

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第一名

032909

不「鰻」你了～魚骨成金

學校名稱： 南山學校財團法人新北市南山高級中學

作者： 國二 羅予晨 國二 梁允謙 國二 何岱恩	指導老師： 趙國豪 陳婉勻
---	-----------------------------

關鍵詞： 鰻魚骨、水代法、廢棄物加工再利用

得獎感言

不『鰻』你了～魚骨成金：科展中的突破與成長

我們的研究是「不鰻你了～魚骨成金」鰻魚骨是一種不容易被利用的生物廢材，我們努力利用這些廢棄物，將它們再創成有價值的東西，為世界的永續發展盡力！

科展的歷程十分辛苦，一路從決定主題，到一步步實際操作—洗魚骨、刷魚肉、磨粉…。雖然很辛苦，但也成就了我們如今的成就。經過一路上不斷的練習、磨合、調整，後來幸運進入國賽後，我們展開了密集的訓練。我們咬緊牙關，克服了各種挑戰，通往全國殿堂的每一步都充滿艱辛，但這一路走來也讓我收穫滿滿。

台南國賽時，大家都蓄勢待發，準備迎接挑戰。可惜好事多磨，我們遇到了因疫情停課三天的窘境，比賽時間被一再縮短。我們每天都在等待消息，同時調整講稿。原本期待已久的實體比賽，最後卻轉為線上評審。線上報告與實體的呈現方式截然不同，除了報告時間被壓縮，軟硬體設備也屢次出現意外狀況。在重重困境之中，我們彼此扶持，積極面對，反覆練習，希望能為這次比賽做好萬全準備。

比賽當天，每次練習的成果和老師的叮囑，在報告時像自動播放自然呈現。雖然內心忐忑，我們還是帶著微笑順利完成了報告，問答環節也比預期順利許多，最終在評審的微笑中結束了這次挑戰。

成績公布那天，我們和老師一起觀看頒獎直播。隨著名次一個個公布，我們的緊張情緒也達到頂點，既怕看到我們的作品太早出現，也擔心最終沒有我們的名字。直到第一名被揭曉，上面寫著「不『鰻』你了～魚骨成金」，我們欣喜若狂，迫不及待想與所有人分享這份榮耀。那天激動的心情，仍無法言喻，一切如夢一般美好。

這次科展的歷程，是珍貴的一段回憶，也對我們有深遠的影響。因為科展，

我學會如何與同學有效溝通和合作，科學對我們而言，不再只是課堂上學習的知識，更是主動探索未知的領域。每次實驗中的反覆嘗試和失敗，培養了我們不輕言放棄的精神，或許科學的魅力就在於不斷挑戰自我、追求突破。另外，面對時間管理和調適壓力的問題，需要兼顧課業與科展，我們必須掌握如何在繁忙的日程中找到平衡，並在高度壓力下依然保持冷靜和專注。這些技能都將成為我們生命中的能量，無論未來面對什麼挑戰，都可以更加從容的應對。這次科展也讓我們明白了團隊合作的價值，透過合作，個人能力的發揮可以再更向上提升，十分可貴。

中小學科展為我們小小學生的生活帶來了無限的可能性，我想我們從未想過能夠在這樣有限的資源下研發出能夠改變世界的方法。這場比賽意義非凡，不僅僅是它的榮耀，更多的是，從生活發想，從生活中找問題並解決，我想在面對未來，這會是一個重要的能力。中小學科展還會一直辦下去，也象徵著台灣學生們將源源不絕投入精力來解決生活中的繁瑣問題，亦或者使環保資源永續利用。藉由這樣的機會，讓我們了解微小的力量也能夠改變生活，改變世界。秉持著對於科學好奇心加上對生活的探索好奇心，很高興我們的發明能夠被大家看見。

最後，最想感謝的是父母與趙國豪、婉勻老師。這次的成功，不僅是我們的榮耀，也是對老師無私奉獻的肯定。未來，我希望能將從他們身上學到的態度和知識，帶入高中，再次挑戰科展，成就更好的自己。這段科展旅程不僅是一次競賽的挑戰，更是塑造我未來的重要一步，我將帶著這次經驗繼續前行，勇敢追求自己的目標，探索未知，突破自我，邁向卓越。



全國科展在台南_布展照片



新北市賽布展照片



前往海洋大學食品系與王上達老師交流意見

摘要

本研究採用創新設計的「水代法」處理養殖鰻魚加工後廢棄魚骨，成功解決過往鰻魚骨含油量高，無法利用而丟棄的環保問題，使生物資源得到充分利用。透過「低溫烘乾前處理」製成的鰻魚骨粉香氣與口感俱佳，適合作為食品添加物。

水代法是將鰻魚骨在 90°C 水溫、粉水比 1:3 狀態，藉由攪拌、壓榨去油，不僅保留營養成分（蛋白質、鈣質、磷質），同時降低高達 90% 的脂肪含量。水代產生的處理液可進一步開發為胺基酸萃取物和鰻魚油，創造多元的商業價值。「食鹽水浸泡處理」取代較不環保的「強鹼處理」製作鰻骨鈣粉，可有效減少環境負擔。本研究製程簡便且低耗能、低耗水，可降低成本，顯著提升產業競爭力和環境效益。

壹、前言

一、研究動機

校外教學前往參觀漁會和鰻魚加工廠時，了解到鰻魚是一種脂肪含量相當高的魚種，成魚的脂肪含量有時可高達 30~40%，連鰻魚骨頭都富含油脂，所以利用困難且容易發臭，過程中漁會解說老師提到他們正設法解決因為油脂過高，不易處理加工的困難，期望發展鰻魚風味零食。

近年來，硬骨魚骨處理技術已見多樣化發展，新方法如超聲波處理和酵素水解技術已被證實能有效提高魚骨中有效成分的萃取效率。我們因此萌生興趣想了解鰻魚跟其他的魚種有多大差異，也希望能嘗試解決魚骨處理的困難，本研究將採用部分新進技術與自行研發的方法進行對比，讓鰻魚廢棄物可以變成有利用價值的產品，並探討對於環境永續發展的潛力。

二、研究目標

本研究為開發新穎且符合產業需求的鰻魚骨處理技術，將鰻魚副產物做多元利用與提升經濟價值，同時減少環境污染，並探討各種處理方法對產品的影響，故設定下列五個研究目標：

- (一) 檢測台灣養殖鰻魚骨油脂含量並比較其他養殖魚種的差異。
- (二) 實測已知的鰻魚骨處理方式，研究其優缺點，加以改良、研發新方法。
- (三) 檢測鰻魚骨粉製品的成分與營養價值，製作台灣消費者接受的鰻魚風味食品添加物。
- (四) 檢驗鰻魚骨粉加工性質，達到食品加工可應用標準，解決目前加工不易的困境。
- (五) 鰻骨處理力求環保、簡單，並開發製程副產物之產品，符合低碳永續的世界趨勢。

三、文獻探討

(一) 鰻魚養殖廢棄物簡介

1、現今鰻魚種類共有 21 種，臺灣養殖鰻魚以日本鰻 (*Anguilla japonica*) 為主，也是本研究使用的鰻魚品種。

2、新冠疫情使得鰻魚消費市場改變，加工鰻（真空包裝的蒲燒鰻）在料理市場上接

受度逐漸提高，鰻魚加工需求大幅上升，台灣養殖鰻魚每年產量達數萬噸，其鰻魚加工後之魚頭、內臟、魚骨、魚鱗及殘肉等廢棄部份約佔 30~35%，但因為腥味較重，多作為飼料或直接焚燒掩埋。（鰻主題館-農業知識入口網）

- 3、據日本專利（特開 2006-312674；2007-82464）指出，鰻魚加工後之廢棄物仍有豐富的蛋白質、維生素、EPA、DHA 及礦物質等，應可善加利用。水產試驗所將鰻魚副產物作多元利用，有專文介紹已建立之技術外，並整理相關之文獻資料，以提供加工業者參考，但實際加工成效並未驗證。（高淑雲等人，水試專訊，2015）

（二）鰻魚骨特性

鰻魚從其特異的生態與體型來看，其肉質組成、蛋白質和脂肪對骨的結合與其它魚類相比差異大，這就是鰻魚骨有效利用上的困難所在。例如鰻魚的脂質含量在 20% 以上，做烤鰻時的殘渣骨頭中約含 26% 的脂肪，與鮭魚（8%）、鯽魚（18%）、鯉魚（2%）、鮪魚（1%）、鯖魚（17%）、竹筴魚（6.9%）、比目魚（1.2%）相比，骨頭部分的脂肪含量高，因不飽和脂肪酸氧化造成產生腥味特別強烈的主要原因。而且鰻魚的脊椎骨數目也極多，為 100~119 節，因此骨上所附蛋白質的水解、脂肪的分離就更困難。（野原武男，2000，特願 2000-192804）。

（三）鰻魚廢棄物加工應用研究

- 1、鰻魚油：鰻魚脂肪中含有大量 ω -3 多元不飽和脂肪酸，其中 EPA 與 DHA 的含量較野生淡水魚有更高的比例，因此有利用開發前景。（劉，黃，關，2012）
- 2、鰻魚骨鈣粉：魚骨中主要的無機成分是氫氧基磷灰石（hydroxyapatite），有研究發現，氫氧基磷灰石能提供鈣源給骨骼細胞，並和膠原蛋白纖維交互作用，可增加骨骼強度（林，2009），且具有非常優異的生物相容性及活性。日本專利（特開 2006-213627）指出，小鼠經攝食魚骨粉後可以增加骨重量及骨密度，進而改善骨質疏鬆症。賴愛姬（1996）研究顯示，鰻骨粉鈣在腎臟的累積較少，較不易影響腎功能，將天然的鰻骨粉添加在食品中，可強化鈣質攝取，有助維持營養均衡，並降低腎臟負擔。

- 3、胺基酸萃取物：鰻魚含有豐富的蛋白質和胺基酸，其中以支鏈胺基酸、牛磺酸、甘胺酸和離胺酸為主，還具有高含量的肌肽，為脊椎動物中含量最高，具生理緩衝、抗氧化、防止細胞老化、增強免疫等功能。(農業部漁業署)

(四) 國外文獻中鰻魚骨處理方式

國內在處理鰻魚骨製程上尚未有適合大規模生產的技術方法，因此本研究將日本鰻魚產業相關的專利方式整理如下：

- 1、氫氧化鈉處理 (特開 JP 8-131127)：將鰻魚骨加壓燒煮，在氫氧化鈉水溶液中浸泡後水洗、乾燥製造骨粉的方法。
- 2、食鹽水浸泡 (特願 2001-226034)：在氯化鈉水溶液中攪拌並加熱至 100°C，使鰻魚骨上附著的血和肉分離並粉碎該骨而得到的粉末。
- 3、酵素處理 (特開 2000-60478)：經酵素溶液浸泡後，提煉鰻魚風味抽取物，保持鰻魚天然特有美味，同時消除鰻魚骨獨特的腥味。

貳、研究設備及重要器材、藥品

表 2-1 研究器材

□材料、藥品	□儀器	
1. 養殖鰻魚龍骨	1. TGA 550 熱重分析儀	11. 電磁加熱攪拌器
2. 虱目魚骨	2. agilent 1290 滲透層析	12. 試管振盪器
3. 鱸魚骨	3. 分光光度計	13. 石英比色管
4. 氫氧化鈉	4. 索氏脂肪抽出器	14. 高壓清洗機
5. 硝酸	5. 桌上型離心機	15. 電子恆溫加熱器
6. 酒石酸鉀鈉	6. 電子水分儀	16. 恆溫振盪器
7. 硫酸銅	7. 高溫滅菌釜	17. 安息角測試儀
8. 血清蛋白 (MP Bio)	8. 電子恆溫烘箱	18. 真空旋轉濃縮機
9. 脂肪酶 (MP Bio)	9. 精密電子天平 (0.0001g)	19. 研磨機
10. 木瓜酵素 (荷蘭 DSM)	10. 不鏽鋼標準篩網	20. 桌上型酸鹼度計



▲ TGA 熱重分析儀



▲ GPC 凝膠滲透層析



▲ 分光光度計



▲ 索氏脂肪抽出器



▲ 桌上型離心機



▲ 電子水分儀



▲ 高溫滅菌釜



▲ 電子恆溫烘箱



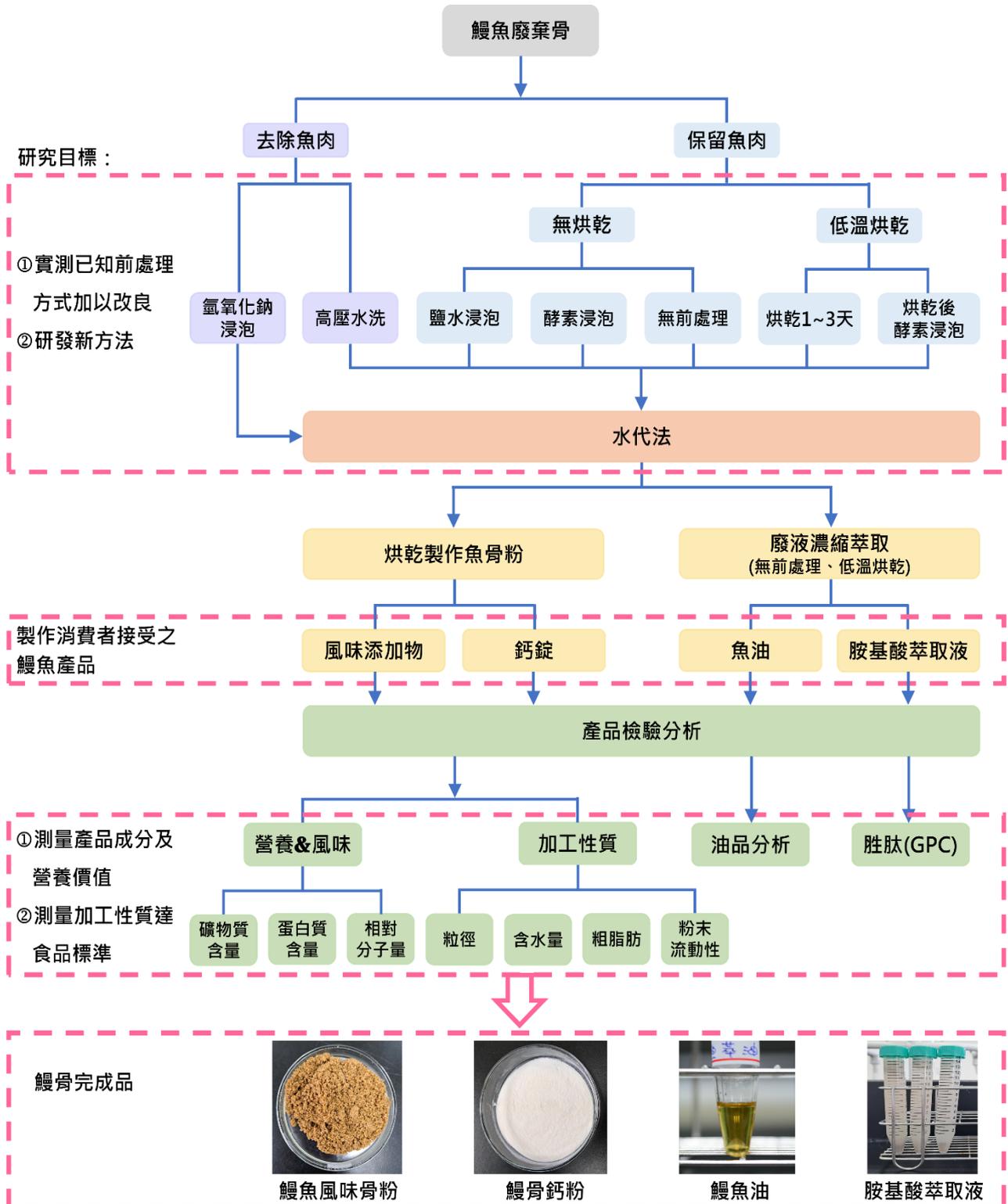
▲ 精密電子天平

▲ 圖 2-1 實驗儀器圖

資料來源：學生拍攝。

參、研究過程或方法

一、研究架構圖



二、實驗原理與方法

(一) 鰻魚骨製粉前處理：主要目的為減少魚骨油脂含量，以利後續加工進行。

本研究設計「低溫烘乾前處理」和「水代法」，希望能找出最佳製程，同時比較有無保留魚肉的各種前處理試驗（如表 3-1），分析產出的魚骨粉差異。

表 3-1 比較有無魚肉的差異

鰻魚骨樣態	優點	缺點
保留魚骨殘肉	1.富含鰻魚風味與香氣 2.保留營養成分多 3.可製成多元產品	處理工序較多
去除魚骨殘肉	骨粉純淨，處理時間短	消耗水資源及產生廢水多

資料來源：本研究整理。

1、無任何前處理

實驗原理

以未經任何處理鰻魚骨（如圖 3-2）為產品基準，比較各項處理方式的差異。

實驗步驟

將鰻魚骨解凍後，直接進行水代法去油、烘乾製粉處理。



▲圖 3-2 未前處理鰻魚原骨
資料來源：指導教師拍攝。

2、**低溫烘乾前處理（本研究首創）**

實驗原理

考量台灣鰻魚養殖產區，日照時地面溫度可達 40~50°C，本研究設計 45°C 低溫烘乾模擬漁民使用日曬乾燥的方式進行前處理，既保留鮮魚的口感，又可以降低成本，後經諮詢大學食品系教授及漁會，也都認為加工廠使用大型烘乾機設定 45°C 處理是快速、衛生且具經濟效益的可行方式。

實驗步驟

將生鰻魚骨置於恆溫烘箱以 45°C 烘乾一至三天，去除水分並能使鰻魚骨產生非酵素性褐變（如圖 3-3）、梅納反應進而增加香氣。



▲圖 3-3 低溫烘乾一至三天的鰻魚骨
資料來源：指導教師拍攝。

3、食鹽水前處理

實驗原理

在氯化鈉水溶液中加熱攪拌，使鰻魚肉與骨頭分離，且能去除骨髓液導致的腥臭味。適宜的氯化鈉水溶液重量濃度為 1~5%，溶液溫度為 80~90°C，加熱時間為 15~25 分鐘。經實驗發現，氯化鈉水溶液濃度低於 1%，難以去除魚肉，若超過 5%，氯化物易殘留在魚骨中；如果溶液溫度低於 80°C，骨肉分離困難，超過則易失去鰻魚風味；加熱時間少於 15 分鐘肉也不易分離，若超過 25 分鐘會大幅降低魚骨粉香味。



▲圖 3-4 食鹽水處理鰻骨
資料來源：指導教師拍攝。

實驗步驟

- (1) 配製食鹽溶液 3%，以食鹽水和魚骨重量比 3：1，恆溫 90°C 煮 20 分鐘。
- (2) 將食鹽水處理取代第一道水代法的步驟，進行後續處理（如圖 3-4）。

4、酵素溶液前處理

實驗原理

將魚骨進行一次水代去除雜質和部分油脂後，利用蛋白酶水解附著於骨上的殘餘蛋白質，將蛋白質水解液和魚骨分離，再以脂肪酶分解魚骨上油脂，使鰻魚骨中殘留油脂高效水解，得到骨粉與蛋白質水解液兩種產物。

實驗步驟

- (1) 配製木瓜酵素溶液 1%、脂肪分解酵素溶液 1% 備用。
- (2) 一次水代處理後的魚骨泥，加入 1% 蛋白酶（骨泥重：酵素液重=1：3），恆溫 38°C 進行酶解 16 小時。加熱至 90°C 使木瓜酵素失去活性，取出水解液放入高溫滅菌釜殺菌，作為蛋白質水解液產品（如圖 3-5）。

- (3) 將骨泥加入 1%的脂肪酶（骨泥重：酵素液重=1：3），恆溫 38°C下進行酶解 16 小時，取出魚骨泥後清洗一次，脂肪酶溶液則可重複使用。



▲圖 3-5 酵素處理後的魚骨與濾液
資料來源：學生拍攝。



▲圖 3-6 高壓水洗清理魚骨
資料來源：學生拍攝。

5、高壓水洗清理魚骨

實驗原理

本研究測試高壓水柱清洗鰻魚骨的壓力介於 5~20Bar 最佳，若水壓小於 5Bar，會難以除去附著在脊骨上的肉和骨膜等，導致效率降低，但超過 20Bar，又會因極高的水壓造成魚骨斷裂飛散的不良效果，且對操作人員有安全上的疑慮。

實驗步驟

高壓水槍設定為 15Bar (15.3kgf/cm²)，距離 20~30cm 清洗帶肉魚骨至乾淨（如圖 3-6）。

6、氫氧化鈉前處理

實驗原理

氫氧化鈉會使動物油脂的酯基發生水解反應，酯基破壞後形成水溶性脂肪酸鈉，藉由清洗帶走油脂。

實驗步驟

- (1) 3%氫氧化鈉溶液，以氫氧化鈉溶液和魚骨重量比 3：1，常溫浸泡一天（如圖 3-7）。
- (2) 將魚骨從氫氧化鈉溶液中取出，用水洗滌至中性，然後乾燥磨粉。



▲圖 3-7 氫氧化鈉浸泡鰻魚骨
資料來源：指導教師拍攝。

(二) 水代法設計

水代法是我國的一種傳統製油方式，其優點是能保有麻油的香味，但製作麻油的水代法是以 100°C 持續加熱使油水分離。本研究希望**利用水代法充分保留鰻魚香氣和營養成分**，因此在溫度和程序上重新設計如下：

- 1、研磨時間：研磨機轉數 30000rpm，每次 30 秒避免過熱造成魚骨與肉末質變。
- 2、溫度 85~90°C，可有效分離鰻油但不會造成魚油和蛋白質等營養嚴重破壞。
- 3、水代次數與粉水比：為研究有效分離油脂的水代法次數與水量，進行了水代三次（粉水比 1：2 與 1：3）和水代六次（粉水比 1：2 與 1：3），四種模式的粗脂肪萃取分析（如表 3-2）。

表 3-2 粗脂肪萃取比較

粉水比	水代次數	脂肪含量 (%)			平均值 (%)	標準差
		第一組	第二組	第三組		
未處理鰻魚原骨		35.41	30.24	34.04	33.23	0.0267
1：2	3	16.55	15.57	14.77	15.63	0.0089
	6	11.82	11.42	11.40	11.55	0.0023
1：3	3	14.74	13.64	13.29	13.89	0.0075
	6	11.54	11.09	11.08	11.24	0.0026

資料來源：本研究實測數據整理。

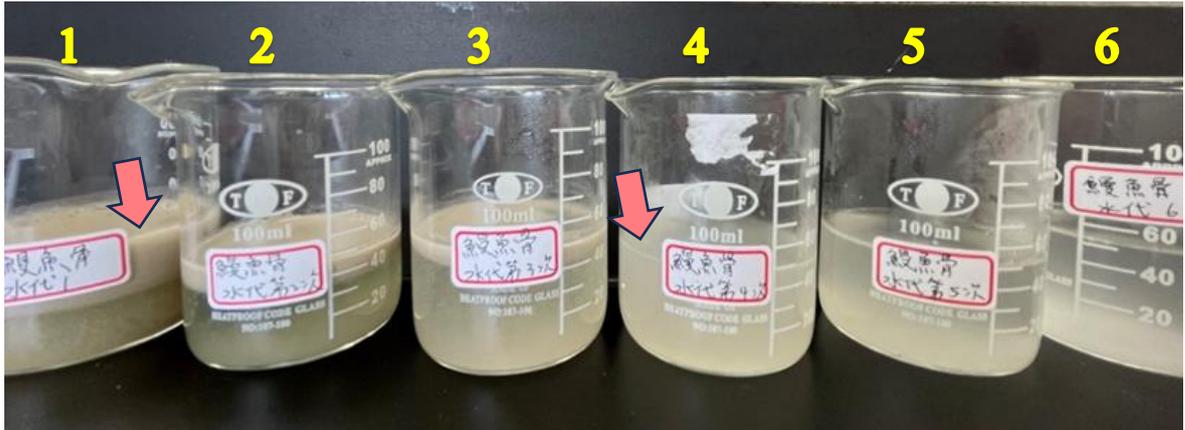
經 ANOVA 雙因子變異數分析如下：

- 1、水代次數對脂肪含量有顯著的影響 ($p < .0001$)。
- 2、粉水比例對分離油脂的效果無顯著的影響 ($p = 0.39$)。
- 3、粉水比例和水代次數的交互作用對脂肪含量的影響同樣不顯著 ($p = 0.62$)。

考量水代次數增加會使水資源和能源的消耗變多，所以本研究採用最符合環保和經濟效益的鰻魚骨水代方法，步驟如下：

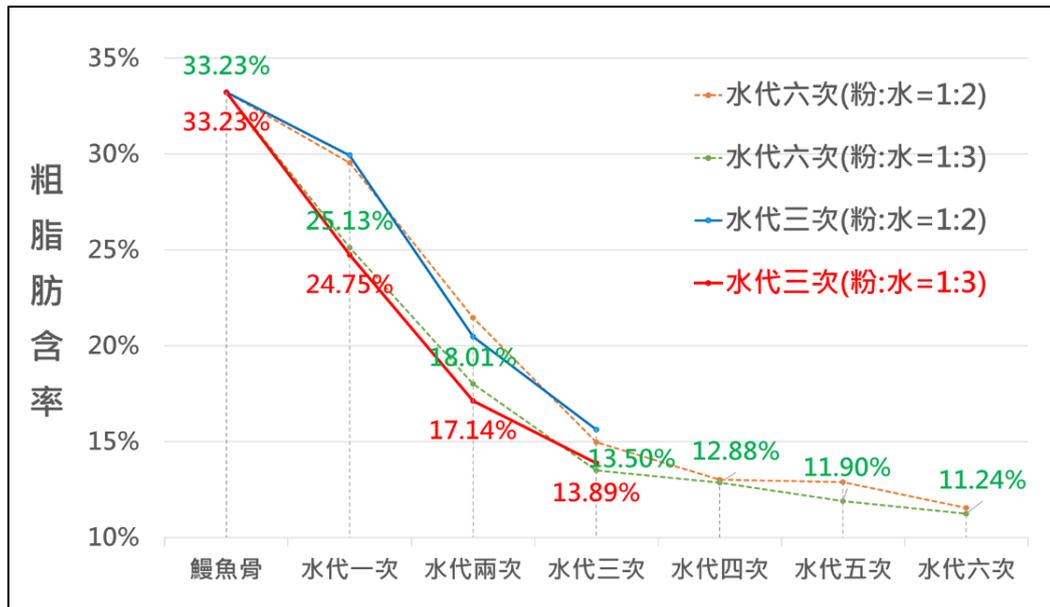
- 1、用研磨機粉碎魚骨，每 30 秒停 1 分鐘降溫，重複研磨 5 次。
- 2、以 90°C 熱水、粉水比 1：3，加入磨成漿狀的鰻魚骨泥中，並置於加熱板上恆溫加熱攪拌 2 分鐘後靜置 3 分鐘。
- 3、倒出上層油脂和肉末混濁懸浮液，將水代後的魚骨泥用起司布包裹加壓過濾，擠壓出多餘油脂。

4、重複上述步驟三次。



▲圖 3-8 水代六次的濾液比較（由左至右第四~六次濁度變化不大）

資料來源：學生拍攝。



▲圖 3-9 不同水代處理降低粗脂肪含率比較

資料來源：本研究實測數據製圖。

(三) 烘乾研磨製粉

實驗步驟：

水代後鰻魚骨先在預設溫度為 55°C 的烘箱處理 6 小時，達到均勻烘乾後進行粉碎，為確保產品的細緻度符合後續分析要求。這些步驟均在相同條件下製作三批，以驗證結果的重現性。



▲圖 3-10 水代法流程

資料來源：學生拍攝。

三、產品檢測分析方法

(一) 魚骨粉末物理性質檢測

粒徑大小和含水量會影響粉末適口性、加工性和保存時是否容易變質，食品規範建議粒徑應小於 $\phi 0.60\text{mm}$ 、含水量低於 5%。

1、粒徑大小：以標準篩 30 目 ($\phi 0.590\text{mm}$)、40 目 ($\phi 0.420\text{mm}$)、60 目

($\phi 0.250\text{mm}$)、80 目 ($\phi 0.177\text{mm}$) 測試粉末顆粒粗細。

2、含水量測定：以電子水分儀利用加熱器將樣品內的水份烘乾，儀器可自動測量乾燥前與乾燥後的重量差以此計算出樣本的含水率。

(二) 粗脂肪含量測定

檢測鰻魚骨處理前後的粗脂肪含量可以確定脂肪去除率，並確保粉末流動性和風味差異是本次研究最重要的目標。(粗脂肪定義：含中性脂外，亦含脂溶性色素及維生素、卵磷脂、生物鹼、游離脂肪酸及植物固醇等複合、衍生脂質。)

1、檢測方法：索氏脂肪萃取

(1) 原理：使用溶劑 (乙醚)，配合連通管及虹吸原理之方式萃取食品中之粗脂肪。將溶出物去除溶劑，殘留物秤重即得粗脂肪量。

優點：簡單、低成本、浸潤萃取完全。缺點：每組耗時 10 小時，效率低。

2、操作步驟：

(1) 精秤乾燥魚骨粉重 W ，倒入圓筒濾紙內，將圓筒濾紙上輕輕塞上脫脂棉以防止試樣損失，再將裝有樣品之圓筒濾紙放入萃取管中。

(2) 取已恆重之圓底燒瓶 (W_0)，於抽氣櫃內加入 $2/3$ 體積之乙醚後，組裝索氏

萃取裝置。冷凝管下方為冷水入口，上方為熱水出口，將水浴鍋設定 65°C，萃取迴流 10 小時。

(3) 卸下圓底燒瓶減壓濃縮至濃稠狀，乾燥恆重至最輕之重量 W_1 即完成。

$$\text{粗脂肪含率 (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W} \times 100$$



▲ 骨粉過篩



▲ 粉末含水量測定



▲ 粗脂肪測定裝置



▲ 萃取過程脂肪瓶

▲ 魚骨粉末物理性質檢測

▲ 魚骨粉粗脂肪含量測定

資料來源：指導教師拍攝。

資料來源：指導教師拍攝。

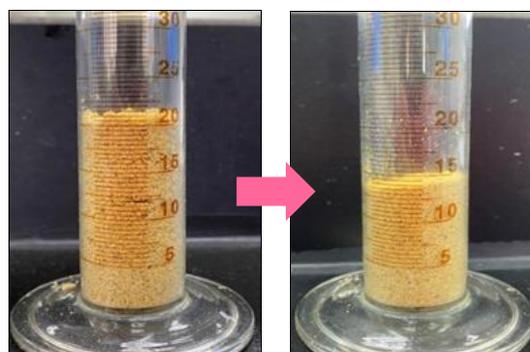
(三) 粉末流動性測試

目前台灣鰻魚廢棄物加工瓶頸在於油脂含量過高，造成研磨後成泥狀無法加工，因此粉末的流動性是評估各項成品能否進行加工再利用的關鍵指標（如表 3-2）。

1、壓縮性指數、豪斯納比：兩種指數都是反映粉末被壓縮時之性質，同時可評估顆粒間作用之相對重要性。本研究採量筒測量法（如圖 3-12），操作程序如下：

(1) 取 20g 精確稱重粉末，粒徑小於 0.60mm（至少通過 30 目標準篩）未經壓縮之檢品，倒入刻度間距為 1mL 之 100mL 量筒中，讀取視體積至最接近之刻度 V_0 （重覆測量兩份樣品取均值）。

(2) 將檢品以每分鐘拍打 50 次頻率，由 5mm 高度輕敲 50 下與 100 下，若差異大於 2mL 則再振動 50 下，直到前後兩次測量值之差異不大於 2mL，紀錄刻度 V_F （重覆測量兩份樣品取均值）。



▲ 圖 3-12 量筒測量法

資料來源：學生拍攝。

V_0 ：材料的堆積體積，即裝入容器的容積（ cm^3 ） V_F 為最終振實體積（ cm^3 ）

壓縮性指數公式計算： $100 (V_0 - V_F) / V_0$

豪斯納比值公式計算： V_0/V_F

2、粉末安息角（Angle of Repose）：安息角是將粉末倒在水平表面時產生的圓錐形角度（相對於水平面），安息角大小直接反應粉體的流動，安息角越小粉體的流動性越好，安息角與材料的密度、表面積、摩擦係數有關。

表 3-2 粉末流動特性對應係數關係

流動特性	壓縮性指數	豪斯納比	安息角
優	1-10	1.00-1.11	25-30
好	11-15	1.12-1.18	31-35
普通	16-20	1.19-1.25	36-40
勉強	21-25	1.26-1.34	41-45
較差的	26-31	1.35-1.45	46-55
很差	32-37	1.46-1.59	56-65
極差	>38	>1.60	>66

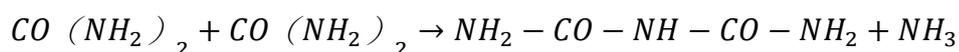
資料來源：食藥署規範，本研究整理。

（四）蛋白質呈色檢驗（定性試驗）

傳統魚骨製成鈣錠不需測定蛋白質含量，但本研究中有多样含有骨間肉製成的魚骨粉和胺基酸萃取物，因此進行兩種蛋白質呈色試驗，確定成品中蛋白質大略含量後再進行定量分析。

1、雙縮脲呈色反應（biuret reaction）

（1）原理：具有兩個或兩個以上胜肽鍵（醯胺鍵）的化合物在鹼性下與 Cu^{2+} 形成紫紅色錯鹽，在一定條件下，呈色深淺與蛋白質濃度成正比（不受分子量與組成影響），胜肽鍵越多越多 Cu^{2+} 能結合。



（2）操作步驟：魚骨粉上清液*3mL 中加入 3mL 的 10%氫氧化鈉溶液，均勻混合加入 0.5%硫酸銅溶液 3mL，觀察呈色變化並與血清蛋白標準液比較，反應物顏色可表示蛋白質含量，若呈紫紅色則該樣品含有二個以上胜肽鍵。

(*上清液：取各種魚骨粉 1g 加蒸餾水 10mL 以試管震盪 45 秒，離心 1 分鐘靜置，取試管上半無粉末的澄清液。)

2、薑黃蛋白質反應 (Xanthoproteic Test)

(1) 原理：含有環狀 (芳香族) 胺基酸的樣品；如酪胺酸、色胺酸、苯丙胺酸等，經濃硝酸作用後會發生硝基化 (nitration) 反應，產生黃色沉澱。

(2) 操作步驟：上清液 3mL 加入濃硝酸 3 mL 後加熱，產生黃色沉澱則代表樣品中含芳香環胺基酸。

(五) 蛋白質雙縮脲比色法 (定量試驗)

1、原理：與雙縮脲成色反應相同，確定魚骨粉浸泡水中有蛋白質溶出後，以分光光度計做定量檢測。定量標準品檢量線後，以迴歸方程式內差測定蛋白質含量。

2、試劑製備：

(1) 標準蛋白質溶液：以標準的結晶牛血清蛋白 (BSA) 配製成 10mg/mL 的標準蛋白質溶液 (1g 血清蛋白配製成 100mL 溶液)。

(2) 雙縮脲試劑：取 1.50g 硫酸銅和 6.0g 酒石酸鉀鈉，以 500mL 水溶解，在攪拌下加入 300mL 10% NaOH 溶液，加水稀釋至 1L，貯存於深色瓶 (遮光)。

3、標準曲線的測定：

(1) 取 12 支試管分兩組，分別加入 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL 的標準蛋白質溶液，用水補足到 1mL，然後加入 4mL 雙縮脲試劑。

(2) 充分搖勻後在室溫放置 30 分鐘，未加蛋白質溶液的第一支試管作為空白對照液，進行波長 540nm 比色測定。

(3) 各濃度取兩組測定平均值，以蛋白質的含量為橫座標，光吸收值為縱座標繪製標準曲線。

4、樣品測定：

(1) 取魚骨溶液 1mL 上清液中加入雙縮脲試劑 4mL，靜置於室溫下 30 分鐘，使樣品中的胾肽鍵與銅充分反應。

(2) 未加蛋白質溶液的第一支試管作為空白對照液，利用波長 540nm 的分光光度計測定吸光值，取兩組測定平均值。

5、蛋白質含量計算方法：

(1) 繪製標準曲線：以橫軸（X 軸）為蛋白質標準溶液的濃度，縱軸（Y 軸）為吸光值作圖，並利用直線迴歸找出此圖的直線方程式（ $Y = aX + b$ ），然後將所測得的吸光值代入方程式中的 Y，即可求得骨粉的蛋白質含量。

(2) 鰻魚骨粉蛋白質含量： $\boxed{\text{鰻骨中蛋白質含量 (\%)} = C * 10 / W * 100}$

C：上清液蛋白質含量（mg/mL）；W：魚骨粉樣品重量（g）

（五）TGA 熱重分析（Thermogravimetric Analyzer，TGA）

- 1、原理：將樣品置於加熱爐中，透過程序控溫（升溫至 880°C）並在通入氮氣的環境下，隨著升溫使得魚骨粉中水分（約 100°C）、有機物質被分解破壞（約 300-400°C）剩下的無機化合物即為灰分，此時透過高靈敏度的天平記錄樣品隨溫度或時間的重量變化，即可判定灰份含量。
- 2、目的：將粗灰質含量與文獻鰻骨粉成分比較，並推估鰻魚骨粉中鉀、鎂、鈣等礦物質含量，研究各前處理對礦物質保留的效果。



▲圖 3-13 熱重分析加熱中與灰質秤重

資料來源：指導教師拍攝。



▲圖 3-14 凝膠滲透裝填與分析中

資料來源：指導教師拍攝。

（六）GPC 凝膠滲透層析（Gel Permeation Chromatography）

- 1、原理：將樣品適當溶解後，經流動沖提進入一系列管柱時，管柱會填充交鏈凝膠（苯乙烯/二乙烯苯共聚物），其中包含表面孔隙。這些孔隙有大有小，充當分子過濾器，較大的分子進不了較小的孔隙，反之較小的分子進得了大部分孔隙，可以滯留更久時間，藉此得知此聚合物中相對分子量的分布。
- 2、目的：分析魚骨粉的蛋白質及胜肽類分子的含量與分布，進而了解魚骨粉不同的鮮味與風味成因或所具備之生理活性。

肆、研究結果與討論

一、各種前處理方式對骨粉產率與粒徑檢測分析

魚骨粉末物理性質檢測結果整理如表 4-1。

表 4-1 各項前處理的骨粉產率、含水量與粒徑

前處理方式	原重 (g)	後重 (g)	骨粉生成率 (%)	含水量 (%)	過篩 (目)	
氫氧化鈉浸泡	300.2	38.4	12.8	4.07	80	
水 代 法	未前處理	300.2	69.55	23.2	4.93	80
	烘一天	300.4	59.87	19.9	4.35	40
	烘兩天	300.2	60.95	20.3	3.82	30
	烘三天	300.7	61.77	20.5	1.99	30
	食鹽水	300.5	48.21	16.0	5.00	40
	高壓水洗	300.7	42.21	14.0	3.12	60
酵 素 處 理	未前處理	300.5	39.41	13.1	3.45	80
	烘一天	300.6	51.47	17.1	2.41	X
	烘兩天	300.5	55.16	18.4	2.27	X
	烘三天	300.1	50.28	16.8	2.69	X

資料來源：本研究實測數據整理。

- (一) 前處理的鰻魚骨粉產率均為 12%~24%之間，若將廢棄鰻骨原本含水率達 50-54% 列入考慮以及過程中部分耗損，鰻骨固體廢棄物再利用率高達 50%以上。
- (二) 各製程的骨粉經過烘乾都達到含水量 5%以下，長時間密封保存皆不易變質，粒徑也符合食品加工規範和適口性。
- (三) 國外文獻的鰻骨處理方式，效果不突出，產業利用機會不高。
 - 1、氫氧化鈉處理：烘乾的魚骨呈潔淨白骨狀態，研磨粉末質地細緻，可通過 120 目篩網，但氣味、口感不佳，僅具礦物質味道，且經清洗浸泡 25 次（1L 純水/次），pH 值仍高達 9.23，甚至烘乾時造成鋁箔紙上有大量腐蝕黑色斑點，製程產生之鹼性廢水量極多，不適合水資源短缺的台灣使用。
 - 2、酵素處理：在不同前處理有差異極大的結果，且都失去原有鰻魚香氣。未前處理魚骨直接浸泡酵素後竟得到類似氫氧化鈉處理後狀態；烘乾前處理魚骨在浸泡脂肪酶震盪作用時出現結塊，可能是油脂分解產生脂肪酸酯、單甘油脂和雙甘油脂

後造成分子間膠結的作用，經過一次水代與研磨後，粉末還是不易散開，導致無法過篩，因此評估並不適合作為食品添加物。



▲圖 4-1 各前處理鱈魚骨粉
資料來源：指導教師拍攝。

二、鱈魚骨粉末流動性檢測結果

將實驗數據整理成表 4-2，並與表 3-2 粉末流動特性對應係數關係進行比較（如圖 4-2）。

表 4-2 各項前處理的粉末流動性指數

前處理方式	V_0	V_F	豪斯納比 (V_0/V_F)	安息角 (度)
氫氧化鈉浸泡	19.0	17.0	1.12	32.0
未前處理	18.0	15.5	1.16	40.5
烘一天	20.0	16.5	1.21	38.5
烘兩天	20.5	17.0	1.21	40.5
烘三天	21.0	17.0	1.24	39.0
食鹽水	21.8	18.5	1.18	39.5
高壓水洗	22.0	19.0	1.16	34.5
酵素處理	18.5	15.5	1.19	40.0
未前處理	X	X	X	X
烘一天	X	X	X	X
烘兩天	X	X	X	X
烘三天	X	X	X	X

資料來源：本研究實測數據整理。

不含魚肉的前處理製作魚骨粉流動性優於含有魚肉前處理，魚肉纖維和油脂都會造成流動性下降，**經水代法處理後，流動性已符合食品加工標準**，而烘乾前處理再以酵素分解，會產生嚴重膠結無法測定流動性。

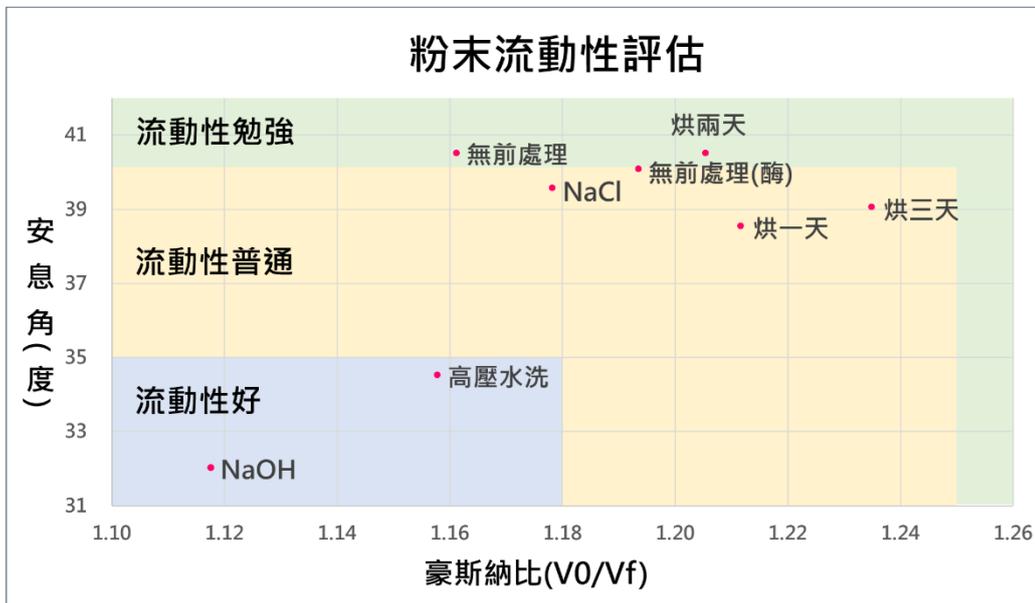
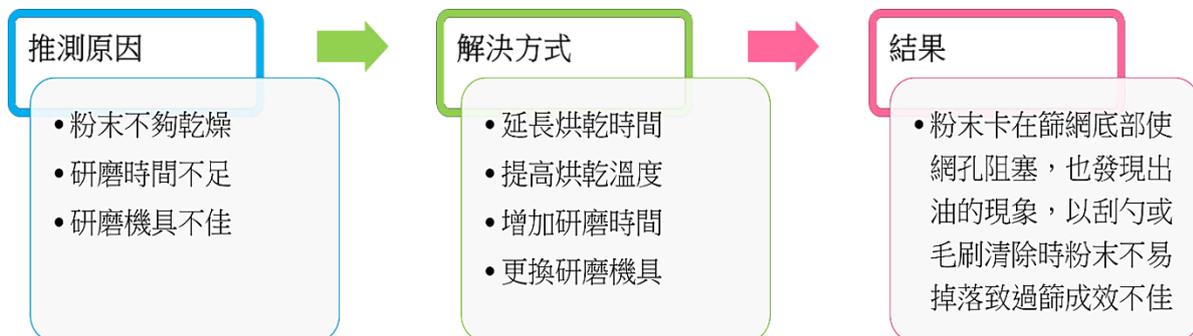


圖 4-2 各項前處理的粉末流動性

資料來源：本研究實測數據整理。

三、魚骨粉粒徑與流動性分析

研究初期設定目標為解決鰻魚骨含油量高，無法加工應用的問題，經使用水代法、酵素處理、氫氧化鈉浸泡等方法皆可有效降低油脂含量，但只有氫氧化鈉前處理之粒徑可通過 100 號篩 ($\varphi 0.150\text{mm}$)，流動性最佳。因此，我們在實驗中推測不同流動性和過篩差異原因並改變步驟重新進行測試。



進一步探討並翻查文獻，發現粉末過篩和流動性影響因子極多，除了粉末粒徑、含水量還有顆粒形狀、表面結構、比表面積、吸水性、內聚力、油脂含量都會影響魚骨粉間架橋、分子結合力。我們也經由粗脂肪萃油實驗後的骨粉樣本發現，流動性和過篩情況都有大幅度改善，因此確認**油脂含量是影響魚骨粉流動性最主要的原因**。

經實驗數據分析顯示，流動性較佳的前處理方式，其**粗脂肪含量應低於 15%**，此數值應可做為日後鰻魚加工製粉的測試標準。

四、鰻魚骨粉粗脂肪含量測定與分析

將魚骨粉粗脂肪含量測定結果整理成表 4-3。

表 4-3 各處理法粗脂肪含量

前處理方式	魚骨粉重 (g)	空脂肪瓶重 (g)	脂肪瓶+粗脂肪重 (g)	粗脂肪含率 (%)	
鰻魚原骨	5.05	165.0278	166.7057	33.23	
虱目魚原骨	5.10	165.0335	165.7221	13.50	
鱸魚原骨	5.08	165.0295	165.4206	7.70	
氫氧化鈉浸泡	5.02	165.0289	165.0659	0.74	
水代法	未前處理	5.09	165.0377	165.7447	13.89
	烘 1 天	5.02	165.0374	165.6112	11.43
	烘 2 天	5.10	165.0274	165.7480	14.13
	烘 3 天	5.20	165.0180	165.6425	12.01
	食鹽水	5.13	165.0319	165.1683	2.66
	高壓水洗	5.02	165.0297	165.4144	7.66
酵素處理	未前處理	3.73	165.0326	165.0502	0.47
	烘 1 天	4.07	165.0339	165.9730	23.07
	烘 2 天	4.81	165.0270	165.6223	12.38
	烘 3 天	4.60	165.0217	165.8602	18.23

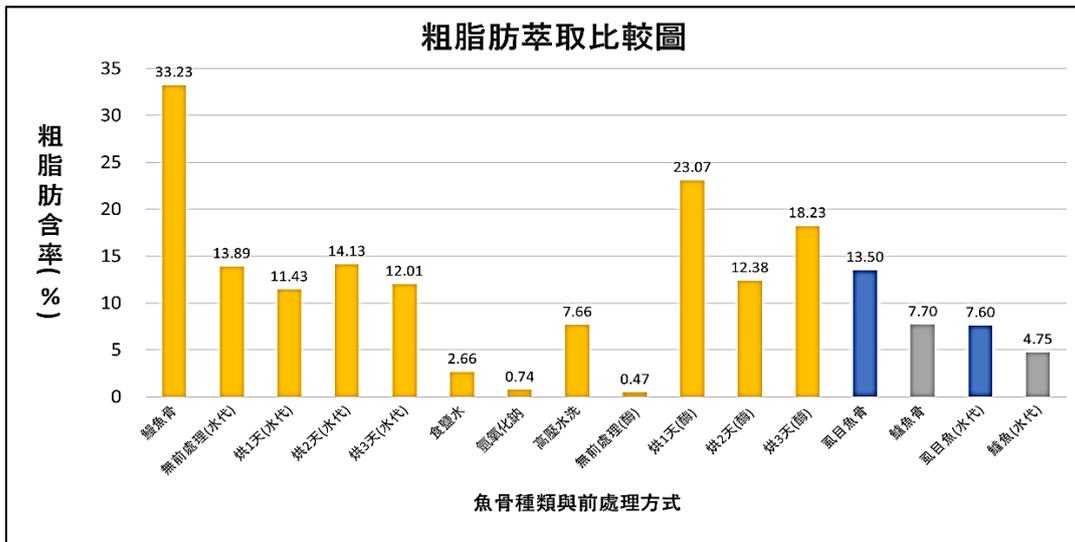
資料來源：本研究實測數據整理。

(一) 文獻與實測鰻魚骨粗脂肪含量差異非常大

早期文獻的數據為 10~28% (韓玉山, 1998, 日本鰻的銀化：季節、年齡、體型與脂肪)，中國鰻魚網則有提到產卵前日本鰻體脂肪可達 60%。近年隨著飼養技術、飼料配方都會造成粗脂肪含量差異變動，**本研究測定三次不同條鰻魚骨粗脂肪均介於 37~31%之間，推測應為養殖地域及餵食飼料組成差異性所導致。**

(二) 水代法前處理和食鹽水浸泡去除脂肪效果佳

經研究證實可以降低魚骨粉粗脂肪含量高達 60%-90% (如圖 4-3)，成功使得鰻魚骨達到與其他養殖魚骨相似加工處理條件。而食鹽水前處理的確如國外文獻可以大幅減少魚骨脂肪含率，幾乎達到跟氫氧化鈉處理相近的效果，如果是作為鈣質加工品，建議使用食鹽水搭配水代法為最佳工法，不僅製程環保，在風味上比氫氧化鈉處理更具鰻魚特色氣味。



▲圖 4-3 各項前處理之粗脂肪含量

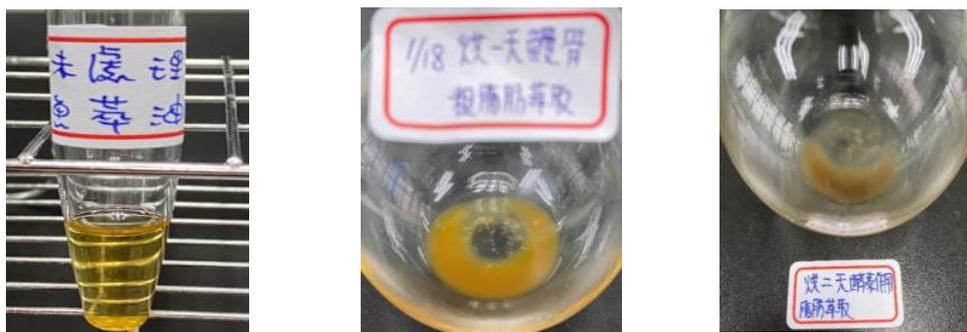
資料來源：本研究數據製圖。

(三) 酵素處理成本高且效益不大

在各項檢測實驗都沒有顯現特別優異數據，成本高昂且無法比水代法製作出更佳的鰻魚風味食品添加物。

(四) 不同前處理萃取之粗脂肪濁度差異大

烘乾前處理的粗脂肪萃取物比其他前處理混濁（如圖 4-4），應為乾燥魚骨在研磨時產生極細緻的粉末，又長時間萃取因虹吸壓力通過濾紙孔隙所致，因雜質多也會影響烘乾處理魚骨粗脂肪含量計算數值。



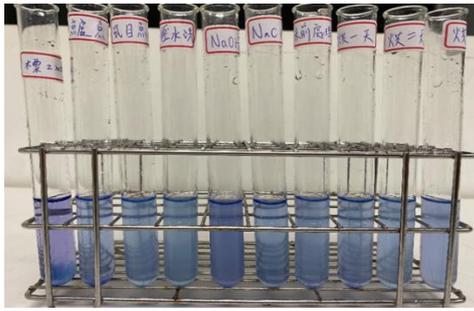
▲圖 4-4 未處理鰻骨、烘乾前處理、酵素前處理之萃油比較（左至右）

資料來源：學生拍攝。

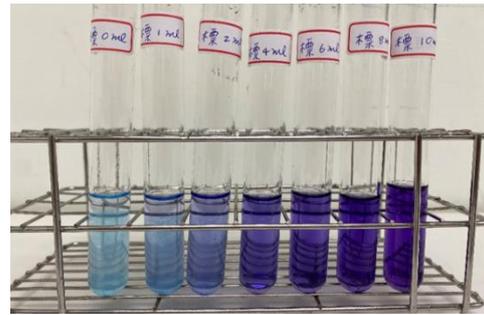
五、鰻骨粉蛋白質含量測定與分析

(一) 雙縮脲呈色實驗

經過水代法、氫氧化鈉、酵素各項前處理的魚骨粉末，含有可溶性蛋白質物質都不多，與標準液比色，僅約 0~2mg/mL 的蛋白質，後續將用分光光度計精準定量。



▲圖 4-5 血清蛋白標準液呈色
(由左到右每管濃度增加 2mg/mL)
資料來源：學生拍攝。



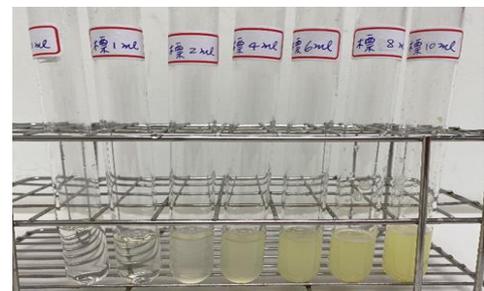
▲圖 4-6 魚骨粉樣品呈色
(左為 2mg/mL 標準液)
資料來源：學生拍攝。

(二) 薑黃蛋白質反應

由於蛋白質含量極少，本呈色實驗無法有明顯結果可以判斷。



▲圖 4-7 血清蛋白標準液呈色
資料來源：學生拍攝。



▲圖 4-8 魚骨粉樣品呈色 (左為空白實驗)
資料來源：學生拍攝。

(三) 蛋白質雙縮脲比色法定量

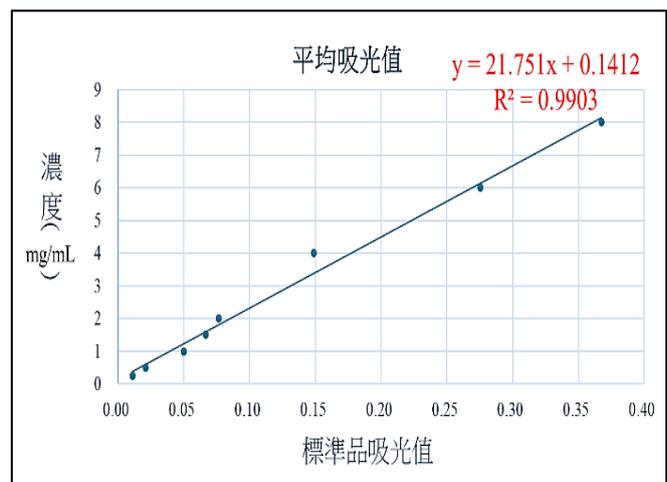
1、血清蛋白標準液回歸線測定： $Y=21.751X+0.1412$ ； $R^2=0.9903$ (圖 4-9)。

Y：蛋白質濃度；X：吸光值。

表 4-4 血清蛋白標準線吸光測定

濃度 (mg/mL)	吸光值 1	吸光值 2	平均 吸光值
0.25	0.007	0.015	0.011
0.50	0.019	0.023	0.021
1.00	0.050	0.050	0.050
1.50	0.069	0.064	0.067
2.00	0.083	0.070	0.077
4.00	0.094	0.204	0.149
6.00	0.212	0.339	0.276
8.00	0.356	0.379	0.368

資料來源：本研究實測數據整理。



▲圖 4-9 血清蛋白標準線吸光測定
資料來源：本研究數據製圖。

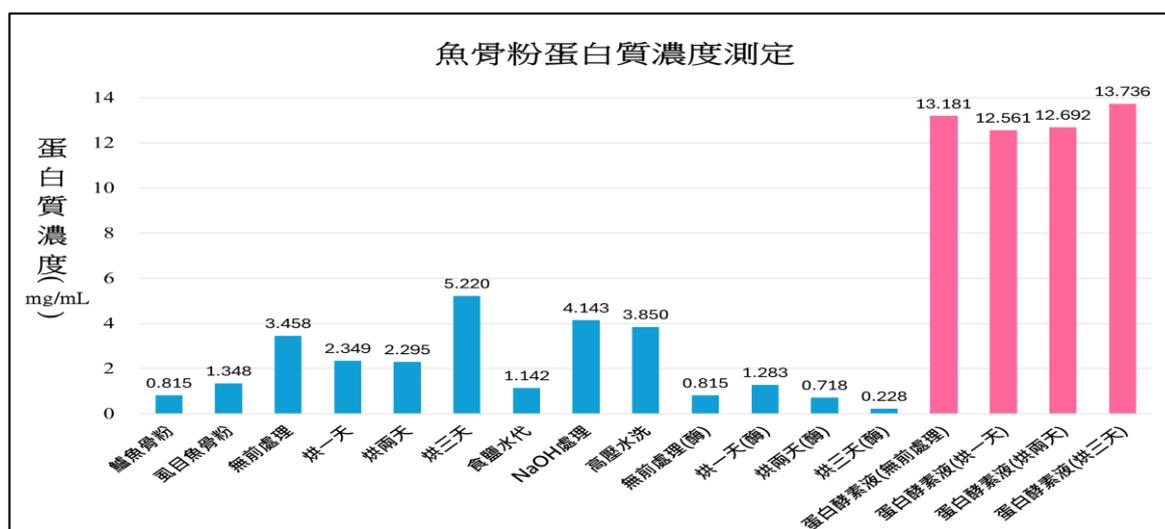
2、魚骨粉樣品依吸光度換算蛋白質濃度（表 4-5）

表 4-5 各項前處理的骨粉蛋白質濃度

品項	吸光值 1	吸光值 2	平均吸光值	蛋白質濃度 (mg/mL)	骨粉蛋白質含率 (%)	
鱸魚骨粉	0.031	0.031	0.031	0.815	0.82	
虱目魚骨粉	0.056	0.055	0.056	1.348	1.35	
氫氧化鈉浸泡	0.185	0.183	0.184	4.143	4.14	
水代法	未前處理	0.151	0.154	0.153	3.458	3.46
	烘一天	0.101	0.102	0.102	2.349	2.35
	烘兩天	0.098	0.100	0.099	2.295	2.29
	烘三天	0.239	0.228	0.234	5.220	5.22
	食鹽水	0.047	0.045	0.046	1.142	1.14
	高壓水洗	0.172	0.169	0.171	3.850	3.85
酵素處理	無前處理	0.033	0.029	0.031	0.815	0.82
	烘一天	0.049	0.056	0.053	1.283	1.28
	烘兩天	0.027	0.026	0.027	0.718	0.72
	烘三天	0.003	0.005	0.004	0.228	0.23
蛋白酶液	未前處理	0.570	0.629	0.600	13.181	
	烘一天	0.573	0.569	0.571	12.561	
	烘兩天	0.570	0.584	0.577	12.692	
	烘三天	0.620	0.630	0.625	13.736	

資料來源：本研究實測數據整理。

- (1) 實驗顯示未經任何處理的魚骨，蛋白質含量較高，而酵素處理過魚骨粉蛋白質含量極低，且製成魚骨粉後聞起來失去鰻魚香氣，推論應為蛋白質已分解並溶入水解液中，實測也顯示水解液蛋白質含量大增（如圖 4-10）。
- (2) 鰻魚骨在水代處理後，仍保有相當的蛋白質成分，能作為具營養價值且有鰻魚香氣特色之食品添加物。



▲圖 4-10 各項魚骨粉蛋白質濃度測定

資料來源：本研究數據製圖。

六、GPC 凝膠滲透層析結果

將各種處理方式的魚骨粉所含相對分子量數據整理成表 4-6（原始資料與峰值圖，因版面有限，附在實驗記錄本中），並以圖 4-11 說明相對分子量的分布情況。

表 4-6 各處理法相對分子量

Peak	未前處理	烘 1 天	烘 2 天	烘 3 天	食鹽水	氫氧化鈉	高壓水洗	未前處理 (酶)	烘一天 (酶)	烘兩天 (酶)	烘三天 (酶)	
P1	Mw(g/mol)	1524	12291	8297	9409	1568	1564	1542	1513	1780	1565	1690
	Mn(g/mol)	1503	8335	6937	7290	1545	1546	1522	1430	1359	1297	1357
	PDI(Mw/Mn)	1.01	1.47	1.20	1.29	1.01	1.01	1.01	1.06	1.31	1.21	1.25
	%	80.92	16.21	6.02	13.59	65.97	19.78	88.39	35.83	48.37	48.01	47.61
P2	Mw(g/mol)	612	3225	3204	3196	630	1069	629	569	502	500	501
	Mn(g/mol)	605	3167	3240	3149	612	1058	623	539	485	483	484
	PDI(Mw/Mn)	1.01	1.02	0.99	1.01	1.03	1.01	1.01	1.06	1.04	1.04	1.04
	%	15.02	8.73	5.73	8.45	15.85	5.95	7.55	9.2	46.26	47.03	47.54
P3	Mw(g/mol)	445	1563	1577	1553	456	613	464	253	247	245	248
	Mn(g/mol)	442	1529	1549	1520	452	601	460	248	240	238	243
	PDI(Mw/Mn)	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.03	1.03	1.02
	%	2.71	62.88	80.13	66.2	4.98	47.45	3.09	54.97	5.37	4.96	4.85
P4	Mw(g/mol)	253	635	629	621	261	261	256	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Mn(g/mol)	251	629	624	615	256	259	253	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	PDI(Mw/Mn)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	%	1.36	7.01	4.67	8.16	13.2	26.82	0.96	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
P5	Mw(g/mol)	N.D.	456	457	452	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Mn(g/mol)	N.D.	452	452	448	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	PDI(Mw/Mn)	N.D.	1.01	1.01	1.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	%	N.D.	3.49	2.4	2.61	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
P6	Mw(g/mol)	N.D.	275	262	267	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Mn(g/mol)	N.D.	270	259	264	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	PDI(Mw/Mn)	N.D.	1.02	1.01	1.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	%	N.D.	1.68	1.05	0.98	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

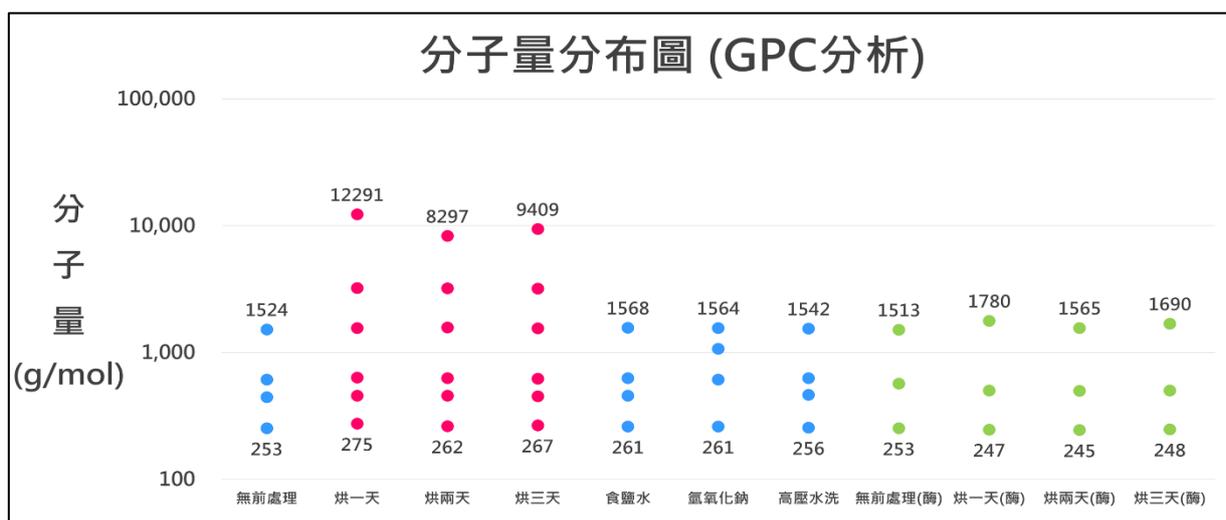
資料來源：本研究實測數據整理。

（一）平均分子量與分佈指數計算與意義

- 1、重量平均分子量 M_w ：按照聚合物的重量進行統計平均的分子量，各聚體的分子量乘以其重量分數的總和。
- 2、數目平均分子量 M_n ：按聚合物中含有的分子數目統計平均的分子量，高分子樣品中所有分子的總重，高分子樣品所有分子總重量除以其莫耳總數。
- 3、由於高分子的分子量不均一的特性，稱為分子量的多散佈性（Polydispersity）。

測得高分子的分子量都是平均分子量，還需要了解分子量散佈程度，以分子量分佈指數（PDI）表示，即重量平均分子量與數目平均分子量的比值（ M_w / M_n ）。

M_w / M_n	1	1.5~5	20~50
分子量分佈情況	均一分佈	分佈較窄	分佈較寬



▲圖 4-11 各處理方式的魚骨粉相對分子量分布圖

資料來源：本研究數據製圖。

(二) 分子量與產品風味分析

經過烘乾前處理的魚骨粉有明顯鰻魚香氣，推測與蛋白質及魚油含量多寡有關，而氫氧化鈉處理、高壓水洗處理的骨粉蛋白質含量也超過 2%，但粉末無香氣，利用 GPC 分析可清楚了解其中差異。

- 1、**烘乾前處理的魚骨粉具有較廣的分子分佈，峰值從 10000g/mol 大分子到數千、數百的胜肽類分子皆有，應是造成粉末風味層次較豐富的原因。**對照烘乾前處理後經過酵素分解的鰻骨粉，其分子量分佈與食鹽水代法處理、氫氧化鈉處理、高壓水洗類似，粉末的氣味也較單調沒有特色。
- 2、鰻魚骨經前處理得到的魚肉胜肽分子，營養價值高容易吸收，更具備減少脂肪堆積、增加骨骼肌肉合成效率及提升免疫力的功能。

(三) 酵素水解生態之生理活性

經酵素處理之水解液，以 GPC 分析其分子量約落在 1,500Da 左右，意即其中由 10-11 個胺基酸所組成之胜肽為大宗。從 database of food-derived bioactive peptides (DFBP) 資料庫中搜尋，得到水生動物所衍生之 10-11 胜肽的序列生理活性資料

共 47 筆，其中主要具備抗高血壓與抗氧化兩種生理活性。此些胜肽有多數為血管收縮素轉化酶的抑制劑，可抑制人體第二型血管收縮素的生成，從而提供降低血壓的機能。但因所列物種多為一般魚類或貝類，與鰻魚有一定之演化差異，因此確切之胜肽生理活性仍需進一步進行胺基酸定序方能確認，但此些資料也側面證明本次所生產之水解胜肽具有作為機能性食品之潛力。

七、TGA 熱重分析結果

因學校沒有可由灰質分析其中微量元素的技術與儀器，因此參考賴永順、王弘毅

(1980) 研究中的無機物比例進行換算。本研究中各項前處理灰質沒有因前處理方式不同而變化，顯示前處理並不會影響灰質含率，各項鰻魚骨副產品都能提供對人體有益吸收的鰻魚鈣、磷質。

表 4-7 各種前處理灰質與鈣、磷質含率

前處理方式	骨粉生成率(%) (粉重/鰻骨重)	TGA 測定鰻骨粉 灰質含率(%)	換算處理前 灰質含率(%)	鰻骨粉* 鈣質含率(%)	鰻骨粉* 磷質含率(%)	
氫氧化鈉	12.8	59.95	7.67	12.9	7.4	
水代法	未前處理	23.2	11.26	10.5	6.0	
	烘一天	19.9	7.65	8.3	4.7	
	烘兩天	20.3	8.40	8.9	5.1	
	烘三天	20.5	6.88	7.2	4.1	
	食鹽水	16.0	43.62	7.00	9.4	5.4
	高壓水洗	14.0	51.54	7.24	11.1	6.3
醇素處理	未前處理	13.1	7.62	12.5	7.1	
	烘一天	17.1	7.06	8.9	5.1	
	烘兩天	18.4	8.75	10.3	5.9	
	烘三天	16.8	43.60	7.31	9.4	5.4

資料來源：鰻魚骨粉鈣質、磷質含率是參考賴永順、王弘毅 (1980) 進行推算。

八、水代法廢液的濃縮鰻魚油分析

水代法處理鰻魚骨的廢液回收再利用也是研究的重點。水代過程起司布擠壓後會滲出許多綿密油泥狀物質，色澤偏灰但有鰻魚香氣，將其與廢液一同收集、離心、分離、濃縮，可得到鰻魚油和胺基酸萃取液。 ω -3 脂肪酸多存在於深海魚類中，而鰻魚屬於周緣性淡水魚，亦含有相當豐富的 DHA、EPA，經研究分析顯示鰻魚油安定性與一

般食用油脂相比差異不大（如表 4-8、4-9），表示水代法處理後的鰻魚油確實有可開發性，後續希望有機會可以再針對鰻魚油、胺基酸濃縮液的純化與保存應用進行研究。

表 4-8 鰻魚骨油脂成分

	酸價 (mg/g)	皂化價 (mg/g)	碘價 (mg/g)	過氧化價 (meq/kg)	比重
鰻魚骨油	0.829	178.70	134.5	0.950	0.9218

表 4-9 鰻魚油脂肪酸組成

類型	飽和脂肪酸 (SFA) 30.33%				未定性脂肪酸
	C12	C14	C16	C18	
含量 (%)	0.63	4.1	22.4	3.2	8.24
類型	單元不飽和脂肪酸 (MUFA) 47.9%				
	C _{16:1}	C _{18:1n7c}	C _{18:1n9c}	C _{20:1}	
含量 (%)	7.8	2.6	33.6	3.9	
類型	多元不飽和脂肪酸 (PUFA) 13.53%				
	C _{18:2}	C _{18:3 (ALA)}	C _{20:5 (EPA)}	C _{22:5 (DPA)}	C _{22:6 (DHA)}
含量 (%)	8.2	0.78	1.05	1.07	2.43

資料來源：本研究實測數據整理。

九、產品風味與口感品測

有鑑於台灣消費者對於食品的香氣、口感、色澤比較重視，也喜愛購買在地風味產品，例如：「大湖草莓」口味、「玉井愛文芒果」口味、「屏東石斑魚」、「關山米」製品等，因此製成鰻魚骨粉後，將成品寄給 OO 漁會委由專業行銷、研發人員品測氣味、滋味、外觀、色澤，漁會認為烘兩天和三天的鰻骨經過水代、研磨後的成品口感佳，不會有腥味或刺辣感，且能保留鰻魚特殊香氣，是被業者接受和有意願運用的食品添加物。

十、鰻魚骨粉製品安全性評估

鰻魚骨粉樣品送給 OO 漁會後，有建請漁會進行更多的安全性測試，以確保鰻魚骨粉的安全性符合食品安全標準。漁會回覆重金屬濃度檢驗資料，每種製程採樣三次求平均，結果顯示重金屬含量均未超標（如表 4-9），確保研究中的魚骨粉符合食品衛生標準，證實安全無虞，未來在食品加工的應用上更具價值。

表 4-9 鰻魚骨粉重金屬含量（單位 ppm）

	銅	鉛	鎘	汞	砷
限量標準	5	0.3	0.05	2	0.5
測量值	0.198~1.610	N.D.~1.350	N.D.~0.143	N.D.~0.050	N.D.~0.091
測量平均值	0.604	0.299	0.033	0.015	0.031

資料來源：OO 漁會檢測，本研究數據整理。

伍、結論

一、台灣養殖鰻魚油脂含量達 33.23%，較養殖虱目魚（13.5%）、鱸魚（7.7%）高出數倍。

二、各種鰻魚骨前處理優缺點比較與應用分析

國內外相關研究顯示，目前鰻魚廢棄物的應用方向多是將廢棄鰻魚骨製作成鈣粉，因此本研究對再利用的處理方式探討有四大方向（1）多元應用（2）高附加價值（3）節能減碳（4）步驟簡便、成本低廉。

經本研究實測後，建議將鰻魚骨以 45°C 烘乾兩天，在 80~90°C 熱水、粉水比 1:3 的條件下，進行三次水代，可降低脂肪含率至 10%，再搭配下列不同前處理製成多元的鰻魚產品：

- （一）低溫烘乾前處理：最推薦採用的方式，烘乾處理後的魚骨氣味佳，經水代法處理的骨粉呈黃褐色到棕色類似魚鬆，符合本地消費者喜好。且經離心過濾的廢水可回收再使用於水代法。
- （二）食鹽水浸泡製作鈣粉：取代氫氧化鈉、高壓水洗處理，可避免化學物質殘留，能作為鈣錠和相關營養補充品，但廢液因為鹽分較高不適合再做胺基酸萃取。

表 5-1 各項製程比較

製作方式	低溫烘乾+水代法	食鹽水處理	氫氧化鈉 高壓水洗	酵素處理	傳統水煮法
能源消耗	低	低	低	高	高
鰻骨再利用率	高	低	低	中	低
產品營養價值	高	低	低	中	低
風味	佳	不佳	不佳	普通	不佳
主要產品	風味魚骨粉 胺基酸萃取物 鰻魚油	魚骨鈣粉	魚骨鈣粉	胺基酸萃取物	魚骨鈣粉

資料來源：本研究數據分析。

三、**魚骨粉營養價值高**：水代後的骨粉能保有鰻魚香氣且含有蛋白質（2~3%）、鈣（8%）、磷質（4%），且鰻魚骨粉好吸收對腎臟負擔小，非常適合作為食品添加物。

四、**水代法廢液可萃取鰻魚油、胺基酸抽取物**：前處理溫度低、時間短，對魚油 DHA、EPA 破壞性不高，廢液經處理可以得到鰻魚胺基酸萃取液和鰻魚油，經濟價值高且充分利用鰻魚骨和水代廢液，大幅節省水資源。

五、水代法製成的鰻魚骨粉末流動性和含水率達到加工標準，提供鰻魚廢棄物新的處理方式，解決漁會困擾已久的問題。

六、鰻魚廢棄物再利用協助鰻魚養殖產業更環保永續的發展：傳統養殖產業將鰻魚廢棄以掩埋、焚燒或打成飼料方式處理，經由水代法處理鰻魚骨最具潛力，從生產、應用到最終處理對環境的衝擊最小（如表 5-2），達成永續漁業功能。

表 5-2 鰻魚骨處理碳排放比較

處理方式	處理中產物	處理後產物	碳排放係數* (公斤 CO ₂ e/公噸)	產物處置
掩埋法	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O H ₂ S、NH ₃ 、臭氣	廢水、廢地	1500~2708	掩埋
焚燒法	電能、CO ₂ 、有毒氣體	飛灰、殘渣	360~1300	掩埋
飼料法	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O H ₂ S、NH ₃ 、臭氣	廢水、沼氣、飼料	100~450	農業生產
水代法	無	魚骨粉、胺基酸 液、魚油、廢水	80~150**	經濟產物

*碳排放係數在文獻差異很大，數據綜合參考台大、屏科大、農傳媒與環保署網站。

**水代法碳排係數是以一噸魚骨使用三噸自來水以及耗電 150 度概估。

資料來源：本研究數據分析。

七、處理鰻魚骨成本效益分析

進行成本統計分析，有助於評估每種方法的經濟可行性，並為可能的商業應用提供基礎評估。研究過程採小批量製作，各製程成本都較高，經分析比較後（如表 5-3），**低溫烘乾的水代處理極具商業運用價值潛力。**

表 5-3 鰻骨處理製品與現有處理成本分析（\$：每公斤鰻魚骨處理費用，新台幣）

處理技術	原料成本	處理成本	總成本	預計收益	淨收益	
傳統	焚燒掩埋	\$0	\$5	\$5	發電\$0.8	不符效益
	飼料製作	\$0	\$3	\$3	飼料\$4	\$1
本研究 方法	低溫烘乾	\$0	\$5	\$5	魚骨粉\$7 胺基酸萃取液\$8 魚油\$3	\$13
	食鹽水浸泡	\$2	\$2	\$4	鈣粉\$6	\$2
	氫氧化鈉浸泡	\$12	\$1	\$13	鈣粉\$6	不符效益
	酵素處理	\$700	\$5	\$705	鈣粉\$6	不符效益

原料成本：原材料、化學品費用；處理成本：過程中使用的能源和勞動力費用。

資料來源：本研究數據整理。

陸、參考文獻資料

論文期刊

1. 劉金海, 黃世玉, 黃玉英, & 關瑞章. (2012). 鰻魚肝臟和骨中脂肪酸測定及比較. *食品科學*, 33(4), 223 - 225.
2. 賴永順, & 王弘毅. (1980). 由鰻骨抽取油脂之研究. *台灣省水產試驗所試驗報告*, 32, 443 - 446.
3. 賴愛姬. (1996). 鰻骨粉與碳酸鈣為鈣源對老鼠鈣利用效果之比較. *臺灣營養學會雜誌*, 21(2).
4. 高淑雲, & 吳純衡. (2011). “肽”重要-魚肉胜肽的功能. *水試專訊*, 33, 39 - 40.
5. 劉劍音. (2010). 水代法製備芝麻油之研究.
6. 張永鍾. (n.d.). 油脂分析方法.
7. 蘇肇偉. (2001). 養殖漁業廢棄物之有效處理與應用之研究. (碩士論文, 中國文化大學). 臺灣博碩士論文知識加值系統. <https://hdl.handle.net/11296/m74448>
8. 高淑雲, & 吳純衡. (2015). 鰻魚副產品加工技術及應用. *水產專訊*, 50, 14 - 16.
9. 日本專利特開 2006-312674 ; 2007-82464 ; 特願 2000-192804 ; 特開 2006-213627.

網路資料

10. 鰻主題館. (n.d.). 農業知識入口網. <https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=28820>
11. 楊, 秋忠. (2023, 6 月 28 日). 全球減碳排的基盤：有機廢棄物處理. *豐年雜誌*. 取自 <https://www.agriharvest.tw/archives/103486>
12. Adeoti, I. A. (2021). Utilization of fish processing waste: A waste to wealth approach. ResearchGate. 取自 https://www.researchgate.net/publication/357620423_Utilization_of_Fish_Processing_Waste_A_Waste_to_Wealth_Approach

【評語】 032909

本作品利用低溫烘乾前處理與水代法，處理過往因含油量高而不易再
利用的鰻魚魚骨。處理液可進一步開發為胺基酸萃取物和鰻魚油，食
鹽水浸泡取代強鹼處理也減少了製作鰻骨鈣粉對環境的負擔，實現了
資源的充分利用並創造了多元的商業價值。研究中亦將此方法與傳統
的方法進行比較，結果顯示本研究的方法優於傳統方法，研究計畫書
撰寫用心，流程圖清晰呈現實驗流程以及目的，成果的應用價值高，
可增加鰻魚副資材的價值。以下建議供同學參考：

1. 應論述選擇木瓜酵素的原因。其他酵素是否會有不同的結果？
2. 雙縮脲比色法中，為何選擇 540 nm 的吸收值？
3. 「骨粉產率與粒徑檢測分析」中，除了氫氧化鈉與酵素處理外，
更應該討論水代法的結果。
4. 建議作品說明書圖 3-3 應隨天數增加來排列。
5. 不論是安息角或是豪斯納比，為何烘 1-3 天的結果沒有明顯趨
勢，且中間第二天的流動性最差？對於粗脂肪含率，為何亦是第
二天最高，甚至比為未前處理還高？

6. 為何 NaCl 處理後流動性較佳？因為粗脂肪含率較低？但未前處理的酵素法粗脂肪含率極低，但流動性卻不好。
7. 酵素處理後的粗脂肪含量中，為何未前處理的最低？烘 1-3 天時，亦有先降後升現象？
8. 實驗的重複次數為何？數據的標準差為何？
9. 作品說明書第 23 頁蛋白酶液的蛋白質濃度已超過標準樣品的濃度範圍，應準備更高濃度的標準液或小心稀釋蛋白酶液，避免標準線外插。原則上，量測的濃度範圍應在標準品濃度的 20-80% 之間。
10. GPC 的 M_w 是如何決定的？結果中，為何 P1 的 M_w 從一千到一萬都有？建議對個別樣品應分別列出其原始的 retention time，而不是第一個峰值均標記為 P1，即便不同樣品的 P1 對應到不同的分子量。
11. TGA 應提供原始曲線，方能看出在不同溫度下的失重量，探討在不同溫度下的失重來源。

12. 在鈣質、磷質含率上，除了參考文獻推算外，建議能思考如何量測量化相關礦物質的含量，例如依衛福部 105 年 11 月 2 日部授食字第 1051902140 號公告修正「食品添加物規格檢驗方法-磷酸鈣」、衛福部 107 年 3 月 22 日衛授食字第 1071900482 號公告修正「一般試驗法」中「20. 鈣鹽定量法」測定。
13. 作品說明書「濃縮鰻魚油分析」中，第 27 頁應敘述所列的成分是如何量測的。
14. 作品說明書第 29 頁的「成本效益」是如何計算的？建議能在市場應用分析，以及相關方法效益上能有進一步的論述分析。
15. 雖然實驗數據豐富，但在例如不同處理方法對最終產品風味的具體影響方面，建議提出更詳細的數據支持感官評估。
16. GPC 與 TGA 的使用有點超出國中的範圍了，且對普通中學或中小型企業不易實施，建議能提供更加普適且成本較低的探究方式。

作品簡報



不

愛

你

了~

魚

骨

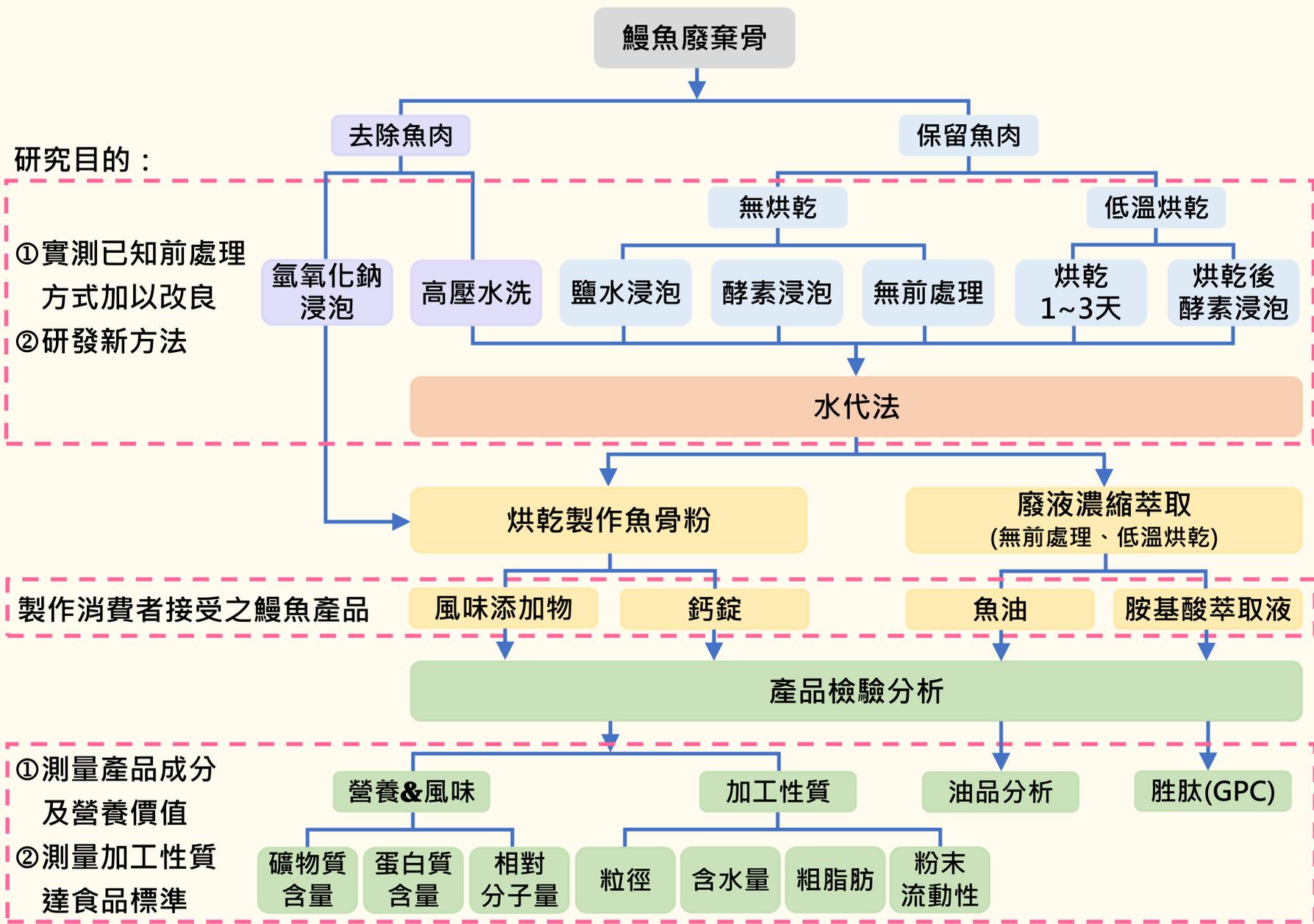
成

金

研究成就

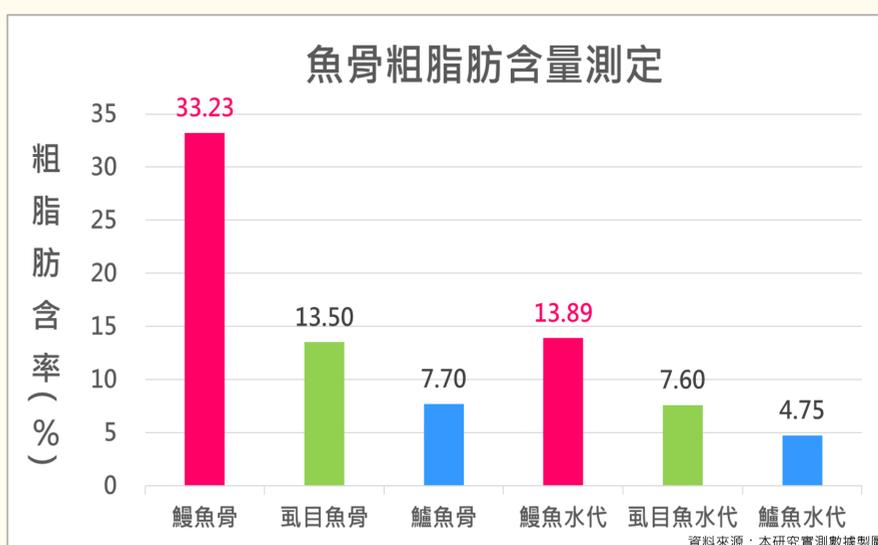
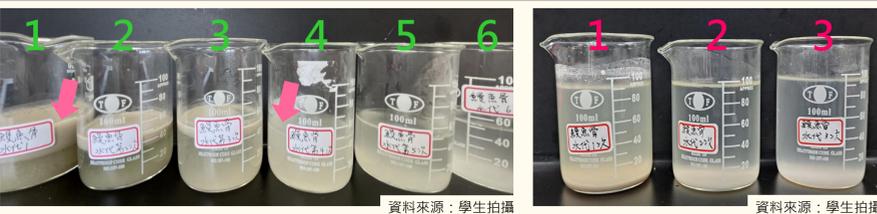
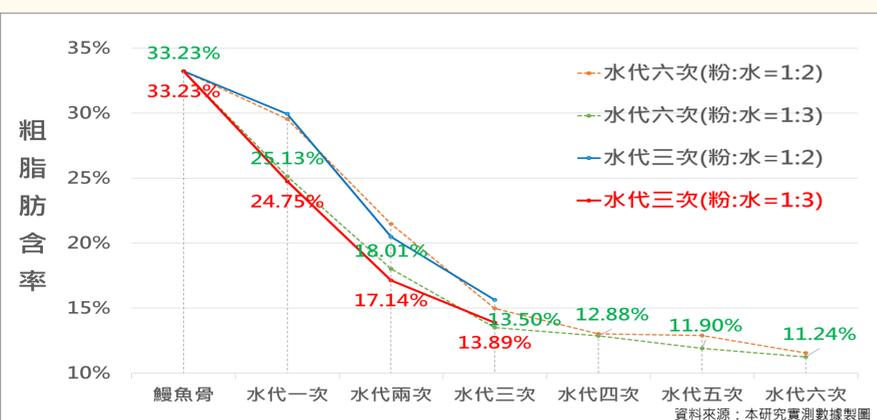
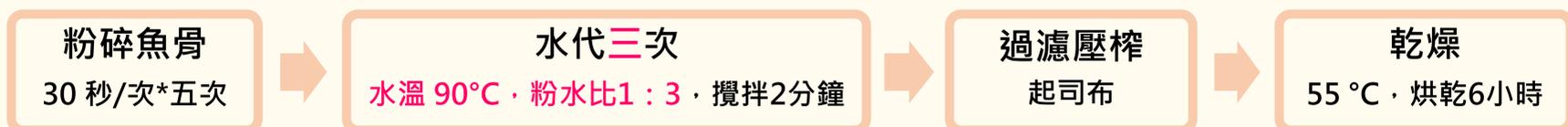
- 一、首創改良「芝麻油水代法」處理廢棄鰻魚骨，可降低60~90%脂肪含量。
- 二、本研究設計「低溫烘乾前處理」方法簡單，並能保留鰻魚香氣。
- 三、鰻魚骨粉風味好、色澤佳且營養價值高，含有豐富的蛋白質、鈣質與磷質等。
- 四、魚骨粉製程可靈活調整、搭配，提高加工的多樣化，達到資源永續之目的。

研究目的與流程

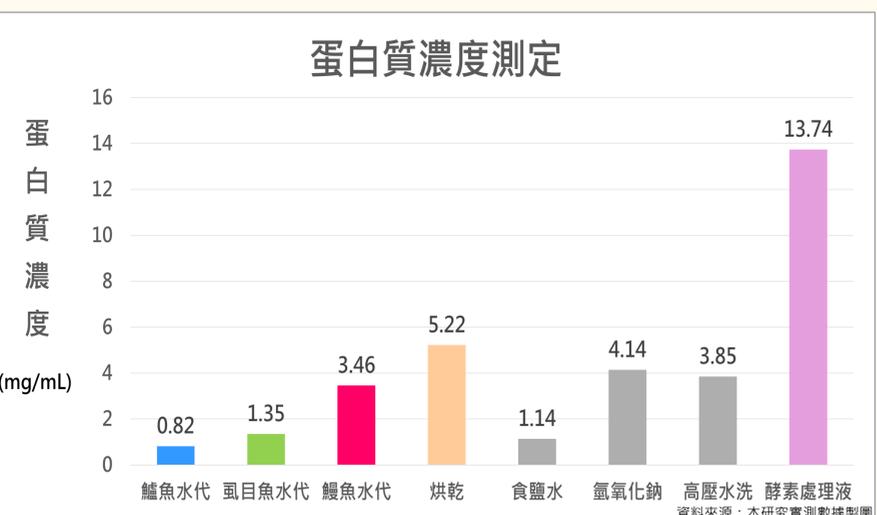


研究方法與結果

一、「水代法」實驗設計與研究



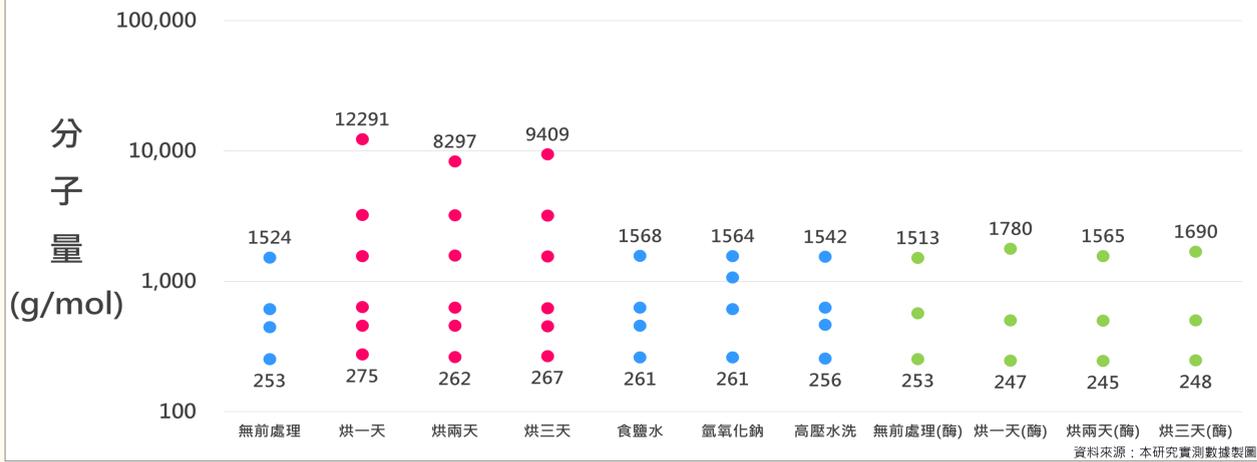
二、鰻魚骨粉成分與營養分析



(一)蛋白質濃度分析

- (1)採用雙縮脲呈色實驗，應用分光光度計將試品溶液依血清蛋白標準品定量。
- (2)水代後鰻魚骨粉的蛋白質含量較其他魚種高。
- (3)烘乾前處理，實驗顯示可保留較多蛋白質。
- (4)經蛋白酶浸泡後可得蛋白質含量高且具鰻魚香味的酵素處理液。

分子量分布圖 (GPC分析)



(二) GPC凝膠滲透層析

- (1) 利用GPC實驗分析各項成品中相對分子量。
- (2) 烘乾後水代處理，鰻魚骨粉的分子量分布較廣，為風味層次較佳的原因。

(三) TGA熱重分析

	無前處理	烘乾處理	食鹽水浸泡	高壓水洗	氫氧化鈉浸泡	酵素處理
灰質含率(%)	48.61	33.5~41.5	43.62	51.54	59.95	41.23~58.13
鈣質含率(%)	10.5	7.2~8.9	9.4	11.1	12.9	8.9~12.5
磷質含率(%)	6.0	4.1~5.1	5.4	6.3	7.4	5.1~7.1

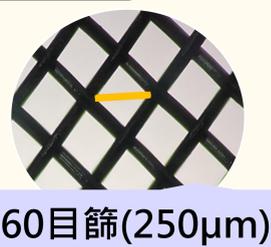
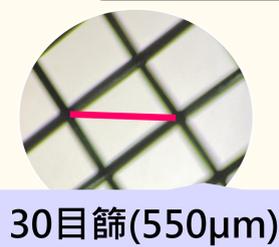
資料來源：本研究實測數據製圖

- (1) 利用熱重分析儀880°C高溫灰化，推估鰻魚骨粉鉀、鎂、鈣等礦物質含量。
- (2) 烘乾後水代處理，鰻魚骨粉仍有約8%的鈣質、5%的磷質。
- (3) 食鹽水處理可取代氫氧化鈉及高壓水洗，製程較環保，並獲得品相好的鰻魚骨鈣粉。

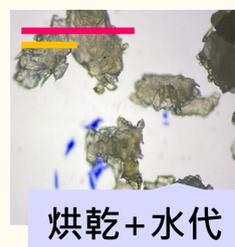
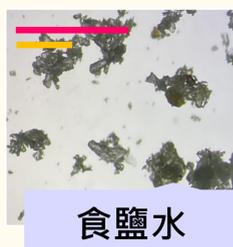
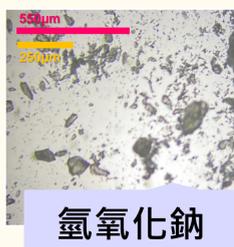
三、鰻魚骨粉各項加工性質表現

(一) 含水量和粒徑分析

複式顯微鏡下的篩網



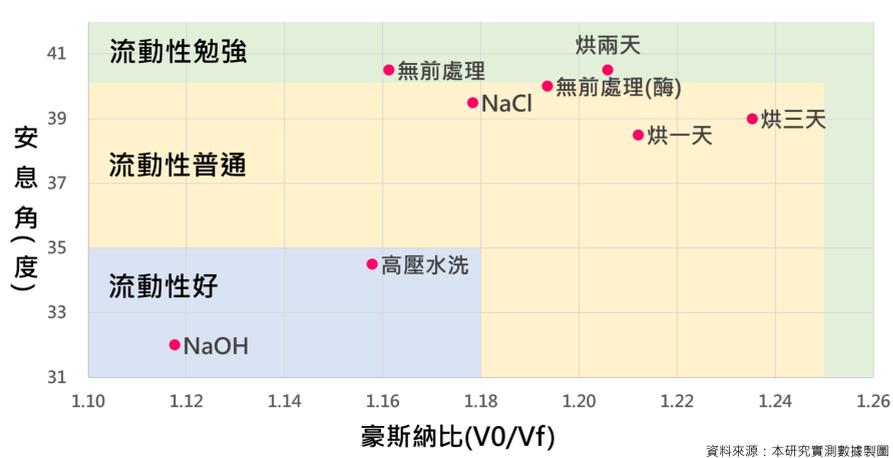
不同骨粉粒徑比較



以上六張顯微照片資料來源：學生拍攝

- (1) 利用電子水分儀與標準篩進行含水量和粒徑檢測，此為食品級粉末保存與加工的重要指標。
- (2) 魚骨粉經6小時55°C烘乾後，含水量皆低於5%，保存時可避免食品變質，符合食品加工規範。
- (3) 水代後粒徑小於550µm(40目篩)，適口性佳，符合漁會製成風味零食及食品添加物的期望。
- (4) 烘乾後使用脂肪酶處理的骨粉皆出現結塊，研磨後仍無法散開過篩，導致無法測定。

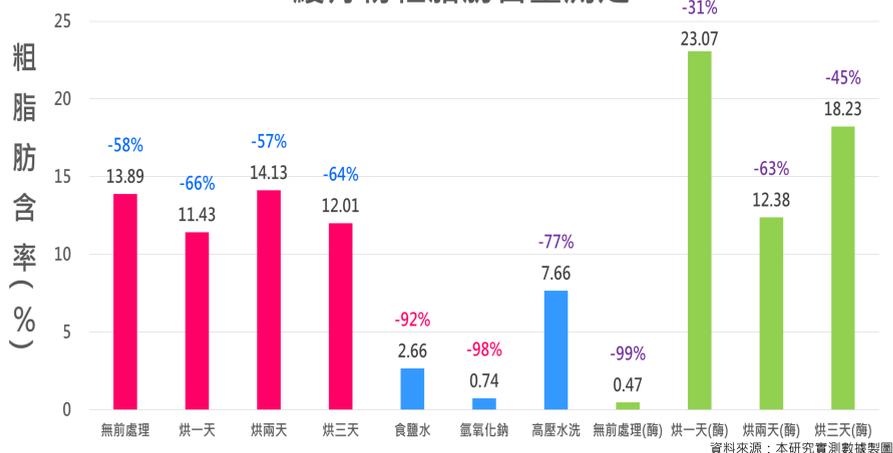
粉末流動性評估



(二) 粉末流動性分析

- (1) 利用豪斯納比和安息角評估粉末流動性，為驗證鰻魚骨粉是否具有加工性的重要指標。
- (2) 各種前處理方式的魚骨粉，流動性皆符合食品加工的標準。
- (3) 經粗脂肪萃取後的魚骨粉流動性皆會提升，證明粉末流動性和油脂含量有密切關係。

鰻骨粉粗脂肪含量測定



(三) 粗脂肪含量測定

- (1) 鰻魚骨油脂含量高達33.23%，是一般硬骨魚近兩倍。
- (2) 烘乾後水代可降低57%以上的油脂，已達加工標準。
- (3) 食鹽水浸泡搭配水代法與氫氧化鈉處理效果相近，適合作為鰻魚骨鈣粉的前處理。
- (4) 粗脂肪含率達15%以下，有利於食品加工與保存，且骨粉不易氧化產生臭味。

討論與反思

一、粒徑與流動性

鰻骨粉經多次研磨後粒徑已小於 $150\mu\text{m}$ 卻不易過篩，經反覆試驗發現，魚骨粉流動性影響因素極多，但主要取決於**粒徑、含水量及粗脂肪含量**。

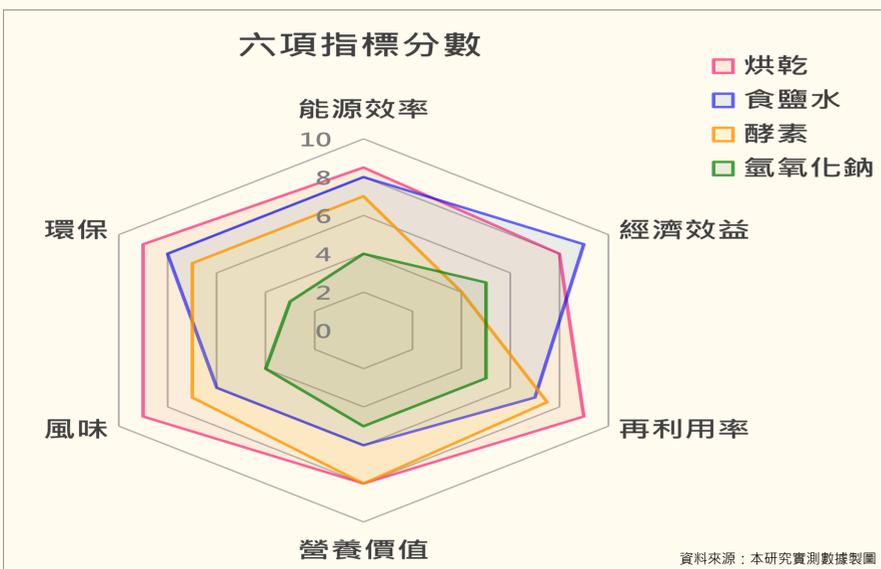
氫氧化鈉處理，產品油脂含量極低，過篩順利；酵素處理去除脂肪效果則不如預期，容易產生膠結，無法過篩，因此鰻魚骨加工時要特別注意油脂含量。

二、鰻骨粉送交漁會檢驗重金屬濃度，結果皆**符合食品衛生標準**，確保本研究製程安全無虞。

三、經漁會與專家評測，**烘乾兩~三天的鰻魚骨水代後口感佳**，可實際應用於食品添加物。

四、各種鰻魚骨前處理分析

五、水代法與傳統廢棄魚骨處理比較



魚骨處理方式	處理中產物	處理後產物
水代法	無	魚骨粉、魚油、 胺基酸液 、廢水
掩埋法	CO ₂ 、CH ₄ 、 N ₂ O、H ₂ S、 NH ₃ 、臭氣、 電能、有毒氣體	廢水、廢地、 飛灰、殘渣、 沼氣、 飼料
燃燒法		
飼料法		

結論

一、**低溫烘乾前處理搭配水代法**為最佳鰻魚骨廢棄物處理方式：**45度仿日曬烘乾**，**水溫90度、粉水比1：3**進行水代，可有效降低油脂含量，保有鰻魚香氣，適合做為食品添加物。

二、水代法製程簡單、低耗能、低耗水且無化學藥劑疑慮，並充分**保留魚骨營養成分**，效率高，可大量處理養殖漁業廢棄物，且**廢液可再利用**，降低廢水排放量。



三、鰻魚骨廢棄物可多方面加工及運用

資料來源：學生拍攝

綜觀各項產品製作，水代法是解決鰻魚骨廢棄物的好方法，再配合產品特性搭配適當的前處理，可以將鰻魚骨價值最大化。

未來展望

- 一、擴展水代法應用於其他高脂肪含量生物廢棄物。
- 二、解決烘乾後酵素處理鰻魚骨粉成塊問題，深入研究酵素作用機制與學理。
- 三、通過生命周期分析 (LCA) 和成本效益分析，量化水代法在減少廢棄物、降低碳排放和節約資源方面的效果。