

國立臺灣海洋大學食品科學系碩士班

專題討論書面報告

探討傳統解凍方式和新穎解凍方式對水產品的品質 影響

任課老師：黃意真老師

方銘志老師

指導教授：陳泰源老師

學號：0093A028

學生：李承諺 (5124)

報告日期：112 年 11 月 15 日

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

指導教授簽名：

1 探討傳統解凍方式和新穎解凍方式對水產品的品質影響

2 李承諺 (5124)

3 2023/11/15

4 目錄

5 一、前言

6 二、不同解凍方法對烏賊 (*Sepia officinalis*) 品質的影響

7 三、不同解凍方式對鯖魚 (*Pneumatophorus japonicus*) 品質的影響

8 四、超音波輔助解凍加快鯉魚 (*Cyprinus carpio*) 解凍並提升其肌肉品質

9 五、結論

10 摘要

11 傳統解凍方式易導致水產品變質，因此發展出許多新型解凍方式保持甚至優
12 化其品質。首先將探討靜水壓解凍 (Hydrostatic thawing, HT)、流水解凍 (Flowing
13 water thawing, FWT)、鹽水解凍 (Saline solution thawing, SWT)、超音波解凍
14 (Ultrasonic water thawing, UWT)、微波解凍 (Microwave thawing, MT) 和低溫解凍
15 (4°C Refrigerator thawing, RT) 對冷凍烏賊 (*Sepia officinalis*) 影響，經研究發現
16 UWT 有效縮短解凍時間，且保水力達 90%，蒸煮損失僅 11.85%，自由水含量低
17 有效抑制微生物生長，且 TVB-N 值最接近新鮮樣品，顯微鏡下觀察到肌肉結構完
18 整性。再比較流水解凍、超音波解凍、空氣解凍 (Air thawing, AT)、微波解凍和低
19 溫解凍對鯖魚 (*Pneumatophorus japonicus*) 影響，其中以低溫解凍對鯖魚影響最低，
20 但耗時最長，而超音波解凍雖不是最佳解凍方式，卻能縮短解凍時間，且有效降
21 低解凍和蒸煮損失。最後將不同功率 (100W、300W、500W) 的超音波與水解凍相
22 比，功率愈高，解凍時間愈短，而研究中表示 300W 是能維持品質並縮短解凍時
23 間之最有效的功率。綜合上述研究，超音波解凍是一種有潛力的新穎解凍方式，
24 在適當的功率使用下，能維持水產品的結構及品質，並延長儲存期。

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35

1. 前言

魚的營養價值和水活性較高，在常溫下容易腐敗變質，食品業採用了許多技術來延長魚類的儲存期以便於運輸，如乾燥、冷卻和冷凍，其中冷凍是保證食品品質和安全最有效的方法。

冷凍食品的解凍是後續加工或烹飪之前的重要步驟。冷凍食品的品質與解凍過程密切相關，不正確的解凍方法導致冷凍魚的化學和物理特性發生不可逆的變化。傳統的解凍方法，包括空氣解凍和浸水解凍，需要較長的時間，並且容易導致品質下降，然而，這些限制已被新技術克服，例如微波解凍、高壓解凍，和超音波輔助解凍。儘管關於冷凍或解凍技術在水產品中的應用的研究較多，但缺乏比較不同冷凍和解凍方法對魚片品質影響，因此將探討不同解凍方法對水產品的品質比較。

2. 不同解凍方法對烏賊 (*Sepia officinalis*) 品質的影響 (Lv & Xie, 2022)

此研究採用靜水壓解凍 (Hydrostatic thawing, HT)、流水解凍 (Flowing water thawing, FWT)、鹽水解凍 (Saline solution thawing, SWT)、超音波解凍 (Ultrasonic water thawing, UWT)、微波解凍 (Microwave thawing, MT) 和低溫解凍 (4°C Refrigerator thawing, RT)，觀察烏賊的理化性質及微觀結構變化。

MT 所需解凍時間最短 (20 分鐘)，FWT 次之 (50 分鐘)，而 RT 需最長解凍時間 (874 分鐘) (Figure 1)。六種解凍方法中，RT 組解凍損失最高，是因解凍時間較長所致，HT 組解凍損失最少；保水力方面，MT 最低為 75%，UWT 最高為 90%，表示 UWT 肌肉細胞組織的完整性更佳；UWT 蒸煮損失為 11.85% 最低，SWT 為 20.15% 最高。

顏色變化中，低溫解凍白度值最高，微波解凍白度值最低，因蛋白質氧化形成的羰基化合物易與胺基酸化合物反應生成深色物質，微波解凍後烏賊蛋白質氧化嚴重而降低其白度。質地包括硬度、彈性、咀嚼性和黏性，彈性和黏性各組間無顯著差異，SWT 的硬度和咀嚼度最高，由於鹽在水中的溶解，溶液中的離子強度增加以及分子之間的聚合造成硬度提升，導致蛋白質結構和性質的變化 (Table 1)。

低磁場核磁共振 (LF-NMR) 中， T_{21} 代表結合水， T_{22} 代表固定水， T_{23} 代表自由水。與新鮮樣品相比，各組 T_{21} 無顯著差異， T_{22} 和 T_{23} 呈現顯著下降趨勢，顯示細胞內水的流動性下降，自由水遷移率也下降，RT 的 T_{22} 比其他方法更大是因 RT 時間較長，MT 的 T_{23} 降低最為明顯，是因樣品受到熱和振動，降低自由水的流動性。而 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23} 分別表示結合水、固定水、自由水的含量 (Figure 3D)，不同解凍方法並沒有使結合水含量有太大變化；MT 的固定水含量 (P_{22}) 降低最多，是由於微波導致纖維斷裂、損傷，水分含量相對減少，RT 組解凍的墨魚中自由水 (P_{23}) 含量最高，說明墨魚中的水分容易遷移出肌原纖維蛋白外，而自由水的脫離會造成脫水，甚至造成更嚴重的結構塌陷；SWT 的自由水含量最低，且 FWT 的

1 自由水含量是傳統解凍方式中最低 (Figure 3)。由 MRI 觀察可知，圖中顏色越紅，
2 表示水分子密度越高，顏色越藍則反之，SWT 的樣品與新鮮樣品相似，MT 黃色
3 部分明顯，邊角變成藍色 (Figure 4)。

4 TVB-N 是動物性食品在腐敗過程中，蛋白質分解而產生氨以及胺類等鹼性含
5 氮物質，而其含量越高，表明胺基酸被破壞的越多，其中 MT 組 TVB-N 值最高
6 (14.50 mg N/100 g)，顯示對蛋白質的破壞更嚴重，其次是 RT 組 (13.85 mg N/100
7 g)，是因 RT 組解凍時間最長，並在墨魚肉中內源酶和腐敗微生物的作用下氮含
8 量增加，而 UWT 後的墨魚肉的 TVB-N 值與新鮮樣本最相似，其餘組別則無顯著
9 差異 (Figure 5)。丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 可反應體內脂質氧化程度，脂肪
10 氧化程度越高，MDA 含量越高。UWT 的 MDA 含量最高，MT 次之，是由於解
11 凍過程中介質溫度升高導致肌肉脂肪氧化。經顯微鏡觀察，鹽溶液解凍後肌纖維
12 的微觀結構最緻密，與新鮮樣品接近，MT 則出現最大的間隙和彎曲，UWT 雖可
13 縮短解凍時間，保護肌纖維的完整性，但超音波的空穴效應和產生的局部熱量會
14 對樣品造成損傷 (Figure 6)。

15 UWT 組保水能力最好，TVB-N 含量接近新鮮樣本；然而 L-NMR 分析顯示，
16 SWT 組樣品細胞內水轉化成自由水較少，透過光學顯微鏡觀察到 SWT 樣品肌原
17 性纖維之間間隙最小，排列規則且平滑，因此 SWT 和 UWT 為解凍冷凍墨魚
18 的有效方法。

19 3. 不同解凍方式對鯖魚 (*Pneumatophorus japonicus*) 品質的影響

20 (Zhou *et al.*, 2021)

21 此研究採用流水解凍 (Flow water thawing, FT)、超音波流水解凍 (Ultrasonic
22 flowing water thawing, UFT)、空氣解凍 (Air thawing, AT)、微波解凍 (Microwave
23 thawing, MT) 及低溫解凍 (Low temperature thawing, LTT) 觀察鯖魚的物理、化學
24 性質及微觀結構的變化。

25 MT 所需解凍時間最短，LTT 最長，分別為 8 分鐘和 1035 分鐘 (Figure 7)。
26 不同解凍方式造成的解凍損失、蒸餾損失及保水力中，MT 的解凍及蒸餾損失最
27 高，分別為 5.85% 及 22.63%，保水力最差為 63.18%，可能是因蛋白質性質被破
28 壞，冰晶融化後無法與蛋白質結合 (Xia *et al* 2012)；而 LTT 的解凍和蒸餾損失最
29 低，分別為 1.28% 和 19.86%，保水力最佳，約 73.75%，因冰晶融化緩慢，減少
30 蛋白質和肌肉組織的變性 (Javadian *et al*, 2013) (Table 2)。

31 顏色變化中，LTT 的 L^* 值為 42.76，顯著高於其他組別 ($p < 0.05$)，且與新
32 鮮組最接近，MT 的 L^* 值為 35.34，為所有組別最低，可能是高溫導致魚類成
33 熟和蛋白質變性所致 (Table 3)。質地變化中，MT 組的硬度值顯著高於其他組 (p
34 < 0.05) (Figure 8A)，是因微波過後熱導致魚蛋白氧化和聚集 (Wang *et al.*, 2020)；
35 各組的彈性沒有顯著差異 (Figure 8B)，顯示解凍方式對彈性影響不大；與其他組
36 別相比，UFT 組的咀嚼性和黏性較低 (Figure 8C、D)，是因空穴效應引起的機械
37 力改變魚的結構 (Li *et al.*, 2019) (Figure 8)。

1 解凍方式的差異導致魚蛋白和脂肪在外源微生物蛋白酶的作用下分解成小分
2 子物質，以離子形式存在並增強了溶液的導電率，使魚萃取物的導電率增強
3 (Shirsat *et al.*,2004)，導電率與新鮮度成反比，AT 的導電率 2.4 ms/cm 最大，因 AT
4 組有更多機會接觸空氣中外源微生物，導致導電物質被分解；LTT 的導電率 1.8
5 ms/cm 最小，因在低溫環境下與外源微生物的接觸程度低，產生的離子少 (Figure
6 9A)。觀察不同解凍方式下 TVB-N 值的變化，LTT 組的 TVB-N 值最低，因溫度
7 較低對蛋白質的影響較小；AT 組的含量最高，因有更多的時間與空氣接觸，導致
8 蛋白質降解增加，氨和胺的產生也隨之增加 (Mousakhani-Ganjeh *et al.*,2015)
9 (Figure 9B)。在 AT 組 MDA 含量最高，因魚肉長時間接觸氧氣，導致脂肪高度氧
10 化；LTT 組處於低溫環境，可減緩蛋白質和脂肪之間的氧化反應，故氧化程度最
11 低 (Figure 9C)。經磁共振造影 (Magnetic resonance image, MRI) 觀察，圖中紅色的
12 密度越高，魚體內的水分就越多，而 LTT 是除控制組紅色亮度最高，表示保水力
13 最佳 (Figure 10)。

14 LTT 雖所需的時間最長，但在保水力、顏色和組織結構都與控制組最接近，
15 且大幅減少蛋白質和脂質的氧化，維持樣品的新鮮。MT 則在解凍損失、蒸餾損
16 失、保水力等多數指標都表現不佳，而 FT 雖整體品質略低於 LTT，但只花了其
17 1/43 的時間，綜上所述，LTT 為維持品質最適方法，FT 則是解凍鯖魚最佳方法。

18 4. 超音波輔助解凍加快鯉魚 (*Cyprinus carpio*) 解凍並提升其肌肉品 19 質 (Sun *et al.*, 2021)

20 此研究使用不同功率 (0、100、300 和 500 W) 的超音波輔助解凍 (Ultrasonic-
21 assisted immersion thawing, UT) 對鯉魚的理化性質和微觀結構進行測量，找尋適
22 合魚體且不會造成嚴重損傷的功率。

23 研究首先以水解凍 (Water thawing, WT) 為控制組，測量各組解凍通過 0°C
24 所需時間，與 WT 的 3543 秒相比，功率為 100、300 和 500 W 時，時間分別
25 減少了 18.89%、23.51% 和 39.88% (Figure 11A)，且在解凍的相變階段所需時間
26 也與總解凍時間變化相似 (Figure 11B)。解凍和蒸餾損失中，WT 樣品損失高於
27 UT-100 和 UT-300，是因 WT 解凍時間較長，微生物的生長以及蛋白質和脂肪氧
28 化導致肌肉結構的傷害，而肌肉結構傷害也會使蒸餾後保水力下降；UT-300 解凍
29 損失最低，因解凍時間較短、肌肉微觀結構較完整；UT-500 的損失為最高，可能
30 是過高的超音波功率會對肌肉組織造成機械性損傷 (Figure 12)。剪切力與水分含
31 量和肌肉纖維結構密切相關 (Guo *et al.*, 2021)，WT 剪切力 20.48 N 為所有組別
32 中最高，是由於纖維收縮和滴液損失造成，UT-500 的剪切力 15.21 N 明顯低於其
33 他樣品 ($P < 0.05$)，這與較高的超音波功率和其他剪切力產生的微射流效應有關，
34 這種效應會破壞肌肉結構，減少肌肉的硬度。不同解凍方法的樣品 pH 值沒有顯
35 著差異 ($P > 0.05$)，因此解凍方法對魚肉 pH 值沒有顯著影響 (Figure 13)。顏色部
36 分，隨著超音波功率的增加，L*值先減小後變大，與解凍損失的結果相對應，UT-

1 300 樣品的 L^* 值最低，是因適當功率提高肌肉蛋白的保水力 (Guo *et al.*, 2021)，
2 而過高的超音波功率 (500 W) 會破壞肌肉的結構 (Shi *et al.*, 2020)，導致 L^* 值
3 顯著增加。解凍過程中發生的氧化反應導致 a^* 值下降， b^* 值增加 (Table 4)。

4 LF-NMR 用於研究食品中的水分分佈和流動性 (Jia *et al.*, 2017)， T_{2b} 代表結
5 合水， T_{21} 代表固定水， T_{22} 代表自由水，樣品的 T_{2b} 弛豫時間沒有顯著差異 ($P >$
6 0.05)，由於結合水與肌肉蛋白的緊密結合，不受機械力或微觀結構變化的影響，
7 WT 樣品的 T_{21} 弛豫時間大於其他樣品，解凍時間較長，導致更大的失水機會，
8 UT-300 樣品的 T_{21} 弛豫時間是所有解凍樣品中最低，是適當功率的超音波處理以
9 及肌纖維間的間隙鬆弛所致，並加快解凍速度，減少過程中微生物和酵素對肌纖
10 維的降解，改善解凍肉的保水性，UT-500 樣品的 T_{21} 弛豫時間最高，較大功率的
11 超音波產生的機械振動破壞肌纖維結構，降低肌肉與水的結合，UT-300 有效抑制
12 魚類解凍後 T_{22} 弛豫時間的增加 (Figure 14)。經 SEM 觀察顯微結構，WT 和 UT-
13 500 樣品束間隙增大，束狀結構疏鬆，UT-100 和 UT-300 肌肉的微觀結構比 WT 樣
14 本更完整，且束間隙比新鮮樣品略大 (Figure 15)。

15 UT 能加速解凍過程，功率越大，解凍時間越短，UT-300 能縮短解凍時間外，
16 解凍損失、烹飪損失和剪切力也減少，並抑制解凍引起的固定水和自由水的流動
17 和損失，保留原有顏色及完整微觀結構，因此為一種有潛力的解凍方法。

18

19 5. 結論

20 流水解凍對比其他傳統解凍方式，除了能縮短解凍時間，且有更高保水力和
21 較低的 TVB-N 值、解凍與蒸煮損失，為最有效傳統解凍方式。而超音波解凍有效
22 縮短解凍時間，保水力高，解凍和蒸煮損失低，自由水含量低有效抑制微生物生
23 長，TVB-N 值也接近新鮮樣品，顯微觀察下能維持肌肉結構完整性，再經由比較
24 後，超音波解凍的解凍時間和各種品質指標都優於流水解凍，因此得出使用適當
25 功率的超音波解凍，能取代傳統解凍，具有成為水產品新穎解凍方式的潛力。

26

1 参考文献

- 2 **Lv, Y., & Xie, J. (2022). Quality of cuttlefish as affected by different thawing**
3 **methods.***International Journal of Food Properties*,**25(1)**, 33-52..
- 4 **Zhou, P. C., & Xie, J. (2021). Effect of different thawing methods on the quality of**
5 **mackerel (*Pneumatophorus japonicus*).** *Food Science and Biotechnology*,**30(9)**,
6 **1213-1223.**
- 7 Xia, X., Kong, B., Liu, J., Diao, X., & Liu, Q. (2012). Influence of different thawing
8 methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus
9 muscle. *LWT-Food Science and Technology*,**46(1)**, 280-286.
- 10 Javadian SR, Rezaei M, Soltani M, Kazemian M, Pourgholam R. (2013). Effects of
11 Thawing Methods on Chemical, Biochemical, and Microbial Quality of Frozen
12 Whole Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Aquatic Food Product*
13 *Technology*. 22: 168-177
- 14 Wang B, Du X, Kong BH, Liu Q, Li FF, Pan N, Xia XF, Zhang DJ. (2020) Effect of
15 ultrasound thawing, vacuum thawing, and microwave thawing on gelling
16 properties of protein from porcine longissimus dorsi.. *Ultrasonics Sonochemistry*.
17 64: 104860
- 18 Li XX, Sun P, Jia JZ, Cai LY, Li JR, Lv YF. (2019). Effect of low frequency ultrasound
19 thawing method on the quality characteristics of Peru squid (*Dosidicus gigas*).
20 *Food Science and Technology International*. 25: 171-181
- 21 Shirsat N, Lyng JG, Brunton NP, McKenna B. Ohmic processing. (2004). Electrical
22 conductivities of pork cuts. *Meat Science* 67: 507-514
- 23 Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., & Soltanizadeh, N. (2015). Impact of high
24 voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*).
25 *Journal of Food Engineering*,**156**, 39-44
- 26 **Sun, Q., Kong, B., Liu, S., Zheng, O., & Zhang, C. (2021). Ultrasound-assisted**
27 **thawing accelerates the thawing of common carp (*Cyprinus carpio*) and**
28 **improves its muscle quality.***Lwt*,**141**, 111080.
- 29 Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Ma, G., Ma, J., Yu, Q. L., & Han, L. (2021). Ultrasound-
30 assisted thawing of frozen white yak meat: Effects on thawing rate, meat quality,
31 nutrients, and microstructure.*Ultrasonics Sonochemistry*,**70**, 105345.
- 32 Shi, H., Zhang, X., Chen, X., Fang, R., Zou, Y., Wang, D., & Xu, W. (2020). How
33 ultrasound combined with potassium alginate marination tenderizes old chicken
34 breast meat: Possible mechanisms from tissue to protein.*Food Chemistry*,**328**,
35 127144.

- 1 Jia, G., Liu, H., Nirasawa, S., & Liu, H. (2017). Effects of high-voltage electrostatic field
- 2 treatment on the thawing rate and post-thawing quality of frozen rabbit
- 3 meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 348-356.

Table 1.

Comparison of whiteness values and texture of different thawing methods.

FS: Fresh sample MT: Microwave thawing
HT: Hydrostatic thawing
RT: Refrigerator thawing
FWT: Flowing water thawing
SWT: Saline solution thawing
UWT: Ultrasonic water thawing

	FS	HT	FWT	SWT	UWT	MT	RT
<i>W</i>	90.81 ± 0.67 ^d	91.32 ± 0.14 ^c	91.76 ± 0.09 ^b	91.81 ± 0.04 ^b	92.14 ± 0.15 ^a	91.08 ± 0.18 ^{cd}	92.27 ± 0.07 ^a
Hardness(g)	36838.24 ± 1055.30 ^b	20702.15 ± 347.92 ^c	24706.43 ± 842.47 ^c	37066.90 ± 951.88 ^a	24167.92 ± 694.37 ^c	25520.80 ± 950.73 ^c	25147.14 ± 892.67 ^c
Chewiness	20721.55 ± 551.70 ^b	12100.13 ± 113.50 ^c	18096.29 ± 350.25 ^b	30604.04 ± 926.01 ^a	11967.50 ± 588.17 ^c	17197.14 ± 321.97 ^b	17289.30 ± 486.59 ^b
Springiness	0.90 ± 0.04 ^a	0.81 ± 0.11 ^a	0.78 ± 0.06 ^a	0.89 ± 0.05 ^a	0.87 ± 0.11 ^a	0.92 ± 0.03 ^a	0.91 ± 0.03 ^a
Cohesiveness	0.73 ± 0.05 ^a	0.71 ± 0.07 ^a	0.66 ± 0.13 ^a	0.58 ± 0.09 ^a	0.75 ± 0.09 ^a	0.75 ± 0.05 ^a	0.73 ± 0.10 ^a

Different superscript letters indicate significant difference (p<0.05).

(Lv & Xie, 2022)

Table 2.

Through different thawing methods, the thawing loss, cooking loss and water retention capacity of mackerel

Thawing treatments	Thawing loss (%)	Cooking loss (%)	Water-holding capacity (%)
Fresh	–	18.48 ± 0.84 ^d	74.52 ± 83 ^a
Flow water thawing	2.64 ± 0.35 ^b	20.77 ± 0.34 ^c	68.24 ± 0.97 ^c
Ultrasonic flowing water thawing	2.37 ± 0.06 ^b	20.59 ± 0.44 ^c	69.77 ± 2.03 ^{cd}
Air thawing	2.30 ± 0.15 ^b	21.22 ± 0.28 ^b	70.06 ± 1.34 ^{cd}
Microwave thawing	5.85 ± 0.09 ^a	22.63 ± 0.77 ^a	63.18 ± 2.78 ^d
Low temperature thawing	1.28 ± 0.02 ^c	19.86 ± 0.56 ^c	73.75 ± 1.85 ^b

Values represent means ± standard deviation. Different letters in the same column indicate significant difference (p<0.05)

(Zhou *et al.*, 2021)

Table 3.

Color of mackerel muscle thawed by different thawing methods

Color	L*	a*	b*
Fresh	44.17 ± 0.45	6.49 ± 0.63	4.76 ± 0.38
Flow water thawing	39.13 ± 0.87 ^c	5.07 ± 1.3 ^a	4.02 ± 1.2 ^a
Ultrasonic flowing water thawing	39.51 ± 0.95 ^c	3.8 ± 0.92 ^a	2.55 ± 0.39 ^{ab}
Air thawing	40.95 ± 0.65 ^b	3.73 ± 1.82 ^a	3.12 ± 0.76 ^{ab}
Microwave thawing	35.34 ± 0.36 ^d	2.64 ± 0.34 ^a	1.36 ± 0.25 ^b
Low temperature thawing	42.76 ± 0.91 ^a	4.47 ± 1.31 ^a	3.12 ± 1.04 ^{ab}

Values represent means ± standard deviation. Different letters in the same column indicate significant difference (p<0.05)

(Zhou *et al.*, 2021)

Table 4.

Changes in the color of samples thawed using different methods..

Treatments	Colour		
	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Control	8.10±0.07 ^d	8.13±0.08 ^a	6.13±0.07 ^e
WT	9.10±0.08 ^a	7.74±0.09 ^{bc}	6.77±0.06 ^b
UT-100	8.79±0.13 ^b	7.84±0.12 ^{bc}	6.53±0.11 ^c
UT-300	8.51±0.14 ^c	7.93±0.13 ^{ab}	6.33±0.05 ^d
UT-500	9.35±0.05 ^a	7.54±0.07 ^c	6.98±0.04 ^a

Different capital letters in the same index represent significant differences ($P < 0.05$). Control: fresh fish piece without freezing-thawing treatment. WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W).

(Li *et al.*, 2020)

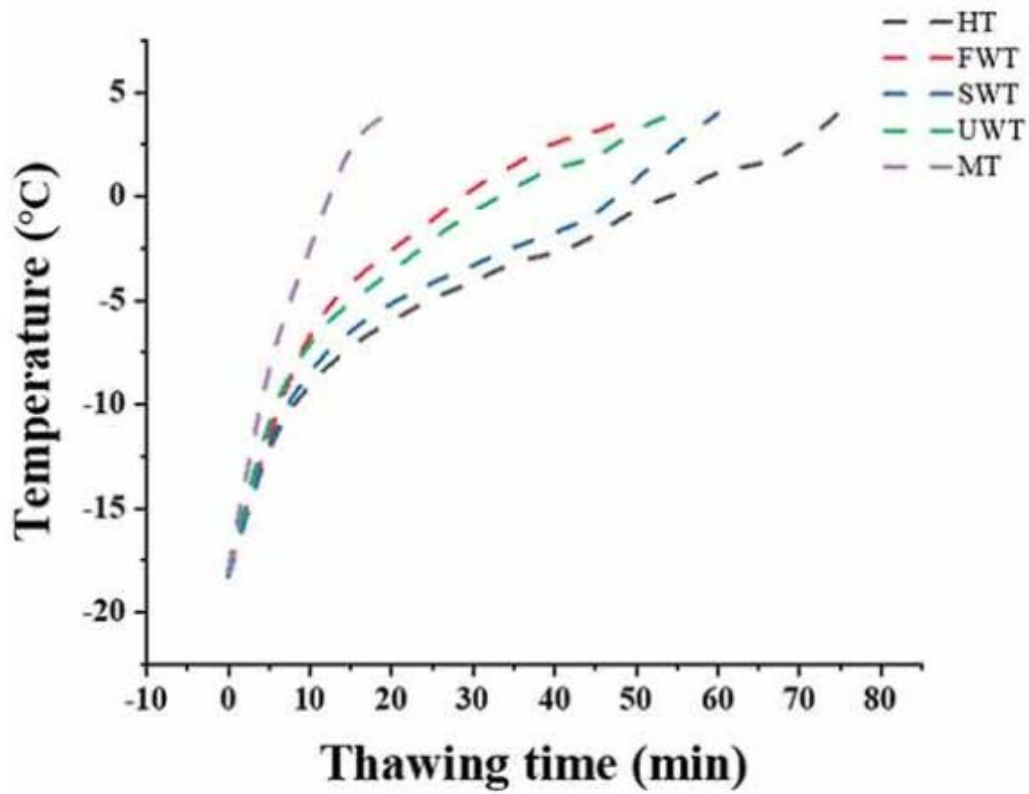


Figure 1.

Thawing curve of cuttlefish under different thawing methods.

(Lv & Xie, 2022)

FS: Fresh sample	MT: Microwave thawing
HT: Hydrostatic thawing	
RT: Refrigerator thawing	
FWT: Flowing water thawing	
SWT: Saline solution thawing	
UWT: Ultrasonic water thawing	

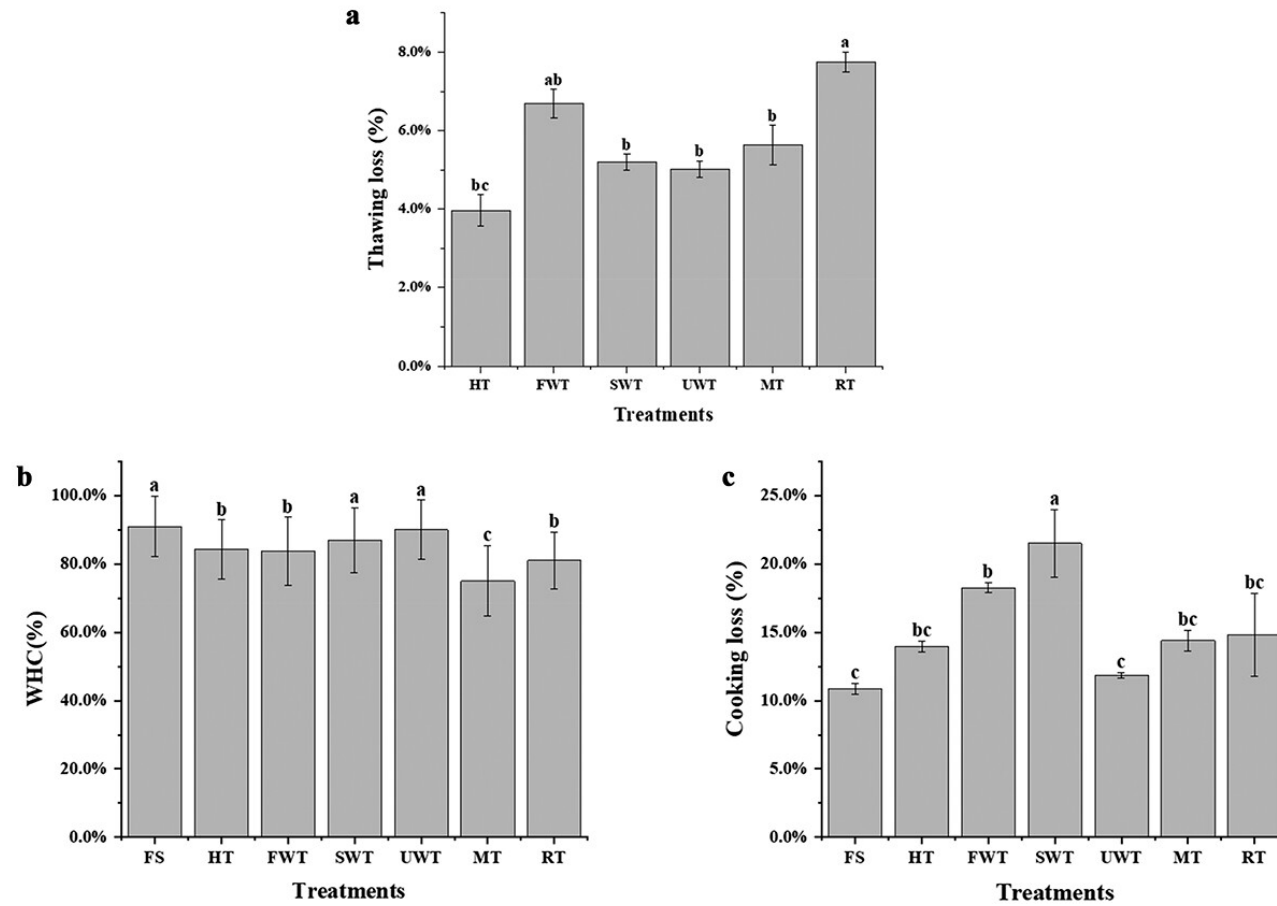


Figure 2.

Comparison of water retention of cuttlefish by different thawing methods. Thawing loss(A). Water holding capacity(B). Cooking loss(C).The letters “a–c” indicate significant differences ($P < 0.05$). Error bars show standard deviation

(Lv & Xie, 2022)

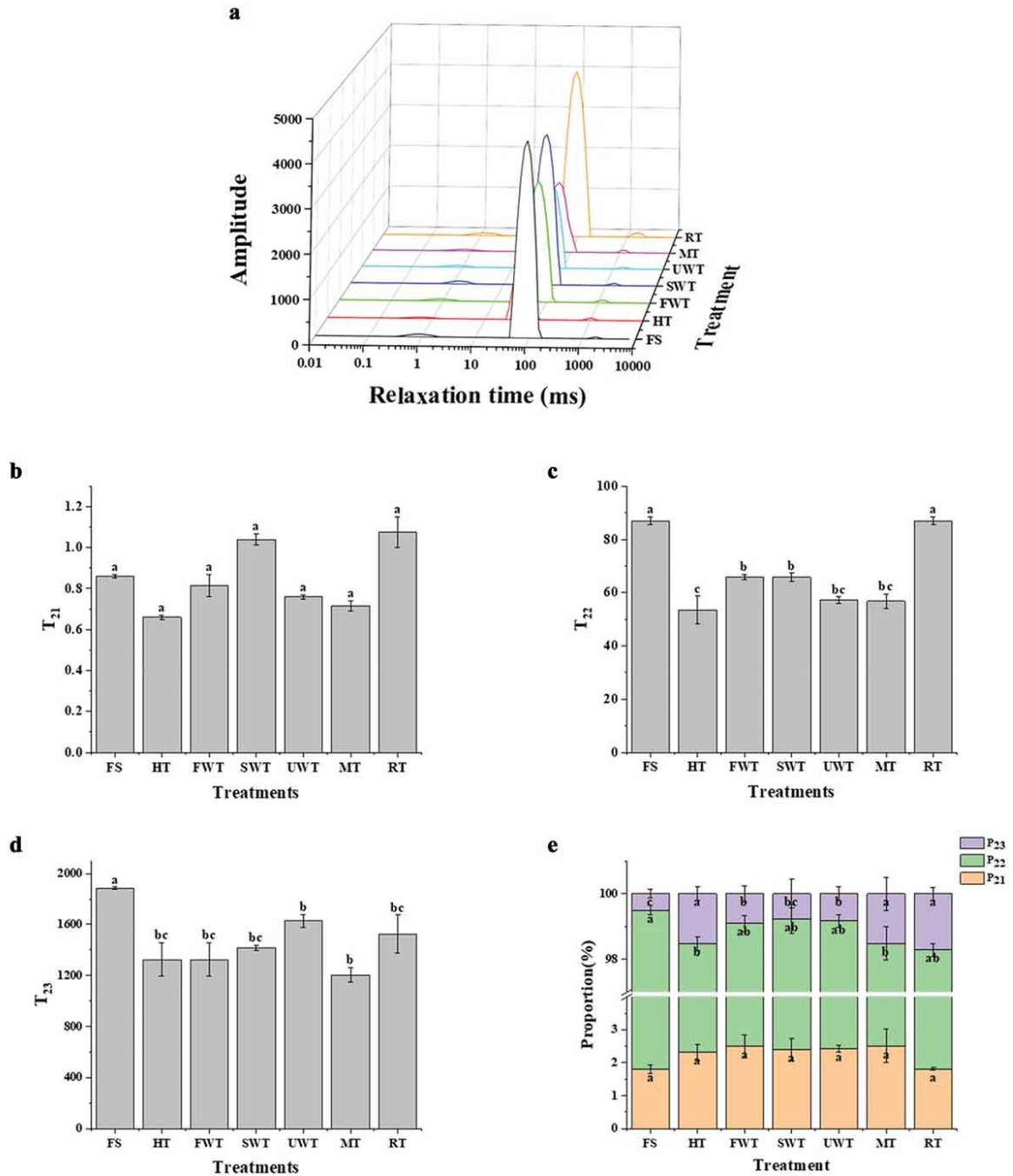


Figure 3.

The effect of different thawing treatments on water migration in cuttlefish meat. LF-NMR $T_2(A)$, T_{21} (B), T_{22} (C) and T_{23} (D) relaxation time distributions of cuttlefish with different thawing processes. The percentage of the integral area of different T_2 intervals to the total area was shown in Figure 3E. The letters “a–e” indicate significant differences ($P < 0.05$). Error bars show standard deviation.

(Lv & Xie, 2022)

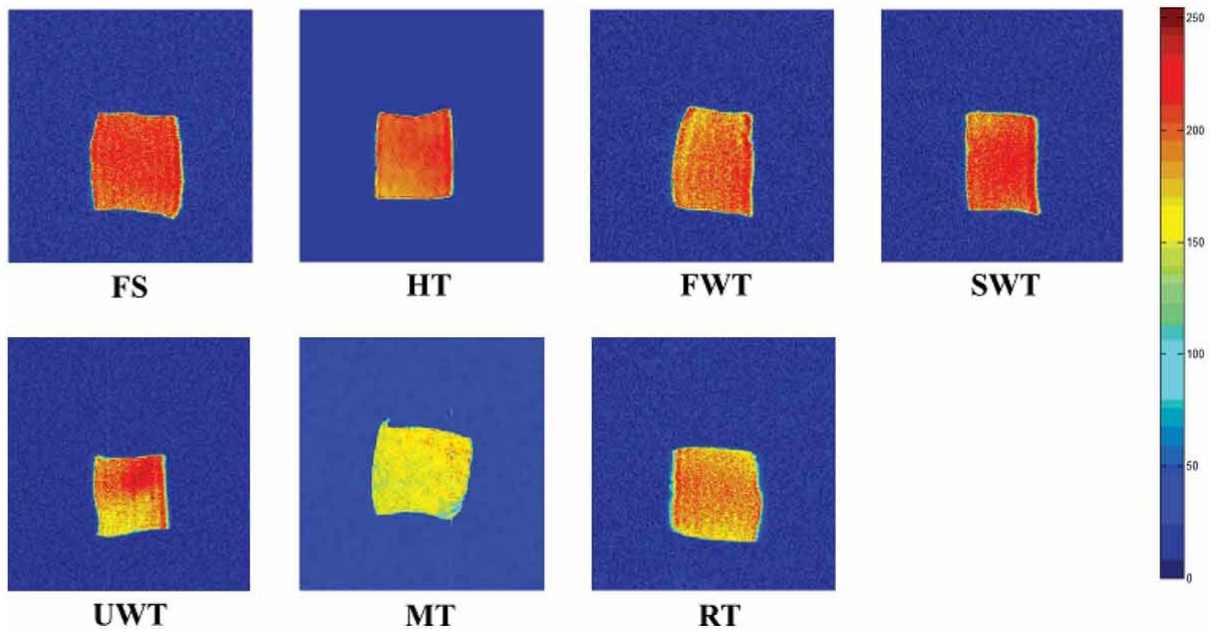
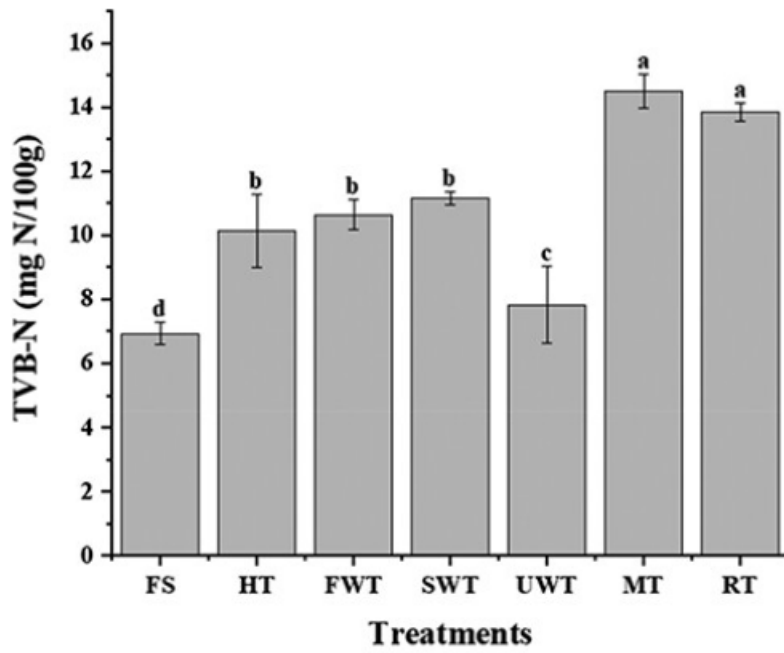
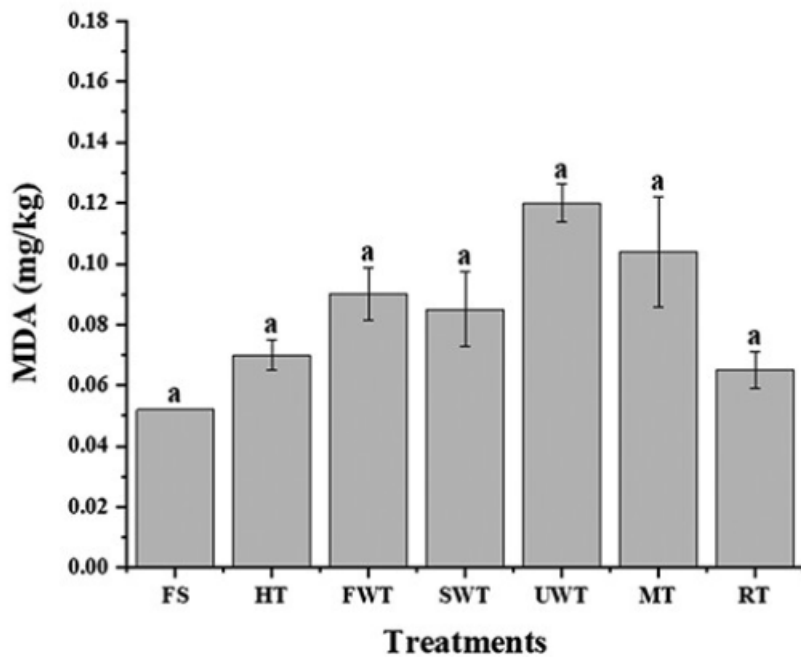


Figure 4.

Magnetic resonance imaging (MRI) of cuttlefish by different thawing methods.

(Lv & Xie, 2022)

A**B****Figure 5.**

The effect of different thawing methods on cuttlefish TVB-N(A). The effect of different thawing methods on cuttlefish MDA(B).

(Lv & Xie, 2022)

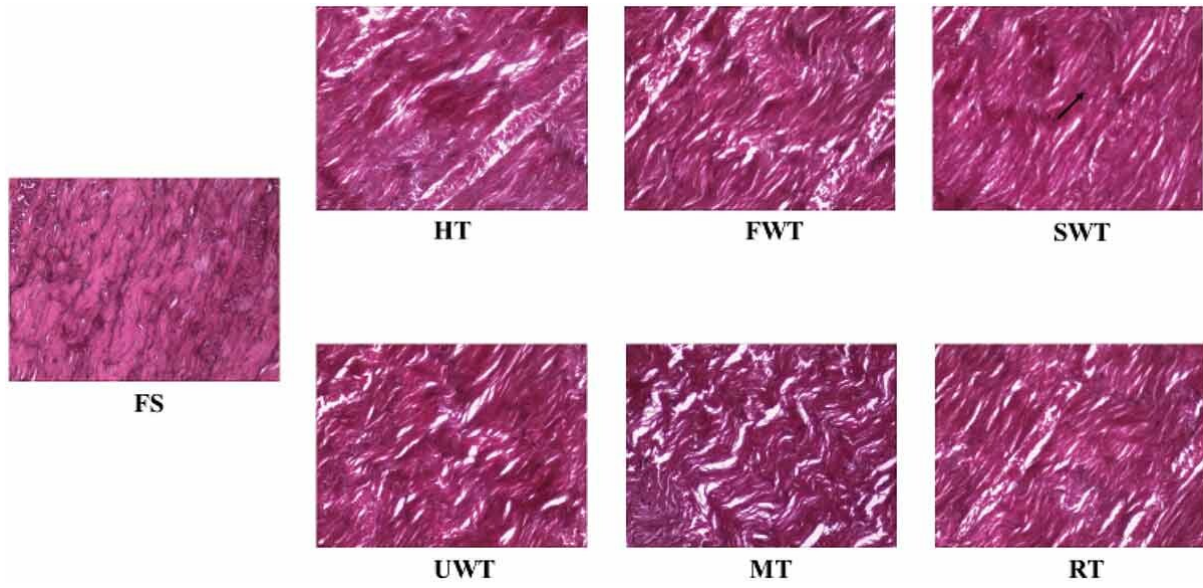


Figure 6.

Comparison of microscopic observation of cuttlefish under different thawing methods.

(Lv & Xie, 2022)

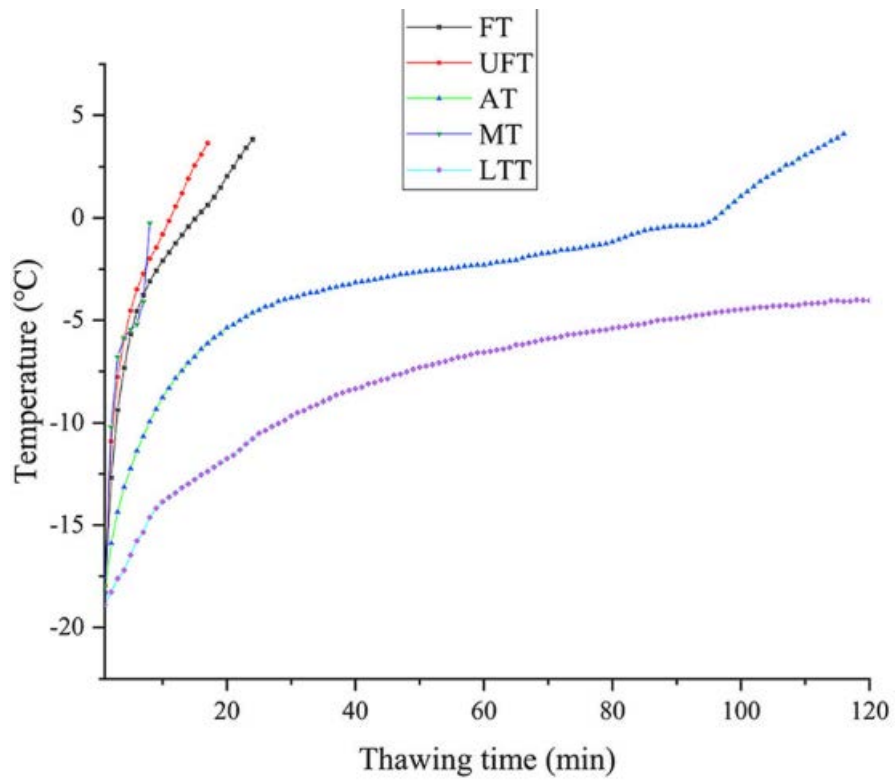


Figure 7.

(FT: flow water thawing, UFT: ultrasonic flowing water thawing, AT: air thawing, MT: microwave thawing and LTT: low temperature thawing), thawing curves.

(Zhou *et al.*, 2021)

FT: Flow water thawing

UFT: Ultrasonic flowing water thawing

AT: Air thawing

MT: Microwave thawing

LTT: Low temperature thawing

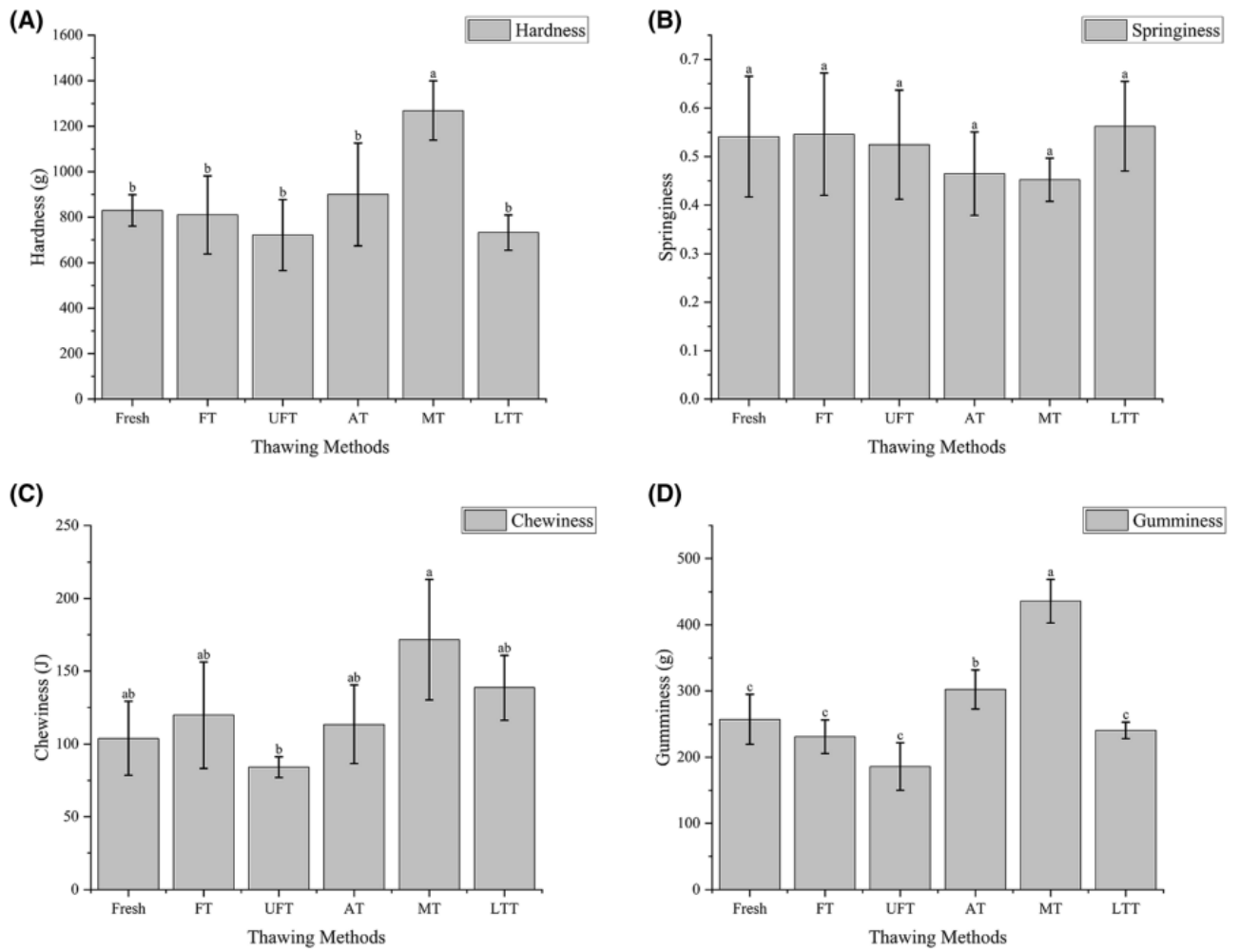


Figure 8.

Effect of difference thawing methods on texture of mackerel of hardness (A), springiness (B), chewiness (C) and gumminess (D).

(Zhou *et al.*, 2021)

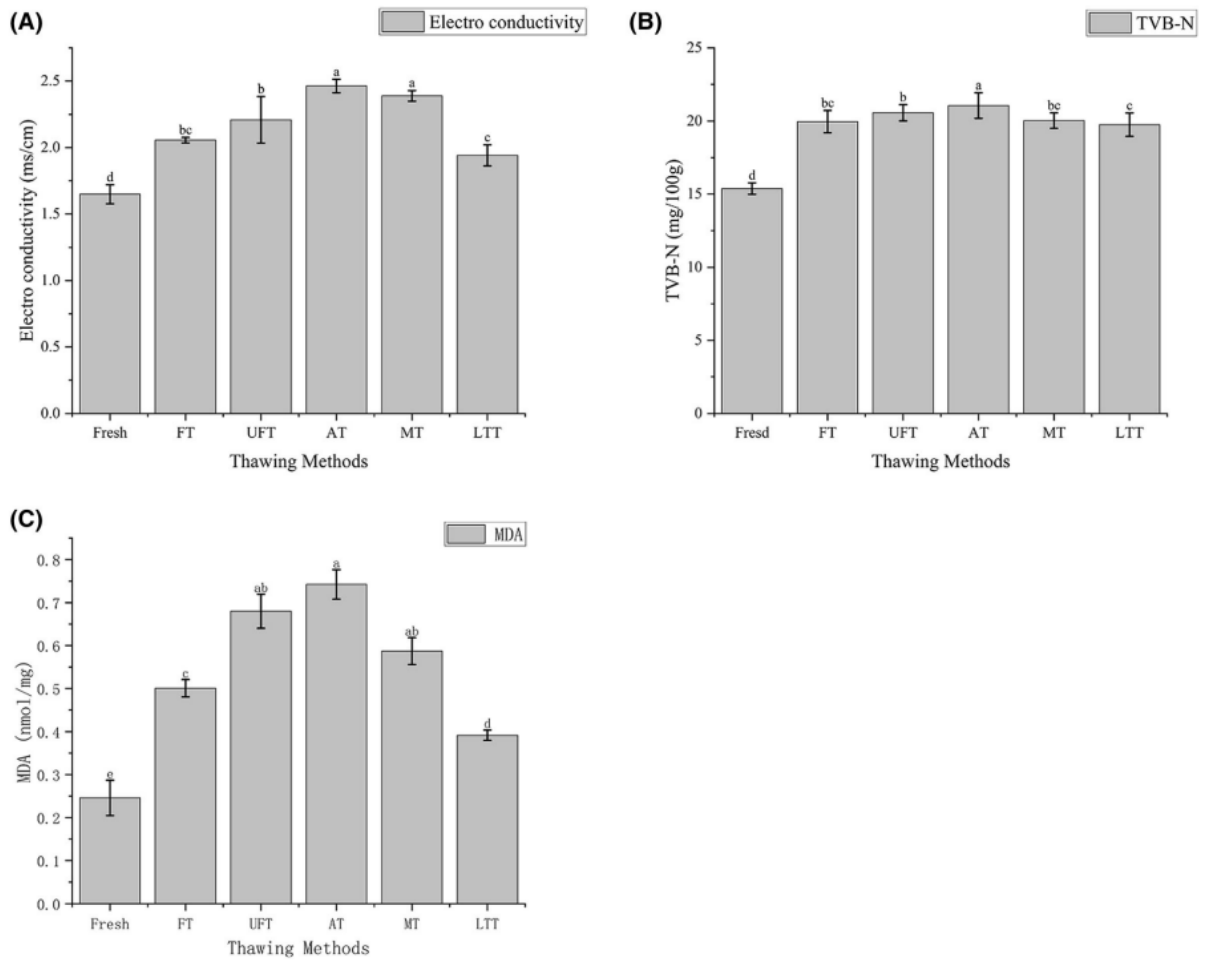


Figure 9.

Effects of different thawing methods on electro conductivity (A), TVB-N (B) and MDA (C) of mackerel.

(Zhou *et al.*, 2021)

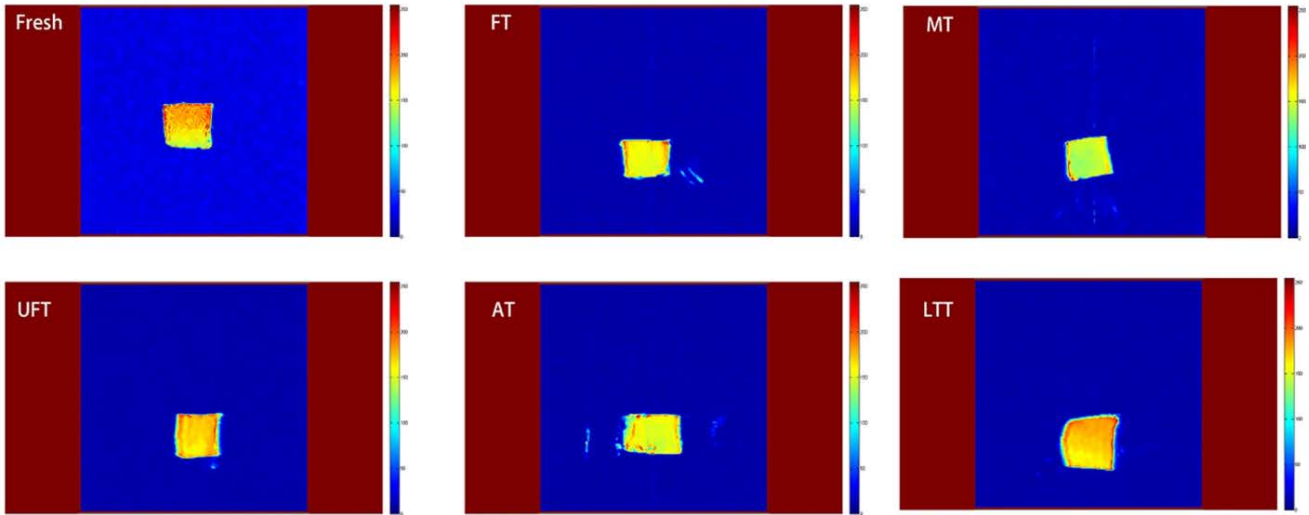


Figure 10.

Effects of different thawing methods on the magnetic resonance image.

(Zhou *et al.*, 2021)

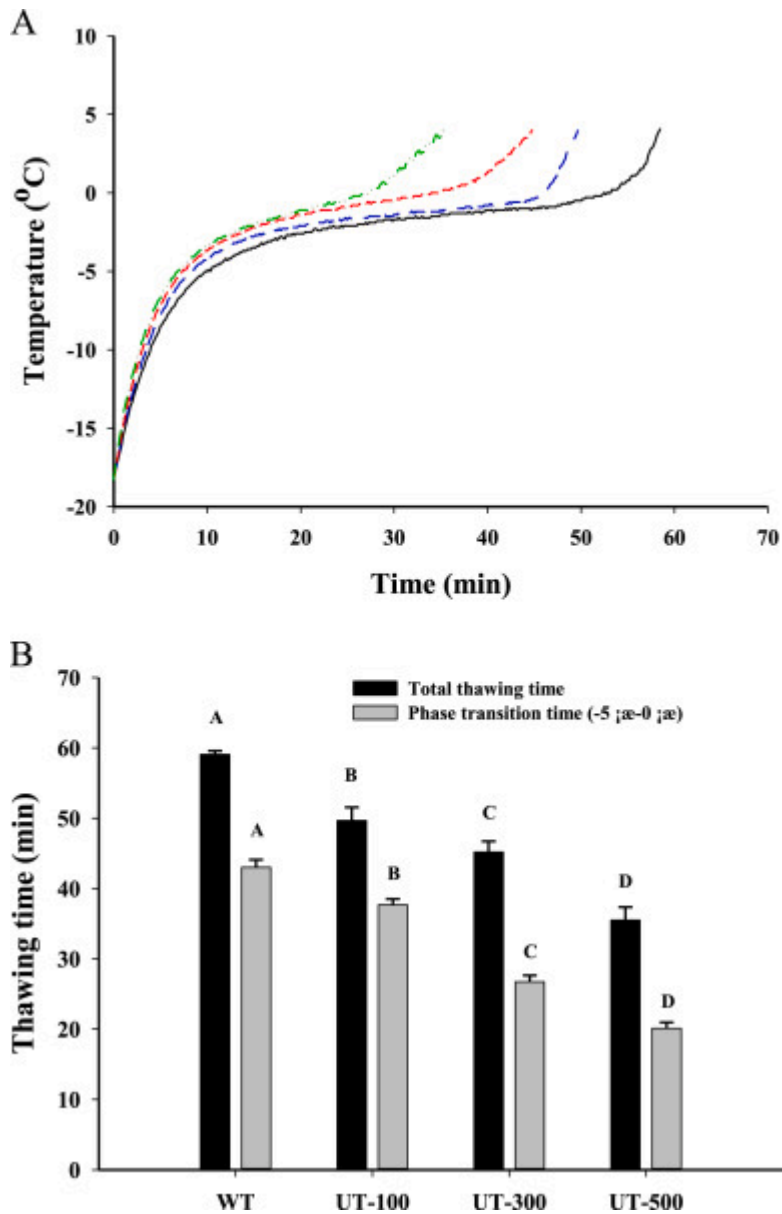


Figure 11.

Thawing curve and time (min) of samples thawed using different methods. Different capital letters in the same index represent significant differences ($P < 0.05$). WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W).

(Sun *et al.*, 2021)

WT: Water thawing

UT-100: Ultrasonic-assisted immersion thawing 100W

UT-300: Ultrasonic-assisted immersion thawing 100W

UT-500: Ultrasonic-assisted immersion thawing 100W

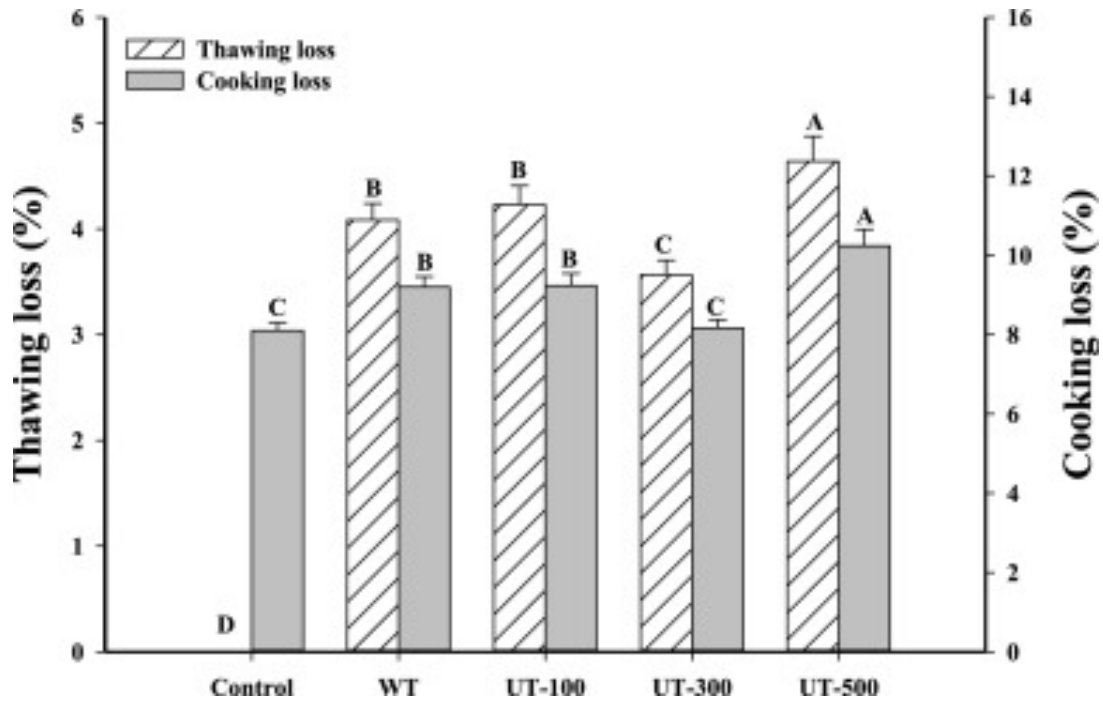


Figure 12.

Thawing (%) and cooking (%) losses in samples thawed using different methods. Different capital letters in the same index represent significant differences ($P < 0.05$). Control: fresh fish piece without freezing-thawing treatment. WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W).

(Sun *et al.*, 2021)

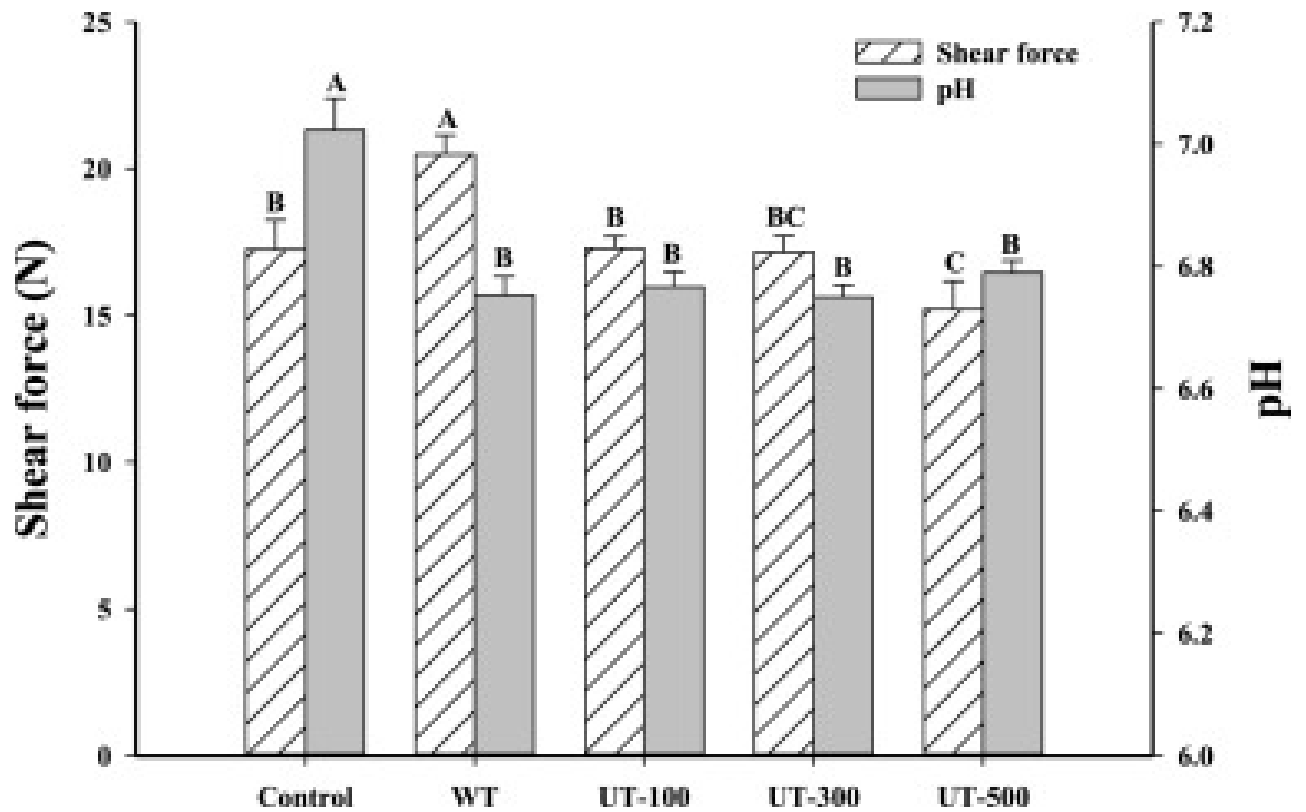


Figure 13.

Shear force (N) and pH of samples thawed using different methods. Different capital letters in the same index represent significant differences ($P < 0.05$). Control: fresh fish piece without freezing-thawing treatment. WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W).

(Sun *et al.*, 2021)

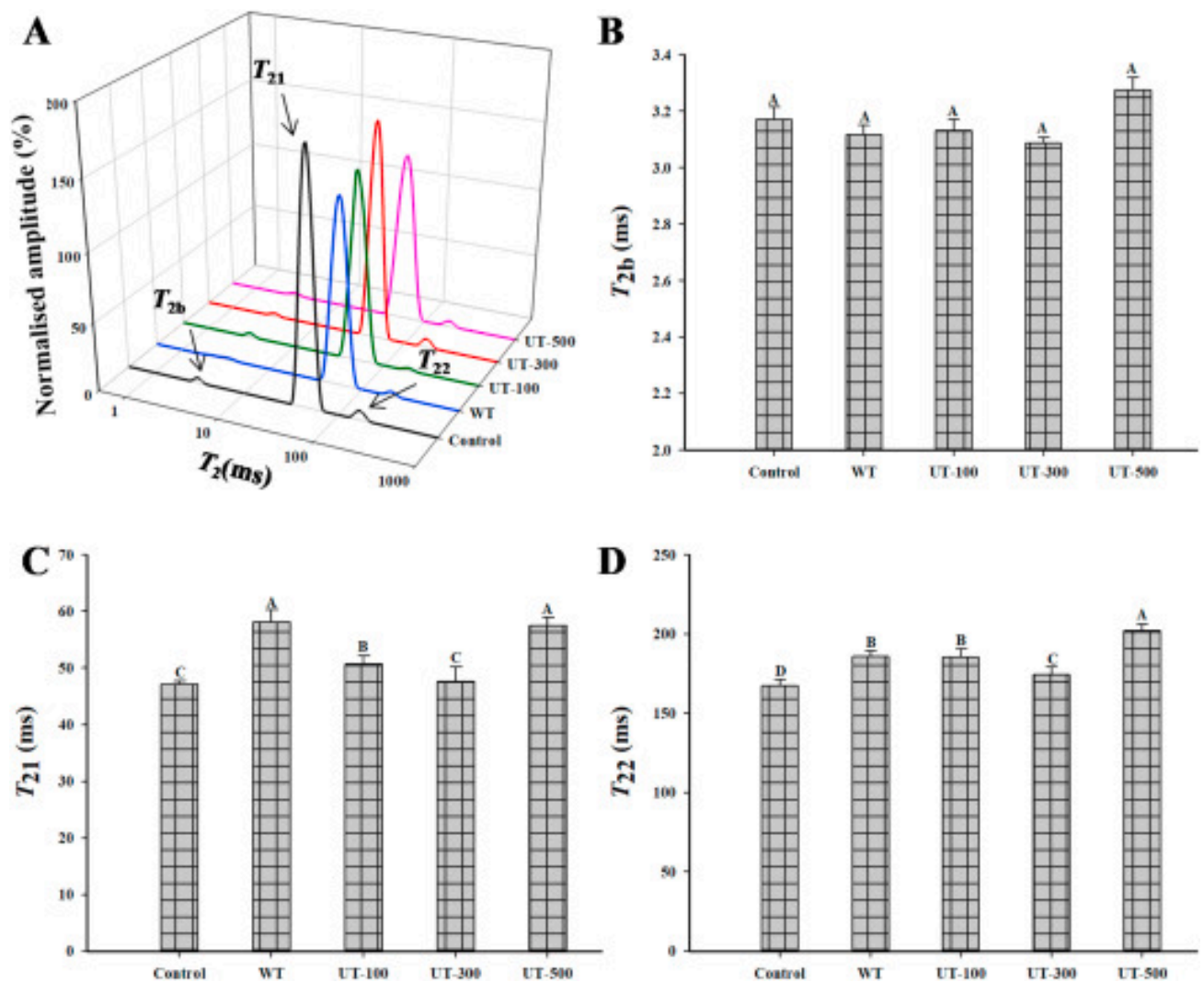


Figure 14.

LF-NMR curve (A) and T_2 relaxation time (ms) (B–D) of samples thawed using different methods. Control: fresh fish piece without freezing-thawing treatment. WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W). Different capital letters represent significant differences ($P < 0.05$).

(Sun *et al.*, 2021)

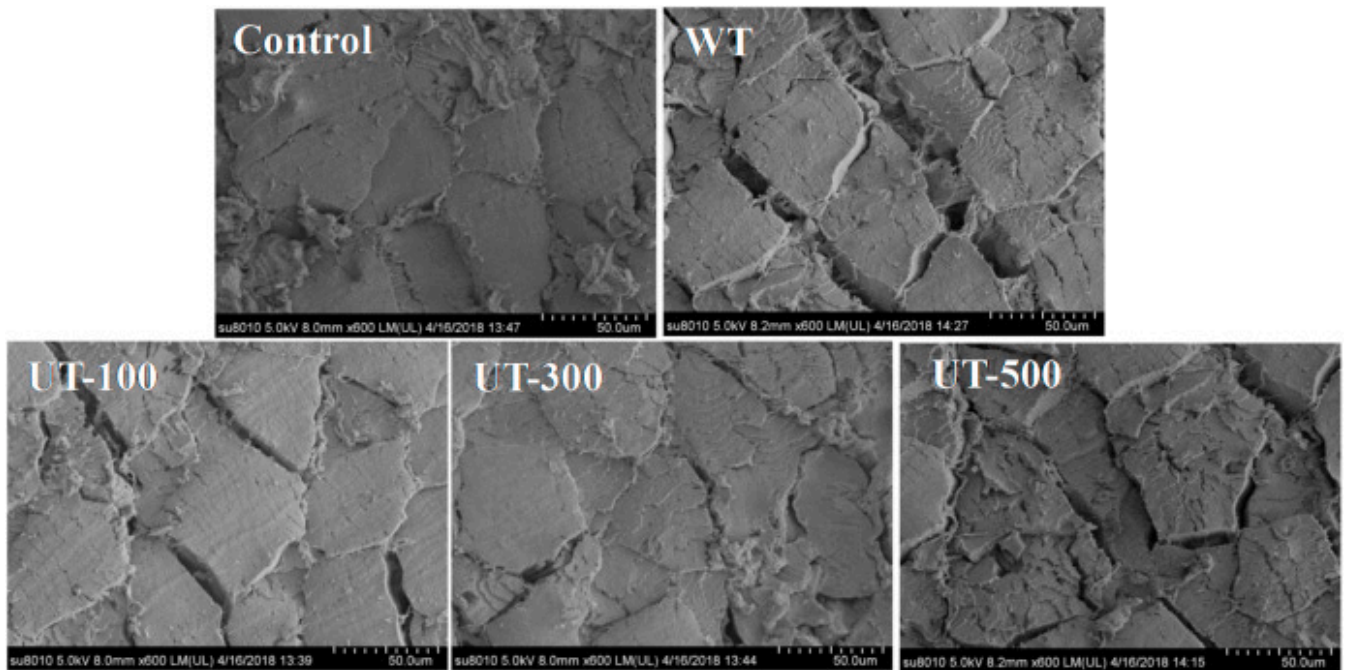


Figure 15.

SEM images of samples thawed using different methods. Control: fresh fish piece without freezing-thawing treatment. WT: water immersion thawing; UT: ultrasound-assisted immersion thawing at different powers (100, 300, and 500 W).

(Sun *et al.*, 2021)