

國立臺灣海洋大學食品科學系碩士在職專班

專題討論書面報告

冷藏保存及鹽濃度對魚漿凝膠之影響

Effects of refrigerated storage and salt concentration on
fish paste gel

授課老師：陳建利老師、游舒涵老師

指導老師：劉修銘老師

學 號：41242001

學 生：吳鍵宏

報告日期：113年10月05日

內容 40%	時間掌控 10%	表達能力 30%	投影片 10%	書面資料 10%

指導老師：

1 冷藏保存及鹽濃度對魚漿凝膠之影響

2 食科碩專二 41242001 吳鍵宏

3 2024/10/05

4 大綱

5 一、前言

6 二、冷誘導的溶膠至凝膠轉變與再切碎加工對冷藏鱧魚 (*Hypophthalmichthys molitrix*)
7 魚漿特性之影響

8 三、僵直前冷凍鹽漬提高鱧魚 (*Channa argus*) 魚漿凝膠強度和保水性：蛋白質氧化的
9 作用

10 四、結論

11 摘要

12 本次研究為了解僵直前鹽漬技術與不同儲存條件對魚漿凝膠品質的影響。探討僵
13 直前鹽漬對鱧魚 (*Channa argus*) 魚漿凝膠的影響。僵直前魚肉含有較高的 ATP、較長
14 的肌節、較高的 pH 值及更好的蛋白質溶解性，抗氧化劑如丁酰左旋肉鹼含量顯著增
15 加。穿透式電子顯微鏡顯示，解僵後魚肉線粒體受損較嚴重。僵直前鹽漬的魚漿凝膠
16 有更高的凝膠強度和更好的持水性，與較少的蛋白質氧化有關。同時，探討了 4°C 和
17 10°C 對魚漿在儲存過程中的影響。凝膠強度隨儲存時間增加，表明發生了溶膠至凝膠
18 轉變，蛋白質溶解度顯著下降，且在冷藏後出現蛋白質交聯和聚集現象。冷誘導的溶
19 膠至凝膠轉變不利於熱誘導凝膠的品質，尤其是切碎處理的組別表現出更顯著的質地
20 變化與烹飪損失，且其表面更加粗糙無序。這些結果強調了魚漿應用中，控制僵直前
21 鹽漬技術、冷藏過程及切碎處理的重要性，以保持魚漿凝膠的理想品質。

22 關鍵字：魚漿、鹽濃度、冷藏、凝膠、凝膠強度

23 參考文獻

- 24 Du, Z., Yan, S., Feng, R., Li, J., Yu, D., Xia, W., & Xu, Y. (2023). Gel properties of
25 refrigerated silver carp surimi sol as affected by cold-induced sol-gel transition and
26 shearing. *Lwt*, 190, 115579.
- 27 Yan, D., Xu, W., Yu, Q., You, J., Gao, R., & Bao, Y. (2024). Pre-rigor salting improves gel
28 strength and water-holding of surimi gel made from snakehead fish (*Channa argus*): The
29 role of protein oxidation. *Food Chemistry*, 450, 139269.

1 一、前言

2 冷凍及冷鏈物流為魚漿產品最常見的儲存及配送方式 (Banerjee *et al.*, 2019)。然而，
3 冰的重結晶和溶質的富集，可能會導致魚漿產品失水和品質下降 (Luo *et al.*, 2023; Mao
4 *et al.*, 2022)。近年來，隨著消費者對便利、高品質食品的需求增加，人們對非冷凍的
5 冷藏水產品興趣日益濃厚。魚漿在 4°C 下會轉變為半凝膠系統，比熱誘導凝膠更弱的
6 聚集性和凝膠網絡密度 (Liu *et al.*, 2019)。這種向弱凝膠的轉變主要依賴於蛋白質的交
7 聯以及儲存環境 (Totosaus *et al.*, 2002)。生產和消費的角度來看，產品在貨架存儲期間
8 通常會經歷溫度波動 4°C 至 10°C，且最終需要加熱產品。研究不同儲存溫度 4°C 和
9 10°C 下魚漿的性質，以及經過儲存的魚漿製成熱誘導凝膠的變化，值得關注。先前的
10 研究指出，將魚漿在 20°C 到 50°C 下進行預凝膠化，可以提升凝膠強度 (Benjakul *et al.*,
11 2003; Gao *et al.*, 2020)。低溫預凝膠對熱誘導凝膠的影響較少受到重視。近期，Tong 等
12 人 (2023) 將魚漿在 4°C 下保存 24 至 30 小時再進行加熱，可以加強肌原纖維蛋白之間
13 的交聯，改善蝦膠的質量 (Nakamura *et al.*, 2021)。在烹飪前擠壓或切碎魚漿，在加工
14 和儲存中造成魚漿凝膠形成困難或堵塞加工設備，冷藏期間魚漿溶膠至凝膠轉變的機
15 制及其切碎製備後的熱誘導凝膠影響仍不清楚。

16 僵直前預鹽漬技術應用於家畜 (Claus *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2020; Zhang *et al.*,
17 2023) 以及魚類 (Birkeland *et al.*, 2007; Hossain *et al.*, 2020; Park *et al.*, 1990)，發現僵直
18 前預鹽漬有對碎肉產品增強凝膠強度的效果。在僵直剛開始的過程中，肌肉內會發生
19 一系列變化，包括 pH 值和 ATP 含量的降低、膜的破壞、細胞內 Ca^{2+} 的增加、酶的失
20 活、肌節收縮及肌動蛋白與肌球蛋白聯結的形成 (Lawrie *et al.*, 2006)。消費者對於減鹽
21 的意識逐漸抬頭，由於魚漿產品需要足夠的鹽以達到鹹味感知及肌纖維蛋白的溶出，
22 魚漿產品中減鹽是具有挑戰性的 (Monto *et al.*, 2021)。

23 綜上所述，本次研究將探討冷藏儲存條件和加工處理對魚漿產品最終品質的重要
24 性，並提出通過控制溫度和鹽醃技術可改善魚漿凝膠物理特性和質量。

25

26 二、冷誘導的溶膠至凝膠轉變與再切碎加工對冷藏鱧魚

27 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 魚漿特性之影響

28 本文獻在探討魚漿在 4°C 和 10°C 下保存，並在加熱前切碎有無的情況下製備熱誘

1 導凝膠，使用冷誘導凝膠強度和蛋白質溶解度相關指標評估蛋白質聚集和凝膠行為。
2 鱧魚 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 魚漿解凍後被切成小塊，依據 Piao 等人 (2023) 方法
3 使用肉品攪拌機攪拌 2 分鐘。魚漿每 100 g 與 2.5 g 氯化鈉混合，加入蒸餾水保持水分
4 含量為 80 %，混合 3 分鐘。將魚漿分為兩組，第一組在 4°C 下存放 0、2、4、6 和 7
5 天，而第二組在 10°C 下存放 0、2 和 4 天。在初步實驗中，存放 10°C 的魚漿超過 4
6 天顯示出腐敗的跡象。隨後，從不同儲存時間的魚漿中提取樣品。

7 隨著冷藏時間的延長，4°C 和 10°C 下魚漿的凝膠強度分別增加 148.38% 和
8 194.08% [Fig. 1 (A)]。由於冷藏過程中內部蛋白質的聚集和交聯，導致流動性下降。過
9 往的研究也在 4°C 冷藏三天後，蝦魚漿會發生交聯並形成彈性凝膠 (Song *et al.*, 2022)。
10 儲存於 10°C 魚漿凝膠強度顯著高於 4°C 儲存的樣品 ($P < 0.05$)，意味著較高的儲存溫
11 度加速了聚集與凝膠化。儲存時間變長，蛋白質溶解度呈下降趨勢 [Fig. 1 (B)]。在 4°
12 C 儲存 7 天後，蛋白質溶解度降低了 32.10%，而在 10°C 儲存 4 天後則降低了 45.74%。
13 在冷藏過程中，蛋白質聚集形成較大的難溶性分子 (Wang *et al.*, 2016)。通過測量總巰
14 基含量來得知二硫鍵的形成 (Zhang *et al.*, 2022)，隨著儲存溫度和時間的增加，疏水作
15 用顯著增加 ($P < 0.05$) [Fig. 2 (A)]。離子鍵 [Fig. 2 (B)] 和氫鍵 [Fig. 2 (C)] 的含量有所減
16 少。冷藏過程中蛋白質交聯主要非共價鍵而是疏水性作用。還未冷藏時的魚漿巰基含
17 量達到 $6.49 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ ，而在 4°C 儲存 7 天後下降至 $4.90 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ ，並在 10°C 儲存 4
18 天後進一步下降至 $4.29 \text{ mol}/10^5 \text{ g}$ [Fig. 2 (D)]。在不加還原劑的電泳結果中 [Fig. 3 (A)]，
19 隨著時間增加，肌球蛋白重鏈 (MHC) 的含量顯著下降，加上 β -ME [Fig. 3 (B)] 時，原
20 本在無還原劑電泳中消失的 MHC 條帶大多恢復，且 HMWP 條帶強度減弱。冷藏過程
21 中形成的聚集體中，非二硫鍵的共價鍵作用較小。魚漿在第 0 天呈現均勻且光滑的結
22 構 (Fig. 4)，沒有明顯交聯。隨著時間延長，網絡結構逐漸形成。在 4°C 下儲存 4 天後，
23 出現一定程度的聚集，在 7 天後觀察到更大的聚集和網絡結構。在 10°C 下儲存 4 天後，
24 出現了更多的孔隙和網絡結構。隨著儲存溫度和時間的增加，蛋白質的交聯和聚集對
25 魚漿凝膠質地的形成具有關鍵作用 (Liu *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2021)。

26 切碎後形成的熱誘導凝膠烹飪損失逐漸增加 [Fig. 5 (A)]，而未切碎組的烹飪損失
27 較低。儲存 7 天後，4°C 下未切碎組的烹飪損失為 4.99%，而切碎組達到 9.37%。在
28 10°C 下儲存 4 天後，未切碎組的烹飪損失為 5.82%，切碎組達到 10.55%。加熱前的切
29 碎導致凝膠結構劣化，增加了烹飪損失。 T_{21a} 和 T_{21b} 代表結合水，其中水分子通過氫

1 鍵與凝膠中的大分子緊密結合。T₂₂ 對應於固定水，主要存在於肌動蛋白、肌球蛋白和
2 肌鈣蛋白纖維之間。T₂₃ 代表自由水，可在凝膠結構中自由移動 (Gudjónsdóttir *et al.*,
3 2011)。無論是在切碎組還是未切碎組中，熱誘導凝膠的 T₂₃ 隨著儲存時間和溫度的上
4 升而增加，這表示在凝膠中水的流動性增加 [Fig. 5 (B)]。與未切碎組相比，切碎組表
5 現更明顯的水分遷移。切碎組中，P₂₂ 在 4°C 存儲 7 天後減少了 8.23%，在 10°C 存儲
6 4 天後減少了 9.54% (Table 1)，進一步確認了水分流失的情況。特別在第 6 天於 4 °C
7 存放的切碎組樣品和第 7 天於 10 °C 存放的樣品中，水分信號強度顯著下降，這表明
8 凝膠結構的惡化，水分流失顯著 [Fig. 5 (C)]。熱誘導凝膠的硬度在切碎組和未切碎組
9 中均隨著冷藏時間延長呈上升趨勢 [Fig. 6 (A)]。Meng 等人 (2021) 指出水分含量的下
10 降與熱誘導凝膠硬度增加有關。根據烹調損失結果，推斷切碎組在 10°C 時硬度增加是
11 過度水分流失造成。切碎組的凝膠彈性 [Fig. 6 (B)] 隨著 4°C 和 10°C 的冷藏時間增加
12 下降，而未切碎組則未顯示顯著變化 (P > 0.05)。使用與不使用切碎製備的內部網絡結
13 構所示 (Fig. 7)。還未經冷藏的樣品在表面上呈現聚集狀態，內部孔隙較少。隨著溫度
14 和時間的增加，切碎組顯示出較粗糙的網絡結構和更多孔隙，未切碎組則展現更緊湊
15 密集的凝膠網絡。冷誘導凝膠強度與熱誘導凝膠的烹調損失和硬度呈正相關 (Fig. 8)，
16 而與彈性呈負相關 (P < 0.05)。這些相關性表明，在冷藏過程中，弱凝膠的形成導致切
17 碎後熱誘導凝膠中水分流失增加。此外，冷誘導凝膠強度與疏水性相互作用的含量呈
18 正相關，與總巰基含量呈負相關 (P < 0.05)，進一步表示冷藏期間，蛋白質交聯聚集主
19 要是疏水性作用。

20

21 三、 僵直前冷凍鹽醃提高鱧魚 (*Channa argus*) 魚漿凝膠強度和保水性:

22 蛋白質氧化的作用

23 在僵直前至解僵後的轉變中，肌肉複雜的變化可能會顯著影響其性質 (Lawrie *et*
24 *al.*, 2006)。為了進一步探討僵直前鹽漬機制，特別是蛋白質氧化的影響，本次研究選
25 擇了鱧魚 (*Channa argus*) 作為測試對象。活體運到實驗室隨後進行快速取樣，切除的
26 魚肉立即在液氮中冷凍保存於 -80°C。僵直前為儲存於 -20°C 魚肉和解僵後為儲存於
27 4°C 魚肉。魚肉每 300 g 分別用 3 % 及 0.3 % 的氯化鈉 (w/w) 混合，隨後在冰浴中使用
28 肉類絞碎機絞碎 8 分鐘。準備好的魚漿分別與 0.3% 及 3% 氯化鈉溶液以 1:4 (w/w) 的

1 比例混合。魚漿加熱使用水浴 40°C 加熱 1 小時，然後 90°C 加熱 30 分鐘。

2 僵直前魚肉的 pH 值 6.59 顯著高於解僵後魚肉的 pH 值 6.39 (Table 2)。解僵後魚肉
3 和僵直前魚肉的 ATP 含量分別為 0.52 和 0.85 mg/100 g。僵直前魚肉在水溶性和鹽溶性
4 蛋白質的可溶性均高於解僵後魚肉。僵直前魚肉中的 TCA 可溶性胜肽含量 2.71 mg/g
5 顯著低於解僵後魚肉含量 2.98 mg/g。僵直前魚肉的平均肌節長度 2.26 μm 顯著高於解
6 僵後魚肉 2.02 μm 。這與穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron microscopy, TEM) 的
7 觀察結果一致，僵直前的平均肌節長度為 1.85 μm ，而解僵後的肌節長度為 1.60 μm
8 (Fig. 9)。TEM 中較小的數值可能是由於樣本準備過程的影響。在解僵肌肉中，還發現
9 肌原纖維間隙較大，出現了線粒體腫脹和破壞的現象。在比較僵直前和僵直後的魚肉
10 中，發現了 33 種代謝物差異。其中，8 種代謝物在僵直前魚肉中顯著富集，而 25 種
11 代謝物在僵直後魚肉中顯著富集。例如丁酰-L-肉鹼、橄欖苦苷和肌苷等代謝物在僵直
12 前中高度富集 [Fig. 10 (D)]。KEGG 路徑分析顯示，僵直前和僵直後的胺基酸、嘌呤和
13 丙酮酸的代謝存在顯著差異 [Fig. 10 (E)]。

14 僵直前魚漿的 ABST 和 DPPH 自由基清除能力顯著高於解僵後 [Fig. 11 (A)]。使用
15 3% 氯化鈉提取的蛋白質總巰基含量高於使用 0.3% 氯化鈉。在 3% 氯化鈉添加下，僵
16 直前魚漿的總巰基含量高於解僵後組 [Fig. 11 (B)]。[Fig. 11 (C)] 所示在較高的鹽含量下，
17 觀察到 β 摺板比例較大，而 α 螺旋的比例較低。在 3% 氯化鈉添加下，僵直前鹽漬處
18 理使 β 摺板比例大於解僵後比例。較高的鹽含量也導致更大的表面疏水性，而在 3%
19 氯化鈉下，僵直前表面疏水性低於解僵後表面疏水性 [Fig. 11 (D)]。從 (Table 3) 可以看
20 出，3% 氯化鈉的凝膠強度、硬度、黏性、彈性、內聚性和咀嚼性均顯著大於 0.3% 氯
21 化鈉。在 3% 氯化鈉添加下，僵直前魚漿凝膠的凝膠強度、硬度、彈性和咀嚼性均高
22 於解僵後。在 3% 氯化鈉魚漿組中，結合水比例 (PT₂₁) 顯著低於 0.3% 氯化鈉。固定水
23 比例 (PT₂₂) 在 3% 氯化鈉下高於 0.3% 氯化鈉。在 0.3% 氯化鈉中，自由水 (PT₂₃) 的含
24 量較多，而僵直狀態對魚漿凝膠的 PT₂₃ 有顯著影響 (Table 3)。3% 氯化鈉的水分保持
25 能力顯著高於 0.3% 氯化鈉。在 3% 氯化鈉下，僵直前鹽漬組水分保持力高於解僵後鹽
26 漬組。鹽的添加與僵直狀態之間的相互作用對水分保持力有顯著影響。凝膠內部微觀
27 結構與凝膠特性密切相關 (Bremer, 1992)。

28 根據這些結果，提出了一個機制來解釋僵直前鹽漬如何影響魚漿凝膠特性 (Fig. 12)
29 在僵直前肌肉中，較長的肌節和與肌動蛋白分離的肌球蛋白頭部生成相對鬆弛的肌原

1 纖維蛋白網絡。當用鹽提取時，更多的肌球蛋白從肌原纖維蛋白網絡中釋放出來，而
2 自由肌球蛋白因為含有較高的巰基具有更大的聚集潛力。較高的巰基含量是由於豐富
3 的抗氧化劑和線粒體保持完整導致較少活性氧物質結合。自由肌球蛋白的增加和蛋白
4 質聚集更大程度促進凝膠網絡發展，而使魚漿凝膠的強度和水分保持力增加。在僵直
5 前魚肉中，粒線體損傷較少 (Fig. 9)，非常新鮮的魚通常具有較高的線粒體活性
6 (Cléach *et al.*, 2019)。僵直前肌肉中線粒體損傷較少減少了活性氧物質從線粒體洩漏到
7 肌肉中，防止巰基的過度氧化。僵直前魚漿添加 3% 氯化鈉具有更強的自由基清除能
8 力 [Fig. 11 (A)]。3% 氯化鈉鹽漬魚漿中的蛋白質表面疏水性高於 0.3% [Fig. 11 (D)]，
9 蛋白質結構的展開與二級結構分析結果一致 [Fig. 11 (C)]，在高鹽環境下， α 螺旋的比
10 例減少， β 摺板的比例增加 (Bocker *et al.*, 2006)。根據 Asghar 等人 (1985) 的研究，與完
11 整肌球蛋白相比，切碎的肌球蛋白分子無法產生足夠強度的凝膠。可以從 TCA 可溶性
12 胍肽中看出，肌原纖維蛋白的水解解釋了解僵後魚肉較低凝膠強度 (Table 2)。魚肌肉
13 中的蛋白酶活性也受到鹽的影響 (Stoknes *et al.*, 2005)。

14 四、 結論

15 在 4°C 和 10°C 儲存的魚漿，隨著時間推移，凝膠強度增加，蛋白質溶解度下降，
16 顯示出蛋白質的聚集和交聯，主要是通過二硫鍵和疏水作用形成。然而，儲存在較高
17 溫度 10°C 下會加速這些過程，而 4°C 下則可保持凝膠的穩定性，實驗結果強調了儲
18 存條件和溫度波動對魚漿凝膠質量的重要影響。僵直前魚肉在鹽漬處理下顯示出更高
19 的 ATP 含量、較長的肌節、較高的 pH 值及更大的蛋白質溶解度。經 3% 氯化鈉鹽漬
20 的解僵前魚漿製成的凝膠顯示出較高的巰基含量和抗氧化能力，顯著提升了凝膠強度
21 和持水性。蛋白質氧化的減少被認為是改善凝膠品質的關鍵因素。綜合了冷誘導溶膠
22 至凝膠轉變與僵直前鹽漬處理對魚漿凝膠性質的影響，魚漿在 4°C 低溫保存及 3% 氯
23 化鈉鹽漬在提升魚漿凝膠的強度和持水性，以及後續加熱加工都是可以考慮的關鍵因
24 素。

25
26
27
28
29

1 五、 参考文献

- 2 Asghar, A., Samejima, K., Yasui, T., & Henrickson, R. L. (1985). Functionality of muscle
3 proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *Critical Reviews in Food*
4 *Science & Nutrition*, 22, 27-106.
- 5 Banerjee, R., & Maheswarappa, N. B. (2019). Superchilling of muscle foods: Potential
6 alternative for chilling and freezing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59,
7 1256-1263.
- 8 Benjakul, S., Chantarasuwan, C., & Visessanguan, W. (2003). Effect of medium temperature
9 setting on gelling characteristics of surimi from some tropical fish. *Food chemistry*, 82,
10 567-574.
- 11 Birkeland, S., Akse, L., Joensen, S., Tobiassen, T., & Skåra, T. (2007). Injection-salting of pre
12 rigor fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Science*, 72, E029-E035.
- 13 Böcker, U., Ofstad, R., Bertram, H. C., Egelanddal, B., & Kohler, A. (2006). Salt-induced
14 changes in pork myofibrillar tissue investigated by FT-IR microspectroscopy and light
15 microscopy. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 54, 6733-6740.
- 16 Claus, J. R., & Sørheim, O. (2006). Preserving pre-rigor meat functionality for beef patty
17 production. *Meat Science*, 73, 287-294.
- 18 Cléach, J., Pasdois, P., Marchetti, P., Watier, D., Duflos, G., Goffier, E., ... & Lencel, P. (2019).
19 Mitochondrial activity as an indicator of fish freshness. *Food Chemistry*, 287, 38-45.
- 20 **Du, Z., Yan, S., Feng, R., Li, J., Yu, D., Xia, W., & Xu, Y. (2023). Gel properties of**
21 **refrigerated silver carp surimi sol as affected by cold-induced sol-gel transition and**
22 **shearing. *Lwt*, 190, 115579.**
- 23 Gao, R., Wijaya, G. Y., Yu, J., Jin, W., Bai, F., Wang, J., & Yuan, L. (2020). Assessing gel
24 properties of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) surimi prepared by high-temperature
25 setting (40° C) for different durations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,
26 100, 3147-3156.
- 27 Gudjónsdóttir, M., Arason, S., & Rustad, T. (2011). The effects of pre-salting methods on
28 water distribution and protein denaturation of dry salted and rehydrated cod—A low-field
29 NMR study. *Journal of Food Engineering*, 104, 23-29.
- 30 Hossain, M. I., Shikha, F. H., & Yeasmin, S. (2020). Changes in gel forming ability and
31 protein solubility of pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*) muscle at different
32 rigor stages during storage at room temperature (28 to 32 C) and in ice. *Bangladesh*

- 1 *Journal of Fisheries*, 32, 313-322.
- 2 Lawrie, R. A., & Ledward, D. (2014). *Lawrie's meat science* (7th ed.). Cambridge: Woodhead
3 Publishing.
- 4 Liu, X., Zhang, T., Xue, Y., & Xue, C. (2019). Changes of structural and physical properties
5 of semi-gel from Alaska pollock surimi during 4° C storage. *Food Hydrocolloids*, 87,
6 772-782.
- 7 Luo, W., Yuan, C., Wu, J., Liu, Y., Wang, F., Li, X., & Wang, S. (2023). Inhibition mechanism
8 of membrane-separated silver carp hydrolysates on ice crystal growth obtained through
9 experiments and molecular dynamics simulation. *Food Chemistry*, 414, 135695.
- 10 Mao, M., Jia, R., Gao, Y., Yang, W., Tong, J., & Xia, G. (2022). Effects of innovative gelation
11 and modified tapioca starches on the physicochemical properties of surimi gel during
12 frozen storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 57, 6591-6601.
- 13 Monto, A. R., Li, M., Wang, X., Wijaya, G. Y. A., Shi, T., Xiong, Z., & Gao, R. (2022).
14 Recent developments in maintaining gel properties of surimi products under reduced salt
15 conditions and use of additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62,
16 8518-8533.
- 17 Nakamura, Y., Takahashi, S., & Takahashi, K. (2021). Long-term suppression of suwari
18 phenomenon for improvement in the manufacturing process of surimi gel product. *LWT*,
19 150, 111934.
- 20 Park, J. W., Korhonen, R. W., & Lanier, T. C. (1990). Effects of rigor mortis on gel-forming
21 properties of surimi and unwashed mince prepared from tilapia. *Journal of food science*,
22 55, 353-355.
- 23 Piao, X., Huang, J., Sun, Y., Zhao, Y., Zheng, B., Zhou, Y., & Cullen, P. J. (2023). Inulin for
24 surimi gel fortification: Performance and molecular weight-dependent effects.
25 *Carbohydrate Polymers*, 305, 120550.
- 26 Song, D. H., Ham, Y. K., Ha, J. H., Kim, Y. R., Chin, K. B., & Kim, H. W. (2020). Impacts of
27 pre-rigor salting with KCl on technological properties of ground chicken breast. *Poultry
28 science*, 99, 597-603.
- 29 Stoknes, I. S., Walde, P. M., & Synnes, M. (2005). Proteolytic activity in cod (*Gadus morhua*)
30 muscle during salt curing. *Food Research International*, 38, 693-699.
- 31 Tong, J., Jia, R., Xia, G., Zhang, X., Zhang, S., Wei, H., & Yang, W. (2023). Influence
32 mechanisms of different setting time at low temperature on the gel quality and protein

1 structure of Solenocera crassicornis surimi. *Food Bioscience*, 51, 102344.

2 Totosaus, A., Montejano, J. G., Salazar, J. A., & Guerrero, I. (2002). A review of physical and
3 chemical protein-gel induction. *International journal of food science & technology*, 37,
4 589-601.

5 Wang, X., Xiong, Y. L., Sato, H., & Kumazawa, Y. (2016). Controlled cross-linking with
6 glucose oxidase for the enhancement of gelling potential of pork myofibrillar protein.
7 *Journal of agricultural and food chemistry*, 64, 9523-9531.

8 **Yan, D., Xu, W., Yu, Q., You, J., Gao, R., & Bao, Y. (2024). Pre-rigor salting improves gel
9 strength and water-holding of surimi gel made from snakehead fish (*Channa argus*):
10 The role of protein oxidation. *Food Chemistry*, 450, 139269.**

11 Zhang, T., Wang, J., Feng, J., Liu, Y., Suo, R., Ma, Q., & Sun, J. (2022). Effects of ultrasonic–
12 microwave combination treatment on the physicochemical, structure and gel properties
13 of myofibrillar protein in *Penaeus vannamei* (*Litopenaeus vannamei*) surimi. *Ultrasonics
14 sonochemistry*, 90, 106218.

15 Zhang, S., Zhang, L., Yin, T., You, J., Liu, R., Wang, L., & Ma, H. (2024). A mini review on
16 manipulation of carbohydrate for better use in surimi and surimi products: modification
17 and compounding. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 14-20.

18 Zhou, Y., Liu, J. J. H., Kang, Y., Cui, H., & Yang, H. (2021). Effects of acid and alkaline
19 treatments on physicochemical and rheological properties of tilapia surimi prepared by
20 pH shift method during cold storage. *Food Research International*, 145, 110424.

21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32

Table 1

Effect of storage temperature and time on the P₂ (T₂ peak area ratio) of unsheared and sheared surimi gel.

Storage temperature	Treatment groups	Storage time(d)	P ₂₁ (%)	P ₂₂ (%)	P ₂₃ (%)		
4 °C	Unsheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^d		
		2	1.75 ± 0.23 ^a	92.78 ± 0.75 ^b	5.47 ± 0.52 ^c		
		4	1.98 ± 0.50 ^a	90.35 ± 0.66 ^c	7.67 ± 1.03 ^b		
		6	1.89 ± 0.11 ^a	91.35 ± 0.17 ^c	6.75 ± 0.13 ^b		
		7	1.98 ± 0.22 ^a	87.70 ± 0.43 ^d	10.32 ± 0.48 ^a		
		Sheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^d	
			2	1.74 ± 0.26 ^a	89.74 ± 0.60 ^b	8.52 ± 0.46 ^c	
	4		1.59 ± 0.08 ^a	89.43 ± 0.21 ^b	8.98 ± 0.28 ^c		
	6		1.86 ± 0.13 ^a	87.68 ± 0.28 ^c	10.46 ± 0.17 ^b		
	7		1.76 ± 0.25 ^a	86.03 ± 0.41 ^d	12.21 ± 0.46 ^a		
	10 °C		Unsheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^c
				2	1.69 ± 0.04 ^a	92.58 ± 0.13 ^b	5.72 ± 0.12 ^b
		4		2.03 ± 0.20 ^a	85.10 ± 0.65 ^c	12.87 ± 0.73 ^a	
		Sheared		0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^c
2			1.60 ± 0.26 ^a	91.41 ± 0.89 ^b	6.99 ± 0.69 ^b		
4			1.89 ± 0.29 ^a	84.72 ± 0.68 ^c	13.39 ± 0.62 ^a		

Data are presented as means ± SD (n = 3). Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$).

(Du *et al.*, 2023)

1 **Table 2**

Physicochemical characterization of pre- and post-rigor fish muscle of snake-head fish.

Traits	Pre-rigor fish	Post-rigor fish	<i>p</i> value
ATP content(mg/100 g)	0.85 ± 0.04	0.52 ± 0.04	0.003
pH	6.59 ± 0.03	6.39 ± 0.09	0.007
Water-soluble protein (mg/g)	67.7 ± 2.33	55.7 ± 3.75	0.000
Salt-soluble protein (mg/g)	108 ± 10.61	83 ± 3.12	0.000
Sarcomere length (µm)	2.26 ± 0.04	2.02 ± 0.12	0.029
Trichloroacetic acid (TCA)-soluble peptides (µM tyrosine/g)	2.71 ± 0.03	2.98 ± 0.10	0.003

Results are expressed as mean ± standard deviation. (*n* = 3).

(Yan *et al.*, 2024)

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

1 **Table 3**

Textural properties, T₂ relaxation peak area ratio and WHC of surimi gels made from pre- or post-rigor muscle from snakehead fish salted with 3% or 0.3% NaCl.

Traits	Pre-rigor salting		Post-rigor salting		Main effects		
	3% NaCl	0.3% NaCl	3% NaCl	0.3% NaCl	rigor	salt	rigor*salt
Gel Strength (kg*mm)	3.18 ± 0.30 ^a	0.79 ± 0.07 ^c	2.22 ± 0.21 ^b	0.73 ± 0.14 ^c	*	***	*
Hardness (kg)	1.61 ± 0.00 ^a	1.24 ± 0.00 ^c	1.49 ± 0.02 ^b	1.13 ± 0.06 ^c	***	***	NS
Adhesiveness (g*sec)	-63 ± 5.3 ^a	-27 ± 4.6 ^b	-57 ± 7.4 ^a	-26 ± 2.3 ^b	NS	***	NS
Resilience (%)	45.5 ± 0.30 ^a	36.1 ± 0.45 ^c	43.6 ± 0.62 ^b	33.4 ± 1.21 ^c	***	***	NS
Cohesiveness	0.79 ± 0.01 ^a	0.69 ± 0.02 ^b	0.77 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.02 ^b	*	***	NS
Chewiness (kg)	1.14 ± 0.04 ^a	0.72 ± 0.03 ^c	1.08 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.05 ^c	*	***	NS
PT ₂₁	1.13 ± 0.08 ^c	1.65 ± 0.18 ^b	1.53 ± 0.01 ^b	2.86 ± 0.04 ^a	***	**	***
PT ₂₂	97.8 ± 0.10 ^a	95.9 ± 0.39 ^b	97.6 ± 0.15 ^a	94.4 ± 0.15 ^c	***	***	**
PT ₂₃	0.96 ± 0.02 ^b	2.55 ± 0.22 ^a	0.82 ± 0.15 ^b	2.69 ± 0.14 ^a	NS	***	NS
WHC	86.0 ± 1.44 ^a	72.8 ± 1.03 ^c	80.2 ± 2.53 ^b	74.3 ± 1.42 ^c	NS	***	**

All values are mean ± standard deviation. (n = 3).

NS, not significant; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

^{a-c}Means with different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$).

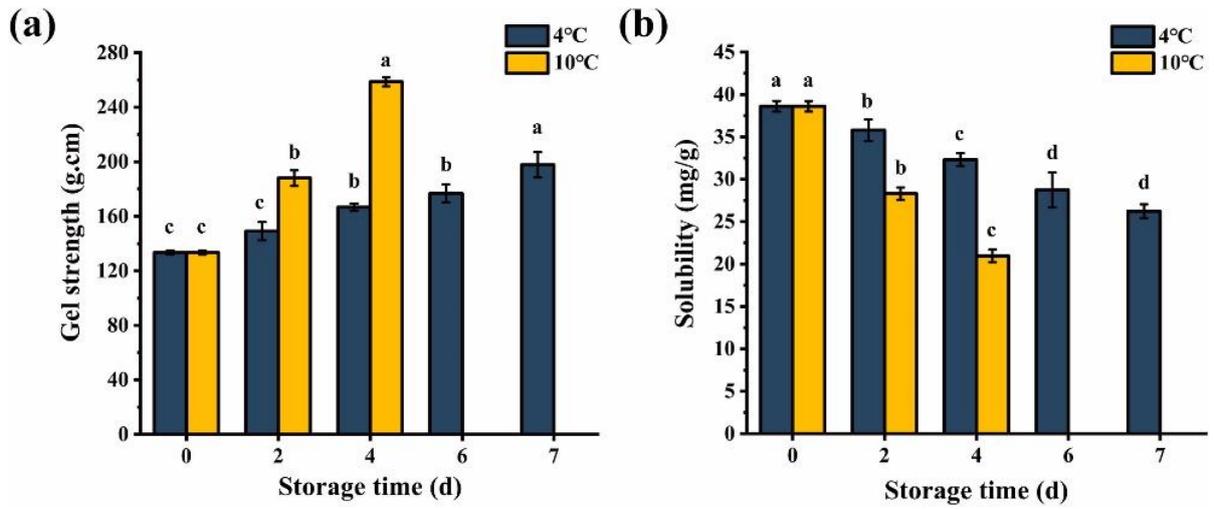
2

3

(Yan *et al.*, 2024)

1

七、圖



2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

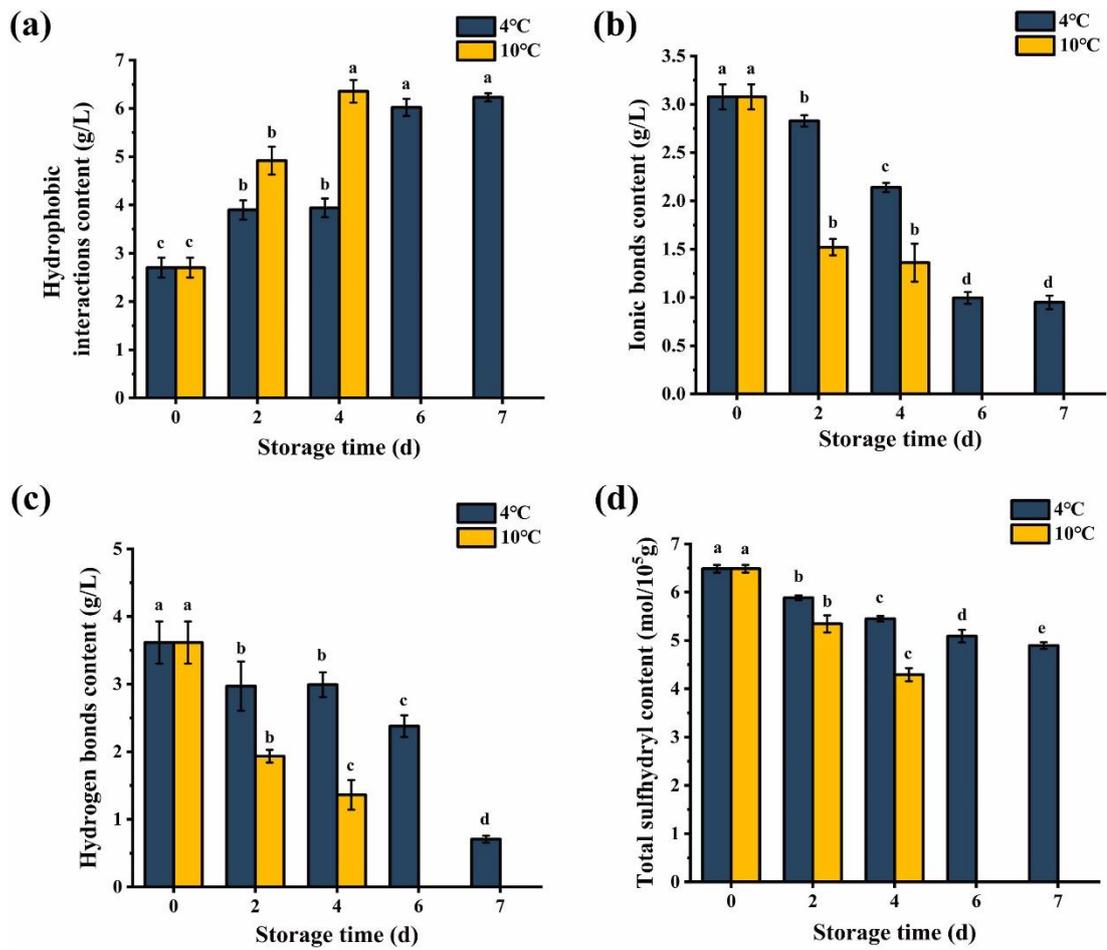
19

20

21

Fig. 1. Effect of storage temperature and time on the gel strength (a) and protein solubility (b) of surimi sol. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$).

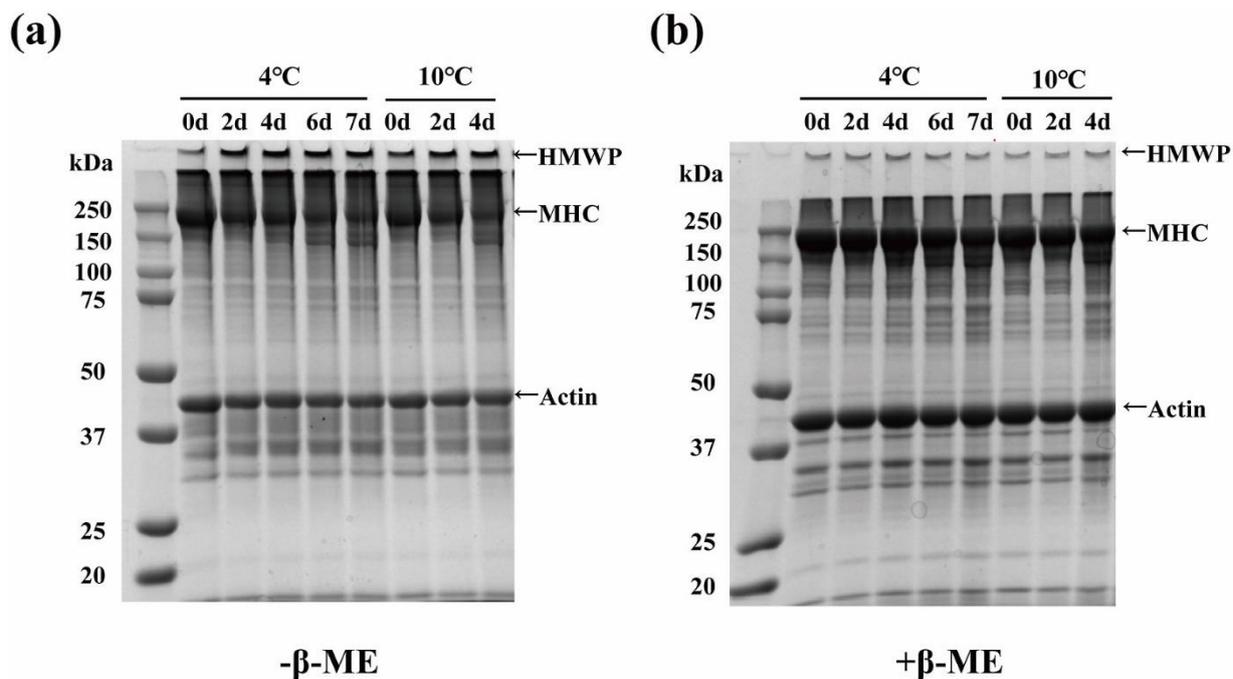
(Du *et al.*, 2023)



1
2 Fig. 2. Effect of storage temperature and time on the hydrophobic interactions content (a);
3 ionic bonds content (b); hydrogen bonds content (c) and total sulfhydryl content (d) of
4 surimi sol. Different letters represent significant differences within the same treatment
5 groups ($P < 0.05$).

6 (Du *et al.*, 2023)

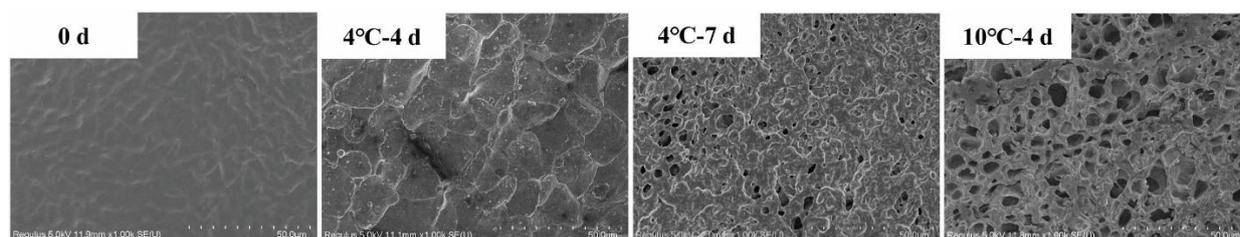
7
8
9
10
11
12
13
14
15



1
2
3
4
5

Fig. 3. Effect of storage temperature and time on the non-reducing (a) and reducing (b) SDS-PAGE patterns of protein.

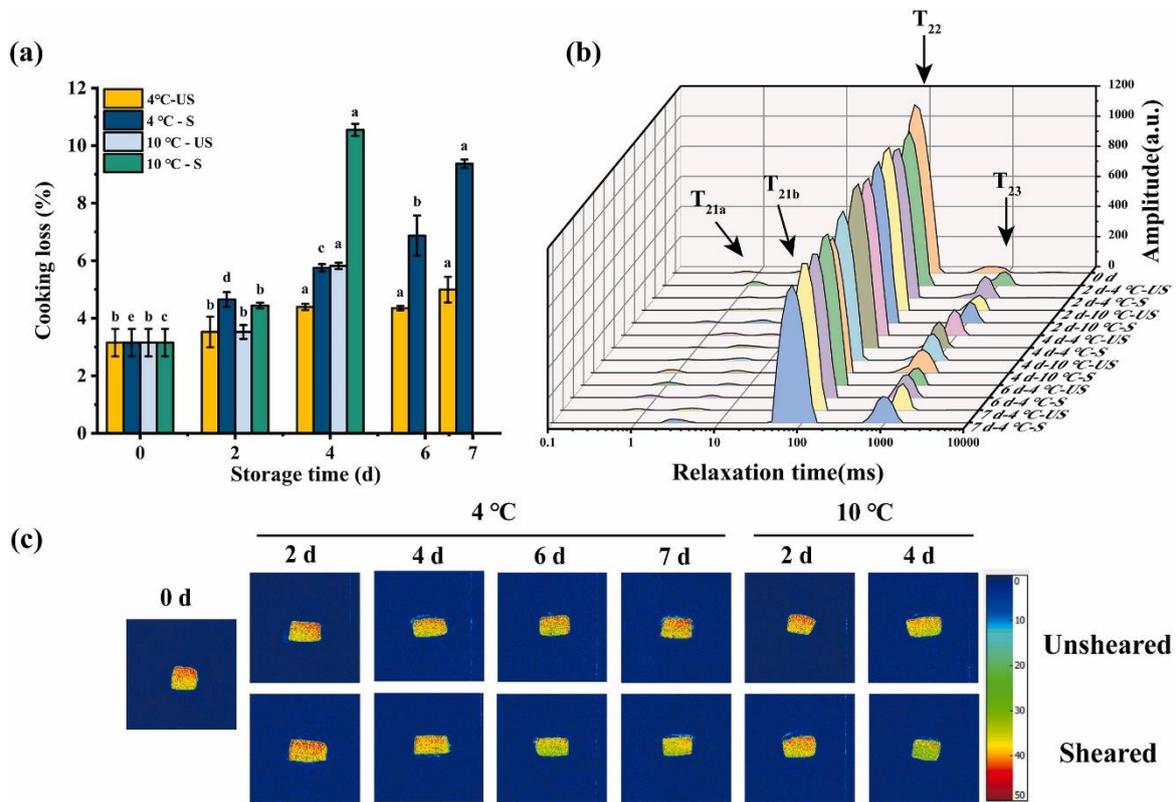
(Du *et al.*, 2023)



6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Fig. 4. Effect of storage temperature and time on the microstructure of surimi sol.

(Du *et al.*, 2023)



1
 2 Fig. 5. Effect of storage temperature and time on the cooking loss (a); relaxation time T₂ (b)
 3 and magnetic resonance imaging (c) of unsheared and sheared surimi gel. Different letters
 4 represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$). US: unsheared
 5 surimi gel; S: sheared surimi gel.

6 (Du *et al.*, 2023)

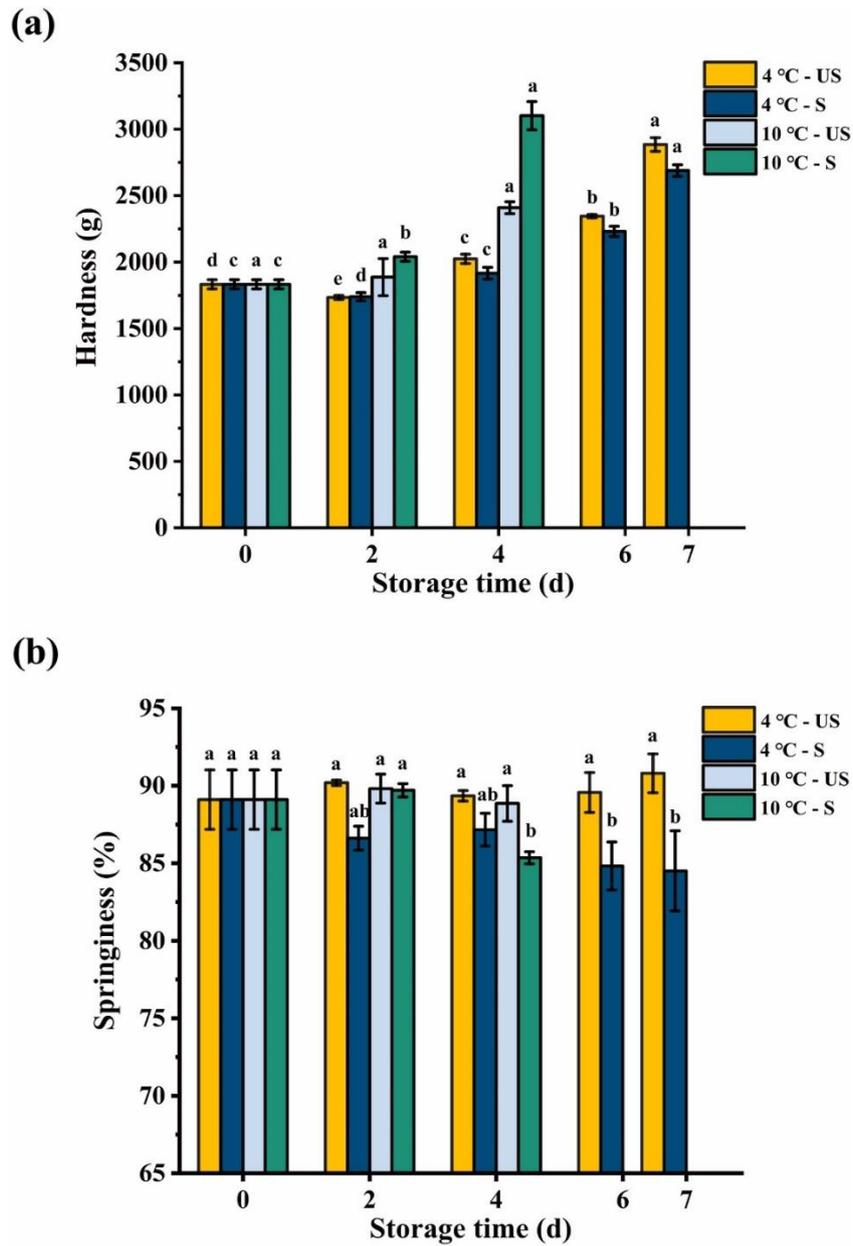
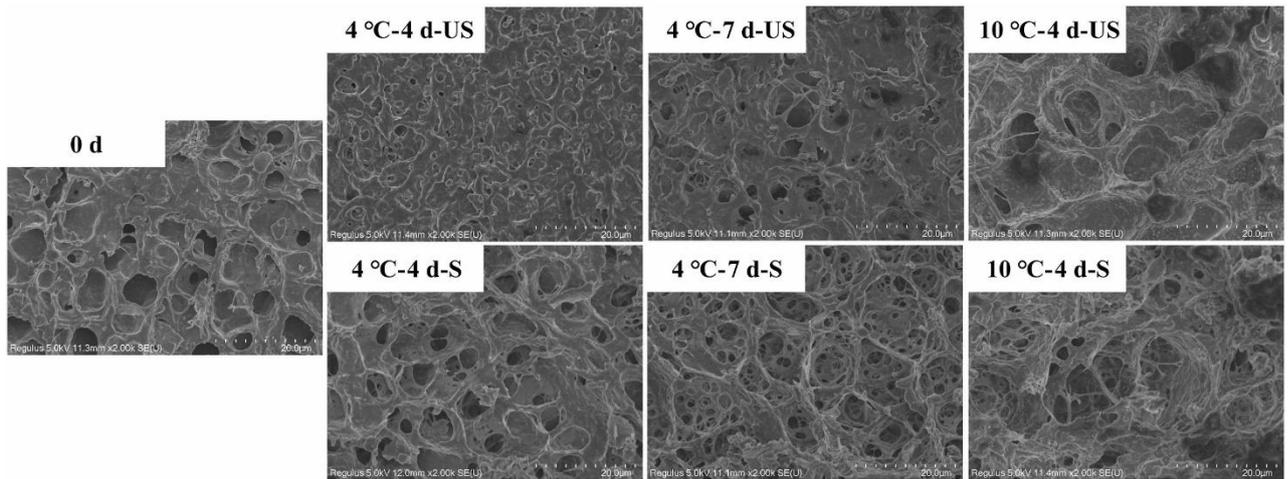


Fig. 6. Effect of storage temperature and time on the hardness (a) and springiness (b) of unsheared and sheared surimi gel. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$). US: unsheared surimi gel; S: sheared surimi gel.

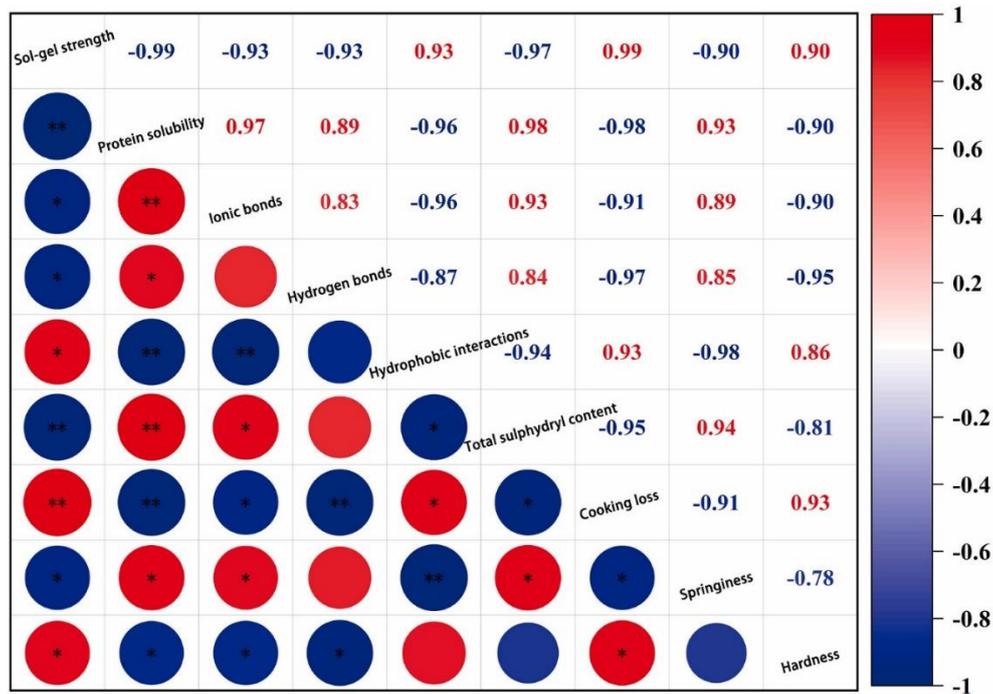
(Du *et al.*, 2023)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



1
2 Fig. 7. Effect of storage temperature and time on the microstructure of unsheared and sheared
3 surimi gel. US: unsheared surimi gel; S: sheared surimi gel.

4 (Du *et al.*, 2023)

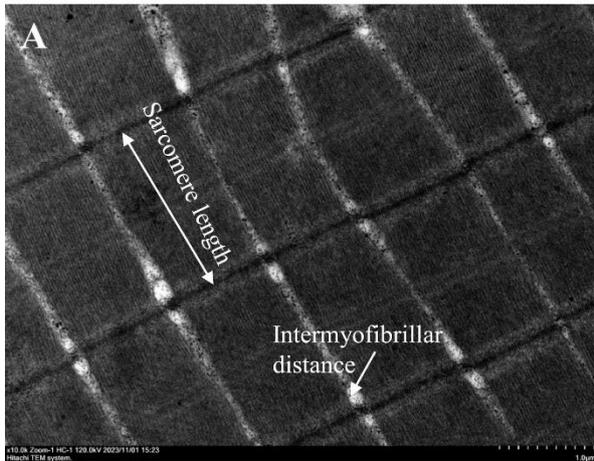


5
6 * p<=0.05 ** p<=0.01

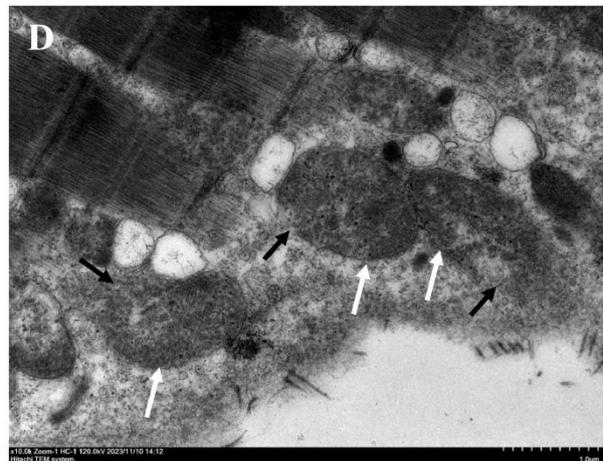
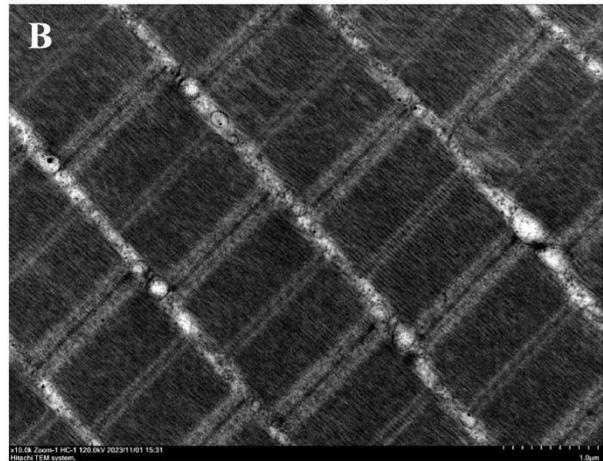
7 Fig. 8. Correlation analysis of physicochemical index of surimi sol and gel properties of
8 sheared surimi gel during storage at 4 °C for different time.

9 (Du *et al.*, 2023)

Pre-rigor



Post-rigor



1

2 Fig. 9. Representative ultrastructure of pre-rigor (A, C) and post-rigor (B, D) muscle as
3 revealed by transmission electron microscopy. White solid arrows in C, D show the presence
4 of mitochondria while the black solid arrows indicate the damage of mitochondria.

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

(Yan *et al.*, 2024)

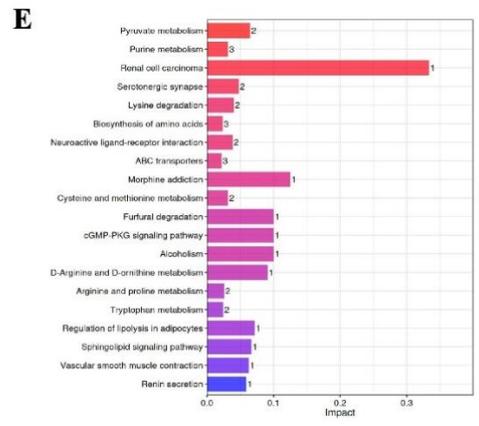
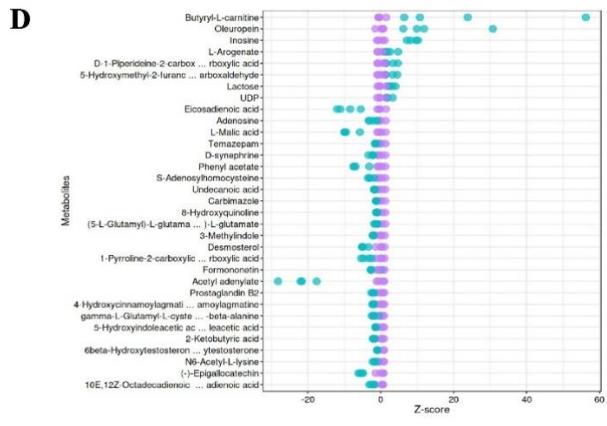
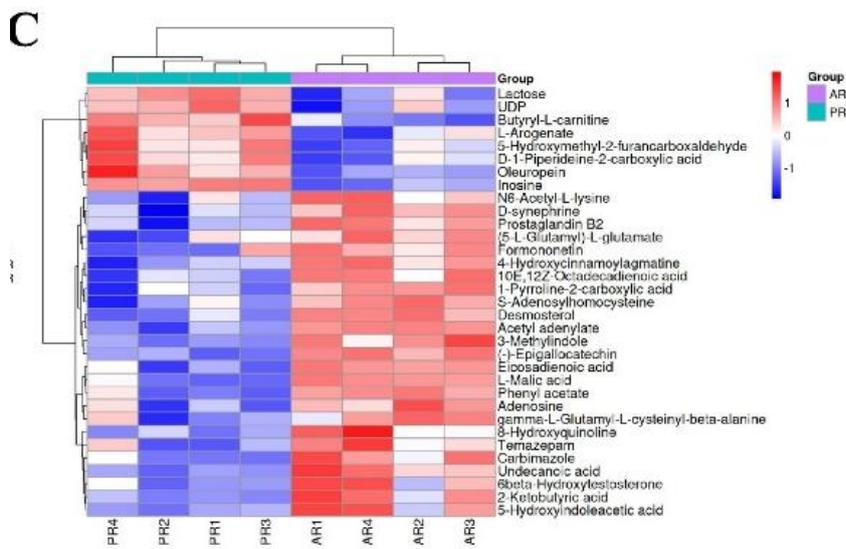
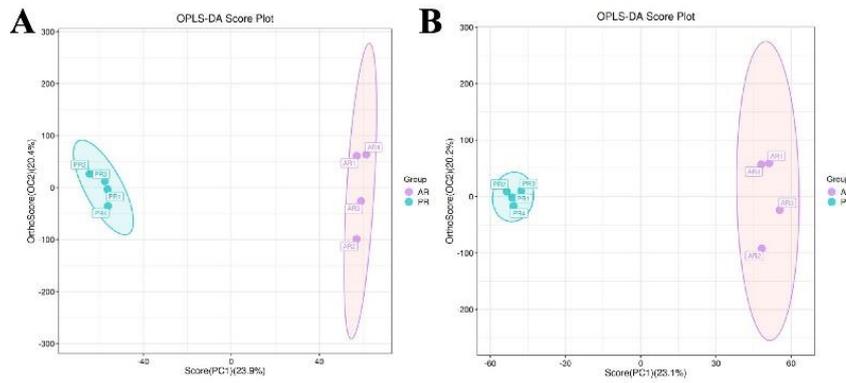
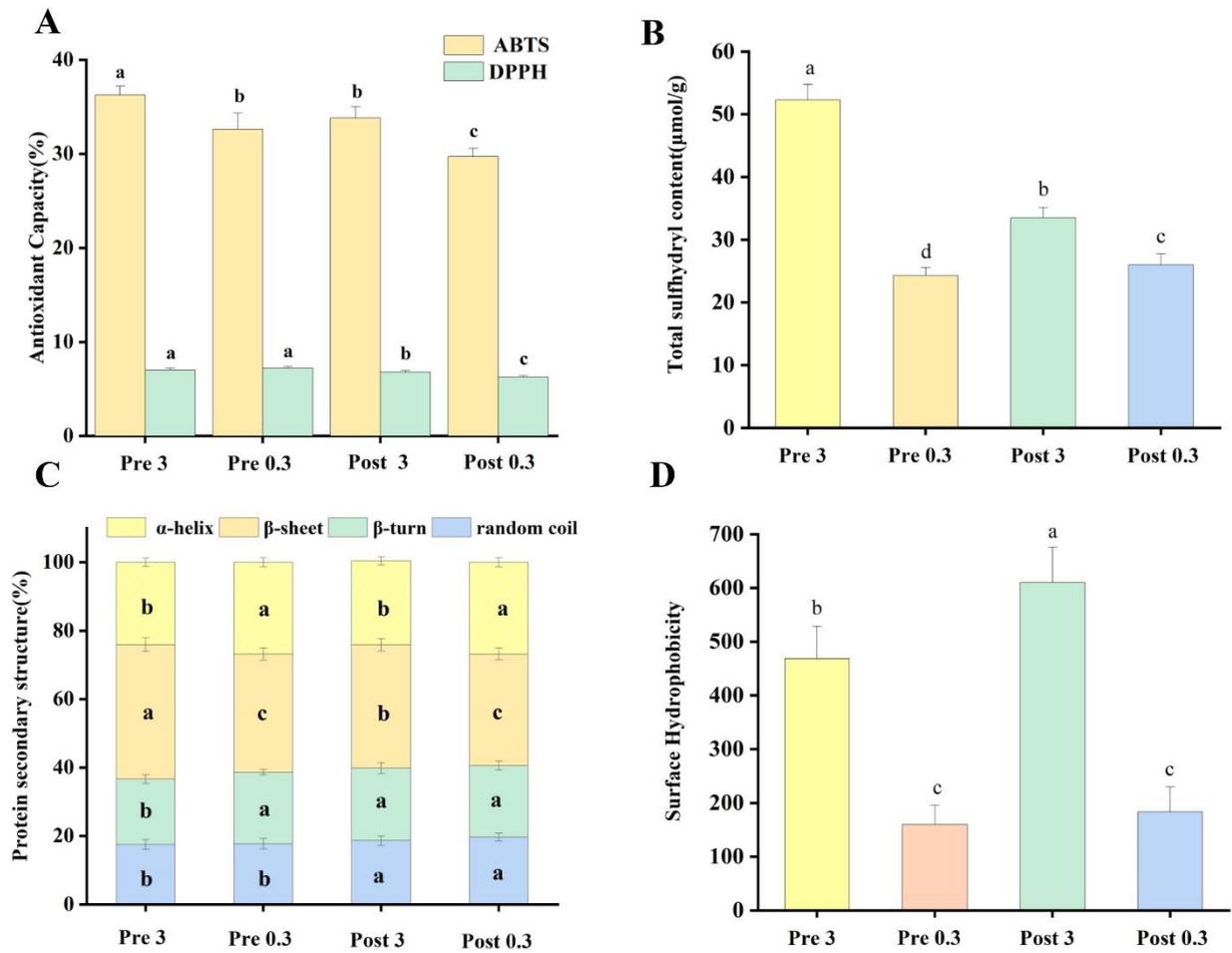


Fig. 10. Metabolic profile of pre-rigor (PR) and post-rigor (AR) fish muscle. OPLS-DA score of metabolites (A, positive ion mode; B, negative ion mode); hierarchical clustering analysis of differential metabolites (C); Z-score of differential metabolites (D); KEGG pathway enrichment analysis (E).

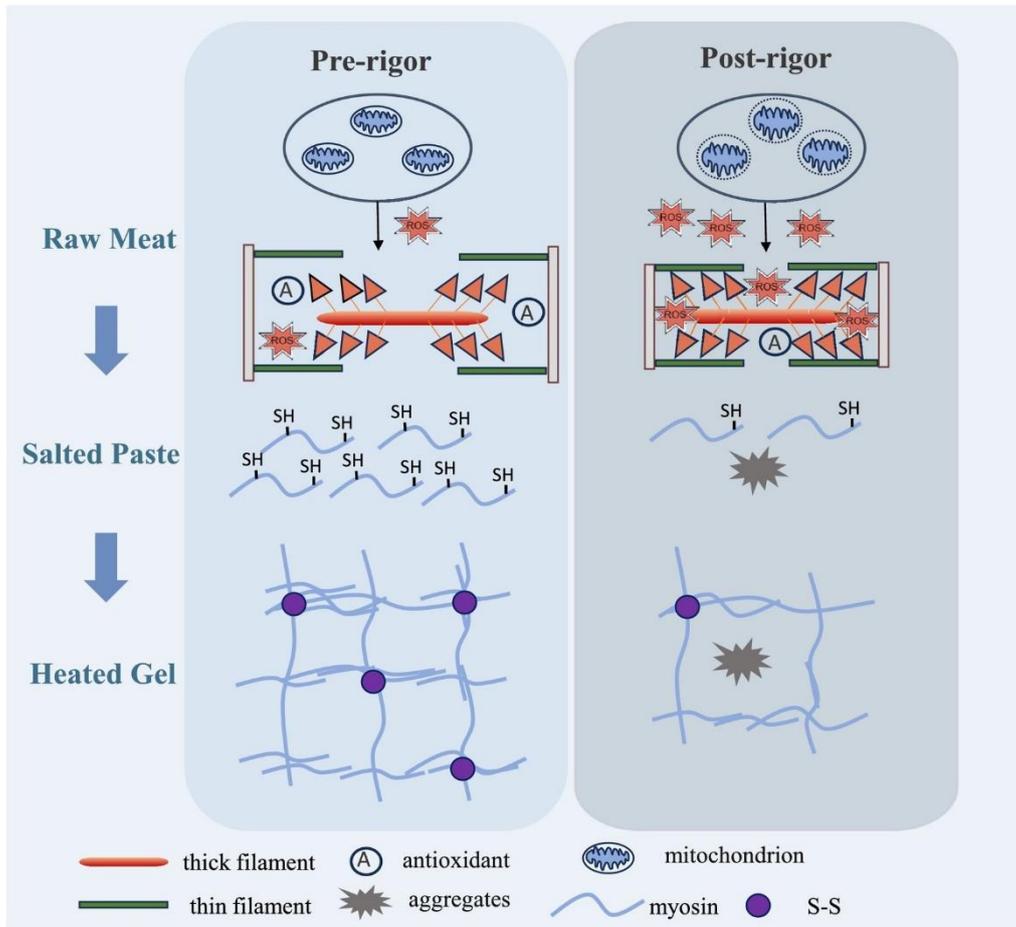
(Yan *et al.*, 2024)



1
2 Fig. 11. Physicochemical properties of muscle proteins in pre- and post-rigor fish meat salted
3 with 3% or 0.3% NaCl. Radical scavenging capacity (A); sulfhydryl content (B); secondary
4 structure (C) and the surface hydrophobicity (D). Pre 3, pre-rigor salting with 3% NaCl; Pre
5 0.3, pre-rigor salting with 0.3% NaCl; Post 3, post-rigor salting with 3% NaCl; Post 0.3, post-
6 rigor salting with 0.3% NaCl.

7 (Yan *et al.*, 2024)

8
9
10
11
12
13
14
15



1
 2 Fig. 12. Schematic diagram of the effect of pre-rigor salting on surimi gel properties. As
 3 compared to post-rigor muscle, pre-rigor muscle has longer sarcomere with myosin and actin
 4 detached, this relatively loose microstructure leads to extraction of greater amount of free
 5 myosin upon salt addition. Protein extracted from pre-rigor muscle also has greater sulfhydryl
 6 group due to enrichment of antioxidants and less leakage of reactive oxygen species (ROS)
 7 by mitochondria. The greater sulfhydryl group contributes to a greater extend of protein
 8 aggregation. The increased amount of free myosin and the greater extent of protein
 9 aggregation promote the development of fibrous gel network and result surimi gel with
 10 increased mechanical strength and better water-holding.

11 (Yan *et al.*, 2024)

12
 13
 14
 15
 16

1 問與答

2 Q1. 溫度為何設定 4°C 及 10°C?

3 A: 研究選擇 4°C 和 10°C 為儲存溫度是基於產品實際生產和儲存過程中溫度變化。4°C
4 C 是常規冷藏溫度，用於延長食品的保存期減少微生物增長。4°C 的溫度設定用於模
5 擬在一般冷藏儲存條件下的狀況，並評估在這一溫度下凝膠形成及其質量變化。10°C
6 是略高於常規冷藏溫度的設定，用來模擬儲存過程中溫度波動。評估當儲存溫度上升
7 時凝膠的質量是否會顯著下降。

8

9 Q2. 魚肉 pH 值變化?

10 A: pH 差異於代謝活動、乳酸積累以及魚肉內部化學反應變化。僵直前魚肉，ATP 含
11 量較高，魚肉仍處於活躍代謝狀態，因此 pH 值較高。相對而言，解僵後隨著 ATP 消
12 耗代謝活動減少，導致 pH 值下降至 6.39。魚肉中的糖分解為乳酸，導致 pH 下降。魚
13 肉在解僵過程中會發生這種現象，這與其他動物的僵直過程相似，不過由於魚類的糖
14 含量通常較低，pH 下降幅度較小。

15

16 Q3. 蛋白質二級結構如何得知?

17 A: 拉曼光譜技術在實驗中分析蛋白質的結構，並且能夠定量化蛋白質二級結構的變化，
18 了解鹽漬處理和僵直狀態中蛋白質結構的影響。



冷藏保存及鹽濃度對魚漿凝膠之影響

**Effects of refrigerated storage and salt concentration
on fish paste gel**

授課老師：陳建利老師 游舒涵老師

指導老師：劉修銘老師

學生姓名：吳鍵宏 (41242001)

報告日期：113年10月5日

大綱

1. 前言
2. 冷誘導的溶膠至凝膠轉變與再切碎加工對冷藏鯉魚 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 魚漿特性之影響
3. 僵直前冷凍鹽漬提高鱧魚 (*Channa argus*) 魚漿凝膠強度和保水性: 蛋白質氧化的作用
4. 結論



進入前言

魚漿冷凍技術

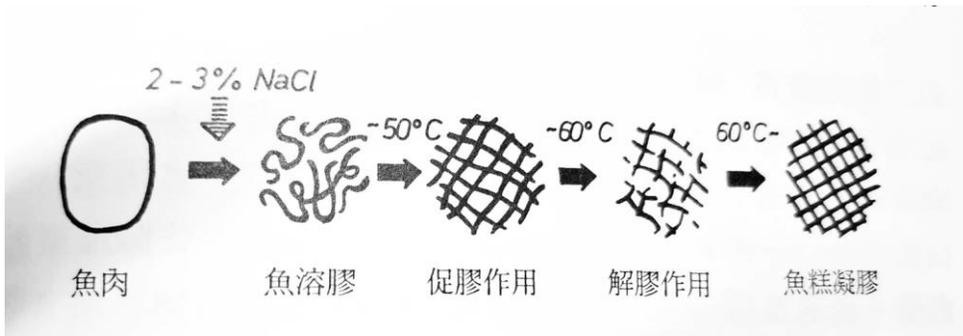
1959年，北海道水產試驗場，西谷喬助，明太魚(岡田，1983)。

1. 選擇鮮度良好的原料魚，魚的鮮度是決定魚漿成膠能力的重要因素，魚在捕獲和加工之間的儲存和溫度會影響最終魚漿的品質。
2. 充分清洗魚肉以除去水溶性成分，增加魚肉的凝膠性。
3. 加入砂糖等變性防止劑，即使長期冷凍也能保持魚漿成形能力。



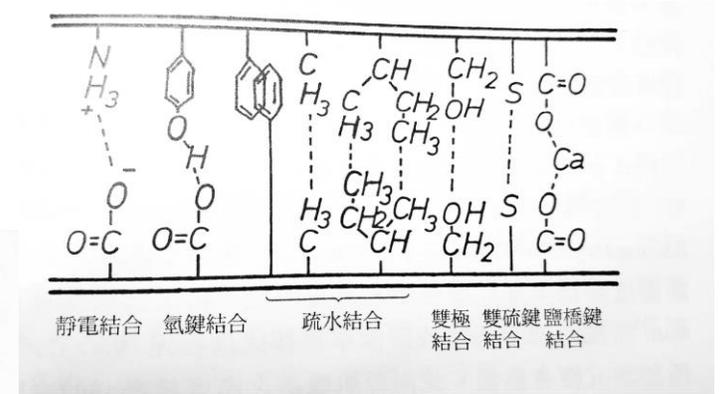
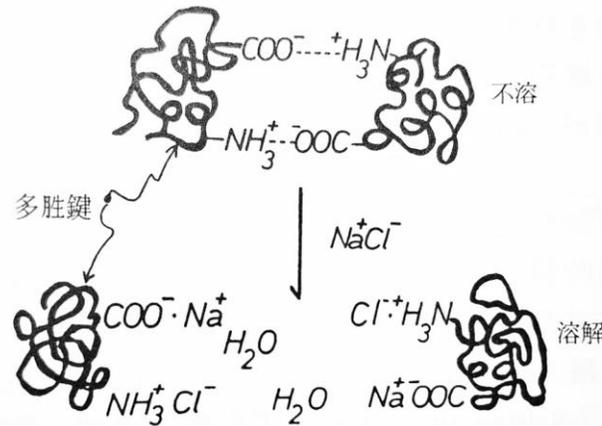
魚漿凝膠形成

凝膠形成的原理為魚肉加鹽搗潰時，構成肌原纖維蛋白質溶解，其中的成分肌球蛋白與肌動蛋白聚合而形成纖維狀大分子的肌動凝蛋白，互相纏合後，受熱時分子間形成鍵結，形成了網狀結構 (Ogawa *et al.*, 1995)。



凝膠形成過程 (Suzuki, 1981)

肌肉蛋白質之鹽溶模式 (Niwa, 1985)



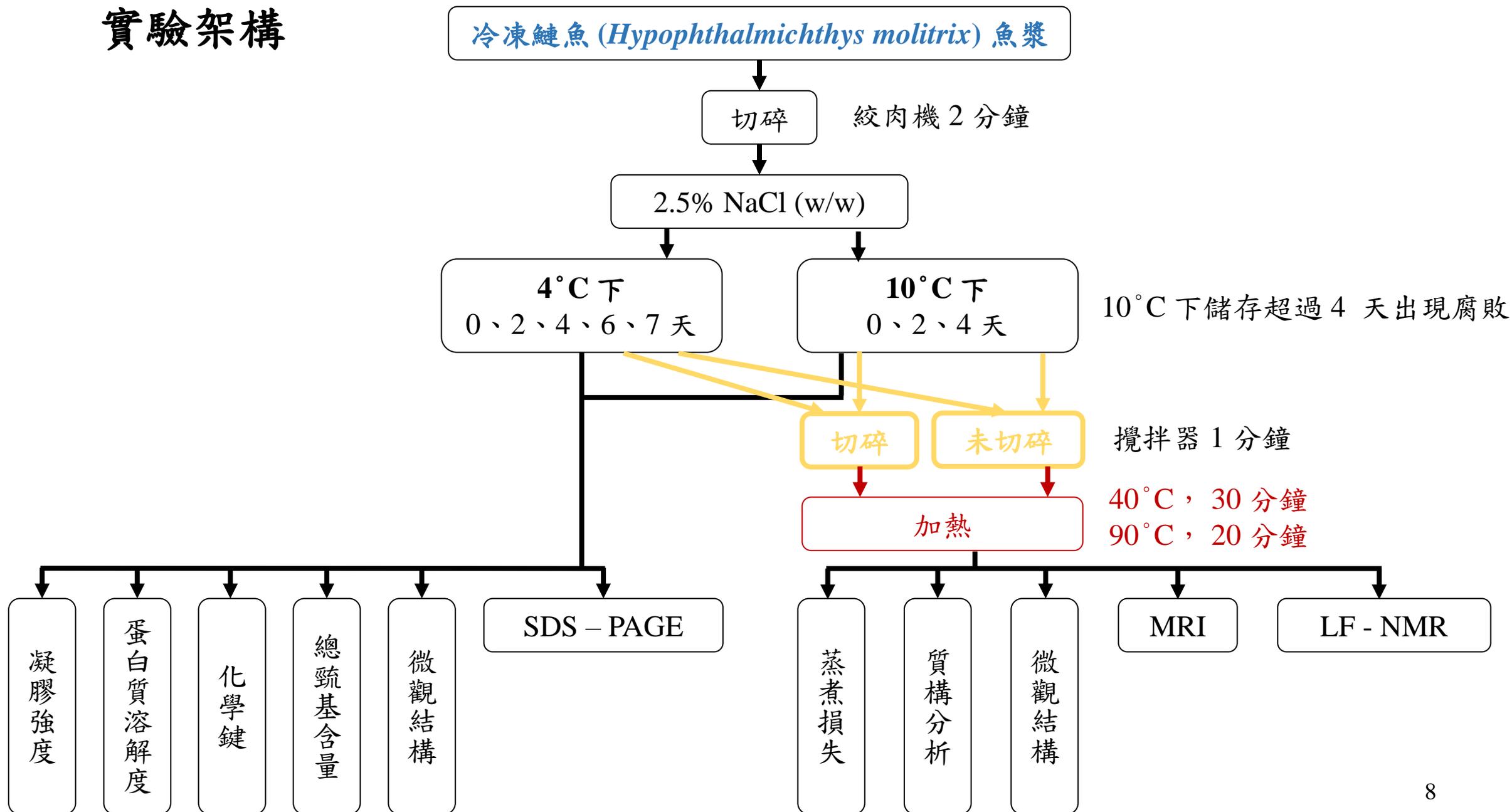
蛋白質網狀結構之各種鍵結 (孫, 2012)

研究目的

- 近年來，隨著消費者對便利、高品質食品的需求增加，人們對非冷凍的冷藏水產品興趣日益濃厚。魚漿在 4°C 下會轉變為半凝膠系統，比熱誘導凝膠更弱的聚集性和凝膠網絡密度 (Liu *et al.*, 2019)。
- 僵直前預鹽漬技術應用於家畜 (Claus *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023) 以及魚類 (Birkeland *et al.*, 2007; Hossain *et al.*, 2020; Park *et al.*, 1990)，發現僵直前預鹽漬有對碎肉產品增強凝膠強度的效果。消費者對於減鹽的意識逐漸抬頭，由於魚漿產品需要足夠的鹽以達到鹹味感知及肌纖維蛋白的溶出，魚漿產品中減鹽是具有挑戰性的 (Monto *et al.*, 2021)。
- 綜上所述，本次研究將探討冷藏儲存條件和加工處理對魚漿產品最終品質的重要性，並提出通過控制溫度和鹽醃技術可改善魚漿凝膠物理特性和品質。

冷誘導的溶膠至凝膠轉變與再切碎加工
對冷藏鱧魚 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 魚漿特性之影響

實驗架構



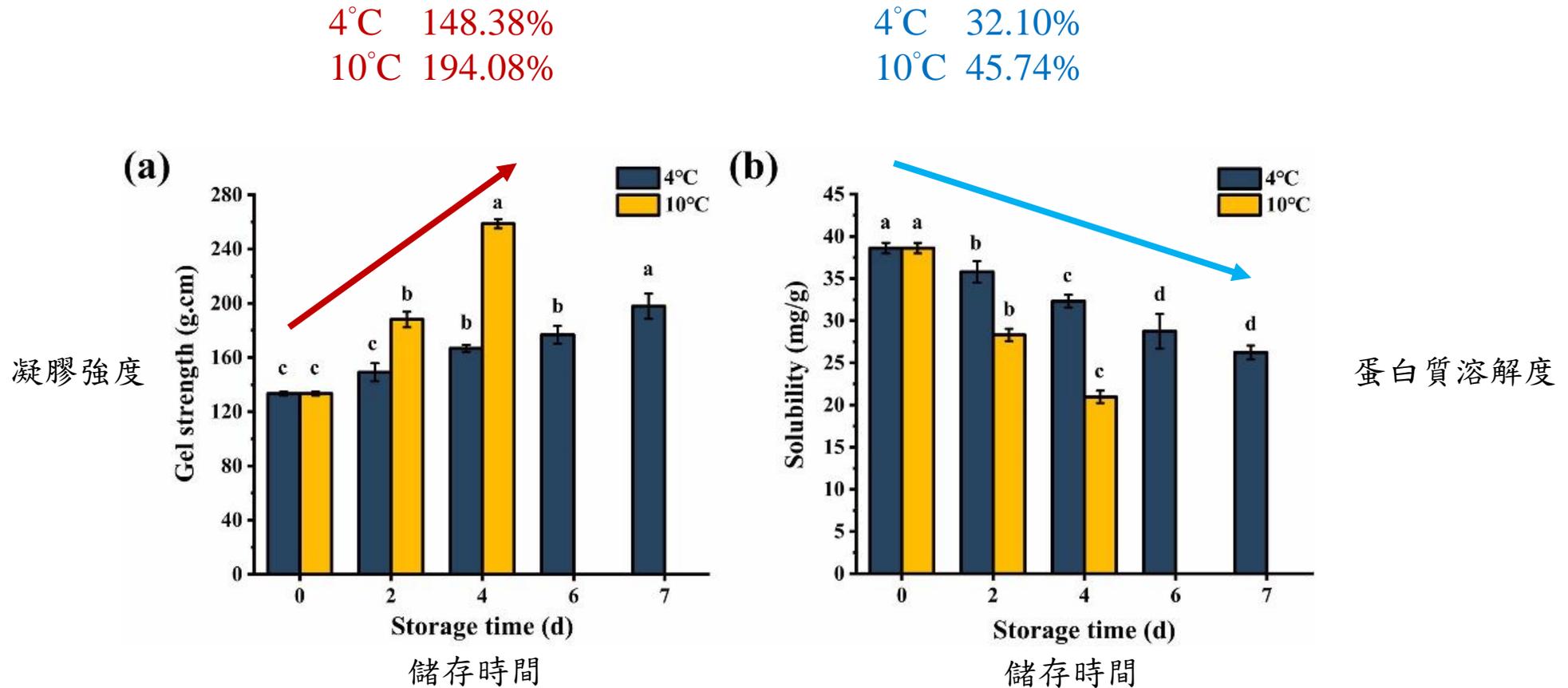


Fig. 1. Effect of storage temperature and time on the gel strength (a) and protein solubility (b) of surimi sol. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$).

圖 1. 儲存溫度和時間對魚漿的凝膠強度 (a) 和蛋白質溶解度 (b) 的影響。

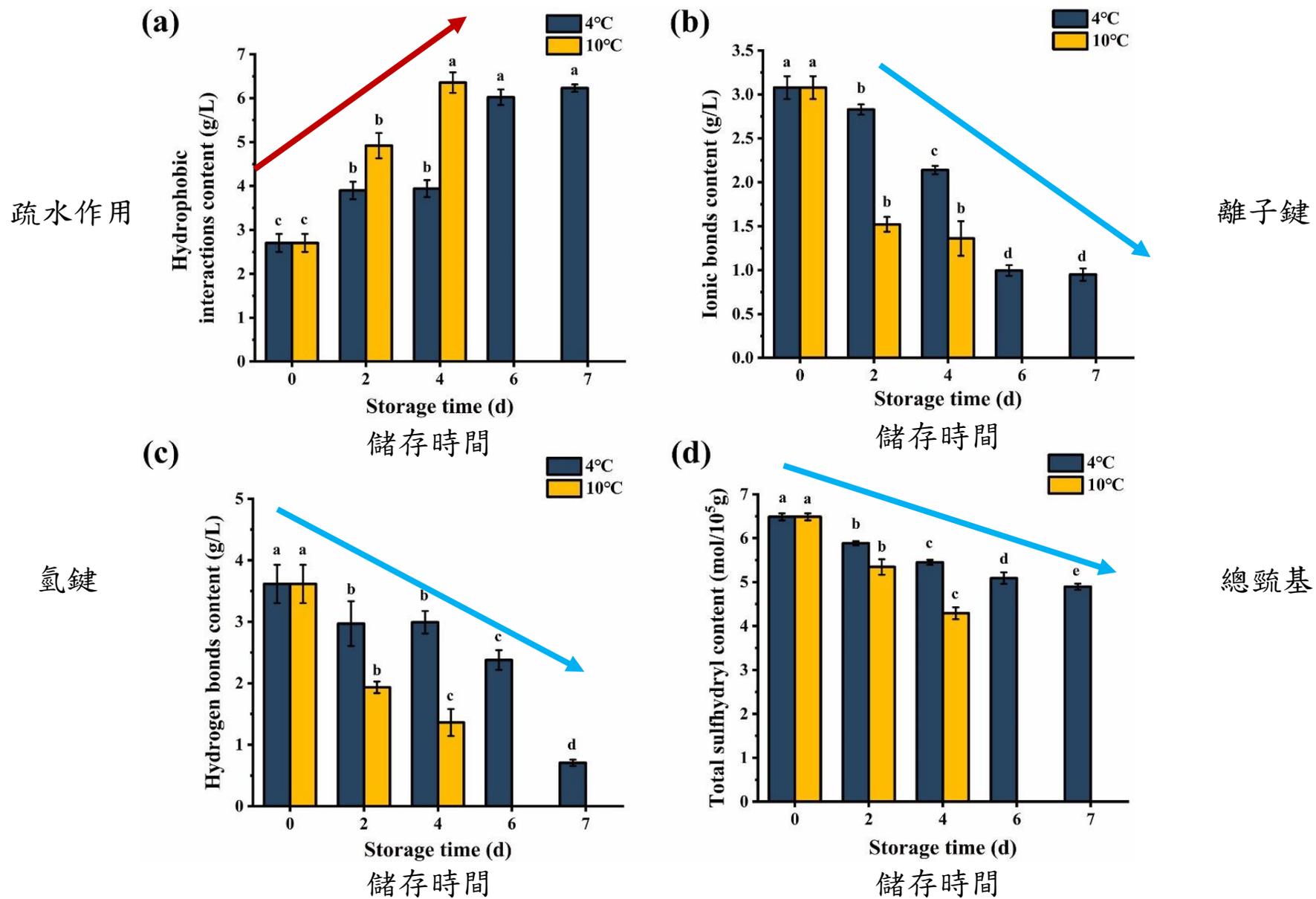


Fig. 2. Effect of storage temperature and time on the hydrophobic interactions content (a); ionic bonds content (b); hydrogen bonds content (c) and total sulfhydryl content (d) of surimi sol. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$).

圖 2. 儲存溫度和時間對魚漿中疏水作用 (a)、離子鍵 (b)、氫鍵 (c) 及總巰基 (d) 的影響。

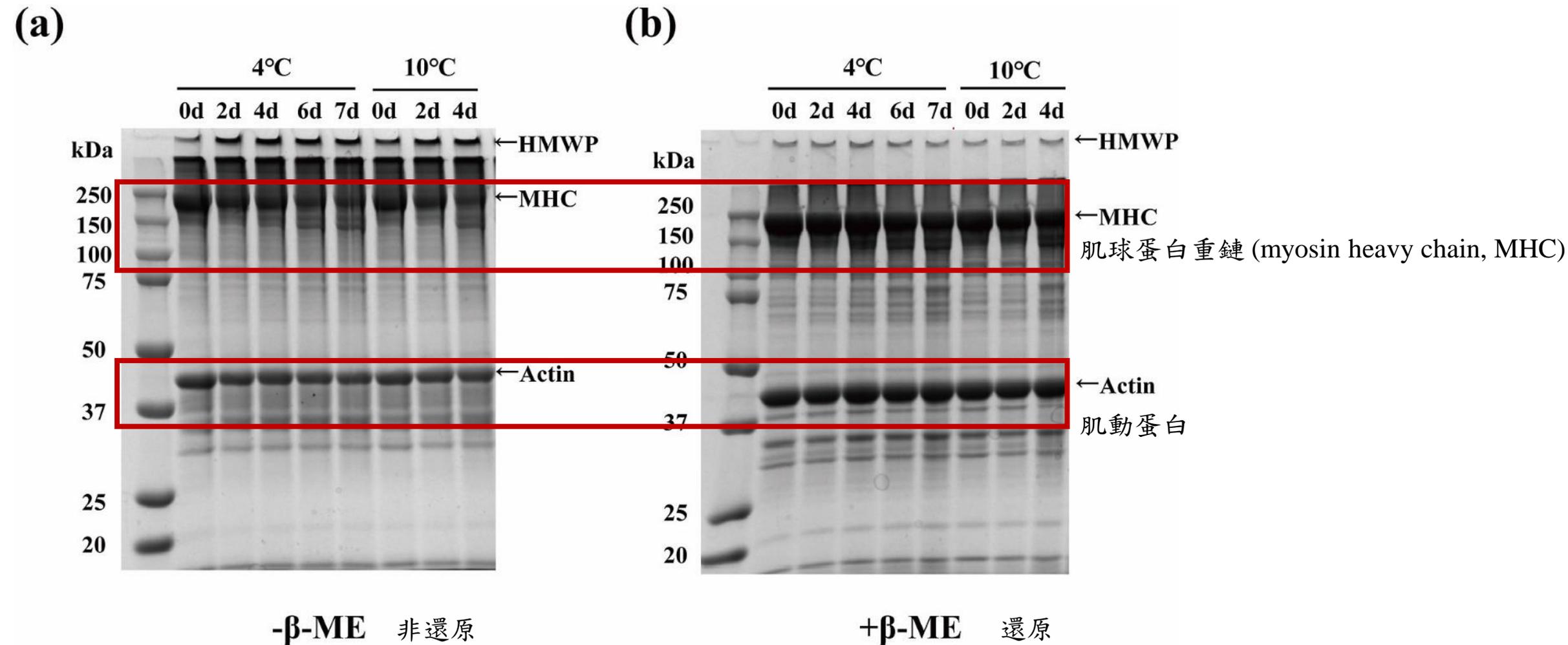


Fig. 3. Effect of storage temperature and time on the non-reducing (a) and reducing (b) SDS-PAGE patterns of protein.

圖 3. 儲存溫度和時間對非還原 (a) 和還原 (b) SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis) 蛋白質的影響。

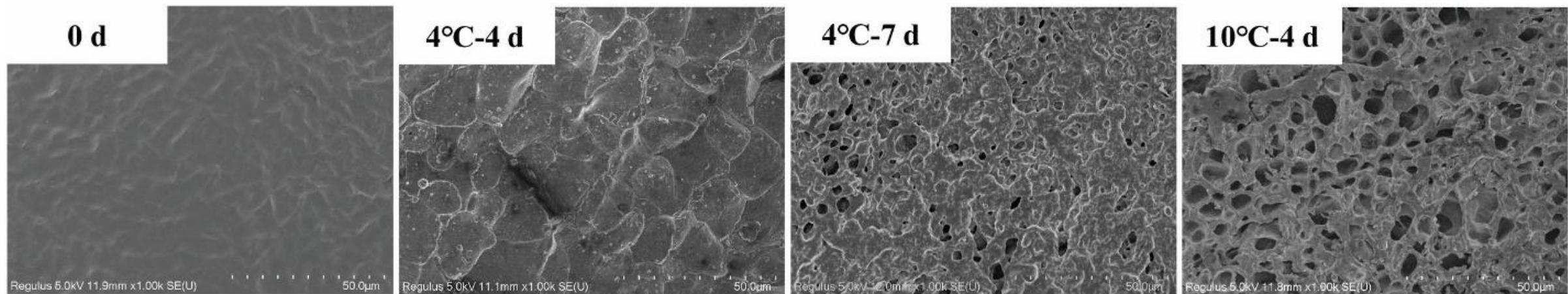


Fig. 4. Effect of storage temperature and time on the microstructure of surimi sol.

圖 4. 儲存溫度和時間對魚漿微觀結構的影響。

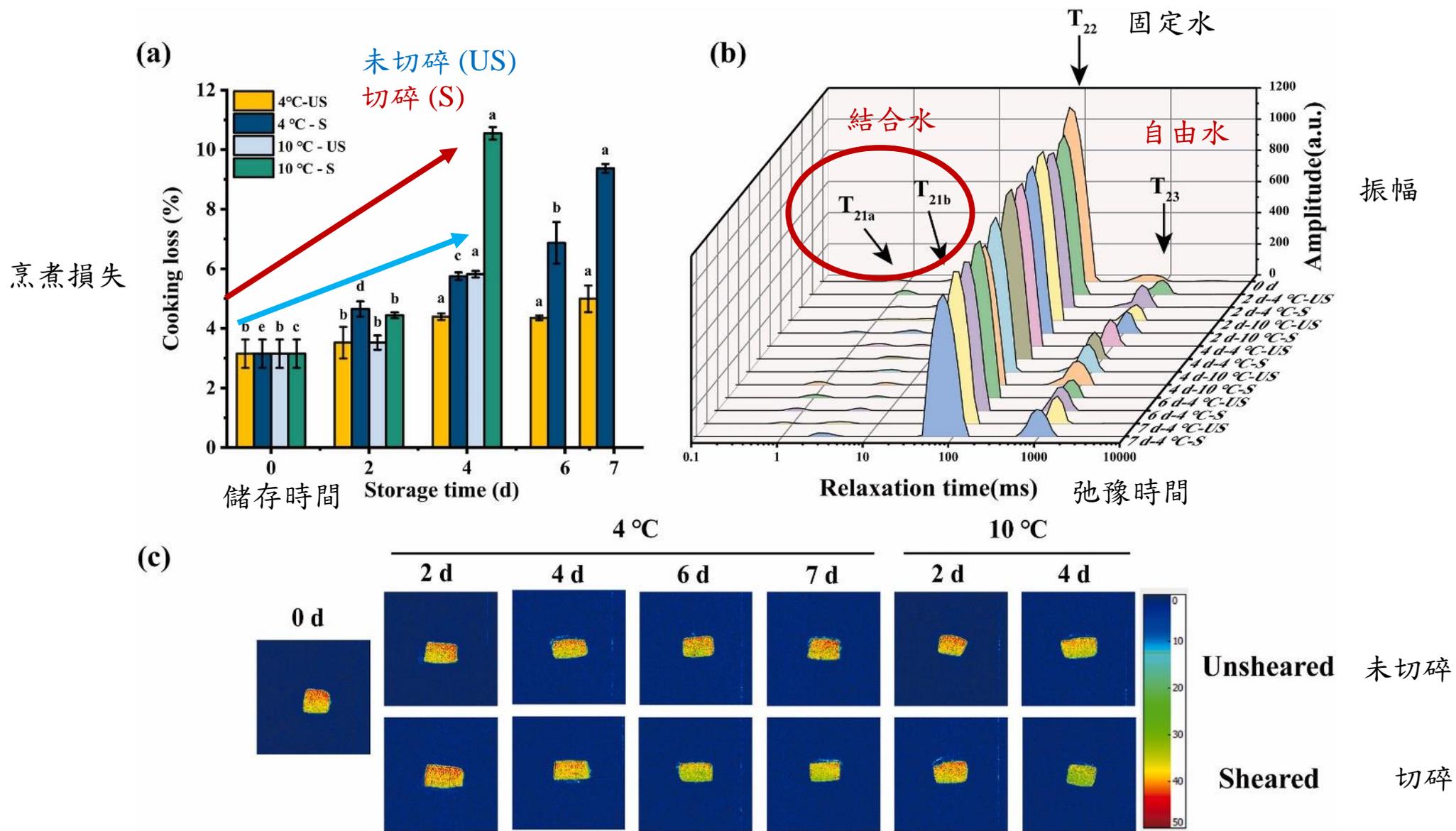


Fig. 5. Effect of storage temperature and time on the cooking loss (a); relaxation time T_2 (b) and magnetic resonance imaging (c) of unsheared and sheared surimi gel. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$). US: unsheared surimi gel; S: sheared surimi gel.

圖 5. 溫度和時間對未切碎和切碎熱凝膠的烹煮損失 (a)、 T_2 弛豫時間 (b) 和 MRI (magnetic resonance imaging) (c) 的影響。

Table 1

Effect of storage temperature and time on the P₂ (T₂ peak area ratio) of unsheared and sheared surimi gel.

Storage temperature	Treatment groups	Storage time(d)	P ₂₁ (%)	P ₂₂ (%)	P ₂₃ (%)		
				固定水	自由水		
4 °C	Unsheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^d		
		2	1.75 ± 0.23 ^a	92.78 ± 0.75 ^b	5.47 ± 0.52 ^c		
		4	1.98 ± 0.50 ^a	90.35 ± 0.66 ^c	7.67 ± 1.03 ^b		
		6	1.89 ± 0.11 ^a	91.35 ± 0.17 ^c	6.75 ± 0.13 ^b		
		7	1.98 ± 0.22 ^a	87.70 ± 0.43 ^d	10.32 ± 0.48 ^a		
		Sheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^d	
			2	1.74 ± 0.26 ^a	89.74 ± 0.60 ^b	8.52 ± 0.46 ^c	
	4		1.59 ± 0.08 ^a	89.43 ± 0.21 ^b	8.98 ± 0.28 ^c		
	6		1.86 ± 0.13 ^a	87.68 ± 0.28 ^c	10.46 ± 0.17 ^b		
	7		1.76 ± 0.25 ^a	86.03 ± 0.41 ^d	12.21 ± 0.46 ^a		
	10 °C		Unsheared	0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^c
				2	1.69 ± 0.04 ^a	92.58 ± 0.13 ^b	5.72 ± 0.12 ^b
		4		2.03 ± 0.20 ^a	85.10 ± 0.65 ^c	12.87 ± 0.73 ^a	
		Sheared		0	1.70 ± 0.04 ^a	94.26 ± 0.08 ^a	4.04 ± 0.05 ^c
2			1.60 ± 0.26 ^a	91.41 ± 0.89 ^b	6.99 ± 0.69 ^b		
4			1.89 ± 0.29 ^a	84.72 ± 0.68 ^c	13.39 ± 0.62 ^a		

表 1. 儲存溫度和時間對未切碎 (US) 和切碎 (S) 魚漿熱凝膠 P₂ (T₂ 峰值的面積比例) 影響

Data are presented as means ± SD (n = 3). Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$).

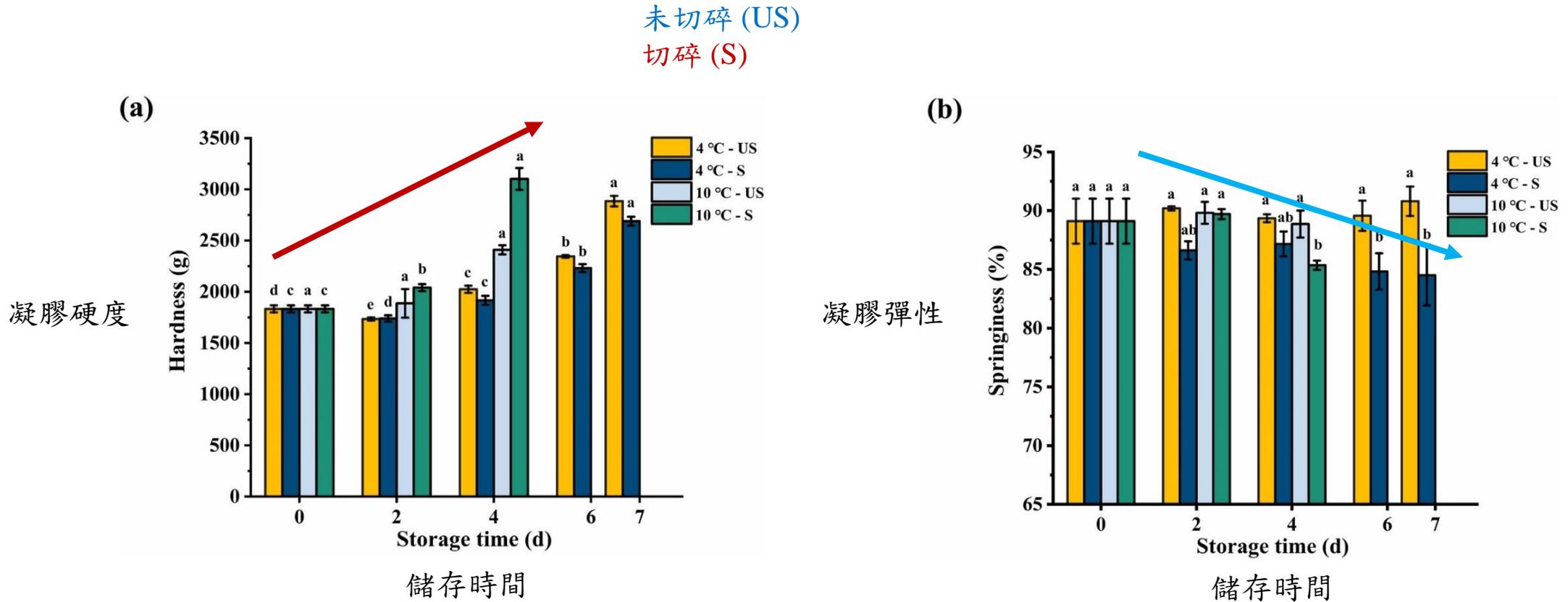


Fig. 6. Effect of storage temperature and time on the hardness (a) and springiness (b) of unsheared and sheared surimi gel. Different letters represent significant differences within the same treatment groups ($P < 0.05$). US: unsheared surimi gel; S: sheared surimi gel.

圖 6. 儲存溫度和時間對未切碎 (US) 和切碎 (S) 熱誘導凝膠的硬度 (a) 和彈性 (b) 的影響。

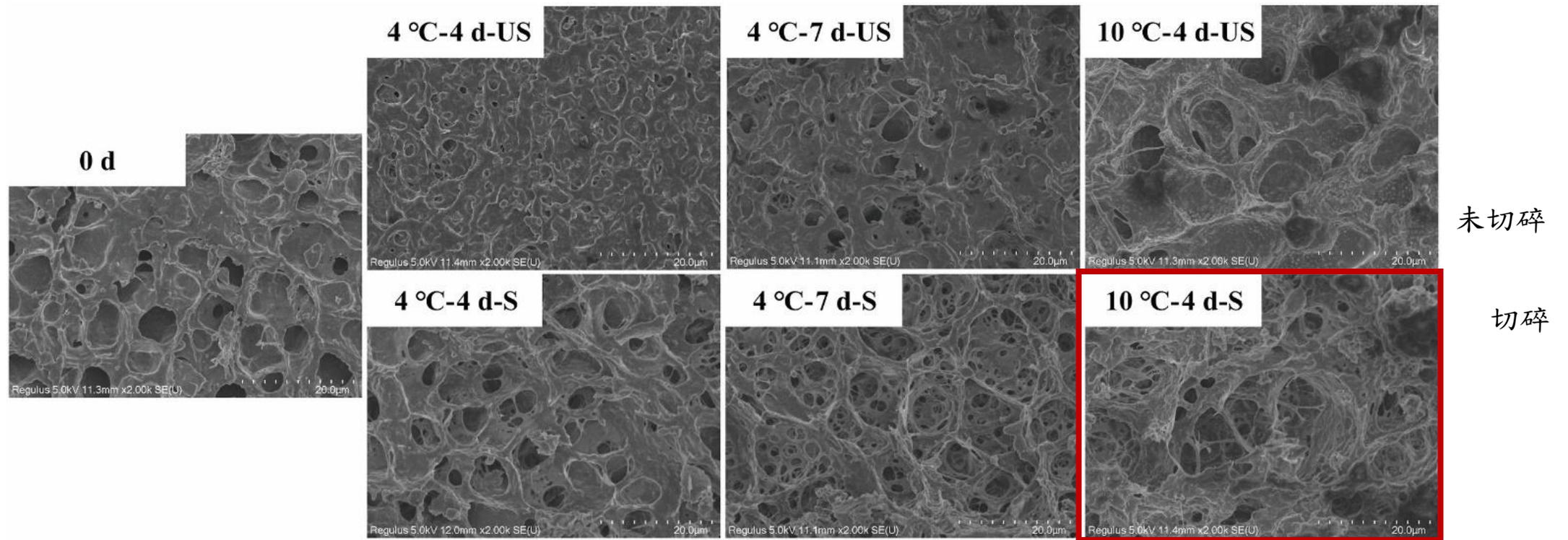


Fig. 7. Effect of storage temperature and time on the microstructure of un-sheared and sheared surimi gel. US: un-sheared surimi gel; S: sheared surimi gel.

圖7. 儲存溫度和時間對未切碎 (US) 和切碎 (S) 熱誘導凝膠微觀結構的影響。

小結

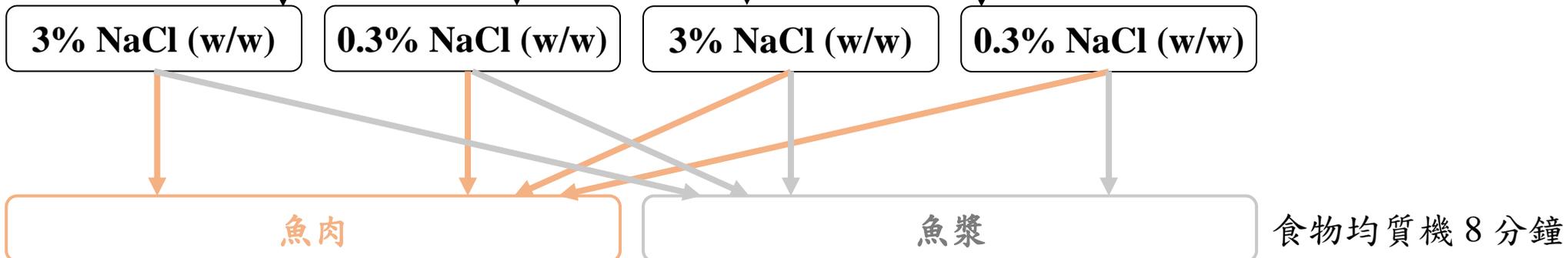
1. 隨著冷藏時間和溫度的增加，鱈魚魚漿中的蛋白質發生聚集與交聯，形成更強的凝膠結構，依著溫度越高和時間越長而增強。
2. 冷藏誘導的凝膠主要由疏水作用和二硫鍵驅動。
3. 切碎處理會破壞蛋白質間的交聯結構，導致凝膠品質下降，增加了烹煮損失，降低了彈性和保水性。
4. 建議在冷藏過程中減少蛋白質的過度聚集，以維持魚漿的凝膠品質。

僵直前冷凍鹽漬提高
鱧魚 (*Channa argus*) 魚漿凝膠強度和保水性:蛋白質氧化的作用

實驗架構

鱧魚 (*Channa argus*) 取肉 長度 41.5 ± 1.0 cm
重量 739.94 ± 4.7 g

-20°C 僵直前 4°C 解僵後 取背部肉於 4°C 分別儲存 24 小時



食物均質機 8 分鐘

加熱 40°C, 1 小時
90°C, 30 分鐘

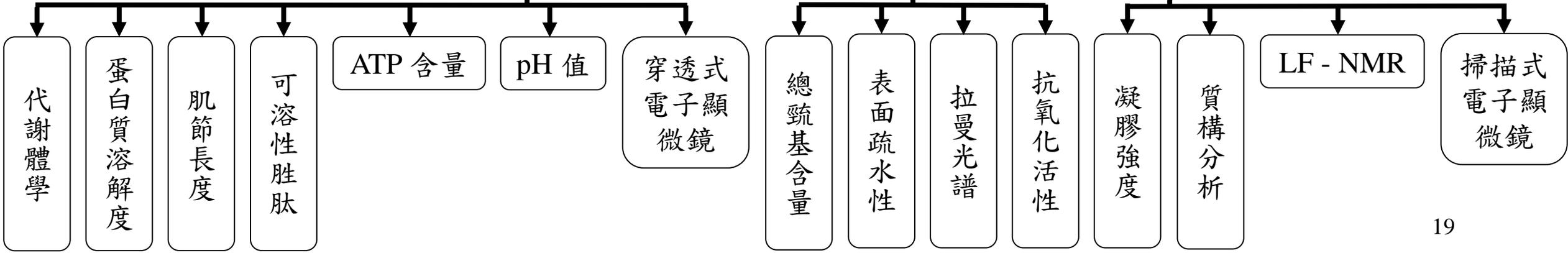


表 2. 僵直前和解僵後鱧魚魚肉的理化性質

Table 2

Physicochemical characterization of pre- and post-rigor fish muscle of snake-head fish.

		僵直前	解僵後	
Traits		Pre-rigor fish	Post-rigor fish	<i>p</i> value
ATP content(mg/100 g)	ATP 含量	0.85 ± 0.04	0.52 ± 0.04	0.003
pH		6.59 ± 0.03	6.39 ± 0.09	0.007
Water-soluble protein (mg/g)	水溶性	67.7 ± 2.33	55.7 ± 3.75	0.000
Salt-soluble protein (mg/g)	鹽溶性	108 ± 10.61	83 ± 3.12	0.000
Sarcomere length (µm)	肌節長度	2.26 ± 0.04	2.02 ± 0.12	0.029
Trichloroacetic acid (TCA)-soluble peptides (µM tyrosine/g)	三氯乙酸可溶性胜肽	2.71 ± 0.03	2.98 ± 0.10	0.003

Results are expressed as mean ± standard deviation. (*n* = 3).

僵直前

Pre-rigor

Post-rigor

解僵後

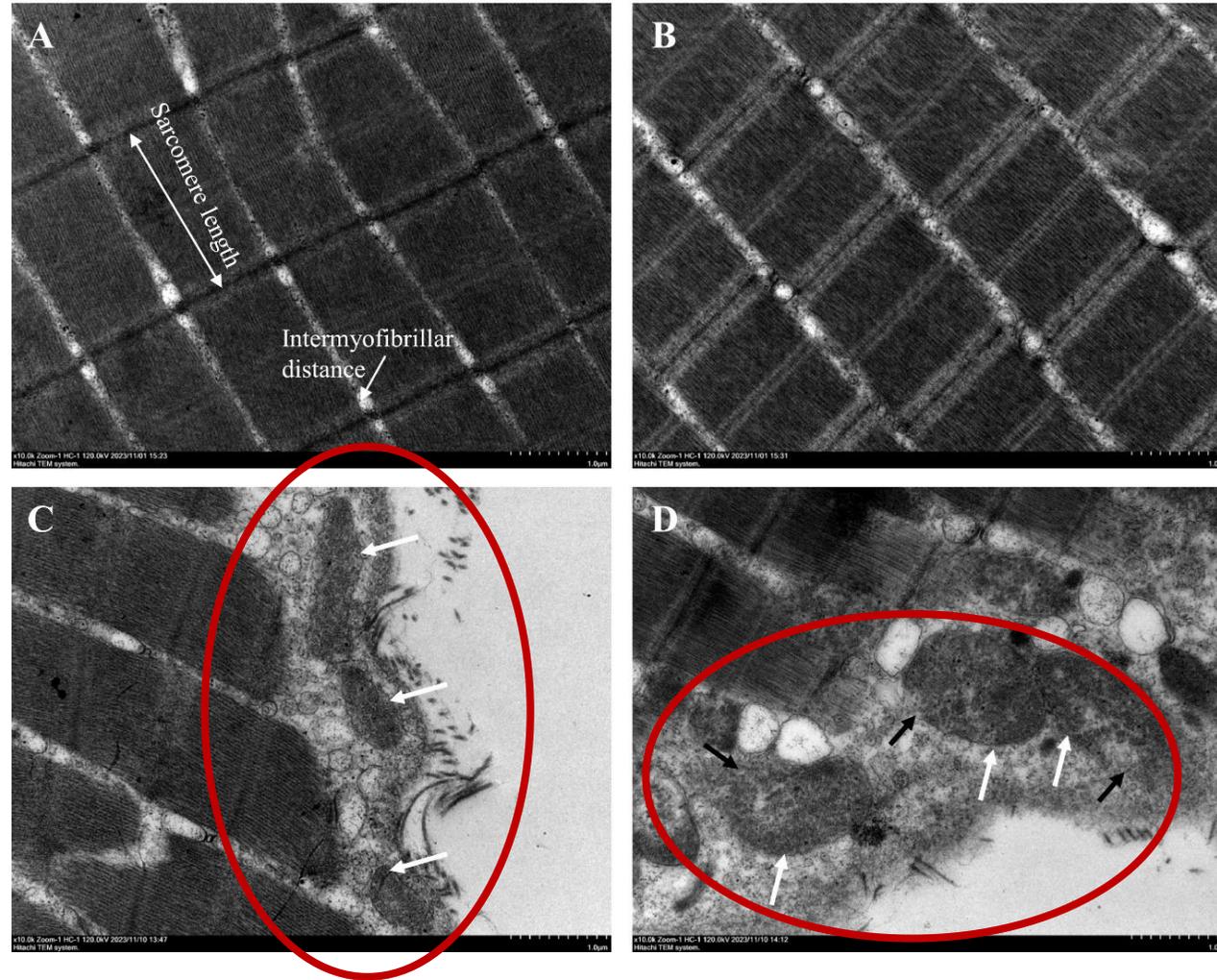


Fig. 9. Representative ultrastructure of pre-rigor (A, C) and post-rigor (B, D) muscle as revealed by transmission electron microscopy. White solid arrows in C, D show the presence of mitochondria while the black solid arrows indicate the damage of mitochondria.

圖 9. 穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron microscopy, TEM) 顯示僵直前 (A, C) 和解僵後 (B, D) 魚肉的微觀結構。在 (C) 和 (D) 圖中，白色箭頭指出了粒線體的位置，黑色箭頭指出了粒線體的破壞。

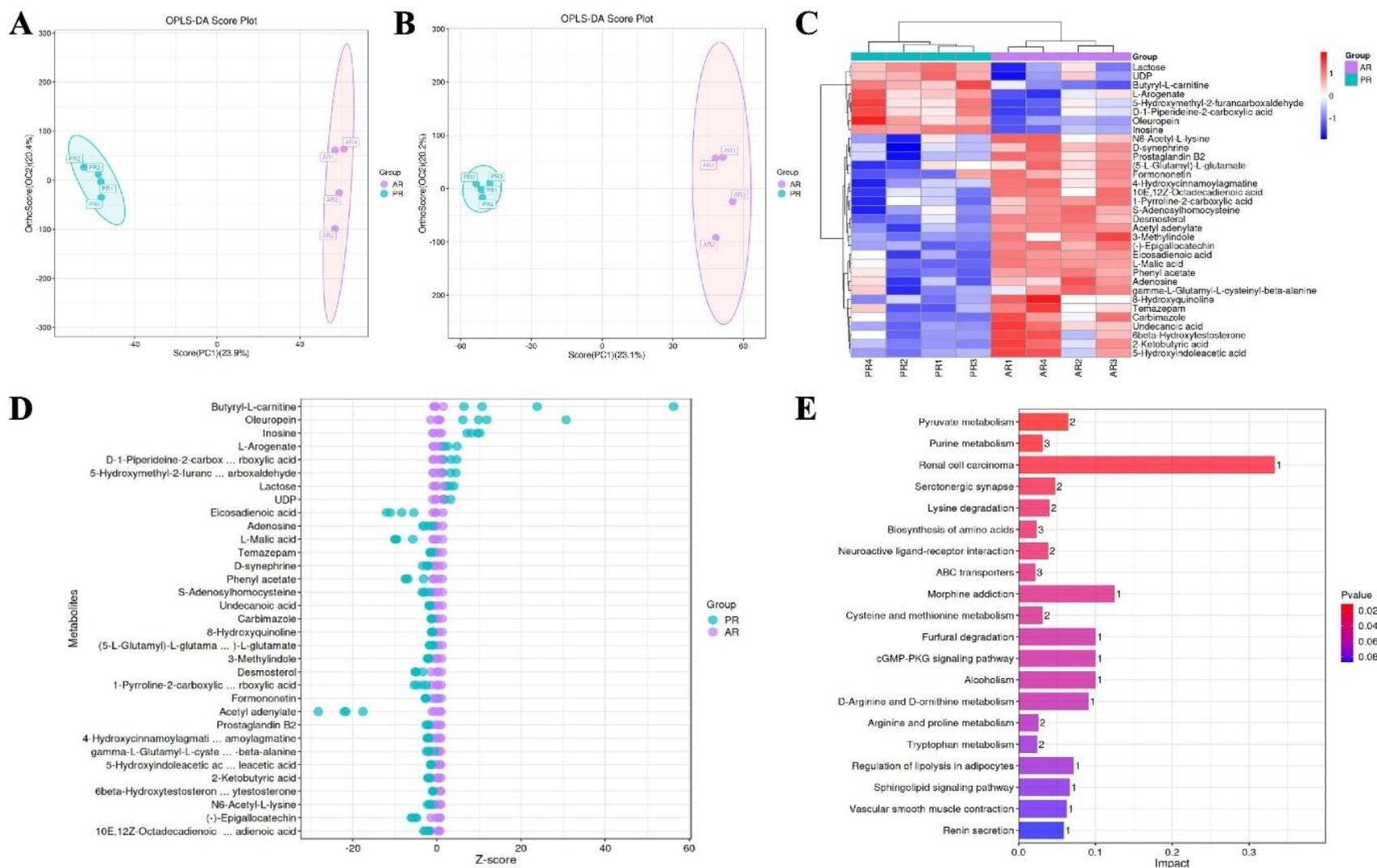
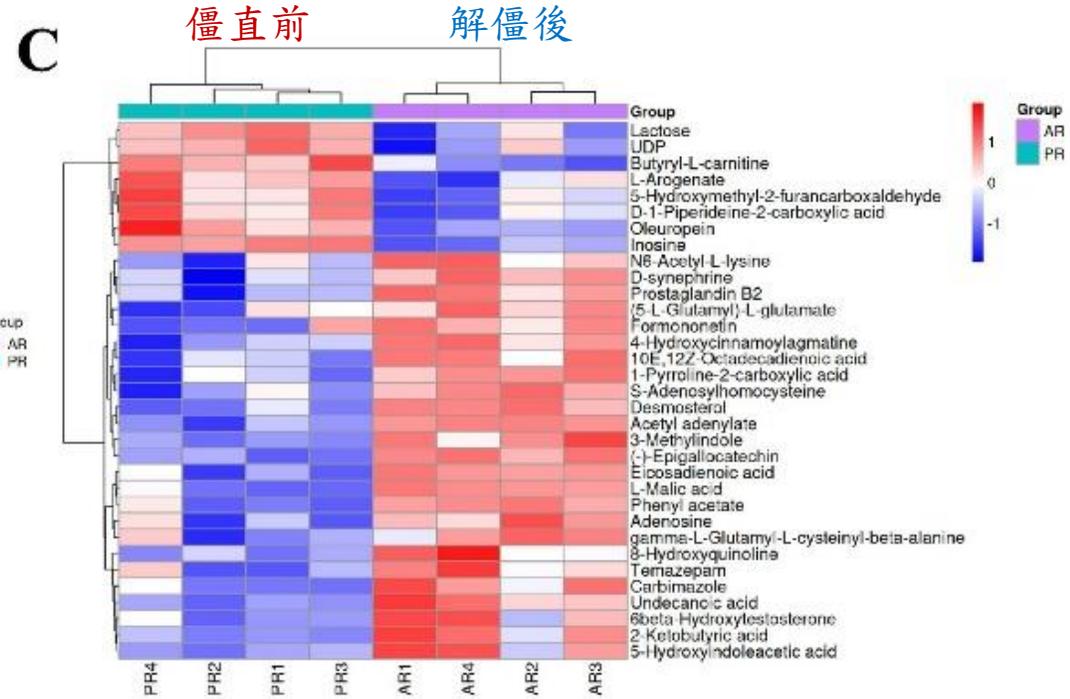
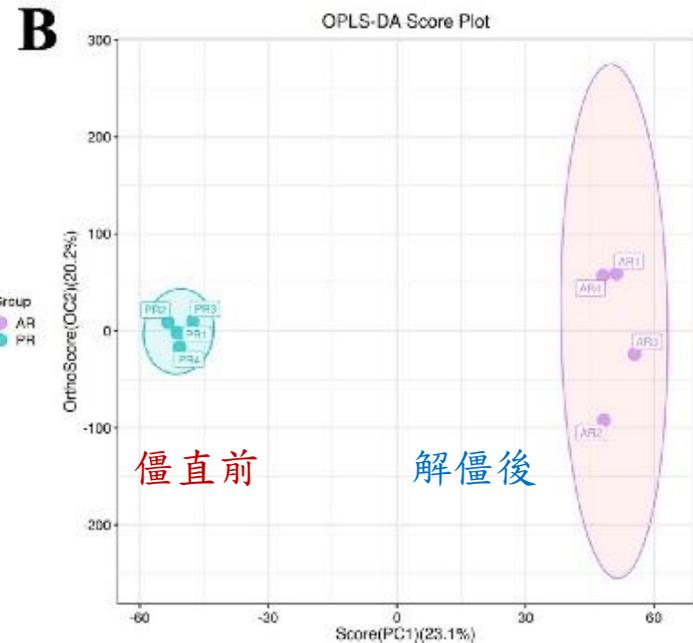
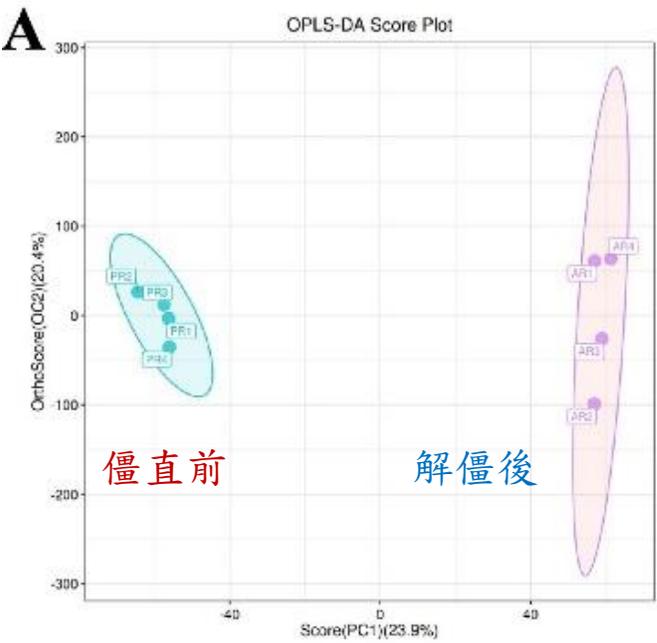


Fig. 10. Metabolic profile of pre-rigor (PR) and post-rigor (AR) fish muscle. OPLS-DA score of metabolites (A, positive ion mode; B, negative ion mode); hierarchical Clustering analysis of differential metabolites (C); Z-score of differential metabolites (D); KEGG pathway enrichment analysis (E).

圖 10. 僵直前 (PR) 和解僵後 (AR) 魚肉的代謝體學圖譜分析。(A): 代謝物的 OPLS-DA 得分圖 (正離子)。(B): 代謝物的 OPLS-DA 得分圖 (負離子)。(C): 差異代謝物分析熱圖。(D): 差異代謝物的 Z-score 圖。(E): KEGG 代謝富集分析。

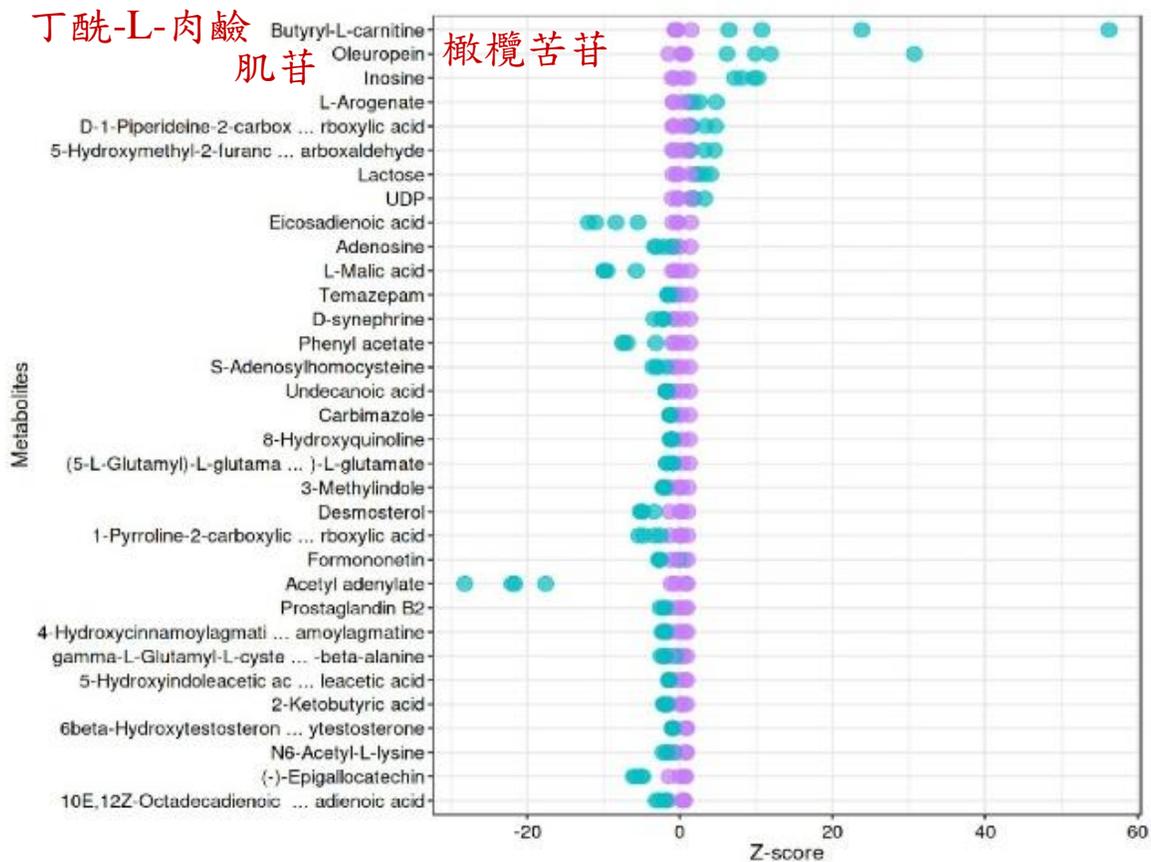


A 和 B 為正交偏最小二乘判別分析 (Orthogonal Partial Least Squares Discriminant Analysis, OPLS-DA)。

C 為差異代謝物的分析熱圖。

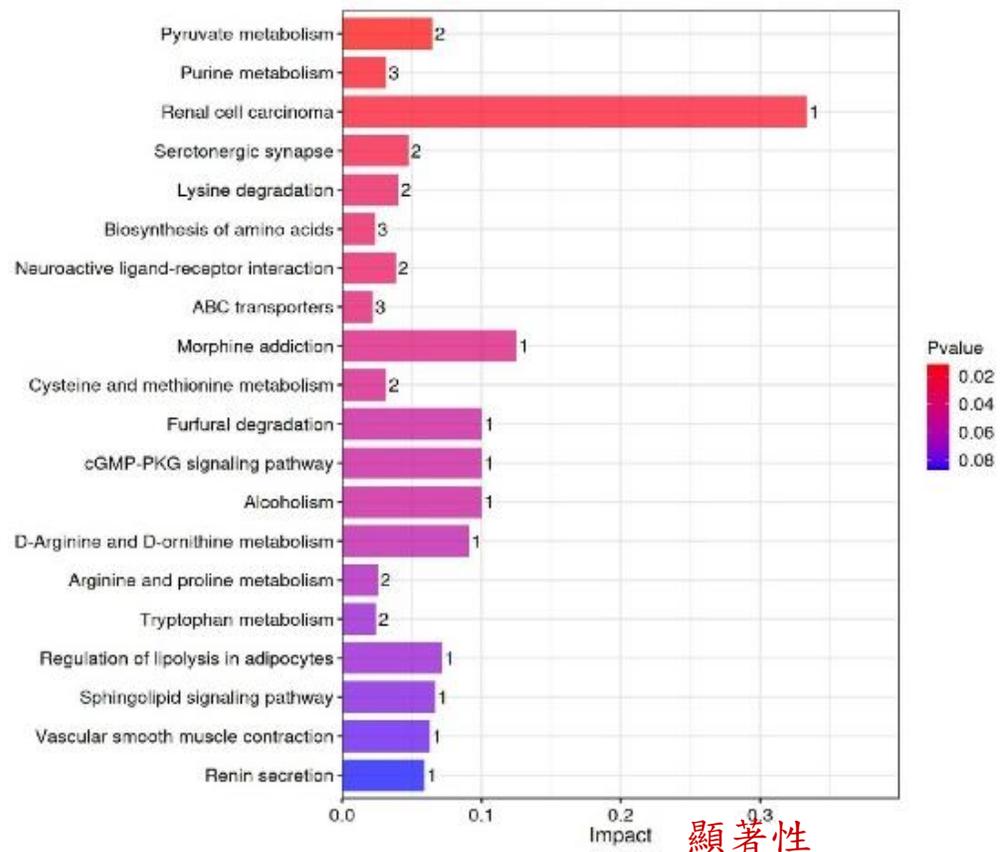
僵直前

D



D 為 Z-score 火山圖用來展示僵直前和解僵後魚肉中差異代謝物的 Z-score。

E



E 為 KEGG (Kyoto EncyClopedia of Genes and Genomes) 代謝通路富集分析。

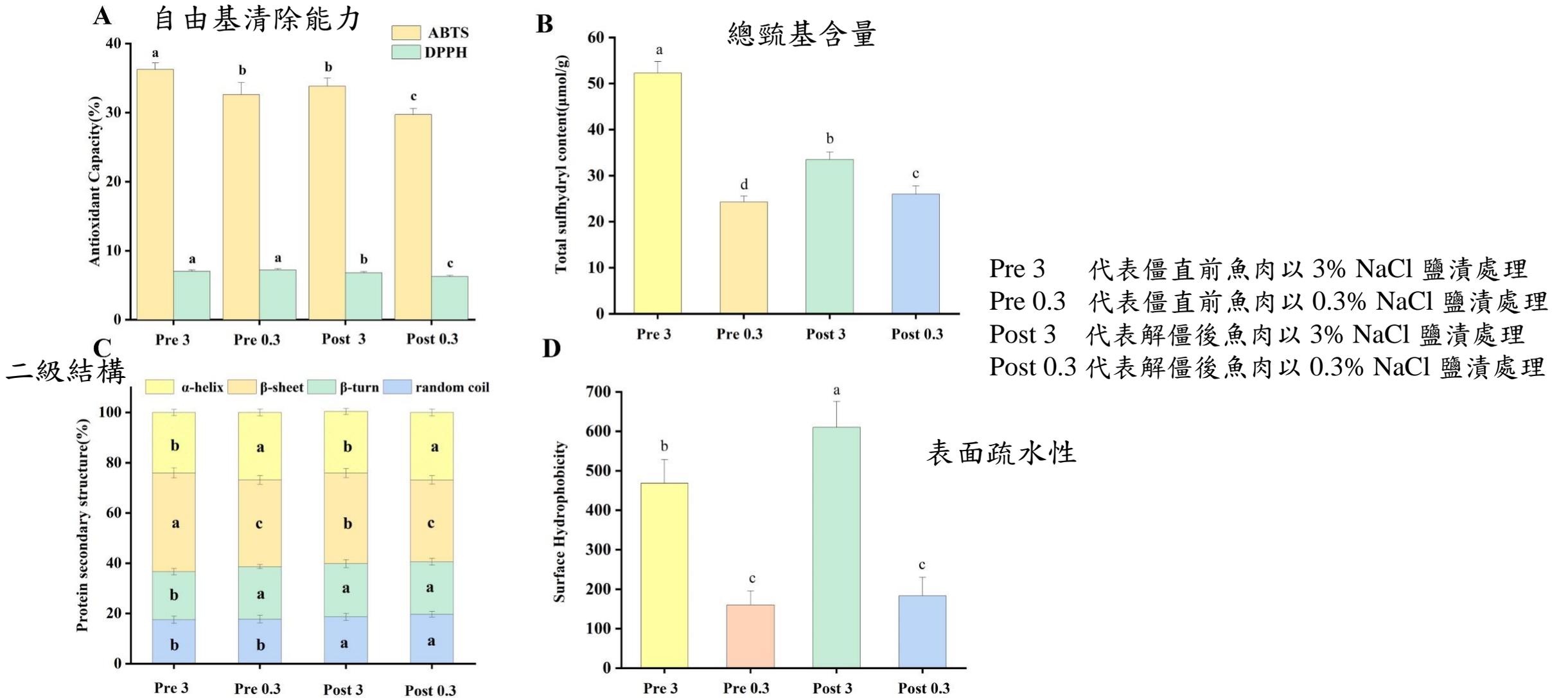


Fig. 11. Physicochemical properties of muscle proteins in pre- and post-rigor fish meat salted with 3% or 0.3% NaCl. Radical scavenging capacity (A); sulfhydryl content (B); secondary structure (C) and the surface hydrophobicity (D). Pre 3, pre-rigor salting with 3% NaCl; Pre 0.3, pre-rigor salting with 0.3% NaCl; Post 3, post-rigor salting with 3% NaCl; Post 0.3, post-rigor salting with 0.3% NaCl.

圖 11. 僵直前 (Pre-rigor) 和解僵後 (Post-rigor) 魚肉經 3% 或 0.3% NaCl 鹽漬後的理化性質。(A); 自由基清除能力 (B); 總巰基含量 (C); 二級結構 (D); 表面疏水性

Table 3

Textural properties, T₂ relaxation peak area ratio and WHC of surimi gels made from pre- or post-rigor muscle from snakehead fish salted with 3% or 0.3% NaCl.

Traits	Pre-rigor salting		Post-rigor salting		Main effects			
	僵直前		解僵後		rigor	salt	rigor*salt	
	3% NaCl	0.3% NaCl	3% NaCl	0.3% NaCl				
凝膠強度	Gel Strength (kg*mm)	3.18 ± 0.30 ^a	0.79 ± 0.07 ^c	2.22 ± 0.21 ^b	0.73 ± 0.14 ^c	*	***	*
硬度	Hardness (kg)	1.61 ± 0.00 ^a	1.24 ± 0.00 ^c	1.49 ± 0.02 ^b	1.13 ± 0.06 ^c	***	***	NS
黏著度	Adhesiveness (g*sec)	-63 ± 5.3 ^a	-27 ± 4.6 ^b	-57 ± 7.4 ^a	-26 ± 2.3 ^b	NS	***	NS
回彈性	Resilience (%)	45.5 ± 0.30 ^a	36.1 ± 0.45 ^c	43.6 ± 0.62 ^b	33.4 ± 1.21 ^c	***	***	NS
內聚性	Cohesiveness	0.79 ± 0.01 ^a	0.69 ± 0.02 ^b	0.77 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.02 ^b	*	***	NS
咀嚼性	Chewiness (kg)	1.14 ± 0.04 ^a	0.72 ± 0.03 ^c	1.08 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.05 ^c	*	***	NS
結合水	PT ₂₁	1.13 ± 0.08 ^c	1.65 ± 0.18 ^b	1.53 ± 0.01 ^b	2.86 ± 0.04 ^a	***	**	***
固定水	PT ₂₂	97.8 ± 0.10 ^a	95.9 ± 0.39 ^b	97.6 ± 0.15 ^a	94.4 ± 0.15 ^c	***	***	**
自由水	PT ₂₃	0.96 ± 0.02 ^b	2.55 ± 0.22 ^a	0.82 ± 0.15 ^b	2.69 ± 0.14 ^a	NS	***	NS
保水性	WHC	86.0 ± 1.44 ^a	72.8 ± 1.03 ^c	80.2 ± 2.53 ^b	74.3 ± 1.42 ^c	NS	***	**

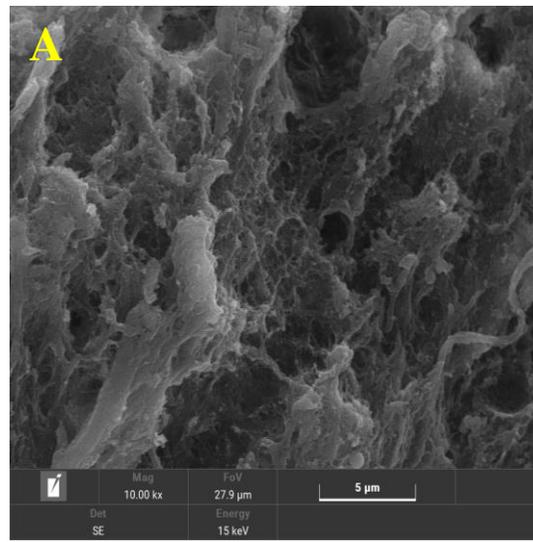
All values are mean ± standard deviation. (n = 3).

NS, not significant; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$.

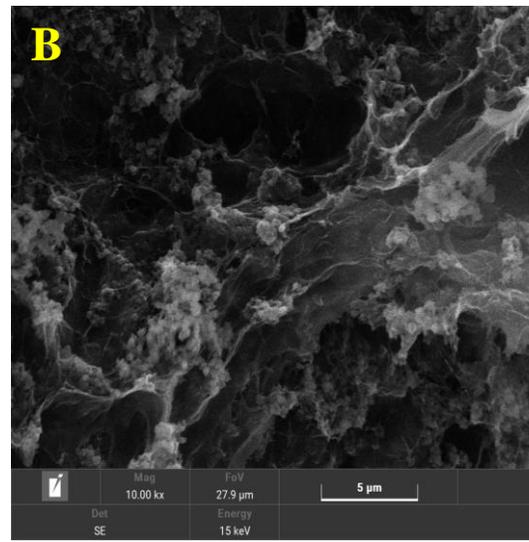
^{a-c}Means with different letters within the same row are significantly different ($p < 0.05$).

表3: 僵直前或解僵後魚漿凝膠的質地性質、T₂ 弛豫峰區面積比例和保水性 (WHC)。

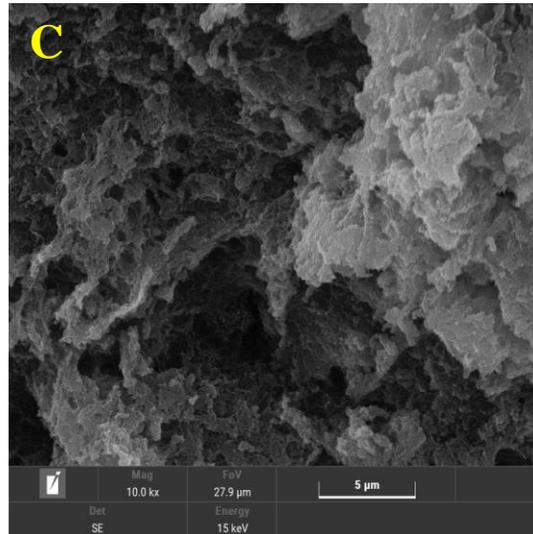
僵直前魚漿，3% NaCl 鹽漬處理



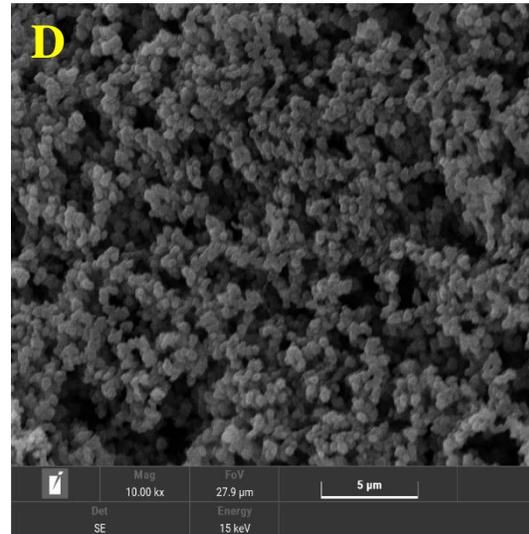
僵直前魚漿，0.3% NaCl 鹽漬處理



解僵後魚漿，3% NaCl 鹽漬處理



解僵後魚漿，0.3% NaCl 鹽漬處理



補充圖 1. 魚漿凝膠內部微觀結構 (10,000 倍)，使用掃描式電子顯微鏡。

Supplementary Fig. 1. Representative images of interior microstructure(10000 × magnification) of surimi gels obtained by scanning electron microscope. A, surimi gel of pre-rigor salting with 3% NaCl; B, surimi gel of pre-rigor salting with 0.3% NaCl; C, surimi gel of post-rigor salting with 3% NaCl; D, surimi gel of post-rigor salting with 0.3% NaCl.

小結

1. 僵直前 (pre-rigor) 處理的魚肉魚漿相比解僵後 (post-rigor) 處理的魚肉，具有較高的凝膠強度和保水性。
2. 僵直前處理能有效降低蛋白質的氧化程度，增強抗氧化能力，從而改善魚漿的品質。
3. 在鹽濃度較高的情況下，僵直前處理的魚漿凝膠性能表現較好，顯示出較強的凝膠結構和較佳的微觀結構。

結論

兩篇研究均探討了不同處理方式對魚漿凝膠品質的影響，且都強調了蛋白質聚集與交聯對凝膠強度和保水性的關鍵作用。綜合了冷誘導溶膠至凝膠轉變與僵直前鹽漬處理對魚漿凝膠性質的影響，魚漿越低溫保存及 3% NaCl 鹽漬在提升魚漿凝膠的強度和保水性，以及後續加熱加工都是可以考慮的關鍵因素。

Thank you for listening

