

淨化處理對帶殼葡萄牙牡蠣 (*Magallana angulata*) 衛生 食用安全與品質之影響

高翊峰^{1*} · 何晟瑩¹ · 張麗緹² · 張晏瑋¹ · 周芷瑩¹ · 葉駿達¹ · 方銘志²

¹ 農業部水產試驗所水產加工組

² 國立臺灣海洋大學食品科學系

摘 要

本土養殖牡蠣主要產區集中於彰、雲、嘉、南等縣市沿近海域，受惠於營養鹽的供給及豐富的微藻供應鏈，造就國產牡蠣的肥美，然地狹人稠所產生的污染也直接或間接影響牡蠣食用的安全性。為提升國產牡蠣的衛生安全及品質，本研究組裝紫外線燈、冷卻系統及循環過濾槽成 60 L 的小型淨化系統來淨化帶殼牡蠣，並探討淨化前、後對其微生物、鮮度、風味及冷藏架售期之影響。結果顯示：牡蠣淨化前總生菌及腸炎弧菌，分別為 1.63×10^5 cfu/g 及 $> 1,100$ MPN/g，大腸桿菌群及沙門氏菌皆為陰性；淨化處理 96 hr 可提升牡蠣品質至符合冷凍生食用魚介類之標準（總生菌 $< 1.0 \times 10^5$ cfu/g）及生鮮即食水產品之限量標準（腸炎弧菌 < 100 MPN/g，沙門氏菌及單核球增多性李斯特菌陰性）。在風味上，相較於未淨化組，淨化處理（72 hr）之牡蠣肝醣、脂肪酸及游離胺基酸含量分別降低了 73.5% ($p < 0.05$)、46.4% 及 24.2% ($p < 0.05$)。進一步分析呈味胺基酸組成，其中生牡蠣在鮮味、甜味及苦味胺基酸含量上，淨化處理後分別減少 18.9%、27.4% 及 13.4%，然而相較於未淨化的熟牡蠣，淨化處理則顯著改善煮熟後熟牡蠣呈味胺基酸的流失。比較淨化處理對牡蠣於冷藏期間之衛生安全，顯示未處理組及淨化組牡蠣預估分別於冷藏第 12.3 天及 33.4 天將超過冷凍鮮魚介類可食之標準。上述結果顯示：淨化處理國產帶殼牡蠣不僅有助於提升牡蠣衛生安全符合生食用魚介類之標準，亦能減少熟食牡蠣風味的流失，並延長帶殼牡蠣冷藏之架售期。

關鍵詞：國產牡蠣、淨化、衛生安全、風味、保鮮

前 言

牡蠣是一種濾食性動物，常見於臺灣周邊的沿近海域，而養殖牡蠣的主要產區集中於彰化、雲林、嘉義及臺南等縣市。牡蠣在進食時，藉由吸入水體並濾食出海水中的微藻、懸浮微粒與碎屑 (Laffon *et al.*, 2006)，因此河川上游豐富的營養鹽及微藻的供應，可養成肥美的牡蠣，然地狹人稠因生活活動所帶來的污染物也會直接或間接影響牡蠣的衛生安全。Depaola *et al.* (1990) 指

出可供生食的海鮮特別是牡蠣，常分離出腸炎弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*)，為美國常見腸胃炎的食源性病原菌之一，其感染的主要症狀包含：頭痛、腹痛、噁心、腹瀉、嘔吐等，急性期發生於食入後 24 hr，並持續至 96 hr (CDC, 2013)。美國食品藥物管理局 (2018) 聲明食用生牡蠣確實會增加消費者罹患疾病的風險 (Mead *et al.*, 1999; US FDA, 2018)。

淨化處理是世界各牡蠣養殖場常見採收後的加工處理，目的係將牡蠣出售給終端消費者之前，盡可能的排除牡蠣體內之糞便並降低養殖環境中食源性病原菌的殘留與污染，以減少食用後引發人體消化道不適或食品中毒之風險 (Drake *et al.*, 2007)，研究 (Lee *et al.*, 2008) 證實

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號, TEL: (02)2462-2101 ext. 2837 ; FAX: (02) 2462-3306; E-mail: yfkao@mail.tfrin.gov.tw

淨化對牡蠣是一種有效的處理程序，可以減少活牡蠣中糞便大腸桿菌及腸炎弧菌的含量。聯合國糧食及農業組織 (FAO, 2008) 發布牡蠣及相關貝類採收後的淨化操作指引，供全世界的牡蠣產業進行採收後處理之參考 (Lee *et al.*, 2008)。近年來也廣泛討論，不同的淨化處理時間、海水的鹽度、溫度、換水速率及流速，亦或搭配紫外線燈，或以加工助劑臭氧、次氯酸電解水等來強化淨化用水的處理 (Lee *et al.*, 2008)。理想的淨化條件不僅可降低牡蠣體內食源性病原菌的含量，還能降低牡蠣的死亡率，而任何淨化系統的設計與規劃，最終都得進行系統設備的驗證與衛生安全的確效評估。

在國外的飲食文化中，牡蠣常被生鮮食用，並且許多國家由政府制定法規監控管理並強制要求淨化 (EC No. 853/2004 & 854/2004)。然而，國人食用牡蠣的習慣常以熟食為主，牡蠣收穫後多直接開殼取其清肉，其消費型態，例如：蚵仔煎、蚵嗲、蚵仔湯及蚵仔酥等，牡蠣清肉多經高溫烹調而殺菌，因此儘管漁業署自 2002 年起便積極輔導嘉義縣政府成立全國第一座牡蠣淨化廠來提升牡蠣的品質 (嘉義縣政府, 2016)，然而帶殼牡蠣的淨化處理仍未被廣泛的獲到國內業者所重視。

傳統生產牡蠣清肉需仰賴人工剝殼，19 世紀初為因應美國墨西哥灣附近牡蠣產業鏈的需求，曾爆發大量童工受到剝殼加工場的勞力剝削，進而引發美國政府制定了相關童工的保護法案 (Hine, 1986)。近年來本土漁村日漸人口老化，缺工及勞力密集不僅墊高了牡蠣清肉的生產成本，也嚴重壓縮蚵農的獲利空間。有鑑於西方飲食文化的發展趨勢，發現進口帶殼牡蠣消費市場單價較具競爭力，因此部分業者逐漸意識到必須積極的轉型升級，例如：創造品牌、區隔傳統清肉消費市場、提升帶殼牡蠣之衛生安全與品質等。因此本研究的主要目的在確效淨化處理是否能有效提升本土帶殼牡蠣之衛生安全、品質及風味，並探討淨化對帶殼牡蠣冷藏架售期的影響。

材料與方法

一、帶殼牡蠣之淨化

單體帶殼葡萄牙牡蠣 (*Magallana angulata*)

由南市區漁會提供。淨化系統由 60 L 玻璃水槽上置揚水馬達 (黑豹 L-密封式, 華一水族, 臺灣)，以引流導管銜接上部桶狀過濾水槽、蓄水缸及冷卻系統 (C-0500 靜音冷卻機-1/2hp, 日生, 臺灣)，形成一密閉式循環系統。淨化槽內置 30,000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 紫外線水中殺菌燈 (UV-c III, MR.AQUA 第三代動力式迷你殺菌燈, 臺灣)。淨化實驗時，以每批次 8.5 kg 帶殼牡蠣於 60 L 淨化槽，蓄養 0 – 120 hr，淨化時水溫恆定於 22°C，以節流閥控制換水率 15 L/min，淨化後牡蠣開殼採肉進行微生物、揮發性鹽基態氮 (volatile basic nitrogen, VBN)、硫巴比妥酸價 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)、肝糖 (glycogen)、脂肪酸及游離胺基酸等分析，並以未淨化處理牡蠣為對照組。

二、生菌數測定

根據衛生福利部 102 年 9 月 6 日衛授食字第 1021950329 號公告修正「食品微生物之檢驗方法-生菌數之檢驗」，取 25 g 牡蠣肉中加入 225 mL 生理食鹽水，均質後以 10 倍稀釋進行三個連續稀釋倍數的檢液，再取稀釋液 0.1 mL 至 TSA 培養基中均勻塗佈，於 35°C 培養 24 hr 後計算菌落數 (cfu/g) (total plate counts, TPC)。

三、大腸桿菌之檢驗

根據衛生福利部 110 年 10 月 6 日衛授食字第 110190155 號公告修正「食品微生物之檢驗方法-大腸桿菌之檢驗」，取 25 g 牡蠣肉中加入 225 mL 生理食鹽水，均質後以 10 倍稀釋進行三個連續稀釋倍數檢液，吸取 1 mL，接種於裝有 LST 培養液 10 mL 之試管，每一稀釋倍數接種 3 支，於 35°C 培養 24 ± 2 hr，觀察是否產氣；未產生氣體者繼續培養 24 hr，仍無氣體產生者，即為大腸桿菌群陰性；產生氣體者則疑為大腸桿菌群陽性。

四、腸炎弧菌數檢驗

根據衛生福利部 106 年 4 月 27 日衛授食字第 1061900803 號公告修正「食品微生物之檢驗方法-腸炎弧菌之檢驗」取 25 g 牡蠣清肉檢體加

入 0.85% 食鹽水稀釋液 225 mL，均質後得 10 倍稀釋液。將稀釋檢液及 (或) 原液充分搖勻，分別吸取三個連續倍數之稀釋檢液各 1 mL，接種於 APW 10 mL 中，每稀釋檢液各接種 3 支 (三階三支)，原液、10 倍及 100 倍稀釋檢液時，每階試管含檢體量 1、0.1 及 0.01 (g 或 mL)；10、100 及 1,000 倍稀釋檢液時，每階試管含檢體量 0.1、0.01 及 0.001 (g 或 mL)，於 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 隔夜培養，呈現混濁 APW 液面起深 1 cm 處，分取一接種環 (直徑約 3 mm) 量菌液，劃線接種在 TCBS 培養基表面，於 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 隔夜培養後，觀察菌落之型態。若為可疑腸炎弧菌者，其菌落為圓弧形，呈綠色或藍綠，直徑約 2 - 3 mm。最後確定為腸炎弧菌者，依附表計算其 MPN 數。

五、沙門氏桿菌檢驗

根據衛生福利部 102 年 12 月 23 日部授食字第 1021951187 號公告修正「食品微生物之檢驗方法—沙門氏桿菌之檢驗」。新鮮牡蠣檢體，以無菌操作稱取 25 g，置入已滅菌之均質杯內。加乳糖培養液 225 mL，均質 2 min。將已均質化之檢體與乳糖培養液混合物倒入已滅菌廣口瓶內，將瓶蓋旋緊，於室溫靜置 1 hr 後，混勻並調整 pH 值至 6.8 ± 0.2 。將瓶蓋略旋鬆，於 35°C 培養 24 ± 2 hr 後，供作檢液。吸取牡蠣檢液 1 mL 至四硫代硫酸鹽培養液 (tetrathionate broth, TT) 10 mL 中，混合均勻，將 TT 培養液置於 35°C 培養 24 ± 2 hr。自 TT 增菌培養液中取一接種環量，在海克頓腸內培養基 (hektoen enteric agar, HE)、木糖梨胺酸去氧膽酸鹽培養基 (xylose lysine deoxycholate agar, XLD) 及亞硫酸銻培養基 (bismuth sulfite agar, BS) 培養基表面作劃線後，於 35°C 培養 24 ± 2 hr，觀察所形成菌落型態。

六、揮發性鹼基態氮測定

根據衛生福利部 110 年 10 月 27 日衛授食字第 1101902415 號公告修正水產品中揮發性鹽基態氮之檢驗方法，牡蠣清肉均質後取 2 g 檢體，以 2.2% 三氯乙酸 (trichloroacetic acid solution, TCA) 定容至 20 mL 充分混勻後，並用 Whatman no. 1 濾紙過濾，將 1 mL TCA 提取液和 1 mL 飽

和碳酸鉀溶液的等分試樣置於康威氏皿 (Conway dish) 的外室兩側，並將 1 mL 硼酸吸收液置於康威氏皿的內室，蓋上封閉後輕微水平搖晃混勻 TCA 提取液和飽和碳酸鉀溶液，將康威氏皿平放於 37°C 烘箱中靜置 90 min 後取出，並用 0.02N HCl 滴定硼酸吸收液至淺紅色，計算牡蠣肉中的 VBN 含量 (mg/100g)，另使用 1 mL 2.2% 三氯乙酸代替牡蠣肉萃取物作為空白試驗組。

七、硫巴比妥酸價

參考 Birkeland *et al.* (2004) 所述方法將 5 克均質之牡蠣清肉檢體放入燒杯中，加入 25 mL 7.5% TCA 溶液，均質 1 min，再定量至 50 mL 混合均勻後，在室溫下靜置 10 min，用 Whatman no. 1 濾紙過濾，取 5 mL 樣品濾液加入 5 mL 0.02M TBA 試劑至螺旋試管中，振盪後放入沸水浴加熱 40 min 後冷卻，取 200 μL 至 96 孔盤中，以分光光度計測量波長 532 - 8 nm 之吸光度。

八、肝醣測定

參考 Carroll *et al.* (1956) 所述方法，蒽酮試劑配製係將 140 mL 蒸餾水和 360 mL 濃硫酸混合，然後加入 5 g 硫脲和 250 mg 蒽酮 (又稱 9, 10-二氫蒽-9-酮)，混合均勻並溶解。樣本萃取置備，取牡蠣肉 5 g，加入 15 mL 7% TCA 樣品瓶中均質 2 min，以 4°C 5,000 rpm 離心 20 min 後以 2 號濾紙過濾定容至 100 mL，上述 TCA 抽出液 1 mL 與 95% 乙醇 5 mL 混合均勻，於室溫下靜置 10 hr 後， $1,200 \times g$ 離心 15 min，沉澱部分加水適當稀釋。取 1 mL 稀釋液加入 5 mL anthrone 試劑反應，進行使用 620 nm 分光光度計測其吸光值 (標準曲線：以不同標準濃度之葡萄糖原溶液重複上述操作)，進行比色定量，所得肝醣含量以濕重 (mg/100g) 表示。

九、脂肪酸組成分析

根據衛生福利部 110 年 10 月 27 日衛授食字第 1021950978 號公告食品中脂肪酸之檢驗方法，取 3 - 5 顆未淨化或淨化牡蠣清肉組織樣本，均

Table 1 Effects of different depuration times on the microbial hygiene indicators in local shelled oysters

Depuration time (hr)	TPC (cfu/g)*	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (MPN/g)*	Coliform	<i>Salmonella</i>
None	1.63×10^5	>1100	ND.	ND.
24	8.5×10^4	210	ND.	ND.
48	2.6×10^4	150	ND.	ND.
72	3.6×10^4	240	ND.	ND.
96	4.3×10^3	28	ND.	ND.
120	2.8×10^3	35	ND.	ND.

Note: An asterisk (*) denotes the legal limit outlined in the Ministry of Health and Welfare's Sanitation Standard for the Microorganism in Frozen Foods, which states that raw ready-to-eat aquatic products or ready-to-eat food containing both aquatic products and processed food ingredients shall not exceed a total plate count of 1×10^5 cfu/g or *V. parahaemolyticus* count of 100 MPN/g.

質後送財團法人食品工業研究所委託檢驗，所得之各脂肪酸含量以 (mg/100g) 表示。

十、游離胺基酸組成分析

參考 Jiménez-Martin *et al.* (2012) 所述方法，取 3 – 5 顆未淨化及淨化 72 hr 之牡蠣，開殼採肉後均質精秤 5 g 樣品，分別加入 DL-Norvalin (Cat. no. N7502, sigma) 及 Norleucine (Cat. no. N1398, sigma) 兩項內部標準品，以 0.1N HCl 均質，離心 (8,700 rpm) 後上清液定容至 50mL，均勻混和再離心 (3,500 g, 3 min)，取 1 mL 上清液加入 3 倍體積的乙腈 (Acetonitrile, ACN)，均勻混和後離心 (3,500 g, 3 min)，取 400 μ L 上清液於試管中減壓縮得黑綠色乾燥試樣，以 5 μ L 二甲基甲醯胺 (dimethylformamide, DMF) 及 50 μ L ACN，另加入 50 μ L N-tert-Butyldimethylsilyl-N-methyltrifluoroacetamid (Cat no.77626, sigma-aldrich)，於 100°C 乾浴進行胺基酸衍生化反應 1 hr，待樣品液轉為黃色澄清，以乙醚定容至 0.5 mL，以 GC-MS 進行定量分析。

十一、統計分析

利用 SPSS 進行統計分析，以單因子變異數分析，再進行 Post Hoc 事後檢定分析，以最小顯著性差異法 (least significant difference, LSD) 檢定組間差異性。

結果與討論

將南市區漁會提供國產單體帶殼葡萄牙牡蠣，以冷藏宅配方式寄送至實驗室，量測平均每顆牡蠣重 157.1 ± 22.0 g，開殼後清肉重 28.3 ± 6.6 g。將帶殼牡蠣置於循環水系統 (Fig. 1) 進行淨化處理，未淨化處理組則直接儲存於 4°C 冰箱。

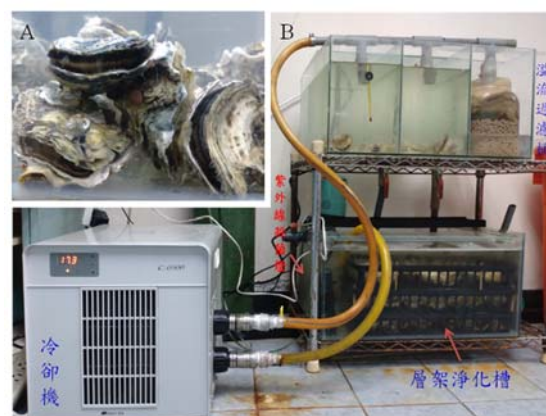


Fig. 1 A simple circulating system for local shelled oyster depuration in our lab. (A) The depurated oyster, (B) a 60-liter circulation tank for depuration can treat 8.5kg of local shelled oyster per batch.

首先我們比較不同淨化處理時間對帶殼牡蠣衛生安全之影響，結果如 Table 1 所示，淨化前之國產牡蠣，生菌數及腸炎弧菌數，分別為 1.63×10^5 cfu/g 及 >1,100 MPN/g，而大腸桿菌群及沙門氏菌則皆未檢出。生菌數為判斷一般食品是否腐敗的重要指標，根據 108 年衛生福利部食

品藥物管理署修正的冷凍食品之微生物限量，本實驗淨化前之國產牡蠣符合冷凍鮮魚介類之限量（生菌數 $< 3.0 \times 10^6$ cfu/g），但卻不符合生冷凍生食用魚介類之微生物限量（生菌數 $< 1.0 \times 10^5$ cfu/g）。實驗另採樣經淨化處理 24、48、72、96 及 120 hr 之 2–3 顆牡蠣，分析其生菌數分別為 8.5×10^4 、 2.6×10^4 、 3.6×10^4 、 4.3×10^3 及 2.8×10^3 cfu/g (Fig. 2 & Table 1)，腸炎弧菌數則為 210、150、240、28 及 35 MPN/g (Table 1)，顯示淨化處理則有助於降低牡蠣中生菌數及腸炎弧菌含量且具時間效應。然基於水產品加工成本考量，一般牡蠣業者在淨化系統操作上通常不會超過 2–3 天，藉由縮短淨化的時間來提升批次淨化的轉換率，加速產品產出與獲利。另依據 FAO (2008) 針對貝類收穫後的加工指引建議，在適當的系統中淨化處理有助於降低二枚貝類糞大腸桿菌群污染的風險 (Lee *et al.*, 2008)，為此全球已經有多個國家將貝類的淨化程序納入法訂的規範，例如：英國規定貝類淨化時間至少需 42 hr 以上、美國貝類衛生計劃 (NSSP) 規定至少需 44 hr 以上、紐西蘭則規定非經當地權責部門認可，最短淨化時間為 48 hr，然上述淨化的法定時間規範，僅為針對排除大腸桿菌群而設置，對於減少海水貝類海洋弧菌的含量，恐需更嚴格的淨化條件。Lee *et al.* (2008) 的研究支持延長至 5 天的淨化時間能有助於移除貝類體內的有害細菌。Wang *et al.* (2010) 將太平洋牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 於 17–19°C 溫度，18–20 psu 鹽度的循環水系統中，以每分鐘 13 L 的流速淨化 14 天，能有效的分別減少牡蠣消化道及鰓中的弧菌數達 3.2 log cfu/g 及 3.0 log cfu/g (Wang *et al.*, 2010)。Ming *et al.* (2018) 將太平洋牡蠣以人工接種約 10^5 的腸炎弧菌，於 70 L 的淨化槽系統中，以 15–35 L/min 的流速，12.5°C 人工海水，淨化 5 天能有效減少牡蠣中 2.39–3.39 log MPN/g 之腸炎弧菌。Larsen *et al.* (2015) 在天然汙染創傷弧菌及腸炎弧菌的大西洋牡蠣中發現，在 35 psu 鹽度、22.5°C 及 36 L/min 流速的海水淨化環境中處理 10 天，可降低牡蠣組織中 1.74 log 之創傷弧菌及 1.18 log 之腸炎弧菌含量。本研究的結果顯示：本批國產牡蠣雖然在淨化前大腸桿菌群及沙門氏菌皆未檢出，並且在淨化 24 hr 後生菌數已降至生食用魚介類之微生物限量標準 ($< 1.0 \times 10^5$ cfu/g)，

然腸炎弧菌含量需在淨化 96 hr 後才降能至 100 MPN/g (食品中微生物標準-生鮮即食水產品之腸炎弧菌限量)。

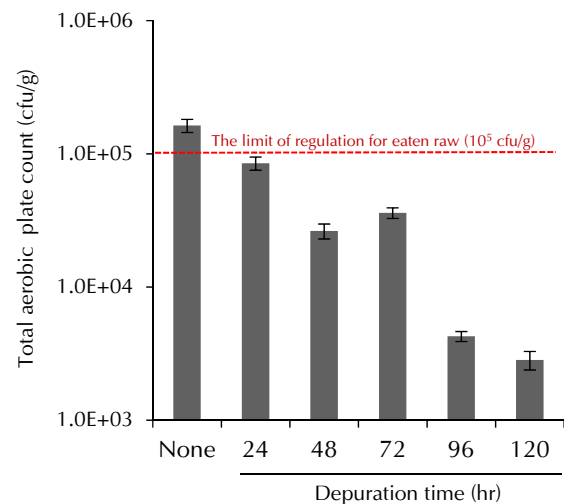


Fig. 2 Effects of the different depuration times (24 to 120 hrs) on the total plate count in local shelled oyster (*Magallana angulata*). According to the Sanitation Standard for the Microorganism in Frozen Foods, the maximum total aerobic plate count of microorganisms shall not exceed 3.0×10^6 cfu/g in frozen fishes and shellfishes and 1.0×10^5 cfu/g in frozen fishes and shellfishes for raw consumption.

探討淨化處理對帶殼牡蠣鮮度之影響，結果顯示，不同淨化處理組之 VBN 介於 4.60–7.58 mg/100g (Table 2)，符合衛生福利部公告之「食品中污染物質及毒素衛生標準」生鮮即食水產品的限量標準 (< 15 mg/100g)，唯在淨化的第 48 hr 採樣，因於淨化期間剔除槽中明顯開殼死亡之牡蠣樣本，擾動水流的影响可能導致第 48 hr 採樣牡蠣 VBN 從第 24 hr 的 4.6 mg/100g 微幅上升至 7.58 mg/100g，而相似的情形也反應在第 72 hr 生菌數及腸炎弧菌數亦有微幅上升的趨勢，並且在淨化第 72 hr 之後菌數持續下降，對此 FAO (2008) 在指引中建議淨化應以批次進/出處理為原則，並避免淨化期間擾動淨化槽體沉積物導致汙染已淨化的貝體。在脂質氧化指標上，淨化前之牡蠣，TBARs 含量為 5.13 ± 0.09 μ g/g，而淨化處理 24–120 hr 之牡蠣其 TBARs 含量介於 3.5–4.4 μ g/g (Table 2)，顯著低於未淨化處理組 ($p < 0.05$)，顯示淨化處理有助於減少牡蠣組織中氧化脂質的含量。

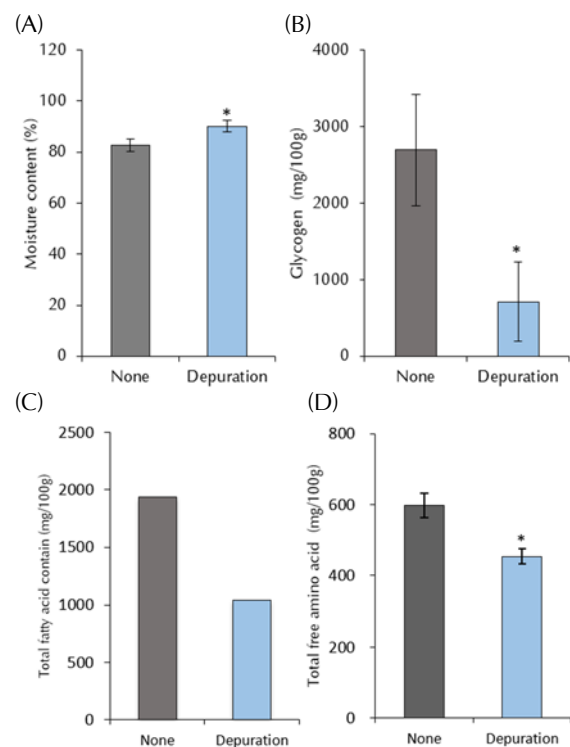
Table 2 Effects of different depuration times on the volatile basic nitrogen (VBN) and thiobarbituric acid value (TBARs) in local shelled oysters

Depuration time (hr)	VBN ^{&} (mg/100g)	TBARs (μg/g)
None	4.81±0.72 ^{ab}	5.13±0.09 ^e
24	4.60±0.0 ^a	3.66±0.06 ^b
48	7.58±1.15 ^d	3.51±0.05 ^a
72	5.69±0.0 ^c	4.36±0.09 ^d
96	5.69±0.0 ^c	4.31±0.06 ^d
120	5.42±0.38 ^{bc}	3.85±0.03 ^c

Note: An ampersand (&) denotes the legal limit outlined in the Ministry of Health and Welfare's Sanitation Standard for Foods to be Eaten Raw, which states that the limit of volatile basic nitrogen level in fish and shellfishes to be eaten raw shall not exceed 15 mg per 100 g. Values are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and as wet basis. A different superscript letter denotes a significant difference ($p < 0.05$).

針對長時間淨化牡蠣影響牡蠣的營養成分及風味，Ruano (2012) 研究證實淨化 72 hr 的牡蠣，雖然在品質指數（清肉乾重/殼體積）無顯著差異（ $p < 0.05$ ），然而卻減少 20.8% 總脂質量，其中 n3-多元不飽和脂肪酸更劇烈減少 27.3%；Bi *et al.* (2023) 的研究亦指出，太平洋牡蠣在淨化初期時，不同溫度的調降速率會影響牡蠣中肝醣、pH 值、脂肪酸及游離胺基酸含量。因此為了解國產牡蠣在淨化過程是否會影響其品質與風味，將未淨化及淨化 72 hr 的帶殼牡蠣，剝殼取肉後分析其含水量、肝醣、總脂肪酸及游離胺基酸等，結果如 Fig. 3 所示，未淨化組牡蠣中含水量、肝醣、脂肪酸總量及游離胺基酸總量分別為 $82.7 \pm 2.3\%$ 、 $2,694.6 \pm 727$ mg/100g、 $1,940$ mg/100g 及 598.2 ± 34 mg/100g，然淨化 72 hr 之牡蠣則分別為 $90.2 \pm 2.3\%$ 、 713.2 ± 515 mg/100g、 1040 mg/100g 及 453.7 ± 21 mg/100g，顯示淨化處理對牡蠣組織中的含水量顯著增加 8.3%（ $p < 0.05$ ），然而肝醣量、脂肪酸總量及游離胺基酸總量則分別降低 73.5%（ $p < 0.05$ ）、46.4%及 24.2%（ $p < 0.05$ ）。Barrento *et al.* (2013) 探討運輸環境對貝類品質的影響，將採收後貝類冰藏 48 hr 再經 22 hr 運輸，其重量損失達 11.8 -

14.2%，但冰藏後先經淨化處理的貝類，再運輸後重量損失為 2.7 - 7.4%，因此推測本試驗之牡蠣於實驗前，可能因運輸過程長時間處於離水環境，導致水分散失，在經過淨化處理則有助於牡蠣組織中含水量回復。

**Fig. 3** Effects of 72-hr depuration on (A) moisture content, (B) glycogen level, (C) total fatty acid level, and (D) total free amino acid level in oysters. The asterisk denotes a significant difference between the depuration and non-depuration groups ($p < 0.05$).

在淨化處理對牡蠣肝醣含量的影響，Bi *et al.* (2023) 由太平洋牡蠣的無水保存實驗中發現，在淨化期間，每小時降溫 1°C 的牡蠣相較於每小時降溫 16°C，在無水儲存 3 天後，牡蠣的活存率及體內肝醣濃度，分別從 100%降低至 71%及 16.3 mg/100g 降低至 7.7 mg/100g，顯示牡蠣淨化時劇烈的溫度變動將顯著影響牡蠣的活存率及肝醣消耗。二枚貝類的體組成的差異大致可歸類為幾個主要因素：(1) 不同貝種之間的生物學特性、飼料營養差異以及不同貝類對過濾和排出不同食源材料的特徵；(2) 貝類品質及數量；(3) 貝類性成熟的狀態以及 (4) 研究中所收集貝類

樣本產地來源的不同 (Ruano *et al.*, 2012)，皆是造成體組成差異的原因，這些差異主要反應在肝醣和脂質的含量上。Bi *et al.* (2021) 指出貝類能量主要以肝醣的形式儲存，當貝類受到外在環境的壓力時，用於提供能量的肝醣，可能快速被消耗 (Anacleto *et al.*, 2015)。Ivanina *et al.* (2013) 的研究顯示在饑餓或劇烈變動環境中，牡蠣為了要適應環境中壓力的變化，會快速分解其肌肉和肝臟的肝醣轉化成血醣以供能量所需。此外，肝醣可在缺氧環境下行無氧分解代謝產生能量，這對牡蠣處於離水或低溫、氧環境中，長時間閉殼可藉由肝醣來維持基礎能量的生理代謝 (Patrick *et al.*, 2006)，大量的肝醣可以在短時間內被快速消耗，並在適當的環境中恢復 (Berthelin *et al.*, 2000)。另外，隨著牡蠣收穫的產季肥滿度的不同，白色組織及閉殼肌中肝醣的含量最高可達牡蠣乾重的 20 – 40%，肝醣是貢獻牡蠣食用時特殊口感與甜味的主要成分 (Liu *et al.*, 2021)，而牡蠣生殖腺發育的週期及排精、排卵前後，也是影響牡蠣組織中肝醣含量變異的關鍵因素 (Li *et al.*, 2006)。研究曾比較葡萄牙牡蠣及熊本牡蠣 (*Crassostrea sikamea*)，發現肝醣含量與牡蠣的風味有關，含量較高的牡蠣其風味常被評估為「甜」或「豐富」 (Murata *et al.*, 2020; Qin *et al.*, 2020)；阿拉斯加養殖的牡蠣 (Oliveira *et al.*, 2006) 和三倍體牡蠣 (Hong *et al.*, 2002) 也都曾被敘明因含有較高的肝醣含量所以可貢獻更好的牡蠣風味。本研究中，未淨化處理的牡蠣肝醣濃度 2,694.6 mg/100g 顯著高於淨化處理後的 713.2mg/100g，降低了 73.5% 肝醣含量 (Fig. 3B)，這可能是因為牡蠣在長時間 (72 hr) 低溫淨化後，牡蠣部分肝醣快速的被消耗掉，與 Barrento *et al.* (2000) 及 Bi *et al.* (2023) 的研究相符。

探討淨化處理對牡蠣脂肪酸組成之影響，結果顯示，牡蠣雖屬低脂水產品，但其不飽和脂肪酸的比例較高，尤其是多元不飽和脂肪酸、DHA 和 EPA (Fuhrmann *et al.*, 2018)。在本實驗中，牡蠣組織中主要的脂肪酸組成包含 Myristic acid (C14:0)、Palmitic acid (C16:1)、Stearic acid (C18:0)、Oleic acid (C18:1)、 α -Linoleic acid (α -C18:3, ω 3)、Arachidic acid (C20:4, ω 6)、Eicosapentaenoic acid

(C20:5, ω 3)、Docosahexaenoic acid (C22:6, ω 3) 等八種 (Table 3)；無論是未淨化或淨化處理之牡蠣樣本，多元不飽和脂肪酸與飽和脂肪酸的比值分別為 0.91 及 1.02，皆高於 FAO 建議攝取理想 Σ PUFA/ Σ SFA 值高於 0.4 的標準 (FAO, 2022)。而淨化組 (72 hr) 牡蠣中單元不飽和脂肪酸含量 (MUFA)、多元不飽和脂肪酸含量 (PUFA) 及飽和脂肪酸含量 (SFA) 分別為 110 mg/100g、470 mg/100g 及 460 mg/100g (Table 3)，相較於未淨化處理組 (220 mg/100g、820 mg/100g 及 900 mg/100g)，分別降低了 50.0%、42.7% 及 48.9%，總脂肪酸含量也降低了 46.4%，顯示淨化過程可能會導致牡蠣組織中總脂肪減少，與 Qiu *et al.* (2020) 研究相似。Huang *et al.* (2014) 指出脂質降解產生游離脂肪酸是造成食材風味轉化的原因之一，而不飽和脂肪酸降解後生成不飽和醛、酮及醇類會是導致水產品魚腥味及油耗味的主要關鍵 (Ding *et al.*, 2020)，先前在不同淨化處理時間對帶殼牡蠣脂質氧化的分析中，我們也發現淨化處理 24 – 120 hr，各組牡蠣組織中脂質氧化產物 (TBARs) 含量皆低於未淨化組，Hammer and Schieberle (2013) 指出氧化的多元不飽和脂肪酸在氣味分子中常被認為是形成魚腥味 (Fishy) 的來源之一，這意謂在本研究中淨化後的牡蠣也可能較沒有魚腥味。Ruano *et al.* (2012) 的研究探討葡萄牙牡蠣、紫殼菜蛤 (*Mytilus edulis*)、歐洲鳥尾蛤 (*Cerastoderma edule*) 及皺紋淺蜆 (*Venerupis pullastra*) 等，在長時間的淨化過程中對這些二枚貝類脂肪酸含量之變化，結果發現淨化過程禁食與總脂肪酸含量下降及各種脂肪酸不同程度的降解呈顯著相關性，並且在 72 hr 淨化實驗期間，禁食的貝類會因飢餓產生能量消耗及腸道中內容物的排空，導致體內脂肪酸大幅下降，實驗中貽貝、鳥尾蛤、淺蜆及牡蠣組織總脂肪酸含量分別減少 10.8、19.8、24.6 及 24.7%，其中又以牡蠣脂肪酸含量下降的幅度最劇。在我們的實驗中同樣以葡萄牙牡蠣進行 72 hr 淨化處理，相較於未淨化處理組，在總脂肪酸含量減少 46% (Fig. 3C)，表示淨化導致牡蠣脂肪酸含量的減少與 Ruano (2012) 的實驗一致；Ruano 也進一步指出，貝類脂肪酸含量在淨化過程減少的程度並非取決於組織中原有

Table 3 Effects of depuration for 72 hrs on fatty acid composition in oyster meat

Fatty acid	Composition of fatty acid (mg/100g)*	
	None	Depuration
Butyric acid (C 4:0)	ND.	ND.
Caproic acid (C 6:0)	ND.	ND.
Caprylic acid (C 8:0)	ND.	ND.
Capric acid (C 10:0)	ND.	ND.
Undecanoic acid (C 11:0)	ND.	ND.
Lauric acid (C 12:0)	ND.	ND.
Tridecanoic acid (C 13:0)	ND.	ND.
Myristic acid (C 14:0)	120	50
Myristic acid (C 14:1)	ND.	ND.
Pentadecanoic acid (C 15:0)	ND.	ND.
cis-10-Pentadecanoic acid (C 15:1)	ND.	ND.
Palmitic acid (C 16:1)	640	330
Palmitoleic acid (C 16:1)	ND.	ND.
Margaric acid (C 17:0)	ND.	ND.
cis-10-Heptadecenoic acid (C 17:1)	ND.	ND.
Stearic acid (C 18:0)	140	80
Oleic acid (C 18:1)	220	110
Linoleic acid (C 18:2) (ω 6)	ND.	20
α -Linoleic acid (α -C 18:3) (ω 3)	110	60
g-Linolenic acid (g-C18:3) (ω 6)	ND.	ND.
Conjugated Linoleic acid (C 18:2 con)	ND.	ND.
Arachidic acid (C 20:0)	ND.	ND.
Gadoleic acid (C 20:1)	ND.	ND.
Eicosadienoic acid (C 20:2) (ω 6)	ND.	ND.
cis-8, 11, 14-Eicosadienoic acid (C 20:3) (ω 6)	ND.	ND.
cis-11, 14, 17-Eicosadienoic acid (C 20:3) (ω 3)	ND.	ND.
Arachidic acid (C 20:4) (ω 6)	90	60
Arachidic acid (C 20:4) (ω 3)	ND.	ND.
Eicosapentaenoic acid (C 20:6) (ω 3)	390	200
Heneicosanoic acid (C 21:0)	ND.	ND.
Behenic acid (C 22:0)	ND.	ND.
Erucic acid (C 22:1)	ND.	ND.
Docosadienoic acid (C 22:2) (ω 6)	ND.	ND.
Docosatetraenoic acid (C 22:4) (ω 6)	ND.	ND.
Docosapentanoic acid (C 22:5) (ω 6)	ND.	ND.
Docosapentanoic acid (C 22:5) (ω 3)	ND.	ND.
Docosahexaenoic acid (C 22:6) (ω 3)	230	130
Tricosanoic acid (C 23:0)	ND.	ND.
Lignoceric acid,(C 24:0)	ND.	ND.
Nervonic acid (C 24:1)	ND.	ND.
Monounsaturated fatty acid (MUFA)	220	110
Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	820	470
Saturated fatty acid (SFA)	900	460

*Values expressed as mean (n=3)

Table 4 Effects of depuration for 72 hrs on free amino acid composition in raw or cooked oyster meat

Free amino acid	Contents (mg/100g, wet basis)*			
	Raw		Cooked	
	None	Depuration	None	Depuration
Alanine (Ala)	146.08±9.13 ^c	102.17±5.48 ^b	69.10±4.79 ^a	117.48±4.17 ^b
Glycine (Gly)	153.30±10.35 ^d	107.79±5.39 ^b	133.69±5.41 ^c	72.30±2.41 ^a
Valine (Val)	6.32±0.42 ^c	5.42±0.17 ^c	2.47±0.47 ^a	4.34±0.45 ^b
Leucine (Leu)	6.47±0.59 ^c	6.07±0.25 ^c	2.67±0.36 ^a	4.77±0.48 ^b
Isoleucine (Ile)	4.38±0.15 ^c	4.41±0.03 ^c	1.56±0.05 ^a	2.87±0.03 ^b
Proline (Pro)	116.04±1.20 ^c	85.52±2.49 ^b	45.15±2.91 ^a	90.61±8.94 ^b
Methionine (Met)	5.12±0.03 ^d	4.48±0.25 ^c	2.20±0.06 ^a	3.04±0.16 ^b
Serine (Ser)	7.72±0.69 ^b	11.84±1.35 ^c	2.61±0.26 ^a	13.28±1.52 ^c
Threonine (Thr)	6.54±0.05 ^d	4.76±0.04 ^c	2.72±0.19 ^a	3.83±0.23 ^b
Phenylalanine (Phe)	5.44±0.12 ^c	5.24±0.30 ^c	2.83±0.06 ^a	3.55±0.16 ^b
Aspartic acid (Asp)	13.09±2.25 ^a	27.17±2.78 ^b	14.76±1.58 ^a	23.56±4.59 ^b
Hydroxyproline (Hyp)	2.23±0.15	1.71±0.08	1.04±0.06	2.18±0.39
Cysteine (Cys)	1.68±0.11 ^d	1.41±0.06 ^c	1.04±0.05 ^b	0.76±0.11 ^a
Glutamic acid (Glu)	91.14±8.52 ^b	57.37±4.18 ^a	69.07±3.46 ^a	64.54±8.98 ^a
Asparagine (Asn)	0.79±0.02 ^a	1.22±0.05 ^a	0.85±0.02 ^a	5.18±0.36 ^b
Lysine (Lys)	5.64±0.22 ^b	4.87±0.34 ^{ab}	4.35±0.11 ^a	5.55±0.38 ^b
Glutamine (Glu)	13.66±0.24	12.84±0.48	5.67±0.22	36.88±5.33
Histidine (His)	3.63±0.23 ^{bc}	2.78±0.56 ^b	1.46±0.10 ^a	4.05±0.50 ^c
Tyrosine (Tyr)	7.16±0.56 ^c	5.25±0.13 ^b	3.37±0.16 ^a	4.62±0.10 ^b
Tryptophan (Trp)	1.83±0.01 ^c	1.32±0.03 ^b	1.19±0.04 ^{ab}	1.14±0.08 ^a
Umami amino acid	104.23±10.74	84.54±6.86	83.83±5.02	88.09±13.53
Sweet amino acid	429.68±21.30 ^c	312.08±14.52 ^b	253.27±12.50 ^a	297.50±4.34 ^b
Bitter amino acid	47.66±2.02 ^d	41.25±1.29 ^c	23.15±1.02 ^a	34.69±0.76 ^b
Total free amino acid	598.24±33.91 ^c	453.65±21.46 ^b	367.82±17.85 ^a	464.52±20.86 ^b

*Values expressed as mean ± standard deviation (n=3), wet basis. A different superscript letter denotes a significant difference ($p < 0.05$).

儲存脂質含量的多寡，而是取決於不同物種在周遭環境下維持每日生理所需能量的消耗，這或許可以解釋本實驗的淨化過程中牡蠣體組成脂肪酸大幅下滑的原因。

低脂、高蛋白的牡蠣除了營養豐富外，因其多元化的呈味胺基酸組成賦予風味，又常被稱為「海中的牛奶」（陳等, 2019）。因此為了解淨化過程是否影響牡蠣風味，將未淨化及淨化（72 hr）之牡蠣，分析生鮮及煮熟下，其游離胺基酸組成之差異（Table 4），由於牡蠣的風味係開殼取肉後直接食用或加熱後食用，因此在本實驗中係以濕重為基準。由 Table 4 結果可發現，淨化前、後

生牡蠣中總游離胺基酸、鮮味胺基酸（Glu + Asp, umami amino acid）、甜味胺基酸（Ser+ Gly + Ala, sweet amino acid）及苦味胺基酸（His + Arg + Tyr + Val + Met + Ile + Leu + Phe, bitter amino acid）含量分別由 598.2、104.2、429.7 及 47.7 mg/100g 降至 453.7、84.5、312.1 及 41.3 mg/100g，顯示：淨化處理 72 hr 顯著降低生鮮牡蠣中總游離胺基酸（ $p < 0.05$ ）及相關呈味胺基酸含量（ $p < 0.05$ ）；然而在牡蠣蒸煮後，淨化前、後熟牡蠣總游離胺基酸、鮮味胺基酸、甜味胺基酸及苦味胺基酸含量分別為 367.8、83.8、253.3、23.2 mg/100g 及 464.5、88.1、297.5 及 34.7 mg/100g，顯示淨

Table 5 Effect of depuration on free amino acid taste activity value in raw or cooked oyster meat

Free amino acid	Taste threshold (mg/100 mL)*	Taste activity value (TAV)#			
		Raw		Cooked	
		None	Depuration	None	Depuration
Alanine	106.92	1.37	0.96	0.65	1.10
Glycine	187.75	0.82	0.57	0.71	0.39
Valine	351.45	0.02	0.02	0.01	0.01
Leucine	144.32	0.04	0.04	0.02	0.03
Isoleucine	131.2	0.03	0.03	0.01	0.02
Proline	287.75	0.40	0.30	0.16	0.31
Methionine	74.6	0.07	0.06	0.03	0.04
Serine	262.75	0.03	0.05	0.01	0.05
Threonine	416.85	0.02	0.01	0.01	0.01
Phenylalanine	743.4	0.01	0.01	0.00	0.00
Aspartic acid	53.24	0.25	0.51	0.28	0.44
Cysteine	24.22	0.07	0.06	0.04	0.03
Glutamic acid	16.18	5.63	3.55	4.27	3.99
Asparagine	53.24	0.01	0.02	0.02	0.10
Lysine	1169.6	0.00	0.00	0.00	0.00
Histidine	200	0.02	0.01	0.01	0.02
Tyrosine	72.44	0.10	0.07	0.05	0.06
Tryptophan	90.5	0.02	0.01	0.01	0.01

Notes: An asterisk (*) denotes the taste threshold values (mg/100 mL) of free amino acids in water (Jin *et al.*, 2023), a number sign (#) denotes that the moisture content was converted to mg/100g, wet basis when calculating the taste activity value (TAV).

化處理有助於減少加工蒸煮後牡蠣呈味胺基酸的流失 ($p < 0.05$)。Bi *et al.* (2023) 的研究指出，太平洋牡蠣在循環系統中以不同冷卻速率進行淨化研究，結果指出，當淨化時以較緩慢速率進行冷卻時，有助於牡蠣保留較高含量的鮮味胺基酸及甜味胺基酸，顯示溫度的變動的速率是影響淨化後牡蠣呈味胺基酸含量的關鍵因子。由於本研究取得之牡蠣在進入實驗前歷經收穫及低溫冷鏈運輸等環境變動，以致較難掌握牡蠣採收後即時淨化及慢速低溫冷卻等條件，建議未來在考量淨化場域設置地點時，應盡量靠近原牡蠣產地，同時在實施牡蠣淨化處理程序時應以緩速降溫方式進行，以避免呈味胺基酸的流失。Lin *et al.* (2019) 及 Bi *et al.* (2021) 指出游離胺基酸是水產品鮮味主要的來源之一，然而由於人的味覺對不

同的游離胺基酸有不同的敏感度，因此我們參考了 Jin *et al.* (2023) 分析不同游離胺基酸味覺閾值 (taste activity value, TAV) 的研究，當 $TAV > 1$ 時代表成分為貢獻牡蠣味覺的主要因子。在本實驗中，分析牡蠣 17 種游離胺基酸中僅麩胺酸在淨化前、後的生牡蠣或熟牡蠣中 $TAV > 1$ ，顯示麩胺酸為牡蠣主要貢獻鮮味的物質 (Table 5)，而未淨化生牡蠣或淨化後的熟牡蠣，丙胺酸的 $TAV > 1$ ，則為貢獻牡蠣甜味的主要物質。

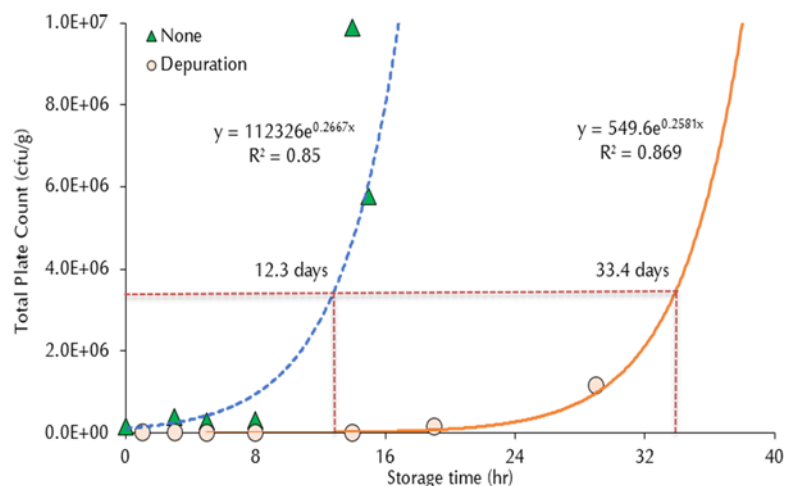
探討淨化處理對殼牡蠣冷藏期間衛生安全及鮮度之影響，分別將未淨化或淨化 72 hr 之帶殼牡蠣，於 4°C 冷藏下分別於儲存第 0、3、5、8、14、15、19 及 29 天採樣分析微生物及鮮度指標。結果如 Table 6 所示，未淨化處理之帶殼牡蠣其生菌數由 1.63×10^5 cfu/g，隨儲藏時間至第

Table 6 Variations in microbial indicators during the specified storage times with depuration (72 hrs) or without depuration

Storage time at 4°C (days)	TPC (cfu/g)		<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (MPN/g)		Coliform		Salmonella	
	None	Depuration	None	Depuration	None	Depuration	None	Depuration
0	1.63×10^5	3.60×10^4	>1100	240	ND.	ND.	ND.	ND.
3	3.87×10^5	1.62×10^4	>1101	75	ND.	ND.	ND.	ND.
5	2.93×10^5	4.27×10^4	>1102	210	ND.	ND.	TSI+	ND.
8	3.10×10^5	3.93×10^4	290	210	ND.	ND.	ND.	TSI+
14	9.90×10^6	4.23×10^4	6.1	210	ND.	ND.	TSI+	ND.
15	5.77×10^6	-	20	-	ND.	-	ND.	-
19	-	1.55×10^5	-	11	-	ND.	-	ND.
29	-	1.16×10^6	-	150	-	ND.	-	ND.

Notes: ND: Not detected; TSI+: The representative sample had a positive triple sugar iron agar for salmonella test result, performed according to the Taiwan Food and Drug Administration's testing method No. 1021951187 for salmonella.

Fig. 4 Variations in total plate counts between the depurated and non-depurated oysters during storage at 4°C. According to the Food and Drug Administration, Ministry of Health and Welfare's Sanitation Standard for the Microorganism in Frozen Foods, the total plate count limit for frozen fishes and shellfishes shall not exceed 3.0×10^6 cfu/g. The non-depurated oysters can be stored under refrigeration at 4°C for 12.3 days, the 72-hr depurated oysters can be stored under refrigeration at 4°C for up to 33.4 days.



14 天增為 9.90×10^6 cfu/g，已超過冷凍食品類微生物衛生標準 (TPC < 3×10^6 cfu/g)。然淨化處理之帶殼牡蠣，於 4°C 儲藏至 14 天，其 TPC 由 3.60×10^4 cfu/g 微幅增至 4.23×10^4 cfu/g，第 19 天達 1.5×10^5 cfu/g，第 29 天達 1.16×10^6 cfu/g，都尚符合法規限量標準。進一步以指數回歸計算冷凍食品類微生物限量標準 (TPC < 3×10^6 cfu/g) 之可儲藏天數，在未淨化組與淨化 72 hr 帶殼牡蠣分別約為 12.3 天及 33.4 天 (Fig. 4)，顯示淨化處理不僅能降低牡蠣組織中的微生物含量，還能有效延長 4°C 冷藏下之帶殼牡蠣的架售期。

另比較未淨化或淨化 72 hr 之帶殼牡蠣於 4°C 冷藏期間，其清肉中 VBN 及 TBARs 的含量，

結果如 Fig. 5 所示，於 4°C 冷藏期間，未淨化處理之牡蠣其 VBN 隨著儲存時間而顯著增加 ($p < 0.05$)，從第 0 天 4.81 ± 0.51 mg/100g 增加至第 14 天的 8.39 ± 0.00 mg/100g。然淨化處理組之牡蠣組織，其 VBN 含量至第 8 天內未隨儲藏時間增加而顯著改變，且其值皆顯著低於未淨化組 ($p < 0.05$)。另牡蠣組織中 TBARs 分析結果顯示，淨化處理組皆顯示較低的 TBARs 值亦皆顯著低於未淨化組 ($p < 0.05$)，雖先前微生物指標顯示在冷藏 14 天後，未淨化之國產牡蠣生菌數已超出冷凍食品類微生物衛生標準 (3.0×10^6 cfu/g)，但在實驗 14 天的儲藏期間，無論是未淨化或淨化處理之牡蠣 VBN 含量皆仍低於 15 mg/100g (生

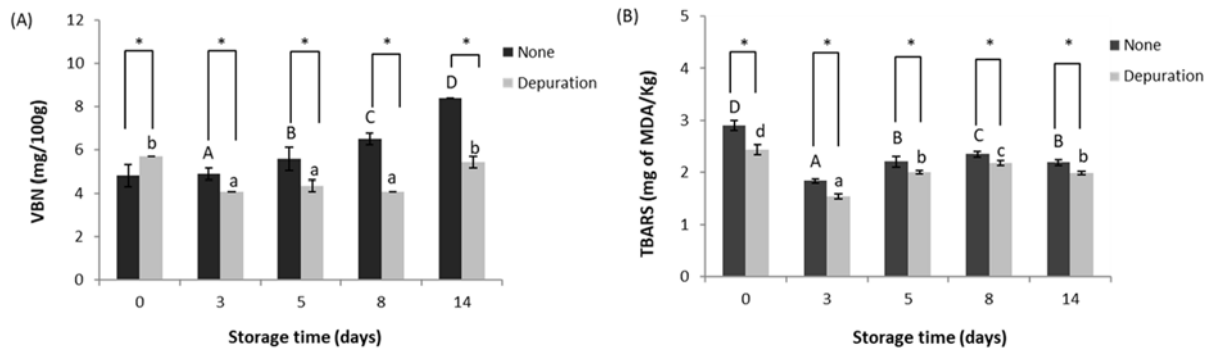


Fig. 5 Variations in oyster freshness during specified storage times at 4°C, including (A) VBN and (B) TBARS. The asterisk denotes a significant difference between the depuration and non-depuration groups ($p<0.05$). The different letter cases indicate significant differences ($p<0.05$) between the storage times.

鮮即食水產品之標準)。顯示冷藏環境下之國產帶殼牡蠣應以生菌數做為評估衛生安全之指標，而淨化處理則有助於提升帶殼牡蠣之鮮度品質，並降低氧化脂質的含量。

結 論

本篇研究利用 60 L 的小型淨化系統，成功確效淨化後牡蠣不僅可降低病原性微生物的污染，更提高了收穫後牡蠣的衛生安全，雖然淨化處理恐會影響生牡蠣的風味，但有助於減少蒸煮後熟牡蠣呈味胺基酸的流失，建議未來仍可發展收穫後的營養強化技術來改善帶殼牡蠣的風味品質。另一方面，由於淨化後牡蠣品質的提升也讓未淨化牡蠣 12.3 天的冷藏保存期限得以延長至 33.4 天，增加產品的架售期。另，在生鮮即食國產牡蠣的產品開發上，由於不同產地來源、收穫季節、存活率、牡蠣大小、淨化條件及包裝型態等，皆會影響收穫後或淨化後牡蠣的衛生安全及品質，因此建議設立批次淨化管理的條件，確實做好每一批淨化牡蠣出貨前的品質管控，方能確保國產牡蠣產業的永續發展。

謝 辭

本研究承蒙南市區漁會提供實驗所需單體牡蠣、本所海水養殖研究中心同仁協助採樣、水產養殖組協助牡蠣淨化系統之設置與潔淨海水之支援、國立臺灣海洋大學張正明老師指導研究設計，使工作得以順利推動，在此一併致謝。

參考文獻

- 侯明君, 陳莉臻, 蕭源泉 (2008) 臭氧處理對牡蠣肉化學組成及其衛生品質之影響. 宜蘭大學生物資源學刊, 4: 01-13.
- 陳岳川, 陳律祺, 陳銓汶, 龔淑仁, 鍾金水, 冼宜樂, 謝恆毅 (2019) 澎湖牡蠣養殖之概況. 水試專訓, 67: 45-49.
- 嘉義縣政府 (2016) 嘉義縣濱海觀光漁筏未來發展之初步構想. 嘉義縣政府 105 年度縣政人才培訓躍升計畫, 8 pp.
- 衛生福利部 (1999) 冰類衛生標準. 衛署食字第 88027006 號.
- 衛生福利部 (1992) 一般食品類衛生標準. 衛署食字第 8143635 號.
- 衛生福利部 (2013) 冷凍食品類衛生標準. 衛福部授食字第 1021350146 號.
- 衛生福利部 (2017) 食品微生物之檢驗方法-腸炎弧菌之檢驗. 衛授食字第 1061900803 號.
- 衛生福利部 (2021) 食品微生物之檢驗方法-大腸桿菌之檢驗. 衛授食字第 110190155 號.
- 衛生福利部 (2013) 食品微生物之檢驗方法-沙門氏桿菌之檢驗. 衛授食字第 1021951187 號.
- 衛生福利部 (2021) 修正水產品中揮發性鹽基態氮之檢驗方法. 衛授食字第 1101902415 號.
- 衛生福利部 (2013) 食品微生物之檢驗方法-生菌數之檢驗. 衛授食字第 1021950329 號.
- 衛生福利部 (2013) 食品中脂肪酸之檢驗方法. 衛授食字第 1021950978 號.
- Anacleto, P., A. L. Maulvault, M. L. Nunes, M. L. Carvalho, R. Rosa, and A. Marques (2015) Effects of depuration on metal levels and health status of bivalve mollusks. Food Control, 47: 493-501.
- Bagenda, D. K., S. Nishikawa, H. Kita, Y. Inai, S. Erai, M. Kato and H. Kasai (2018) Impact of feeding on oyster depuration efficacy under conditions of high

- salinity and low temperature. *Aquaculture*, 500: 135-140.
- Barrento, S., I. Lupatsch, I. Keay and S. Shields (2013) Protocol on Best Practice Handling and Transportation of Live Mussels. Technical Report supported by Project No. 243452, FP7-SME Mussels Alive, 59 pp.
- Battistini, R., C. Masotti, V. Listorti, E. Suffredini, C. Maurella, A. Garcia-Vozmediano, E. Costa, F. Iacona, M. Orlandi, C. Ercolini and L. Serracca (2021) Norovirus persistence in oyster to prolonged commercial purification. *Pathogens*, 10(8): 944.
- Berthelin, C., K. Kellner and M. Mathieu (2000) Storage metabolism in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in relation to summer mortalities and reproductive cycle (west coast of France). *Comp. Biochem. Physiol. B, Biochem. Mol. Biol.*, 125: 359-369.
- Bi, S., C. Xue, Y. Wen, X. Du, Q. Xue, Z. Li and H. Liu (2023) Effects of cooling rates during depuration on the quality of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) at anhydrous preservation stage. *Food Chem. X.*, 17: 100606.
- Bi, S., L. Chen, Z. Sun, Y. Wen, Q. Xue, C. Xue, Z. Li, C. Sun, Z. Wei and H. Liu (2021) Investigating influence of aquaculture seawater with different salinities on non-volatile taste-active compounds in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *J. of Food Meas. Charact.*, 15: 2078-2087.
- Birkeland, S., A. M. B. Rørå, T. Skåra and B. Bjerkeng (2004) Effects of cold smoking procedures and raw material characteristics on product yield and quality parameters of cold smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Res. Int.*, 37(3): 273-286.
- Campbell, V. M., A. Chouljenko and S. G. Hall (2022) Depuration of live oysters to reduce *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus*: A review of ecology and processing parameters. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 21: 3480-3506.
- Center for Disease Control and Prevention (2013) *Vibrio parahaemolyticus* illnesses associated with consumption of shellfish, United States, 2013. Available from: <https://www.cdc.gov/vibrio/investigations/vibriop-09-13/index.html>
- Chen, C., H. Yu and Q. Li (2021) Integrated proteomic and transcriptomic analysis of gonads reveal disruption of germ cell proliferation and division, and energy storage in glycogen in sterile triploid pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Cells*, 10(10): 2668.
- Chen, L., H. Shi, X. Zhang, C. Xue, C. Nie, F. Yang, Y. Shao, Y. Xue, H. Zhang and Z. Li (2022) The effect of depuration salinity on the survival, nutritional composition, biochemical responses and proteome of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during anhydrous living-preservation. *Food Control*, 138: 108977.
- Chinnadurai, S., K. Elavarasan, V. Geethalakshmi, V. Kripa and K. S. Mohamed (2021) Evaluation of static and flow-through depuration system on depuration of naturally contaminated farmed edible oyster *Crassostrea madrasensis* (preston, 1916). *Aquaculture*, 545: 737141.
- Davidson V. J., A. Ravel, T. N. Nguyen, A. Fazil, J. M. Ruzante (2011) Food-specific attribution of selected gastrointestinal illnesses: estimates from a Canadian expert elicitation survey. *Foodborne Pathog. Dis.*, 8: 983-995.
- DePaola, A., L. H. Hopkins, J. T. Peeler, B. Wentz and R. M. McPhearson (1990) Incidence of *Vibrio parahaemolyticus* in U.S. coastal waters and oysters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56(8): 2299-302.
- Ding, A., M. Zhu, X. Qian, L. Shi, H. Huang, G. Xiong, J. Wang and L. Wang (2020) Effect of fatty acids on the flavor formation of fish sauce. *LWT*, 134: 110259.
- Drake, S. L., A. DePaola and L. A. Jaykus (2007) An overview of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 6: 120-144.
- Espinoza, L. A. (2013) Development of safe and ready to eat frozen oyster products using microwave steam-venting technology. Doctoral Dissertations, Louisiana State Univ. Agric. Mech. Coll., 1339.
- European Commission (2004) Commission Regulation of the European parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin, 853/2004/EC. Official J., L 139, 30.4.2004.
- European Commission (2004) Commission regulation of the European parliament and of the council of 29 April 2004 laying down specific rule for organization of official controls on products of animal origin intended for human consumption, 854/2004/EC. Official J., L 139, 30.4.2004.
- European Food Safety Authority (2021) The European Union One Health 2019 Zoonoses Report. EFSA J., 19 (2): e06406.
- European Food Safety Authority (2006) Analysis of the European baseline survey of norovirus in oysters EFSA J. 17: e05762.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022) The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue. Transformation.

- Rome. Available from: <https://www.fao.org/3/cc0461en/cc0461en.pdf>.
- Fuhrmann, M., L. Delisle, B. Petton, C. Corporeau and F. Pernet (2018) Metabolism of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, is influenced by salinity and modulates survival to the Ostreid herpesvirus OSHV-1. *Biol. Open*, 7(2): bio028134.
- Han, B. C., W. C. Jeng, Y. N. Tsai and M. S. Jeng (1992) Depuration of copper and zinc by green oyster and blue mussels of Taiwan. *Environ. Pollut.*, 82: 93-97.
- Hassard, F., J. H. Sharp, H. Taft, L. LeVay, J. P. Harris, J. E. McDonald, K. Tuson, J. Wilson, D. L. Jones and S. K. Malham (2017) Critical review on the public health impact of norovirus contamination in shellfish and the environment: a UK perspective. *Food Environ. Virol.*, 9(2): 1-19.
- Havelaar, A. H., A. V. Galindo, D. Kurowicka and R. M. Cooke (2008) Attribution of foodborne pathogens using structured expert elicitation. *Foodborne Pathog. Dis.*, 5: 649-659.
- Hine, L. W. (1986) Lewis Hine: photographs of child labor in the new South (Kemp, Jr. ed.). Univ. Miss. Press. Jackson, MS 108 pp.
- Hong, L., W. Xiaoxue, Z. Bin and T. Haiqing (2002) Comparison of taste components between triploid and diploid oyster. *J. Ocean Univ. China*, 1(1): 55-58.
- Huang, Y., H. Li, T. Huang, F. Li and J. Sun (2014) Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon. *Food Chem.*, 149: 31-39.
- Hunt, K., B. Doré, S. Keaveney, A. Rupnik and F. Butler (2023) A quantitative exposure assessment model for norovirus in oyster harvested from a classified production area. *Microb. Risk Anal.*, 23: 100247.
- Ivanina, A. V., G. H. Dickinson, O. B. Matoo, R. Bagwe, A. Dickinson, E. Beniash and I. M. Sokolova (2013) Interactive effects of elevated temperature and CO₂ levels on energy metabolism and biomineralization of marine bivalves *Crassostrea virginica* and *Mercenaria mercenaria*. *Comp. Biochem. Physiol. Part A, Mol. Integr. Physiol.*, 166(1): 101-111.
- Jiménez-Martín E., J. Ruiz, T. Pérez-Palacios, A. Silva and T. Antequera (2012) Gas chromatography-mass spectrometry method for the determination of free amino acids as their dimethyl-tert-butylsilyl (TBDMS) derivatives in animal source food. *J. Agric. Food Chem.*, 60(10): 2456-63.
- Jin W, X. Fan, C. Jiang, Y. Liu, K. Zhu, X. Miao and P. Jiang (2023) Characterization of non-volatile and volatile flavor profiles of *Coregonus peled* meat cooked by different methods. *Food Chem.*, 17: 100584.
- Laffon, B., T. Rábade, E. Pásaro and J. Méndez (2006) Monitoring of the impact of Prestige oil spill on *Mytilus galloprovincialis* from Galician coast. *Environ. Int.*, 32: 342-348.
- Larsen, A., F. Rikard, W. Walton and C. Arias (2015) Temperature effect on high salinity depuration of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus* from the Eastern oyster (*Crassostrea virginica*). *Int. J. Food Microbiol.*, 192: 66.
- Lee, R., A. Lovatelli and L. Ababouch (2008) Bivalve depuration: Fundamental and practical aspects. FAO Fisheries Technical PAPER 511. Available from: <https://www.fao.org/documents/card/ft/c/91ea7200-8fdb-55ce-857b-a5816e157609>
- Li, Q., W. Liu, K. Shirasu, W. Chen and S. Jiang (2006) Reproductive cycle and biochemical composition of the Zhe oyster *Crassostrea plicatula* Gmelin in an eastern coastal bay of China. *Aquaculture*, 261(2): 752-759.
- Lin, H., X. Qin, C. Zhang, Y. Huang, J. Gao, L. Liu, B. Luo and F. Yang (2019) Comparative analysis of nutritional components and flavor characteristics of cultivated oyster from different coastal areas of China. *South China Fish. Sci.*, 15: 110-120.
- Liu, S., H. Xu, S. Jian, Q. Xue and Z. Lin (2021) Molecular basis of taste and micronutrient content in Kumamoto Oysters (*Crassostrea sikamea*) and Portuguese Oysters (*Crassostrea angulata*) From Xiangshan Bay. *Front. Physiol.*, 12: 713736.
- McMenemy, P., A. Kleczkowski and N. G. H. Taylor (2023) Modeling norovirus dynamics within oysters emphasizes potential food safety issues associated with current testing & depuration protocols. *Food Microbiol.*, 116: 104363.
- Mead, P., L. Slutsker, V. Dietz, L. McCaig, J. Bresee, C. Shapiro, P. Griffin and R. Tauxe (1999) Food-related illness and death in the United States. *Emerg. Infect. Dis.*, 5(5): 607-625.
- Ming, Z., Y. C. Su, C. M. DeWitt and J. Waite-Cusic (2018) Impact of feeding status on the efficacy of depuration for decontaminating *Vibrio parahaemolyticus* in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 27(5): 627-634.
- Murata, Y., K. Touhata and R. Miwa (2020) Correlation of extractive components and body index with

- taste in oyster *Crassostrea gigas* brands. Fish. Sci., 86: 561–572.
- Oliveira, A. C. M., B. Himelbloom, C. A. Crapo, C. Vorholt, Q. Fong and R. RaLonade (2006) Quality of Alaskan Maricultured Oysters (*Crassostrea gigas*): A One-Year Survey. Food Sci., 71(9): 532-543.
- Onada, O. A. and O. S. Ogunola (2016) Ecological consequences of oyster culture. J. Fish. Livest. Prod., 4: 4.
- Patrick, S., N. Faury and P. Goulletquer (2006) Seasonal changes in carbohydrate metabolism and its relationship with summer mortality of Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Marennes-Oléron bay (France). Aquaculture, 252 (2-4): 328-338.
- Pouillot, R., M. Smith, J. M. V. Doren, A. Catford, J. Holtzman, K. R. Calci, R. Edwards, G. Goblick, C. Roberts, J. Stobo, J. White, J. Woods, A. DePaola, E. Buenaventura and W. Burkhardt (2021) Risk assessment of norovirus illness from consumption of raw oysters in the United States and Canada. Risk Anal., 42(2): 344-369.
- Qin, Y., X. Li, Z. Noor, J. Li, Z. Zhou, H. Ma, S. Xiao, R. Mo, Y. Zhang and Z. Yu (2020) A comparative analysis of the growth, survival and reproduction of *Crassostrea hongkongensis*, *Crassostrea ariakensis*, and their diploid and triploid hybrids. Aquaculture, 520: 734946.
- Qiu, J., Y. Ji, Y. Fang, M. Zhao, S. Wang, Q. Ai and A. Li (2020) Response of fatty acids and lipid metabolism enzymes during accumulation, depuration and esterification of diarrhetic shellfish toxins in mussels (*Mytilus galloprovincialis*). Ecotoxicol. Environ. Saf., 206: 111223.
- Ruano, F., P. Ramos, M. Quaresma, N. M. Bandarra and I. P. Fonseca (2012) Evolution of fatty acid profile and Condition Index in mollusc bivalves submitted to different depuration periods. Rev. Port. Ciênc. Vet., 107(581-582): 75-84.
- Sead, K., A. Ismail, H. B. Omar and M. Kusnan (2004) Heavy metal depuration in flat tree oysters *Isognomon alatus* under field and laboratory conditions. Toxicol. Environ. Chem., 86(1): 171-179.
- Tsai, H. S., Y. T. Hsiao, Y. M. Weng and J. M. Liu (2023) Sustainable utilization technology for improving the freshness of oysters-development of alkaline electrolysis seawater depuration system. Sustainability, 15: 785.
- U.S. Food and Drug Administration (2018) The danger of eating contaminated raw oysters. FDA. Available from: <https://www.fda.gov/food/health-educators/danger-eating-contaminated-raw-oysters>.
- Wang, D., S. Yu, W. Chen, D. Zhang and X. Shi (2010) Enumeration of *Vibrio parahaemolyticus* in oyster tissues following artificial contamination and depuration. Lett. Appl. Microbiol., 51(1): 104-1.

Effects of Depuration on Food Hygiene, Flavor, and Fresh-keeping in Local Fresh Whole-shelled Oysters (*Magallana angulata*)

Yi-Feng Kao^{1*}, Cheng-Ying Ho¹, Li-Ti Zhang², Yen-Wei Chang¹, Chi-Zing Chou¹,
Chun-Ta Yeh¹ and Ming-Chih Fang²

¹Seafood Technology Division, Fisheries Research Institute

²Department of Food Science, National Taiwan Ocean University

ABSTRACT

The local oyster farming industry in Taiwan is located along the coastal waters of Changhua, Yunlin, Chiayi, and Tainan. The oysters here are plump thanks to the nutrients, salts, and abundant microalgae growth. However, frequent contamination from human activities also directly or indirectly triggers food hygiene concerns. To improve the quality and safety of local oysters for consumption, a 60-liter small depuration system consisting of an ultraviolet light system, a cooling system, and a circulating filter tank was installed in-house to purify the oysters. The effects of depuration on oyster hygiene, flavor, and fresh-keeping of the were investigated. The results showed that total plate count (TPC) and microbial count of *Vibrio parahaemolyticus* in the control (non-depuration) group was 1.63×10^5 cfu/g and >1100 MPN/g, respectively, both the coliform and Salmonella levels were negative. A 96-hr depuration treatment promoted local oysters' to meet the legal hygiene standard of raw seafood for human consumption (TPC $<1.0 \times 10^5$ cfu/g and *Vibrio parahaemolyticus* <100 MPN/g). In the flavor analysis, the glycogen, total fatty acids, and total free amino acids of the oysters had decreased by 73.5% ($p < 0.05$), 46.4%, and 24.2% ($p < 0.05$), respectively after 72-hr depuration. Moreover, the levels of umami and sweet and bitter amino acids on the raw oyster from the depuration group decreased by 18.9%, 27.4%, and 13.4%, respectively. However, the depuration significantly improved the loss of amino acids ($p < 0.05$) from oyster cooking. Comparing the hygiene and safety of the non-depurated and depurated oysters under refrigeration, the oysters met the legal standard for edible seafood for 12.3 and 33.4 days, respectively. Depuration treatment marked an improved oyster quality for raw consumption, better flavor retention in the cooked oysters, as well as extended refrigerated shelf life, thus increasing the sales revenue of locally produced oysters.

Key words: local oyster, depuration, food hygiene and safety, flavor, fresh-keeping

*Correspondence: 199 Hou-lh Road, Keelung 202, Taiwan. TEL: (02)2462-2101 ext. 2837 ; FAX: (02)2462-3306; E-mail: yfkao@mail.tfrin.gov.tw