

漁業提升基金項目完成報告

項目資料

項目名稱	富含硒的高蛋白質魚糧研發計劃
申請編號	FEF2020009A
機構名稱	香港理工大學
通訊地址	香港 九龍 紅磡 香港理工大學 李兆基樓 Y804 室
項目負責人姓名	方家熙 博士

行政摘要

皺瘤海鞘是香港水域入侵物種，生長速度快，附生於漁網等漁排設施做成污損與破壞，需定時移除。有見及此，本項目定期派員清理及回收漁網上皺瘤海鞘，並研發成為新魚糧材料，廢物利用，符合可持續發展理念。本項目旨在利用海鞘肉這可持續發展海洋資源研製一種富營養價值的新魚糧配方（第一階段目標），以及驗證新配方對提升養殖魚免疫力的成效（第二階段目標）。本項目第一階段和第二階段均已完成。我們進行了「漁網清理及污損生物回收計劃」，先後拜訪 8 個魚類養殖區協助漁戶清除漁網污損生物，並已成功回收皺瘤海鞘作為新魚糧配方材料。除了蛋白質外，我們證明了皺瘤海鞘含有高濃度的硒（selenium），甚至比很多魚類的還要高。研究指出硒是增強免疫力的重要元素，作為魚糧則有望減低魚病感染風險。我們亦發現海鞘肉含有豐富的奧米加三脂肪酸，例如二十二碳六烯酸（DHA）和二十碳五烯酸（EPA）。研究指出 DHA 和 EPA 可調節血壓、膽固醇和三酸甘油酯水平，且有助於腦部和視力的早期發育。因此，除硒以外，海鞘肉亦適合作為魚糧中的 DHA 和 EPA 營養補充品。我們把皺瘤海鞘研磨製成海鞘粉，取代魚粉並混合其他材料製成一種新魚糧配方，證明了黃鱸以及其他魚類並不抗拒進食此配方。為了測試新魚糧配方對養殖魚的好處，我們利用三種抗氧化能力作為魚類免疫能力指標，分別為總抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶活性（SOD）和過氧化氫酶活性（CAT）；實驗結果顯示，海鞘粉配方比魚粉配方可提供魚類更高的抗氧化能力和免疫能力，而其成效於幼魚階段最為顯著。我們的未來發展方向為新魚糧配方的推廣和實際應用，製成的魚糧將免費贈與業界試用，共享研發成果。

項目完成時間表

本項目共分兩階段研製一種創新可持續發展魚糧配方：

- 第一階段：新魚糧配方研發與測試，2021年1月至2021年12月（已完成）；
- 第二階段：新魚糧成效驗證與改良，2021年7月至2022年12月（已完成）。

本項目各項主要目標已順利完成，表列如下：

建議活動	建議時間	實際進行時間	實際進度
漁網清理及污損生物回收 清除漁網污損生物並回收皺瘤海鞘	2021年 1-11月	2021年 1-11月	已完成，並已回收足夠份量皺瘤海鞘作為新魚糧配方材料。
魚糧材料營養成份鑑定 檢測魚糧材料營養含量	2021年 3-7月	2021年 3-7月	已完成，海鞘肉的硒和奧米加三含量比很多魚類的還要高。
新魚糧配方釐定 確定魚糧材料混合比例和物理表現	2021年 8-9月	2021年 8-9月	已完成，各材料混合比例已釐定，魚糧物理表現可接受。
新魚糧餵飼測試 評估魚類對新魚糧配方的接受程度	2021年 10-11月	2021年 10-11月	已完成，魚類普遍喜歡進食新魚糧配方。
新魚糧餵飼實驗 評估新魚糧配方對魚類免疫力 and 生長的影響	2021年10月-2022年 2月	2022年 1-3月	已完成，共測試了兩種魚類，分別於漁排和實驗室進行。
餵飼實驗後檢測工作 實驗後所得魚類樣本將進行各免疫能力指標檢測	2022年2-6 月	2022年4- 12月	已完成，結果顯示新魚糧配方可為幼魚提升抗氧化和免疫能力。

已完成的活動結果及概要

於第一階段，我們已完成第一階段的「漁網清理及污損生物回收計劃」，協助各漁戶清除漁網污損生物並回收皺瘤海鞘作為新魚糧配方材料。我們已先後拜訪8個魚類養殖區，包括沙頭角、鴨洲、吉澳、大頭洲、麻籃笏、索罟灣、鹽田仔和東龍洲，與不同漁戶溝通，進行漁網清理並已成功回收一定數量的皺瘤海鞘（圖1）；此外，我們亦有前往流浮山產蠔區的蠔排視察，但未有發現皺瘤海鞘。



圖 1：本項目團隊成員於大頭洲養殖區協助清理污損生物，並回收皺瘤海鞘作為魚糧製作材料；相同的工作亦於其他養殖區進行。

我們依照香港理工大學既定程序採購所需化學品，並制定合適化驗方法檢測皺瘤海鞘的硒和奧米加三營養成份，簡述如下：先把皺瘤海鞘的肉質和皮層分拆，各自風乾和秤重，研磨成粉，再根據美國分析化學協會（Association of Official Analytical Chemists, USA）的標準化驗方法檢測肉質和皮層各自的硒含量（Julshamn et al. 2013）與奧米加三含量（DeVries et al. 1999；圖 2）。結果顯示，香港水域的海鞘材料含有豐富硒，其於肉質的平均含量為 4.0 微克/克，而於皮層則約為 3.4 微克/克，此等含量甚至比吞拿魚和其他十餘種魚類的還要高（見圖 3）。硒是增強魚類免疫力和抵抗力的重要元素，有助減低魚病感染風險。我們也發現皺瘤海鞘的肉質含有豐富奧米加三脂肪酸，例如二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid；即 DHA）和二十碳五烯酸（eicosapentaenoic acid；即 EPA），而 α -亞麻酸（alpha-linolenic acid；即 ALA）的含量則相對較低；海鞘肉質中這三種奧米加三脂肪酸的含量總和為 18.8 毫克/克，比其他七種魚類的更為高（見圖 3）。另一方面，皺瘤海鞘皮層的 DHA、EPA 和 ALA 含量則較所有比較魚類為低。這些數據指出，除硒以外，皺瘤海鞘的肉質部份亦非常適合作為魚糧的 DHA 和 EPA 營養補充品。DHA 和 EPA 是奧米加三脂肪酸中其

中兩種最重要營養素，可調節血壓、膽固醇和三酸甘油酯水平，促進幼魚成長並有助於腦部和視力的早期發育。以上這些數據提供了科學基礎證明新魚糧配方的營養好處。



圖 2：皺瘤海鞘化驗樣本稱重和準備（圖左），利用電感耦合等離子體質譜儀（inductively coupled plasma-mass spectrometer；圖右上）和氣相色譜火焰離子化檢測器（gas chromatography-flame ionisation detector；圖右下）分別檢測樣本中的硒含量和奧米加三含量。

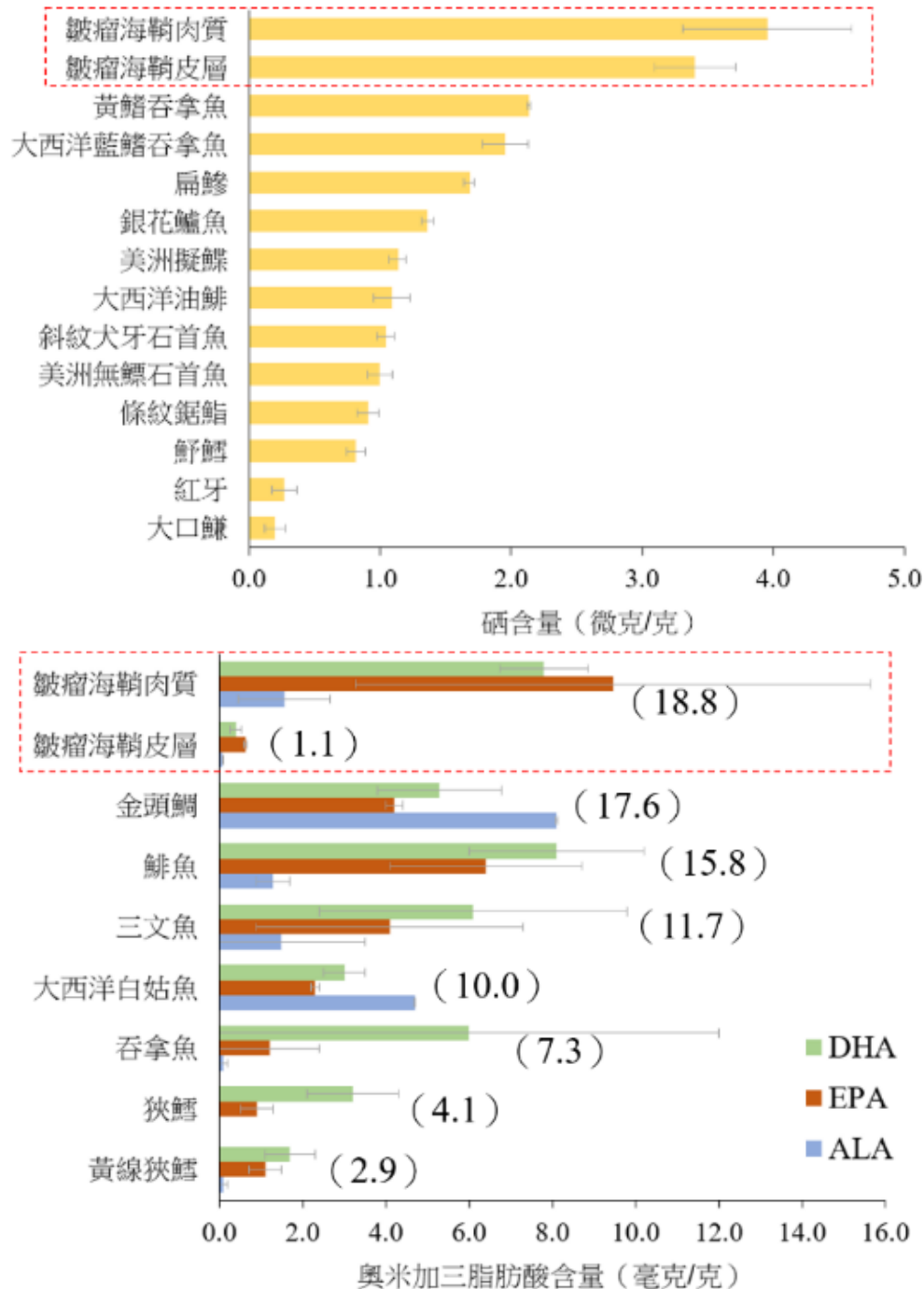


圖 3：皺瘤海鞘的肉質和皮層（紅框內）的硒含量和三種主要奧米加三脂肪酸含量，包括二十二碳六烯酸（DHA）、二十碳五烯酸（EPA）和 α -亞麻酸（ALA），並和各種魚肉中的硒含量（Burger and Gochfeld 2011; Rezayi et al. 2012）和奧米加三脂肪酸含量比較（Strobel et al., 2012; Kandyliari et al. 2020）。報告數據已標準化至每克乾重含量，為至少三個重覆組的平均值，誤差線為標準差。於圖上，魚肉硒含量在文獻中以濕重定量，我們假設魚肉的乾重/濕重比率為 0.22 把其換算成乾重定量（Fang et al. 2009）；於圖下，括號中顯示 DHA、EPA 和 ALA 的含量總和。

我們把皺瘤海鞘研磨製成海鞘粉，和其他材料包括魚粉、魚油、維生素/礦物質預混料和羧甲基纖維素黏結劑等混合，製成本項目的新魚糧配方（圖 4）。我們測試了魚糧成品的物理表現，結果為在水中下沉，6 小時後約 40%重量被溶解，12 小時後被完全溶解。我們亦對養殖魚對新魚糧配方的接受程度進行評估，確定了不同魚類例如黃鱸、泥猛和火點，以及實驗室常用的青鱗魚，並不抗拒進食本項目的新魚糧配方，甚至出現搶食情況。



圖 4：左為新魚糧配方餵飼測驗中使用的黃鱸幼魚；右上為餵飼測驗中使用的青鱗幼魚；右下為使用皺瘤海鞘 (*Styela plicata*) 製成的新魚糧配方，圖中顯示適合黃鱸成魚口徑的魚糧大小，研磨成粉即可用於餵飼幼魚。

本項目第二階段為餵飼測試，探討新魚糧配方對魚類的好處。餵飼實驗於漁排和實驗室分別進行，測試魚種為黃鱸（漁排）和青鱗（實驗室；圖 4）。餵飼測試目的是比較海鞘粉魚糧配方與一般魚粉配方對魚類免疫能力和生長率的影響，實驗方案簡述如下：漁排實驗為期 20 天，於西貢大頭洲附近的漁排進行，黃鱸稚魚（長約 100 毫米，重約 35 克）被派至兩個實驗組，每組各三條，分別餵飼海鞘粉配方和魚粉配方，每天投飼一次，投飼量約為稚魚體重的 5%；而實驗室實驗則為期 40 天，於香港理工大學水產養殖系統進行，青鱗稚魚（長約 25 毫米，重約 0.4 克）和幼魚（長約 7 毫米）各被派至兩個實驗組，每組各三條，分別餵飼海鞘粉配方和魚粉配方，每天投飼一次，投飼量約為稚魚和幼魚體重的 5%。實驗前和實驗後，量度魚長度與體重；實驗後，解剖所有黃鱸稚

魚和青鱗稚魚，取其肝臟（liver）、脾臟（spleen）和腎臟（kidney），雪藏於攝氏零下負 80 度，而較細小的青鱗幼魚則整條雪藏，直至進行免疫能力指標檢測。

我們利用稚魚（三種器官）和幼魚（整條）的三種抗氧化能力作為本項目黃鱺鰻和青鱗的免疫能力指標，分別為總抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶活性（SOD）和過氧化氫酶活性（CAT），理據如下：免疫防禦中的一個重要手段是產生活性氧（reactive oxygen species），誘導氧化應激（oxidative stress）殺死病原體；但活性氧對動物本身也可造成氧化損傷，動物需要依賴抗氧化系統來清除活性氧，抵消其害處。因此，愈高的抗氧化能力可代表愈高的活性氧容忍度，反映愈高的免疫能力。魚類的抗氧化系統中存有多種酶、大分子和小分子清除各種活性氧，T-AOC 是這些酶、大分子和小分子的整體水平，顯示總抗氧化能力。我們亦揀選了 SOD 和 CAT 兩種特定抗氧化酶來驗證 T-AOC 的結果，SOD 的功能是把活性氧催化生成過氧化氫（ H_2O_2 ）和氧（ O_2 ），當中有害的 H_2O_2 則可由 CAT 進一步清除，把其催化生成較無害的水（ H_2O ）和氧（ O_2 ）。本項目的 T-AOC 含量檢測試劑由南京建成生物工程研究所提供（序號為 A015-3-1），SOD 活性檢測試劑由北京索萊寶科技有限公司提供（序號為 BC0170），而 CAT 活性檢測試劑亦由南京建成生物工程研究所提供（序號為 A007-1-1），相關檢測根據供應商建議的標準程序進行。實驗完成時，黃鱺鰻稚魚生長至約 120 毫米和 40 克，青鱗稚魚生長至約 30 毫米和 0.6 克，而青鱗幼魚則生長至約 13 毫米；進食海鞘粉配方的魚樣本和進食魚粉配方的魚樣本的長度與體重並無明顯分別，表明以海鞘粉製作魚糧的養殖成效並不比傳統魚糧為差。所有魚樣本的 T-AOC、SOD 和 CAT 的抗氧化能力檢測亦經已完成，報告於圖 5；結果顯示，海鞘粉配方比魚粉配方可提供魚類更高的抗氧化能力和免疫能力，其成效於幼魚階段最為顯著，而 T-AOC、SOD 和 CAT 的變化各自都有明顯相關性（表 1）。

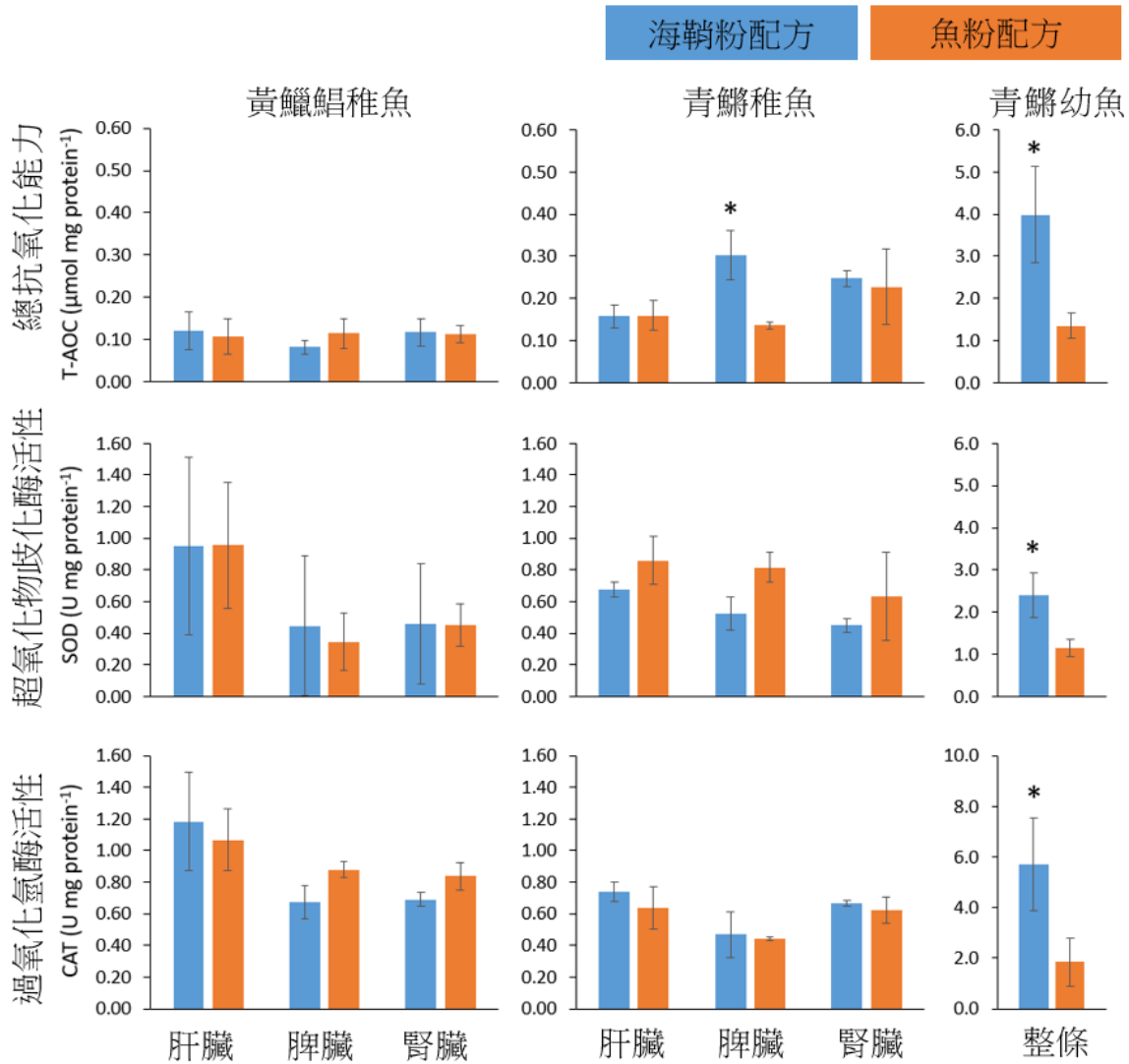


圖 5：本項目測試魚種分別以海鞘粉魚糧配方（藍色）與一般魚粉魚糧配方（橙色）餵飼後，不同器官中的三種免疫能力指標反應，包括總抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶活性（SOD）和過氧化氫酶活性（CAT）。數據以方差分析（analysis of variance）進行比較，星形符號（*）表示海鞘粉配方組的數值比魚粉配方組的明顯更高（ $p < 0.05$ ）。

表 1：本項目測試魚種的總抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶活性（SOD）和過氧化氫酶活性（CAT）之間的皮爾森積差相關分析（Pearson correlation），證明這三種免疫能力指標各自都有明顯相關性。

	SOD	CAT
T-AOC	$r = 0.76$ $p < 0.001$ $n = 42$	$r = 0.96$ $p < 0.001$ $n = 42$
CAT	$r = 0.77$ $p < 0.001$ $n = 42$	

參考文獻

- Burger J, Gochfeld M (2011) Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season. *Science of the Total Environment* 409, 1418 – 1429.
- DeVries JW, Kjos L, Groff L, Bob M, Kristi C, Patel H, Payne M, Leichtweis H, Shay M, Newcomer L (1999) Studies in improvement of official method 996.06. *Journal of AOAC International* 82, 1146 – 1155.
- Fang JKH, Wu RSS, Zheng GJ, Au DWT, Lam PKS, Shin PKS (2009) The use of muscle burden in rabbitfish *Siganus oramin* for monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in Victoria Harbour, Hong Kong and possible human health risk. *Science of the Total Environment* 407, 4327–4332.
- Julshamn K, Maage A, Norli HS, Grobecker KH, Jorhem L, Fecher P, Dowell D (2013) Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods by pressure digestion and inductively coupled plasma/mass spectrometry: first action 2013.06. *Journal of AOAC International* 96, 1101 – 1102.
- Kandyliari A, Mallouchos A, Papandroulakis N, Golla JP, Lam TKT, Sakellari A, Karavoltsos S, Vasilioiu V, Kapsokefalou M (2020) Nutrient composition and fatty acid and protein profiles of selected fish by-products. *Foods* 9, 190.
- Rezayi M, Esmaeli AS, Valinassab T, Alavi J (2012) Selenium health benefit value (SeHBV) in selected Fish from Persian Gulf (Khuzestan Shores). *International Journal of Environmental Protection* 2, 30 – 35.
- Strobel C, Jahreis G, Kuhnt K (2012) Survey of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish and fish products. *Lipids in Health and Disease* 11, 1 – 10.

項目成果評估

本項目共分兩個階段，分別為利用海鞘肉研製一種富營養價值的新魚糧配方（第一階段），以及驗證新配方對提升養殖魚免疫力的成效（第二階段），兩階段的目標都已順利達成。在本項目第一階段，我們從漁網污損生物中收集廢棄的皺瘤海鞘，利用其營養價值製作魚糧；此廢物利用方案貫徹了「取之海洋、用之海洋」的可持續發展理念。我們已驗證海鞘肉中的硒成份和奧米加三脂肪酸成份，其含量甚至比很多魚類的還要高，適合作為魚糧中魚粉的代替品。而在本項目第二階段，我們亦已證明以海鞘粉製作的新魚糧配方比一般魚糧配方可提供魚類更高的抗氧化能力和免疫能力，其成效於幼魚階段最為顯著。至於未來發展方面，我們將會嘗試不同類型的魚糧製作方法來控制魚糧成品的浮力和結實程度，改善新魚糧配方的物理表現，並研究加入不同天然成份，例如海藻，進一步優化魚糧的營養和對魚類的好處。我們亦建議把我們製作的新魚糧配方免費贈與業界使用，可為本項目和漁業提升基金做廣泛推廣，亦藉此與各漁戶建立良好合作關係亦促進社會和諧。

總結及願景

海鞘在其他國家例如韓國、瑞典和美國是可供食用的水產品，亦有用作魚糧材料；根據這些國外經驗，本項目對香港被視為廢棄物的皺瘤海鞘開展研究，發現本地海鞘的營養價值其實甚高，但我們並不打算在香港推廣皺瘤海鞘作為食品，而是利用此海洋資源製作一種高品質的新魚糧配方，為業界多提供一個魚糧選項。我們在本項目第一階段和第二階段均已取得初步成功，於未來日子將會爭取機會向業界推廣本項目的新魚糧配方。我們明白我們的魚糧製作工藝還有不少值得改善之處，日後定當繼續努力，同時虛心向業界請教意見，優化新魚糧配方的質素。利用海鞘製作的魚糧配方有著低成本和高營養的優點，亦符合可持續發展理念，發展潛力巨大。我們的願景是把海鞘魚糧產品標準化和多元化，藉著其營養價值提升水產養殖成效，亦能加強大學與業界間的溝通與知識轉移，為本地的水產養殖業可持續發展作出貢獻。

項目財務報表

基於資料保密原因，項目的財務報表不作公開

項目員工招聘和值勤監察

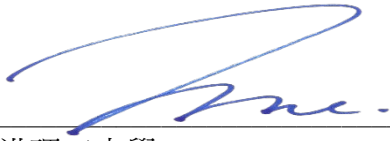
基於資料保密原因，項目的員工招聘和值勤監察不作公開

聲明

本人特此向漁業提升基金管理委員會及包含增補基金在內的相關基金的督導委員會作出以下不可撤回的聲明：本完成報告已就涉及的所有由第三方擁有的數據及資料適當地列明了相關的資料來源，而本機構已就使用及公開發布此等數據及資料獲得所需的授權。

本報告內所表達的任何意見、結果、結論或建議，不一定反映漁業提升基金或基金信託人的立場。

項目負責人簽署



香港理工大學
食品科學及營養學系
助理教授 方家熙 博士

香港理工大學

The Hong Kong Polytechnic University

我，代表我本人及上述獲資助機構，特此向漁業提升基金管理委員會及包含增補基金在內的相關基金的督導委員會作出以下不可撤回的聲明、保證和承諾，我本人及上述申請機構：

1. 沒有與任何被聯合國安全理事會、歐洲聯盟、英國財政部、美國財政部外國資產管制辦公室或香港金融管理局，或任何適用的制裁法律制裁或可能制裁或作為目標的國家、組織或活動有任何交揭或與之有任何形式的聯繫；
2. 沒有以任何不法形式使用由漁業提升基金或相關的增補基金所獲得的金錢（及其產生的任何盈餘），不論是涉及行賄、清洗黑錢、恐怖主義活動或任何違反國際及本地法律的行為；及
3. 把所有資助款項（及其產生的任何盈餘）均用作符合漁業提升基金目標的研究或項目，而沒有把任何資助款項（包括產生的任何盈餘）分發予獲資助機構的任何成員及 / 或公眾人士。



方家熙

日期：2023年6月11日