

秘書處專用

申請編號：_____

漁業持續發展基金 期終報告書

請填妥這份期終報告書，並於項目完成後的四個月內送交漁業持續發展基金秘書處。請注意，這份報告書將會上載至漁護署網頁供公眾查閱。

項目名稱：高級廚餘飼料用於生產三種安全和優質海水魚

申請機構：香港教育大學

批准日期：2016/12/30

資助款額：8,454,589.5

報告期間：2018/12/30 至 2020/04/29

注意

凡故意在本報告書中作失實陳述或漏報資料，有關項目可被中止發放資助款項，而受資助者被發現有虛報資料，亦可遭檢控。受資助者須注意，以欺詐手段取得金錢利益，屬刑事罪行。

聲明

本人證實所夾附的期終報告書和經審計帳目，以及所提交的額外資料和證明文件均正確無誤，所購買的物料（包括資產）和獲取的服務，是本項目內的活動所必要的，而且價格公道合理。

簽署並機構蓋印

機構負責人姓名：

香港身分證號碼：

日期：

2021-01-25

1. 項目時間表

開始日期		完成日期	
原定（根據協議所示）	實際	原定（根據協議所示）	實際
2016 年 12 月 30 日	2016 年 12 月 30 日	2019 年 12 月 29 日	2020 年 04 月 29 日

2. 項目目的撮要

項目的主要目標是：(1) 為沙巴躉，鯧魚和石蚌三種不同的海魚研發合適的飼料配方，主要由本地原料（食物殘渣和食物加工殘餘）製成；(2) 針對這三種魚的生長性能進行實驗規模的飼養試驗；(3) 進行實地規模的飼養(魚排養殖)試驗，從而驗證實驗規模飼養試驗所得到的結果；和 (4) 依據魚肉所含有害化學物質(金屬/類金屬，滴滴涕(DDTs)，多環芳香烴(PAHs)及二噁英/多氯聯苯(Dioxin/ Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls))的濃度，對本地居民食用養殖產品進行潛在健康風險評估。

3. 項目目的和／或範圍的更改（如有，請註明有何更改以及所持理由）

項目的研究範圍有所更改:

1) 在項目開展初期，華南再生資源(中山)有限公司為該項目生產的廚餘魚糧並未有按照計畫書中的建議配方生產。在後續的實驗開展過程中，華南再生資源(中山)有限公司仍未能及時提供更改相關的廚餘飼料配方，有機會會影響專案進度，因此我們向漁農自然護理署(署方)提出建議並獲批將飼料供應方由華南再生資源有限公司更改為九龍環境處理發展有限公司。

2) 項目目的之一為：為沙巴龍躉、鯧魚和石蚌三種不同的海魚研發合適的飼料配方。通過實驗室規模飼養試驗，我們為沙巴龍躉、鯧魚和石蚌分別篩選出了合適的廚餘配方。但是在後續的實地規模飼養(魚排養殖)試驗過程中，受到的環境因素(山竹颱風和極凍的水溫)影響，使得石蚌的後續試驗工作無法開展，因此目前只能對沙巴龍躉和鯧魚的廚餘飼料進行了實地規模的飼養(魚排養殖)的驗證和評估。

3) 我們於魚排養殖實驗中放棄使用原定的鯧魚配方，所有魚統一使用石斑二號配方，原因如下: 1) 進食廚餘配方與進食商業飼料的沙巴龍躉沒有明顯差別，但鯧魚則是商業飼料明顯較好，可能的原因是長期缺乏脂肪; 2) 鯧魚配方內因為含有豆渣，蛋白量較低而且

脂肪量極低，因此需要添加更多挪威魚粉才可以達到要求的蛋白量及脂肪含量，同時亦要繼續大量使用三文魚骨粉，此舉間接拉高鯧魚飼料的價錢，比更新後的石斑配方價錢更高；3)更新後的石斑飼料的價錢調整至每噸\$8994，提供約 40%粗蛋白及 10%粗脂肪，相比起原先的鯧魚配方(粗蛋白 36.8%及粗脂肪 10.5%,\$9,164/噸)，更加符合成本效益，而且價格依然比鯧魚商業飼料便宜 5000 元/噸或 35.6%；4)整體廚餘使用量能夠仍然維持在 50%的水準，在環保及效用上能夠取得平衡。

4. 報告期間的項目推行撮要

(請簡述主要活動，並按適當情況列明日期、地點及受惠人數)

4.1 戶外魚排養殖測試 (2018 年 12 月至 2019 年 5 月)

圖 1 至圖 3 展示了三種魚類 2018 年 12 月至 2019 年 5 月的生長數據。

魚類的生長表現按照下列公式計算：

換肉率 = 累積的飼料投餵量 ÷ 魚的增長重量

相對增重率 (%) = (最終體重 (g) – 初始體重 (g)) ÷ 初始體重 × 100

K 因數 (評估魚狀態指標) = $100,000 \times \text{重量} \div (\text{長度})^3$

4.1.1 沙巴龍躉

因為在十二月至四月時，水溫較冷，不論是雜魚，商業或廚餘飼料的實驗組別，沙巴龍躉在十二月至四月的換肉率較高 (魚飼料的轉化率低)。在四月及五月時，水溫開始上升，沙巴龍躉的換肉率亦隨之改善。到五月份，廚餘飼料的換肉率亦差不多到達 2。兩種飼料養飼料的魚的平均增重及相對增重並沒有統計學上的明顯差異 ($p>0.05$) (圖 1a 和 b)。雖然生長情況相近，進食雜魚的組別的換肉率仍然是三個組別中最高 (圖 1c)。進食廚餘飼料，商業飼料及雜魚的沙巴龍躉存活率分別為 73.9%，75.6%及 85.0%。

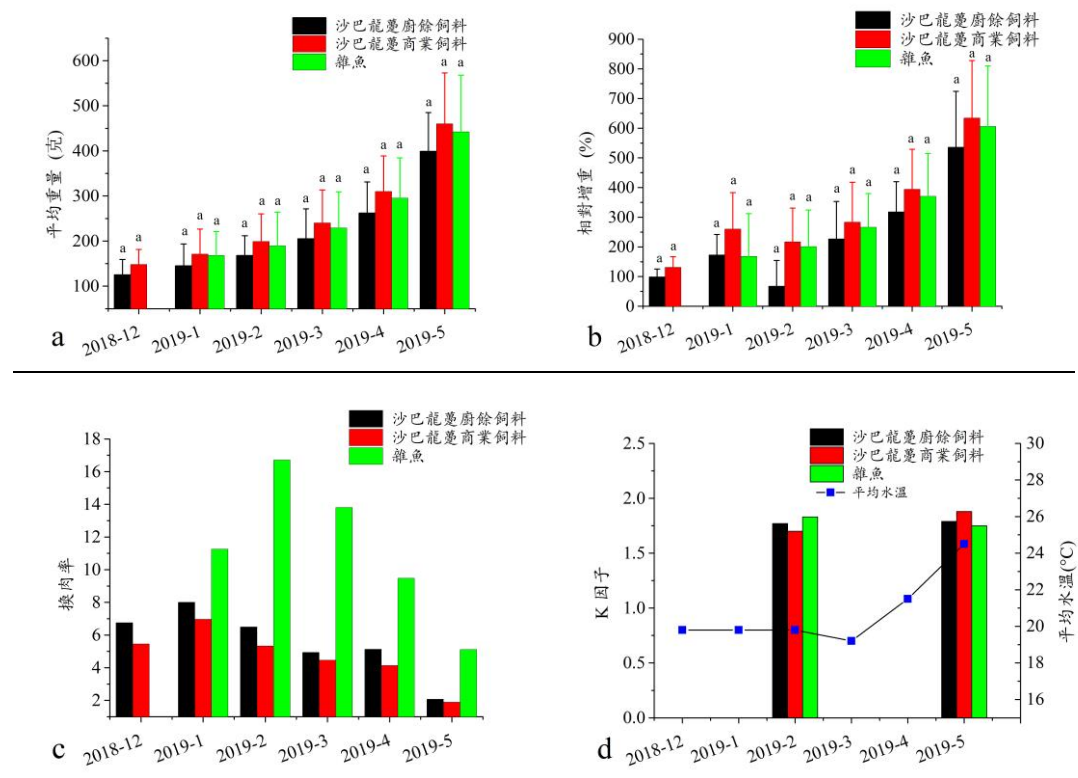
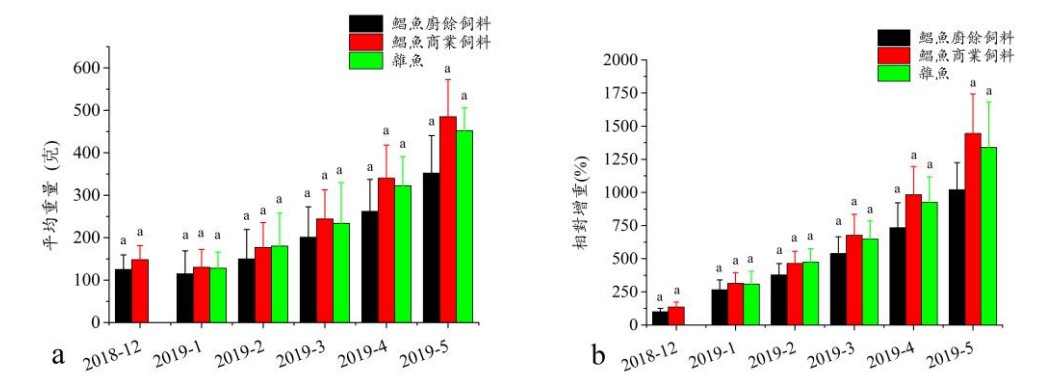


圖 1 沙巴龍躉進食實驗飼料的生長數據。a: 不同飼養條件下的沙巴龍躉的平均體重隨月份的變化趨勢；b: 相對增重隨月份的變化趨勢；c: 不同飼養在不同月份的換肉率表現；d: K 因數以及水溫的變化趨勢。不同字母(同月份)表示不同飼養條件下具有顯著性差異($p < 0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗(Duncan's Multiple Range test)。

4.1.2 鯧魚

鯧魚與沙巴龍躉的情況相若，在水溫較冷的月份，在十二至四月的換肉率較高。但是自四月開始，進食商業飼料的組別比進食廚餘飼料的組別，有顯著較高的平均重量及相對增重 (圖 2)。進食廚餘飼料，商業飼料及雜魚的鯧魚存活率分別為 60.2%，71.3%及 82.8%。



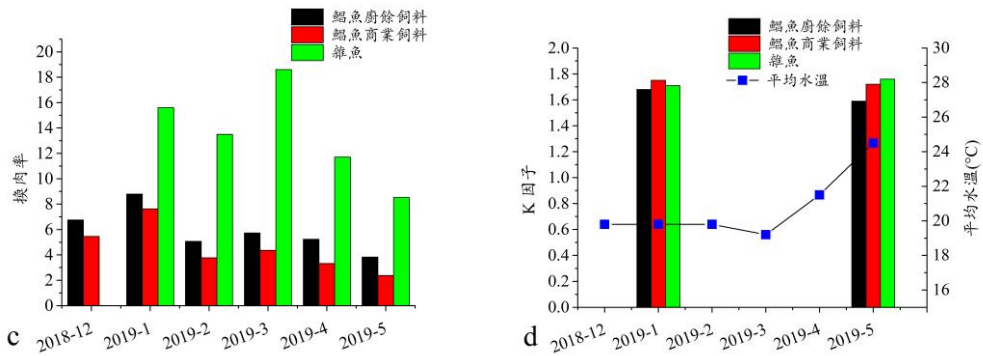


圖 2 鯧魚進食實驗飼料的生長數據。a: 不同飼養條件下的鯧魚的平均體重隨月份的變化趨勢；b: 相對增重隨月份的變化趨勢；c: 不同飼養在不同月份的換肉率表現；d: K 因數以及水溫的變化趨勢。不同字母(同月份)表示不同飼養條件下具有顯著性差異($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗。

4.1.3 石蚌

相比起另外兩種魚，石蚌各個月份的換肉率都處於大約 1.8 至 2.5 的範圍內。進食商業和廚餘飼料飼養的組別中平均增重及相對增重並沒有統計學上的明顯差異。因剩下的石蚌不多，並沒有進行雜魚的實驗 (圖 3)。進食廚餘飼料和商業飼料的石蚌存活率分別為 3.9% 及 4.6%。

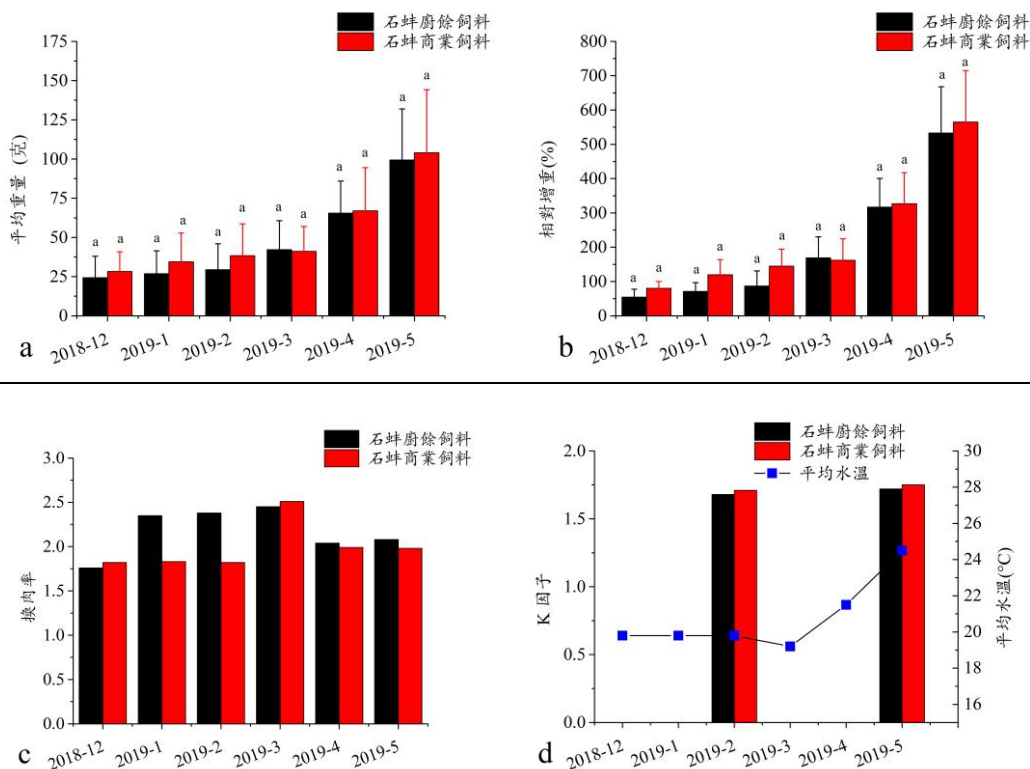


圖 3 石蚌進食實驗飼料的生長數據。a: 不同飼養條件下石蚌的平均體重隨月份的變化趨勢；b: 相對增重隨月份的變化趨勢；c: 不同飼養在不同月份的換肉率

表現；d: K 因數以及水溫的變化趨勢。不同字母(同月份)表示不同飼養條件下具有顯著性差異($p<0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗。

4.2 修改廚餘飼料配方

2018 年 12 月至 2019 年 5 月開展的魚排養殖實驗結果表明，不僅廚餘養殖魚的生長不穩定，而且商業飼料的養殖效果也欠佳。這是由於實驗開始不久，水溫已經開始跌至 22.8°C，再加上項目初期可能因飼料質素不穩定，影響實驗結果。就以上問題，本校研究團隊 [REDACTED] 及顧問 [REDACTED] 於 2019 年 5 月 21 日在香港教育大學與漁農自然護理署（署方 [REDACTED] [REDACTED]）會面商討本項目的魚排養殖試驗之後續安排。由於魚排養殖試驗原定的完結日期是 2019 年 3 月 31 日，我們申請並獲署批准將魚排養殖實驗期延長至 2019 年 9 月 30 日（即增加 6 個月），並在 2019 年 7 月至 2019 年 9 月期間重新進行實驗（一般 7 至 9 月水溫為 27°C 以上），以確保能夠達成項目目標。

4.2.1 延長魚排租賃時間及更改部份實驗內容

1. 點算各種魚的數目；
2. 所有魚餵食商業飼料兩個星期；
3. 重新按照大小，將魚分類；
4. 由於水溫高的月份，飼料的消耗量會比在其他月份養殖時多，以前申請購買商業飼料的資金不夠支持至實驗完成。因此，部份生產的魚被出售，並將部份資金投入至購買商業飼料。

沙巴龍躉

在深灣餘下的魚有 5000 條沙巴龍躉。

在魚餵食商業飼料兩個星期後，使用雙籠口，每籠放置 500 條，設 3 個重複，按照大小將魚分別放入各個網箱中（即每組實驗共有 1500 條，分別餵食商業及廚餘飼料），整個實驗有共 3000 條魚。另外，最大及最小的 2000 條魚被出售，以保證後續用於實驗的魚的大小一致。

鯧魚

在深灣餘下的魚中，約有 5000 條是鯧魚。

每籠大約放置了 1000 條魚，每組實驗共有 3 籠魚，按照魚的大小分別放到各個網箱中。即每組 3000 條，分別餵食商業及廚餘飼料，實驗中共飼養 6,000 條魚。另外，最大及最小的 2000 條魚被出售。

石蚌

之前曾經向署方彙報，石蚌於山竹颱風吹襲後，有大量的石蚌苗死亡，在深灣餘

下的魚有大概 400 條。因為單一個籠口設計對飼養石蚌來說，空間仍然太大（密度太低會影響石蚌的食慾），所有的魚被重新分配到兩個單籠口中（每個籠口使用一種飼料），即每組有 200 條魚，分別餵食商業及廚餘飼料。

4.2.2 廚餘飼料配方微調

2017 年 9 月提交的更新飼料配方，由廚餘蛋白粉改為肉類廚餘粉和魚渣粉作為主要材料，這是我們對廚餘飼料作出第一次修改。廚餘蛋白粉是經發酵而製成的餐後廚餘產品，由於廚餘可以未經分類，因此蛋白量並不高。修改配方中的肉類廚餘粉主要是過期肉類(豬，牛，雞等，屬於餐前廚餘)，通過向酒店和食肆等收集而來。魚渣粉則由魚產品加工廠收集的魚骨製成。收集後，肉類廚餘及魚渣需先行蒸熟處理，之後經高溫乾燥及磨碎製成粉狀的半成品，再與其他材料調配組合製成飼料。由於這兩種廚餘的性質較為單一，因此利用肉類廚餘粉和魚渣粉製造的飼料成品的蛋白量相對較高，同時亦能控制飼料成本。

當時的配方是盡量符合原先飼料中蛋白質量以及維持合適的價錢，而並未能顧及脂肪量。經過與██████博士相討後，廚餘飼料配方將會在原本的配方上增添更多脂肪。按照現時的配方的測試結果，兩種廚餘飼料的粗脂肪含量大約為 4.00-5.00%左右，因此需要另外**增加 4.00-5.00%的脂肪量**。██████商議後，決定從魚渣粉著手去增加飼料的脂肪含量。當時的飼料配方中的魚渣粉是由鱈魚骨及三文魚粉組成，██████建議修改成單獨使用三文魚骨粉(脂肪量大約是 10.0-20.0%，計算時取平均值 15.0%)，令到脂肪含量增加，以及加入黃豆粉維持蛋白量。因此配方中需要將 (1) 挪威魚粉量由 22.0%增加至 25.0%; (2) 三文魚骨粉量由 20.0%減少至 15.0%; (3) 肉類廚餘量由 40.0%減至 35.0%; (4) 另外再使用 10.0%的黃豆粉去維持蛋白量; (5) 麵包酵母使用量由 5.00%減至 2.00%; (6) 增加 1.00%的黃原膠去幫助飼料成型。整體的廚餘物料使用量由 60.0%減少至 50.0% (15.0%三文魚骨粉及 35.0%肉類廚餘)。更改配方後，計算出配方粗脂肪量增至約 10.0% 乾重，粗蛋白維持在 40.2% 乾重，而每噸沙巴龍躉飼料的價錢從原來的 8900 元輕微上升至 8994 元 (表 1)。

另外，我們於實驗中放棄使用原定的鯧魚配方，所有魚統一使用石斑二號配方，原因如下：

1. 在 2019 年 5 月量度重量時，進食廚餘配方的沙巴與進食商業飼料沒有明顯差別，但鯧魚則是商業飼料明顯較好，可能的原因是長期缺乏脂肪;
2. 在 2017 年更新配方時，部份飼料加入豆渣做為蛋白質成分以降低成本。但現時的鯧魚配方內因為含有豆渣，蛋白量較低而且脂肪量極低，因此需要加添更多挪威魚粉才可以達到要求的蛋白量及脂肪量，同時亦需繼續大量使用三文魚骨粉，此舉間接拉了高鯧魚飼料價錢，比更新後的石斑配方價錢更高;

3. 更新後的石斑飼料的價錢調整至每噸\$8994，提供約 40.0%粗蛋白及 10.0%粗脂肪，相比起鯧魚配方(粗蛋白 36.8%，粗脂肪 10.5%，\$9,164/噸)，更加符合成本效益;
4. 價格依然比鯧魚商業飼料便宜 5000 元/噸(35.6%);
5. 整體廚餘使用量仍然能夠維持在 50.0%的水準，在環保及效用上能夠取得平衡;
6. 統一材料能夠減少出錯機會。

表 1 新舊廚餘飼料的比較

成份	舊有配方			使用的新配方						
	粗蛋白	比例	蛋白 量 (% 乾重)	粗蛋白	粗脂肪	比例	蛋白量 (%乾 重)	脂肪量 (% 乾 重)	材料 單價 (港元)	小計
挪威魚粉	70.0%	22.0	15.4	70.0%	12.0%	25.0	17.5	3.00	15	375
銀雪魚+ 三文魚粉	40.0%	20.0	8.00	-	-	-	-	-	-	-
三文魚骨 粉	-	-	-	30.0%	15.0%	15.0	4.50	2.50	7.00	105
黃豆粉	-	-	-	42.0%	2.00%	10.0	4.20	0.220	5.00	50
廚餘肉類	35.0%	40.0	14.0	35.0%	10.0%	35.0	12.3	3.89	3.00	105
麵面酵母	40.0%	5.00	2.00	40.0%	1.90%	2.00	0.800	0.0400	20.0	40
小麥粉	10.0%	10.0	1.00	10.0%	5.00%	9.00	0.900	0.450	2.00	18
黃原膠	-	-	-	-	-	1.00	-	-	26.4	26.4
維他命噴 物質	-	3.00	-	-	-	3.00	-	-	10.0	30.0
		共	40.4			共	40.2	10.1		
材料總費 用 (港元)	7400	包含加 工費 (港元)	8900		材料總費用 (港 元)		7494	包含加工費 (港 元)		8994

4.2.3 改良後的廚餘飼料配方

在每次送貨當天，從每個包裝中收集大約 1 公斤的魚飼料，總共從 3 至 5 包飼料取樣。返回實驗室後，再從每包魚飼料中採取 4 個子樣本。飼料樣本使用研磨機粉碎後進行測驗（樣本數量， $n=20$ ）。總共對 3 批飼料進行了檢測。三批飼料的粗蛋白質含量，粗脂質，粗灰分和粗碳水化合物的平均值分別為 39.8 ± 2.79 至 $42.7 \pm 6.57\%$ 乾重， 9.04 ± 2.24 至 $10.1 \pm 2.60\%$ 乾重， 14.4 ± 2.78 至 $22.2 \pm 1.10\%$ 乾重和 25.0 至 36.0% 乾重(表 2)。

表 3 展示了測試的原始數據。魚飼料中的粗蛋白質和粗脂肪水準波動很大，其水準範圍為 35.2% 至 47.9% 乾重和 7.94% 至 11.2% 乾重，表明魚飼料的均勻性非常低。測試少量樣本不夠反映整批飼料的成份，因此收集足夠的樣本非常重要。同時，這些數據已告知黃先生，他承諾在生產中增加材料的混合時間，以增加飼料的整體均勻性。最後一批的飼料的均勻性相對於前批此的飼料有所改善，粗蛋白質含量，粗脂質，粗灰分和粗碳水化合物的平均值分別為 43.7% 乾重, 9.44% 乾重, 14.4% 乾重 及 32.7% 乾重。此批飼料用於 2019 年 7 月至 9 月。

表 2 改良後的廚餘飼料的營養成分測試

	濕度(%)	粗 蛋 白 (% 乾重)	粗脂肪 (% 乾重)	粗 灰 份 (%) (% 乾重)	碳水化合物 (% 乾重)
第一批飼料	12.7 ± 1.04	42.7 ± 6.57	10.1 ± 2.60	22.2 ± 1.10	25.0
第二批飼料	9.52 ± 0.810	39.8 ± 2.79	9.04 ± 2.24	15.2 ± 1.82	36.0
第三批飼料	7.82 ± 3.02	43.7 ± 8.33	9.24 ± 1.37	14.4 ± 2.78	32.7

表 3 改良後的廚餘飼料的營養成分測試

	粗蛋白 (% 乾重)	粗脂肪 (% 乾重)	粗灰份(% 乾重)
第一包	$35.2 \pm .942ab$	$11.2 \pm 4.37ab$	$19.4 \pm 1.10bc$
第二包	$39.6 \pm 3.33abc$	$9.32 \pm 1.05ab$	$19.5 \pm 0.479bc$
第三包	$36.9 \pm .623ab$	$8.64 \pm 1.53ab$	$18.9 \pm 0.365bc$
第四包	$39.0 \pm 1.58abc$	$11.8 \pm 2.90b$	$18.8 \pm 0.583bc$
第五包	$35.8 \pm 6.74ab$	$9.71 \pm 1.56ab$	$20.5 \pm 1.31c$
第六包	$32.5 \pm 8.52a$	$7.94 \pm 0.508a$	$12.2 \pm 0.183a$
第七包	$45.7 \pm 9.04bc$	$10.0 \pm 1.78ab$	$14.2 \pm 1.34ab$
第八包	$43.7 \pm 4.35bc$	$8.66 \pm 1.60ab$	$13.5 \pm 1.59ab$
第九包	$47.7 \pm 5.19c$	$9.43 \pm 0.557ab$	$14.8 \pm 5.17ab$
第十包	$47.9 \pm 5.46c$	$10.5 \pm 0.252ab$	$16.6 \pm 3.27bc$
平均值	40.4 ± 7.76	9.72 ± 2.09	16.8 ± 3.40

註:不同字母(相同列)表示顯著性差異 ($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

4.2.4 補救措施

飼料中的粗蛋白質含量比估計值低 0.07%，我們認為這種輕微的差別不會對魚類產生任何不良影響，因此不會採取任何行動。另一方面，飼料中檢測到的粗脂質較估計值低 9.60%。

原本的建議是使用魚油補充油脂，但經詢問後，最快及便宜的來源是中國的批發商，每公斤約 28 元人民幣（未加上運費），而在超市購買芥花籽油每升只需要 15 元港幣，因此我們將使用芥花籽油。文獻上有大量利用芥花籽油取代魚油的實驗結果，例如盲槽，黃尾鯊及虹鱒，實驗表明可以芥花籽油取代一半或以上的魚油而不影響魚類的生長表現 (Bowyer et al, 2012; Raso and Anderson, 2003; Turchini et al., 2013)。在重新考慮價錢後，在餵食前梁先生及魚工會用噴壺將芥花籽油噴灑在魚飼料上（每 10 公斤魚飼料加 300 毫升），用量不會超過總油脂量的一半。

4.3 改良後的廚餘飼料用於戶外魚排養殖測試 (2019 年 7 月至 9 月)

改良後的廚餘飼料同時用於沙巴龍躉和鯧魚養殖，與此同時，南漁牌石斑飼料及健馬牌金鯧魚飼料作為對照飼料，分別用於沙巴龍躉和鯧魚的養殖。魚排養殖實驗設置請參照 4.2.1。表 4 為廚餘飼料以及商業飼料的組分測驗結果概要。廚餘飼料含有 25.0% 的挪威魚粉，35.0% 的肉類廚餘，15.0% 的三文魚廚餘粉，10.0% 的黃豆粉，9.00% 的大麥粉，1.00% 的黃原膠，2.00% 的麵面酵母和 3.00% 的維生素礦物質複合物。飼料的營養成分測試結果表明，廚餘飼料和兩種商業的油脂和蛋白含量沒有顯著性的差異($p>0.05$)。三種飼料的蛋白成分的含量為 40.2 至 44.5%，油脂的含量為 10.4 至 12.8%。廚餘飼料中灰度的含量最低($7.72 \pm 0.26\%$)，沙巴龍躉商業飼料的灰度含量最高($12.8 \pm 0.0500\%$)，鯧魚商業飼料的灰度的含量次之($10.1 \pm 0.0900\%$)。

表 4 廚餘飼料成份及實驗飼料營養分析

	廚餘飼料配方 (% w/w)								
	挪威魚粉	三文魚骨粉	黃豆粉	廚餘肉類	麵面酵母	小麥粉	黃原膠	維他命礦物質	共
廚餘飼料	25.0	15.0	10.0	35.0	2.00	9.00	1.00	3.00	100
飼料成份	水份 (%)	粗灰份 (% DM)		粗脂肪 (% DM)		粗蛋白 (% DM)			
廚餘飼料	12.7 ± 1.06 ^b	7.72 ± 0.260 ^a		10.1 ± 2.60 ^a		42.7 ± 6.57 ^a			
南漁牌石斑商業飼料	7.19 ± 0.110 ^a	12.8 ± 0.0500 ^b		12.8 ± 1.96 ^a		40.2 ± 2.14 ^a			
健馬牌金鯧魚商業飼料	7.45 ± 0.0900 ^a	10.1 ± 0.0900 ^c		11.7 ± 3.44 ^a		44.5 ± 6.59 ^a			

註:不同字母(相同列)表示顯著性差異 ($p<0.05$)，鄧肯氏新多重變域測驗

4.3.1 魚類的生長表現

魚類的生長數據定於以下日子量度: (1) 2019 年 6 月 15 日; (2) 2019 年 7 月 15 日; (3) 2019 年 8 月 15 日 及 2019 年 08 月 30 日。如表 5 所示，餵食廚餘飼料和商業飼料的沙巴龍躉，經過 3 個月的餵食，魚的體重分別從最初的 419 ± 32.2 克 和 390 ± 44.5 克，增加到 749 ± 59.8 克 和 725 ± 40.6 克，相對增重分別為 $78.7 \pm 0.830\%$ 和 $86.4 \pm 17.3\%$ ，換肉率分別為 1.96 ± 0.160 和 1.96 ± 0.210 。資料分析表明，餵食廚餘飼料和商業飼料的沙巴龍躉，無論是在相對增重還是在換肉率上都沒有顯著性的差異($p>0.05$)。與此同時，餵食廚餘飼料和商業飼料的鯧魚，魚的體重分別從最初的 420 ± 33.8 克和 407 ± 25.0 克，增加到 642 ± 91.6 克和 701 ± 29.3 克，相對增重分別為 $52.7 \pm 14.3\%$ 和 $72.5 \pm 3.38\%$ ，換肉率分別為 5.65 ± 1.54 和 3.95 ± 0.160 。數據分析表明，餵食廚餘飼料的鯧魚與商業飼料的相比，無論是在相對增重 ($p>0.05$) 還是在換肉率上都相對遜色($p<0.05$)。綜合考慮相對增重和換肉率，與鯧魚相比，廚餘飼料更加適合沙巴龍躉的養殖。餵食廚餘飼料和商業飼料的石蚌的平均重量由 132g 及 125g 增加至 9 月份的 175 克及 180 克，相對增重率是 32.6% 及 45.2%。

表 5 2019 年 7 月 9 月魚排養殖魚類生長表現

	2019 年 7 月重量(克)	2019 年 9 月重量 (克)	相對增重 (%)	換肉率	K 因數	存活率 (%)
沙巴龍躉						
廚餘飼料飼養	419 ± 32.2^a	749 ± 59.8^a	78.7 ± 0.830^a	1.96 ± 0.160^a	1.75	80.3 ± 3.56^a
南漁牌商業飼料飼養	390 ± 44.5^a	725 ± 40.6^a	86.9 ± 17.3^a	1.96 ± 0.210^a	1.85	82.4 ± 1.11^a
鯧魚						
廚餘飼料飼養	420 ± 33.8^a	642 ± 91.6^a	52.7 ± 14.3^b	5.65 ± 1.540^c	1.68	69.3 ± 7.67^a
健馬牌商業飼料飼養	470 ± 25.0^a	701 ± 29.3^a	72.5 ± 3.38^{ab}	3.95 ± 0.160^b	1.71	72.3 ± 4.93^a
石蚌						
廚餘飼料飼養	132	175	32.6	1.91	1.70	85.3
健馬牌商業飼料飼養	124	180	45.2	1.94	1.75	86.7

註:不同字母(相同列)表示顯著性差異 ($p<0.05$)，鄧肯氏新多重變域測驗

表 6 展示了餵食不同飼料的魚產品的魚肉組分的測試結果。餵食廚餘飼料和商業飼料的沙巴龍躉魚肉中的油脂含量分別為 $9.69 \pm 0.630\%$ 和 $10.6 \pm 2.21\%$ ，與街市魚相比都沒有顯著性的差異 ($p>0.05$)。但是廚餘飼料飼養的沙巴龍躉的蛋白含量 ($32.4 \pm 7.40\%$) 顯著低於 ($p<0.05$) 商業飼料飼養的魚 ($52.7 \pm 2.80\%$)，與此同時，無氮浸出物 (NFE Nitrogen-free extract，包括易溶性碳水化合物(即澱粉,單糖)、

有機酸以及其它一些可溶性物質) 要顯著高於($p < 0.05$) 商業飼料飼養的魚 ($47.4 \pm 7.36\%$ VS $27.4 \pm 2.04\%$)。餵食廚餘飼料和商業飼料的鯧魚魚肉中的油脂含量分別為 $19.4 \pm 4.56\%$ 和 $21.7 \pm 1.76\%$ ，蛋白含量分別為 $40.6 \pm 6.74\%$ 和 $51.5 \pm 12.1\%$ 。儘管商業飼料養殖魚的油脂含量和蛋白含量高於廚餘飼料，但是沒有顯著性差異 ($p > 0.05$)。飼料養殖魚的無氮浸出物要顯著高於商業飼料養殖魚 ($29.4 \pm 4.52\%$ VS $15.5 \pm 11.4\%$)。與街市魚相比，廚餘飼料和商業飼料養殖魚的油脂含量要顯著性低於 ($p < 0.05$) 街市魚 ($27.8 \pm 3.15\%$)，與此同時，蛋白含量要顯著高於 ($p < 0.05$) 街市魚 ($34.0 \pm 3.25\%$)。

表 6 魚體成份分析

	水份(%)	粗灰份 (% 幹重)	粗脂肪 (%幹 重)	粗蛋白 (%幹 重)	無氮浸出物 (%幹重)*
沙巴龍躉					
廚餘飼料飼養	3.22 ± 0.540^a	10.5 ± 1.45^a	9.69 ± 0.630^a	32.4 ± 7.40^a	47.4 ± 7.36^c
南漁牌商業飼 料飼養	7.98 ± 4.06^b	9.26 ± 0.260^a	10.6 ± 2.21^a	52.7 ± 2.80^b	27.4 ± 2.04^{ab}
街市魚	5.09 ± 0.790^{ab}	9.32 ± 0.25^a	10.4 ± 1.87^a	47.7 ± 4.48^b	32.5 ± 4.89^b
鯧魚					
廚餘飼料飼養	2.63 ± 0.290^a	10.6 ± 0.540^a	19.4 ± 4.56^b	40.6 ± 6.74^{ab}	29.4 ± 4.52^b
健馬牌商業飼 料飼養	2.38 ± 0.620^a	11.2 ± 0.500^a	21.7 ± 1.76^b	51.5 ± 12.1^b	15.5 ± 11.4^a
街市魚	1.77 ± 0.170^a	8.55 ± 4.68^a	27.8 ± 3.15^c	34.0 ± 3.25^a	29.6 ± 6.73^b

註：無氮浸出物* $NFE \text{ Nitrogen-free extract} = 100 - (\text{粗蛋白} + \text{粗脂肪} + \text{粗灰份})$ ；不同字母(相同列)表示顯著性差異 ($p < 0.05$)，鄧肯氏新多重變域測驗

更新飼料配方後，沙巴龍躉的生長情況明顯改善，其原因可能與加入黃原膠及增加飼料的脂肪量有關。廚餘飼料加入黃原膠後，飼料生產性明顯改善，與此同時，飼料的光滑度也明顯改善，膨化後飼料亦能保持完整，從而使飼料的整體性能有所提升。另外，黃原膠亦可以提升飼料的整體脂肪量。黃旭進先生曾經指出，飼料中的脂肪量太高有機會使飼料的整體性能下降，過往他亦未曾使用過。事實上，黃原膠是一種常用於食物中的粘合劑，可以用於飼料中以增加穩定度。另外，使用黃原膠亦能使脂肪加強，從而能夠為石斑提供足夠的脂肪。過往的研究指出，對不同石斑而言，飼料中的最合適的粗脂肪量應為 9%-12% (Lin and Shiau, 2003; Luo et al., 2005; William, 2007)。就我們所知，過往研究並未有嘗試添加芥花籽油於沙巴龍躉的飼料中，但是，Yong et al. (2019) 發現棕櫚油和粟米油等植物油份不會影響沙巴龍躉的存活率。廚餘飼料添加芥花籽油後，沙巴龍躉並沒有產生排斥反應，而且生長表現有所提升。因此，添加芥花籽油解決了脂肪量不足的問題，更新配方後的問題迎刃而解。

2018 年 12 月至 2019 年 5 月的養殖實驗結果表明，餵食廚餘飼料(早期配方)的鯧魚生長表現比餵食商業飼料的組別較差。及後我們向署方申請更改飼料配方，由於早期配方中使用了蛋白量較低的豆渣，如果要保留豆渣，則需要加入大量挪威魚粉去保持蛋白量，結果會導致飼料成本大幅上升，因此，經考慮後我們向署方申請同時使用沙巴龍躉廚餘飼料餵飼鯧魚(鯧魚使用的飼料規格較小)。實驗發現，即使改用沙巴龍躉的飼料配方，鯧魚的生長表現仍然比商業飼料差，有機會是因為飼料顆粒大小不一所致。與沙巴龍躉不同，鯧魚的口比較細，由於飼料生產機器的緣故，與商業飼料比較，廚餘飼料顆粒的大小較為參次不一，從而可能導致鯧魚較難吞嚥顆粒較大的飼料。區及李(2017)指出鯧魚成魚飼料的最佳直徑為 20.0 至 30.0 mm，因此，部份較細小的鯧魚可能因此而未能充分進食。另一種可能是因為鯧魚對廚餘飼料的適應性不佳。在過往創新科技署資助的項目中，我們於實驗室研發了一種適用於羅非魚的飼料，並在魚塘進行測試，該羅非魚飼料亦同時用於養殖鯪魚，研究結果發現，鯪魚餵食羅非魚廚餘飼料的成效不佳，平均換肉率大約為 3.50 至 4.00，而餵飼相同飼料的羅非魚換肉率是 1.10 至 1.30 (Motel, 2018)。儘管如此，廚餘飼料的成份分析指出，飼料的營養成份完全符合鯪魚的生長需求。

對於石蚌養殖而言，梁錦明先生指出，養殖石蚌所需的時長而且風險高，由魚苗到成魚規格需要大約 2 年。雖然石蚌極受市場歡迎，但現時養殖戶已經不再考慮養殖。魚排養殖實驗進行後的一個多月，香港受超強颱風山竹吹襲，劇烈環境擾動令魚承受強烈的環境壓力，同時也導致了大量的魚受傷，再加上中秋前後的水溫回落是弧菌易爆發的時期)，從而導致了石蚌的大量死亡。餘下石蚌的數量只可以用小型網箱飼養，因此我們未能對廚餘飼料養殖石蚌得出一個有效的結論。

4.3.2 廚餘飼料的性能及飼料成本對比

表 7 三個相關項目中廚餘飼料成本對比

研究項目及目標魚類	商業飼料			廚餘飼料			節省生產成本
	飼料價格(\$/噸)	換肉率	每噸魚生產成本(\$/噸)	飼料價格(\$/噸)	換肉率	每噸魚生產成本(\$/噸)	
ECF							
草魚	8,500*	2.41	20,485	6,000	2.02	12,120	40.8%
ITF							
羅非魚	9,000**	1.12	10,080	6,800	1.06	7,208	28.5%
寶石鱸	9,000**	1.28	11,520	7,500	1.16	8,700	24.5%
SFDF-0023							
沙巴龍躉	17,500***	1.96	34,300	12,500	1.96	24,500	28.6%

註:* 2014 年的價格, 30% 蛋白含量; **2017 年的價格, 30% 蛋白含量; ***2019 年的價格, 42%蛋白含量; 包含運輸費用。

本項目的飼料的生產價格及養殖成本如表 7 所示, 同時亦附上過往 2 個研究項目的結果供參考。商業飼料通過公開採購獲得, 廚餘飼料的價格由黃旭進先生提供, 換肉率由實驗結果換算。兩種飼料的換肉率同為 1.96, 但價格相差 5,000 元/噸。結合魚排養殖結果分析, 廚餘飼料養殖沙巴龍躉可以減少 28.6%生產成本。與過往的淡水魚項目相比, 本項目的海水魚廚餘飼料單價相對較貴, 超過 10,000 元/噸。

4.4 飼料及魚肉中的污染物濃度及進食健康風險評估

4.4.1 實驗方法

飼料樣本採樣及處理

對用於 2019 年 7 月至 9 月魚排養殖的廚餘飼料進行分批採集。測試內容包含重金屬(鉻(Cr)、鎘(Cd)、鉛(Pb)、鎳 (Ni) 和汞 (Hg)), 多環芳香烴 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 簡稱 PAHs), 雙對氯苯基三氯乙烷 (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane 簡稱 DDTs)) 以及二噁英/多氯聯苯 (Dioxin/Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls)。每批飼料送到漁排後, 從每個包裝中收集大約 500 克的飼料, 總共從 5 包飼料取樣, 返回實驗室後, 再隨機抽取 3 個廚餘飼料樣本和商業飼料樣本(南漁牌石斑飼料和健馬牌金鯧魚飼料)進行研磨粉碎, 用於污染物(金屬/類金屬, DDTs 及 PAHs)。與此同時, 隨機抽取 5 個飼料樣本進行二噁英/多氯聯苯的外判化學測試。

魚產品樣本採樣及處理

戶外魚排養殖結束後(2019 年 7 月至 9 月), 從每籠網箱中隨機撈出 10 條魚(每個實驗組別 3 籠, 4 個實驗組別共 12 籠(廚餘養殖沙巴龍躉和鯧魚各 3 籠, 商業飼料養殖沙巴龍躉和鯧魚各 3 籠)), 磅重後放到冷藏箱內暫存並帶回實驗室。魚鱗、魚頭、魚骨和魚鰭等清除之後, 用錫紙將魚肉包妥置於-20°C 冰箱中保存, 待樣本充分結冰後, 利用冷凍乾燥機將樣本乾燥保存。將每籠網箱中撈出 10 條魚經粉碎機處理, 魚肉混勻後置於乾燥箱中保存, 每個實驗組別共有 3 個獨立混勻樣品, 隨後從獨立混勻樣品隨機分別採取 0.5 克用於重金屬, DDTs 及 PAHs 的檢測, 採取 600 至 800 克魚肉用於二噁英/多氯聯苯的檢測 (外判化學測試)。與此同時, 我們亦從街市中購買沙巴龍躉和鯧魚做為對照組, 樣品處理方法和檢測數量與上述一致。

金屬/類金屬分析方法

樣本中金屬/類金屬(鉻、鎘、鉛、鎳和汞)的量化根據美國環保局提供的方法進行 (USEPA, 2007a)。在聚四氟乙烯消化管微波系統設備下, 用 12.0 毫升的酸混合(鹽

酸:硝酸 3:1 的比例)消化約 0.5 克冷凍乾燥的魚肉樣本，稀釋後的過濾提取物通過電感耦合等離子體質譜儀(ICP - MS)進行分析 (USEPA, 2007b)。

DDTs 及 PAHs 分析

飼料及魚肉中的有機污染物(DDTs 及 PAHs)通過 QuEChERS 方法進行萃取 (Ramalhosa et al., 2009)。0.500 克冷凍乾燥的樣本通過乙腈，水，硫酸鎂及氯化鈉萃取後，經 DSPE 淨化處理，隨後通過氣相質譜儀進行樣本分析。

進食健康風險評估

攝入相關污染物的非致癌風險可以通過攝入量(EDI)與參考劑量 (RfD)或每日攝入耐受量(PTDI)的比值，即危害商數(HQ)，來進行評估。以兒童這一弱勢群體的暴露週期為參考，參考劑量 (RfD) 或 PTDI (mg/kg/day) 估算了人體日均暴露的可接受的最大風險水準。單一類型的化合物 (金屬/類金屬，PAHs 或 DDTs)的 HQ 值可以累計成 HI 值，當 HI 值小於或等於 1 時，暴露人群無健康風險，當 HI 值大於 1 時，則會有礙人體健康 (USEPA, 1989)。以下等式(等式 1,2,3)可用於估算人體對含有污染物魚類的每日攝入量(EDI)以及由此帶來的健康風險 (USEPA,1989)。

$EDI = (CC \times CR) / BW$ 公式 (1)

EDI = 估計攝入量 (毫克/千克/天)

CC = 污染物濃度 (毫克/千克)

CR = 每天水產品的攝入量 (千克/天)

BW = 身體重量 (千克)

$HQ = EDI / RfD \text{ or } PTDI$ 公式 (2)

HQ = 風險係數

RfD = 參考劑量 (毫克/千克/天)

PTDI = 每日攝入耐受量 (毫克/千克/天)

$HI = HQ \text{ 總和}$ 公式 (3)

HI = 危害指標

致癌風險的評估與非致癌風險評估程式類似，但與其利用 EDI 和 RfD 的比值所不同，致癌風險值等於 EDI (毫克/千克/天) 與斜率因數(SFO) (毫克/千克/天)⁻¹ 相乘 (見公式 4)。

癌症風險 = EDI × SFO (公式 4)

SFO = 口服坡因素 (毫克/千克 /天)⁻¹

4.4.2 飼料及魚肉中的金屬/類金屬濃度及健康風險評估結果

商業飼料和廚餘飼料中的重金屬檢測結果如表 8 所示。沙巴龍躉和鯧魚商業飼料中的鉻(Cr)、鎘(Cd)、鉛(Pb)的濃度顯著高於廚餘飼料($p<0.05$)，鎳 (Ni) 和汞 (Hg) 在三種飼料中的濃度沒有顯著性的差異 ($p>0.05$)。魚肉中的重金屬檢測結果表明，商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉中的重金屬除了鉛 (0.0800 ± 0.0140 毫克/千克 VS 0.218 ± 0.0939 毫克/千克， $p<0.05$)，其他重金屬和總的重金屬濃度都沒有顯著性差異 ($p>0.05$)。與街市魚相比較而言，街市魚中的鎳和汞要顯著高於 ($p<0.05$)商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉。

鯧魚中的重金屬檢測結果與沙巴龍躉類似，商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚中的 6 種重金屬濃度沒有顯著性差異($p>0.05$)。街市鯧魚中的鉻要高於商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚，但是沒有顯著性的差異($p>0.05$)，而砷顯著低於廚餘飼料飼養的鯧魚(0.448 ± 0.0938 毫克/千克 VS 0.660 ± 0.0485 毫克/千克， $p<0.05$)。

表 8 飼料及魚肉中的金屬/類金屬濃度

金屬/類金屬濃度 (毫克/千克 幹重)							
	Cr	Ni	As	Cd	Hg	Pb	總金屬/類金屬濃度
飼料							
南漁牌石斑商業飼料	0.469 ± 0.00800 ^a	0.634 ± 0.00100 ^a	0.225 ± 0.0124 ^a	0.240 ± 0.00700 ^a	0.0366 ± 0.0278 ^a	0.247 ± 0.0465 ^b	1.85 ± 0.0531 ^a
健馬牌鯧魚商業飼料	0.475 ± 0.0390 ^a	0.594 ± 0.0500 ^a	0.156 ± 0.0454 ^b	0.211 ± 0.0370 ^a	0.0119 ± 0.00817 ^a	0.431 ± 0.101 ^c	1.88 ± 0.242 ^a
廚餘飼料	0.225 ± 0.0448 ^b	0.784 ± 0.172 ^a	0.0949 ± 0.0335 ^b	0.0567 ± 0.0116 ^b	0.0219 ± 0.0220 ^a	0.106 ± 0.0449 ^a	1.28 ± 0.192 ^b
魚肉							
沙巴龍躉							
南漁牌商業飼料飼養	0.506 ± 0.00800 ^a	0.358 ± 0.002 ^a	0.695 ± 0.171 ^a	0.0247 ± 0.0116 ^a	0.0312 ± 0.00260 ^b	0.0800 ± 0.0140 ^a	1.69 ± 0.157 ^a
廚餘飼料飼養	0.493 ± 0.0129 ^a	0.403 ± 0.116 ^a	0.683 ± 0.0459 ^a	0.101 ± 0.0786 ^a	0.0261 ± 0.00440 ^b	0.218 ± 0.0939 ^b	1.92 ± 0.0478 ^a
街市魚	1.27 ± 1.13 ^a	0.774 ± 0.178 ^b	0.646 ± 0.179 ^a	0.0535 ± 0.0376 ^a	0.142 ± 0.000300 ^a	0.104 ± 0.0599 ^{ab}	2.86 ± 1.09 ^a
鯧魚							
健馬牌商業飼料飼養	0.518 ± 0.0411 ^a	0.394 ± 0.0320 ^a	0.565 ± 0.0466 ^{ab}	0.0295 ± 0.00970 ^a	0.124 ± 0.112 ^a	0.160 ± 0.083 ^a	1.79 ± 0.227 ^a
廚餘飼料飼養	0.679 ± 0.357 ^a	0.474 ± 0.112 ^a	0.660 ± 0.0485 ^b	0.033 ± 0.0205 ^a	0.0409 ± 0.00900 ^a	0.103 ± 0.0258 ^a	1.99 ± 0.382 ^a
街市魚	13.3 ± 21.9 ^a	1.24 ± 1.30 ^a	0.448 ± 0.0938 ^a	0.0552 ± 0.0275 ^a	0.0289 ± 0.00680 ^a	0.109 ± 0.0483 ^a	15.2 ± 23.1 ^a
食物攪雜(金屬雜質含量)規例	≤ 1.00	-	≤ 6.00	≤ 2.00	≤ 0.500	≤ 6.00	-

註：數值(平均±標準差)在同一魚類(相同列)中標有不同字母表示有顯著性差異 ($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

表 9 進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴龍躉和鯧魚源自金屬/類金屬的非癌症風險

魚種	危害指標 (成人)	危害指標 (兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	0.428 ± 0.0947^a	0.547 ± 0.122^a
廚餘飼料飼養	0.439 ± 0.0131^a	0.559 ± 0.0180^a
街市魚	0.396 ± 0.103^a	0.506 ± 0.134^a
鯧魚		
健馬牌商業飼料飼養	0.417 ± 0.0518^a	0.525 ± 0.0570^a
廚餘飼料飼養	0.416 ± 0.0359^a	0.531 ± 0.0452^a
街市魚	0.294 ± 0.0594^b	0.374 ± 0.0757^b

註: 所有非癌症風險均以 10^{-3} 表達, 數值(平均 $\pm$ 標準差)在同一魚類中標有不同字母表示有顯著性差異 ($p < 0.05$), 鄧肯氏新多重變域測驗

對魚肉中的重金屬的非癌症風險評估如表 9 所示。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉、廚餘養殖沙巴龍躉以及街市沙巴龍躉的風險係數分別為 0.428 ± 0.0947 , 0.439 ± 0.0131 和 0.396 ± 0.103 , 它們之間沒有顯著性差異 ($p > 0.05$)。香港兒童食用這三種魚的的風險係數分別為 0.547 ± 0.122 , 0.559 ± 0.0180 和 0.506 ± 0.134 , 同樣沒有顯著性的差異($p > 0.05$)。

對於鯧魚而言, 香港成年人食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的危害指標分別為 0.417 ± 0.0518 和 0.416 ± 0.0359 , 要顯著高於街市鯧魚(0.294 ± 0.0594 , $p < 0.05$)。香港兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的危害指標為別為 0.525 ± 0.0570 和 0.531 ± 0.0452 , 同樣顯著性的高於街市鯧魚(0.374 ± 0.0757 , $p < 0.05$)。

無論是成年人還是兒童, 食用商業魚飼料養殖魚、廚餘養殖魚以及街市魚的危害指標小於 1, 不會造成健康風險(USEPA 1986)。商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚中的砷為非癌症風險的主要來源。

表 10 進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴龍躉和鯧魚源自金屬/類金屬的癌症風險

魚種	癌症風險(成人)	癌症風險(兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	2.00 ± 0.491^a	2.57 ± 0.632^a
廚餘飼料飼養	1.96 ± 0.132^a	2.53 ± 0.170^a
街市魚	1.85 ± 0.515^b	2.39 ± 0.663^a
鯧魚		

健馬牌商業飼料飼養	1.62 ± 0.133 ^{ab}	2.09 ± 0.172 ^{ab}
飼料飼養	1.90 ± 0.139 ^b	2.44 ± 0.179 ^b
街市魚	1.29 ± 0.269 ^a	1.66 ± 0.347 ^a

註: 所有癌症風險均以 10^{-5} 表達, 數值(平均 ± 標準差)在同一魚類中標有不同字母表示有顯著性差異 ($p < 0.05$), 鄧肯氏新多重變域測驗

癌症風險評估結果如表 10 所示。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的癌症風險係數分別為 2.00×10^{-5} 和 1.96×10^{-5} , 顯著性低於 ($p < 0.05$) 街市沙巴龍躉 (1.85×10^{-5})。香港兒童食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的癌症風險係數分別為 2.57×10^{-5} 和 2.53×10^{-5} , 與街市沙巴龍躉 (2.39×10^{-5}) 沒有顯著性差異 ($p > 0.05$)。鯧魚的癌症風險評估結果表明, 香港成年人和兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的癌症風險係數沒有顯著性的差異, 但是顯著高於街市鯧魚 ($p < 0.05$)。

無論是成年人還是兒童, 食用商業魚飼料養殖魚、廚餘養殖魚以及街市魚的危害指標小於 1, 因此進食並不會構成健康風險。商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚中的砷為非癌症風險的主要來源。過往有研究指出, 進食水產是人們從食物攝入砷的主要途徑之一 (Li et al., 2011)。但是, 魚產品中的砷大部份是毒性較低的有機砷化合物 (CFS, 2006a), 而且, 進食健康風險評估的結果亦顯示出, 危害指標和癌症風險分別低於 1 和大於 1.0×10^{-5} 的範圍, 因此魚肉內的金屬/類金屬量並不會對進食者構成健康風險。

另一方面, 在街市魚魚肉中檢測得到較高的金屬/類金屬量。與餵飼廚餘飼料的魚相比, 街市購買的沙巴龍躉和鯧魚都有顯著地較高的鉻和鎳, 其中, 街市鯧魚的鉻量比食物 (金屬雜質含量) 規例中定立的最高准許濃度高約 13 倍(魚肉的最高准許鉻濃度是 1.00 毫克/千克 (CFS, 2018))。

4.4.3 飼料及魚肉中的 PAHs 濃度及健康風險評估

商業飼料和廚餘飼料中 PAHs 的檢測結果如表 11 所示。沙巴龍躉商業飼料中的 Naphthalene (Nap)、Anthracene (Ant)、benzo(a)anthracene (BaA)、benzo(a)pyrene (BaP) 的濃度顯著高於 ($p < 0.05$) 廚餘飼料中的濃度, 16 種 PAHs 的總濃度與廚餘飼料沒有顯著性的差異 ($p > 0.05$)。鯧魚商業飼料中的 acenaphthylene (Acel)、phenanthrene (Phe)、Ant、fluoranthene (Fit)、pyrene (Pyr)、BaA、chrysene (Chry)、benzo(b)fluoranthene (BbF)、benzo(k)fluoranthene (BkF)、BaP、indeno(1,2,3-C,D)pyrene (IP) 的濃度顯著高於 ($p < 0.05$) 廚餘飼料中的濃度。鯧魚商業飼料中 Σ PAHs 顯著高於廚餘飼料 (355 ± 74.7 納克/克 VS 65.9 ± 3.72 納克/克, $p < 0.05$)。

表 11 飼料及魚肉中的 PAHs 濃度

	PAHs 濃度 (納克/克 幹重)																
	Nap	Acel	Ace	Fl	Phe	Ant	Fit	Pyr	BaA	Chry	BbF	BkF	BaP	IP	DahA	BghiP	ΣPAHs
飼料																	
南漁牌商業飼料	21.9b	<DL	9.44a	8.86a	17.73a	4.84b	7.64a	7.03a	2.85a	7.11a	13.7a	3.03a	1.31a	<DL	<DL	6.23a	112 ± 12.5a
健馬牌商業飼料	18.2ab	3.14	18.0b	8.67a	39.7b	14.8c	61.3b	73.4b	18.5b	26.7b	37.6b	16.9b	11.1b	3.7	<DL	3.68a	355 ± 74.7b
廚餘飼料	14.6a	<DL	5.53a	6.22a	11.7a	0.260a	1.47a	1.11a	<DL	0.340a	13.9a	7.86a	<DL	<DL	0.250	2.84a	65.9 ± 3.72a
魚肉																	
沙巴龍躉																	
南漁牌商業飼料飼養	15.7a	4.34a	3.24a	3.34a	7.74a	0.770a	0.860a	6.42a	<DL	0.200a	<DL	<DL	<DL	0.800a	0.0200a	1.88a	44.5 ± 11.2a
廚餘飼料飼養	22.8b	<DL	3.85a	3.38a	6.31a	0.520a	0.160a	1.92a	<DL	0.0800a	<DL	<DL	<DL	0.0500a	<DL	3.58b	42.7 ± 8.02a
街市魚	19.6ab	53.6b	13.6b	5.72b	17.3b	4.09b	4.59b	3.23a	<DL	0.0500a	<DL	0.900	<DL	3.02b	0.120a	<DL	126 ± 8.18b
鯧魚																	
健馬牌商業飼料飼養	6.75a	0.370a	0.200a	9.78a	2.84a	<DL	0.510a	3.33a	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	4.98	28.8 ± 10.6a
廚餘飼料飼養	6.34a	2.23a	0.630a	8.52a	4.05a	<DL	0.600a	2.14a	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	0.04	<DL	10.9b	35.4 ± 5.07a
街市魚	28.6b	3.90a	7.02b	9.23a	20.3b	0.540	3.40b	2.27a	<DL	<DL	0.170	4.37	0.0100	<DL	<DL	<DL	79.9 ± 5.54b

註: 數值(平均 ± 標準差) 在同一魚類中標有不同字母表示有顯著性差異($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

隨後的魚肉中的 PAHs 檢測結果表明，商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉魚肉中的 Σ PAHs 濃度沒有顯著性差異 (44.5 ± 11.2 納克/克 VS 42.7 ± 8.02 納克/克， $p>0.05$)，不過廚餘養殖的沙巴龍躉中的 Nap 和 benzo(g,h,i)perylene (BghiP) 顯著高於商業飼料養殖魚。與街市魚相比，街市魚中的 Acel、Ace、fluorine (FI)、Phe、Ant、Fit、BkF、IP 以及 Σ PAHs 都要顯著高於商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉($p<0.05$)。

鯧魚中的 PAHs 檢測結果表明，商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚魚肉中的 Σ PAHs 濃度沒有顯著性差異 (28.8 ± 10.6 納克/克 VS 35.4 ± 5.07 納克/克， $p>0.05$)，顯著低於街市鯧魚 (79.9 ± 5.54 納克/克， $p<0.05$)。街市鯧魚魚肉中的 Nap、Ace、Phe、Ant 和 Fit 都顯著高於($p<0.05$)業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚。

表 12 進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴龍躉和鯧魚的非癌症風險

魚種	危害指標 (成人)	危害指標 (兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	0.167 ± 0.0630^a	0.192 ± 0.0730^a
廚餘飼料飼養	0.126 ± 0.0170^a	0.226 ± 0.0300^a
街市魚	0.147 ± 0.0160^a	0.263 ± 0.0280^a
鯧魚		
健馬牌商業飼料飼養	0.102 ± 0.0350^b	0.118 ± 0.0410^a
廚餘飼料飼養	0.058 ± 0.00990^a	0.104 ± 0.0180^a
街市魚	0.184 ± 0.0276^c	0.327 ± 0.0490^b

註:所有非癌症風險均以 10^{-3} 表達，數值(平均 $\pm$ 標準差)在同一魚類中標有不同字母表示有顯著性差異 ($p<0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

根據魚肉中的 PAHs 濃度，對香港本地居民食用不同來源魚的非癌症風險進行了評估，結果如表 12 所示。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉、廚餘養殖沙巴龍躉以及街市沙巴龍躉的非癌症風險係數分別為 0.167×10^{-3} ， 0.126×10^{-3} 和 0.147×10^{-3} ，它們之間沒有顯著性差異($p>0.05$)。香港兒童食用這三種魚的非癌症風險係數分別為 0.192×10^{-3} ， 0.226×10^{-3} 和 0.263×10^{-3} 。

對於鯧魚而言，香港成年人食用商業魚飼料養殖鯧魚的非癌症風險係數為 0.102×10^{-3} ，要顯著高於廚餘養殖鯧魚(0.0580×10^{-3} ， $p<0.05$)，但是顯著小於街市鯧魚(0.184×10^{-3} ， $p<0.05$)。香港兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的非癌症風險係數分別為 0.118×10^{-3} 和 0.104×10^{-3} ，它們之間沒有顯著性差異($p>0.05$)，但是否顯著性的低於街市鯧魚(0.327×10^{-3} ， $p<0.05$)。

表 13 進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴龍躉和鯧魚的癌症風險

魚種	癌症風險(成人)	癌症風險(兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	0.365 ± 0.595^a	0.421 ± 0.687^a
廚餘飼料飼養	0.043 ± 0.0480^a	0.0771 ± 0.0856^a
街市魚	4.00 ± 2.63^b	7.14 ± 4.69^b
鯧魚		
健馬牌商業飼料飼養	0.0200 ± 0.0340^a	0.0120 ± 0.0410^a
廚餘飼料飼養	0.0410 ± 0.0990^a	0.0724 ± 0.177^a
街市魚	0.656 ± 0.262^b	1.17 ± 0.468^b

註: 所有癌症風險均以 10^{-8} 表達, 數值(平均±標準差)在同一魚類中標有不同字母表示有顯著性差異 ($p<0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗

表 13 展示了進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴和鯧魚的癌症風險。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉、廚餘養殖沙巴龍躉以及街市沙巴龍躉的癌症風險係數分別為 0.365×10^{-8} , 0.0430×10^{-8} 和 4.00×10^{-8} , 食用街市魚的致癌風險遠高於食用廚餘飼料/商業飼料養殖 ($p<0.05$)。香港兒童食用這三種魚的非癌症風險係數分別為 0.421×10^{-8} , 0.0771×10^{-8} 和 7.14×10^{-8} , 同樣地食用街市魚的致癌風險遠高於食用廚餘飼料/商業飼料養殖($p<0.05$)。

另一方面, 香港成年人食用街市鯧魚的癌症風險係數為 0.656×10^{-8} , 要顯著高於廚餘養殖(0.0410×10^{-8})及商業飼料鯧魚(0.0200×10^{-8}) ($p<0.05$), 但是顯著小於街市鯧魚(0.184×10^{-3} , $p<0.05$)。同樣地, 香港兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的非癌症風險係數分別為 0.0120×10^{-8} 和 0.0724×10^{-8} , 它們之間沒有顯著性差異($p>0.05$), 但是否顯著性的低於街市鯧魚(1.17×10^{-8} , $p<0.05$)。

PAHs(多環芳烴) 是指含有兩個或更多個由碳和氫原子組成的稠合芳環, 是親脂性, 化學性質穩定的有機化學物質。部份多環芳烴 (例如 BaP) 被認為可能對人類致癌。PAHs 從煤炭, 原油和天然氣的加工過程以及煤炭, 石油, 天然氣, 垃圾或其他有機物的不完全燃燒中形成的物質。它們無處不在, 普遍存在於空氣, 土壤, 水和食物中(WHO, 1998)。成人攝入多環芳烴的主要來源是食物, 佔總曝露的 90%以上。現時香港仍然未有為食物中的 PAHs 設立相關法例或標準, 但因為 PAHs 對人體有害, 其中進食魚產品亦是一重要 PAHs 來源, 因此魚產品中的 PAHs 是其中一項重要的安全指標。

如同之前兩個項目的結果, 使用廚餘飼料能夠生產出含有低濃度 PAHs 的安全的魚產品。Cheng et al. (2015) 的研究結果表明, 投餵肉類為主或穀物為主的廚餘飼料的鯪魚, 大頭魚及鯪魚魚肉的 PAHs 總濃度低於 20.0 納克/克, 危害指標值

(Hazard Indices) 低於 1 而致癌風險 (cancer risk) 低於 1×10^{-6} 。另外，Man et al. (2020) 指出，利用發酵後的廚餘生產的羅非魚及寶石魚中檢測到的總 PAHs 濃度介乎 135 至 205 納克/克，而魚產品的危害指標值低於 1，並魚產品中 PAHs 的致癌風險低於 1×10^{-6} 至 1×10^{-4} 之間，對人類食用是安全的。就 PAHs 濃度而言，本次項目中餵食廚餘飼料的沙巴和鯧魚的 PAHs 值為 28.8 至 44.5 納克/克，危害指標值低於 1 而致癌風險低至 10^{-8} 的水準，表明即使是飼料營養要求較高的海水魚，魚肉中的 PAHs 量極低，長期進食亦不會成健康風險。利用廚餘飼料養殖海水魚並不會對進食者構成非癌症及癌症風險。

4.4.4 飼料及魚肉中的 DDTs 濃度及健康風險評估

DDT，中文又作滴滴涕，曾經是最著名的合成農藥和殺蟲劑，DDT 以及其主要代謝產物 DDE，由於具有較高的親脂性，因此容易在動物脂肪中積累，造成長期毒性，世界衛生組織 WHO 界定為二級致癌物。商業飼料和廚餘飼料中 6 種主要的 DDTs 衍生產物的檢測結果如表 14 所示。沙巴龍躉商業飼料中 DDTs 的濃度以及 Σ DDTs 與鯧魚商業飼料沒有顯著性的差異 ($p > 0.05$)。與廚餘飼料相比，除了 pp-DDT 要顯著性的低於廚餘飼料 (1.51 ± 0.121 納克/克 VS 2.49 ± 0.582 納克/克)，其它 5 種 DDTs 以及 Σ DDTs 都沒有顯著的差異 ($p > 0.05$)。鯧魚商業飼料中 op-DDE 和 pp-DDT 的濃度顯著低於 ($p < 0.05$) 廚餘飼料中的濃度，但是 Σ DDTs 沒有顯著性的差異 ($p > 0.05$)。

魚肉中的 DDTs 檢測結果表明，商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉魚肉中的 Σ DDTs 濃度沒有顯著性差異 (9.69 ± 1.21 納克/克 VS 11.3 ± 0.690 納克/克， $p > 0.05$)，與街市魚相比，除了 pp-DDD，街市魚中的其它 5 種 DDTs 以及 Σ DDTs 都要顯著高於商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉 ($p < 0.05$)。

鯧魚中的 DDTs 檢測結果表明，商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚魚肉中的 Σ DDTs 濃度沒有顯著性差異 (33.0 ± 3.03 納克/克 VS 31.7 ± 5.32 納克/克， $p > 0.05$)。儘管街市鯧魚魚肉中的 op-DDE，pp-DDE 和 pp-DDT 都顯著低於 ($p < 0.05$) 使用商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚。但是其滴滴涕總含量 Σ DDTs (41.3 ± 8.39 納克/克) 顯著地比商業飼料和廚餘飼料飼養的鯧魚高 ($p < 0.05$)。

表 14 飼料及魚肉中的 DDTs 濃度

	DDTs 濃度 (納克/克 幹重)						
	op-DDE	pp-DDE	op-DDD	pp-DDD	op-DDT	pp-DDT	ΣDDTs
飼料							
南漁牌商業飼料	0.678 ± 0.166 ^{ab}	2.37 ± 0.558 ^a	0.796 ± 0.358 ^a	1.60 ± 0.390 ^a	0.866 ± 0.136 ^a	1.51 ± 0.121 ^a	7.81 ± 1.61 ^a
健馬牌商業飼料	0.513 ± 0.0117 ^a	1.51 ± 0.549 ^a	0.685 ± 0.269 ^a	1.71 ± 0.312 ^a	0.875 ± 0.136 ^a	1.95 ± 0.175 ^{ab}	7.24 ± 1.01 ^a
廚餘飼料	1.15 ± 0.434 ^b	2.83 ± 0.883 ^a	0.763 ± 0.684 ^a	1.30 ± 0.0760 ^a	0.894 ± 0.0675 ^a	2.49 ± 0.582 ^c	9.43 ± 1.76 ^a
魚肉							
沙巴龍躉							
南漁牌商業飼料飼養	0.533 ± 0.0900 ^a	3.87 ± 0.711 ^a	0.148 ± 0.0330 ^a	2.96 ± 0.941 ^a	1.16 ± 0.111 ^a	1.01 ± 0.163 ^a	9.69 ± 1.21 ^a
廚餘飼料飼養	0.490 ± 0.017 ^a	5.11 ± 0.363 ^a	0.274 ± 0.145 ^a	2.14 ± 1.09 ^a	1.40 ± 0.561 ^a	1.87 ± 0.517 ^a	11.3 ± 0.689 ^a
街市魚	3.33 ± 0.656 ^b	7.67 ± 1.68 ^b	1.43 ± 1.75 ^b	3.44 ± 0.258 ^a	5.82 ± 0.0814 ^b	3.22 ± 1.70 ^b	24.9 ± 5.84 ^b
鯧魚							
健馬牌商業飼料飼養	2.90 ± 0.782 ^a	6.67 ± 0.935 ^a	4.23 ± 0.325 ^a	4.15 ± 1.86 ^a	4.86 ± 3.12 ^a	10.2 ± 4.16 ^a	33.0 ± 3.03 ^a
廚餘飼料飼養	2.63 ± 0.326 ^a	5.82 ± 1.06 ^a	3.51 ± 0.692 ^b	4.04 ± 1.62 ^a	8.70 ± 4.35 ^a	7.05 ± 1.09 ^a	31.7 ± 5.32 ^a
街市魚	0.792 ± 0.291 ^b	3.50 ± 0.362 ^b	3.14 ± 0.0930 ^b	23.0 ± 3.06 ^b	9.93 ± 6.82 ^a	0.999 ± 0.0993 ^b	41.3 ± 8.39 ^b

註: 數值(平均 ± 標準差)不同字母(相同列)表示有顯著性差異 ($p < 0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗

表 15 按照 DDTs 濃度估算進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴龍躉和鯧魚的非癌症風險

魚種	危害指標 (成人)	危害指標 (兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	0.291 ± 0.0470^a	0.336 ± 0.0543^a
廚餘飼料飼養	0.538 ± 0.149^a	0.621 ± 0.172^a
街市魚	0.927 ± 0.318^b	1.07 ± 0.564^b
鯧魚		
健馬牌商業飼料飼養	2.93 ± 1.20^a	3.38 ± 1.38^a
廚餘飼料飼養	2.03 ± 0.314^a	2.34 ± 0.362^a
街市魚	0.287 ± 0.0285^b	0.331 ± 0.0329^b

註：所有癌症風險均以 10^{-6} 表達，數值(平均 $\pm$ 標準差)在同一魚類中(相同列)不同字母表示有顯著性差異 ($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

根據不同魚肉中的 DDTs 濃度，對香港本地居民食用不同來源魚的非癌症風險進行了評估，結果如表 15 所示。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的非癌症風險係數分別為 0.291×10^{-3} 和 0.538×10^{-3} ，顯著性低於街市沙巴龍躉(0.927×10^{-3} ， $p < 0.05$)。香港兒童食用這三種魚的非癌症風險係數具有相似的結果，商業魚飼料養殖沙巴龍躉(0.336×10^{-3})和廚餘養殖沙巴龍躉(0.621×10^{-3})之間沒有顯著性的差異($p > 0.05$)，但是要顯著性的小於街市沙巴龍躉(1.07×10^{-3} ， $p < 0.05$)。

對於鯧魚而言，香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的非癌症風險係數分別為 2.93×10^{-3} 和 2.03×10^{-3} ，要顯著高於街市鯧魚(0.287×10^{-3} ， $p < 0.05$)。香港兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚和廚餘養殖鯧魚的非癌症風險係數分別為 3.38×10^{-3} 和 2.34×10^{-3} ，它們之間沒有顯著性差異($p > 0.05$)，但是顯著性的高於街市鯧魚(0.331×10^{-3} ， $p < 0.05$)。

表 16 按照 DDTs 濃度估算進食廚餘飼料/商業飼料養殖及購買自街市的沙巴和鯧魚的癌症風險

魚種	癌症風險(成人)	癌症風險(兒童)
沙巴龍躉		
南漁牌商業飼料飼養	0.341 ± 0.0472^a	0.393 ± 0.0545^a
廚餘飼料飼養	0.415 ± 0.0312^a	0.479 ± 0.0360^a
街市魚	0.651 ± 0.165^b	0.752 ± 0.191^b
鯧魚		
健馬牌商業飼料飼養	0.967 ± 0.225^a	1.12 ± 0.259^a
廚餘飼料飼養	0.769 ± 0.125^a	0.887 ± 0.145^a
街市魚	1.01 ± 0.103^a	1.17 ± 0.119^a

註: 所有癌症風險均以 10^{-6} 表達, 數值(平均 $\pm$ 標準差)在同一魚類中(相同列)不同字母表示有顯著性差異($p < 0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗

癌症風險評估結果如表 16 所示。香港成年人食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的癌症風險係數分別為 0.341×10^{-6} 和 0.415×10^{-6} , 顯著性低於($p < 0.05$)街市沙巴龍躉 (0.651×10^{-6})。香港兒童食用商業魚飼料養殖沙巴龍躉和廚餘養殖沙巴龍躉的癌症風險係數分別為 0.393×10^{-6} 和 0.479×10^{-6} , 同樣顯著性低於($p < 0.05$)街市沙巴龍躉 (0.752×10^{-6})。鯧魚的癌症風險評估結果表明, 香港成年人和兒童食用商業魚飼料養殖鯧魚, 廚餘養殖鯧魚以及街市鯧魚的癌症風險係數沒有顯著性的差異($p > 0.05$)。

DDTs 是一種活性範圍很廣泛的有機氯殺蟲劑, 雖然因為其毒性及長, 二零零一年通過的《斯德哥爾摩公約》限制使用 DDTs, 不少國家包括中國已禁止使用滴滴涕, 但部份地方仍然會因為用於控制瘧疾和其他媒介傳播疾病而繼續使用(van der Berg et al., 2017)。DDTs 的持久性高, 而且具強烈親脂性, DDTs 及其代謝物容易積存在生物的脂肪內, 和在較高層食物鏈中積聚至更高水準。過往研究顯示, 香港授乳母親的乳汁樣本比與其他國家的相比, DDTs 含量偏高(Hui et al., 2008)。因此, 香港市民攝取滴滴涕對健康的潛在影響備受關注, 有可能是因為香港市民消耗的海鮮較多(Wong et al., 2005)。食物被認為是一般人攝取滴滴涕的主要來源, 因此, 本項目亦檢測飼料和魚肉中的 DDT 量。使用廚餘飼料餵飼的魚產品的危害指標癌症風險無論是成年人還是兒童, 食用商業魚飼料養殖魚、廚餘養殖魚的癌症風險係數在 1.0×10^{-7} 至 1.0×10^{-5} 之間, 屬於低癌症風險。在國際禁止使用 DDTs 的背景下, 新生產的 DDT 已經大幅減少, 但是 DDT 仍然有被使用(van der Berg et al., 2017)。中國被豁免使用滴滴涕進行病媒控制, 例如控制傳播瘧疾的蚊子, 其它的非法使用還包括漁民使用含有滴滴涕的油漆進行魚籠塗漆(Wong et al., 2005)。DDT 的來源, 可以透過計算(DDD+DDE)/DDTs 的比例數值少於 0.5 化表有新使用, 大於 0.5 則代表是過往使用的殘留(Yu et al., 2011)。結果發

現，不論是飼料，實驗養殖魚或者(DDD+DDE)/DDTs 的比例都大於 0.5，顯示出飼料和魚產品的 DDTs 是基於過往使而累積。

4.4.5 飼料中二噁英及濃度及健康風險評估

表 17 展示了飼料及魚肉中的二噁英樣多氯聯苯濃度。在商業飼料和廚餘飼料中都檢測到了二噁英(PCDD/Fs)，但是具有毒性最強的 2,3,7,8-四氯二苯並對二噁英(TCDD)在商業飼料和廚餘飼料中都沒有檢測到(小於最低檢測極限 0.04 皮克/克)。除此之外，1,2,3,4,7,8-HexaCDD、1,2,3,7,8,9-HexaCDD、1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD、1,2,3,7,8,9-HexaCDF、1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF 和 OctaCDF 在 3 種魚飼料中的濃度都小於最低檢測限。2,3,4,7,8-五氯二苯並呋喃(PCDF)在三種飼料中都有檢測到，其中商業鯧魚飼料的濃度(0.350 皮克/克)要顯著($p<0.05$)低於商業沙巴龍躉飼料(0.530 皮克/克)和廚餘飼料(0.580 皮克/克)。根據世衛組織於 2005 年訂定，關於二噁英和多氯二苯並呋喃的同系物的毒性當量值(TEF)，商業沙巴龍躉飼料的毒性當量(TEQ)為 0.420 ± 0.0210 皮克/克，商業鯧魚飼料的毒性當量為 0.330 ± 0.0310 皮克/克，廚餘飼料為 0.470 ± 0.0460 皮克/克。商業沙巴龍躉飼料的毒性當量與廚餘飼料之間沒有顯著性的差異($p>0.05$)，商業鯧魚飼料的毒性當量顯著低於廚餘飼料($p<0.05$)。

在商業飼料飼養的沙巴龍躉和街市沙巴龍躉魚肉中都檢測到了 2,3,7,8-TetraCDD，分別為 0.0500 皮克/克和 0.0650 皮克/克，以此同時，廚餘飼料飼養的沙巴龍躉魚肉中的濃度小於最低檢測限(0.0400 皮克/克)。1,2,3,7,8-PentaCDD 在街市沙巴龍躉中的濃度為 0.220 皮克/克，顯著高於($p<0.05$)商業飼料飼養的沙巴龍躉(0.120 皮克/克)和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉(0.0770 皮克/克)，而商業飼料和廚餘飼料飼養的沙巴龍躉之間沒有顯著性差異($p>0.05$)。根據毒性當量因數數值(TEF)換算，街市沙巴龍躉的毒性當量(TEQ)要顯著高於廚餘飼料飼養的沙巴龍躉(0.510 ± 0.130 皮克/克 VS 0.300 ± 0.0210 皮克/克， $p<0.05$)，與商業飼料飼養的沙巴龍躉沒有顯著性差異(0.510 ± 0.130 皮克/克 VS 0.440 ± 0.0330 皮克/克， $p>0.05$)。

在商業飼料和廚餘飼養的鯧魚以及街市鯧魚魚肉中都檢測到了 2,3,7,8-TetraCDD，分別為 0.0660 皮克/克，0.0830 皮克/克，和 0.0430 皮克/克，資料分析表明它們之間沒有顯著性差異($p>0.05$)。1,2,3,7,8-PentaCDD，1,2,3,6,7,8-HexaCDD，1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD，2,3,7,8-TetraCDF 和 2,3,4,7,8-PentaCDF 同樣在三種魚肉中檢測到，其濃度在三種魚肉中並沒有顯著性的差異($p>0.05$)。商業飼料飼養的鯧魚、廚餘飼養的鯧魚以及街市鯧魚魚肉的毒性當量分別為 0.520 ± 0.0200 皮克/克， 0.670 ± 0.400 皮克/克和 0.420 ± 0.0360 皮克/克，它們之間沒有顯著性的差異($p>0.05$)。

表 17 飼料及魚肉中的二噁英濃度

	二噁英濃度 (皮克/克 幹重)																	
	2,3,7,8 - Tetra CDD	1,2,3,7, 8- Penta CDD	1,2,3,4 ,7,8- Hexa CDD	1,2,3,6, 7,8- HexaC DD	1,2,3, 7,8,9- Hexa CDD	1,2,3,4,6, 7,8- HeptaC DD	OctaC DD	2,3,7,8 - Tetra CDF	1,2,3,7, 8- Penta CDF	2,3,4,7, 8- Penta CDF	1,2,3,4, 7,8- HexaC DF	1,2,3,6, 7,8- HexaC DF	1,2,3,7, 8,9- HexaC DF	2,3,4,6, 7,8- HexaC DF	1,2,3,4,6, 7,8- HeptaC DF	1,2,3,4,7, 8,9- HeptaC DF	OctaCD F	WHO(2005)- PCDD/F TEQ (upper bound)
飼料																		
南漁牌商業飼料	<0.04	0.0700	<0.1	0.140	<0.1	<0.25	1.70	0.490	0.250	0.530	0.160	0.160	<0.1	0.110	0.280	<0.25	<0.5	0.420 ± 0.0210b
健馬牌商業飼料	<0.04	0.0850	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	1.68	0.270	0.170	0.350	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	<0.25	<0.5	0.330 ± 0.0310a
廚餘飼料	<0.04	0.0800	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.550	0.790	0.220	0.580	0.130	0.150	<0.1	0.12	<0.25	<0.25	<0.5	0.470 ± 0.0460b
魚肉																		
沙巴龍躉																		
南漁牌商業飼料	0.0500	0.120	<0.1	0.140	0.110	0.440	2.30	0.330	0.280	0.450	0.140	0.170	<0.1	0.110	<0.25	<0.25	<0.5	0.440 ± 0.0330ab
廚餘飼料飼養	<0.04	0.0770	<0.1	0.120	<0.1	0.270	0.690	0.170	0.160	0.280	<0.1	0.100	<0.1	0.100	<0.25	<0.25	<0.5	0.300 ± 0.0210a
街市魚	0.0650	0.220	0.110	0.310	0.260	0.510	1.90	0.270	0.190	0.260	0.110	0.120	0.11	0.150	<0.25	<0.25	<0.5	0.510 ± 0.130b
鯧魚																		
健馬牌商業飼料	0.0660	0.170	<0.1	0.110	<0.1	0.270	0.720	0.700	0.080	0.430	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	<0.25	<0.5	0.520 ± 0.0200a
廚餘飼料飼養	0.0830	0.220	0.103	0.130	<0.1	0.380	1.80	0.970	0.110	0.610	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	<0.25	<0.5	0.670 ± 0.400a
街市魚	0.0430	0.140	<0.1	0.120	0.11	0.350	0.800	0.560	0.083	0.330	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	<0.25	<0.5	0.420 ± 0.0360a
世衛毒性當量 (TEQ) 數值因數	1	1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.0003	0.1	0.03	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.0003	
魚肉中的二噁英濃度的最大限量 (Food Safety Authority of Ireland, 2009)													4 pg 世衛毒性當量/克 濕重					

註: 數值(平均 ± 標準差), 不同字母(相同列)表示有顯著性差異 ($p < 0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗

表 18 飼料及魚肉中的二噁英樣多氯聯苯濃度

二噁英樣多氯聯苯濃度 (納克/克 幹重)													
	PCB77	PCB81	PCB105	PCB114	PCB118	PCB123	PCB126	PCB15 6	PCB157	PCB167	PCB16 9	PCB189	WHO(2005) dioxin-like PCB TEQ
飼料													
南漁牌商業飼料	21.5	0.580	35.9	3.56	98.8	3.64	3.68	13.6	5.02	9.32	1.46	3.64	0.419±0.0183a
健馬牌商業飼料	16.1	0.500	33.3	3.30	93.3	3.14	3.12	12.1	4.42	8.28	1.34	3.52	0.358±0.0547b
廚餘飼料	9.06	<0.500	111	6.02	343	5.16	2.48	40.2	10.2	26.2	0.920	4.06	0.293±0.0157c
魚肉													
沙巴龍躉													
南漁牌商業飼料飼養	12.1	0.700	143	9.40	450	8.53	5.57a	57.0	15.9	36.1	2.00	8.30	0.638±0.0368a
廚餘飼料飼養	17.6	0.867	95.3	8.47	300	7.93	6.17	37.8	12.2	24.3	2.17	7.70	0.696±0.0446b
街市魚	15.7	1.20	84.8	6.73	228	7.40	5.03	36.7	12.4	22.6	2.28	10.3	0.584±0.0253a
鯧魚													
健馬牌商業飼料飼養	23.2	0.96	145	9.47	457	9.53	6.53	45.0	16.4	38.0	1.27	6.40	0.713±0.0419a
廚餘飼料飼養	20.5	0.850	209	11.1	645	11.3	5.63	67.1	20.4	50.5	2.20	11.7	0.639±0.0446a
街市魚	31.8	1.45	331	19.0	909	16.5	5.10	84.9	23.2	42.8	1.28	5.98	0.595±0.0345a
毒性當量因數 (WHO)	0.0001	0.0003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.1	0.00003	0.00003	0.00003	0.03	0.00003	
魚肉中的二噁英樣多氯聯苯的最大限量 (Food Safety Authority of Ireland, 2009)										4 pg 世衛毒性當量/克 濕重			

註: 數值(平均 ± 標準差), 不同字母(相同列)表示有顯著性差異 ($p < 0.05$), 採用鄧肯氏新多重變域測驗

表 18 展示了飼料及魚肉中的二噁英樣多氯聯苯濃度。二噁英樣多氯聯苯(PCB)在所有的魚飼料樣品和魚肉樣品中都有檢測到，除了廚餘飼料中的 PCB81 的濃度小於最低檢測限(<0.500 納克/克)。PCB126 是總二噁英樣多氯聯苯毒性當量的主要貢獻組分，其在商業沙巴龍躉飼料中的濃度 (3.68 皮克/克) 顯著高於 ($p<0.05$) 商業鯧魚飼料(3.12 皮克/克)和廚餘飼料(2.48 皮克/克)。商業沙巴龍躉飼料的總二噁英樣多氯聯苯毒性當量(0.419 ± 0.0183 皮克/克)也顯著高於($p<0.05$)商業鯧魚飼料(0.358 ± 0.0547 皮克/克)和廚餘飼料(0.293 ± 0.0157 皮克/克)，廚餘飼料總二噁英樣多氯聯苯毒性當量顯著小於($p<0.05$)其他兩種商業飼料。儘管如此，廚餘飼料飼養的沙巴龍躉魚肉中的 PCB126 濃度(6.17 皮克/克)要顯著高於($p<0.05$)商業飼料飼養的沙巴龍躉(5.57 皮克/克)和街市沙巴龍躉(5.03 皮克/克)。但是，廚餘飼料飼養的沙巴龍躉魚肉中的總二噁英樣多氯聯苯毒性當量(0.696 ± 0.0446 皮克/克)，與廚餘飼料飼養的沙巴龍躉(0.638 ± 0.0368 皮克/克)並沒有顯著性差異($p<0.05$)。商業飼料飼養的鯧魚魚肉中的 PCB126 (6.53 皮克/克)要高於廚餘飼料飼養的鯧魚(5.63 皮克/克)以及街市鯧魚(5.10 皮克/克)，但是沒有顯著性的差異($p<0.05$)。魚肉中總的二噁英樣多氯聯苯毒性當量也沒有顯著性的差異($p<0.05$)。

二噁英及二噁英樣多氯聯苯一組毒理性質相近的持久性環境污染物。二噁英是燃燒有機物質（例如焚化廢物）及某些工業過程（例如利用氯氣漂白紙漿）產生的副產品，而多氯聯苯則是人造物質，曾用於電子絕緣體、潤滑劑、增塑劑及專用的液壓機液體等的工業設備 (CFS, 2009)。由於二噁英及二噁英樣多氯聯苯不溶於水而且不易分解，一旦釋出，會污染土壤表面及水中沉積物，經食物鏈進入人體。肉類、家禽、海產及奶類製品等脂肪含量較高的食物，是市民攝入二噁英及二噁英樣多氯聯苯的主要膳食來源。長期攝入二噁英及二噁英樣多氯聯苯會對人體不同系統產生毒性作用，包括損害免疫系統、內分泌系統、發育中神經系統及生育功能。二噁英及二噁英樣多氯聯苯也可致癌(CFS, 2009)。是次實驗的結果表明，使用廚餘飼料養殖的沙巴龍躉和鯧魚是安全的。廚餘飼料養殖的沙巴龍躉魚肉中含有的二噁英和二噁英樣多氯聯苯的毒性當量分別為 0.300 皮克/克和 0.696 皮克/克，遠遠小於歐盟標準(4.00 pg 世衛毒性當量/克)。廚餘飼料養殖的鯧魚魚肉中的二噁英(0.67 皮克/克)和二噁英樣多氯聯苯(0.6394 皮克/克)的毒性當量，同樣符合歐盟標準。

4.4.6 廚餘養殖魚試食結果

試食以三角測試進行盲測 (Chan and Johnson, 2007)。不同組別的魚將會透過修剪魚鰭作為記號。試食分四輪進行，在每輪測試中，餐廳會端出 3 碟蒸魚 (清蒸，每碟 3 條，以薑蔥豉油分開盛上)，其中兩碟是廚餘飼料養殖魚，另外一碟則是商業飼料養殖魚或街市魚。測試有 4 項要求: (1) 參加者找出 3 碟蒸魚中不同的一碟 (2) 指出是通過魚的何種特徵 (色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀) 而作出的選擇 (3) 猜測哪一碟/兩碟是以廚餘養殖魚 (4) 為每碟魚的色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀評分。測試將分四輪進行，並要求各參加者在每輪測試填寫一份測試表格，以下為四輪測試：

第一輪：廚餘飼料 vs 商業飼料養殖的沙巴龍躉

第二輪：廚餘飼料 vs 商業飼料養殖的鯧魚

第三輪：廚餘飼料養殖的沙巴龍躉 vs 街市沙巴龍躉

第四輪：廚餘飼料養殖的沙巴龍躉 vs 街市鯧魚

在沙巴龍躉試食的三角測試中，74%的測試者能夠正確分辨餵食廚餘飼料和商業飼料的沙巴龍躉($\alpha = 0.05$) (圖 4a)，88%的測試者能夠正確分辨餵食廚餘飼料的沙巴龍躉和街市魚($\alpha = 0.05$) (圖 4b)。問卷結果顯示肉質軟滑度是主要區別特徵 (圖 2a)。餵食廚餘飼料或商業飼料的沙巴龍躉，兩個組別的得分相近而且沒有顯著差異 ($p > 0.05$, 圖 6)。雖然多數測試者能夠正確分辨出哪一碟魚是餵食廚餘飼料，但餵食廚餘飼料的沙巴得到不錯的評分 (色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀)。

在鯧魚的試食中，63%測試者亦能夠正確分辨餵食廚餘飼料的養殖魚和街市魚 (圖 4a)，但有 50%的測試者未能分辨廚餘飼料或商業飼料餵食的鯧魚 (圖 4b)。問卷結果顯示沒有單一特徵能夠區別廚餘飼料養殖魚或商業飼料養殖魚 (圖 5b)，廚餘飼料或商業飼料餵食的鯧魚得分相近而且沒有顯著差異 ($p > 0.05$, 圖 7a)。儘管測試者可以區分廚餘飼料餵飼的鯧魚和街市鯧魚，廚餘飼料餵飼的鯧魚得分 (色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀)較高 (圖 7b)。

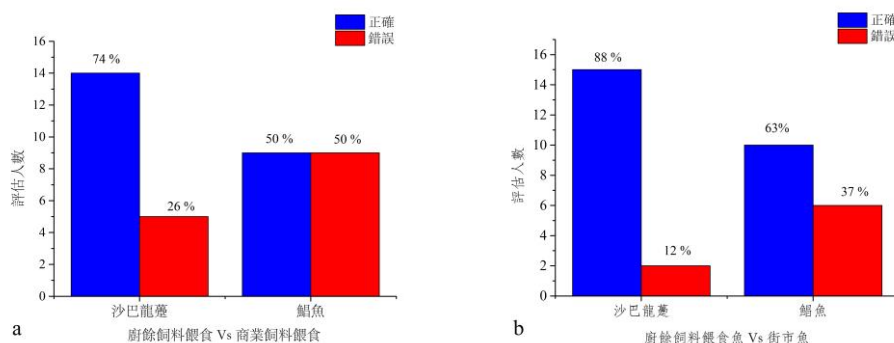


圖 4 能夠正確從商業飼料養殖魚和街市魚中識別出廚餘養殖魚的參與者的數量和百分比

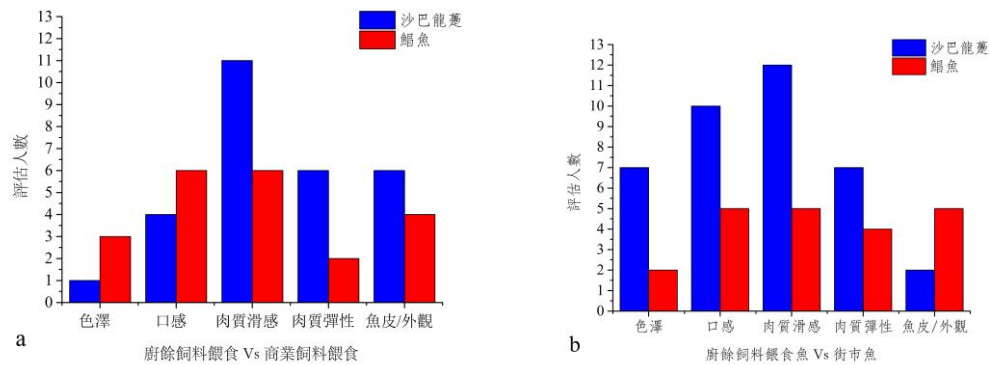


圖 5 參與者通過色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀識別出廚餘養殖魚的人數分佈

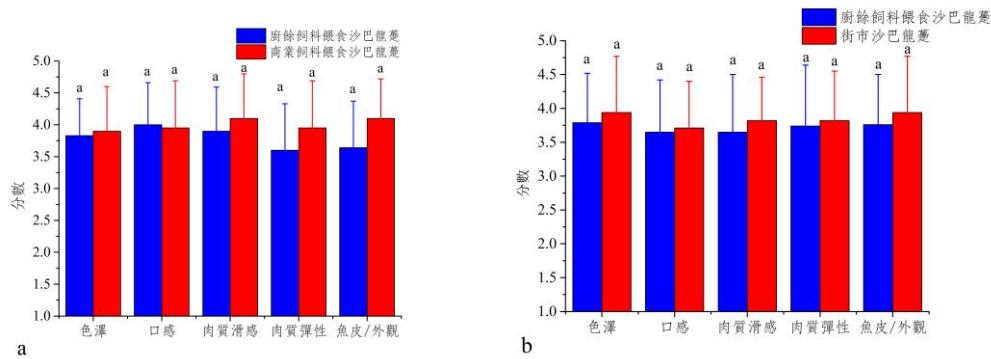


圖 6 參與者對不同來源沙巴龍躉的色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀識的評分，不同字母(相同特徵)表示具有顯著性差異($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

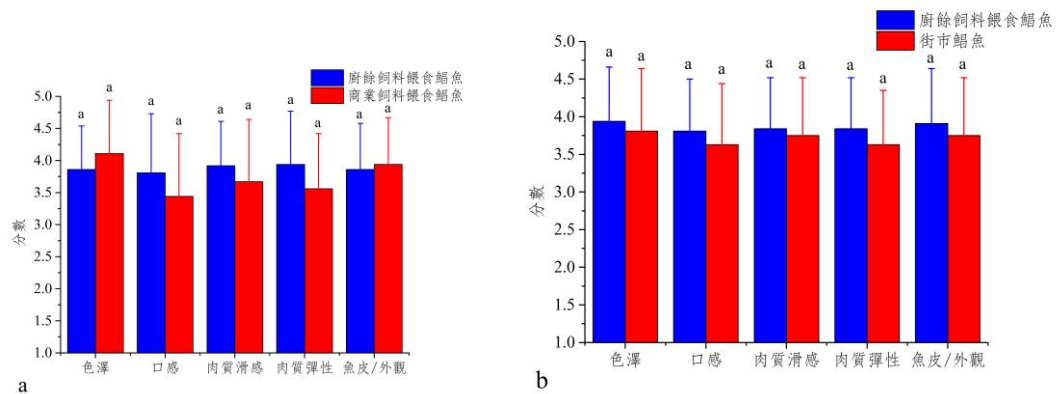


圖 7 參與者對不同來源鯧魚的色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀識的評分，不同字母(相同特徵)表示具有顯著性差異($p < 0.05$)，採用鄧肯氏新多重變域測驗

4.4.7 項目結論，未來展望及後續研究方向

4.4.7.1 飼料成效

本項目利用魚渣和肉類加工等廚餘廢棄原料，再結合其他非廚餘原料，生產適合的廚餘飼料用於海水魚類養殖。經過 13 個月的養殖實驗後得出如下結論：

1) 魚排養殖試驗初期，沙巴龍躉廚餘飼料的養殖效果比商業飼料稍微遜色。經

過後期配方的微調後(加入足夠油脂及增加黃源膠)，廚餘飼料的養殖效果得以改善，廚餘飼料換肉率與商業飼料無異(1.96)。由於廚餘飼料的價格比商業飼料更低，因此可以節省大約 25%的飼料成本，彰顯出廚餘飼料用於石斑養殖的優勢。

2) 用於鮠魚養殖的廚餘飼料成效未如預期，背原因可能是因為飼料口徑不適合鮠魚進食，也有可能是因為鮠魚並不適合長期進食含有大量廚餘的飼料。因此，未來仍然有需要進一步的開展鮠魚廚餘飼料研究。

3) 實驗室規模研究表明，進食商業飼料和廚餘飼料的石蚌在生長和存活率皆沒有顯著性的差異($p>0.05$)。但是在戶外的魚排養殖過程中，石蚌受環境因素影響而大量死亡，因而未能對廚餘飼料的戶外養殖效果作出有效的結論。

4) 在試食活動中，儘管參與者能夠從商業飼料養殖魚和街市魚中識辨出廚餘飼料餵飼的魚產品，但是廚餘飼料餵飼的魚產品評分(色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀)與其他的漁產品組別無異，參與者對廚餘飼料餵飼的魚產品評價良好，反映出廚餘飼料養殖魚的市場潛能。

4.4.7.2 產品安全

廚餘養殖魚魚肉中的污染物的濃度檢測結果發現:

1) 餵食廚餘飼料的魚肉中的金屬/類金屬量低於香港的法例要求。健康風險評估結果表明，魚肉中金屬/類金屬不會造成非癌症及癌症風險，可安全食用。

2) 與廚餘養殖的鮠魚相比，街市售賣的鮠魚含有較高的鉻和鎳，其中鉻的含量比食物(金屬雜質含量)規例中定立的最高准許濃度高約 13 倍(魚肉的最高准許鉻濃度是 1.0 毫克/千克)，反映出現時依賴外地進口魚產品可能有進食安全隱憂。

3) 魚肉中有機污染物，包括 PAHs, DDTs 以及二噁英和二噁英樣多氯聯苯的含量極低。健康風險評估結果表明，通過進食使用廚餘飼料飼養的魚產品攝取的污染物量極低，長期進食亦不會構成非癌症及癌症風險。

過往研究曾指出，低質飼料可能是養殖魚類污染物的來源(Cheng et al., 2011; Lacerda et al., 2011)。原因極可能是因為受到環境污染或長期食用受污染飼料而引致的。本地消耗的鮮魚產品有 95%都是從中國或東南亞等地區進口。因此，雖然長期食用街市魚似乎是安全的，但亦反映了香港確實有需要去持續發展本地漁產特別是水產養殖業，為本地市民提供安全可靠的魚產品。

References

- Bowyer, J. N., Qin, J. G., Smullen, R. P., Stone, D. A. J. (2012). Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures. *Aquaculture*, 356, 211-222.
- CFS (Centre for Food Safety) (2004). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Barbecued Meat: Risk Assessment Studies -- Report No. 14. Retrieved on 16/8/2020 from: https://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/programme_rafs_fc_01_06_pah.html
- CFS (Centre for Food Safety) (2006a). Food Safety Focus (3rd Issue, October 2006) Food Incident Highlight: Arsenic in Fish. Retrieved on 16/8/2020 from https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_03_03.html.
- CFS (Centre for Food Safety) (2006b). Food Contaminants: DDT in Food. Retrieved on 16/8/2020 from: www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/programme_rafs_fc_02_02.html.
- CFS (Centre for Food Safety) (2009). Food Contaminants: Dioxins in Food. Retrieved on 16/8/2020 from https://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/programme_rafs_fc_02_11.html
- CFS (Centre for Food Safety) (2018). Part V (Food and Drugs) of the Public Health and Municipal Services Ordinance (Cap. 132) (Highlights). Retrieved on 16/8/2020 from https://www.cfs.gov.hk/english/food_leg/food_leg_mc.html
- Chan, N. W. W., & Johnston, B. (2007). Applying the triangle taste test to wild and cultured hump-back grouper (*Cromileptes altivelis*) in the Hong Kong market. *SPC? Live Reef Fish Information Bulletin*, 17, 31-35.
- Cheng Z, Liang P, Shao DD, Wu SC, Nie XP, Chen KC, Li KB, Wong MH (2011). Mercury biomagnification in the aquaculture pond ecosystem in the Pearl River Delta. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 61,491-499
- Cheng, Z., Mo, W. Y., Lam, C. L., Choi, W. M., Wong, M. H. (2015). Replacing fish meal by food waste to produce lower trophic level fish containing acceptable levels of polycyclic aromatic hydrocarbons: health risk assessments. *Science of the Total Environment*, 523, 253-261.
- Food Safety Authority of Ireland (2009). Dioxins and PCBs in Food Retrieved on 26/8/2020 from <file:///C:/Users/francisfz/Downloads/Dioxins%20&%20PCBs%2009%20Final.pdf>
- Hui, L. L., Hedley, A. J., Kypke, K., Cowling, B. J., Nelson, E. A. S., Wong, T. W., van Leeuwen FXR, Malisch, R. (2008). DDT levels in human milk in Hong Kong, 2001–

02. Chemosphere, 73(1), 50-55.

Lacerda LD, Soares TM, Costa BGB, Godoy MDP (2011) Mercury emission factors from intensive shrimp aquaculture and their relative importance to the Jaguaribe River Estuary, NE Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 657-661.

Li, G., Sun, G. X., Williams, P. N., Nunes, L., Zhu, Y. G. (2011). Inorganic arsenic in Chinese food and its cancer risk. *Environment International*, 37(7), 1219-1225.

Lin, Y. H., Shiau, S. Y. (2003). Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses. *Aquaculture*, 225(1-4), 243-250.

Raso, S., Anderson, T. A. (2003). Effects of dietary fish oil replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture Research*, 34(10), 813-819.

Luo, Z. H. I., Liu, Y. J., Mai, K. S., Tian, L. X., Liu, D. H., Tan, X. Y., Lin, H. Z. (2005). Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages. *Aquaculture International*, 13(3), 257-269.

Man, Y. B., Mo, W. Y., Zhang, F., Wong, M. H. (2020). Health risk assessments based on polycyclic aromatic hydrocarbons in freshwater fish cultured using food waste-based diets. *Environmental Pollution*, 256, 113380.

Mo, W. Y., Man, Y. B., Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of The Total Environment*, 613-614, 635-643.

Ramalhosa, M. J., Paíga, P., Morais, S., Delerue-Matos, C., Oliveira, M. B. (2009). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish: evaluation of a quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe extraction method. *Journal of Separation Science*, 32(20), 3529-3538.

Turchini, G. M., Moretti, V. M., Hermon, K., Caprino, F., Busetto, M. L., Bellagamba, F., Rankin, T., Keast, R.S.J., Francis, D. S. (2013). Monola oil versus canola oil as a fish oil replacer in rainbow trout feeds: effects on growth, fatty acid metabolism and final eating quality. *Food Chemistry*, 141(2), 1335-1344.

USEPA, 1986. Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures, p. 51. Federal Register 34014. Washington, D.C.

US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I: Human Health Evaluation Manual. EPA/540/1-89/002. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, DC, USA.

US EPA (US Environmental Protection Agency) (2007a). Method 3051a: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils, Washington, DC. USA.

US EPA (US Environmental Protection Agency) (2007b). Method 6020A: inductively

coupled plasma-mass spectrometry. Washington, DC. USA.

Van Den Berg, H., Manuweera, G., Konradsen, F. (2017). Global trends in the production and use of DDT for control of malaria and other vector-borne diseases. *Malaria journal*, 16(1), 401.

Wong, M., Leung, A., Chan, J. K., & Choi, M. P. K. (2005). A review on the usage of POP pesticides in China, with emphasis on DDT loadings in human milk. *Chemosphere*, 60, 740-752.

Williams, K. C. (2007). Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 267(1-4), 129-138.

Wong, M. H., Leung, A. O. W., Chan, J. K. Y., Choi, M. P. K. (2005). A review on the usage of POP pesticides in China, with emphasis on DDT loadings in human milk. *Chemosphere*, 60(6), 740-752.

World Health Organization (WHO, 1998). Environmental Health Criteria 202, Selected Non-heterocyclic PAHs, Geneva: WHO; 1998. Retrieved on 16/8/2020 from: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>

Yong, A. S. K., Mubarak, N. S. S., Shapawi, R. (2019). Effects of partial replacement of fish oil with different vegetable oils on growth, feed utilisation and fatty acid profile of hybrid grouper juvenile (*Epinephelus fuscoguttatus* x *Epinephelus*). *Journal of Oil Palm Research*, 31(1), 110-121.

Yu, H. Y., Bao, L. J., Liang, Y., Zeng, E. Y. (2011). Field validation of anaerobic degradation pathways for dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and 13 metabolites in marine sediment cores from China. *Environmental Science & Technology*, 45(12), 5245-5252.

區又君, 李加兒 (2017). 卵形鯧鰺生物學和養殖技術。北京：海洋出版社，ISBN-7-5027-9998-4.

5. 參加者估計數目與實際數目的比較

日期	地點	活動	預計受惠人數	實際受惠人數	漁業界受惠人數
2019/10	教大	廚餘養殖魚試吃	24	20	12
待定	待定	研討會	200		50

由於新冠肺炎疫情並未有明顯改善，原定 2020 年 8 月下旬舉辦的研討會將會延期，等待新冠肺炎疫情好轉及受控後，教大將與署方商議研討會的安排。

6. 項目的成效評估（根據申請計劃的成效指標）

飼料成效

1) 沙巴龍躉廚餘飼料的養殖效果與商業飼料無異，而且廚餘飼料的價格比商業飼料更低，因此可以節省大約 25% 的飼料成本，彰顯出廚餘飼料用於沙巴龍躉養殖的優勢。

2) 用於鮠魚的廚餘飼料成效未如理想，廚餘飼料配方需要繼續優化。

產品安全和市場潛能

1) 餵食廚餘飼料的魚產品的魚肉金屬/類金屬量，均低於香港的法例要求，廚餘養殖魚產品可安全食用。

2) 有機污染物 (PAHs, DDTs 以及二噁英和二噁英樣多氯聯苯) 的含量極低，健康風險評估結果表明，長期進食亦不會構成非癌症及癌症風險。

3) 在試食活動中，儘管參與者能夠從商業飼料或街市魚中識辨出廚餘飼料餵飼的魚產品，但是廚餘飼料餵飼的魚產品評分（色澤、口感、肉質滑感、肉質彈性以及魚皮外觀）與其他的漁產品組別無異，參與者對廚餘飼料餵飼的魚產品的評價良好，廚餘養殖魚產品具有良好的市場前景。

7. 項目延期（與原定時間表比較，並須交待原因）

項目由原先的 2019.12.30 延期到 2020.04.29。

1) 魚排養殖試驗原定的完結日期是 2019 年 3 月 31 日。但是，由於環境因素影響，再加上項目初期可能因飼料質素不穩定，影響實驗結果。就以上問題，我們申請並獲署方批准將魚排養殖實驗期延長至 2019 年 9 月 30 日，從而導致後續的工作延期。

2) 另外，香港教育大學的重金屬檢測儀器 (ICP-MS) 因意外進水，導致儀器報廢，從而影響了樣品測試進度。

8. 在報告期間所遇的問題（如有）

1. 受環境因素影響(極凍的水溫及山竹颱風)，石蚌大量死亡，剩餘的數量太少，因而無法評估廚餘飼料對石蚌的養殖效果

2. 廚餘飼料提供方的更改

3. 廚餘飼料配方更改問題。請參考 4.2

9. 為解決問題所採取的補救措施及這些措施的成效（如有）

請參考 4.2

10. 列出項目的出品（報告書、唯讀光碟等）、已製備的宣傳物料或印刷品（如有）

（請註明種類和數目，並各提供兩個副本）

1) 廚餘用於魚類養殖宣傳冊 500 本

2) 知識轉移宣傳冊 150 份

11. 財務報告(請根據協議內訂明另外提供經審計賬目及收據正本，可參考夾附的文件清單及樣本)

a) 整體狀況

截至 2018/12/30 的開始赤字：2,049,116.92 元

加上報告期間的收入：由 2018/12/30 至 2020/4/29
共 4,619,909.82 元

(金額與「收入分項數字詳情」的總和一致)

減去報告期間的支出：3,127,987.50 元
(金額與「收入分項數字詳情」的總和一致)

截至 2020/04/29 的赤字：557,194.60 元

b) 收入分項數字詳情（包括項目利息）

細項	用途	金額（港元）
基金撥款		4,227,294.00
賣魚收入		392,531.00
利息		84.82
	總計	4,619,909.82

c) 支出分項數字詳情

細項 (請根據資助協議 的「獲批項目」 填寫)	批准 預算 (請根據資助協議 的「獲批項目開 支」填寫。如有獲 批的預算調撥，則 填寫經調整後的最 新金額)	實際 開支 (提供所有收據正本)	預計 開支 (預計下一 報告期內 開支)	數量 (請根據資助 協議的「獲 批項目」填 寫)	申請者的單 據／收條編 號 (請將所有單據／ 收條編配一套號碼 並適當填寫) * 請參考單據 樣本的格式 *
1 商業魚飼料 (對照組)	900,489.50	298,815.39		15.3 噸	8-13
2 廚餘飼料	301,135.00	0		-	-
3 雜魚	5,400.00	4,042.50		25 噸	14
4 魚苗	859,000.00	0		-	-
5 飼養試驗魚缸 (實驗室規模飼養)	34,600.00	0		-	-
6 實驗室耗材 (塑膠製品, 玻璃器皿)	76,600.00	36,822.26		12 個月	15-26
7 化學試劑和標準參考材料 (QA/QC)	130,500.00	34,676.40		12 個月	27-36
8 實驗室規模試驗場地	239,200.00	0		-	-

¹ 正本必須附有供應商簽字蓋章及經受資助機構簽字蓋章並核證無誤，以證明該支出於報告期內已實際支付。如受資助機構有部份支出屬報告期間的應付未付費用，尚未實際支付，請參考以下例子加以說明。

例子:

註解 1: 實際開支中[\$0]已於報告期內支付。餘下[\$5000]元按權責發生制原則計提，屬本報告期的應付未付費用，並於下一份報告書內繳付及提供收據。

租賃費（包括水電供應費）					
9 海洋養殖魚排租賃費	330,091.70	148,150.00		12 個月	44
10 海洋養殖魚排電費	65,952.38	30,000.00		12 個月	44
11 海洋養殖魚排水費	32,976.19	15,000.00		12 個月	44
12 租船費用 (包含汽油 & 日常維修費用)	494,642.90	225,000.00		12 個月	44
13 餐食費用 (魚排養殖員工)	197,857.16	90,000.00		12 個月	44
14 基於優質養魚計畫 (AFFS) 協力廠商測試魚和魚飼料的砷， 銻，鎘， 鉻，鉛， 汞，錫，孔雀石綠， 抗生素殘留， 大腸桿菌和霍亂弧菌	0	0			
15 組織專題討論會	2,000.00	1,960.00		1 次	37-38
16 應急費用 (交通費/銀行轉帳收費)	9,888.00	260.00		2 次	39
18 二噁英和 PCB 測試—	154,875.00	24,780.00		29 個樣品	41-42

魚糧(實驗室規模試驗)					
19 二噁英和 PCB 測試—魚糧(漁排養殖試驗)	272,580.00	272,580.00		44 個樣品	41-42
20 二噁英，PCB，DDT 和 PAHs 測試—魚肉(漁排養殖試驗)	440,130.00	420,945.00		54 個樣品	41-42
21AFFS 相關測試(實驗室規模試驗)	56,355.00	21,675.00		10 個樣品	41-42
22AFFS 相關測試(漁排養殖試驗)	43,350.00	43,350.00		15 個樣品	41-42
設備開支					
29. 循環水養殖系統折舊費用	299,800.00	0			
員工開支					
23 ■■■ (首席研究教授)	68,400.00	0			
24 博士後人員 (全職)	891,210.00	452,680.78		12 個月	46
25 研究助理 ■■■ ■■■ ■■■	1,064,800.00	240,250.17		12 個月	46
26 魚排養殖經理(全職)	659,523.87	300,000.00		12 個月	44
27 魚排養殖員工 A (全職)	494,642.90	225,000.00		12 個月	44
28 魚排養殖員工 B(全職)	494,642.90	225,000.00		12 個月	44

保險					
17 審計費用	40,000.00	17,000.00		2 次	45
...					
...	總計	3,127,987.50			

12. 申請發放最後一筆資助款項的金額（如有）

557,194.60

13. 須歸還政府的餘款數目（如有）

N/A

< 完 >