

蝦類質構數據庫之建立與比較：市售與植物性素蝦的質地、營養與消費者接受度分析

張佳心^{1†} 范植軒² 蔡書憲² 楊巧敏³ 簡全基² 李士畦² 鍾成沛^{1,3,4*} 李明怡^{1,3,5*}

Establishment and Comparison of a Shrimp Texture Database: An Analysis of Texture, Nutrition, and Consumer Acceptance in Commercial and Plant-Based Shrimp

Chia-Hsin Chang^{1†}, Chih-Hsuan Fan², Shu-Hsien Tsai², Chiao-Min Yang³, Chuan-Chi Chien², Shih-Chi Lee², Cheng-Pei Chung^{1,3,4*}, Ming-Yi Lee^{1,3,5*}

¹Department of Nutrition and Health Sciences. Chang Gung University of Science and Technology, Taoyuan, 33303, Taiwan

²Industrial Technology Research Institute, Hsinchu 31057, Taiwan

³Graduate Institute of Health Industry Technology. Chang Gung University of Science and Technology, Taoyuan, 33303, Taiwan

⁴Research Center for Food and Cosmetic Safety. Chang Gung University of Science and Technology, Taoyuan, 33303, Taiwan

⁵Center for Drug Research and Development. Chang Gung University of Science and Technology, Taoyuan, 33303, Taiwan

⁶Department of Nutrition and Health Sciences. Chang Gung University of Science and Technology.

⁷Department of Nutrition and Health Sciences. Chang Gung University of Science and Technology.

(Received: April 10, 2025. Accepted: July 31, 2025)

Abstract This study presents the first integrated texture-and-nutrition database for five widely consumed crustaceans-Boston lobster (*Homarus americanus*), ornate spiny lobster (*Panulirus ornatus*), grass shrimp (*Palaemon carinicauda*), fleshy prawn (*Fenneropenaeus chinensis*), and black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Texture-profile analysis (TPA) and proximate composition assays were combined, and similarity was quantified with both Euclidean distance and cosine similarity. Commercial vegetarian shrimp products (samples A-D), a newly developed plant-based shrimp prototype, and their animal counterparts were evaluated. Storage conditions markedly influenced texture: texturized vegetable pro-

* Corresponding author: Ming-Yi Lee, Cheng-Pei, Chung

Address: No. 261, Wenhua 1st Rd., Guishan Dist., Taoyuan City 333324, Taiwan (R.O.C.).

Tel: +886-2-7749-6296 ; Tel: +886-7-6151100 ext. 7915

E-mail: mylee@mail.cgust.edu.tw; cpchung@mail.cgust.edu.tw

tein (TVP) formulations became firmer after freezing, whereas okara-based products softened. Most commercial vegetarian shrimp relied on low-protein matrices (0.24-2.95% protein). Although samples B and D displayed texture values close to those of grass shrimp and white shrimp, their nutritional profiles differed substantially (Euclidean distance > 25.05; cosine similarity < 0.9487). By contrast, the 42%-TVP prototype most closely resembled ornate spiny lobster (Euclidean distance = 2.89; cosine similarity = 0.9970) and matched real shrimp in protein content ($21.65 \pm 0.51\%$). It also achieved the highest sensory similarity score (5.60 ± 0.70), underscoring its promise as a realistic shrimp analogue. The database and similarity model developed here provide a quantitative framework for the rational design, formulation optimisation, and nutritional enhancement of next-generation plant-based seafood products.

Keywords: *Plant-Based Seafood, Vegetarian Shrimp, Texture Profile Analysis, Texture Database, Sustainability*

前 言

全球海鮮需求的持續增長，正帶來前所未有的生態與永續壓力，海洋漁業資源的過度開發與碳排放問題日益嚴峻，世界各國積極尋求可行的解決方案，然而近 30% 以上的魚類資源皆被過度捕撈，剩餘多數資源亦達最大捕撈的負荷⁽¹⁾⁽²⁾。隨著氣候變遷對海洋生態系統的衝擊加劇，加上海洋汙染、塑膠微粒與重金屬累積等環境問題，傳統海鮮產業已面臨嚴峻挑戰⁽³⁾。低碳的飲食來源與永續議題備受討論，世界各國皆關注如何減少對水產資源的依賴，並兼顧生物多樣性與生態平衡⁽⁴⁾⁽⁵⁾。隨著全球對氣候變遷與糧食永續的關注日益升高，植物性肉類與海鮮替代品逐漸成為國際食品創新的重點方向，根據先前文獻報告，植物性肉替代品的整體市值在過去五年呈指數級成長，大量研究與創新產品聚焦於如何應用大豆、豌豆、小麥以及豆渣等副產品來源之植物蛋白（Plant-Based Proteins, PBPs）來模仿動物性食品的結構、口感與風味⁽⁶⁾，植物性海鮮替代品被視為繼「植物性肉類」後的下一個重要增長領域，並且逐漸在國際市場上占據一席之地。

在海鮮市場中，蝦類為最具代表性的核心品項之一，具高經濟價值與廣泛消費基礎⁽⁷⁾。然而，蝦類養殖與野生捕撈所帶來的碳排放、濫捕、野生漁業依賴及環境污染等問題不斷浮現⁽⁸⁾。儘管水產養殖被視為緩解野生漁業壓力的其中一條途徑，但該產業仍面臨飼料來源與水質管理等多重挑戰，導致對環境負荷並未如預期降低，且大量的燃油使用與重金屬毒素的潛在風險，也使蝦類供應鏈正考驗著對永續漁業與淨零排碳之共同承諾⁽⁹⁾。在全球碳排放與環境保護意識抬頭之下，開發植物性海鮮替代品也因此成為一個備受關注的議題，過去數十年，已有大量的研究與產品開發投入植物性肉品替代品

領域，但針對「植物性海鮮替代品」的探索仍屬新興⁽¹⁰⁾。以蝦類而言，藉由植物蛋白及加工技術模擬真蝦的口感、營養與風味，既有機會緩解漁業壓力，也能降低碳排放與保育生態⁽¹¹⁾，蝦類作為海鮮市場的核心，若能成功開發出具有類似口感與營養價值的植物性蝦品，更可直接緩解過度捕撈、減少漁業碳足跡，並回應全球對永續食物系統的轉型需求⁽¹²⁾。

目前市售植物性仿蝦產品主要以大豆蛋白（soy protein）、豌豆蛋白（pea protein）與豆渣（okara）為常見基材，這些植物蛋白經過纖維化（texturization）、凝膠化（gelation）與增稠劑（如甲基纖維素、海藻酸鈉）應用後，得以模擬蝦類的咀嚼感與彈性結構。大豆蛋白具良好成膜性與咬感，再加上熱擠壓處理可提升纖維排列，豌豆蛋白則因過敏風險較低而受青睞，而豆渣為高纖且具永續價值的副產物，但在結構穩定性與風味掩蓋上仍面臨挑戰。儘管仿蝦產品在技術上已有初步發展，但目前仍普遍存在瓶頸，如質構擬真度不足，難以精準模擬蝦類咬斷感與內部緻密度、營養成分（特別是蛋白質與必需胺基酸）與真蝦存在明顯差異以及消費者在口感與香氣的接受度方面仍有待提升。在「以蝦為對象」之植物基產品方面，目前市場雖已有多家廠商推出市售素蝦，惟大多配方集中在蒟蒻（konjac）及增稠劑的應用，主要強調外觀與彈性口感的模擬⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。此類產品一般以水、香料及少量植物蛋白組成，蛋白含量通常偏低，礦物質及必需脂肪酸含量更難與真蝦比擬⁽¹⁵⁾。另一方面，少數研究機構與實驗室正嘗試結合大豆、豌豆或豆渣蛋白，搭配微生物油（如藻油）及增味組合，期望在維持彈韌口感的同時增添 Omega-3 脂肪酸與胺基酸組成⁽¹⁶⁾，然而，受限於加工技術與原料選擇不一致，此類概念性素蝦配方在質地、營養組成上仍呈

現巨大落差，亦缺乏系統化評估與可比對數據⁽¹³⁾，並且目前市售素蝦多著重感官或烹調方便性，未對蛋白含量或微量營養素進行強化，導致「蛋白不足」及「澱粉、鹽含量偏高」成為普遍現象，也使得一般消費者對素蝦的健康與營養價值產生疑慮⁽¹⁷⁾，評估素蝦與真蝦之間「相似度」的科學方法相對缺乏，現有文獻多以主觀描述為主，難以全面量化質地或營養特徵之差異。

本研究首要目標在於建立真蝦與素蝦之質構與營養資料庫，首先，透過實驗測定多種蝦類（真蝦）在不同儲藏條件下的硬度、彈性、咀嚼性等質構數據，並比對市售與自製植物性素蝦之表現，進而歸納兩者間的差異，其次，整合營養分析（蛋白質、脂肪、灰分等）結果，利用歐式距離與餘弦相似度做初步對比，同時搭配官能品評進行感官接受度調查，不僅可為植物性海鮮配方優化提供基礎，亦可彌補文獻中關於素蝦質地與營養資料之不足。透過精準的質構數據與多維度相似度分析，未來配方開發者可更有效率地針對關鍵參數調整，最終在降低碳排放與保護海洋生態的同時，提供口感與營養皆更貼近真蝦的產品，進一步促進植物性海鮮產業的永續與創新。

材料與方法

一、樣品來源

本研究使用之真蝦樣品包括新鮮波士頓龍蝦、草蝦、明蝦、斑節蝦與錦繡龍蝦，皆自本地漁港新鮮採購，並於 24 小時內完成去殼處理與實驗操作；冷凍真蝦樣品則包括冷凍波士頓龍蝦、冷凍草蝦與冷凍明蝦，購自國內大型連鎖賣場，於實驗前進行解凍與標準化處理。市售素蝦樣品共四種，皆自本地素食批發場採購（市售 A、B、C、D），所有市售樣品皆冷凍保存。

本研究同時開發四款植物基素蝦樣品，依主要蛋白質原料與比例分為大豆組織化植物蛋白（TVP）25%、TVP 42%、豆渣 25%與豆渣 42%組，基礎配方成分包含蒟蒻、玉米澱粉 T8、二氧化鈦、二氧化矽、糖味香料、乳酸鈣、卡德蘭膠、檸檬酸、己六醇、調味料、氫氧化鈣與碳酸鈣等，所有樣品完成後分別依冷藏（新鮮）與冷凍（至少一週）條件保存，以進行質地與營養成分之分析與比

較。

二、實驗方法

（一）全質構分析

將真蝦與素蝦樣品於 4℃ 冷藏環境退冰過夜（overnight），由各部位切出 2×2×2 公分大小之立方體共 8 塊，並以 100℃ 熱水川燙 1 分鐘後放涼至室溫，將表面水分擦拭後，使用食品質構分析儀（TPS-UniversalTA, China）進行測試，條件設定根據本研究室先前建立模式為依據⁽¹⁸⁾，初始高度為 50 mm，Pretest speed 為 10 mm/s、Test speed 為 10 mm/s、Post test speed 為 10 mm/s、探頭規格為直徑 38 mm、不鏽鋼材質的圓柱探頭、觸碰樣品後下壓 10 mm、樣品高度為 20 mm、型變 50%、環境溫度 25.8℃。將樣品置於載物台中央並對準探頭，進行硬度（Hardness）、彈性（Springiness）、咀嚼性（Chewiness）、黏聚性（Cohesiveness）、回復性（Resilience）之質地數據測定，計算其平均及標準差。

（二）保存性試驗

將波士頓龍蝦分裝至密封保存袋中，每袋約 100 g，將保存袋抽真空後，置於 -18℃ 冷凍環境中，儲藏 0-5 週，並於每週取出樣品，於 4℃ 冷藏環境退冰過夜（overnight），爾後進行上述全質構分析，比較冷凍貯藏時間對鮮蝦之質地變化。

（三）基本成分分析

本研究依據 Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 標準方法進行⁽¹⁹⁾，樣品之基本營養成分分析，包含水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪與總醣類含量。所有實驗皆以三重複進行，所得數據以平均值及標準差表示。

1. 水分含量 (Moisture Content)

水分含量測定採用重量差法，首先預先將稱量瓶乾燥並冷卻至室溫後秤重（恆重），作為空瓶重。取約 5-10 g 均質化樣品（記錄為 W1）置於稱量瓶中，並於 105±5℃ 熱風循環烘箱中加熱至少 2 小時。完成後立即移入乾燥器中冷卻至室溫，精確稱重記錄為 W2。若兩次連續乾燥後的重量差小於 0.005 g，視為乾燥完成。水分含量計算公式如下：

$$\text{Moisture Content (\%)} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$$

2. 灰分含量 (Ash Content)

灰分含量之測定使用高溫灼燒法進行。實驗前將瓷坩堝置於電熱高溫爐中，於 $575 \pm 25^\circ\text{C}$ 下灼燒至恆重後取出，置於乾燥器中冷卻至室溫，稱重記錄為空坩堝重量 ($W1$)。再取經 105°C 烘乾處理後之樣品約 1.0 g (與坩堝共秤為 $W2$)，再將坩堝置入高溫爐中進行灼燒，條件為 $575 \pm 25^\circ\text{C}$ 至樣品內部碳完全氧化、灰白色或淡灰色為止，並持續至兩次秤重差異小於 0.005 g 為止。冷卻後測得坩堝加灰分之重量為 $W3$ 。計算灰分含量如下：

$$\text{Ash Content (\%)} = \frac{W3 - W1}{W2 - W1} \times 100\%$$

3. 粗蛋白含量 (Crude Protein Content)

粗蛋白含量採用凱氏氮法 (Kjeldahl Method) 進行測定，以總氮量乘以蛋白質換算係數 6.25。稱取 0.5 g 乾樣品置於分解管中，加入 5 g 催化劑混合物 (硫酸鉀與硫酸銅比例為 9:1) 與 13 mL 的濃硫酸 (18 N)，於消化爐中先以 200°C 預熱 1 小時以碳化樣品，接續提高至 400°C 加熱約 2 小時，直至溶液轉為淡藍色澄清液體，表示分解完全。冷卻後加入 70 mL 蒸餾水稀釋，再加 50 mL 之 40% 氫氧化鈉溶液催化反應，將樣品置於自動蒸餾系統中蒸餾氨氣，並由含甲基紅與甲基藍指示劑的 4% 硼酸溶液收集蒸餾產物。最後以 0.1 N 鹽酸溶液滴定至微紅色為終點，紀錄消耗的鹽酸體積。計算公式如下：

$$\text{Crude Protein (\%)} = \frac{V \times N \times F \times 1.4007 \times 6.25}{\text{Sampleweight (g)}}$$

其中， V 為滴定所用鹽酸體積 (mL)， N 為鹽酸濃度 (mol/L)， F 為 0.1N 鹽酸力價，1.4007 為計算氮含量之常數 (mg N/mL HCl)。

4. 粗脂肪含量 (Crude Fat Content)

脂肪含量分析使用 Soxhlet 萃取法進行。將 3.00 g 均質樣品置於定量濾紙內包妥，放入圓筒濾紙中，再放入 Soxhlet 萃取管中，脂肪回收瓶精確秤重 ($W1$)，加入約 170 mL 無水正己烷作為溶劑，並架設冷凝管，將整組裝置置於加熱板上使正己烷

迴流 16 小時以進行脂肪萃取。結束後回收溶劑，將脂肪回收瓶正己烷回收並使其揮發至恆重，再放入乾燥器冷卻至室溫後精確秤重 ($W2$)。脂肪含量計算如下：

$$\text{Crude Fat (\%)} = \frac{W2 - W1}{\text{Sampleweight(g)}} \times 100\%$$

5. 總醣類含量

總醣類含量以差值法計算，假設樣品主要成分為水分、灰分、蛋白質、脂肪與醣類，並忽略其他微量成分。將樣品水分、灰分、粗蛋白與粗脂肪含量百分比相加後以 100% 扣除，即得總醣類含量。

$$\begin{aligned} \text{Total Carbohydrates (\%)} \\ = 100 - (\text{Moisture} + \text{Ash} + \text{Crude Protein} + \text{Crude Fat}) \end{aligned}$$

(四) 感官品評測試

1. 樣品製備

本研究所使用之品評樣品共計八組，包括市售素蝦四種與本研究之植物基素蝦四種。所有樣品在品評前均進行標準化處理，先將樣品切割為約 $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ 的立方體小塊，再以沸水川燙處理 1 分鐘，隨即瀝乾後置入編號之小塑膠碟中，並以隨機編碼三位數標記樣品，避免品評員識別樣品來源。樣品製備與擺放程序皆由相同訓練之實驗人員操作，以確保品評過程中樣品的一致性與評估準確性。

2. 品評員招募

本次消費者官能評估之品評員招募對象為長庚科技大學校內一般學生與教職員，透過張貼海報與校內公告方式進行招募，最終共計招募 58 位志願參與者。參與者無須具備食品專業背景，但須具備基本感官辨識能力與完整參與測試之意願，所有品評員皆於品評前接受統一說明，包括試驗流程、品評方法與個人品評責任等，確保能正確理解並完成感官評估任務。

3. 正式試驗與評估方式

官能品評試驗於長庚科技大學感官品評室進行，場地設有良好照明與通風，環境溫度控制適中。測試前由實驗人員進行說明，並協助品評員依照編號逐一進行樣品評估。為降低樣品間殘留風味

對結果之影響 (carry-over effect)，品評員於每次品評前皆需食用小塊蘇打餅乾並飲用白開水清潔口腔。本研究採用情意試驗 (9 分量表法, 9-point hedonic scale) 進行樣品感官評估, 紙本問卷包含以下六項評分指標: 外觀喜好程度 (Appearance)、氣味喜好程度 (Aroma)、口感喜好程度 (Texture)、風味喜好程度 (Flavor)、整體喜好程度 (Overall liking)、與真蝦的相似度 (Similarity to real shrimp), 每位品評員針對每一樣品逐項評分, 並依照下列 9 分量表進行評估: 1 分為「極度不喜歡」、2 分為「非常不喜歡」、3 分為「有點不喜歡」、4 分為「稍微不喜歡」、5 分為「無喜好或不喜好」、6 分為「稍微喜歡」、7 分為「有點喜歡」、8 分為「非常喜歡」、9 分為「極度喜歡」。完成每項評估後, 再由實驗人員提供下一樣品, 依序完成全數八組樣品之評估。所有品評數據後續將進行量化統計分析, 以比較各組樣品在各感官指標上之表現差異。

(五) 統計分析

所有數據以平均值 $\pm$ 標準偏差 (mean $\pm$ SD) 呈現, 並以 SPSS (IBM SPSS Statistics, USA) 進行統計分析。龍蝦保存試驗及冷藏、冷凍條件下之真蝦與植物基素蝦全質構分析數據, 採用獨立樣本 t 檢定 (Independent Samples t-test) 比較; 不同真蝦以及市售素蝦與植物基素蝦的質地、成分與官能品評結果, 則以單因子變異數分析 (ANOVA) 進行比較, 以 $p < 0.05$ 代表組間具有顯著差異; 為評估植物性素蝦與真蝦在質地與營養組成上的相似性, 本研究採用歐氏距離 (Euclidean Distance) 與餘弦相似度 (Cosine Similarity) 進行量化分析, 數據皆經 z-score 標準化處理, 以消除變數間單位差異所造成的偏誤, 相似度計算係使用 Excel 內建向量函數進行。

結果與討論

一、蝦類數據庫之建立與分析

(一) 真蝦全質構分析

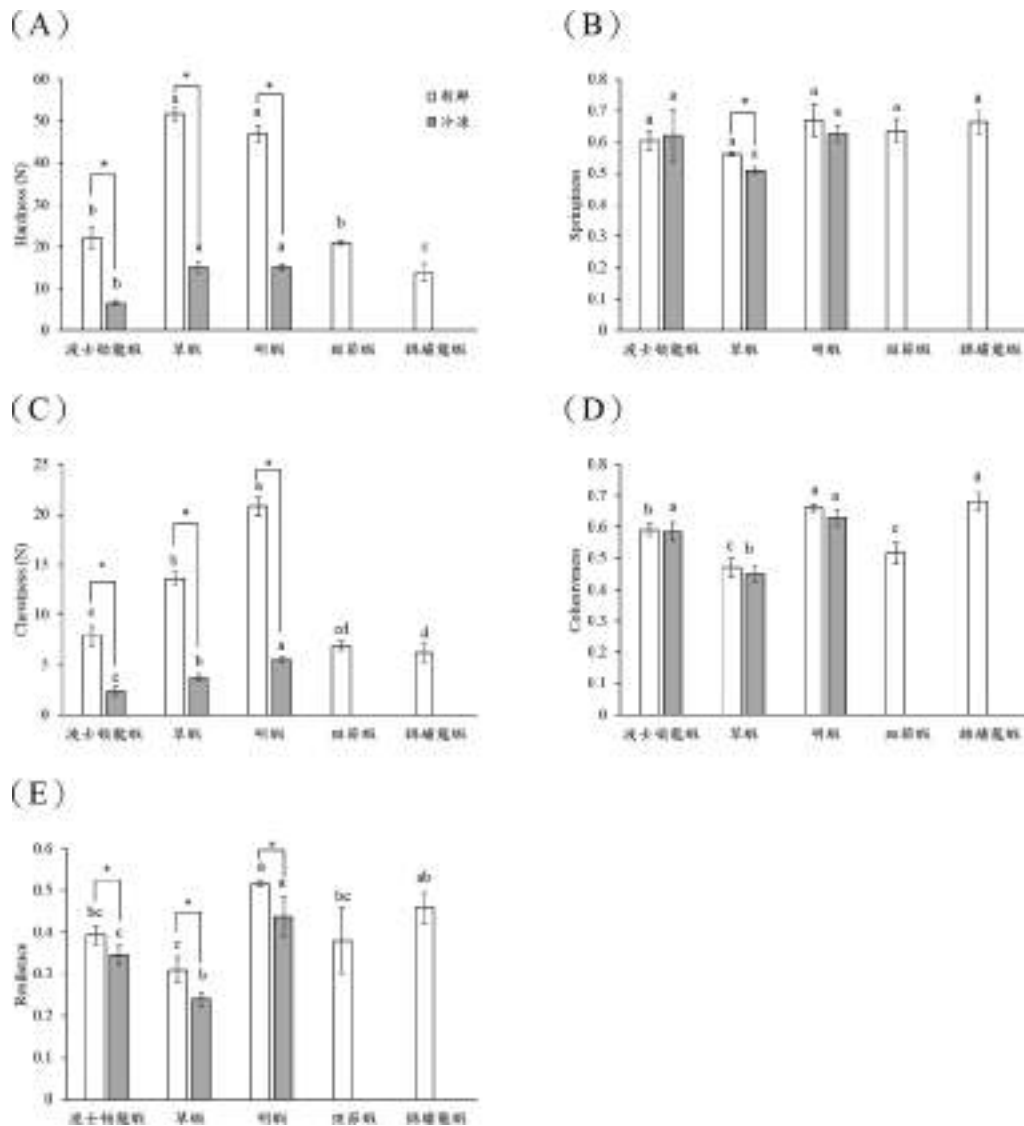
本研究針對五種蝦類之新鮮樣品進行質地分析 (硬度、彈性、咀嚼性、黏聚性、回復性), 結果

顯示草蝦的新鮮狀態硬度最高 (51.65 ± 1.46 N), 明蝦則在咀嚼性方面表現最顯著 (20.80 ± 0.96 N), 顯示其口感彈韌度較佳, 波士頓龍蝦雖硬度不及草蝦與明蝦, 但其彈性 (約 0.61-0.63) 與回復性 (約 0.39-0.40) 維持在相對平衡的範圍。斑節蝦與錦繡龍蝦, 由於採購條件限制, 未能取得冷凍樣品進行比較。

在可同時取得新鮮與冷凍樣品的波士頓龍蝦、草蝦與明蝦方面, 冷凍後整體質構呈現不同程度的衰退, 其中以硬度和咀嚼性的落差最為明顯。草蝦的新鮮硬度值 (51.65 ± 1.46 N) 與咀嚼性 (13.61 ± 0.58 N) 顯著高於冷凍後的 15.10 ± 1.00 N 與 3.74 ± 0.33 N ($p < 0.05$), 明蝦的咀嚼性也由 20.80 ± 0.96 N 顯著降至 5.52 ± 0.23 N ($p < 0.05$)。波士頓龍蝦硬度雖較草蝦、明蝦低, 但仍從新鮮狀態時的 22.15 ± 2.48 N 大幅降至冷凍後之 6.53 ± 0.50 N, 此結果說明經凍結可能導致蝦肉肌纖維因冰晶形成而鬆散或斷裂, 顯著影響其硬度與咀嚼性, 相比之下, 彈性 (Springiness)、黏聚性 (Cohesiveness) 與回復性 (Resilience) 則相對穩定。先前文獻亦指出, 凍結主要破壞水產品肌纖維結構與保水力, 而對較能保持表面膠質黏著性或韌性的指標影響較小⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。雖然錦繡龍蝦與斑節蝦未能檢測冷凍數據, 但從其新鮮樣本硬度與咀嚼性推測, 若能取得冷凍品, 預期同樣會隨凍結處理而呈現顯著衰減。

(二) 龍蝦保存性試驗

本研究選用波士頓龍蝦作為長期凍藏試驗樣品, 考量其在國際市場中具高經濟價值, 且擁有堅硬外殼與較厚實的尾部肌肉, 能在凍藏期間提供較穩定且可量化之質構變化, 故適合用以探討長期冷凍貯藏對蝦類特性的影響。圖二呈現其 0 週至第 5 週冷凍儲藏期間五項質地指標的變化。從硬度與咀嚼性趨勢可觀察到, 儲藏初期 (0 週至 1 週) 龍蝦肌肉仍維持相對穩定的結構。然而進入第 2 週後, 硬度大幅降低至 7.00 ± 0.61 N ($p < 0.05$), 可能與冰晶快速形成與溶解的循環使肌纖維破壞加劇, 導致肌肉結構大幅鬆散⁽²²⁾。之後雖出現明顯回升現象, 但整體仍低於初始的水準, 說明在凍藏過程中肌肉組織經受反覆冰晶生成破壞後, 雖可因水分重新分佈等因素局部恢復硬度, 卻無法完全回到初始狀態。類似的硬度 U 型變化在過去研究指出, 長期凍藏會使蛋白質結構受損而使硬度驟降, 再於後期



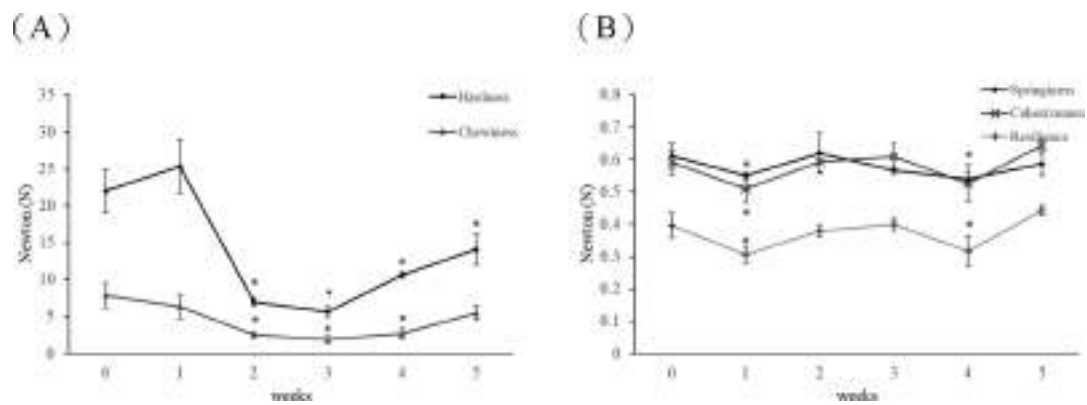
圖一 真蝦樣品經冷藏與冷凍處理後之全質構分析結果，包括硬度 (A)、彈性 (B)、咀嚼性 (C)、黏聚性 (D) 與回復性 (E) 之比較

Figure 1. Texture profile analysis (TPA) results of various shrimp samples under chilled (fresh) and frozen conditions, including hardness (A), springiness (B), chewiness (C), cohesiveness (D), and resilience (E). Values are expressed as mean $\pm$ SD ($n = 3$). Different lowercase letters indicate significant differences among shrimp species within the same storage condition determined by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test ($p < 0.05$). Asterisks (*) indicate significant differences between chilled and frozen states of the same shrimp species, based on independent samples t-test ($p < 0.05$).

因水分重排、肌肉緊縮及水分散失等因素略有回升⁽²¹⁾。相較於硬度與咀嚼性之明顯衰退與回升模式，彈性、黏聚性及回復性的變化幅度則相對溫和，說明長期凍藏對龍蝦肌肉之結構穩定度仍具有一定的影響，但較不似硬度和咀嚼性般顯著破壞。

(三) 真蝦基本成分分析

本研究進一步比較五種真蝦樣品之基本成分，結果彙整於表一。從數據可觀察到，粗蛋白含量以波士頓龍蝦與錦繡龍蝦較為突出，分別為 $27.62 \pm 0.09\%$ 與 $26.09 \pm 0.17\%$ ，顯示龍蝦類在提供高蛋白上有相對優勢，在灰分、醣類及粗脂肪含量方面數值皆偏低，蝦類為廣泛認知上低脂肪、高蛋白的蛋



圖二 冷凍波士頓龍蝦樣品於不同週數儲藏期間之質構變化，包括硬度與咀嚼性（A），以及彈性、黏聚性與回復性（B）之變化趨勢。

Figure 2. Changes in texture properties of frozen *Homarus americanus* during storage at different weeks, including hardness and chewiness(A), and springiness, cohesiveness, and resilience(B). Values are presented as mean $\pm$ SD (n = 3). Asterisks(*) indicate significant differences compared to week 0 (p < 0.05), analyzed by independent samples t-test.

表一 不同真蝦樣品之基本成分分析

Table 1. Proximate composition (%) of different shrimp species, including moisture, ash, crude protein, crude fat, and carbohydrates. Values are expressed as mean $\pm$ SD (n = 3). Different superscript letters within the same column indicate significant differences among samples (p < 0.05), as determined by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test.

%	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	醣類
波士頓龍蝦	67.50 $\pm$ 0.24 ^d	2.86 $\pm$ 0.13 ^a	27.62 $\pm$ 0.09 ^a	1.27 $\pm$ 0.05 ^b	0.75 $\pm$ 0.05 ^b
錦繡龍蝦	69.25 $\pm$ 0.22 ^c	2.39 $\pm$ 0.07 ^b	26.09 $\pm$ 0.17 ^b	1.42 $\pm$ 0.04 ^a	0.85 $\pm$ 0.03 ^a
草蝦	76.52 $\pm$ 0.16 ^a	1.86 $\pm$ 0.07 ^c	20.32 $\pm$ 0.11 ^c	0.81 $\pm$ 0.03 ^d	0.50 $\pm$ 0.02 ^c
明蝦	73.85 $\pm$ 0.59 ^b	1.76 $\pm$ 0.07 ^c	22.43 $\pm$ 0.61 ^d	1.04 $\pm$ 0.06 ^c	0.91 $\pm$ 0.03 ^a
斑節蝦	72.93 $\pm$ 0.07 ^b	1.90 $\pm$ 0.08 ^c	24.13 $\pm$ 0.11 ^c	0.75 $\pm$ 0.06 ^d	0.29 $\pm$ 0.03 ^d

白質來源，與本研究測定之數值相符⁽²³⁾，不同蝦種在基本成分上的多樣性，說明了其物種、生長環境、營養需求與生理特性各具獨特性，儘管如此仍呈現相似之趨勢。

二、市售素蝦與植物基素蝦之特性評估

（一）市售素蝦與植物基素蝦全質構分析

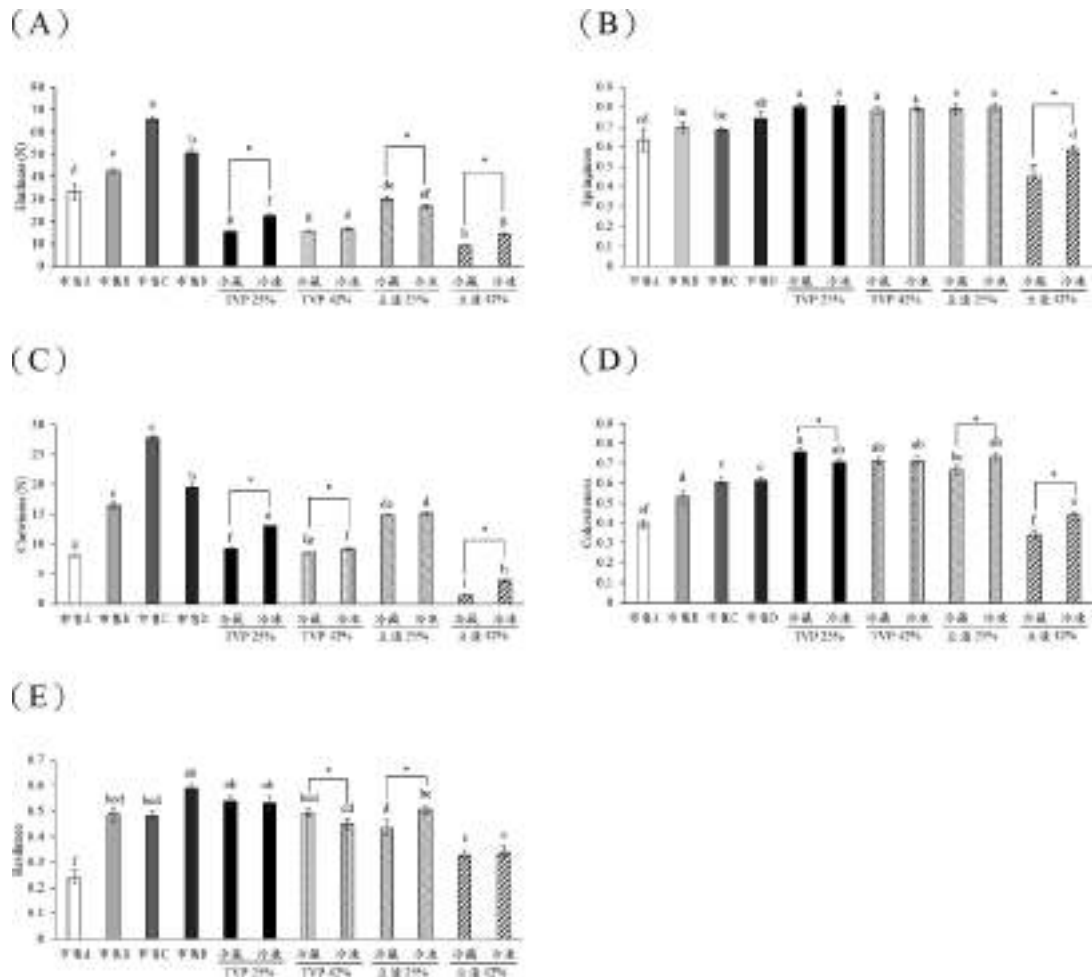
為探討市售素蝦及本研究開發之植物基素蝦在質地方面的差異，本研究針對質地之五項指標進行質構儀分析（TPA），結果如圖三所示。市售素蝦

（A、B、C、D）之間可發現市售C在硬度（65.78 $\pm$ 1.42 N）與咀嚼性（27.75 $\pm$ 0.27 N）上顯著高於其他組（p < 0.05），顯示其口感最為緊實、咬勁較強、市售D次之，且在回復性（0.59 $\pm$ 0.02）部分數值最高，說明市售D具有較佳的彈韌恢復能力；相較之下，市售A與B硬度與咀嚼性表現較低，口感較為柔軟，此結果顯示市售素蝦品牌配方在結構或蛋白基材上存在明顯差異。綜觀比較下，市售素蝦（A、B、C、D）在硬度與咀嚼性上表現差異明顯，顯示目前市售產品在口感上的定位尚不一致。

本研究開發之植物基素蝦，則可依配方主原

料與添加比例區分為 TVP 25%、TVP 42%、豆渣 25% 及豆渣 42% 等四種。結果顯示不同比例的 TVP 添加於植物基素蝦中不會影響其質地變化，然而豆渣因具質地柔軟、組織鬆散的特性，添加高比例於植物基素蝦產品中會顯著降低其硬度、咀嚼性、彈性等素質 ($p < 0.05$)。而由冷藏與冷凍兩種處理結果可見，TVP 25% 由冷藏時的硬度 15.54 ± 0.60 N 增加至冷凍後之 22.77 ± 0.90 N ($p < 0.05$)，咀嚼性亦由 9.16 ± 0.26 N 增至 13.01 ± 0.05 N，推測在凍

結或解凍過程中部分水分流失或蛋白網絡更加緊密，導致其組織變得較為緻密。而豆渣 25% 則相反，硬度自 30.12 ± 0.94 N 略降至 26.69 ± 0.73 N，但咀嚼性仍維持在約 14.92-15.06 N 的相似水準，顯示豆渣基材對凍結產生的影響不同於 TVP。然而豆渣 42% 在冷藏狀態下的硬度僅 9.34 ± 0.31 N，但經凍結後顯著提高至 14.43 ± 0.52 N，推測高豆渣比例在低溫環境中更容易出現結構緊縮或脫水效應，最終使硬度增加。類似現象也可在植物蛋白仿肉與仿



圖三 市售素蝦與本研究開發之植物基素蝦樣品在不同儲藏條件下之質構分析，包括硬度 (A)、彈性 (B)、咀嚼性 (C)、黏聚性 (D) 與回復性 (E)。

Figure 3. Texture profile analysis (TPA) of commercial vegan shrimp products and in-house developed plant-based shrimp under different storage conditions, including hardness (A), springiness (B), chewiness (C), cohesiveness (D), and resilience (E). Values are expressed as mean $\pm$ SD ($n = 3$). Different lowercase letters within each graph indicate significant differences among groups ($p < 0.05$), analyzed by one-way ANOVA with Tukey's HSD post-hoc test. Asterisks (*) indicate significant differences between refrigerated and frozen samples within the same formulation, determined by independent samples t-test ($p < 0.05$).

表二 市售素蝦與本研究植物基素蝦樣品之基本成分分析

Table 2. Proximate composition (%) of commercial vegan shrimp and in-house developed plant-based shrimp samples, including moisture, ash, crude protein, crude fat, and carbohydrates. Values are presented as mean $\pm$ SD ($n = 3$). Different superscript letters within the same column indicate significant differences among samples ($p < 0.05$), determined by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test.%

%	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	醣類
市售 A	73.27 $\pm$ 0.31 ^c	3.57 $\pm$ 0.11 ^d	2.95 $\pm$ 0.07 ^e	2.08 $\pm$ 0.04 ^b	18.13 $\pm$ 0.19 ^c
市售 B	77.88 $\pm$ 0.11 ^a	4.14 $\pm$ 0.08 ^c	0.32 $\pm$ 0.04 ^f	0.52 $\pm$ 0.03 ^f	17.15 $\pm$ 0.14 ^d
市售 C	76.54 $\pm$ 0.14 ^b	4.85 $\pm$ 0.07 ^b	0.24 $\pm$ 0.03 ^f	0.02 $\pm$ 0.02 ^g	18.34 $\pm$ 0.11 ^c
市售 D	77.25 $\pm$ 0.19 ^{ab}	3.47 $\pm$ 0.09 ^d	0.34 $\pm$ 0.05 ^f	0.14 $\pm$ 0.02 ^g	18.80 $\pm$ 0.12 ^b
TVP 25%	70.53 $\pm$ 0.28 ^d	5.83 $\pm$ 0.12 ^a	13.67 $\pm$ 0.19 ^b	0.90 $\pm$ 0.08 ^e	9.08 $\pm$ 0.05 ^f
TVP 42%	63.22 $\pm$ 0.44 ^e	5.86 $\pm$ 0.08 ^a	21.65 $\pm$ 0.51 ^a	1.06 $\pm$ 0.06 ^d	8.22 $\pm$ 0.10 ^g
豆渣 25%	73.66 $\pm$ 0.31 ^c	2.85 $\pm$ 0.07 ^e	6.70 $\pm$ 0.16 ^d	1.48 $\pm$ 0.05 ^c	15.31 $\pm$ 0.10 ^c
豆渣 42%	54.75 $\pm$ 0.15 ^f	3.07 $\pm$ 0.07 ^e	10.87 $\pm$ 0.09 ^c	2.76 $\pm$ 0.06 ^a	28.55 $\pm$ 0.23 ^a

蝦產品的相關研究中發現，顯示植物蛋白種類及比例對質構形成之關鍵影響^{(16) (24)}。在彈性、黏聚性及回復性方面，TVP 25% 與 TVP 42% 兩組即使經凍結，彈性值（約 0.78-0.81）與黏聚性（約 0.70-0.76）整體仍維持穩定，反映組織化植物蛋白於凍結後能保有相對完整之蛋白網絡，豆渣 25% 與豆渣 42% 組則因豆渣含量增加，常伴隨較多纖維成分，令整體組織結構相對鬆散或易受水分移動影響，導致黏聚性與回復性呈現更大幅度的變動。

綜合上述結果可知，不同基材對冷凍處理的質構影響存在明顯差異，TVP 基材在冷凍後仍能維持甚至增強其組織密實度與結構穩定性，較適合應用於冷凍流通與長期儲存的产品設計；而豆渣基材因其纖維含量高、水分含量多，在冷藏狀態下表現穩定，但高比例添加後於冷凍環境中可能導致結構收縮與硬度波動，因此產品儲存條件應依據原料選擇進行調整，TVP 配方可作為冷凍即食型素蝦的優先選項，豆渣配方則較適合短期冷藏銷售或搭配其他穩定劑組合，以強化其凍結後質構穩定性，為未來包裝設計與物流應用提供可行參考依據。

（二）市售素蝦與植物基素蝦基本成分分析

本研究比較市售素蝦（A、B、C、D）與本研究開發之植物基素蝦（TVP 25%、TVP 42%、豆渣 25%、豆渣 42%）在水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪及醣類含量等基本成分的差異，結果如表二所示。從水分含量可觀察到，豆渣 42%（54.75 $\pm$ 0.15%）及 TVP 42%（63.22 $\pm$ 0.44%）呈現顯著較低的含水

量，顯示高比例蛋白基材或纖維使產品整體密度增高、自由水分減少。灰分含量則以 TVP 25%（5.83 $\pm$ 0.12%）與 TVP 42%（5.86 $\pm$ 0.08%）最高，顯示此類組織化植物蛋白配方中可能含有較多礦物元素。粗蛋白含量方面，TVP 42% 的含量最高（21.65 $\pm$ 0.51%），顯示高比例組織化植物蛋白的添加確實能顯著提升蛋白質含量，TVP 25%（13.67 $\pm$ 0.19%）與豆渣 42%（10.87 $\pm$ 0.09%）次之，豆渣 25%（6.70 $\pm$ 0.16%）居中，而市售素蝦（A、B、C、D）整體蛋白含量均偏低（僅 0.24-2.95%），顯示目前市售產品可能在蛋白基材使用上較少或以澱粉、增稠劑做主要結構。

綜合比較下市售素蝦與本研究開發之植物基素蝦在基本成分上差異甚大，尤以粗蛋白與醣類差異最為明顯，植物蛋白基材的種類與配比對最終產品營養組成及消費者接受度有著關鍵影響⁽²⁵⁾，本高蛋白配方（如 TVP 42%）更適合定位於「植物蛋白替代肉」或「高蛋白素食」產品，而豆渣較高的粗纖維與醣類含量則可提供特有的口感與營養特性。

三、數據庫相似度分析

（一）質地相似度分析

本研究為探索素蝦成品配方與真蝦的相似度，採用以歐式距離（Euclidean Distance）與餘弦相似度（Cosine Similarity）做質地與營養之相似性雙重評估，此分析法為群聚分析（Cluster Analysis）與主成分分析（Principal components analysis, PCA）

表三 市售素蝦與植物基素蝦樣品與不同真蝦樣品間之質地相似度分析

Table 3. Texture similarity analysis between commercial/in-house plant-based shrimp samples and various real shrimp types, presented as Euclidean Distance and Cosine Similarity. Lower Euclidean Distance and higher Cosine Similarity values indicate greater similarity in texture profile. Data were calculated based on five TPA parameters: hardness, springiness, chewiness, cohesiveness, and resilience.

樣品		波士頓龍蝦		錦繡龍蝦		草蝦		明蝦		斑節蝦	
		Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity
市售 A		11.5112	0.9939	19.9169	0.9811	18.8373	0.9997	18.5319	0.9835	12.7725	0.9963
市售 B		22.6183	0.9997	31.0168	0.9969	8.8824	0.9947	5.9863	0.9984	24.1288	0.9989
市售 C		47.2837	0.9979	55.5851	0.9983	19.5058	0.9894	19.2939	0.9999	48.8163	0.9960
市售 D		30.2068	0.9994	38.5733	0.9976	6.2334	0.9932	3.1606	0.9991	31.7253	0.9982
TVP 25%	冷藏	6.3763	0.9815	3.8754	0.9938	35.9246	0.9608	33.1142	0.9920	5.5967	0.9765
	冷凍	5.1487	0.9817	10.6929	0.9935	29.6081	0.9614	26.1977	0.9926	6.2701	0.9767
TVP 42%	冷藏	6.5903	0.9875	2.8920	0.9970	36.4173	0.9697	33.7973	0.9955	5.5915	0.9833
	冷凍	5.4285	0.9873	4.3271	0.9968	35.0221	0.9694	32.3059	0.9956	4.6919	0.9831
豆渣 25%	冷藏	10.4030	0.9926	18.2143	0.9984	21.8800	0.9784	18.2270	0.9987	11.9891	0.9892
	冷凍	8.0969	0.9837	15.0324	0.9944	25.6857	0.9644	21.8454	0.9940	9.5922	0.9789
豆渣 42%	冷藏	14.2537	0.9810	6.4965	0.9631	43.9079	0.9929	42.3088	0.9638	12.7121	0.9856
	冷凍	8.4415	0.9954	2.6676	0.9847	38.1350	0.9992	36.4925	0.9855	6.8867	0.9975

中常用的距離量測與相似度測量工具，在食品分析中可用於數值間的相關性量測⁽²⁶⁾，兩者各自反映不同層面的模擬程度⁽²⁴⁾，歐式距離較小代表樣品在絕對數值上與真蝦相近，亦即「咬起來像」，強調在質構數據的絕對值層面上的擬真程度；而餘弦相似度較高則表示樣品在各項質構參數之間的相對比例關係與變化趨勢與真蝦一致，即「整體質構比例像」，反映了樣品內部結構組合的協調性。若一個樣品同時具備低歐式距離與高餘弦相似度，可視為在數值與趨勢兩方面皆高度模擬真蝦，具備作為最佳仿真蝦候選的潛力。

依據前述全質構分析實驗結果可知，市售素蝦 B 在與草蝦或明蝦比較時，餘弦相似度分析中顯示與草蝦或明蝦之「趨勢分配」較為相近，餘弦相似度可達 0.9997，意味著其質構走向與真蝦近乎完全重疊，然而其歐式距離卻可能超過 20，代表在整體「量級」上仍有顯著高於真蝦的偏差，從該產品的硬度與咀嚼性確實可見此趨勢，顯示雖然各參數間的增減模式與真蝦類似，但若要進一步縮小絕對值上的差距，或許須透過調降基材蛋白含量、增加水分或保水劑來降低咬勁。而相較之下，本研究製備之 TVP 25%、42% 於歐式距離及餘弦相似度兩項指標上，與真蝦呈現高度契合，其中，TVP 25%（冷

凍）對應波士頓龍蝦時歐式距離約 5.15，顯示該配方在五項質構參數的量值層面已相當貼近波士頓龍蝦，然而，其餘弦相似度尚未逼近 1，經比對 TPA 數據可知，TVP 25%（冷凍）硬度約 22.77 N，咀嚼性約 13.01 N，與波士頓龍蝦平均硬度 22.15 N、咀嚼性 7.92 N 已趨近，但在回復性上略有差異，故呈現「距離近但趨勢不完全相同」的情況，若能微調蛋白與水分比例、或優化成型條件，將有助於使各指標之內部分配更一致。另一方面，高蛋白配方 TVP 42%（冷藏或冷凍）在錦繡龍蝦之歐式距離普遍介於 2-6，餘弦相似度多達 0.99 以上，顯示其在硬度與咀嚼性等數值及整體比例上皆與錦繡龍蝦十分接近，亦與前述 TPA 檢測中 TVP 42% 具較高密度、咬勁與彈性的結果相吻合，顯示 TVP 42% 配方的植物基素蝦，具有模擬錦繡龍蝦的整體質地的高度潛力，相似的結果也可以在 TVP 25%（冷凍）與波士頓龍蝦之組合發現，後續若能以多變量統計（如群集分析或主成分分析）進一步擴充樣本及參數，即可更清晰地將各組素蝦與特定真蝦分群，並有系統地篩選與優化配方，最終在整合度上取得更高一致性。

（二）基本成分相似度分析

表四 市售素蝦與植物基素蝦樣品與不同真蝦樣品間之基本成分相似度分析。

Table 4. Proximate composition similarity between commercial/in-house plant-based shrimp samples and various real shrimp types, assessed using Euclidean Distance and Cosine Similarity. Lower Euclidean Distance and higher Cosine Similarity values indicate greater similarity in basic nutritional composition (moisture, ash, crude protein, crude fat, and carbohydrate content). The values reflect multidimensional comparisons based on five compositional parameters.

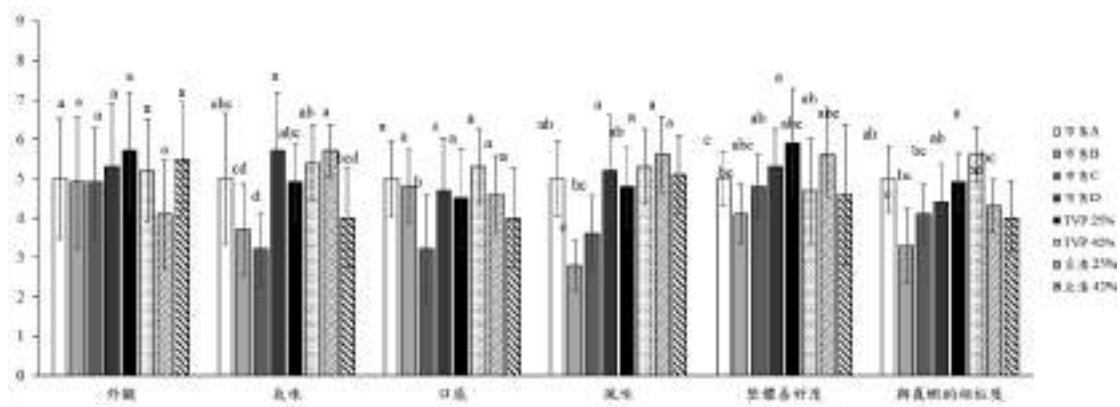
樣品	波士頓龍蝦		錦繡龍蝦		草蝦		明蝦		斑節蝦	
	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity	Euclidean Distance	Cosine Similarity
市售 A	30.7453	0.9151	29.1921	0.9242	25.0516	0.9487	26.0922	0.9419	27.7757	0.9338
市售 B	33.5279	0.9076	31.7501	0.9176	26.1577	0.9459	27.8341	0.9377	29.6731	0.9290
市售 C	33.8583	0.9034	32.1766	0.9133	27.0359	0.9415	28.5319	0.9334	30.3090	0.9245
市售 D	34.1578	0.9033	32.4364	0.9133	27.1597	0.9415	28.6949	0.9335	30.4953	0.9246
TVP 25%	16.7945	0.9734	15.3516	0.9783	13.0159	0.9890	13.0801	0.9866	14.4146	0.9830
TVP 42%	10.9006	0.9909	11.0717	0.9919	15.9466	0.9888	13.5612	0.9913	13.3847	0.9910
豆渣 25%	26.2272	0.9383	24.5958	0.9462	20.3602	0.9665	21.3641	0.9611	23.0536	0.9544
豆渣 42%	34.9053	0.8785	34.8083	0.8834	36.8152	0.8907	35.5996	0.8907	36.2025	0.8846

在基本成分相似度分析，以波士頓龍蝦為例，TVP 42% 與其之歐式距離最低（約 10.90），餘弦相似度也高達 0.9909，顯示此高蛋白配方不僅粗蛋白含量（ $21.65 \pm 0.51\%$ ）相對接近波士頓龍蝦（ $27.62 \pm 0.09\%$ ），且水分、灰分、粗脂肪與醣類的比例分配亦趨於相仿，若對照前述真蝦與素蝦之質構分析可以發現，TVP 42% 同樣在硬度與咀嚼性上展現優勢，說明其配方在口感與營養兩方面皆具備較高的擬真潛力。此外，TVP 25% 在大部分真蝦品種下（如錦繡龍蝦、草蝦、明蝦）也維持低距離與高相似度的表現，顯示即使蛋白添加量較 42% 配方略低，整體營養成分配置仍能貼近真蝦。相對地，市售素蝦（A、B、C、D）的粗蛋白含量多在 0.24-2.95% 之間，遠低於真蝦的 20-27%，因此其歐式距離普遍大於 30，餘弦相似度也僅介於 0.90-0.93，此差距可歸因於市售產品多以多醣、纖維或增稠劑為結構主體⁽²⁷⁾，導致總蛋白與真蝦相差甚遠，整體比例也難以獲得高餘弦相似度。

四、真蝦與仿蝦之官能品評與消費者接受度分析

本研究針對市售素蝦（A、B、C、D）與本研

究開發之植物基素蝦（TVP 25%、TVP 42%、豆渣 25%、豆渣 42%）進行官能品評，評分項目包括外觀、氣味、口感、風味、整體喜好度及與真蝦的相似度（見圖四）。在外觀喜好方面，TVP 25%（ 5.70 ± 1.49 ）與豆渣 42%（ 5.50 ± 1.43 ）相對較高，顯示部分受測者較能接受其色澤與形態，市售 B（ 4.90 ± 1.66 ）與 C（ 4.90 ± 1.37 ）略低於其餘產品，與先前研究強調外觀在仿蝦產品中扮演關鍵角色之論述相符⁽²⁸⁾。就氣味喜好而言，市售 D（ 5.70 ± 1.49 ）與 TVP 42%（ 5.40 ± 0.97 ）分別獲得較高評分，相對地，市售 B 與 C 之氣味得分僅約 3.70 ± 1.16 與 3.20 ± 0.92 ，此趨勢與前述成分分析結果一致，市售 B 與 C 的蛋白與脂質含量偏低，可能導致風味較薄弱，與 Abotsi 等人對植物性海鮮替代品風味性差異的論述相符⁽²⁹⁾。口感喜好部分，TVP 42%（ 5.30 ± 0.95 ）評分最高，而市售 C 與豆渣 42% 較低（ 3.20 ± 1.40 與 4.00 ± 1.25 ）。可能因豆渣纖維含量偏高或加工條件未完全優化，造成口感偏鬆散或纖維感突出。在風味喜好方面，豆渣 25%（ 5.60 ± 0.97 ）為所有樣品中最高，TVP 42%（ 5.30 ± 0.95 ）與市售 D（ 5.20 ± 1.40 ）次之，顯示適度的豆渣比例能帶來部分「鮮甜」或「堅果類」風味，且



圖四 市售素蝦與本研究開發之植物基素蝦樣品於官能品評中在不同評分項目之表現，包括外觀、氣味、口感、風味、整體喜好度及與真蝦的相似度。

Figure 4. Sensory evaluation scores of commercial vegan shrimp and in-house developed plant-based shrimp samples on different attributes, including appearance, aroma, texture, flavor, overall liking, and similarity to real shrimp. Values are expressed as mean $\pm$ SD ($n = 58$). Different lowercase letters above the bars indicate significant differences among samples within the same attribute ($p < 0.05$), analyzed by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test.

不影響整體可接受性。評估整體喜好度時，TVP 25% (5.90 ± 1.37) 與豆渣 25% (5.60 ± 1.07) 獲得最高分，而市售 B (4.10 ± 0.74) 整體較弱，符合前面氣味、口感、風味等指標的綜合評估。在與真蝦相似度的分數中，TVP 42% (5.60 ± 0.70) 為最高，TVP 25% (4.90 ± 0.74) 居次，遠高於部分市售產品，顯示高蛋白基材確能模擬真蝦富彈性且富含鮮味的特性，亦與歐氏距離及餘弦相似度分析結果相互呼應。然而，豆渣 25% 雖在風味上頗受青睞，與真蝦相似度評分 (4.30 ± 0.67) 並未高於預期，顯示受測者仍能感受到豆渣獨特的口感或氣味而認為其與真蝦有一定落差，可能與大豆或豆渣基材帶有獨特的植物味相關，需要額外調味或異味去除處理方能提升消費者接受度⁽³⁰⁾。

結 論

本研究首次建立蝦類（包含波士頓龍蝦、錦繡龍蝦、明蝦、草蝦及斑節蝦）之完整質構與營養成分數據庫，並設計以歐氏距離與餘弦相似度為核心的初步評估模式，提供一套量化植物性素蝦與真蝦相似度的科學方法，本研究發現目前市售素蝦雖部分在質構比例趨勢上與真蝦相似，但其蛋白質含量明顯偏低，導致歐氏距離偏高，而本研究開發之 TVP 42% 植物基素蝦在錦繡龍蝦模擬中展現極高相

似性（歐氏距離約 2-6，餘弦相似度達 0.99 以上），不僅在硬度與咀嚼性上與真蝦相仿，其營養組成亦貼近真蝦，為具備高潛力之仿真蝦配方，而 TVP 25% 配方與波士頓龍蝦在質地上的數值接近，具備應用於不同蝦種模擬之可行性，透過本資料庫與相似度分析工具，可有效比較不同植物蛋白基材與素蝦配方在模擬特定蝦種方面的擬真效果，進而提供仿真產品開發的方向依據，有助於植物基海鮮未來在營養升級、感官優化與配方精準定位上的應用與發展。此外，本研究所建置之質構與營養資料庫，未來亦可作為業界開發植物性仿蝦產品時的重要技術參考，協助廠商於開發階段評估新配方與目標蝦種間之模擬程度，進一步提升產品品質與市場接受度。

致 謝

不適用。

資 金

資金資訊不適用。

作者的貢獻

Conceptualization, Writing - original draft, Data curation, Validation, Visualization : 張佳心[†]

Conceptualization, Validation, Resources, Supervision : 范植軒

Conceptualization, Resources, Supervision : 蔡書憲

Formal analysis, Investigation, Visualization. : 楊巧敏

Resources, Supervision : 簡全基、李士畦

Resources, Writing - review and editing, Supervision : 鍾成沛*

Conceptualization, Data curation, Writing - review and editing, Supervision, Project administration. : 李明怡*

利益衝突

本文作者皆無利益衝突。

參考文獻

1. FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. Chuah, S. X. Y., Gao, Z., Arnold, N. L., & Farzad, R. (2024). Cell-based seafood marketability: What influences United States consumers' preferences and willingness-to-pay? *Food Quality and Preference*, 113, 105064. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105064>
3. Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Abbas, W. T., Algammal, A. M., & Abdelsalam, M. (2023). The role of marine pollution on the emergence of fish bacterial diseases. *Chemosphere*, 344, 140366. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140366>
4. Vermeir, I., Weijters, B., De Houwer, J., Geuens, M., Slabbinck, H., Spruyt, A., Van Kerckhove, A., Van Lippevelde, W., De Steur, H., & Verbeke, W. (2020). Environmentally Sustainable Food Consumption: A Review and Research Agenda From a Goal-Directed Perspective. *Frontiers in psychology*, 11, 1603. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01603>
5. Alae-Carew, C., Green, R., Stewart, C., Cook, B., Dangour, A. D., & Scheelbeek, P. F. D. (2022). The role of plant-based alternative foods in sustainable and healthy food systems: Consumption trends in the UK. *The Science of the total environment*, 807 (Pt 3), 151041. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151041>
6. Kim, D., Caputo, V., & Kilders, V. (2023). Consumer preferences and demand for conventional seafood and seafood alternatives: Do ingredient information and processing stage matter? *Food Quality and Preference*, 108, 104872. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104872>
7. Shamsak, G. L., Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., & Love, D. C. (2019). U.S. seafood consumption. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50 (4), 715-727. <https://doi.org/10.1111/jwas.12619>
8. Froehlich, H. E., Montgomery, J. C., Williams, D. R., O'Hara, C., Kuempel, C. D., & Halpern, B. S. (2023). Biological life? history and farming scenarios of marine aquaculture to help reduce wild marine fishing pressure. *Fish and Fisheries*, 24 (6), 1034-1047. <https://doi.org/10.1111/faf.12783>
9. Krishnan, M., & Babu, S. C. (2022). Covid-19 Opens up domestic market for Indian shrimp. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 550, 737818. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737818>
10. Zhong, C., Feng, Y., & Xu, Y. (2023). Production of Fish Analogues from Plant Proteins: Potential Strategies, Challenges, and Outlook. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12 (3), 614. <https://doi.org/10.3390/foods12030614>
11. Wang, Y., Wang, H., Xiang, H., Chen, S., Zhao, Y., Li, L., Sun-Waterhouse, D., & Wu, Y. (2024). Unlocking the opportunities for creating sustainable, flavorful and healthy high-protein "blue foods": Focusing on the impacts of protein-flavor interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 148, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104523>
12. Lanz, M., Hartmann, C., Egan, P., & Siegrist, M. (2024). Consumer acceptance of cultured, plant-based, 3D-printed meat and fish alternatives. *Future Foods*, 9, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100297>
13. Boukid, F., Baune, M. C., Gagaoua, M., & Castellari, M. (2022). Seafood alternatives: assessing the nutritional profile of products sold in the global market. *European food research and technology = Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung. A*, 248 (7), 1777-1786. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04004-z>
14. Ademi Foods. (2024). Ademi plant-based seafood. Retrieved July 25, 2024, from <https://www.eatademifoods.com/nutrition>
15. Curtain, F., & Grafenauer, S. (2019). Plant-Based Meat Substitutes in the Flexitarian Age: An Audit of Products on Supermarket Shelves. *Nutrients*, 11 (11), 2603. <https://doi.org/10.3390/nu11112603>
16. Kazir, M., & Livney, Y. D. (2021). Plant-Based Seafood Analogs. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26 (6), 1559. <https://doi.org/10.3390/molecules26061559>
17. Mahmud, N., Valizadeh, S., Sikapa, W., & Tahergorabi, R. (2024). Exploring functional plant-based seafood: Ingredients and health implications. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 104346. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104346>
18. Tsai, S. H., Fan, C. H., Chung, C. P., Lin, H. W., & Lee, M. Y.* (2024). Modification and texturization of plant proteins for vegetarian shrimp applications using

- transglutaminase. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101064. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101064>
19. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
 20. Wang, J., Zhang, H., Xie, J., Yu, W., & Sun, Y. (2022). Effects of frozen storage temperature on water-holding capacity and physicochemical properties of muscles in different parts of bluefin tuna. *Foods*, 11 (15), 2315. <https://doi.org/10.3390/foods11152315>
 21. Shi, Y., Wang, H., Zheng, Y., Qiu, Z., & Wang, X. (2022). Effects of Ultrasound-Assisted Vacuum Impregnation Antifreeze Protein on the Water-Holding Capacity and Texture Properties of the Yesso Scallop Adductor Muscle during Freeze-Thaw Cycles. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11 (3), 320. <https://doi.org/10.3390/foods11030320>
 22. Zhu, Z., Zhou, Q., & Sun, D.-W. (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.012>
 23. Li, Y., Cao, S., Jiang, S., Huang, J., Yang, Q., Jiang, S., Yang, L., & Zhou, F. (2024). Comparative Study of Nutritional Composition, Physiological Indicators, and Genetic Diversity in *Litopenaeus vannamei* from Different Aquaculture Populations. *Biology*, 13 (9), 722. <https://doi.org/10.3390/biology13090722>
 24. Revelou, P.-K., Tsakali, E., Batrinou, A., & Strati, I. F. (2025). Applications of machine learning in food safety and HACCP monitoring of animal-source foods. *Foods*, 14 (6), 922. <https://doi.org/10.3390/foods14060922>
 25. Yu, J., Wang, L., & Zhang, Z. (2023). Plant-Based Meat Proteins: Processing, Nutrition Composition, and Future Prospects. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12 (22), 4180. <https://doi.org/10.3390/foods12224180>
 26. 顏佩怡(2023)。以新鮮酪梨取代部分油脂製作磅蛋糕之物化特性與感官品評探討(未出版碩士論文)。吳鳳科技大學，嘉義，台灣。
 27. Marczak, A., & Mendes, A. C. (2024). Dietary Fibers: Shaping Textural and Functional Properties of Processed Meats and Plant-Based Meat Alternatives. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13 (12), 1952. <https://doi.org/10.3390/foods13121952>
 28. Nowacka, M., Trusińska, M., Chraniuk, P., Piatkowska, J., Pakulska, A., Wisniewska, K., Wierzbicka, A., Rybak, K., & Pobiega, K. (2023). Plant-based fish analogs-A review. *Applied Sciences*, 13 (7), 4509. <https://doi.org/10.3390/app13074509>
 29. Abotsi, E. E., Panagodage, Y., & English, M. (2024). Plant-based seafood alternatives: Current insights on the nutrition, protein-flavour interactions, and the processing of these foods. *Current research in food science*, 9, 100860. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100860>
 30. Aussanasuwannakul, A., Puntaburt, K., & Pantoa, T. (2024). Enhancing Gluten-Free Crispy Waffles with Soybean Residue (Okara)Flour: Rheological, Nutritional, and Sensory Impacts. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13 (18), 2951. <https://doi.org/10.3390/foods13182951>

蝦類質構數據庫之建立與比較：市售與植物性素蝦的質地、營養與消費者接受度分析

張佳心^{1†} 范植軒² 蔡書憲² 楊巧敏³ 簡全基² 李士畦² 鍾成沛^{1,3,4*} 李明怡^{1,3,5*}

¹長庚科技大學民生學院保健營養系

²財團法人工業技術研究院

³長庚科技大學民生學院健康產業科技研究所

⁴長庚科技大學民生學院食品暨化妝品安全研究中心

⁵長庚科技大學民生學院藥物研發中心

(收稿日期：114 年 4 月 10 日。接受日期：114 年 7 月 31 日)

摘要 本研究首次以全質構分析 (TPA) 與基本成分分析，建立五種常見蝦類 (波士頓龍蝦、錦繡龍蝦、草蝦、明蝦與斑節蝦) 之質地與營養資料庫，並結合歐式距離 (Euclidean Distance) 與餘弦相似度 (Cosine Similarity) 雙指標評估模式，量化市售素蝦 (A、B、C、D)、植物基素蝦與真蝦間之相似性分析。結果顯示，不同的保存模式 (冷凍與冷藏) 顯著影響蝦類質地，大豆纖維蛋白 (TVP) 基材素蝦經冷凍後呈緻密化趨勢，而豆渣基材則易導致結構鬆散。市售素蝦多以低蛋白原料 (0.24-2.95%) 製成，儘管市售 B、D 質地與草蝦、明蝦相近，但營養差距明顯 (歐氏距離 >25.05，餘弦相似度 <0.9487)，本研究開發之 TVP42% 植物基素蝦與錦繡龍蝦具有最高相似度 (歐氏距離 2.89，餘弦相似度 0.9970)，且在營養方面最為接近真蝦 (蛋白質含量 21.65 ± 0.51)，官能品評中獲得最高之相似度 (5.60 ± 0.70)，展現高度擬真潛力。本研究所建立之質構與營養資料庫與比對模式，可提供植物基海鮮仿真之量化參考依據，可作為日後產品優化、配方精準化與營養升級之科學基礎。

關鍵詞：植物基海鮮、素蝦、全質構分析、質地資料庫、永續性

* 通訊作者：李明怡、鍾成沛

通訊地址：333324，桃園市龜山區文化一路 261 號

電話：+886-2-7749-6296；Tel: +886-7-6151100 ext. 7915

電子郵件：mylee@mail.cgust.edu.tw; cpchung@mail.cgust.edu.tw