

屏東縣第 66 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱:生態「瓶」衡

關 鍵 詞:生態瓶、生態平衡

編號：B4017

摘要

生態瓶（Terrarium）為一模擬微型自然生態循環的封閉或半開放系統，主要仰賴光照進行光合作用與內部水分循環以維持生態平衡，適合栽種蕨類等耐陰植物。本研究旨在探討影響生態瓶內部生物生存之最佳環境條件。實驗將透過控制變因，觀察並記錄瓶內生物的生長狀態，藉此分析並歸納出維持微型生態系穩定之最適參數。

壹.前言

一、研究動機

- ✚ 契機與觀察：近期在社群媒體的短影音中，我們觀察到一種被稱為「微型地球」的生態瓶（Terrarium）正廣泛流行。這種將植物、底質與水分封閉於玻璃容器內的微型生態系統，不僅具有觀賞價值，其內部能夠自給自足的運作模式更引發了我們強烈的好奇心。
- ✚ 核心疑問：我們深知自然界的生態系具有強大的自我調節能力，但在生態瓶這樣極度受限的封閉或半封閉空間中，缺乏外部環境的持續介入，系統往往十分脆弱。這使我們產生疑問：究竟需要具備哪些條件，才能使生態瓶內的「物質循環」與「能量流動」達到完美的動態平衡，進而讓瓶內的生物得以長期存活？
- ✚ 研究聚焦：為了找出維持微型生態系穩定的關鍵，我們決定親自動手進行實驗。本研究期望透過在生態瓶中配置不同種類與比例的「生產者」（如：耐陰植物、苔蘚）、「消費者」（如：微型底棲生物）與「分解者」（如：土壤微生物），深入探討這三者之間的交互作用與關聯性，藉此找出生態瓶長期穩定運作的最佳生物組合。

二、研究目的

- ✚ 探討微型水生生態系中各營養階層之交互作用：> 以水蘊草作為主要生產者，觀察並分析其與消費者（水生動物）及分解者（水生微生物）之間的物質循環與互動模式。
- ✚ 尋找維持生態系動態平衡的最佳生物配置比例：> 藉由改變生態瓶內水蘊草的植株數量與動物的個體數量，評估不同比例配置對微型生態系穩定度（如：生物存活率、水質變化）的影響，找出最適宜的黃金比例。

- ✚ 分析環境溫度與水中溶氧量之關聯性：> 透過設計不同的溫度條件，測量並記錄生態瓶內溶氧量的變化差異，進一步探討溫度變化對整體水生生態系運作的影響。

三、文獻回顧

(一) 呼吸作用對微型生態系的影響

呼吸作用是生態瓶中生物維持基本生命現象的重要過程。在夜間或缺乏光照的環境下，生產者（如水草、藻類）無法進行光合作用，僅能持續進行呼吸作用，進而導致水體溶氧量降低。參考探討環境因子對水生植物代謝影響的相關文獻指出，當生產者處於不良環境或遭遇外部干擾（如水質改變或受汙染）時，其光合作用速率會大幅下降，甚至低於呼吸速率。這種現象會打破微型生態系原有的碳氧平衡，導致整體水環境的溶氧量急速減少。因此，若生態瓶中生物密度過高，極易引發缺氧現象，危及系統內的生物生存。

(二) 水溫與溶氧量及植物機能的關聯

水溫不僅直接影響氣體在水中的溶解度，更牽動著生態瓶內所有生物的生理代謝。物理學上，氣體的溶解度與溫度成反比，高溫會使水中的飽和溶氧量顯著降低，同時加速生物的新陳代謝與耗氧量。此外，根據針對水蘊草細胞機能的科展研究證實，水蘊草在 10°C 至 30°C 之間生長狀態最為良好；當水溫達到極端高溫（如 40°C）時，植物細胞壁會出現軟化現象，細胞內的葉綠體甚至會聚集成團，失去光合作用的活力與細胞質流動的能力。這意味著高溫不僅減少了水體的含氧能力，更削弱了生產者的產氧機能，對微型生態系造成雙重負面打擊。

(三) 分解作用與水質穩定的動態平衡

生態瓶中若累積過多腐爛的有機物質（如動植物屍體、枯葉或排泄物），好氧性微生物在進行分解作用時將大量消耗水中氧氣，進一步壓縮其他消費者的生存空間。根據國內針對生態密閉系統的探究指出，微型生態系若缺乏適當的分解者機制，極易因有機物過度累積與缺氧而崩潰。文獻證實，若能適當引入並建立穩定的分解者社群（如硝化菌等），不僅能有效轉換有毒的代謝廢物（如氨氮），還能控制有機物量，是維持水質與生態系平衡不可或缺的環節。

(四) 生物數量配置與物質循環

綜合上述各項理化與生物因子，生態瓶的長期穩定性高度取決於內部生物數量的配置比例。生物總量過多，會加劇呼吸作用與分解作用的氧氣消耗，引發系統性缺氧；反之，若生物數量過少，則無法提供足夠的養分供生產者進行光合作用，導致物質循環與能量流動中斷。過去的封閉生態系研究亦強調，精準拿捏「生產者」與「消費者」的比例（例如該研究找出水草與蝦類的特定質量比例），使碳循環與氮循環得以順利銜接，是確保微型生態系生生不息的核心關鍵。

貳.研究設備與器材

表一、實驗設備圖表

		
生態瓶	金魚藻	玫瑰蝦
		
溶氧量檢測器	植物燈	大肚魚

參、研究過程與方法

(一) 實驗變因設定

為了確保實驗的準確性，本實驗嚴格控制變因如下：

- ✚ 操縱變因（我們改變的條件）：消費者（玫瑰魚、玫瑰蝦）的數量配置。
- ✚ 控制變因（保持不變的條件）：生態瓶的材質與大小、水量（九分滿的地下水）、生產者數量（水蘊草固定 1 株）、分解者劑量（固定滴入等量的硝化菌）、放置地點的光照時間與環境背景。
- ✚ 應變變因（我們觀察與測量的結果）：水中的溶氧量、水溫變化、以及瓶內生物的存活狀況與互動情形。

(二) 實驗設計與流程

1. 環境建置：準備 9 個規格相同的透明生態瓶，每瓶皆注入九分滿的地下水，並靜置一段時間使水溫與室溫達到平衡。
2. 底層與基礎建立：於每瓶中固定植入 1 株水草（生產者），並加入固定比例的硝化菌液（分解者）以建立初步的水質穩定系統。
3. 放入消費者：將 9 隻玫瑰魚與 18 隻玫瑰蝦依據下表的分配比例，分別輕放入 9 個生態瓶中，並標示編號：

實驗設計與流程

1. 將每瓶生態瓶裝有九分滿的地下水
2. 準備 9 瓶生態瓶、玫瑰蝦 18 隻、玫瑰魚 9 隻、水草 9 株以及消化菌瓶
3. 將每瓶裝有不同數量的魚蝦，而每瓶水草(生產者)固定為一，另外，消化菌(分解者)亦固定採用數量相同的瓶裝方式；每瓶魚蝦(消費者)的數量分別為(魚 0 蝦 1、魚 0 蝦 2、魚 0 蝦 3、魚 1 蝦 1、魚 1 蝦 2、魚 1 蝦 3、魚 2 蝦 1、魚 2 蝦 2、魚 2 蝦 3)
4. 觀察生物間的覓食關係

表二、3*3 實驗瓶設計說明

瓶身編號	玫瑰魚數量(隻)	玫瑰蝦數量(隻)	觀察重點
A1	0	1	僅有單一低耗氧底棲生物 之影響
A2	0	2	無魚類干擾下 蝦類密度的影響
A3	0	3	高密度蝦類群體的 環境耗氧測試
B1	1	1	基礎 1:1 混合飼養 平衡測試
B2	1	2	混合飼養 (底棲消費者略多)
B3	1	3	混合飼養 (高密度底棲消費者)
C1	2	1	混合飼養 (魚類消費者略多)
C2	2	2	高密度 2:2 混合飼養 平衡測試
C3	2	3	極限壓力測試 (最高消費者密度)

(三) 數據收集與紀錄

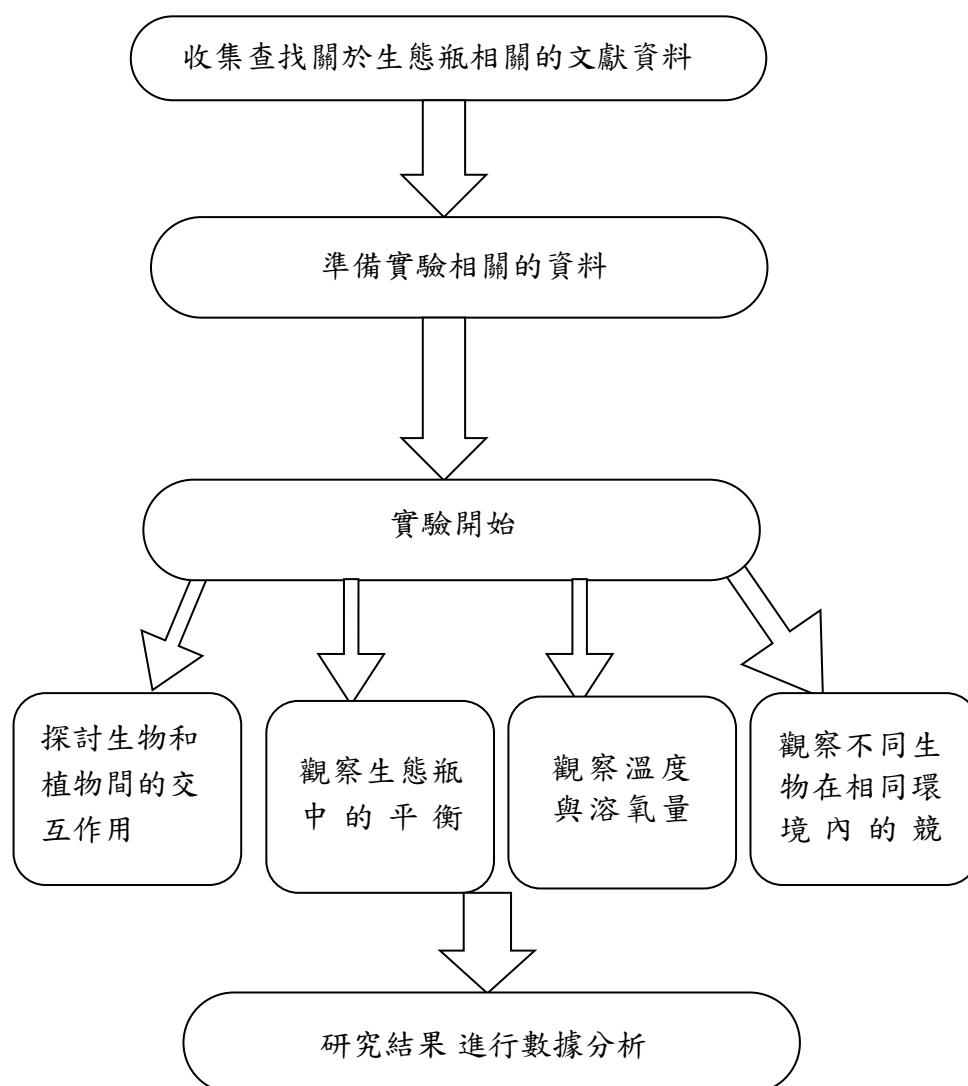
-  水溫與溶氧量監測：每天於固定時間（如：中午光照最強烈時，或夜間光合作用停止時），運用溶氧量計測量並記錄各瓶的「水溫」與「溶氧量（mg/L）」，觀察兩者在不同生物密度下的動態變化。
-  生物狀態與互動觀察：約每 3 至 4 天對生態瓶進行一次定點拍攝，記錄玫瑰魚與玫瑰蝦的空間分布情形、活動力、存活數量，以及牠們與水草之間的覓食或棲息關係。

(四) 數據分析與預期結果

- ✚ 尋求最佳生態配置：透過比對 9 組生態瓶的生物存活時間與水質清澈度，找出生態瓶在封閉或半封閉環境下，最有利於維持微型生態系穩定的生物數量黃金比例。
- ✚ 解析溫氧關聯性：彙整所有測量數據，繪製水溫與溶氧量的關係折線圖或散布圖，以實際數據驗證環境溫度對水中溶氧飽和度及生物耗氧量的綜合影響。



實驗流程：



圖一、實驗架構圖

肆、研究結果

一、觀察與紀錄結果

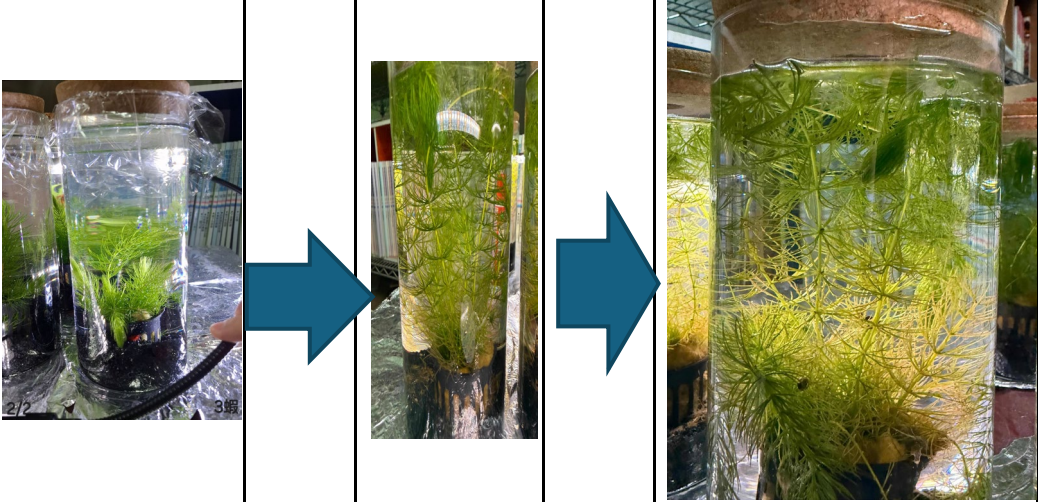
表三、魚 0 蝦 1 實驗記錄

魚 0 蝦 1					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚 蝦 分 布 情 形	到處游動	在底 下慢 慢遊 動	爬到水草頂端	在底 下慢 慢遊 動	爬到水草頂端
水 草					
溶 氧		8.88 ppm	10.07 ppm	9.60 ppm	10.68 ppm
水 溫		26.4 ℃	23.8 ℃	25.0 ℃	27.3 ℃

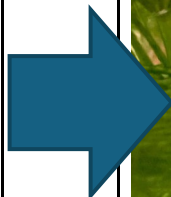
表三、魚 0 蝦 2 實驗記錄

魚 0 蝦 2
第二天全死光

表四、魚 0 蝦 3 實驗記錄

魚 0 蝦 3					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚 蝦 分 布 情 形	到處游動	在底 下慢 慢遊 動	爬到水草 頂端	瓶底 活動	在底下慢慢遊動
水草					
溶 氧		6.55 ppm	11.45 ppm	9.91 ppm	5.40 ppm
溫 度		26.7 ℃	22.7 ℃	25.0 ℃	27.1 ℃
第 10 天底部有少量落葉沉積並葉片發黃					

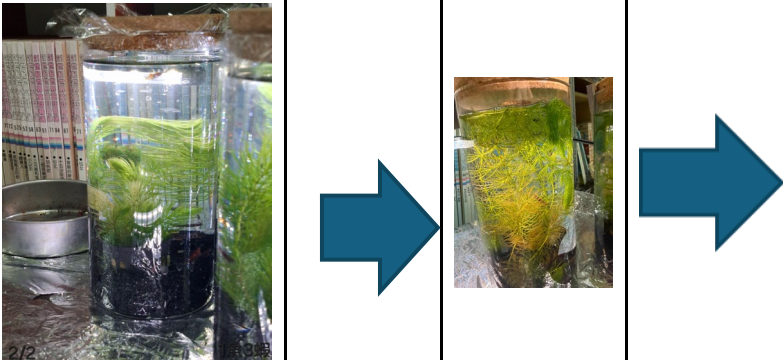
表五、魚 1 蝦 1 實驗記錄

魚 1 蝦 1					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚 蝦 分 布 情 形	到處游動	在底 下慢 慢遊 動	在底 下慢 慢 遊動	在底 下慢 慢遊 動	爬到水草頂端
水 草					
溶 氧		7.51 ppm	10.95 ppm	9.20 ppm	10.03 ppm
溫 度		26.1 °C	23.0 °C	25.0°C	27.1 °C
第五天出現發黃					

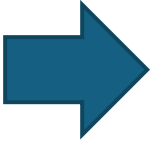
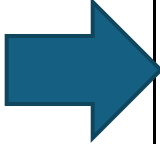
表六、魚 1 蝦 2 實驗記錄

魚 1 蝦 2					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚 蝦 分 布 情 形	到處游動	在底 下慢 慢遊 動	爬到水草頂端	在底 下慢 慢遊 動	在底下慢慢遊動
水 草					
溶 氧		8.06 ppm	11.42 ppm	10.05 ppm	10.96 ppm
溫 度		24.5 ℃	23.8 ℃	25.0 ℃	27.1 ℃

表七、魚 1 蝦 3 實驗記錄

魚 1 蝦 3					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 12 天
魚蝦分布情形	到處游動	在底下慢慢遊動	在底下慢慢遊動	爬到水草頂端，有 1 魚 1 蝦死亡	屍體沉於水底
水草					
溶氧		8.04ppm	9.80ppm	10.15ppm	4.83ppm
溫度		26.8°C	21.9°C	25.4°C	25.7°C
生物於第 12 日早上全數死亡					

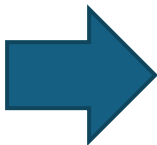
表八、魚 2 蝦 1 實驗記錄

魚 2 蝦 1					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚蝦 分布 情形	到處游動	在底下慢慢 游動	在底下慢慢 游動	爬到水草 頂端	在底下慢慢游動
水草					
溶氧			6.87 ppm	8.65 ppm	9.84 ppm
溫度		27.0 ℃	22.0 ℃	25.3 ℃	27.3 ℃

表九、魚 2 蝦 2 實驗記錄

魚 2 蝦 2					
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天
魚蝦分 布情形	到處游動	在底下慢慢遊動	爬到水草頂端	在底下慢慢遊動	在底下慢慢遊動
水草					
溶氧		6.83 ppm	8.23 ppm	9.71 ppm	10.34 ppm
溫度		27.5 ℃	23.2 ℃	25.0 ℃	26.5 ℃

表十、魚 2 蝦 3 實驗記錄

魚 2 蝦 3						
	第 0 天	第 4 天	第 7 天	第 10 天	第 14 天	
魚蝦 分布 情形	到處游動	在底下慢慢 遊動	在底下慢慢 遊動	爬到水草 頂端	在底下慢慢遊 動	
水草						
溶氧		6.67 ppm	8.41 ppm	10.01 ppm	10.45 ppm	
溫度		27.3 ℃	23.6 ℃	25.2 ℃	27.2 ℃	

伍、結論與討論

本實驗在固定光照時間與水草數量的條件下，探討不同生物量對生態瓶穩定性的影響，並將實驗結果與相關文獻進行比對。由實驗過程中的觀察與數據，我們有以下發現：

➤ 水草顏色變化與水質惡化的連鎖反應

根據已有研究文獻，水溫的劇烈變化會直接影響水草的葉片生長與顏色呈現。我們在實驗中觀察到水草出現落葉現象，當這些落葉沉積於瓶底腐爛時，會引發微生物大量進行分解作用。這不僅會導致水中的溶氧量快速降低，分解過程中更會產生對水生生物有害的亞硝酸鹽，進一步反噬並影響水草的正常生理功能。

➤ 魚蝦數量對夜間溶氧量的顯著影響

實驗數據明確顯示，生物密度直接決定了系統的耗氧壓力。魚蝦數量較多的組別（如：蝦 3 魚 2、蝦 2 魚 2），其夜間溶氧量分別降至 4.45 ppm 與 4.95 ppm；相較之下，生物量較少的組別（如：僅有蝦 1、蝦 3），夜間溶氧量仍能維持在較高的 6.68 ppm 與 6.31 ppm。這證實了高密度養殖在夜間缺乏光合作用時，會面臨極大的缺氧風險。

➤ 有無「清除者」對生態系平衡的影響

在實驗進行中，我們觀察到底層累積大量落葉與沉積物，這是導致溶氧量持續降低的主因之一。針對此現象，我們討論出一個潛在的解決方案：或許可以透過增加底棲蝦類的比例，或額外添加螺類等具備「清除者」特性的生物。利用牠們攝食底層沉積物的習性，能有效減輕分解作用的負擔，藉此解決溶氧量急遽下降與生物死亡的連鎖問題。

六、討論

綜合上述實驗觀察與討論結果，針對不同魚蝦配置數量對封閉生態系的影響，總結得出以下三點結論：

一、增加適當蝦類數量，建立維持生態平衡的黃金配置

根據實驗觀察與文獻資料，2 公升水量的封閉生態系中，最佳的消費者總數約落於 1 至 6 隻之間。若在原有的實驗基礎上，將生物配置調整為「1 隻魚搭配 5 隻蝦」，利用較高比例的蝦類及時清除魚類的排泄物與水草落葉，將能有效降低有機廢物累積，進而達成微型生態系的長期穩定。

二、生物數量與日夜溶氧量的連動關係

實驗證實，日間因水草持續進行光合作用產生氧氣，各組的溶氧量並無明顯差異；然而在夜間，消費者數量的多寡成為關鍵。當生物數量增加，夜間溶氧量會相對降低。過低的溶氧量會導致生物活動力下降，這顯示消費者超載會嚴重破壞生態系統的穩定性，最終導致生物缺氧死亡。

三、溫度攀升對溶氧量與生物代謝的雙重影響

實驗結果明確證實，溶氧量與環境溫度存在極大的負相關。當生態瓶受光源長時間照射導致水溫上升時，水中氣體的溶解度會隨之降低。與此同時，高溫會迫使水生生物與微生物的新陳代謝加快，導致牠們的氧氣需求量不減反增。這種「供氧減少、耗氧增加」的雙重壓力，極易造成瓶內生物因呼吸困難而出現窒息、死亡，並導致生態系統多樣性的喪失。

柒、參考文獻

1. 溶解氧對魚類生理功能的影響
<https://www.hanspub.org/journal/paperinformation?paperid=34097>
2. Effects of Rising Temperature on the Growth, Stoichiometry, and Palatability of Aquatic Plants
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6331454/?utm_source=chatgpt.com#abstract1
3. 河川水力及構造物對溪流生態環境之影響
<https://nhuir.nhu.edu.tw/retrieve/30563/094NHU05699008-001.pdf>
4. Pop Bottle Ecosystem
<https://www.learner.org/series/project-playbook-educator-edition/pop-bottle-ecosystem/>
5. 沈鈺恩、李承翰、沈昱帆（2016）。毒不毒有關係—改善環境汙染物對水蘊草的影響〔參展作品〕。臺南市第 56 屆中小學科學展覽會，臺南市，臺灣。
6. 游昕頤、李亦庭、林奕妘（2016）。瘋流蘊試—水蘊草的細胞質流機制初探〔參展作品〕。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會，桃園市，臺灣。
7. 林靜英、陳瑩錡、潘佳昕、蔡妙伶（2002）。生態密閉系統—生物與理化因子之探討〔參展作品〕。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會，臺北市，臺灣。