

近紅外光譜技術應用於吳郭魚鮮度檢測之研究

蘇憲芳 · 葉駿達 · 蔡慧君*

行政院農業委員會水產試驗所水產加工組

摘要

吳郭魚為國內大宗養殖物種之一，年產量約 60,000 mt，同時也是餐桌上常見的佳餚之一，因此本研究以尼羅吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 為模式魚，利用近紅外光光譜儀 (Near-infrared spectroscopy, NIR) 分別掃描魚肉及魚皮的 6 個採樣點以蒐集圖譜，並同步檢測揮發性鹽基態氮 (volatile basic nitrogen, VBN)，將分析圖譜與其各別之 VBN 值以 MATLAB 軟體訓練機器來學習判讀辨識魚肉新鮮度，以建立分析模組及作為水產品鮮度之即時檢驗方法。試驗吳郭魚分為三組，(I) 4°C 冷藏 20 hr 組 VBN 平均值為 13.91 ± 3.47 mg%；(II) 37°C 下儲藏 5 hr 組 VBN 平均值為 16.65 ± 3.56 mg%；(III) 37°C 下儲藏 6 hr 組 VBN 平均值為 23.76 ± 3.48 mg%；NIR 光譜及 VBN 分析值利用 MATLAB 軟體串聯支援向量機 (support vector machine, SVM) 加以比對，結果顯示魚肉與魚皮辨識率最高的模型分別為 87.7% 與 88.3%，達良好辨識率 (85%) 水平以上，此分析模組為一快速且非破壞性檢測漁產品鮮度，可作為漁產品供應業者、生鮮超市及團膳供貨業者的自主把關。

關鍵詞：近紅外光譜、揮發性鹽基態氮、鮮度

前言

漁產品自產地、拍賣、運輸、儲存至販售過程中，各階段之低溫流通 (冷鏈) 過程中易因貯運溫度波動或保鮮不當而加速其腐敗，近年偶發部分食材供應商販售過期水產品，造成下游業者與消費者的損失，或甚發生食品中毒事件而危害健康。

水產動物相較陸生動物容易腐敗，原因在於體內酵素作用強，死後易將魚體分解；皮膚、鰓及消化器官易附著細菌；魚體表皮較薄，鱗片易脫落，微生物易侵入；魚肉結締組織少、水含量高，易使細菌作用分解，加上臺灣地處亞熱帶高溫多濕，更易加速魚介類腐敗速度 (蕭, 2008)。

根據 109 年漁業統計年報顯示，吳郭魚年產量約 60,000 mt，為我國養殖產量最高的魚種，全年產值達 27.2 億新臺幣，也常是餐桌上的佳餚之一，其養殖場域分布於全國各地沿海地區，主要產地為臺南市。

揮發性鹽基態氮 (volatile basic nitrogen, VBN) 為漁產品法定鮮度指標之一，而漁產品鮮度為左右品質及售價的關鍵因素，然以傳統法進行鮮度檢驗時，常需進行魚肉破碎、均質、萃取及分析等多個步驟，不僅具破壞性且費時 (約 4 hr)，而近紅外光光譜為一快速 (約 30 - 60 sec/sample)、準確、非破壞性且不需化學處理之分析方法，可藉由圖譜資料庫中數據的累積與結合計算模組來取代傳統鮮度的分析方法以快速鑑別漁產品之新鮮度。

為能有效且即時控管水產品之鮮度與品質，目前已知市售之快速檢測方法如導電度分析，利用魚體隨鮮度下降，電阻抵抗度也下降之原理，推測漁產品之 VBN 值，惟因各種魚種之硬度、壓榨液粘度、眼球液體之折射率差異性大，目前並未實用化 (蔡, 2014)。

近紅外光光譜波長範圍為 700 - 2500 nm 恰為分子內化學鍵結進行振動所需之能量。分子內振動主要來自於 C-H、O-H 及 N-H 等化學鍵，當原子核與化學鍵相連時，將產生振動且於特定波長下吸收光譜而產生波峰 (Liu *et al.*, 2013)。本研究以吳郭魚進行加速腐敗性試驗 (37°C 下貯藏) 並

*通訊作者 / 基隆市中正區和一路 199 號, TEL: (02)2462-2101 ext. 2601; FAX: (02) 2463-2677; E-mail: hjchai@mail.tfrin.gov.tw

定期採樣。另以 4°C 冷藏 20 hr 為控制組，利用近紅外光光譜儀分別掃描魚肉及魚皮以蒐集圖譜，並同步分析 VBN 後，將掃描圖譜與其個別對應之 VBN 值，以 MATLAB 軟體訓練機器學習並串聯支援向量機分析辨識率，以建立分析模組及作為水產品鮮度之即時檢驗方法。

材料與方法

一、試驗用魚

試驗用的尼羅吳郭魚 (*Oreochromis niloticus*) 產地為桃園市八德區埤塘，每尾重約 900 - 1,200 g 共 45 尾，以活魚運輸至新北市淡水區之魚獲批發商處蓄養，經屠宰後，去除魚鱗及內臟，並以自來水沖洗血水及表面黏液，放置於保冷冰桶覆蓋碎冰及保冷劑運送至基隆實驗室，抵達實驗室後，每尾魚處理前再次以自來水沖洗，並以擦拭紙擦乾魚體，以刀具取下魚頭及魚尾，再從魚背鰭部位橫向下刀，以中間骨架為界線慢慢劃開，取下魚片，將所有魚片另一面以同樣方式取下魚片，每尾魚共取下 2 片，區分為 3 組 (30 片/15 尾/組) 分別裝入低密度聚乙烯 (PE) 塑膠袋，於 4°C 儲存 20 hr；及模擬夏季室溫 (37°C) 將魚片放入培養箱分別儲存 5 hr 和 6 hr，以進行加速腐敗試驗。

二、近紅外光光譜品質檢測之圖譜建立

以 VISION 軟體操控近紅外光光譜儀 (Near-infrared spectroscopy, NIR) (型號為 FOSS NIRS 6500, FOSS Company, City of Hilleroed, Denmark)，以光源波長 400 - 2,500 nm 掃描魚片進行光譜分析。因魚體之各部位掃描之光譜圖及 VBN 值均具有細微之差異，故以背、腹、尾部分再進行測定。本實驗魚片樣品背部採集三點 (代號 A、B 和 C)，腹部採集兩點 (代號 P 和 Q) 及尾部一點 (代號 X)，一個魚片總計取六點後，將各部位之採樣點裁切為直徑約 3.5 cm 圓型塊狀 (Fig. 1)，放入石英樣品盒內，其上覆蓋紙墊片，再以 NIR 分別掃描每組樣品之魚肉面及魚皮面。

分析方法採用常態標準離差 (standard normal variate, SNV) 及最小平方偏迴歸 (partial least-squares regressions, PLSR) 進行數據分析。

三、MATLAB 軟體分析

MATLAB (MATrix LABoratory) 係美國 The MathWorks Inc. 研發的數學商用軟體，為高階技術計算語言和互動式環境的直譯器平臺，能透過編寫程式碼、圖形化用戶介面及軟體附加工具箱進行演算法開發、資料視覺化、資料分析及數值計算，搭配軟體包 Simulink 應用於系統模擬、動態/嵌入式系統開發等。

NIR 圖譜及 VBN 數據以 MATLAB 之 Statistics and Machine Learning Toolbox 軟體訓練機器學習並建立模組，MATLAB/Simulink 可模擬非線性動態系統，資料分析及數值經計算後以辨識率呈現分析結果。試驗將樣品之 NIR 光譜圖與 VBN 逐筆輸入軟體並以支持向量機 (support vector machine, SVM) 為模型加以比對，訓練機器學習建立模組。

四、VBN 測定

依據衛生福利部 (2020) 公告訂定之檢驗方法。檢體經蛋白質沉澱後，以康氏微量擴散法 (conway microdiffusion) 分析。取 2 g 細切魚肉，以 2.2% 三氯醋酸定容至 20 ml，充分攪拌混合後，靜置 10 min，以濾紙過濾，供作檢液。取去離子水 2 ml，加入 2.2% 三氯醋酸溶液 18 ml 充分混勻後，依上述步驟操作，供作空白檢液。

於康氏皿之外緣與蓋子之擦合面塗凡士林，將蓋子擱於康氏皿之一邊，露出一半之康氏皿，取硼酸吸收液 1 ml，置於康氏皿之內室，以蓋子掩蓋內室，只讓外室露出，分取飽和碳酸鉀溶液和檢液各 1 ml 置於外室二側，隨即閉蓋。輕輕轉動，使外室內物充分混合。再將康氏皿平放於 37°C 烘箱中，靜置 90 min 後取出，於室溫中以 0.02 N 鹽酸溶液滴定，當內室溶液呈粉紅色時即終止滴定。另取一康氏皿，依上述步驟加入空白檢液 1 ml，進行空白試驗，並依下列計算式求出檢體中 VBN 之含量。

$$\text{VBN (mg\%)} : (C - B) \times f \times 0.28 \times V \times 100 / W$$

C : 檢液之 0.02 N 鹽酸溶液滴定消耗量 (ml)

B : 空白檢液之 0.02 N 鹽酸溶液滴定消耗量 (ml)

f : 0.02 N 鹽酸溶液之力價

0.28 : 每 ml 之 0.02 N 鹽酸溶液相當於 0.28 mg 之 VBN

V：檢體定容之體積 (20 ml)

W：取樣分析檢體之重量 (g)

五、統計分析

本研究使用 SPSS 12.0 統計分析軟體 (Statistical Product and Service Solutions for windows 10) 套裝軟體做單因子變異數分析 (one-way analysis of variance)，並以鄧肯氏多變域測驗 (Duncan's multiple range test) 測定各處理組間之差異，顯著水準設定為 $p < 0.05$ 。

結果與討論

一、吳郭魚儲藏期間 VBN 之變化

VBN 係指魚貝類之蛋白質及其他含氮成分的胺類及氨等產物的總稱，這些生成物在鹼性下具有揮發性，為漁產品鮮度品質中最廣泛使用的一種指標。漁產品在腐敗過程中，因自家消化酵素及細菌的胺基酸脫羧酶 (amino acid decarboxylase) 之作用，使肌肉中的蛋白質被分解為胨肽及胺基酸，隨儲藏時間愈長則持續分解為低分子之含氮化合物如氨及胺類等揮發性物質，且隨貯藏溫度越高，則加快腐敗速度並產生腐敗臭，這些臭味成分主要為氧化三甲胺 (trimethylamine, TMAO) 被還原成三甲胺 (trimethylamine, TMA) 和二甲胺 (dimethylamine, DMA) 等產物；以及尿素被分解成氨而呈腥臭味並導致鮮度變差 (Hebard *et al.*, 1982)。我國對水產品有訂定 VBN 之限量標準，依據衛生福利部食品藥物管理署 110 年 2 月 4 日公告修正之「食品中污染物質及毒素衛生標準」第五條：(1) 鱈科魚類 (大比目魚除外) 限量標準為 30 mg%；(2) 大西洋鮭魚、無鬚鱈科魚類及鱈科魚類限量標準為 35 mg%；(3) 板鰓亞綱魚類 (鯊、鱈/魷) 因肌肉中含多量尿素及 TMAO 故限量標準為 50 mg%；(4) 其他未列之魚類 (一般常見食用之漁產品) 限量為 25 mg%；(5) 生鮮即食水產品限量為 15 mg%。本研究以 25 mg% 作為區分新鮮與腐敗之界限值。

研究將吳郭魚魚片分為三組 (30 片/15 尾/組) 分於 4°C 冷藏 20 hr、37°C 貯藏 5 hr 及 37°C 貯

藏 6 hr 後，再將各魚片取六個採樣點如 Fig. 1 所示，Fig. 1A 及 1B 為魚片取樣前與取樣後，分別為背部三點 (代號 A、B 和 C)、腹部兩點 (代號 P 和 Q) 及尾部一點 (代號 X) 同步以 NIR 於波長 400 - 2500 nm 掃描魚片及測定其 VBN (mg/100g；mg%) 值，其中 VBN 之分析結果顯示，吳郭魚片於 4°C 冷藏 20 hr 各採樣點之 VBN 值 (Fig. 2A) 為 14.55 - 15.21 mg%，背、腹、尾各部位 (N=30) 經統計分析無顯著差異；37°C 下儲藏 5 hr 各部位 VBN 值 (Fig. 2B) 為 16.21 - 17.49 mg%，經統計分析亦無顯著差異。但將吳郭魚片於 37°C 下儲藏 6 hr (Fig. 2C) 其腹部及尾部之 VBN 值分別為 20.76 - 20.77 和 20.59 mg% 顯著比背部高 (18.51 - 19.19 mg%)。另自儲藏溫度及時間探討對魚片鮮度之影響結果發現，吳郭魚片於 37°C/6 hr 組有顯著較高的 VBN 值，其平均值為 23.76 ± 3.48 mg%，次為 37°C/5 hr 組 (16.65 ± 3.56 mg%)，而 4°C/20 hr 則呈現顯著較低的 VBN 平均值為 13.91 ± 3.47 mg% (Fig. 2D)，其外觀亦有明顯差異，控制組之魚肉色澤鮮明 (Fig. 1C) 且具魚肉自然鮮味；於 37°C 下放置 5 hr，肉質顏色稍顯白化且無光澤 (Fig. 1D & 1E) 伴隨少許滴液流出及魚肉烹煮過程之氣味，37°C 續放置 6 hr 氣味則轉變為腐臭味，顯示魚肉的鮮度與儲藏溫度及時間呈現正相關。

另外吳郭魚片於 37°C 下儲藏 6 hr 組之腹部及尾部的 VBN 值顯著較背部高 (Fig. 2C)，推測其原因可能是腹部接觸內臟；尾部肉薄、血合肉比例較高且近肛門口易遭污染致使微生物增殖導致鮮度呈現明顯下降趨勢。魚貝類死亡後，初期變化多由酵素作用引起，隨著細菌侵入繁殖終致腐敗，其間的化學變化甚為複雜，與所有動物一樣都發生在死後硬直階段，惟魚介類硬直現象遠比其他動物快，因此也比畜產品容易腐敗變質 (蕭, 2008)，而 37°C 為大部分微生物之最適生長溫度，儲藏期間易使細菌大量繁殖導致 VBN 值上升，此外影響水產品的質變的因素很多，自生產地、拍賣、運輸、貯藏及販售方式等各環節利用低溫皆能有效減緩酵素活性、化學反應及避免 VBN 值急遽增加，故水產品之貯藏及販售建議多以低溫為主，其中又以冷凍 (-18°C 以下) 為佳。

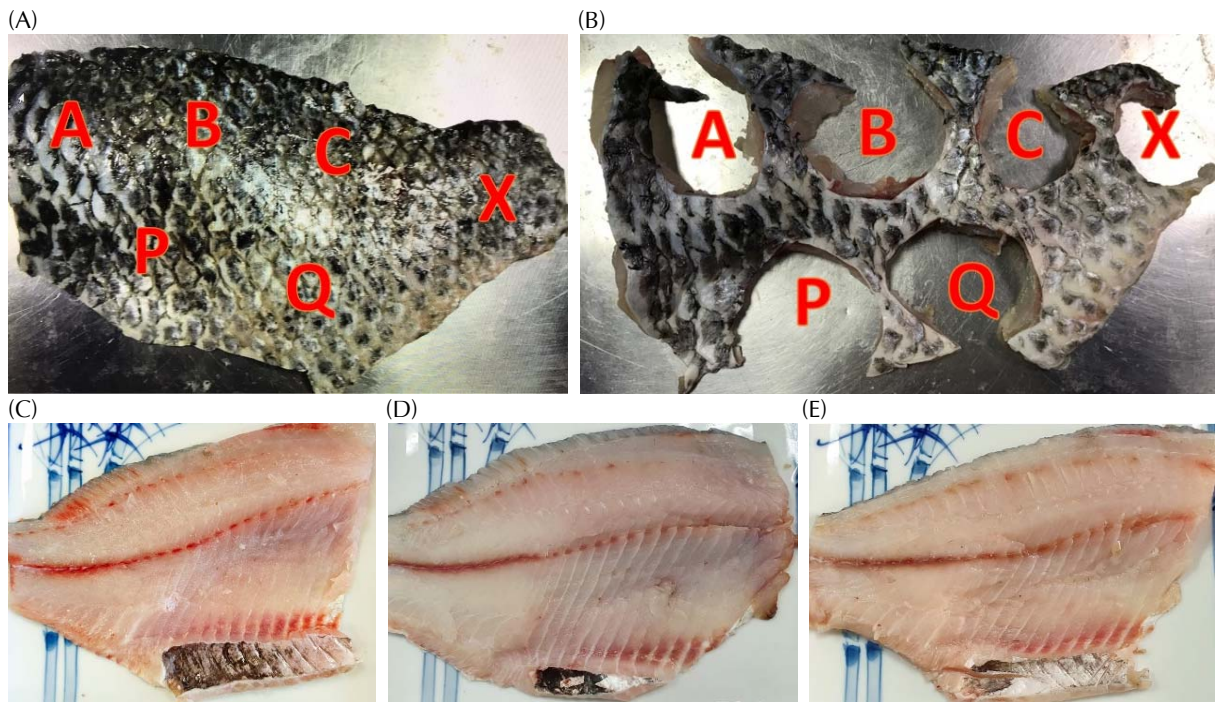


Fig. 1 (A) Fish fillets before sampling; (B) The testing areas of tilapia fillet; the dorsal sampling areas were A, B, and C; ventral sampling areas were P and Q; the tail sampling area was X; (C) Fish fillets refrigerated at 4 °C for 20 hrs; (D) stored at 37 °C for 5 hrs and (E) stored at 37 °C for 6 hrs.

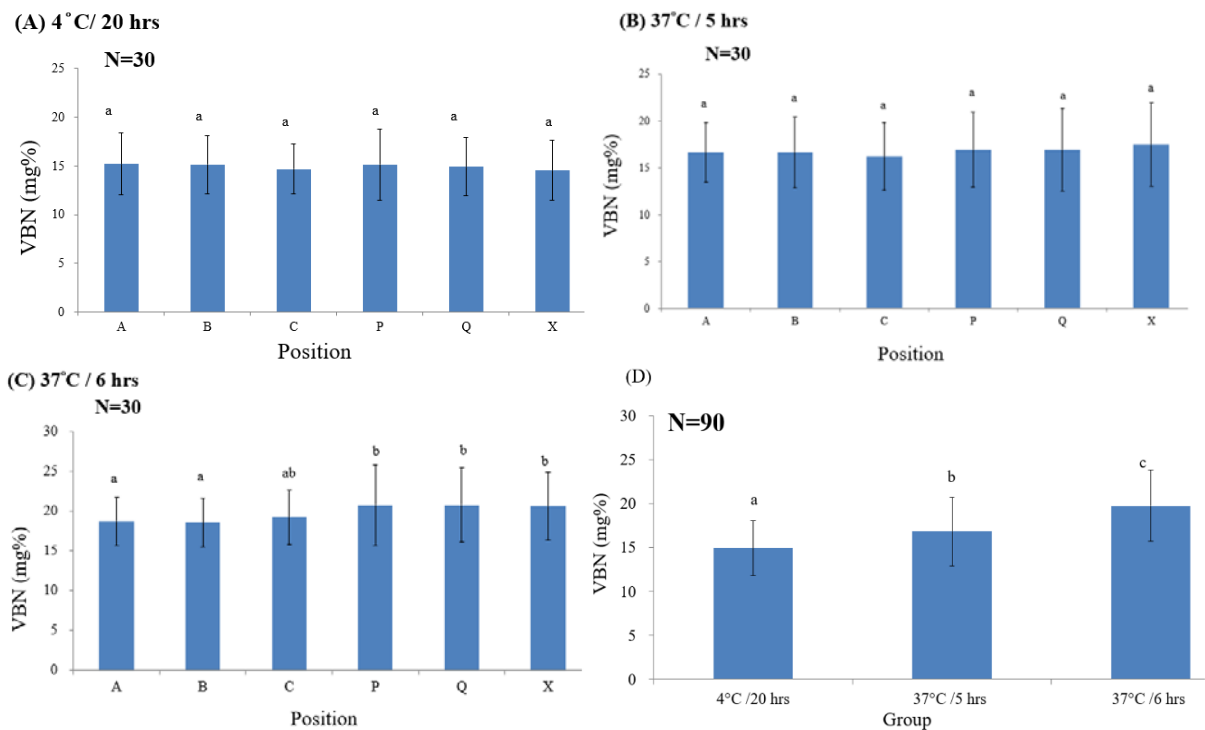


Fig. 2 The volatile basic nitrogen (VBN) value (mg%) of the dorsal (A, B, and C), ventral (P, and Q) and tail (X) sampling areas of tilapia fillet under different storage conditions: (A) refrigerated at 4 °C for 20 hrs; (B) stored at 37 °C for 5 hrs; (C) stored at 37 °C for 6 hrs; and (D) comparison of the three treated groups. Data are shown as mean \pm SD. Different letters above the error bars indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments.

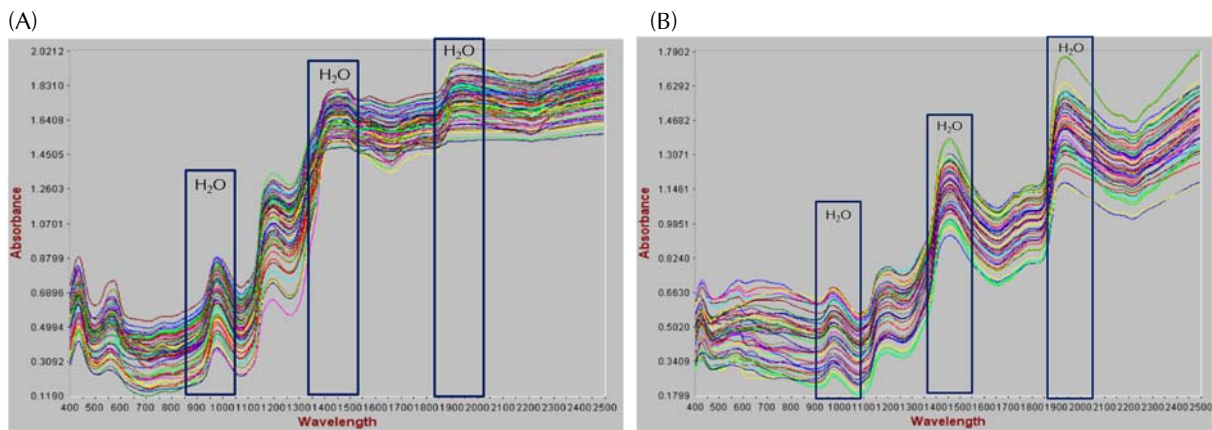


Fig. 3 Near-infrared spectra (N = 1080) of (A) fish-meat sector and (B) fish-skin sector of tilapia.

二、近紅外光譜分析

近紅外光光譜常使用於食品組成分、品質及感官分析 (謝, 2020), 也可用於分析漁產品化學 (如脂質、蛋白質、水分及碳水化合物) 變化、微生物污染程度 (新鮮及腐敗) 及辨識凍結與解凍等 (Liu *et al.*, 2013), 主要優點是樣品不需前處理及萃取等步驟, 操作過程簡單快速, 通常 15 - 90 secs 即可得知結果 (Osborne, 2006)。原理在於以研究物質分子對紅外線輻射的吸收特性, 進而鑑定化合物的一種分析方法, 利用分子發生振動產生紅外線光譜, 而近紅外線光譜儀吸收信號波峰亦因不同官能基而異, 因此 NIR 主要用來偵測有機成分, 而無機成分若與有機成分或水形成鍵結, 且具有 C-H、O-H、N-H 等官能基結構, 亦可被檢出。

漁產品的組成分是水、蛋白質、脂肪、礦物質和維生素等 (Murryay *et al.*, 2001), 新鮮魚肉中水分佔總重量之 66 - 81%, 其 O-H 基在 1,400 - 1,450 nm 和 1,920 - 1,950 nm 會出現吸收波峰; 蛋白質約佔 15 - 20%, 其 N-H 基的吸收波峰出現於 1,560 - 1,670 nm 和 2,080 - 2,220 nm; 脂質主要官能基為 C-H, 則於 1,680 - 1,760 nm 與 2,300 - 2,350 nm 出現吸收波峰 (Wehling, 2003), 故可利用波峰的變化來檢測漁產品品質及鮮度, 所以近紅外光光譜分析為一種客觀且非破壞性的檢驗技術 (Cheng *et al.*, 2013)。

本研究將吳郭魚片的背、腹及尾部個別取樣後, 放置光譜分析槽, 以 VIS/NIR 光譜全波長 (400 - 2,500 nm) 分別掃描各採樣點的魚肉面及

魚皮面, 總計蒐集 1,080 組圖譜 (Fig. 3A 與 Fig. 3B 分別為魚肉面與魚皮面的分析光圖譜), NIR 光圖譜中於 970 nm、1,400 - 1,450 nm、1,920 - 1,950 nm 代表魚肉水分的吸收波峰, 因水分子的 O-H 官能基前述波長會與 NIR 光源振動而產生波峰 (Cheng *et al.*, 2013; Wehling, 2003)。VBN 相關之 N-H 官能基的變化則需以軟體前述波長會與 NIR 光源振動而產生波峰 (Cheng *et al.*, 2013; Wehling, 2003)。VBN 相關之 N-H 官能基的變化則需以軟體輔助判讀, 並於統計軟體中輸入各別光譜圖所對應之 VBN 值, 再以常態標準離差 (standard normal variate, SNV) 進行圖譜數據前處理, 其中魚肉光譜圖與 VBN 實測值利用 PLSR 進行數據分析後, 其實測值與預測值之相關性 (r^2) 為 0.29 (Fig. 4A); 另魚皮面的光譜圖與 VBN 實測值亦進行相同的分析結果顯示, 其 r^2 為 0.38 (Fig. 4B), 此顯示以魚皮面光譜圖所預測的 VBN 與實測值之相關性略高於魚肉面之處理結果, 但仍不足以稱作良好線性關係。

三、圖譜數據以 MATLAB 機械學習

為訓練機器學習辨識新鮮與腐敗的魚肉, 及探討利用魚肉 NIR 光譜圖辨識並預測其 VBN 值, 本研究將吳郭魚片的背、腹及尾部之樣品, 以 VIS/NIR 光譜全波長 (400 - 2,500 nm) 掃描各樣品的魚肉面及魚皮面共製備 1,080 組光譜圖, 再將樣品分析之 VBN 值逐筆輸入 MATLAB 軟體以進行分類分析, 分類標準則依衛福部冷凍食品類衛

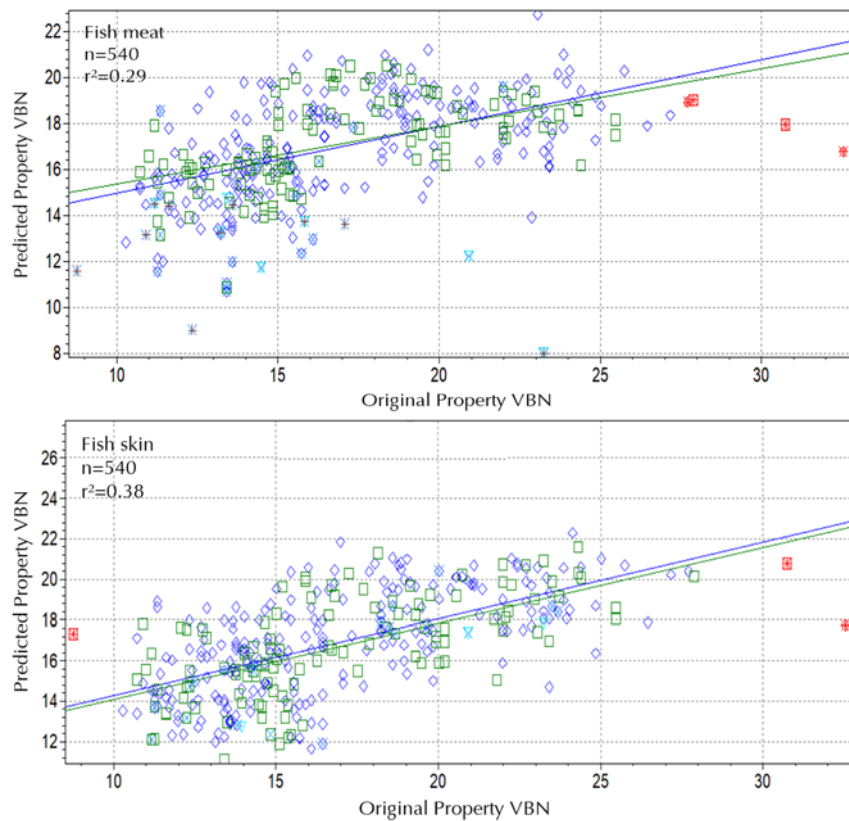


Fig. 4 Near-infrared spectra and VBN values were analyzed by PLS; the correlation coefficient for the relationship between the measured value and the predicted value of fish meat sector is $r^2 = 0.29$ (above) and fish skin sector is $r^2 = 0.38$ (below).

生標準規定 VBN 值 25 mg% 為界限，當 VBN < 25 mg% 判為新鮮樣本；VBN > 25 mg% 則為腐敗樣本，分成兩類以進行人工智慧 (artificial intelligence, AI) 訓練。分析結果顯示 1,080 筆吳郭魚片光譜圖及其相對應之 VBN 值，進行 machine learning 並串聯 SVM 為模型加以比對，在魚肉光譜圖分析辨識率最高的模型達 87.7%，次高 86.1% (Fig. 5A)，而魚皮的部分最高達 88.3%，次高 85.3% (Fig. 5B)，表示利用掃描魚片之 NIR 光圖譜可用来取代傳統 VBN 之檢測，其準確率可達 85.3 – 88.3%。

Cheng *et al.* (2014) 利用可見光/近紅外光光譜 (VIS/NIR) 400 – 1,100 nm 掃描草魚 (*Ctenopharyngodon idella*)，其圖譜影像以 MATLAB 串聯 PLSR 和 LS-SVM 模式，計算 VBN 與實測值之判定係數 $r^2 = 0.92$ ，並指出 LS-SVM 為經典非線性建模之方法。Guo *et al.* (2018) 將冷藏豬肉樣品於貯藏 21 日期間，定期以 VIS/NIR 波長 400 – 1,000 nm 掃描並分析其 VBN 值，其中光譜圖形再以 2D 主成分分析方法 (2D Principal components analysis, 2DPCA) 分析，並以 MATLAB

軟體透過 LS-SVM 的預測模式所計算的 VBN 與實測值之相關係數 $R = 0.96$ 。以攜帶型 NIR 在波長 760 – 1,050 nm 下，掃描包括鮭魚、牛肉、豬肉、蕃茄等 8 種食物樣品連續 30 天，以建立光譜數據資料庫，並將圖譜圖和 VBN、微生物的分析實測值以決策樹分類法 (J48 classifier) 訓練機械學習並分類，結果顯示光譜圖和 VBN 辨識率在牛肉為 98.0%；豬肉為 97.3%；鱸魚為 89.3% (Lee *et al.*, 2017)。

結 論

綜上文獻及研究結果可知，近紅外光譜透過 MATLAB 軟體串聯 SVM 分析可建立漁產品鮮度指標 (VBN 值) 的辨識模組，且可依據國內法規所訂定水產品 VBN 之限量標準，來做為漁產品鮮度之分群及進行快速篩檢。故利用 NIR 及 MATLAB 建立魚類鮮度之快速檢驗模組是一項快速且非破壞性檢測工具，惟現階段仍需以破壞性試驗分別採樣魚體各部位蒐集大量光譜及分析數據，目的為建立 NIR 光譜圖及各別對應 VBN 數據

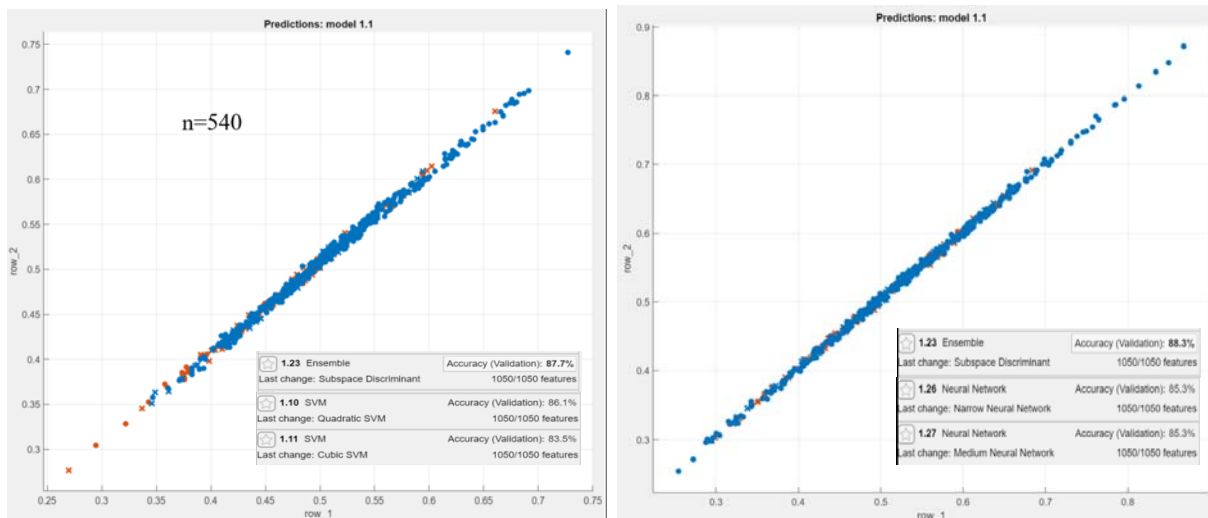


Fig. 5 The highest recognition rate of near-infrared spectra and VBN values analyzed using MATLAB software for the fish meat sector was 87.7% (above) and for the fish skin sector was 88.3% (below).

之資料庫以建立檢測模組，後續期可直接掃描 NIR 圖譜來判斷 VBN 值，待建立模組及技術成熟並擴充魚種及其資料庫後，可作為一項非破壞性之檢測方法，改善傳統檢驗方式曠日廢時的缺點並確保漁產品食用安全性。

參考文獻

- 漁業署 (2020) 中華民國108年台閩地區漁業統計年報。行政院農業委員會漁業署，臺北，臺灣。
- Matlab, the language of technical computing (2021) Code available at the file exchange site of MathWorks <https://www.matlab.com/matlab>
- 衛生福利部食品藥物管理署 (2020) 揮發性鹽基態氮檢驗，109年2月15日衛授食字第1091900145號 (<https://www.fda.gov.tw/tc/newsContent.aspx?cid=3&id=25914>)
- 衛生福利部食品藥物管理署 (2021) 110年2月4日公告修正之「食品中污染物質及毒素衛生標準」第五條附表三 (<https://www.mohw.gov.tw/cp-4631-54491-1.html>)
- 葉念慈 (2019) 漁船作業及捕撈後處理方式對櫻花蝦品質之研究。水產研究, 27: 59-70.
- 蔡永祥 (2014) 水產食品化學 第七章 鮮度判斷法。
- 蕭泉源 (2008) 水產品品質安全管控。海大漁推, 38: 1-32.
- 謝佳樺 (2020) 以近紅外光譜快速檢測水產飼料安全之研究。國立臺灣海洋大學碩士論文。
- Canan, H. (2011) Changes in chemical, microbiological and sensory properties of marinated seafood salad during storage period. African J. Agricul. Res., 6(22): 5087-5090.
- Cheng, J. H., D. W. Sun, X. A. Zeng and H. B. Pu (2014) Non-destructive and rapid determination of TVB-N content for freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by hyperspectral imaging. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 21: 179-187.
- Dabadé, D. S., H. M. W. den Besten, P. Azokpota, M. J. R. Nout, D. J. Hounhouigan and M. H. Zwietering (2015) Spoilage evaluation, shelf-life prediction, and potential spoilage organisms of tropical brackish water shrimp (*Penaeus notialis*) at different storage temperatures. Food Microbiol., 48: 8-16.
- Guo, T., M. Huang, Q. Zhu, Y. Guo and J. Qin (2018) Hyperspectral image-based multi-feature integration for TVB-N measurement in pork. J. Food Eng., 218: 61-68.
- Hebard, C. E., G. J. Flick and R. E. Martin (1982) Occurrence and significance of trimethylamine oxide and its derivatives in fish and shellfish. In Chemistry & Biochemistry of Marine Food Products (R. E. Marin, G. J. Flick and D. R. Ward eds.), AVI Publishing, N. Y., 137 pp.
- Kimiya, T., A. H. Sivertsen, and K. Heia (2014) VIS/NIR spectroscopy for non-destructive freshness assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fillets. J. Food Eng., 116 (2013): 758-764.
- Liu, D., X. A. Zeng and D. W. Sun (2013) NIR spectroscopy and imaging techniques for

- evaluation of fish quality - A review. *Appl. Spectrosc. Rev.*, 48: 8, 609-628.
- Murray, I., L. S. Aucott and I. H. Pike (2001) Use of discriminant analysis on visible and near infrared reflectance spectra to detect adulteration of fishmeal with meat and bone meal. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 9: 297-311.
- Osborne, B. G. (2006) Near-infrared spectroscopy in food analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*.
- Lee, S., T. G. Noh, J. H. Choi, J. Han, J. Y. Ha, J. Y. Lee and Y. Park (2017) NIR spectroscopy sensing for point-of-need freshness assessment of meat, fish, vegetables and fruits. *Proc. SPIE 10217, Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety IX*, 1021708 (<https://doi.org/10.1117/12.2261803>).
- Wehling, R. L. (2003) Infrared Spectroscopy. *In Food Analysis* (S. S. Nielsen ed.), Food Science Texts Series, Chapter 23: 407-420 (DOI 10.1007/978-1-4419-1478-1_23).
- Zhang, Y., N. Qin, Y. Luo and H. Shen (2015) Changes in Biogenic Amines and ATP-Related Compounds and Their Relation to other Quality Changes in Common Carp (*Cyprinus carpio var. Jian*) Stored at 20 and 0°C. *J. Food Prot.*, 78(9): 1699-1707.

Application of Near-infrared Spectroscopy in the Detection of Tilapia Freshness

Hsien-Fang Su, Chun-Da Yeh and Huey-Jine Chai*

Seafood Technology Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Tilapia is one of the major farmed fish species in Taiwan, with an annual production about 60,000 mt. It is a common item in the daily diet. Therefore, this study used Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as the model to determine fish freshness using near-infrared spectroscopy (NIR). A near-infrared spectrometer was used to scan the sectors of six individual sampling points on tilapia meat and skin to collect spectra. Volatile basic nitrogen (VBN) was also detected in six sampling points of tilapia fillets. Then, the NIR spectra and VBN values were used to train a machine learning model with MATLAB software to develop a real-time rapid detection method to determine fish freshness. Results showed that tilapias could be categorized into three groups: (I) with an average VBN of 13.91 ± 3.47 mg% when refrigerated at 4 °C for 20 hr; (II) with an average VBN of 16.65 ± 3.56 mg% when stored at 37 °C for 5 hr; and (III) with an average VBN of 23.76 ± 3.48 mg% when stored at 37 °C for 6 hr. The NIR spectra and VBN values were compared using MATLAB and a concatenating support vector machine. The highest rates of recognition of fish meat and skin reached by NIR and VBN models with good recognition capacity (above 85%) were 87.7% and 88.3%, respectively. This analysis provides a rapid and non-destructive method for detecting the freshness of fishery products, which can be used in the self-management of fishery product suppliers, supermarkets, and group meal suppliers.

Key words: near-infrared (NIR) spectrum, volatile basic nitrogen (VBN), freshness

*Correspondence: 199 Hou-lh Road, Keelung 202, Taiwan. TEL: (02)2462-2101 ext. 2601; FAX: (02) 2463-2677; E-mail: hjchai@mail.tfrin.gov.tw