

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 農業與食品學科

第三名

(鄉土)教材獎

052203

高粱酒糟應用於零換水養殖之效益評估

學校名稱： 國立金門高級農工職業學校

作者： 職二 張惟德 職一 魏維呈 職一 周永庭	指導老師： 董倫如 回兆年
---	-----------------------------

關鍵詞： 零換水養殖、高粱酒糟、生物絮團

作品名稱：高粱酒糟應用於零換水養殖之效益評估

摘要

探討高粱酒糟作為零換水養殖補充碳源之效益，共分為三個部分。

一、正式實驗(一)

A(魚溶漿+糖蜜 C/N=15)、B(酒糟萃取液 C/N=35.44)、C(魚溶漿+酒糟萃取液

C/N=15)3組在氨-氮、亞硝酸-氮皆表現出清除能力，其中 B 組的生物絮團沉積量最多。

二、正式實驗(二)

B 組(酒糟萃取液 C/N=15)在增重量、增重率、飼料效率上都有最好的表現，在肥滿度、肝體比、臟體比和腹腔脂肪比上也有最高表現；與 C 組(糖蜜 C/N=15)無顯著差異。

三、正式實驗(三)

結果顯示，較大水體中的紅尼羅亞成魚能夠正常生長，其成長與飼料效率甚至較實驗(二)之魚苗更佳。

高粱酒糟作為零換水養殖中培養生物絮團補充碳源，具有促進生長、穩定水質的優良效果，且有價格低廉的優勢，極具推廣價值。

壹、前言

一、研究動機

水產養殖業越來越發達，目前全世界水產養殖產量甚至已經超過捕撈漁業 (FAO,2020)，但隨之而來的環境衝擊也越來越大，養殖廢水的排放造成沿岸環境污染，使得海洋生物陷入危機。

在上課的過程中，接觸到零換水養殖這個新的概念，只要在水中加入葡萄糖或是糖蜜之類的有機碳源就可以培養出生物絮團控制水質，完全不需要花很長時間培養硝化系統，讓我們相當震驚。但是目前在台灣實際應用這種養殖方法的並不多，究其根本發現成本是一個相當重要的限制因子，所以我們就開始思考有沒有更便宜好用的有機碳源可以應用。

我們在查找資料後發現，目前高粱酒釀造業會產生非常多的高粱酒糟廢棄，價格非常便宜，目前只有用在畜產補充飼料還有堆肥，可見其應用潛力還沒有被完全開發。

因為目前還沒有將高粱酒糟應用於生物絮團的研究，我們與老師討論後，決定引入釀酒廢棄物來處理養殖廢水，讓一種產業廢棄物來制衡另一種產業廢棄物，並評估是否能比傳統養殖模式達到更好的效果。

二、目的

以紅尼羅魚為試驗生物以評估高粱酒糟是否能應用於零換水養殖，並進行類商業化規模試驗。試驗結束後進行形質及內臟重量測量以評估成長效果。

三、文獻回顧

(一)、 高粱酒糟

黃(1990年)指出，高粱又名蜀黍，台灣傳統名稱蘆黍，英文 sorghum，為一年生禾本科作物，原產自非洲熱帶地區，具有抗旱性並能在高溫下生長。其遺傳差異性(Genetic diversity)極大，經人為適當選種後可於熱帶、亞熱帶及溫帶生長，對氣候環境適應性極廣。

高粱是生產高粱酒的主要原料，依陳琪穎(2011)的論文指出，金門酒廠製造高粱酒是先將高粱蒸熟後再採用二次拌麴、二次蒸餾的「純糧固態發酵」釀造，是特殊芳香味的主要來源。高粱經發酵、蒸餾後的最終廢棄物就是高粱酒糟。

依據金門酒廠2022永續報告書指出，金門酒廠當年度約需要消耗掉6萬6千多公噸高粱，加上水的重量，產生的高粱酒糟粗估有超過10萬噸的產量。依據生產排程，有時候1天即可產生250多公噸，這些生產高粱酒後所產生的「廢棄物」，其中 83.9% 提供給金門縣農會作為畜產用的飼料，其餘 16.1% 提供給農業肥料廠商。

(二)、 生物絮團

生物絮團(biofloc)的完整論述最早在1999年由 Avnimelech 提出。其原理是由人為向養殖水體添加有機碳源(如蔗糖、葡萄糖、澱粉或纖維素等碳水化合物)來提升水體中的碳氮比(C/N ratio)，促進水中異營微生物的生長，進而將水中的氨-氮轉化為菌體蛋白質及多醣類，以達到零換水養殖的目的。

楊明樺等(2012)指出，生物絮團主要是由浮游動植物、微生物及其他具黏著性之物質構成。其質量輕且具多孔性，可以幫助在水中懸浮，也有利於水流的穿透，讓異營性細菌能有效獲取氧氣及營養物質。當生物絮團的粒徑達到0.1-3mm 時就可以被許多養殖生物攝食。

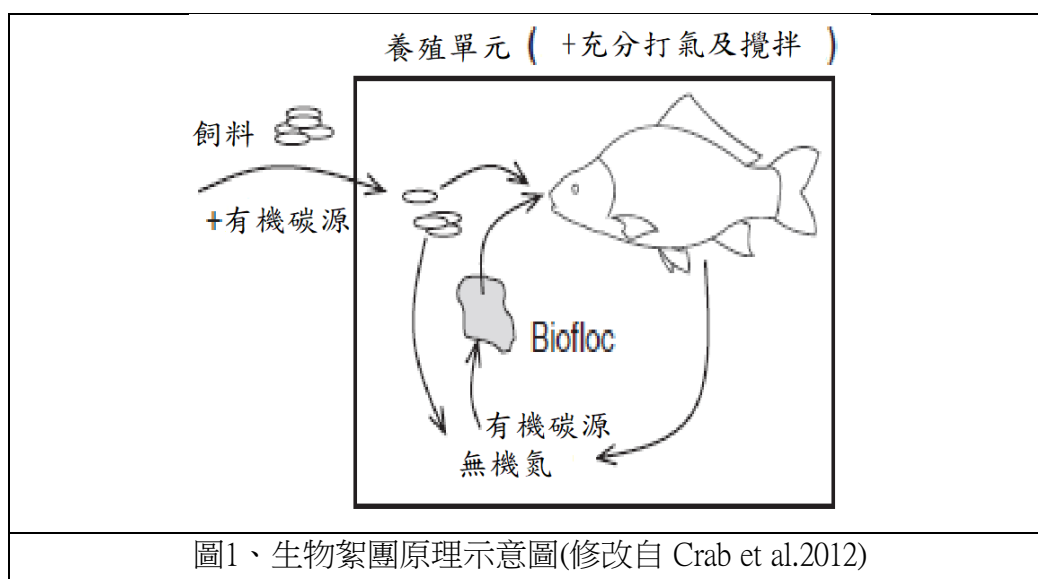
Crab(2010)等人指出生物絮團在養殖上有很多優點，如：

1. 具有良好的水質處理效果，可去除無機氮以減少硝酸鹽的累積。
2. 會形成生物蛋白質，可以做為餌料增加產量及收益，也可當作飼料原料，取代部分魚粉及大豆粉。
3. 具有抑菌效果，可以在細菌體內累積 PHB(poly- β -hydroxybutyrate)，在養殖生物腸內會釋出丁酸，可有效降低有害弧菌的感染。
4. 可減少養殖用水量，甚至在特定條件下能達到完全零換水，達到永續經營的目標。

依據 Avnimelech(2015)的 Biofloc technology. 書中所述，產生生物絮團所需的條件如下：

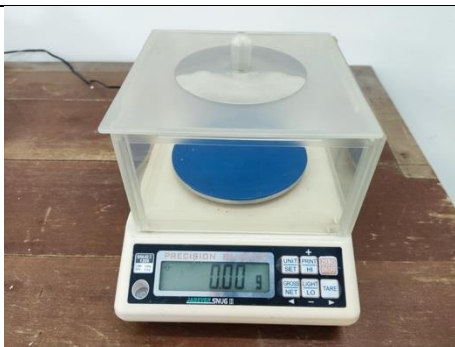

1. 養殖過程盡量減少換水，避免異營細菌損失。
2. 高密度養殖，以產生足量的有機物與氨-氮供異營細菌利用。
3. 養殖環境需要充足的打氣與攪拌，避免懸浮顆粒過多而形成厭氧層。當懸浮顆粒過多時應適當移除。
4. 養殖環境須為硬底或鋪設塑膠布，以利沉積物排出。









5. 使用粗蛋白較低的餌料，並視需要額外添加有機碳以維持 C/N 比。
6. 異營細菌來自天然族群，不需要額外培養或補充。





貳、研究設備及器材

一、實驗器材及設備(圖2至圖15)

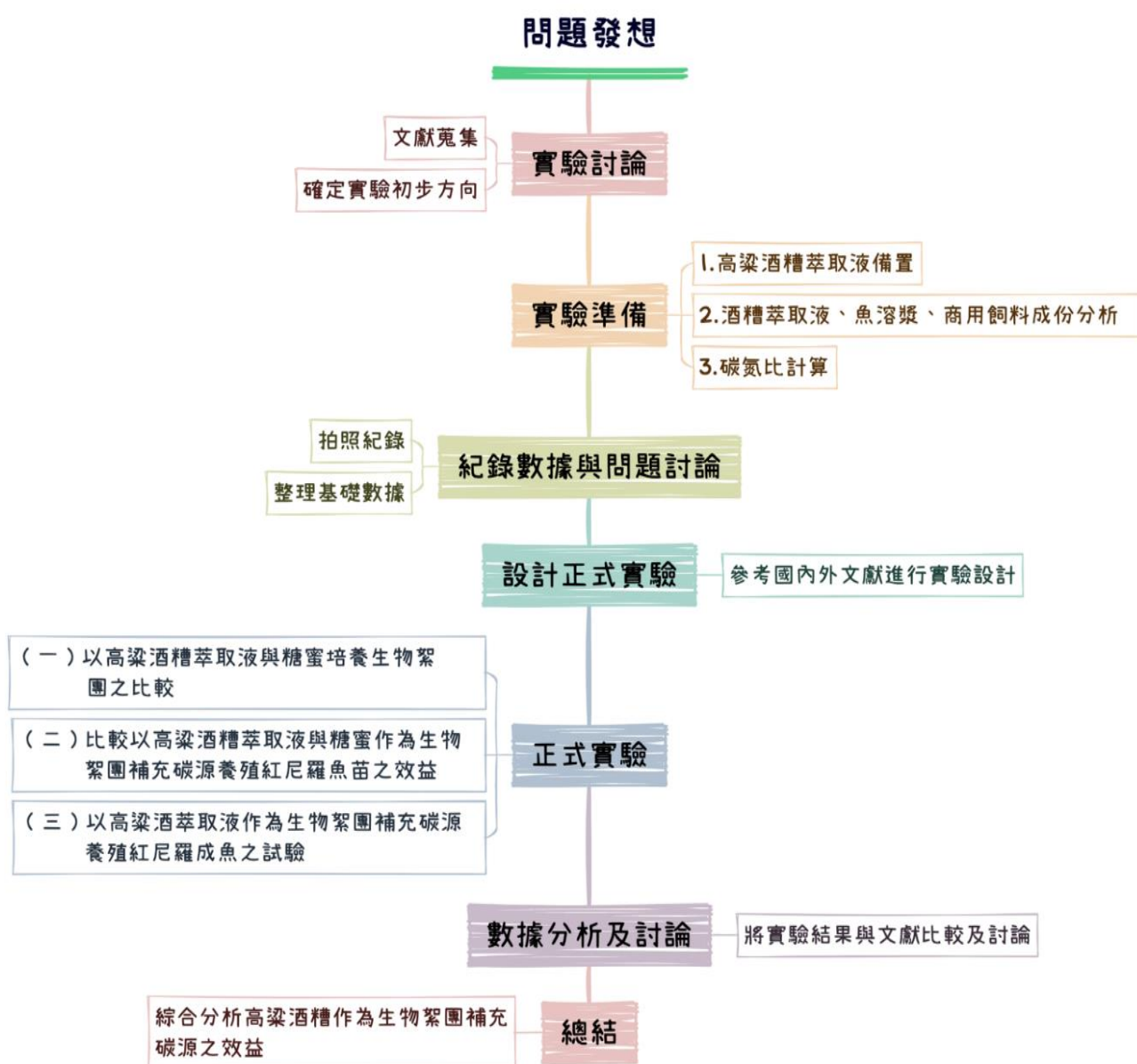
	
<p>圖2、精秤天平(自行拍攝)</p>	<p>圖3、多功能水質檢測儀(自行拍攝)</p>
	
<p>圖4、離心機(自行拍攝)</p>	<p>圖5、果汁機(自行拍攝)</p>

	
<p>圖6、FRP 桶(自行拍攝)</p>	<p>圖7、高粱酒糟(自行拍攝)</p>
	
<p>圖8、壓克力缸(自行拍攝)</p>	<p>圖9、魚溶漿(自行拍攝)</p>
	
<p>圖10、75%糖蜜(自行拍攝)</p>	<p>圖11、高粱酒糟萃取液(自行拍攝)</p>
	
<p>圖12、粗脂肪萃取機(自行拍攝)</p>	<p>圖13、灰化爐(自行拍攝)</p>

	
圖14、粗蛋白蒸餾機(自行拍攝)	圖15、糖度屈折計(自行拍攝)

參、研究過程或方法



一、研究架構



二、實驗準備

(一) 高粱酒糟萃取液備製

本研究之高粱酒糟取自酒廠公開領取處(圖16)，外觀如圖17。為增進處理效率，依照林(2008)之建議，高粱酒糟先以2倍重量之自來水浸泡12小時軟化，再以果汁機充分打碎後以56目手抄網擠壓過濾取得高粱酒糟萃取液。(圖18、圖19)

	
圖16、高粱酒糟領取處(自行拍攝)	圖17、高粱酒糟外觀(自行拍攝)
	
圖18、高粱酒糟以果汁機打碎(自行拍攝)	圖19、以56目手抄網擠壓過濾取得高粱酒糟萃取液(自行拍攝)

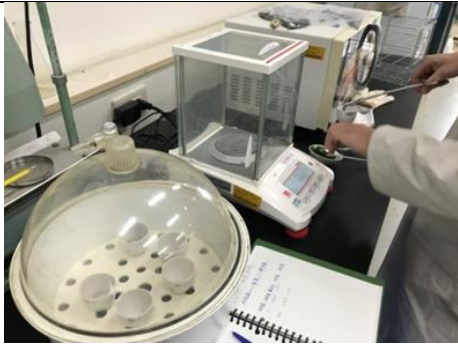



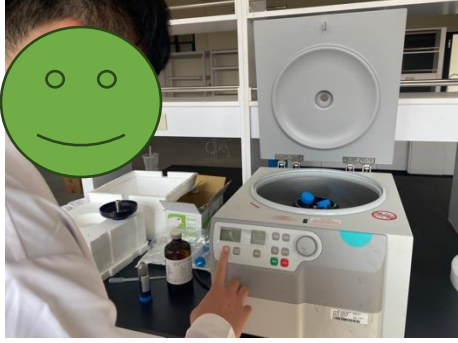

(二) 成分分析

根據 AOAC (1995)分析方法進行粗成分分析高粱酒糟萃取液、魚溶漿及商用飼料(含水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分)，另計算得出無氮抽出物含量。(圖20至圖

3)

另將高粱酒糟萃取液以以8000xg 離心15分鐘後收集上清液，利用糖度計測定殘

糖量。(圖24、圖25)

	
<p>圖20、水分測量(自行拍攝)</p>	<p>圖21、粗蛋白蒸餾(自行拍攝)</p>
	
<p>圖22、粗脂肪萃取(自行拍攝)</p>	<p>圖23、粗灰分灰化(自行拍攝)</p>
	
<p>圖24、以8000xg 離心15分鐘後收集上清液(自行拍攝)</p>	<p>圖25、糖度曲折度計測定(自行拍攝)</p>

(三) 碳氮比(C/N)計算

依據 Avnimelech 所著的 Biofloc technology 專書(2015)之計算方式整理如下，可計算出約略之碳氮比(C/N)。

$$N \% = \text{蛋白質含量} \% \times 16\% (\text{氮含量})$$

$$C \% = \frac{\text{無氮抽出物} \% \times 72}{180}$$

三、實驗過程與材料介紹

(一) 實驗設計

1.實驗(一)：以高粱酒糟萃取液與糖蜜培養生物絮團之比較

將獨立的2尺壓克力水族箱裝入50L 之自來水，經充分曝氣除氯後，進行固定光照(2340lux，每日08:00至18:00照射10小時)、固定水溫(25℃)的7天4重複培養實驗，實驗期間溶氧量(Dissolved Oxygen)皆高於 6 mg/L。(圖26)

對照組

參照傳統生物絮團培養模式(Avnimelech,2015)：

A:添加魚溶漿10mL 及糖蜜(75%含糖量)30mL(C/N 約15)

實驗組：

B:只添加高粱酒糟萃取液40mL(C/N=35.44)

C:添加魚溶漿1.8mL 及高粱酒糟萃取液39mL(C/N 約15)

實驗進行中每日測量水中 pH 值、氨-氮、亞硝酸-氮、硝酸-氮。另參考

Avnimelech(2015)的方法，將水體攪拌後倒入量筒，靜置1.5-2小時後以生物絮團沉積量(mL/L)判斷其培養效果。(圖27、圖28)

		
圖26、實驗環境(自行拍攝)	圖27、每日測量水質(自行拍攝)	圖28、以量筒測定生物絮團沉積量(自行拍攝)

2.實驗(二)比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益

將獨立的2尺壓克力水族箱裝入50L 之自來水，經充分曝氣除氯後，放入10尾紅尼羅苗進行固定光照(2340lux，每日08:00至18:00照射10小時)、固定水溫(25℃)的60天4重複養成實驗，每日投餵投餵2次(08：00及17：00)魚隻總重1.5%之商業飼料。實驗每週測量魚隻體重，並依據體重調整投餵量及補充碳源用量。(圖29、圖30)

在整理數篇文獻(Avnimelech,2015；Luiz et al,2021；Reshmi et al,2023；孫，2017；張，2020)後得知生物絮團培養碳氮比(C/N)從8.5-20以上皆可，但較低之碳氮比(C/N)容易造成水質震盪，本研究為確保養殖生物安全性，擬將碳氮比(C/N)設定在15以比較糖蜜及高粱酒糟萃取液培養生物絮團養成紅尼羅魚之效果。







對照組：A：僅投餵商業吳郭魚飼料



實驗組：B：以高粱酒糟萃取液調整 C/N 比至15、C：以75%糖蜜調整 C/N 比至15

實驗進行中每日測量水中 pH 值、氨-氮、亞硝酸、硝酸、生物絮團沉積量以控

制實驗環境。其中 pH 值低於6.5時添加0.5g 碳酸鈣進行調整，生物絮團沉積量高於20mL/L 時進行少量抽底換水，實驗期間溶氧量(Dissolved Oxygen)皆高於 6 mg/L。(圖31)

實驗結束後測量魚隻體長、體重並計算魚隻增重(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)、活存率、肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂質比(IPF)。(圖32至圖36)

		
圖29、實驗環境(自行拍攝)	圖30、每日投餵(自行拍攝)	圖31、添加碳酸鈣進行水質調整(自行拍攝)
		
圖32、實驗魚隻體長量測(自行拍攝)	圖33、實驗魚隻體重量測(自行拍攝)	圖34、實驗魚隻內臟團量測(自行拍攝)

		
<p>圖35、實驗魚隻肝臟量測 (自行拍攝)</p>	<p>圖36、實驗魚隻腹腔脂肪 量測(自行拍攝)</p>	



3.實驗(三)以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗

為了測試高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源在較大水體養殖是否有不可知之問題產生，並評估在商業化養殖中的效益，我們設計了此項實驗以驗證。

在2噸水體之 FRP 桶中加入2L 高粱酒糟萃取液預先培養3天生物絮團，再放入30尾平均重量為 $260 \pm 8.5\text{g}$ 的紅尼羅魚進行自然光照(最高不超過 4560lux)、固定水溫(25°C)的60天培養試驗，每日投餵投餵2次(08：00及17：00)魚隻總重1.5%之商業飼料，利用高粱酒糟萃取液將 C/N 控制在15。(圖37至圖38)

實驗進行中每日測量水中 pH 值、氨-氮、亞硝酸、硝酸、生物絮團沉積量以控制實驗環境；實驗每週測量魚隻體重，並依據體重調整投餵量及補充碳源用量。其中 pH 值低於6.5時添加10g 碳酸鈣進行調整，生物絮團沉積量高於 20mL/L 時進行少量抽底換水，實驗期間溶氧量(Dissolved Oxygen)皆高於 6 mg/L 。

實驗結束後測量魚隻體長、體重並計算魚隻增重(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)及活存率，以判斷其在較大水體中的實際養殖效果。

	
圖37、實驗用 FRP 桶(自行拍攝)	圖38、預先培養生物絮團(自行拍攝)

肆、研究結果

一、實驗結果

(一)、成分分析值及碳氮比計算

實驗用之高粱酒糟萃取液、魚溶漿及商用飼料成分分析值如表1。依據分析值結果計算碳氮比(C/N)如表2。

表1、成分分析值

成分	高粱酒糟萃取液	魚溶漿	商用飼料
水分	78.74%	38.12%	9.21%
粗蛋白	1.30%	45.44%	25.12%
粗脂肪	0.45%	8.02%	4.23%
粗纖維	0.65%	-	5.62%
粗灰分	0.43%	5.21%	14.21%
無氮抽出物	18.43%	3.21%	41.61%
殘糖量	9.5%	-	-

表2、碳氮比(C/N)計算

	高粱酒糟萃取液	魚溶漿	商用飼料
氮(N)含量	0.00208%	0.061%	0.040192%
碳(C)含量	0.07372%	0.013%	0.166%
碳氮比(C/N)	約35.44231	約0.211	約4.14

(二)、 實驗(一)比較高粱酒糟萃取液與糖蜜之生物絮團產量

實驗(一)培養7日間水質數據之水質數據如表3及圖39至圖42。

pH 值在各組都有緩慢下降之趨勢，其中 B 組在第7天有最低表現(7.2 ± 0.1)。

氨-氮在各組都有快速下降之趨勢，A、C 兩組在第4天即無法測出(< 0.02 mg/L)；B 組在第5天即無法測出。

亞硝酸-氮在各組都有快速下降之趨勢，A、C 兩組在第4天即無法測出(< 0.02 mg/L)；B 組在第5天即無法測出。

硝酸-氮在各組初期(第1-3天)都有上升的趨勢，在第四天後開始呈現緩慢下降之趨勢。

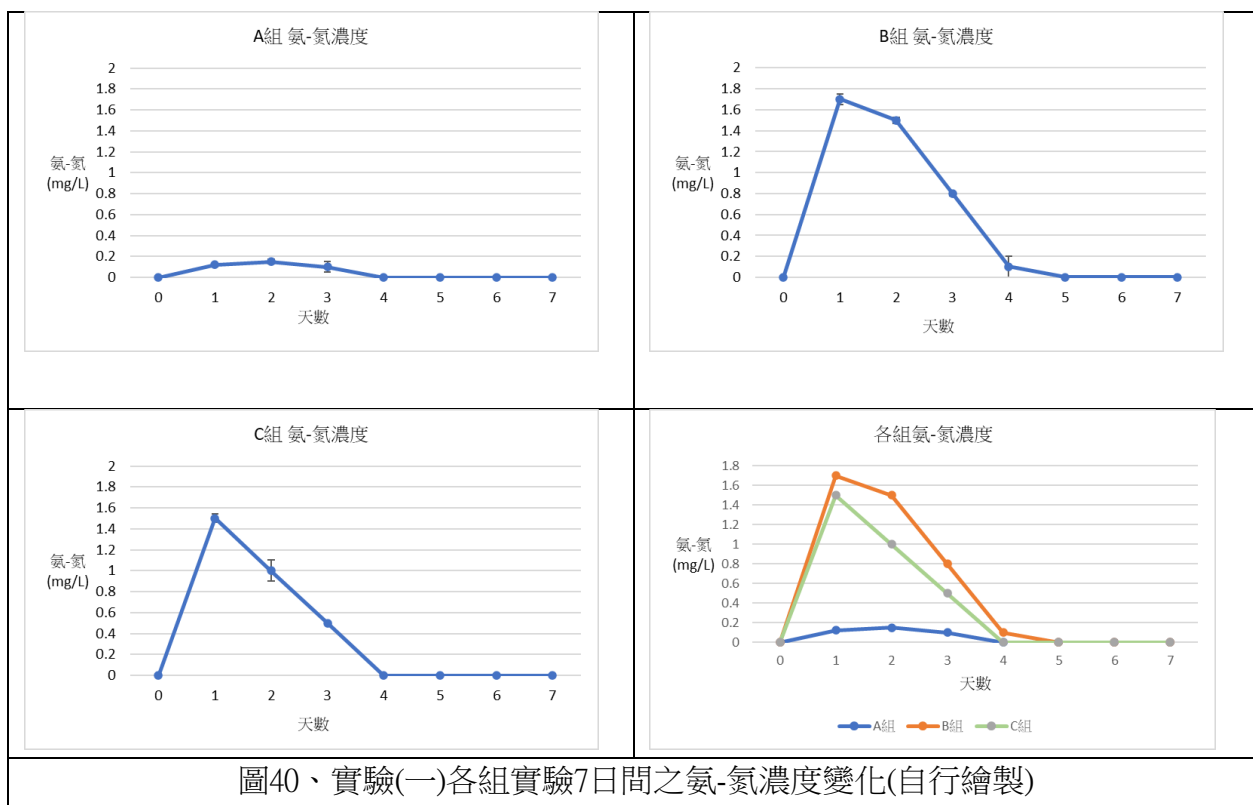
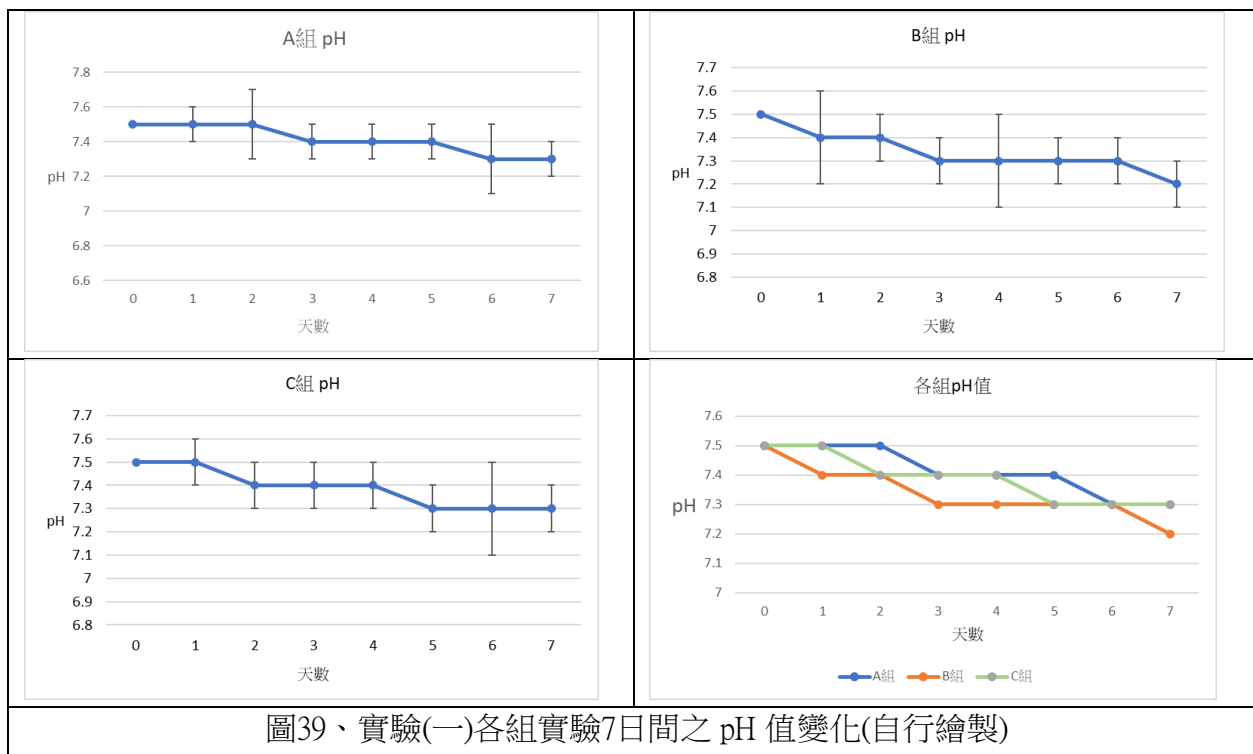
表3、生物絮團培養7日間水質數據(n=4)

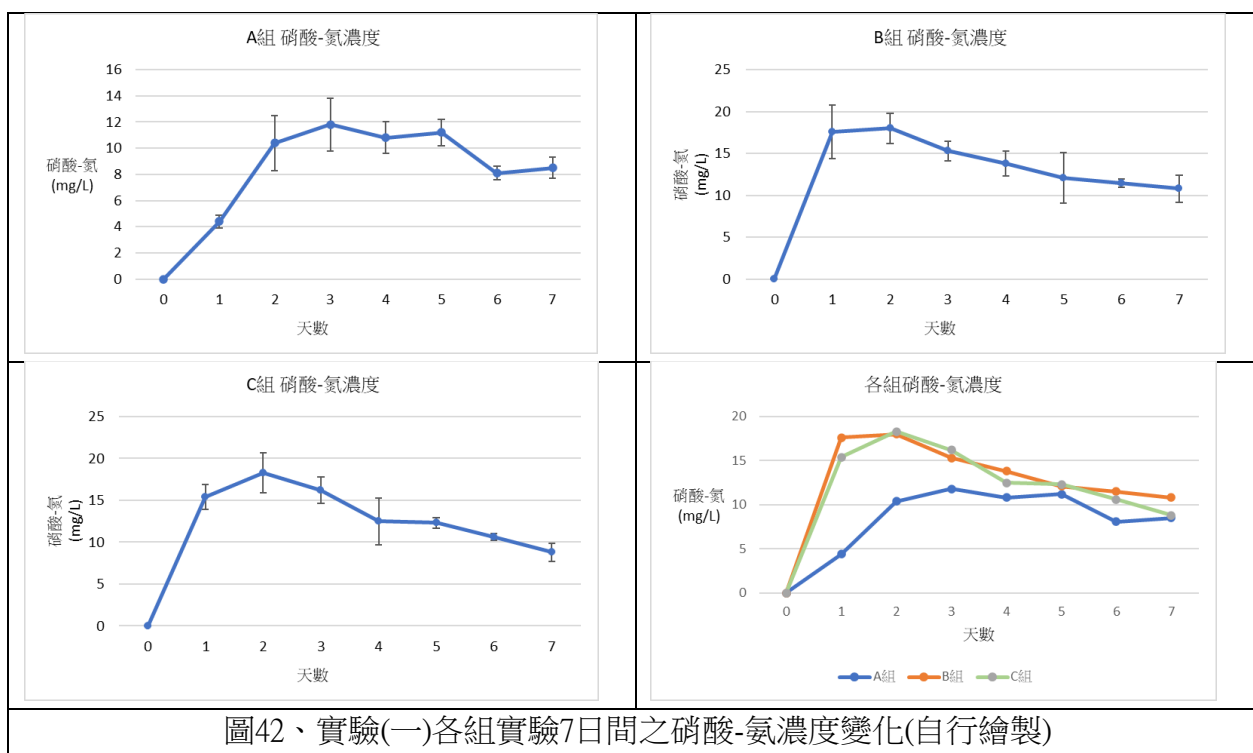
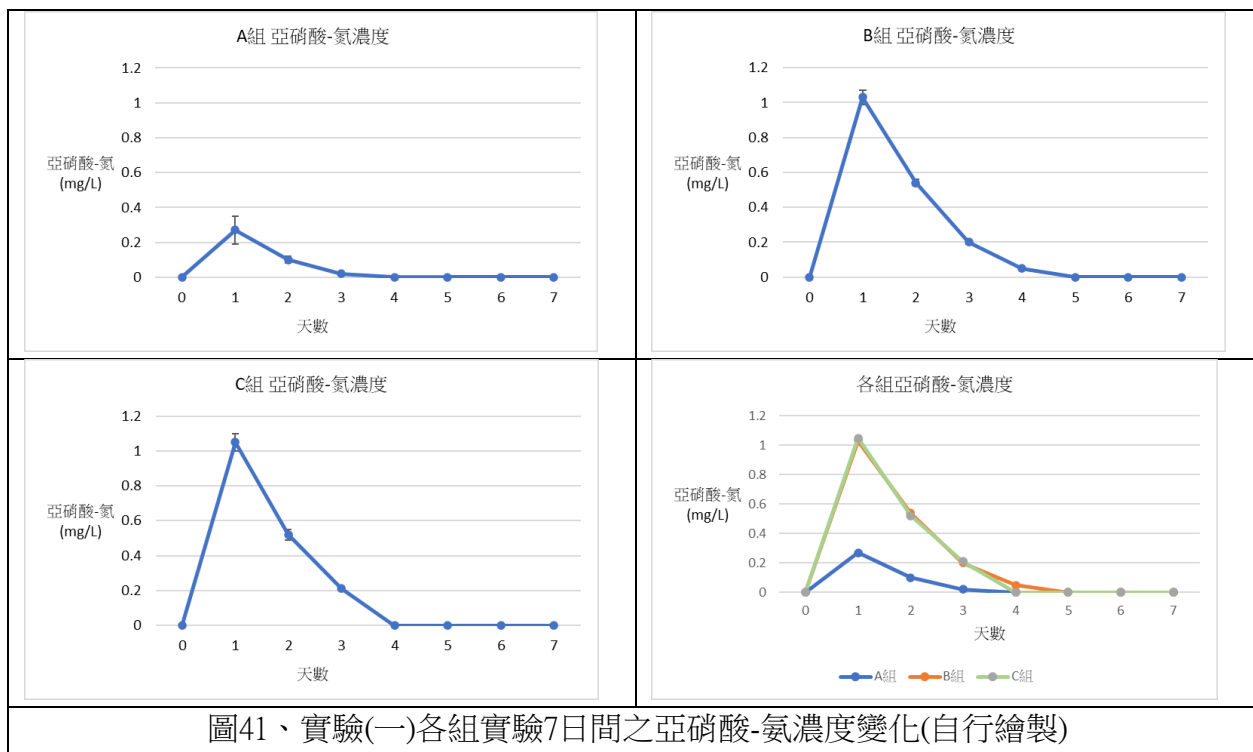
組別	項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7
A	pH	7.5±0.1	7.5±0.2	7.5±0.1	7.4±0.1	7.4±0.1	7.4±0.2	7.3±0.1
	氨-氮(mg/L)	0.12±0.02	0.15±0.05	0.1±0.05	0±0	0±0	0±0	0±0
	亞硝酸-氮 (mg/L)	0.27±0.08	0.1±0.02	0.02±0.04	0±0	0±0	0±0	0±0
	硝酸-氮(mg/L)	4.4±0.5	10.4±2.1	11.8±2.0	10.8±1.2	11.2±1.0	8.1±0.5	8.5±0.8
B	pH	7.5±0.2	7.4±0.1	7.4±0.1	7.3±0.2	7.3±0.1	7.3±0.1	7.2±0.1
	氨-氮(mg/L)	1.7±0.05	1.5±0.03	0.8±0.02	0.1±0.1	0±0	0±0	0±0
	亞硝酸-氮 (mg/L)	1.03±0.04	0.54±0.02	0.2±0.01	0.05±0	0±0	0±0	0±0
	硝酸-氮(mg/L)	17.6±3.2	18.0±1.8	15.3±1.2	13.8±1.5	12.1±3.0	11.5±0.5	10.8±1.6
C	pH	7.5±0.1	7.4±0.1	7.4±0.1	7.4±0.1	7.3±0.1	7.3±0.2	7.3±0.1
	氨-氮(mg/L)	1.5±0.04	1.0±0.1	0.5±0.02	0±0	0±0	0±0	0±0
	亞硝酸-氮 (mg/L)	1.05±0.05	0.52±0.03	0.21±0.02	0±0	0±0	0±0	0±0
	硝酸-氮(mg/L)	15.4±1.5	18.3±2.4	16.2±1.6	12.5±2.8	12.3±0.6	10.6±0.4	8.8±1.1

A:添加魚溶漿10mL 及糖蜜(75%含糖量)30mL(C/N 約=15)

B:只添加高粱酒糟萃取液40mL(C/N=35.44)

C:添加魚溶漿1.8mL 及高粱酒糟萃取液39mL(C/N 約=15)





實驗(一)各組實驗7日後之生物絮團沉積量如表4及圖43。其中 B 組顯著高於 A、C 兩組($P < 0.05$)。

表4、實驗(一)各組實驗7日後之生物絮團沉積量。(n=4)

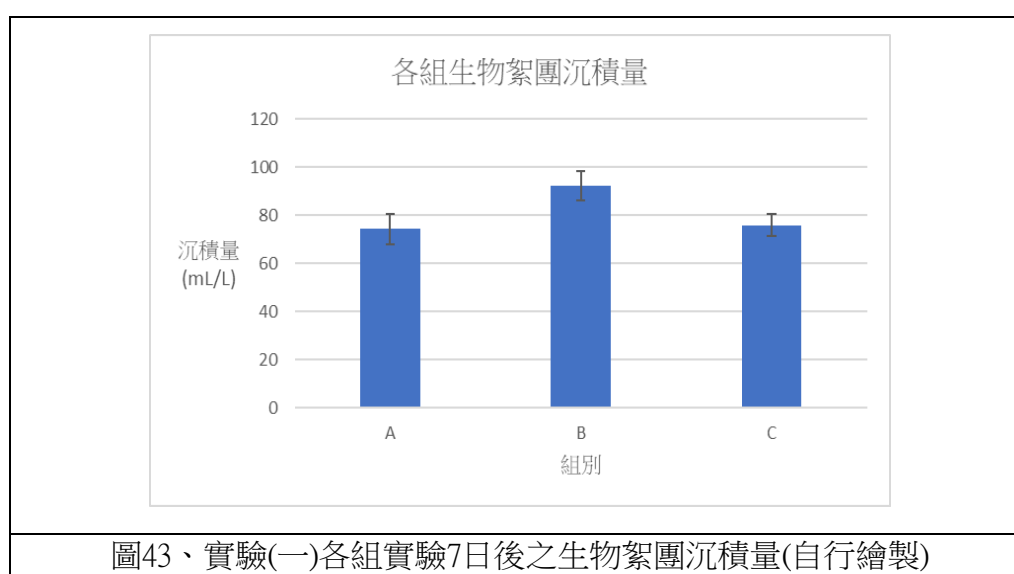
組別	沉積量(mL/L)
A	74.2±6.4 ^b
B	92.2±6.2 ^a
C	75.8±4.5 ^b

以 Duncan' s multiple-range test 計算各組之間是否具有顯著差異(P < 0.05)。

A:添加魚溶漿10mL 及糖蜜(75%含糖量)30mL

B:只添加高粱酒糟萃取液40mL(C/N=35.44)

C:添加魚溶漿1.8mL 及高粱酒糟萃取液39mL(C/N 約=15)



(三)、實驗(二)比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益

成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率

(PWG)、飼料效率(FE)和存活率如表5及圖44至圖46。增重量(WG)在 B 組有最佳

表現(22.12±2.86g)，顯著優於 A 組(P<0.05)，與 C 組無顯著差異(P>0.05)。增重

率(PWG) 在 B 組有最佳表現(344.34±21.1%)，顯著優於 A 組(P<0.05)，與 C 組無

顯著差異($P>0.05$)。飼料效率(FE) 在 B 組有最佳表現(0.87 ± 0.05)，顯著優於 A 組

($P<0.05$)，與 C 組無顯著差異($P>0.05$)。存活率3組皆為100%，相互無差異。

表5、實驗(二)成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)和存活率。(n=4)

組別	IW(g)	WG ¹ (g)	PWG ² (%)	FE ³	存活率 ⁴ (%)
A	6.20±0.64	19.81±5.63 ^b	319.52±62.7 ^b	0.82±0.04 ^b	100
B	6.45±0.39	22.12±2.86 ^a	344.34±21.1 ^a	0.87±0.05 ^a	100
C	6.35±0.45	21.23±2.53 ^a	334.33±18.0 ^a	0.86±0.06 ^a	100

以 Duncan' s multiple-range test 計算各組之間是否具有顯著差異 ($P<0.05$)。

A：僅投餵商業吳郭魚飼料

B：以高粱酒糟萃取液調整 C/N 比至15

C：以75%糖蜜調整 C/N 比至15

¹WG：增重量(g) = 最終魚重 - 初始魚重

²PWG：增重率(%) = [(最終魚重 - 初始魚重) / 初始魚重] × 100%

³FE：飼料效率 = (最終魚重 - 初始魚重) / 飼料攝取量

⁴存活率 = 最終魚隻數量 / 初始魚隻數量 × 100%

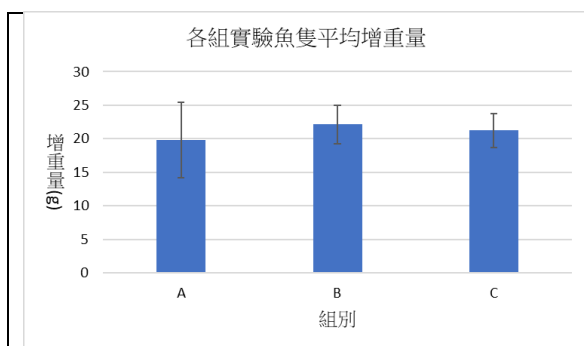


圖44、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均增重量(WG) (自行繪製)

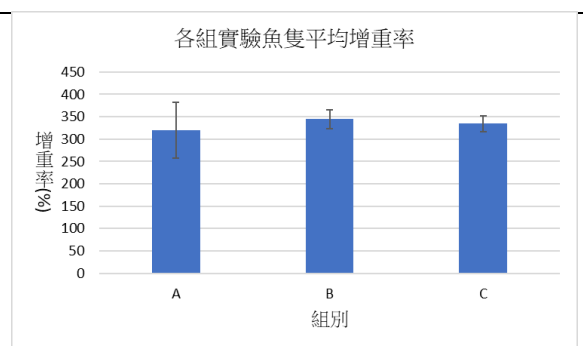
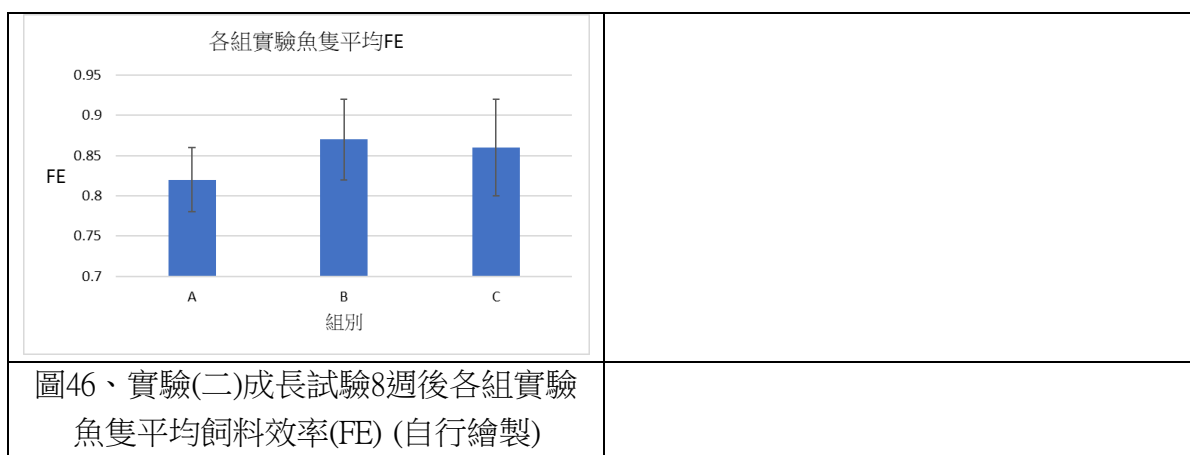


圖45、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均增重率(PWG) (自行繪製)



實驗(二)成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂肪比(IPF)如表6及圖47至圖50。肥滿度(CF)在 B 組有最高表現(2.07 ± 0.38)，顯著優於 A 組($P < 0.05$)，與 C 組無顯著差異($P > 0.05$)。肝體比(HSI)在 B 組有最高表現(1.53 ± 0.45)，顯著優於 A 組($P < 0.05$)，與 C 組無顯著差異($P > 0.05$)。臟體比(VSI)在 B 組有最高表現(7.84 ± 0.47)，顯著優於 A 組($P < 0.05$)，與 C 組無顯著差異($P > 0.05$)。腹腔脂肪比(IPF)在 B 組有最高表現(1.76 ± 0.35)，顯著優於 A 組($P < 0.05$)，與 C 組無顯著差異($P > 0.05$)。

表6、實驗(二)成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂肪比(IPF)。(n=4)

組別	CF ¹	HSI ²	VSI ³	IPF ⁴
A	1.92±0.39 ^b	1.27±0.73 ^b	7.04±1.38 ^b	1.30±0.61 ^b
B	2.07±0.38 ^a	1.53±0.45 ^a	7.84±0.47 ^a	1.76±0.35 ^a
C	2.05±0.21 ^a	1.52±0.51 ^a	7.74±0.81 ^a	1.66±0.32 ^a

以 Duncan's multiple-range test 計算各組之間是否具有顯著差異 (P<0.05)。

A：僅投餵商業吳郭魚飼料 B：以高粱酒糟萃取液調整 C/N 比至15

C：以75%糖蜜調整 C/N 比至15

¹CF：肥滿度 = $(10^5 \times \text{體重 g}) / (\text{體全長 mm})^3 \times 1000$

²HSI：肝體比 = $(\text{肝臟重} / \text{體重}) \times 100$

³VSI：臟體比 = $(\text{內臟重} / \text{體重}) \times 100$

⁴IPF：腹腔脂肪比 = $(\text{腹腔脂肪重} / \text{體重}) \times 100$

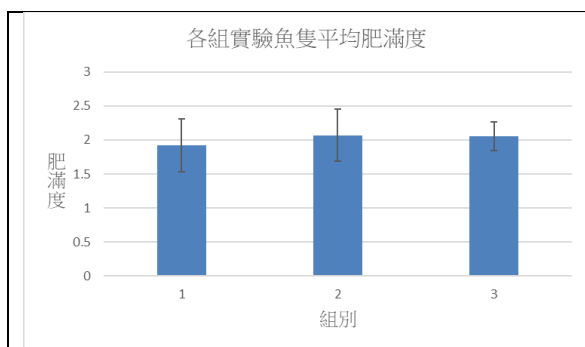


圖47、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均肥滿度(CF) (自行繪製)

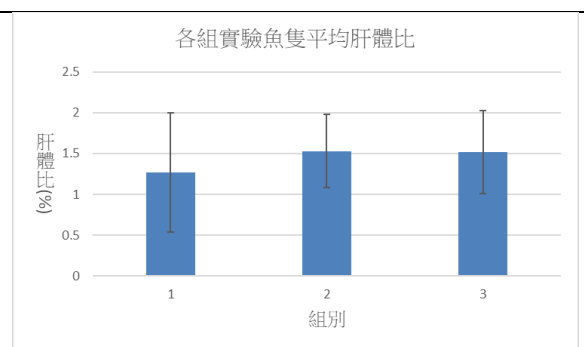


圖48、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均肝體比(HSI) (自行繪製)

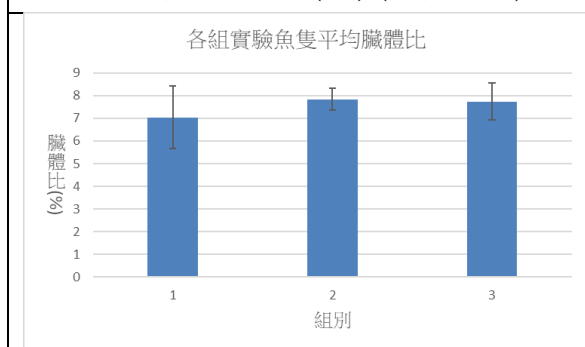


圖49、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均臟體比(VSI) (自行繪製)

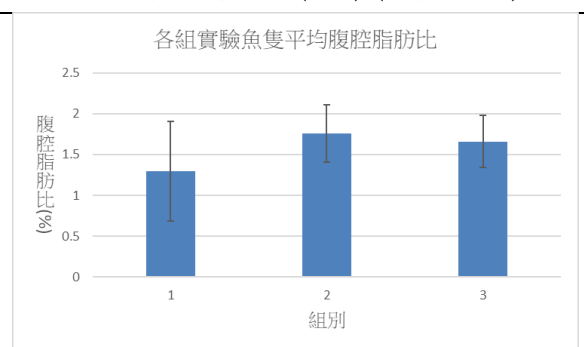


圖50、實驗(二)成長試驗8週後各組實驗魚隻平均腹腔脂肪比(IPF) (自行繪製)

(四)、實驗(三)以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗

成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率(PWG)、飼

料效率(FE)和存活率如表如表6。

表6、實驗(三)成長試驗60天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率(PWG)、飼

料效率(FE)和存活率。

IW(g)	WG ¹ (g)	PWG ² (%)	FE ³	活存率 ⁴ (%)
260±8.5	1085	417.3	0.92	100

¹WG：增重量(g) = 最終魚重 - 初始魚重

²PWG：增重率(%) = [(最終魚重 - 初始魚重) / 初始魚重] × 100%

³FE：飼料效率 = (最終魚重 - 初始魚重) / 飼料攝取量

⁴活存率 = 最終魚隻數量 / 初始魚隻數量 × 100%

伍、討論

一、實驗(一)比較高粱酒糟萃取液與糖蜜之生物絮團產量

在水質參數中，A、C 兩組的初始氨-氮、亞硝酸-氮及硝酸-氮數值較高，

推測是因高粱酒糟本身含有較高之蛋白質(約18%)(陳等，2015)，在堆放在酒廠

酒糟領取處時已開始發酵所產生。

B 組沉積量較高之原因推測是因高粱酒糟初始氨-氮較高，且本組之碳氮

比較高(C/N=35.44)，使得水中異營性微生物在初期就有較充足營養源，導致最

終產量較高。

結果顯示，A、B、C 三組皆可培養出生物絮團，且具有良好之水質處理

能力。其中 A、C 兩組在相同碳氮比(C/N=15)的情況下皆表現出相似的氨-氮移

除效果以及生物絮團沉積量，由此可以初步確定高粱酒糟萃取液可做為生物絮團養殖之補充碳源使用。

二、實驗(二)比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益

我們觀察到，在實驗進行的過程裡，紅尼羅魚皆有充分攝食飼料及生物絮團，魚缸底部幾乎沒有沉積物產生。

實驗結果表示，高粱酒糟萃取液的組別在增重量(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)上都有最好的表現；在肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂肪比(IPF)上也有最高表現，可以證實生物絮團具有增進飼料營養再利用的功能。其中高粱酒糟萃取液的效果略優於糖蜜，經比對相關文獻後發現，此結果可能是因為高粱酒糟萃取液組成較複雜，含有少量蛋白質提供氮源，且含較多之微量元素及澱粉等多醣類(林，2008；陳等，2015)，使得產生之生物絮團營養價值提升(Avnimelech.2015；Crab et al.2010；林，2008；楊等，2012)。

本研究進行途中發現 B(高粱酒糟)、C(糖蜜)組在第4天開始氨-氮、亞硝酸-氮幾乎無法驗出，與文獻之研究結果相似(Avnimelech.2015；Crab et al.2010)，故在實驗進行期間僅以碳酸鈣調整 pH 值及補充蒸發損失之水體。

三、實驗(三)以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗

實驗結果表示，在較大水體進行紅尼羅魚的養成實驗中，生物可以正常生長，其成長效果甚至優於實驗(二)之魚苗，推測是因為魚隻在較大水體中有充

分的成長空間，讓生長效果更佳。另外較大水體中產生之生物絮團體積較大，讓魚隻能更輕易攝食，使得飼料效率(FE)有明顯改善。由此可以推測生物絮團養殖更適合在較大的水體中進行。

此結果可以初步判定以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源可放大至商業化養殖規模。

陸、結論

一、高粱酒糟使用前需先加水打碎過濾

高粱由果皮、種皮、胚乳和胚四部分組成，在釀酒時經過蒸飯、拌麴、蒸餾處理後，澱粉已熟化完全，其中部分澱粉經糖化作用後發酵為酒精被利用製酒。

高粱酒糟難以利用之纖維質主要位於果皮及種皮，我們利用果汁機加水打碎壓榨後可以有效濾除並得到培養生物絮團所需之澱粉及單醣類。

二、高粱酒糟應用於生物絮團養殖的效果絕佳

經本研究證明，高粱酒糟在以生物絮團養殖紅尼羅魚上並不輸目前最常用的糖蜜，在養殖過程中水質狀況皆相當穩定，且魚隻皆健康生長，甚至在成長與飼料效率上略有勝之。

三、高粱酒糟應用於生物絮團養殖具有極強的優勢

高粱酒糟因為營養價值不高，澱粉之黏結性也不好，直接應用於飼料之價值不高(陳等，2015)，但應用於生物絮團養殖可充分發揮其效果，並增進飼料利用以達到最佳的成長效果。

目前糖蜜的售價為7.5元/Kg(台糖砂糖事業部2024/2/26牌價)，而高粱酒糟標售價每 Kg 不到1元，價格極有優勢，僅需簡單處理過後即可使用。

四、高粱酒糟應用於生物絮團養殖可達成環境永續

近年來環保意識抬頭，傳統水產養殖會產生大量廢水排出，造成生態汙染，生物絮團養殖能有效減少用水量甚至完全零排水。我們在研究完成後參考文獻(Yu et al.2023)將生物絮團養殖水應用於魚菜共生系統(圖42)，以達到營養之完全利用，為地球盡一分心力。



柒、參考文獻資料

1. 金門酒廠實業股份有限公司。金酒公司2022永續報告書。2023年10月。
2. 林玟慧，2008。金門及台灣高粱酒糟其水萃物之一般成分及其保健功能探討。國立中興大學論文
3. 楊明樺、鄭金華等。零換水養殖模式下的生物膠羽(bioflocs)技術。水試專訊第38期。2012年6月。
4. 黃俊杉，1990。高粱栽培與管理。台南區農業改良場技術專刊。農藝-4(No.55)
5. 張雅媛，2020。CBM 複合式益生菌應用於吳郭魚生物絮團養殖系統。國立臺灣海洋大學論文。
6. 孫圓詔，2017。添加益生菌及碳氮比對白蝦養殖缸中生物絮團發展之影響。國立臺灣海洋大學論文。陳盈豪、許信昭、李欣玫、林炳宏、施柏齡、許振忠。不同含量高粱酒糟飼糧對臺灣黑羽土雞血清鈣磷濃度、脛骨性狀與腿部外觀之影響。畜產研究48(2)：125-134, 2015
7. 陳琪穎，2011。高粱酒糟粉末製程及其生理活性評估。國立宜蘭大學論文。
8. Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., Verstraete, W., 2010. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research* 41, 559 – 567.
9. Luiz H. David , Sara M. Pinho , Karel J. Keesman , Fabiana Garcia Assessing the sustainability of tilapia farming in biofloc-based culture using energy synthesis. *Ecological Indicators*. Volume 131,

November 2021, 108186.

10. Reshmi Debbarma , Soibam Khogen Singh , Gusheinzed Waikhom , Pradyut Biswas , D.K. Meena , B.K. Choudhary .Chapter 12 - Biofloc technology: a strategic way to waste recycling in aquaculture. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.2023, Pages 395-419.
11. Roselien Crab, Tom Defoirdt , Peter Bossier , Willy Verstraete .Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture 356 – 357 (2012) 351 – 356.
12. Yoram Avnimelech.2015.Biofloc technology. A practical guide book(3rd ed.). The World Aquaculture Society.
13. Young-Bin Yu,Jae-Ho Choi,Ju-Hyeong Lee,A-Hyun Jo,Sung Won Han,Song-Hun Han ,Hee Jae Choi,Cheol Young Choi,Ju-Chan Kang ,EunYoung Min and Jun-Hwan Kim.Biofloc Application Using Aquaponics and Vertical Aquaculture Technology in Aquaculture: Review. Fishes 2023, 8(11), 543.

【評語】 052203

1. 以高粱酒糟之萃取液進行團絮培養，提供養殖魚類之 C、N 營養源，以減少飼料餵養量，達到零換水目的，立意良好，符合永續目標。
2. 試驗包括擴大規模試養，結果良好，確立商化之可行性。
3. 以當地農業廢棄物為原料，具有鄉土性與創新性，若可以再思考萃取後高粱酒糟之用途，全物利用性將更為完整。
4. 可增加使用高粱酒糟之財務分析，並與糖蜜進行比較，以確認是否具商業競爭性。
5. 摘要撰寫格式宜修正。

作品簡報

高粱酒糟應用於零換水養殖之效益評估

壹、摘要

- 本研究旨在探討高粱酒糟作為生物絮團養殖補充碳源之效益，共分為四個部分。
- **實驗準備：**高粱酒糟萃取液的成分分析與碳氮比計算
高粱酒糟加入2倍重量水後以56目手抄網過濾取得高粱酒糟萃取液。高粱酒糟萃取液含有水分78.74%、粗蛋白1.3%、粗脂肪0.45%、粗纖維0.65%、粗灰分0.43%、無氮抽出物18.43%；另殘糖量約為9.5%。計算後之碳氮比(C/N)約35.44。
 - **正式實驗(一)**以高粱酒糟萃取液與糖蜜培養生物絮團之比較
A(魚溶漿+糖蜜C/N15)、B(酒糟萃取液C/N35.44)、C(魚溶漿+酒糟萃取液C/N15)3組在氨-氮、亞硝酸-氮皆表現出清除能力，其中B組的生物絮團沉積量最多。
 - **正式實驗(二)**比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益
B組(酒糟萃取液C/N15)在增重量、增重率、飼料效率上都有最好的表現，在肥滿度、肝體比、臟體比和腹腔脂肪比上也有最高表現；與C組(糖蜜C/N15)無顯著差異。A組(C/N未調整)最差。
 - **正式實驗(三)**以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗
結果顯示，在較大水體中的紅尼羅亞成魚能夠正常生長，其成長效果與飼料效率甚至較實驗(二)之魚苗更佳。
 - 高粱酒糟作為生物絮團養殖補充碳源具有促進生長、穩定水質的優良效果，且具有價格低廉的優勢，極具推廣價值。

貳、前言

一、研究動機

在上課的過程中，接觸到**零換水養殖**這個新的概念，只要在水中加入葡萄糖或是糖蜜之類的**有機碳源**就可以培養**生物絮團**以控制水質，完全不需要項傳統養殖需要時常換水，讓我們相當震驚。但是目前在台灣實際應用這種養殖方法的並不多，主要是因為成本太高，所以我們就開始思考有沒有更便宜好用的有機碳源可以應用。我們在查找文獻後發現，目前高粱酒釀造業會產生非常多的高粱酒糟廢棄，價格非常便宜，目前只有用在畜產補充飼料還有堆肥，可見其應用潛力還沒有被完全開發。因為目前還沒有將高粱酒糟應用於零換水養殖的研究，我們與老師討論後，決定引入釀酒廢棄物來處理養殖廢水，讓一種產業廢棄物來制衡另一種產業廢棄物，並評估是否能比傳統養殖模式達到更好的效果。

二、文獻探討

(一)高粱酒糟

高粱又名蜀黍，台灣傳統名稱蘆黍，英文sorghum，為一年生禾本科作物，原產自非洲熱帶地區，具有抗旱性並能在高溫下生長。高粱是生產高粱酒的主要原料，也是特殊芳香味的主要來源。高粱經發酵、蒸餾後的最終廢棄物就是高粱酒糟。金門酒廠當年度約需要消耗掉6萬6千多公噸高粱，加上水的重量，產生的高粱酒糟粗估有超過10萬噸的產量。這些生產高粱酒後所產生的「廢棄物」，其中 83.9% 提供給金門縣農會作為畜產用的飼料，其餘 16.1% 提供給農業肥料廠商。

(二)零換水養殖-生物絮團

目前世界上已發展多種零換水養殖模式，其中成本最低廉且最易於商業化的方式是生物絮團(biofloc)。其原理是由人為向養殖水體添加有機碳源來提升水體中的碳氮比(C/N ratio)，促進水中異營微生物的生長，進而將水中的氨-氮轉化為菌體蛋白質及多醣類。生物絮團主要是由浮游動植物、微生物及其他具黏著性之物質構成。其質量輕且具多孔性，可以幫助在水中懸浮，也有利於水流的穿透，讓異營性細菌能有效獲取氧氣及營養物質。當生物絮團的粒徑達到0.1-3mm時就可以被許多養殖生物攝食。

- Crab(2010)等人指出生物絮團在養殖上有很多優點，如：
- 1.具有**良好的水質處理效果**，可去除無機氮以減少硝酸鹽的累積。
 - 2.會形成生物蛋白質，可以**做為餌料**增加產量及收益，也可當作飼料原料，取代部分魚粉及大豆粉。
 - 3.**具有抑菌效果**，可以在細菌體內累積PHB(poly-β-hydroxybutyrate)，在養殖生物腸內會釋出丁酸，可有效降低有害弧菌的感染。
 - 4.可**減少養殖用水量**，甚至在特定條件下能達到完全零換水，達到永續經營的目標。
- 依據Avnimelech(2015)的Biofloc technology.書中所述，**產生生物絮團所需的條件**如下：
- 1.養殖過程盡量**減少換水**，避免異營細菌損失。
 - 2.**高密度養殖**，以產生足量的有機物與氨-氮供異營細菌利用。
 - 3.養殖環境需要**充足的打氣與攪拌**，避免懸浮顆粒過多而形成厭氧層。當懸浮顆粒過多時應適當移除。
 - 4.養殖環境須為**硬底或鋪設塑膠布**，以利沉積物排出。
 - 5.使用粗蛋白較低的餌料，並視需要**額外添加有機碳**以維持C/N比。
 - 6.異營細菌來自天然族群，**不需要額外培養或補充**。

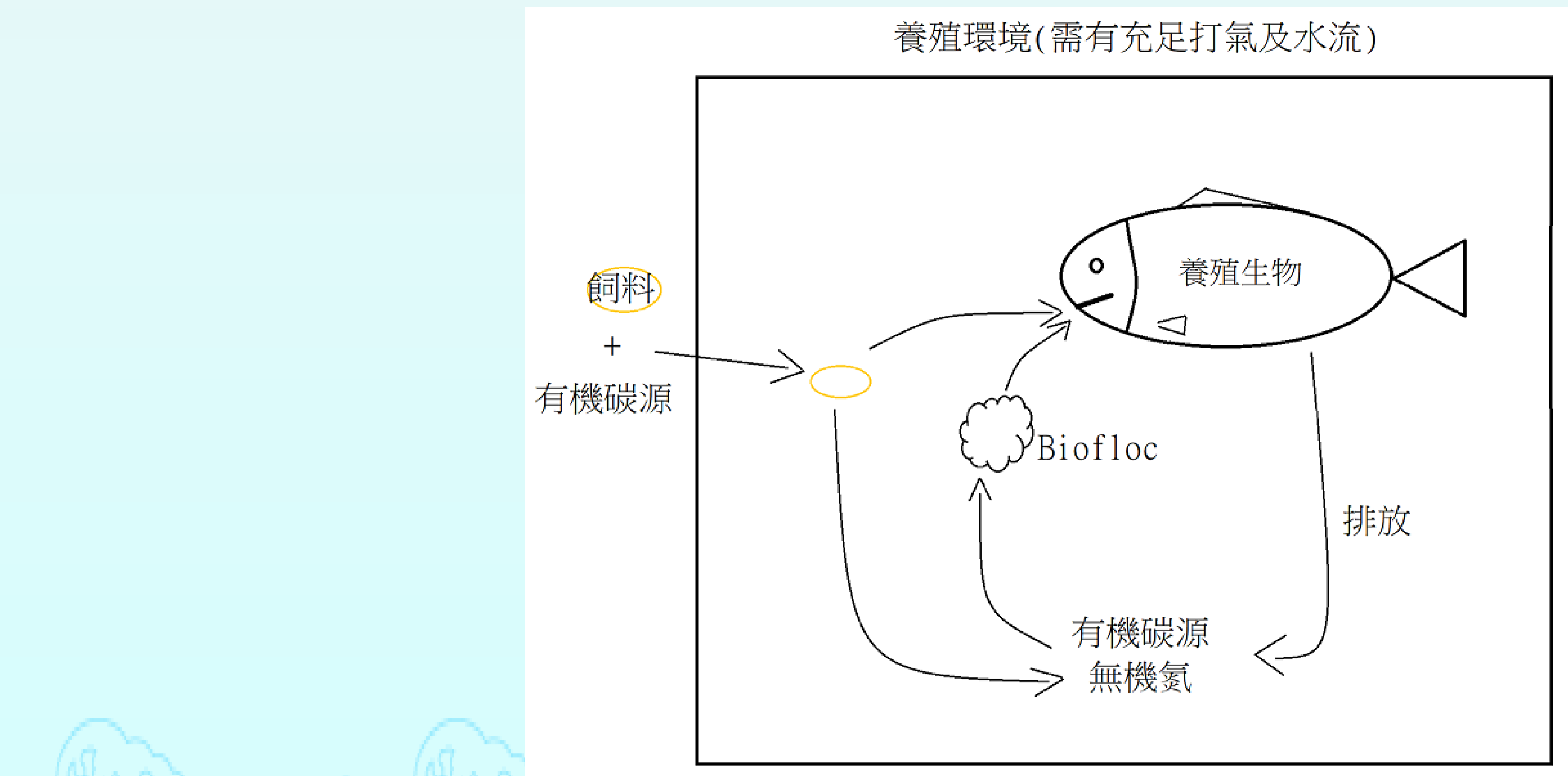


圖 1、生物絮團原理示意圖(修改自 Crab et al.2012)

高粱酒糟應用於零換水養殖之效益評估

肆、研究方法(過程)

一、研究架構



二、實驗準備

(一)高粱酒糟萃取液備製



圖 2、高粱酒糟領取處



圖 3、高粱酒糟外觀



圖 4、高粱酒糟以果汁機打碎



圖 5、以 56 目手抄網擠壓過濾取得高粱酒糟萃取液

(二)成分分析



圖 6、水分測量



圖 7、粗蛋白蒸餾



圖 8、粗脂肪萃取



圖 9、粗灰分灰化



圖 10、以 8000xg 離心 15 分鐘後收集上清液



圖 11、糖度曲折度計測定

- 根據AOAC（1995）進行高粱酒糟萃取液、魚溶漿及商用飼料粗成分分析（含水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分），另計算得出無氮抽出物含量。
- 高粱酒糟萃取液以8000xg離心15分鐘後收集上清液，利用糖度計測定殘糖量。
- 依以下公式計算碳氮比(C/N)：

$$N\ \% = \text{蛋白質含量}\% \times 16\%(\text{氮含量})$$

$$C\ \% = \frac{\text{無氮抽出物}\% \times 72}{180}$$

三、實驗過程與材料介紹

實驗(一)以高粱酒糟萃取液與糖蜜培養生物絮團之比較

- 將獨立的2尺壓克力水族箱裝入50L之自來水，經充分曝氣除氯後，進行固定光照(2340lux，每日08:00至18:00照射10小時)、固定水溫(25℃)的7天4重複培養實驗。
- 每日測量水中pH值、溶氧、氨-氮、亞硝酸-氮、硝酸-氮。
- 將水體攪拌後倒入量筒，靜置1.5-2小時後以生物絮團沉積量(mL/L)判斷其培養效果。



圖26、實驗環境



圖27、每日測量水質

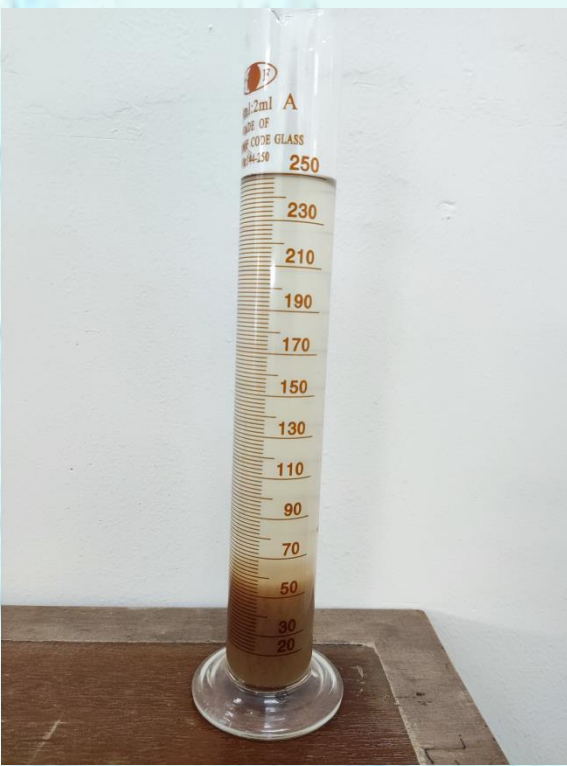


圖28、以量筒測量生物絮團沉積量

實驗(二)比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益

- 每日投餵投餵2次(08：00及17：00)魚隻總重1.5%之商業飼料。實驗每週測量魚隻體重，並依據體重調整投餵量及補充碳源用量。

A：僅投餵商業吳郭魚飼料 B：以高粱酒糟萃取液調整C/N比至15 C：以75%糖蜜調整C/N比至15
- pH值低於6.5時添加0.5g碳酸鈣進行調整。
- 實驗結束後計算魚隻增重(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)、活存率、肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂質比(IPF)。

高粱酒糟應用於零換水養殖之效益評估

實驗(三)以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗

- 測試高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源在較大水體養殖是否有不可知之問題產生，並評估在商業化養殖中的效益。
- 在2噸水體之FRP桶中加入2L高粱酒糟萃取液預先培養3天生物絮團，再放入30尾平均重量為260±8.5g的紅尼羅魚，每日投餵投餵2次(08：00及17：00)魚隻總重1.5%之商業飼料，利用高粱酒糟萃取液將C/N控制在15。
- pH值低於6.5時添加10g碳酸鈣進行調整。
- 實驗結束後計算魚隻增重(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)及活存率，以判斷其在較大水體中的實際養殖效果。



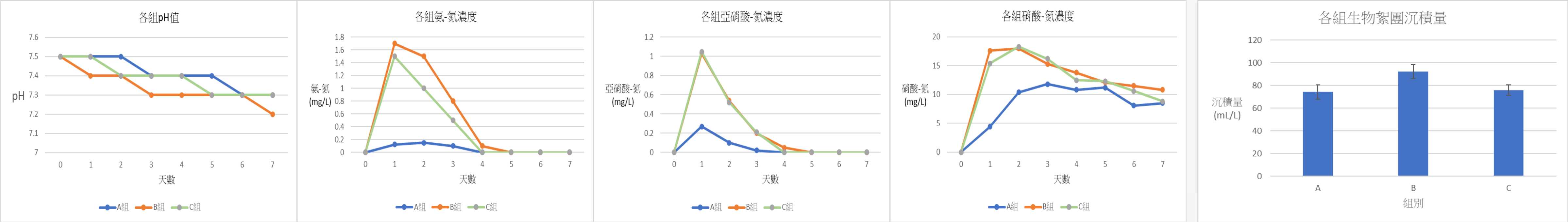
肆、研究結果與討論

(一)、成分分析值及碳氮比計算

成分	高粱酒糟萃取液	魚溶漿	商用飼料
水分	78.74%	38.12%	9.21%
粗蛋白	1.30%	45.44%	25.12%
粗脂肪	0.45%	8.02%	4.23%
粗纖維	0.65%	-	5.62%
粗灰分	0.43%	5.21%	14.21%
無氮抽出物	18.43%	3.21%	41.61%
殘糖量	9.5%	-	-

	高粱酒糟萃取液	魚溶漿	商用飼料
氮(N)含量	0.00208%	0.061%	0.040192%
碳(C)含量	0.07372%	0.013%	0.166%
碳氮比(C/N)	約 35.44231	約 0.211	約 4.14

(二)、實驗(一)以高粱酒糟萃取液與糖蜜培養生物絮團之比較



(三)、實驗(二)比較以高粱酒糟萃取液與糖蜜作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅魚苗之效益

表 5、實驗(二)成長試驗 60 天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)和存活率。(n=4)

組別	IW(g)	WG ¹ (g)	PWG ² (%)	FE ³	活存率 ⁴ (%)
空白組	6.20±0.64	19.81±5.63 ^b	319.52±62.7 ^b	0.82±0.04 ^b	100
酒糟組	6.45±0.39	22.12±2.86 ^a	344.34±21.1 ^a	0.87±0.05 ^a	100
糖蜜組	6.35±0.45	21.23±2.53 ^a	334.33±18.0 ^a	0.86±0.06 ^a	100

以 Duncan’s multiple-range test 計算各組之間是否具有顯著差異 (P<0.05)。

表 6、實驗(二)成長試驗 60 天後，紅尼羅魚之平均肥滿度(CF)、肝體比(HSI)、臟體比(VSI)和腹腔脂肪比(IPF)。(n=4)

組別	CF ¹	HSI ²	VSI ³	IPF ⁴
空白組	1.92±0.39 ^b	1.27±0.73 ^b	7.04±1.38 ^b	1.30±0.61 ^b
酒糟組	2.07±0.38 ^a	1.53±0.45 ^a	7.84±0.47 ^a	1.76±0.35 ^a
糖蜜組	2.05±0.21 ^a	1.52±0.51 ^a	7.74±0.81 ^a	1.66±0.32 ^a

以 Duncan’s multiple-range test 計算各組之間是否具有顯著差異 (P<0.05)。

(四)、實驗(三)以高粱酒糟萃取液作為生物絮團補充碳源養殖紅尼羅亞成魚之試驗

表 6、實驗(三)成長試驗 60 天後，紅尼羅魚之平均初重(IW)、增重量(WG)、增重率(PWG)、飼料效率(FE)和存活率。

IW(g)	WG ¹ (g)	PWG ² (%)	FE ³	活存率 ⁴ (%)
260±8.5	1085	417.3	0.92	100

伍、結論

1. 高粱酒糟使用前需先加水打碎過濾
高粱由果皮、種皮、胚乳和胚四部分組成，在釀酒時經過蒸飯、拌麴、蒸餾處理後，澱粉已熟化完全，其中部分澱粉經糖化作用後發酵為酒精被利用製酒。
高粱酒糟難以利用之纖維質主要位於果皮及種皮，我們利用果汁機加水打碎壓榨後可以有效濾除並得到培養生物絮團所需之澱粉及單醣類。
2. 高粱酒糟應用於零換水養殖的效果絕佳
經本研究證明，高粱酒糟在以生物絮團養殖紅尼羅魚上並不輸目前最常用的糖蜜，在養殖過程中水質狀況皆相當穩定，且魚隻皆健康生長，甚至在成長與飼料效率上略有勝之。
3. 高粱酒糟應用於生物絮團養殖具有極強的優勢
高粱酒糟因為營養價值不高，澱粉之黏結性也不好，直接應用於飼料之價值不高(陳等，2015)，但應用於生物絮團養殖可充分發揮其效果，並增進飼料利用以達到最佳的成長效果。
目前糖蜜的售價為7.5元/Kg(台糖砂糖事業部2024/2/26牌價)，而高粱酒糟標售價每Kg不到1元，價格極有優勢，僅需簡單處理過後即可使用。
4. 高粱酒糟應用於生物絮團養殖可達成環境永續
近年來環保意識抬頭，傳統水產養殖會產生大量廢水排出，造成生態汙染，生物絮團養殖能有效減少用水量甚至完全零排水。我們在研究完成後參考文獻(Yu et al.2023)將生物絮團養殖水應用於魚菜共生系統，以達到營養之完全利用，為地球盡一分心力。