counts of vacuum packaged fresh beef steaks in refrigerated storage. *J. Food Quality* 17: 231-244.
12. Bito, M. 1965. Studies on the retention of meat color of frozen tuna-Ⅲ. The discoloration of tuna meat during the storage around at temperature of freezing point. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish* 31: 540-545. (in Japanese)
13. Chow, C. J., Ochiai, Y., Watabe, S. and Hashimoto, K. 1988. Autoxidation of bluefin tuna myoglobin at around freezing point. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54: 473-478.
14. Bito, M. 1970. Studies on the retention of meat color of frozen tuna-Ⅷ. Discoloration of frozen meat during defrosting in water or air. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish* 36: 402-406. (in Japanese)
15. Gee, D.L. and Brown, W.D. 1978. Stability of carboxy myoglobin in refrigerated ground beef. *J. Agric. Food Chem.* 26: 273-274.
16. Chow, C. J. 1989. Effect of package conditions on the discoloration of frozen tuna flesh. *J. Fish Soc. Taiwan* 16: 203-209. (in Chinese)
17. Chow, C. J. 1991. Effect of frozen temperatures on the discoloration of tuna flesh. *J. Fish Soc. Taiwan* 18: 155-164. (in Chinese)
18. Bito, M. 1965. Studies on the retention of meat color of frozen tuna-Ⅱ. Effect of storage



Journal of Food and Drug Analysis. 1998. 6(3)

temperature on preventing discoloration of tuna meat during frozen storage. Bull. Japan Soc. Sci. Fish 31: 534-539. (in Japanese)

19. Hashimoto, K. and Watabe, S. 1983. Changes

in color and water holding capacity of tuna meat during frozen storage. Bull. Japan Soc. Sci. Fish 49 : 203-206.

## Quality Changes during Iced and Frozen Storage of Tuna Flesh Treated with Carbon Monoxide Gas

CHAU-JEN CHOW<sup>1\*</sup>, PING-PING HSIEH<sup>2</sup>, MEI-LIN TSAI<sup>1</sup> AND YUH-JWO CHU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Kaohsiung Institute of Marine Technology, Kaohsiung, Taiwan, R.O.C.

<sup>2</sup> Taiwan Provincial Chen-Kung Commercial and Fishery High School, Taitung, Taiwan, R.O.C.

### ABSTRACT

The bigeye tuna steaks (ca. 8 × 6 × 2 cm), after being treated with carbon monoxide (CO) gas for 5 days, were stored together with the untreated control fish steaks under two different conditions, in ice at 0 °C for 7 days and frozen stored at -20 °C for 6 months. For each storage condition, the changes in metmyoglobin formation (metMb%), color appearance and CO residue in the surface layer (2 mm thick), the middle layer (2~4 mm from surface) and the inner layer (4~6 mm from surface) of the CO gas-treated and the control were measured and compared. The results revealed that, during the 7-day ice storage period, the metMb% values in the three layers of the CO gas-treated tuna steak increased gradually, but all remained below 10%. For the control, the metMb% in the middle and inner layers were as high as 50% before storage, obviously being higher than that of the surface layer, but increased only slowly in all three layers throughout the iced storage.

In views of the measured tristimulus color values (Hunter L, a and b) among the three layers of tuna steaks, the +a value of the CO gas-treated steak was lower than that of the control. The amount of the CO residue in the CO gas-treated steak decreased drastically during iced storage and became undetectable in both the middle and the inner layers after 7 days of storage.

In the case of frozen storage at -20 °C for 6 months, the values of metMb% and Hunter a for CO gas-treated steak remained almost constant, whereas the value of metMb% of control increased gradually up to 40~60% while the +a value decreased from 11 to 5. The CO residue in the surface and middle layers decreased during the early stage of the six-month freezing storage followed by no apparent change. There was no apparent variation in CO residue in the inner layer of tuna steak throughout the frozen storage.

**Key words:** tuna, carbon monoxide, metmyoglobin, frozen storage, iced storage.