

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生物（生命科學）科

040712

福壽無疆

—福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力之研究

學校名稱：國立鳳山高級中學

作者：  高二 李尹蓉  高二 黃昱勳  高二 陳貞妤	指導老師：  吳家進
---	------------------

關鍵詞：福壽螺、梯形福壽螺、微衛星 DNA

# 摘要

福壽螺，令人聞之色變的入侵生物，每年均造成許多經濟損失，大部分的研究均以防治為主，但鮮少人針對福壽螺的過人之處做探討。本研究以入侵台灣超過 20 年的福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力比較，探討福壽螺過人之處。其結果發現 1.福壽螺體型略大於梯形福壽螺，且較為紮實。2.在低溫或高溫的生長速率，以福壽螺較好，且低溫結果可解釋為何福壽螺可生長於台灣北部。3.福壽螺對於水流衝擊的耐受力較梯形福壽螺佳。4.在卵的孵化率和幼體存活率，以福壽螺較好。5.福壽螺可能存在多次受精、多次產卵以提高子代遺傳多樣性的交配行為。因此，福壽螺才能夠成為對環境適應力極強的入侵生物。

## 壹、研究動機

在一次偶然的機會下，老師帶領我們前往成功大學，參與中國生物學會所舉辦的生物多樣性研討會。其中演講者說到外來種對台灣本土物種所造成的衝擊，例如：多線南蜥、福壽螺...等物種，這些生物均造成台灣原生物種，如：淡水螺、麗紋石龍子...等生物的危害。故政府或研究學者均投入許多經費及時間，研究如何防治及移除等課題，也有許多中小學科學展覽常拿來研究探討，歷來已經有 17 篇全國中小學科展文章，探討關於福壽螺的相關議題，其中以福壽螺防治方法為最多件。

例如利用咖啡渣（塗貽然等，2005）、苦茶粕（林襄廷等，2006）、台灣欒樹的樹葉（陳綺雯等，2010）和無患子（陳維欣等，2011）...等方法，來抑制福壽螺生長，均能達到適當的效果。也有物理性防治的議題，例如：利用自製的捕捉器來捕捉福壽螺（陳柏興等，2006）；其次還有一些關於福壽螺應用的議題，例如：利用福壽螺的酵素研發生質酒精的研究（徐承理等，2010）。

雖然有許多研究指出，可以利用很多方式來防治福壽螺，但因為缺乏專一性，所以在實際應用中，還有許多待改進解決的空間，故本研究不從防治福壽螺為主要議題，而想要探討福壽螺「美」的那一面，因為福壽螺之所以能成為全世界頭號的外來殺手！想必一定有其特別與厲害之處，故本研究將針對福壽螺對於環境的適應之道，於是我們決定以臺灣水溝隨處可見的福壽螺(*Pomacea canaliculata*)作為研究題材，針對其生長速度、對於水流的抵抗和生殖交配模式，作為主要探討，並以僅分布於高屏一帶的梯形福壽螺(*Pomacea scalaris*)為對照，比較兩種螺之散播能力。其中福壽螺約為 1979 年引進(廖君達，2000)，梯形福壽螺引進時間不詳，但早在 1989 年就已經被研究學者發現（張寬敏，1994），雖然此兩物種來到台灣的時間可能差別 10 年，但兩物種入侵台灣也至少有 20 年的歷史，為何福壽螺可以從南至北均有；而梯形福壽螺卻僅在屏東一帶出現（吳玉婷，2006），這也是本研究感興趣的議題。希望可藉由此次研究瞭解兩物種的不同之處，探討福壽螺為何可以「福壽無疆」！

## 貳、研究目的

### ★ 福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力研究

從文獻探討中得知，兩物種的引進地點均為高屏一帶，且引進時間均有 20 年以上，但福壽螺目前在台灣的低海拔均有分布，而梯形福壽螺則僅侷限於高屏一帶，並無向北拓展的現象，為何造成此差異，是本研究主要探討的主題，故針對此目的，預計進行以下實驗：

- 一、福壽螺與梯形福壽螺基礎生態資料研究
- 二、福壽螺與梯形福壽螺之成長速率探討
- 三、福壽螺與梯形福壽螺在水流中所受力之探討
- 四、福壽螺與梯形福壽螺的產卵次數和幼螺存活率比較

### ★ 福壽螺子代遺傳多樣性與交配次數探討

因為福壽螺是全世界注目的外來生物，在許多地區造成危害，本研究認為福壽螺是否除了在對環境適應能力強之外，在遺傳多樣性研究中，是否可得到更多對於福壽螺何以成為強勢外來種的證據，是本研究關注的焦點。從文獻得知，福壽螺為體內受精－卵生的物種，顯示福壽螺可以一次產生很多的子代，故本研究想探討福壽螺在一次產卵中的子代是否為單次受精，或是多次受精所形成的結果，以了解其遺傳多樣性，更進一步瞭解福壽螺對環境的適應能力。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究材料

福壽螺（萬丹區第一區、萬丹第二區、台北區、西勢區）共 140 隻、梯形福壽螺（竹田區、西勢區）共 70 隻、幼螺（所帶回母體自己生產）

### 二、福壽螺與梯形福壽螺採樣之器材

撈網 1 個、飼養箱 5 個、手套數雙、數位單眼相機 1 臺

### 三、福壽螺與梯形福壽螺基本形態研究之器材

量杯 6 個、萵苣數顆、沉水飼料兩桶、飼養箱 3 個、100W 加熱器兩支、控溫器 1 臺、水銀溫度計 6 支、手套數雙、錘子 2 隻、塑膠盤 5 個、游標卡尺（誤差值 $\pm 0.5\text{mm}$ ）1 支、電子秤（誤差值 $\pm 0.1\text{g}$ ）1 臺、塑膠桶 2 個、三尺玻璃缸 1 個、塑膠杯（500mL）200 個、鏟子 1 支、自製壓克力水槽一個、自製水流控制器、載玻片 1 片、凡士林 1 罐、數位單眼相機 1 臺、三腳架 1 架、30cm 尺 1 把、括勺 1 隻、捲尺 1 把、複試顯微鏡 1 臺

### 四、福壽螺子代遺傳多樣性研究之器材

超高速離心機 1 台、DNA kit 組 1 盒、微量分注器 3 支、DNA 電泳槽 2 台、PCR 溫度循環機 1 台、紫外光照膠系統 1 台、水浴槽 1 台

## 肆、研究過程與方法

### ★ 福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力研究

#### 實驗一、福壽螺與梯形福壽螺基礎生態資料研究

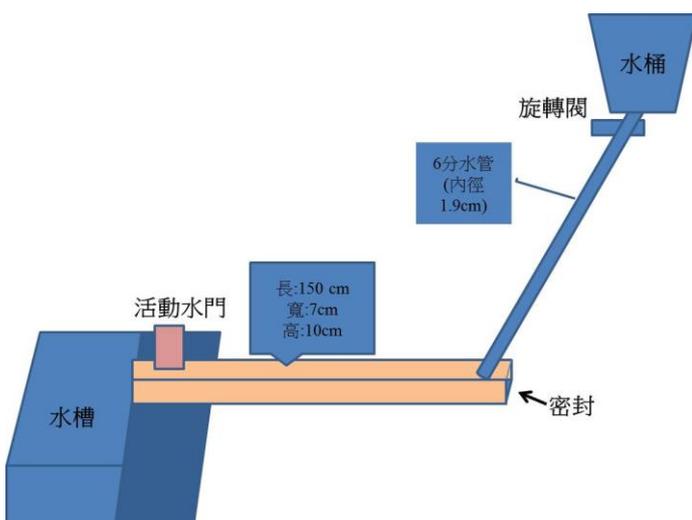
本次實驗共選取了 121 個福壽螺樣本和 61 個梯形福壽螺樣本，其中福壽螺採集於屏東縣萬丹 (I)- N 22°37',E 120°27'，屏東縣萬丹(II)- N 22°37',E 120°29'，屏東縣西勢- N 22°36',E 120°31'和新北市中和- N 24°59',E 121°29'，共 4 個樣區。梯形福壽螺採集自屏東縣西勢- N 22°36',E 120°31'，屏東竹田- N 22°35',E 120°31'，共 2 個樣區。測量其體重、體長、體寬、體高和體積等數據，再利用 Excel 軟體分析其體重與體積之關係。

#### 實驗二、福壽螺與梯形福壽螺之成長速率比較

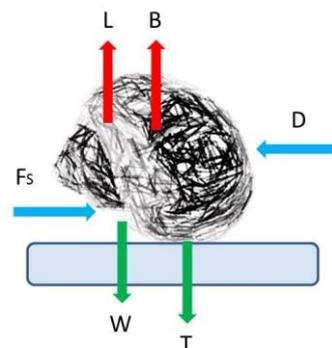
隨機從各區域之福壽螺及梯形福壽螺選出各 20 隻，將其編號後放入 500mL 塑膠杯中並加入 300mL 的水。其中 10 杯置於 3 尺魚缸中隔水加熱（以 300W 的加熱器加熱，並以控溫器控溫於 28°C），其餘 10 杯則放置於室溫（平均 20°C）中。每天餵食、每 3 天換水一次，每隔一周則以游標尺及電子秤量其體長、體寬、體高、體重，持續進行 6 周。收集數據後，利用 Excel 軟體分析其平均體積與平均體重之生長速率。

#### 實驗三、福壽螺與梯形福壽螺在水流中受力情形

本實驗利用自製水流實驗裝置（圖一），設計水桶距離水槽高度為 55 公分，並利用旋轉閥控制水流大小，所選取的流速為：16.5 cm/sec、28.5 cm/sec、35.3 cm/sec。選取體積大小相似的福壽螺與梯形福壽螺各 10 隻，每次記錄各選取 1 隻，放入水高 5cm 之水槽裡，等待兩隻螺皆吸附在水槽底後，開啟活動水門，利用攝影機記錄兩物種被水流沖走的機率和情況。而螺在水中會受到有阻力(D)、升力(L)、浮力(B)、螺重(W)和吸附力(T)等數據影響(林秉石, 2001; 陳建志, 2002)，而產生浮起或滾動的現象，其受力如圖二。而吸附面積與水流沖擊面積則拍照後，以 Image J 軟體計算。



圖一、自製水流裝置示意圖



圖二、螺在水中的受力示意圖

#### 實驗四、福壽螺與梯形福壽螺的產卵次數和幼螺存活率比較

本實驗所採取的飼養方式是隔離飼養，仍然有許多母螺會不斷產卵，因此本研究記錄其產卵日期及次數；並在兩物種間，各選取 6 個卵塊，其中有 1 個為泡水的卵塊，觀察 4 週，記錄其幼螺孵化數量，以及幼螺存活率。

#### ★ 福壽螺子代遺傳多樣性與交配次數探討

因為在上述實驗的過程中，不斷有母螺產卵，並孵化，讓我們想到福壽螺為體內受精的生物，其受精次數是否為單次受精還是多次受精？因為查無前人研究資料，因此著手進行此實驗，在搜尋資料時，發現已有前人研究 (Lian C *etc.*, 2011 ; Jia G *etc.*, 2013) 針對福壽螺發表了一系列的微衛星 DNA 引子(microsatellite primer)，而微衛星 DNA 是很適合用來探討親本與子代之間的親緣關係，具有專一性，並遵守孟德爾遺傳法則。故本研究選取 6 組微衛星引子 (表一) 進行實驗分析。

首先，選取編號 73 母螺以及所產的 3 次卵塊孵化之小螺，共計 20 個樣本，利用 DNA kit 組抽取 DNA 後，保存於 -20°C 備用。利用此 6 組引子進行聚合酶連鎖反應(polymerase chain reaction, PCR)，其條件如下：94°C 30 秒，50°C 30 秒，72°C 30 秒，共 33 個循環。產物以 1 % 洋菜凝膠電泳(agarose gel electrophoresis)，20 分鐘後，以 SYBR Green 染色後，置於紫外光照膠系統下觀察。確定產物後，再以 6% 聚丙烯醯胺凝膠電泳(polyacrylamide gel electrophoresis)，100V，10 小時，再以 SYBR Green 染色後，置於紫外光照膠系統下觀察。

表一、所選取的福壽螺微衛星引子

引子編號		引子序列	重複情況
Pc46	F	CTGCTCACTCAGCCATTC	(CA) <sub>14</sub>
	R	GCTTACCACACCCTTAGA	
Pc59	F	GCGATACTTTACGGACTTG	(CA) <sub>24</sub>
	R	CAAAATATGCTTTCATCTGC	
Pc88	F	GATGTAAGTGTGCTTTCAAC	(CA) <sub>12</sub>
	R	AGGGTTCGGAGACAGAC	
Pc76	F	TCAAGTGTAGAGACAGGAA	(GA) <sub>26</sub>
	R	TGACATTAGGGATTAGGAT	
Pc235	F	AACCAACTAACAACACTCG	(CA) <sub>30</sub>
	R	GCAAAGGTAGTGTCCAT	
Pc665	F	CAGGCGTGAAGAAGGTGT	(GA) <sub>32</sub>
	R	GCGAGAAGCAGACGATTG	

## 伍、研究結果

### ★ 福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力研究

#### 一、福壽螺與梯形福壽螺的基本生態資料研究

##### (一) 體型測量

本研究共選取 121 個福壽螺個體和 61 個梯形福壽螺個體，測量重量、體長、體寬、體高並將長、寬、高的乘積定義為體積。其中福壽螺共分成 4 個樣區，分別為萬丹 I、萬丹 II、西勢、台北；梯形福壽螺分別為西勢和竹田 2 個樣區。結果發現：

在整體比較上，福壽螺的重量大於梯形福壽螺，但不具有顯著差異( $p = 0.09$ )；福壽螺的體積小於梯形福壽螺，但不具顯著差異( $p = 0.18$ )，顯示福壽螺與梯形福壽螺在形態上，雖然有差異，但並不明顯。

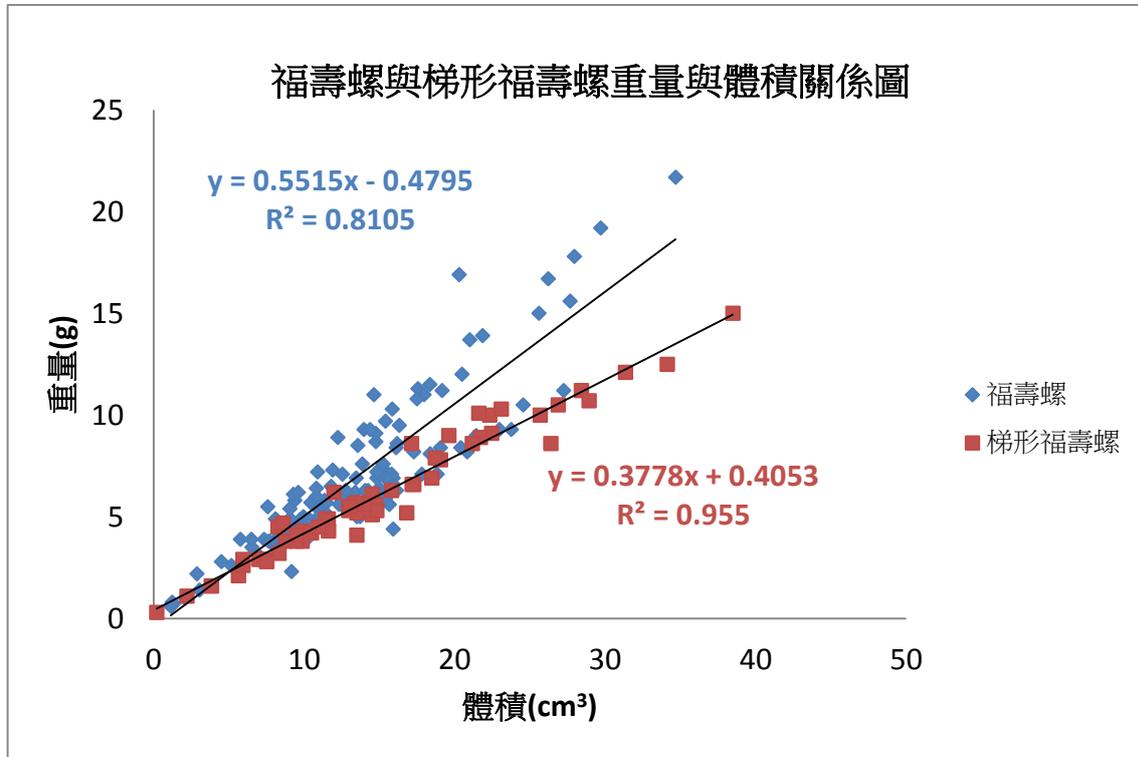
在福壽螺不同地理區比較上，以萬丹 I 區的重量和體積大於其他各地區( $p < 0.05$ )，而萬丹 II 區的重量、體積均是最小的。而梯形福壽螺的地理區比較上，則以西勢的體型較為壯碩。若以萬丹 I 區的福壽螺和西勢區的梯形福壽螺比較，可發現此區的梯形福壽螺體積是各樣區最大的，但重量卻相對是萬丹 I 區的福壽螺最高。進一步計算其密度得知：福壽螺的平均密度為  $0.50 \text{ g/cm}^3$ ，尤其以萬丹 I 區的密度最高( $0.62 \text{ g/cm}^3$ )；在梯形福壽螺的密度為  $0.41 \text{ g/cm}^3$ ，各地理區相似。由密度結果，顯示福壽螺的體態相對較為厚實，尤其以萬丹 I 區的數據最高。

表二、各地理區之福壽螺與梯形福壽螺平均基本生態資料

地理區	福壽螺					梯形福壽螺		
	萬丹 (I)	萬丹 (II)	西勢	台北	總數	西勢	竹田	總數
樣本數	38	24	28	28	121	31	30	61
重量 (g)	$10.3 \pm 4.5$	$4.7 \pm 2.0$	$5.1 \pm 1.7$	$6.7 \pm 2.1$	$6.5 \pm 3.6$	$7.9 \pm 3.1$	$4.2 \pm 1.6$	$6.1 \pm 3.1$
體長 (mm)	$35.3 \pm 5.6$	$26.8 \pm 5.1$	$27.6 \pm 3.8$	$31.2 \pm 3.1$	$30.1 \pm 5.5$	$32.3 \pm 5.9$	$27.6 \pm 4.0$	$29.9 \pm 5.5$
體寬 (mm)	$22.1 \pm 3.5$	$18.2 \pm 3.2$	$23.5 \pm 3.4$	$26.7 \pm 2.9$	$22.6 \pm 4.2$	$26.4 \pm 6.5$	$22.4 \pm 3.4$	$24.4 \pm 5.5$
體高 (mm)	$19.9 \pm 3.4$	$16.4 \pm 3.1$	$16.5 \pm 2.5$	$19.0 \pm 2.0$	$17.8 \pm 3.2$	$20.8 \pm 4.2$	$16.2 \pm 2.6$	$18.4 \pm 4.1$
體積 ( $\text{cm}^3$ )	$16.6 \pm 6.9$	$8.6 \pm 3.7$	$11.3 \pm 3.8$	$16.3 \pm 4.9$	$13.0 \pm 5.9$	$19.5 \pm 8.6$	$10.6 \pm 4.2$	$14.9 \pm 7.9$
平均密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	0.62	0.54	0.45	0.41	0.50	0.41	0.40	0.41

## (二) 體積與重量關係

本研究利用 121 個福壽螺個體和 61 個梯形福壽螺個體，做出體積與重量關係圖。由圖一得知：無論是福壽螺或梯形福壽螺，體積與重量均呈現高度正相關(福壽螺  $r = 0.90$ ，梯形福壽螺  $r = 0.97$ )。在兩物種比較上，福壽螺的生長速率較梯形福壽螺快，顯示福壽螺在相同體積中，具有較大的重量。



圖三、福壽螺與梯形福壽螺重量與體積關係圖

## 二、福壽螺與梯形福壽螺在不同溫度的生長速率研究

本研究選取了 77 個福壽螺樣本和 38 個梯形福壽螺樣本，依序編號，每日餵食一顆沈水性飼料，每 7 天測量重量、體長、體寬、體高，於民國 103 年 1 月 2 日起，共進行 6 週；並依照地理區再將其區分為室溫（平均：20°C）和 28°C 兩組。其結果如下：

根據表三結果，無論是福壽螺或梯形福壽螺，在 28°C 的飼養環境之下，平均體重和平均體積的生長速率均高於室溫，且有顯著差異( $p < 0.05$ )。

在溫度比較發現（圖四到七），無論在室溫或 28°C 條件下，福壽螺的生長速率均高於梯形福壽螺，且具有顯著差異( $p < 0.05$ )，顯示在高溫環境的生長速度高於低溫。進而比較兩物種在不同溫度的生長情況，福壽螺在低溫或高溫的環境之下，均比梯形福壽螺有較高的生長速率，顯示福壽螺在低溫時生長情況較梯形福壽螺佳，可能與福壽螺為何可以向北拓展有關，本研究將於討論說明。

若以不同地理區進行探討（圖八到圖二十一），在 20°C 的平均體重生長速率，以萬丹 II 區最高；28°C 的平均體重生長速率，以西勢區最高。在 20°C 和 28°C 的平均體積生長速率，則以西勢區最高，綜觀上述結果，顯示西勢區的福壽螺有最高生長速率。

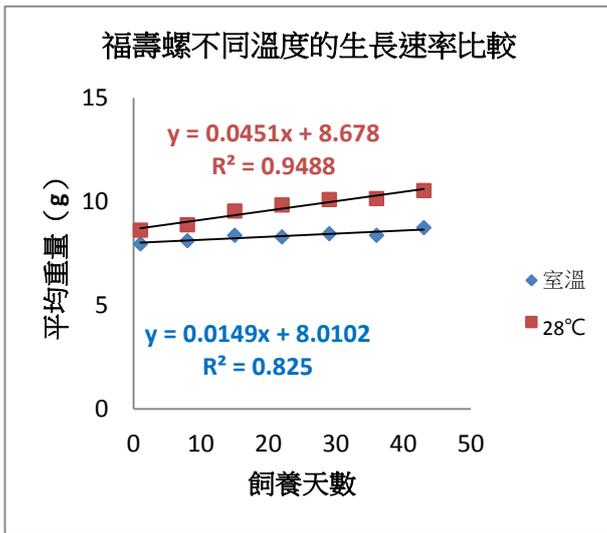
若利用體重將福壽螺區分為萬丹 I 區（大於 10g）、台北區（5 - 10g）、「萬丹 II、西勢」區（平均約為 5 g）；梯形福壽螺區分為西勢區（平均 10g）竹田區（平均 5g）比較發現：無論是在 20°C 或 28°C 情況下，平均 5g 的組別具有最高的生長速率，且福壽螺又大於梯形福壽螺，生長速率均大於萬丹 I 區或西勢區，顯示較小個體的生長速率比個體大的速度快，且福壽螺又高於梯形福壽螺。

綜觀以上結果，福壽螺無論在低溫或高溫的生長速率均高於梯形福壽螺，且具有顯著差異。另外體型小的個體比體型大的個體生長速率較快，尤其以福壽螺更加明顯。

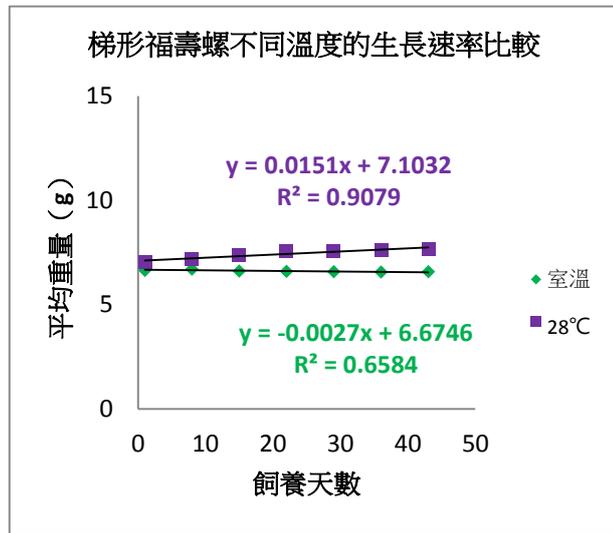
表三、福壽螺與梯形福壽螺於不同溫度體重與體積生長速率表

	地理區	樣本數		平均體重生長速率		P 值	平均體積生長速率		P 值
	溫度	20°C	28°C	20°C	28°C		20°C	28°C	
福壽螺	萬丹 (I)	20		$y = 0.0053x +$	$y = 0.0115x +$	< 0.05	$y = 0.0506x +$	$y = 0.0579x +$	< 0.05
		11	9	12.234	13.522		20.420	23.794	
	萬丹 (II)	17		$y = 0.0197x +$	$y = 0.0523x +$	< 0.05	$y = 0.0454x +$	$y = 0.0998x +$	< 0.05
		9	8	6.4803	6.9263		10.842	11.586	
	西勢	20		$y = 0.0173x +$	$y = 0.0684x +$	< 0.05	$y = 0.0592x +$	$y = 0.2105x +$	< 0.05
		10	10	5.7334	6.2947		12.021	12.907	
台北	20		$y = 0.0172x +$	$y = 0.0482x +$	< 0.05	$y = 0.0476x +$	$y = 0.1519x +$	< 0.05	
	10	10	7.5935	7.9685		16.909	17.171		
總數	77		$y = 0.0149x +$	$y = 0.0451x +$	< 0.05	$y = 0.0507x +$	$y = 0.13x +$	< 0.05	
	40	37	8.0102	8.678		15.048	16.412		
梯形福壽螺	西勢	20		$y = -0.0058x +$	$y = 0.0062x +$	< 0.05	$y = 0.0298x +$	$y = 0.0132x +$	< 0.05
		10	10	8.9865	9.5782		21.736	24.387	
	竹田	18		$y = 0.0004x +$	$y = 0.0240x +$	< 0.05	$y = 0.0221x +$	$y = 0.0795x +$	> 0.05
		9	9	4.3627	4.6282		10.797	10.446	
	總數	38		$y = -0.0027x +$	$y = 0.0151x +$	< 0.05	$y = 0.0259x +$	$y = 0.0464x +$	< 0.05
19		19	6.6742	7.1032	16.267		17.427		

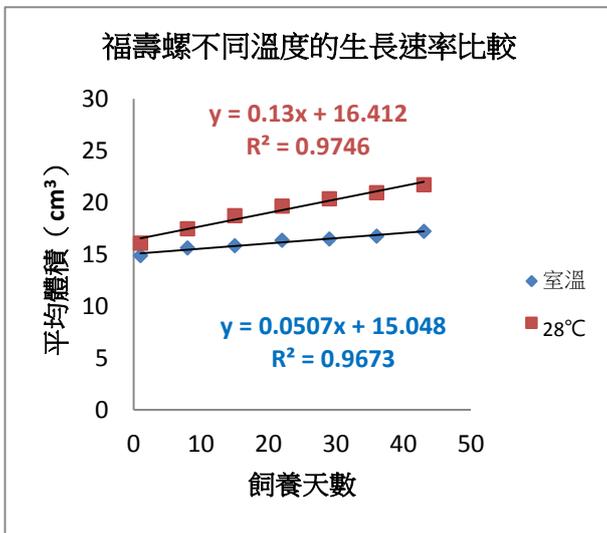
表中的 P 值為 20°C 和 28°C 比較值



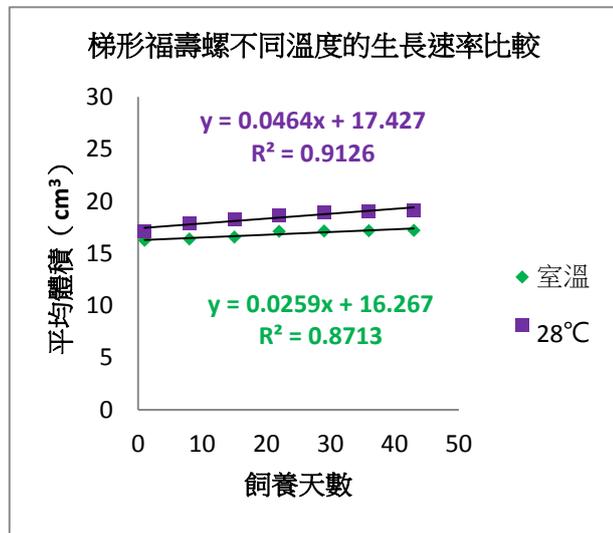
圖四、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (總個體數)



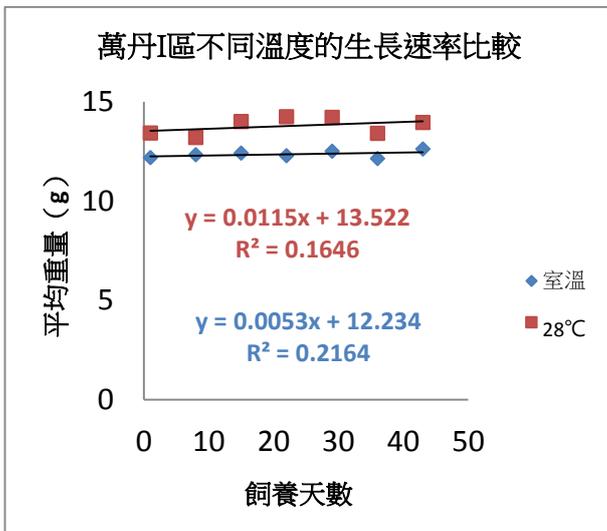
圖五、梯形福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (總個體數)



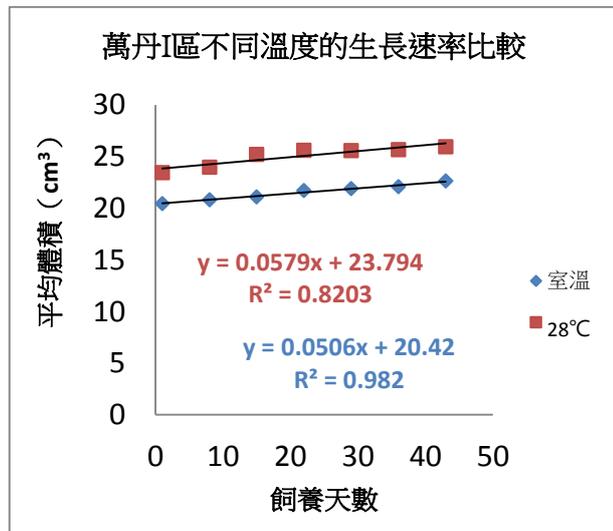
圖六、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (總個體數)



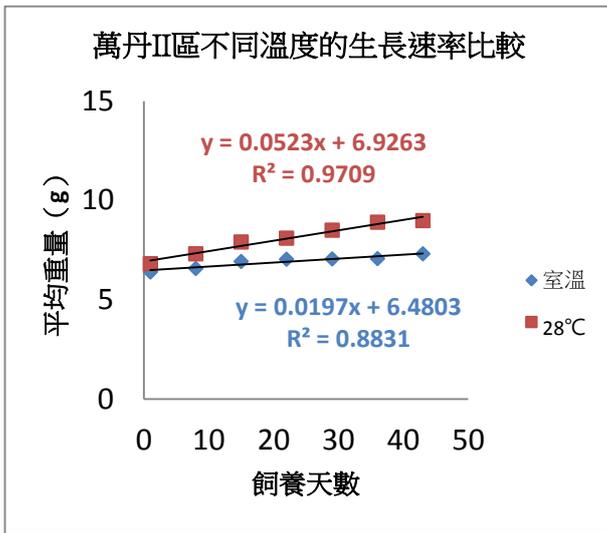
圖七、梯形福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (總個體數)



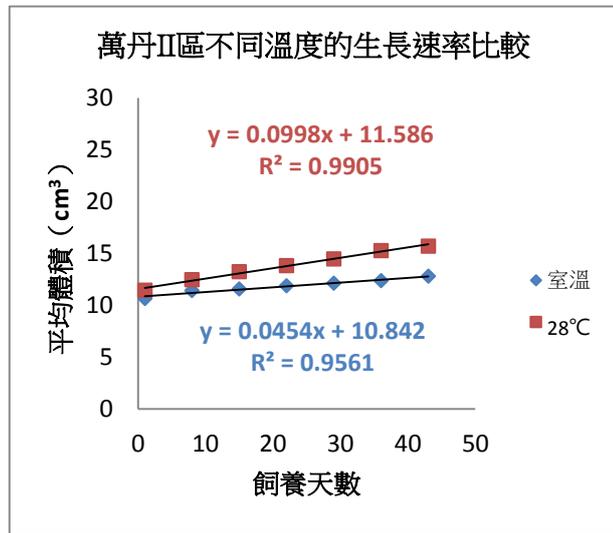
圖八、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (萬丹 I 區, 平均體重 10g 以上)



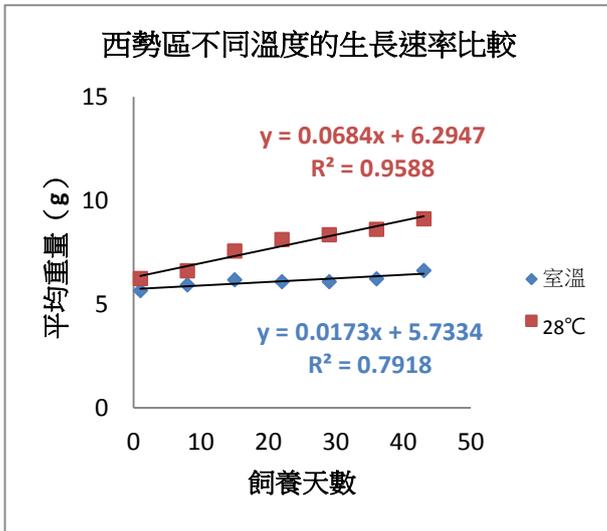
圖九、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (萬丹 I 區, 平均體重 10g 以上)



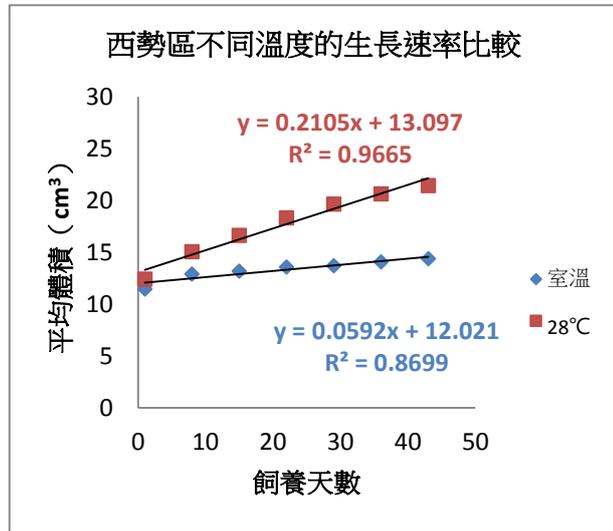
圖十、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (萬丹 II 區)



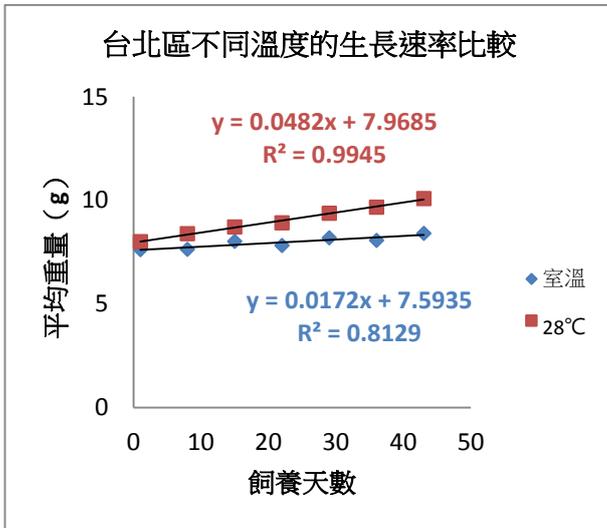
圖十一、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (萬丹 II 區)



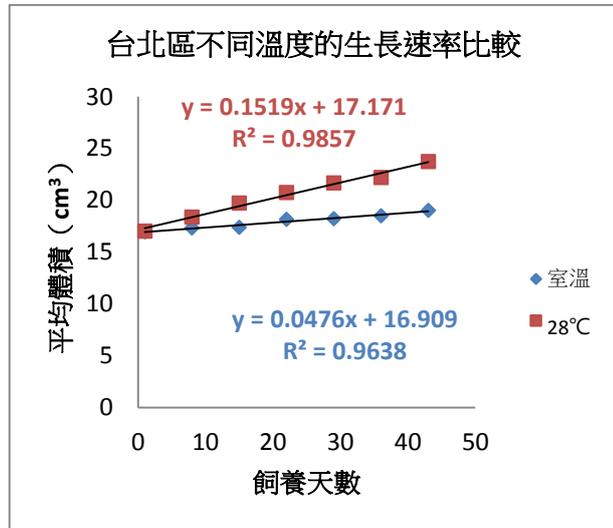
圖十二、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (西勢區)



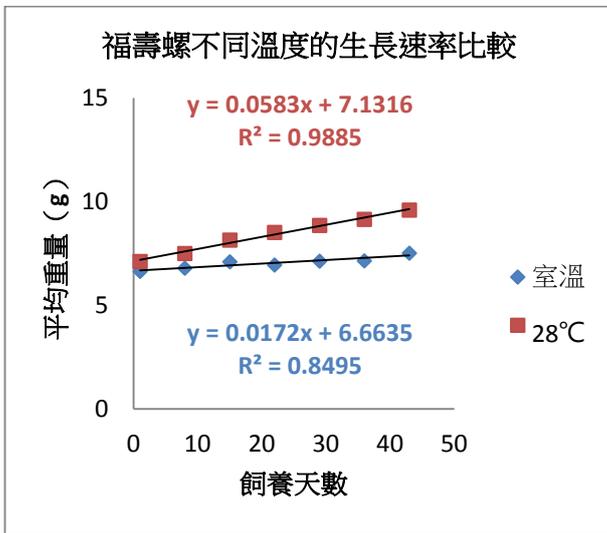
圖十三、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (西勢區)



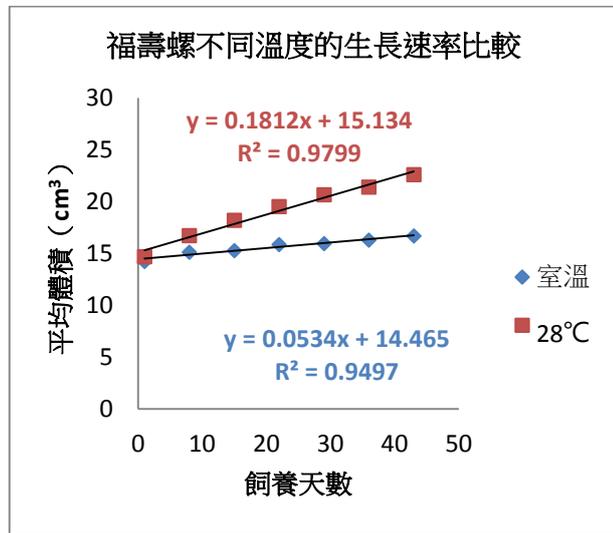
圖十四、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖 (台北區, 平均體重 5-10g)



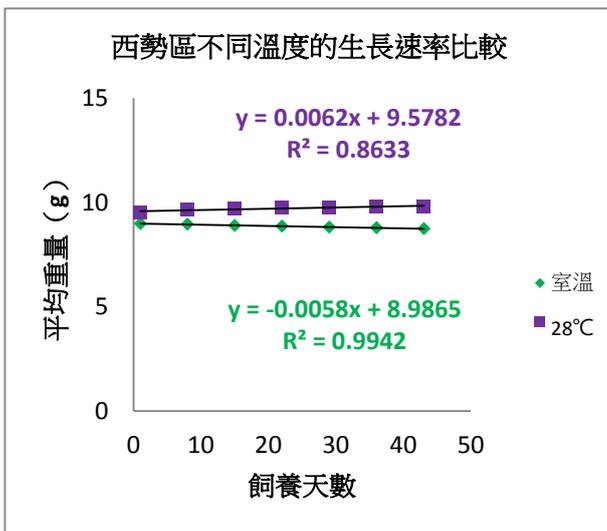
圖十五、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖 (台北區, 平均體重 5-10g)



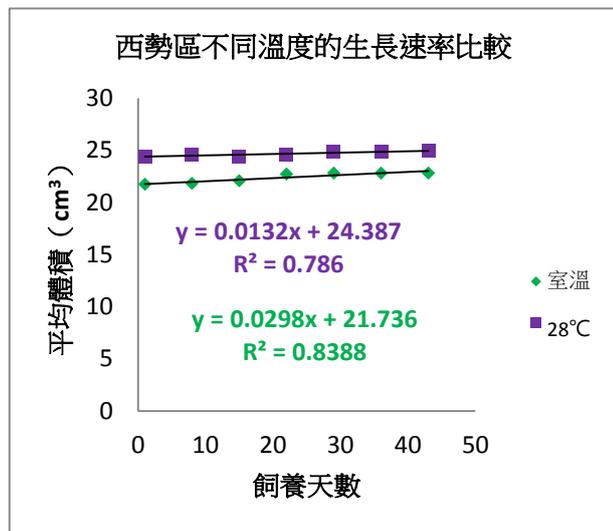
圖十六、福壽螺不同溫度的平均重量生長圖  
(平均體重 5g 組)



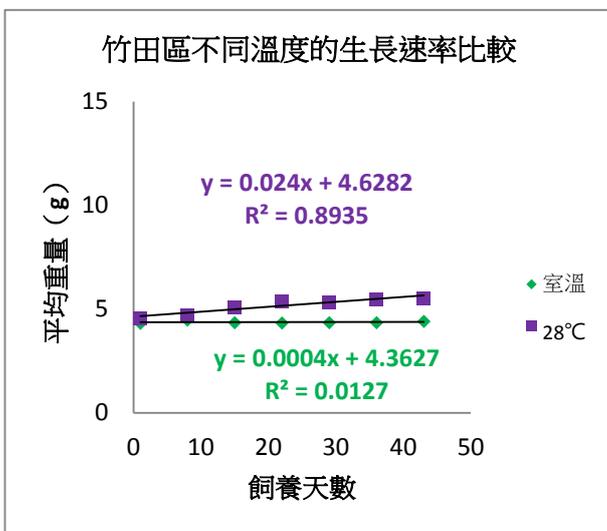
圖十七、福壽螺不同溫度的平均體積生長圖  
(平均體重 5g 組)



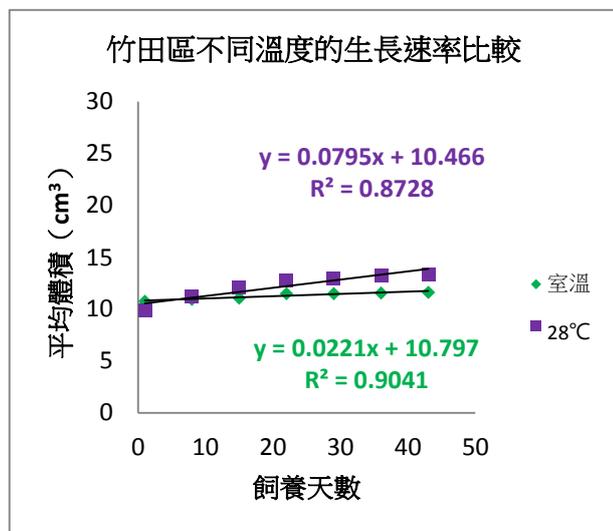
圖十八、梯形福壽螺不同溫度的平均重量生長圖  
(西勢區)



圖十九、梯形福壽螺不同溫度的平均體積生長圖  
(西勢區)



圖二十、梯形福壽螺不同溫度的平均重量生長圖  
(竹田區)



圖二十一、梯形福壽螺不同溫度的平均體積生長圖  
(竹田區)

### 三、福壽螺與梯形福壽螺在水流中所受力之比較

本實驗的構想來自於福壽螺可以拓展到台灣低海拔水域，而梯形福壽螺卻只停留在高屏一帶，讓我們想到是否因為福壽螺可以藉由水流而移動到其他地方，造成福壽螺遍佈全台的現象。

故藉由自製水槽和水流裝置，探討福壽螺與梯形福壽螺，在水流衝擊下的影響。共計選取了 10 顆福壽螺和 10 顆梯形福壽螺，每次兩物種各選取一隻配對，共拍攝了 50 部影片，所選取的水流分別為：16.5 cm/sec、28.5 cm/sec、35.3 cm/sec。其結果如下：

由表四得知，在低流速條件下，福壽螺被沖走機率為 10% 小於梯形福壽螺的 50%；在高流速條件下，福壽螺被沖走機率仍然小於梯形福壽螺，顯示福壽螺對於水流衝擊有較好的抵抗能力。

前人研究（林秉石，2001；陳建志，2002）提到，螺在水中可能受到的力量有阻力(D)、升力(L)、浮力(B)、螺重(W)和吸附力(T)，而因為這些力量，會造成螺產生浮起或滾動等行為，其中浮起因子為  $F_B = (W+T) / (B+L)$ ，數值越小表示越容易浮起。而滾動因子為  $F_S = F_A / D$ ，數值越小表示越容易產生滾動，其中  $F_A = N$ 。垂直方向若受力為 0 時，則  $L + B = W + T$ ，或  $N = W + T - L - B$ ，N 指的是螺向下總力對底質的反作用力。本研究因為無法克服吸附力量的測定，故吸附力(T)假設兩物種單位吸力相同，以吸附面積表示吸附力大小；浮力(B)為體積乘以流體密度，流體密度為  $1 \text{ kg/m}^3$ ；而升力(L) 因測定方式複雜，本實驗暫時忽略不計；而阻力(D)則以水流接觸面積代替。根據上述假設，可計算出福壽螺與梯形福壽螺之浮起和滾動因子的相對概念值，結果如下：

由表五結果得知，兩物種的體重與體積無顯著差異，顯示本實驗選取的樣本大小相似；而接觸面積兩物種則呈現顯著差異( $P < 0.05$ )，顯示是否被水沖走的因素在於吸附面積和水流的接觸面積。因為吸附面積和接觸面積無顯著差異，故藉由上述公式計算出相對概念值，其結果顯示在浮起或滾動因子計算中，福壽螺的概念值相對大於梯形福壽螺，顯示福壽螺在相同水流速度的條件之下，較不會被沖走。也印證了表四的實驗結果。

表四、福壽螺與梯形福壽螺在不同水流之下被沖走的機率比較

水流	16.5 cm/sec		28.5 cm/sec		35.3 cm/sec	
	福壽螺	梯形福壽螺	福壽螺	梯形福壽螺	福壽螺	梯形福壽螺
被水沖走 機率	10%	50%	30%	50%	30%	70%

表五、福壽螺與梯形福壽螺在水流實驗樣本的各项測量數據

平均	吸附面積 (cm <sup>2</sup> )	水流接觸面 積(cm <sup>2</sup> )	體重(g)	體積(cm <sup>3</sup> )	F <sub>B</sub> (浮起)	F <sub>S</sub> (滾動)
福壽螺	4.72 ± 1.48	5.31 ± 1.27	6.17 ± 1.96	12.65 ± 4.55	0.861	-0.3314
梯形福壽 螺	2.96 ± 1.02	3.66 ± 1.09	5.16 ± 1.91	11.95 ± 4.63	0.679	-1.049
p 值	< 0.05	< 0.05	> 0.05	> 0.05		

註：此表中的 F<sub>B</sub> 和 F<sub>S</sub> 均為概念值，故不以力量單位 (N) 表示

#### 四、福壽螺與梯形福壽螺的產卵次數和幼螺存活率比較

##### (一) 生產次數比較

在我們飼養的期間內，是以每一隻單獨飼養，仍可發現福壽螺和梯形福壽螺再沒有交配行為之下，持續的產卵。福壽螺中有 17 隻繼續產卵，平均產卵次數為  $3.88 \pm 2.54$  次，梯形福壽螺有 10 隻繼續產卵，平均產卵次數為  $2.55 \pm 1.54$  次。其中編號 74 的福壽螺，產卵 8 次最多，編號 62 的梯形福壽螺，產卵 5 次為最多。

無論是福壽螺和梯形福壽螺，在我們飼養期間，均可以持續產卵，持續時間甚至長達 2 個月，這令我們懷疑福壽螺是否存在著儲存精子的構造，可於受精後，多次產卵。

表六、福壽螺與梯形福壽螺產卵次數表

福壽螺	編號	2	3	6	7	24	27	35	44	51	61	64	67	69	71	73	74	76	平均次數
	次數	1	2	1	2	2	7	5	2	2	6	5	7	1	7	6	8	2	$3.88 \pm 2.54$
梯形福壽螺	編號	30	34	36	41	45	56	62	63	86									平均次數
	次數	2	1	1	2	1	4	5	3	4									$2.55 \pm 1.54$

註：兩物種編號為混合編號

## (二) 幼螺存活率比較

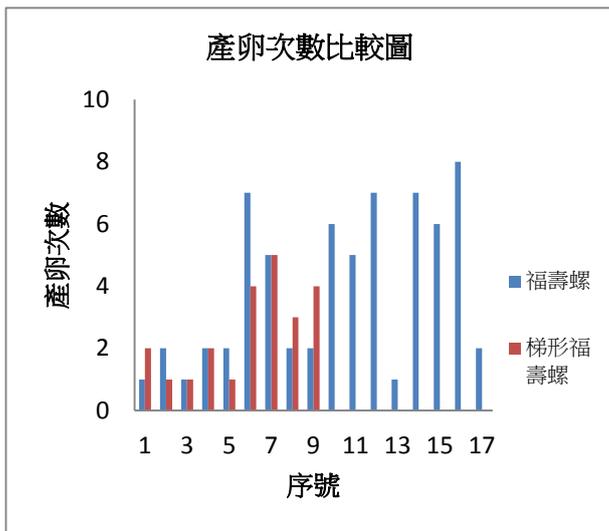
隨機篩選上述編號之卵塊，觀察其孵化小螺的存活情況（置於室溫），結果得知：福壽螺的幼螺孵化數量大於梯形福壽螺，且幼螺的存活情況也高於梯形福壽螺。其中只要卵塊泡水，則均無幼螺孵化，顯示兩物種的卵塊均無法在水中順利孵化。

表七、福壽螺幼螺存活率記錄表

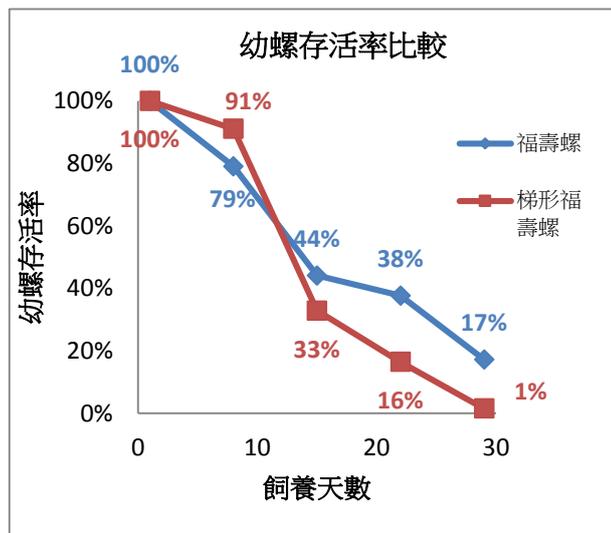
福壽螺	編號							統計		
	天數	7	21	27	61	67	3 (泡水)	總和	平均	存活率
1	78	19	45	33	11	0		186	31.0	100%
8	52	12	42	31	10	0		147	24.5	79%
15	0	11	35	27	9	0		82	13.7	44%
22	0	11	34	22	3	0		70	11.7	38%
29	0	11	8	11	2	0		32	5.3	17%

表八、梯形福壽螺幼螺存活率記錄表

梯形福壽螺	編號							統計		
	天數	30	36	41	62	86	33 (泡水)	總和	平均	存活率
1	0	1	66	0	0	0		67	11.2	100%
8	0	1	60	0	0	0		61	10.2	91%
15	0	1	21	0	0	0		22	3.7	33%
22	0	1	10	0	0	0		11	1.8	16%
29	0	1	0	0	0	0		1	0.2	1%



圖二十二、兩物種產卵次數比較圖

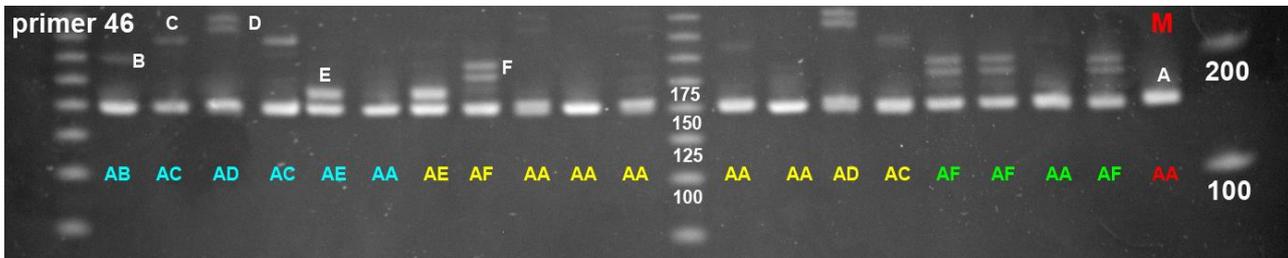


圖二十三、兩物種幼螺存活率比較圖

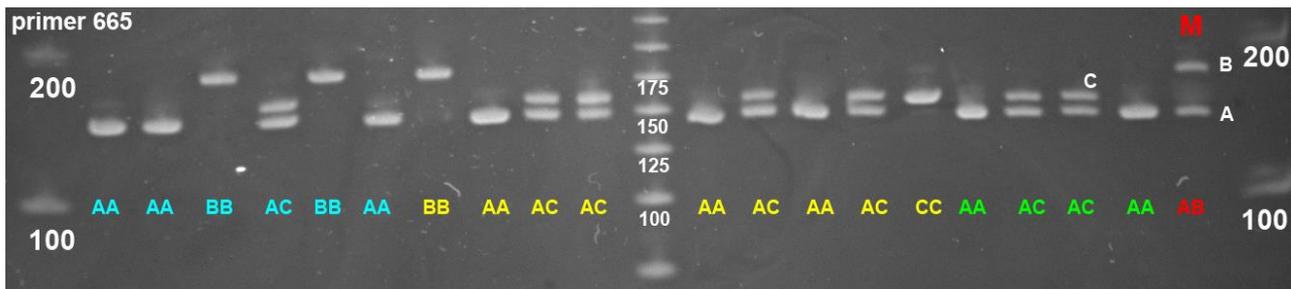
## ★ 福壽螺子代遺傳多樣性與交配次數探討

根據前人研究，微衛星 DNA 是研究親子關係的良好工具，廣泛被拿來利用在各項研究中，但前人研究並無針對體內受精的螺類，探討其父本及交配次數之相關議題。故本研究利用已發表的福壽螺微衛星 DNA 引子 (Lian C etc. ,2011 ; Jia G etc.,2013)，以編號 73 號母螺所產下的 3 次卵塊中，待其孵化成小螺後，個別隨機抽取 6、9、4 個樣本，共計 19 個樣本，及其 73 號母本 DNA，合計 20 個樣本，利用 6 個引子進行研究分析，其結果如下：

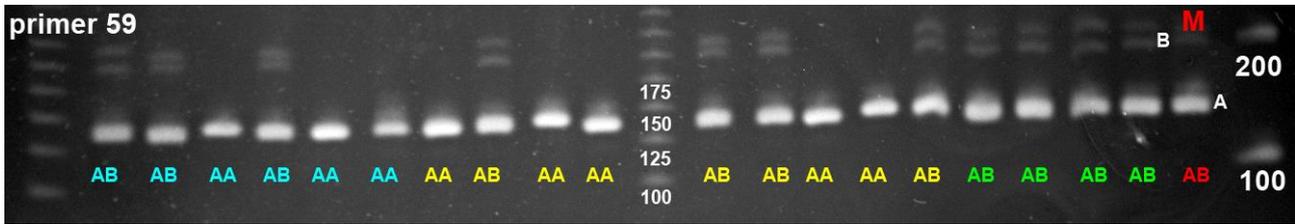
引子 46 和 665 的結果具有解析力，而引子 59、76、88、235 則不具解析力。從引子 46 的結果 (圖二十四)，母本為 AA 型，親本分別具有 AA、AB、AC、AD、AE、AF 六型，顯示其父本來源至少有 2 個以上；而引子 665 結果 (圖二十五)，母本為 AB 型，親本分別具有 AA、AC、BB 三型，其中有一個樣本為 CC 型，是較為怪異的，但從引子 665 結果也可推測其父本來源至少有 2 個以上。故從微衛星 DNA 結果可以得知，福壽螺可能存在多次受精的交配行為，可進一步設計交配實驗來加以驗證。



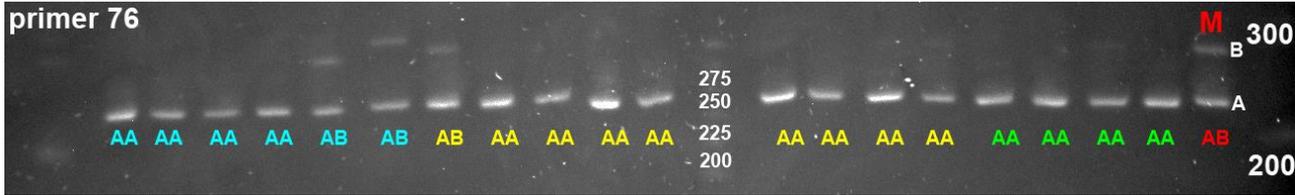
圖二十四、福壽螺微衛星 DNA 引子 46 分析結果 (藍、黃、綠色分別為三次親本，紅色為母本基因型)



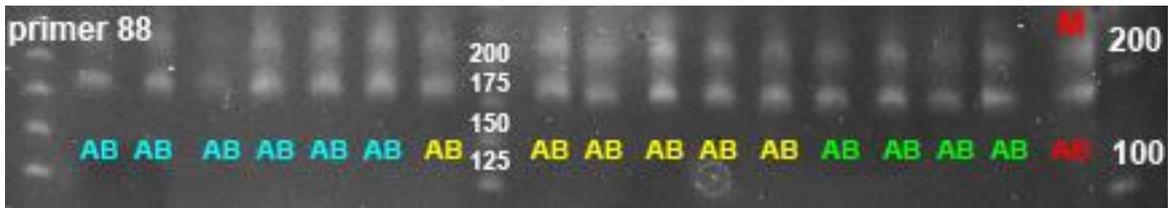
圖二十五、福壽螺微衛星 DNA 引子 665 分析結果 (藍、黃、綠色分別為三次親本，紅色為母本基因型)



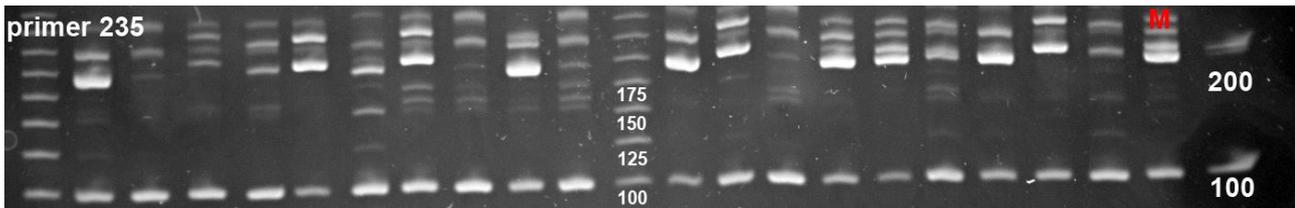
圖二十六、福壽螺微衛星 DNA 引子 59 分析結果（藍、黃、綠色分別為三次親本，紅色為母本基因型）



圖二十七、福壽螺微衛星 DNA 引子 76 分析結果（藍、黃、綠色分別為三次親本，紅色為母本基因型）



圖二十八、福壽螺微衛星 DNA 引子 88 分析結果（藍、黃、綠色分別為三次親本，紅色為母本基因型）



圖二十九、福壽螺微衛星 DNA 引子 235 分析結果（此引子夾出片段可能非微衛星 DNA）

## 陸、討論

### 一、各地理區物種的體積和體重的差異討論

根據實驗一的結果，福壽螺在萬丹 I 區具有最大的體型（表二），其他地區則較小。在實際採集情況發現，在萬丹 I 區的採集地點旁邊有一座養鴨場和豬圈，我們所採集地區的水較為混濁且有明顯惡臭味，顯示萬丹 I 區水中的有機養分較多，另外萬丹 I 區的水流也較其他地區快，因此我們認為萬丹 I 區為何具有最大的體型，與上述原因有關。

### 二、福壽螺與梯形福壽螺向北拓展的可能性比較

由不同溫度的生長速率結果發現（圖四至圖七），整體而言，福壽螺在低溫環境之下的生長速率高於梯形福壽螺，且在不同體型的比較下，也可得到相同結果，顯示福壽螺較能夠適應低溫環境。但根據前人研究（吳玉婷，2006）指出，無論是福壽螺或梯形福壽螺的溫度耐受度均可以低於 20°C，與本研究結果有差異，我們認為前人研究是做低溫耐受度，而本研究是探討其生長情況，兩者探討意義不同，也就是說，梯形福壽螺雖然可以耐受低於 20°C 環境，但生長情況並不好；而福壽螺卻無這樣的問題，因此福壽螺比梯形福壽螺更能夠在北部冬天低溫之下生存，進而拓展於北部低海拔水域中。

### 三、水流實驗中，兩物種對於水流耐受度的探討

本研究探討在不同流速影響下，兩物種被沖走的機率探討，在本實驗中，我們選取的是體型相似的個體，故被沖走的影響因子，主要來自吸附面積和水流沖擊面積的影響。因為福壽螺的吸附面積和衝擊面積均大於梯形福壽螺，因此無法直接利用此兩變因做討論，我們參考前人研究（林秉石，2001）公式，推導出兩物種在水流沖擊下，浮起和滾動的相對概念值，而概念值結果（表五）發現，福壽螺大於梯形福壽螺，顯示福壽螺較不會被水流沖走。這印證了我們在採集時，看到的梯形福壽螺在相對流速比較緩的區域，但因無實際測量各樣區的流速差異，可再進一步研究討論。

### 四、水流實驗中，拉力(T)測定的困難

本研究原先參考前人研究（林秉石，2001），利用棉線黏於螺殼上，然後拉起，測量其拉力值。因為我們是利用彈簧秤，在拉起瞬間，無法正確記錄到拉力值，故在拉力探討時，本研究才會假設單位拉力相同，故螺的吸附力量，與吸附面積有關。期許未來可以利用數位式拉力測量計，來解決拉力測定的問題，使研究結果能夠更完善。

## 五、兩物種孵化率和幼螺存活率的比較

兩物種均是野外帶回後，單一個體隔離飼養，產卵後，觀察其孵化情況，並計算幼螺數量後，觀察其存活率。由結果得知（圖二十二、圖二十三），梯形福壽螺的孵化率偏低，而福壽螺的孵化率也不高，本研究推論可能是氣溫偏低所造成的影響，因為本研究是將其置放於室溫中；或梯形福壽螺所產的卵為未受精的卵所造成（因為孵化率為0）。但比較兩物種的差異，仍然可得知，福壽螺在低溫環境之下的孵化率與幼螺存活率均比梯形福壽螺高，顯示福壽螺的環境適應力較梯形福壽螺強。

## 六、在引子 665 膠片中，子代出現 CC 型之探討

在引子 665 的膠片結果中，母本為 AB 型，而子代卻出現了不符合孟德爾法則的 CC 型，詢問老師後，得到可能因素為實驗跑膠，所造成的誤差，可再重新做一次實驗，比較判斷。

## 七、由微衛星 DNA 探討福壽螺多次受精行為研究

根據本研究結果，可以得到子代的基因型有 3 種以上（圖二十四、圖二十五），顯示福壽螺可能具備多次交配，多次受精，多次產卵的行為。由遺傳多樣性角度，福壽螺可利用此行為保有子代基因型的高度多樣性，以利環境改變，這是以前學者沒有提出的論點，可再進一步設計實驗討論。而梯形福壽螺雖然也為體內受精，多次產卵的物種，但缺乏微衛星 DNA 引子，希望將來有機會取得後，可以一比較其差異，也更能夠比較出福壽螺之所以較梯形福壽螺更容易適應環境的原因。

## 八、福壽螺為何比梯形福壽螺有較好的傳播能力？

兩物種在台灣均已超過 20 年，但福壽螺遍佈於台灣的低海拔地區；梯形福壽螺則僅侷限在高雄、屏東一帶。本研究認為若不討論其入侵次數，或是多次在不同地方入侵的因素，僅由文獻中提到，兩物種均由南部引進的論點，為何福壽螺比梯形福壽螺有較好的傳播能力？我們做出下列推論：福壽螺 1.幼體長的快，2.低溫生長情況較佳，3.較耐水流沖擊，4.幼螺存活率較高，5.具有高度的子代遺傳多樣性。

其中，在水流實驗中，本研究假設認為福壽螺應該較容易被水沖走，進而擴展到全台低海拔地區，但結果（表五）卻顯示是梯形福壽螺較容易被水沖走。我們推論在實驗室設計的水流雖有分成低中高流速，但均低於南部暴雨過後的水流速度，故本研究推論在南部暴雨過後，兩物種均可能會因為水流而可能被沖倒其他地方，且就算可以傳播，在強大水流之下，是否會造成螺的死亡？這還需要進一步研究才能證明。

故本研究認為，福壽螺在水流衝擊影響之下：1.若可抵抗水流，則可繼續存活，不會因為水流衝擊造成生存衝擊。2.若被水流沖走，福壽螺比梯形福壽螺對環境適應力較強，故福壽螺較梯形福壽螺可能藉此拓展至其他地方，造成兩物種分布情況懸殊現象。

## 柒、結論

在福壽螺與梯形福壽螺對於環境適應力比較下，本研究認為福壽螺比梯形福壽螺更容易向北拓展的原因，主要原因如下：

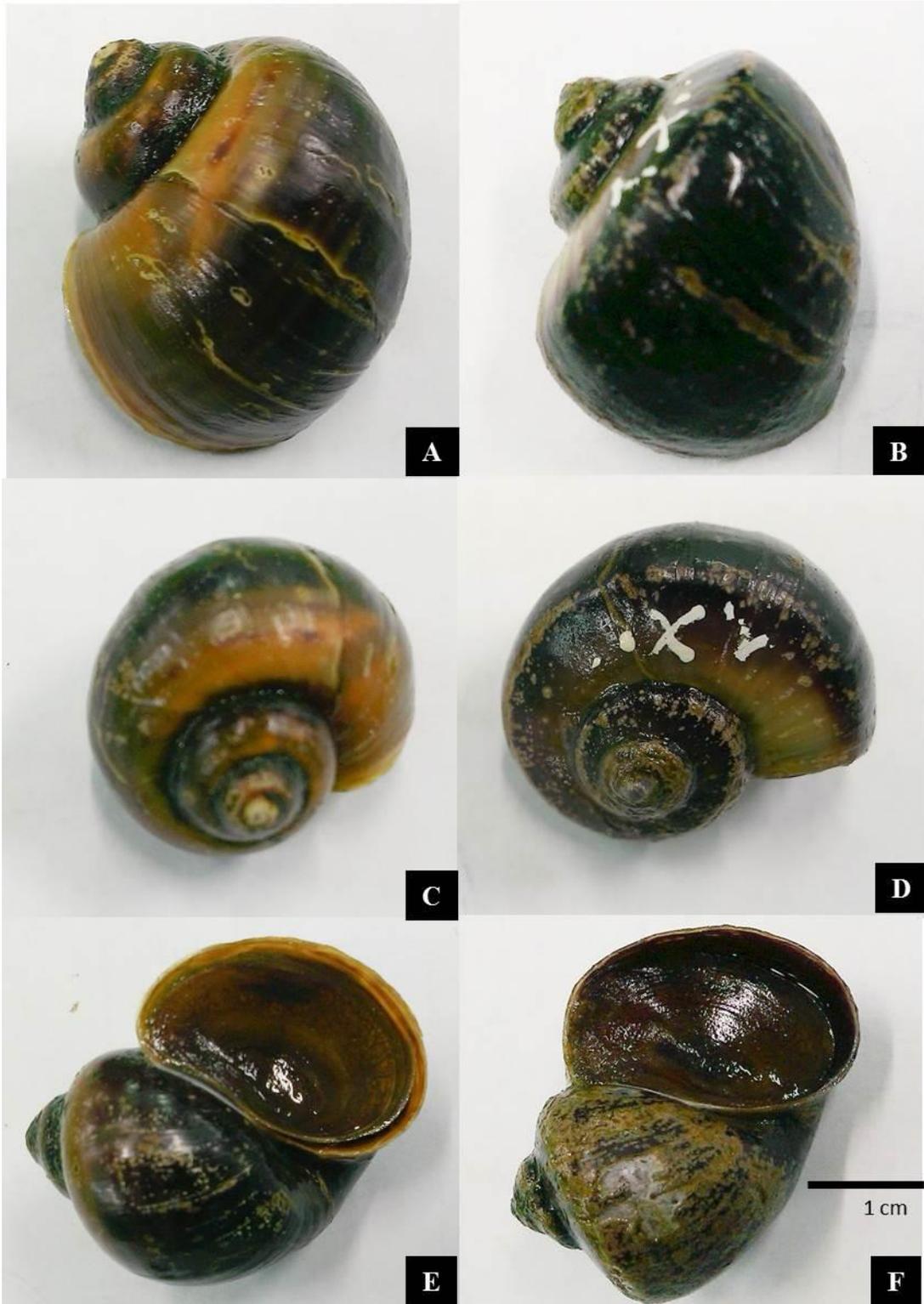
- 一、福壽螺在低溫環境的生長速率高於梯形福壽螺。
- 二、福壽螺在體重與體積的比值大於梯形福壽螺，顯示福壽螺較為厚實。
- 三、因為福壽螺較為厚實，故對於水流的耐受力高於梯形福壽螺，顯示福壽螺比梯形福壽螺更容易生存於不同流速的水域之中。
- 四、福壽螺的卵孵化率及幼體存活率均高於梯形福壽螺，顯示其子代有較高的存活機會。
- 五、福壽螺可能具有多次交配、多次受精的生殖模式，可增加子代的遺傳多樣性。

綜觀本研究結果，福壽螺在環境適應能力中，具有絕佳的適應力，加上高度的子代遺傳多樣性，故福壽螺才可能成為全世界注目的外來生物，造成各地區的生態威脅。

## 捌、參考資料

- 1.塗貽然 等。2005。福壽螺，來杯咖啡吧。中華民國第四十五屆中小學科學展覽說明書。
- 2.林襄廷 等。2006。天螺地網—福壽螺的防治研究。中華民國第四十六屆中小學科學展覽說明書。
- 3.陳綺雯 等。2010。「螺」密歐與諸綠「葉」--以台灣欒樹 (*Koelreuteria henryi*) 防治福壽螺之研究。中華民國第五十屆中小學科學展覽說明書。
- 4.陳維欣 等。2011。『殺手』終結者—超音波快速萃取無患子皂苷及應用於殺滅福壽螺之效果評估。中華民國第五十一屆中小學科學展覽說明書。
- 5.陳柏興 等。2006。請螺入甕。中華民國第四十六屆中小學科學展覽說明書。
- 6.徐承理 等。2010。『燒酒』螺~開動：以萃取福壽螺消化酵素分解水果纖維廢棄物製造生質酒精之可行性研究。中華民國第五十屆中小學科學展覽說明書。
- 7.廖君達。2000。福壽螺引進的省思。台中區農情月刊，8：4。
- 8.張寬敏。1994。台灣新發現的梯狀福壽螺。貝友，20：5-7。
- 9.吳玉婷。2006。福壽螺及梯形福壽螺之生殖生物學及對溫度之忍受度。國立中山大學海洋生物研究所碩士論文。
- 10.林秉石。2001。淡水螺類在不同流速之機械反應作為生態工程之設計。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 11.陳建志。2002。流體動力影響川蜷和石田螺環境適應與吸附行為。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 12.Lian C, Haigen X, Hong L, Jun W, Hui D, Yan L. 2011. Isolation and characterization of sixteen polymorphic microsatellite loci in the golden apple snail *Pomacea canaliculata*. *Int J Mol Sci.* 12(9): 5993–5998
- 13.Jia G, Lian C, Haigen X, Hui D, Jun W, Yan L, Bing C. 2013. Identification of twelve polymorphic microsatellite loci in the golden apple snail *Pomacea canaliculata*. *Journal of Genetics.* 92 (3): 99 – 102.

玖、附錄-實驗照片



圖三十、福壽螺與梯形福壽螺形態照片（A、C、E 為福壽螺，B、D、F 為梯形福壽螺）

## 野外採集環境



圖三十二、萬丹 I 區環境照



圖三十三、萬丹 II 區環境照



圖三十四、竹田區環境照



圖三十五、西勢區環境照



圖三十六、福壽螺產卵照



圖三十七、梯形福壽螺卵塊照

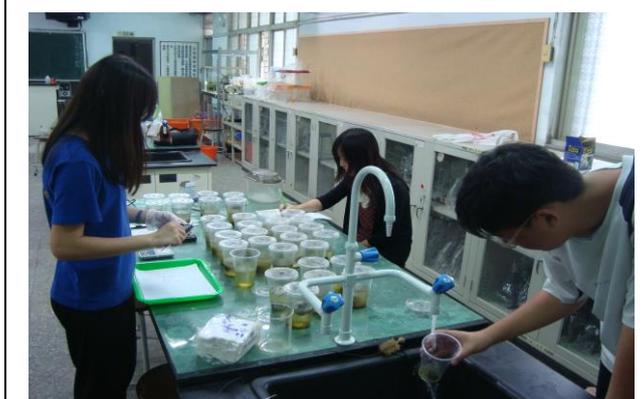
## 實驗室工作情況



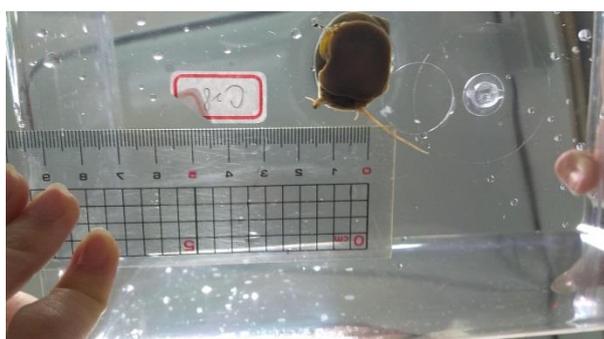
圖三十八、自製水流裝置



圖三十九、水流操作情況



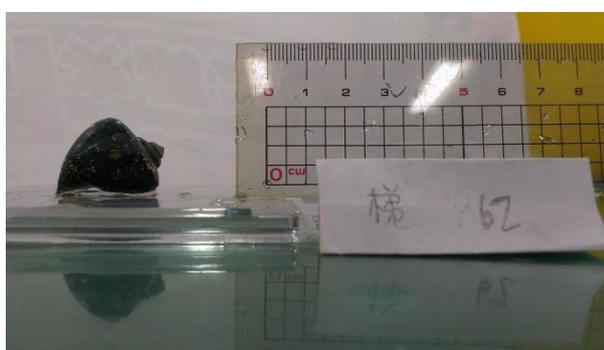
圖四十、工作記錄情況



圖四十一、吸附面積測量情況



圖四十二、水流衝擊面積測量情況



圖四十三、水流衝擊面積測量情況

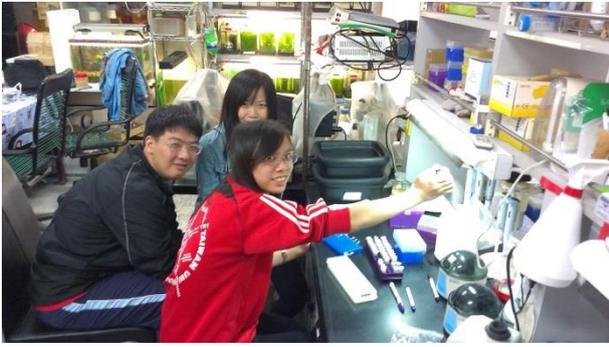


圖四十四、室溫環境

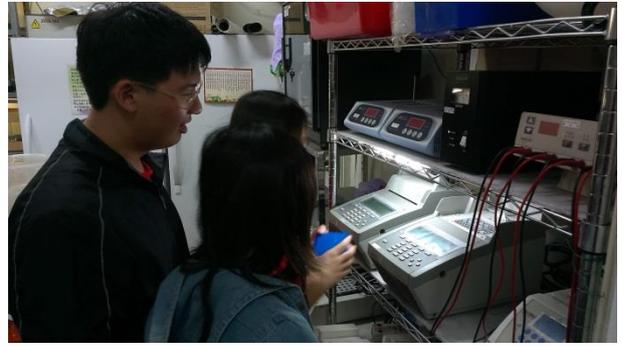


圖四十五、28°C 環境

## 大學實驗室工作情況



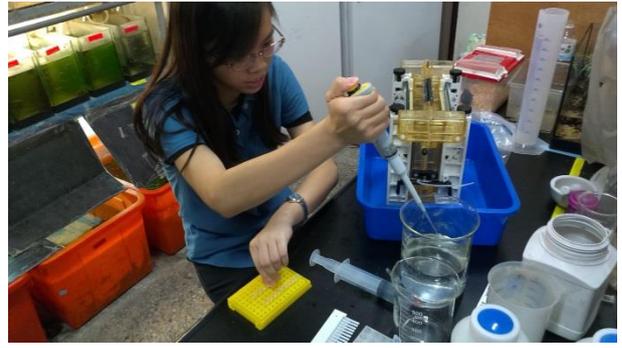
圖四十六、實驗操作-抽 DNA



圖四十七、實驗操作-PCR



圖四十八、洋菜膠電泳



圖四十九、注膠(PAGE)操作



圖五十、聚丙烯醯胺凝膠電泳



圖五十一、照膠系統

## 【評語】 040712

探討福壽螺與梯形福壽螺對環境適應能力之研究。既然福壽螺是強勢外來種，應著重在如何生物防治比較有意義。僅解釋為何比較強勢稍嫌美中不足。