

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 動物與醫學科
(鄉土)教材獎

052017

豆渣再利用復育田螺研究

學校名稱： 國立嘉義女子高級中學

作者： 高二 陳宥靜 高二 林岱璉	指導老師： 吳孟修
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 田螺復育、豆渣再用、生殖

摘要

研究本土田螺在人為環境復育，豆渣再用製作飼料，「冷凍」是保存飼料較佳方式。公母體型有顯著差異，母螺可懷 7 隻小螺為胎生。田螺偏好分布飼養箱「遮陰處」的「地板」，成螺多聚集，幼螺則散佈。

飼養存活率 0.9375。對照組、25%組、30%組、35%組、40%組，母螺分別產子 87、102、110、104、81 隻，子代營養不良率 0.174、0.176、0、0.042、0.5，子螺平均螺高 $4.00^B \pm 0.79$ 、 $3.91^B \pm 0.93$ 、 $4.32^A \pm 0.046$ 、 $3.86^B \pm 0.68$ 、 $3.92^B \pm 0.88$ mm，得知豆渣比例 30%的飼料顯著最好。理論上，豆渣比例 30.274%的飼料飼養 62 天，可得到最大子螺高度總和。

壹、前言

一、研究動機

聽阿嬤說，早期的農業社會，陽光映照下有成片稻田隨風搖擺，月光交會處有點點螢火環繞周身。然而，再次走回那田間，福壽螺、汙染、水質優養化、光害，細密的髒污逐漸腐蝕掉日益減少的稻田，沒有能捉來一窺黑夜的螢火蟲了。明明台灣糧倉的威名依舊，為何對我們這一代來說，這只是阿嬤口中的曾經？

生物課時，我們得知「螢火蟲幼蟲會捕食小型螺類或其他水生無脊椎動物」，由此推測，設法讓本土種圓田螺（圖 1）繁盛，可以間接幫助螢火蟲復育，且因短影片的突然爆紅，我們生活周遭出現許多鄰近國家的區域性小吃，其中螺獅粉也勾起我們對於原生種田螺的興趣。於是我們聚焦研究圓田螺。

既然初衷是為了使本土種圓田螺繁盛，我們認為最符合目標的方式，就是研究要如何才能讓牠們繁殖的更好。同時，我們發現，住家附近的古早豆漿店，會將大批的豆渣（圖 2）整車運出，直接丟棄。我們對於這種仍含有營養的素材未發揮最大效益感到可惜。

在我們設計實驗時，了解到對於田螺來說，一般麥片作為飼料主體在具有眾多好處的同時，卻有著蛋白含量低且價格相對高昂的缺點，所以我們想，能否利用這些豆渣替代麥片自製飼料，研究田螺們吃下不同「豆渣比例」的飼料後生產的結果，並與價格較高的麥片飼料比較。如此，不但可以找出田螺最適宜的豆渣飼料，同時還能將一部分廢棄或是使用效率不高的豆渣友善利用，兼顧環保。



圖 1、田螺（作者拍攝）

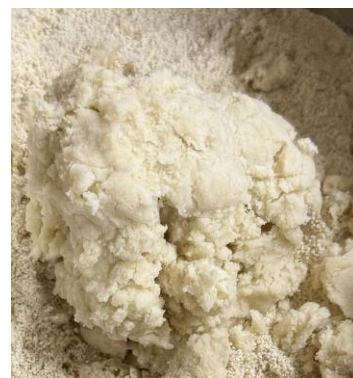


圖 2、豆渣（作者拍攝）

二、研究目的

- (一)認識田螺
- (二)利用「豆渣調配」田螺飼料
- (三)設計並改良飼養田螺的「飼養箱」
- (四)觀察並量化田螺的「分布」情況
- (五)探究田螺對「光線明暗」的偏好
- (六)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係
- (七)探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係

三、文獻回顧

1. 〈臺灣原生種「圓田螺」保種成功 水試所：還可量產、育成率達九成〉（黃思敏，2020）

- (1)圓田螺數量急劇下降的兩大主因：第一是慣行農法成為主流，使對農藥及污水非常敏感的圓田螺難以生存；第二是福壽螺等外來物種的生物競爭，以繁殖速度來說，一粒福壽螺一年可生 3 萬顆卵，一粒圓田螺一年卻只能生 200 顆卵。
- (2)圓田螺養殖亦可運用在魚菜共生系統，以及與多元化的作物共生。陳冠如指出，皎白筍及水稻長期浸在水中的部分，難免產生有機物質及污物的附著，而這些正是圓田螺的食物，透過牠們的刮食，食物的表面就會變得很乾淨

2. 〈田螺養殖〉（余廷基，1979）

- (1)田螺受氧氣的影響比水溫還敏感，池裡的溶氧量在 3.5cc/L 時，就不太設餌，降至 1.5cc/L 就會斃死。如果田螺夾住水草，用鰓呼吸，且要爬出水面，即使用手輕觸螺殼也不會收縮，這種狀態即為氧氣缺乏的現象。
- (2)田螺繁殖期自 3 月間開始至 10 月間結束。生產幼螺受水溫影響，水溫在 15°C 以上時開始生產，但夏季水溫如超過 25°C 以上就不太生產了。
- (3)田螺屬於卵胎生，交配在 10 月間越冬前最盛，交接後雄螺多會斃死，所以此時期的雄螺較雌螺少。交配時，雄螺用右觸角插入雌螺的右襟葉，將精子放進子宮口，幼螺在子宮內育成熟後產出，體重只有 0.063 公克。

3. 〈溫度和鹽度對中華圓田螺和銅鑄環棱螺標準代謝的影響〉（孫陸宇，2012）

- (1)當鹽度相同時候，溫度變化對兩種螺的耗氧率影響較大，鹽度 0.3 時，中華圓田螺的耗氧率平均值為 0.948mg/(g·h)，銅鑄環棱螺則為 0.253~0.815mg/(g·h)，二者的耗氧率都極低。且在 30°C 內，耗氧率隨著溫度升高而升高，超過 30°C 後則呈下降趨勢。
- (2)同一鹽度，在 10°C~30°C 的水溫範圍內，中華圓田螺與銅鑄環棱螺的排氨率均隨溫度升高而提高，到 30°C 時達到最大值；在 30°C~35°C 間，二者的排氨率隨水溫升高而下降。

4. 〈 *The Colors of Sunset and Twilight* 〉(Corfidi, 2014)

- (1)日出或日落時，陽光穿過大氣層的路徑比中午時分的路徑要長得多。
- (2)由於這種延長的路徑會導致更多的紫光和藍光被沿途發生的幾乎無數次散射「事件」（統稱為多重散射的過程）散射出光束，因此在一天中清晨或傍晚到達觀察者的光線會明顯變紅。

貳、研究設備及器材

- 1.田螺成螺 80 隻，34 公 46 母。用於實驗的幼螺有 96 隻（圖 3）。
- 2.飼養箱 15 箱、飼養盆、飼養盒、打氣機（圖 4）。
- 3.豆渣、果汁機、飼料配方見表 5，我們製作的飼料成品如圖 6。



圖 3、左，公螺。右，母螺。（作者拍攝）



圖 4、飼養田螺。（作者拍攝）

表 5 田螺飼料配方（作者製表）

	對照組	25%	30%	35%	40%
麥片	86.96	59.13	45.22	31.30	16.52
發酵豆渣	0.00	27.83	41.74	55.65	70.43
骨油	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
中筋麵粉11.5%	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
黏粉	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
礦物質混和	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
綜合維他命	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43



圖 6、作者再用豆渣，製作的田螺飼料。（作者拍攝）

參、研究過程或方法

(一)認識田螺

- 1.查閱圖書館書籍、查閱網路文獻，以瞭解田螺的生物學，並學習飼養田螺的方法，包括如何設置飼養箱、如何供應食物、如何清潔飼養環境。
- 2.本研究所有的田螺成體，皆分性別，並測量其殼高、殼寬、重量、螺紋數。進而可以瞭解此生物的身體特徵和兩性差異。
- 3.解剖：剖公螺、母螺各一，觀察並拍照，描述兩性差異。
- 4.觀察並拍照田螺的交配行為，如圖 3b。



圖 3b、田螺交配。（作者拍攝）

(二)飼料調配：見圖 7 過程

- 1.搜集一袋豆漿店餘下的黃豆渣、200g 無添加麥片、骨油、中筋麵粉 11.5%、黏粉、礦物質混和，以及綜合維他命。將黃豆渣冷凍以保持新鮮，避免氧化。
- 2.使用料理機將豆渣與麥片都打碎至粉末狀。
- 3.按照比例將所有材料混合，將混合後的麵團壓平至相同厚度，切成寬一公分的條狀。
- 4.將麵團放入 58°C 的烘箱中，等待 48 小時，使其乾燥後變硬，取出後將條狀飼料切割成每邊長 1cm 的正方體。
- 5.對照組用麥片為主要原料，價格高於豆渣。



圖 7、飼料製作過程。豆渣再利用，製作為田螺飼料。（作者拍攝）

(三)飼養箱配置：總共 15 箱。（圖 8）

- 1.實驗組依飼料的豆渣含量分四組，分別是 25%、30%、35%、40%，「每組 3 個飼養箱」。
- 2.對照組 3 個飼養箱，此組不加蛋白質含量頗高的豆渣，餵養小麥為主的飼料。
- 3.實驗組與對照組有相同分量的骨油、中筋麵粉 11.5%、黏粉、礦物質混和，以及綜合維他命。
- 4.每個飼養箱放置 2 隻公螺和 3 隻母螺。15 箱共計 75 隻田螺（圖 9）。



圖 8、飼養箱。（作者拍攝）



圖 9、飼養裝置。（作者拍攝）

(四)觀察並量化田螺的分布情況：每天記錄一次

- 1.首先，先計數飼養箱內「翻肚」和「正常」的田螺數量。
- 2.接著，計數飼養箱「地板」、「牆面」、「牆線」、「牆角」的田螺數量。
因為，翻肚的田螺必然在地板，故分為「翻肚在地板」、「正常在地板」、「牆面」、「牆線」、「牆角」五類。（圖 10）
- 3.延伸實驗，觀察「隨著田螺數量增加，田螺的分布情況」
一飼養箱置 5 隻成螺，固定水高，一小時後記錄田螺分布位置。記錄後，再加 5 隻田螺，一小時後記錄其分布位置。以此類推，總共進行五小時，最後蒐集 25 隻成螺在其中的分布位置，藉此觀察成螺於有限空間中的位置偏好。



圖 10、由左至右為「翻肚在地板、正常在地板、牆面、牆線、牆角」五類。（作者拍攝）

(五)探究田螺對「光線明暗」的偏好

- 1.如圖 11，塑膠盆以黏上白色不透光膠布的白色塑膠板遮蔽一半，另一半不遮蔽而有光照。共三個塑膠盆實驗裝置，一二盆分別內置 25 隻小田螺，第三盆內置 27 隻。總共 3 盆 77 隻螺。
- 2.日光燈實驗：塑膠盆置日光燈下，每一小時記錄「光照區」和「陰影區」的田螺數量，持續 60 分鐘。
- 3.陽光實驗：晴天早上 10 時，塑膠盆置陽光下，溫度計測量氣溫和水溫，每兩小時記錄「光照區(光區)」和「陰影區(影區)」的田螺數量，持續六小時。



圖 11、明暗偏好實驗。（作者拍攝）

4.田螺對「光線明暗」偏好的延伸實驗—再加入紅光和綠光的偏好

根據上文實驗得知，田螺較偏好陰暗的環境，我們的假說是田螺偏好是：暗>紅光>綠光>光。使用相同的實驗裝置，進行不同色光的兩兩對比實驗。光照與黑暗的比較如前一子實驗，本子實驗如下圖 12，左至右共比較綠紅 81 隻次、紅白 59 隻次、黑綠 79 隻次、綠白 59 隻次、黑紅 59 隻次，藉此推斷出田螺對色光的偏好。



圖 12、色光偏好實驗，初始田螺分布數量。（作者繪製）

(六)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係

- 1.每天觀察飼養箱中，是否有新的子螺出現，並記錄其數量，繪製成圖。
- 2.我們的假說有二：雖然我們不能明確知道豆渣的蛋白質含量，但是，豆渣確實含蛋白質和纖維素等營養素。我們提出兩個假說，假說一，飼料的豆渣比例愈高，母螺生的子代愈多，且子代的營養不良者較少。假說二，飼料的豆渣比例可能有一「最佳比例」，最佳比例時，母螺生的子代愈多，且子代的營養不良者較少；低於或高於最佳比例，子代數量及健康狀況漸差。

(七)探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係

(體型包括：體長、重量、螺紋數、體長增加率、重量增加率、螺紋數增加率)

- 1.每天觀察所有飼養箱中，是否有新生螺的出現，若有則測量其殼高和殼寬，計算其螺紋數量。將其統一撈起至相同的容器中，並記錄。觀察新生螺的螺層，螺殼一圈為一層，記錄其層數。肉眼觀察新生螺的大小後，使用鐵尺測量其大小並拍照記錄。
- 2.我們將撈起的小螺依據其殼寬分為「正常」及「營養不良」兩類。如圖 13 所示，可以看到「正常」為「達到 3mm」的小螺，且外觀上「與成螺的體態相同」，只是體型較小。「營養不良」除了「未達 3mm」，且外型非常明顯「異於成螺」。



圖 13、左至右為 1.0mm、3.2mm、4.0mm 新生田螺。（作者拍攝）

(八)所有記錄數據，參閱邱皓政（2005）統計書籍，以 SPSS 軟體，統計顯著與否。

肆、研究結果

(一)認識田螺

1.分類地位（表二）：俗名中華圓田螺，學名 *Bellamya quadrata*。

表二、中華圓田螺分類地位。

- 界：動物界 (Animalia)
- 門：軟體動物門 (Mollusca)
- 綱：腹足綱 (Gastropoda)
- 目：蜆形目 (Viviparidae)
- 科：田螺科 (Viviparidae)
- 屬：田螺屬 (*Bellamya*)
- 種：中華圓田螺 (*Bellamya quadrata*)

資料來源：中央研究院生物多樣性研究中心（無日期）。台灣貝類資料庫。



圖 14、左 公螺。右 母螺。（作者拍攝）

2.公母與生理（圖 14）

(1)公螺與母螺外型上不易分辨，觀察者查找資料，發現因為生殖器位置的影響，導致公螺右觸角在彎曲時會有明顯的對折角(如右圖)，而母螺因生殖器不位於觸角，故在彎曲時呈現圓弧狀；又因對折角的緣故，使得當公母螺觸角不彎曲時，母螺觸角可以完整伸直向前，公螺的右觸角則會有些微偏差。

(2)我們測量 18 隻公螺及 27 隻母螺的殼高、殼寬、重量，結果如圖 15。公母的平均螺高分別為 3.07 ± 0.43 及 3.33 ± 0.50 公分，差異不顯著 ($P=0.105^{ns}$)，即公母螺高沒有差異。公母殼寬分別為 2.24 ± 0.35 及 2.58 ± 0.30 公分，有顯著差異 ($P=0.016^*$)，母螺比較寬。重量分別為 7.34 ± 2.13 及 11.28 ± 3.16 公分，母螺顯著比較重 ($P<0.001^{***}$)。

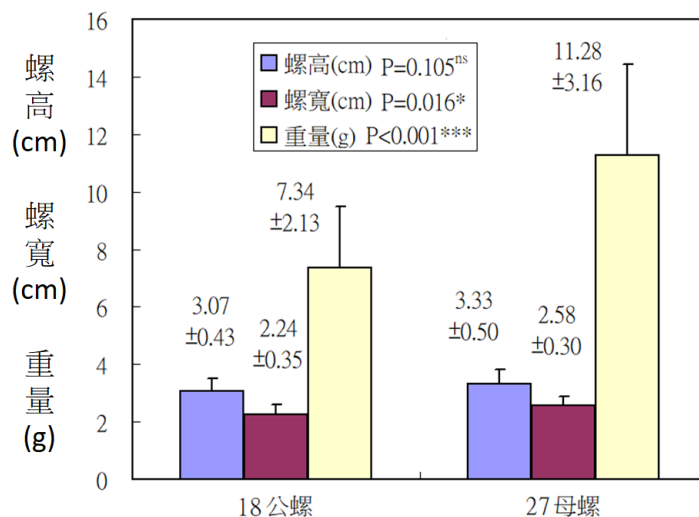


圖 15、田螺公母的螺高、螺寬、重量比較。（作者繪製）

3.母螺解剖構造：如圖 16，可知田螺為「胎生」生物。（舊稱卵胎生，現已改稱胎生）

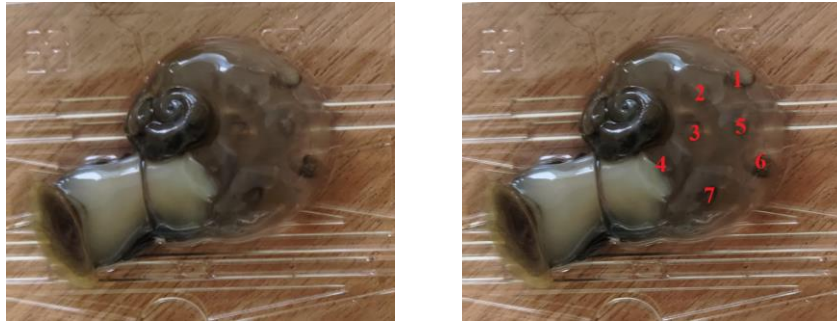


圖 16、母螺的「育幼腔」懷有「7 隻」小螺。（作者拍攝）

4.行為與生態：

- (1)田螺主要棲息在淡水環境，例如水田，湖泊，池塘，水溝等靜水或者流速緩慢的水域，尤其偏好富含有機質的泥沙地質。經過我們的觀察，田螺大部分時間爬行在水底，且白天較少活動，通常在夜間較為活躍，這樣的習性有助於避開天敵。並且，田螺可以適應長時間的乾旱，通過查找資料，我們發現當水源幹涸時，田螺可以暫時埋入土壤，降低代謝，等水源回復後再重新活動。此外，田螺也能在低氧環境中生存，可以短時間暴露在空氣中。
- (2)與對農業有害的福壽螺不同，台灣田螺主要攝食藻類與有機碎屑，而非農作物，且可以作為食材與中藥材。

表 17、田螺飼料配方。（作者製表）

	對照組	25%	30%	35%	40%
麥片	86.96	59.13	45.22	31.30	16.52
發酵豆渣	0.00	27.83	41.74	55.65	70.43
骨油	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
中筋麵粉11.5%	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
黏粉	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
礦物質混和	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
綜合維他命	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43

資料來源：作者整理。

(二)利用「豆渣調配」田螺飼料

1.飼料配方簡述（表 17，同第 4 頁表 5）

飼料的配方含有麥片、發酵豆渣、骨油、中筋面粉、黏粉、礦物質混合物以及綜合維他命，其中我們改變不同組飼料的麥片與發酵豆渣的重量百分比，其他的成分維持定量，詳細比例見表 17。

2.最終我們製作的飼料如圖 18，依「豆渣比例」分為 25、30、35、40%四種。另製作以麥片為主（計為 15%）的飼料，餵食對照組。



圖 18、自製飼料。（作者拍攝）



圖 19、飼養箱中的田螺。（作者拍攝）

(三)設計並改良飼養田螺的「飼養箱」（圖 19）

- 1.最一開始的飼養箱配置如圖 19，我們的飼養箱中設置了兩種調節水質的水草，田螺原本生長環境需要的砂土堆因為觀察需求並沒有放置。
- 2.本研究需要飼養箱 15 箱，成螺 75 隻。研究過程部分成螺死亡，我們予以補充，總共使用成田螺 80 隻，研究過程存活率 $75/80=0.9375$ ，顯示我們飼養箱設計良好。

(四)觀察並量化田螺的「分布」情況

1.觀察成螺 15 箱 45 隻 52 缸次 244 隻次

如圖 20，成螺於缸中的分布隻數與百分比為地板(正立)95 隻、佔 38.93%；地板(翻肚)28 隻、11.48%；牆線 3 隻，1.23%；牆壁 106 隻、43.44%以及角落 12 隻、4.92%。

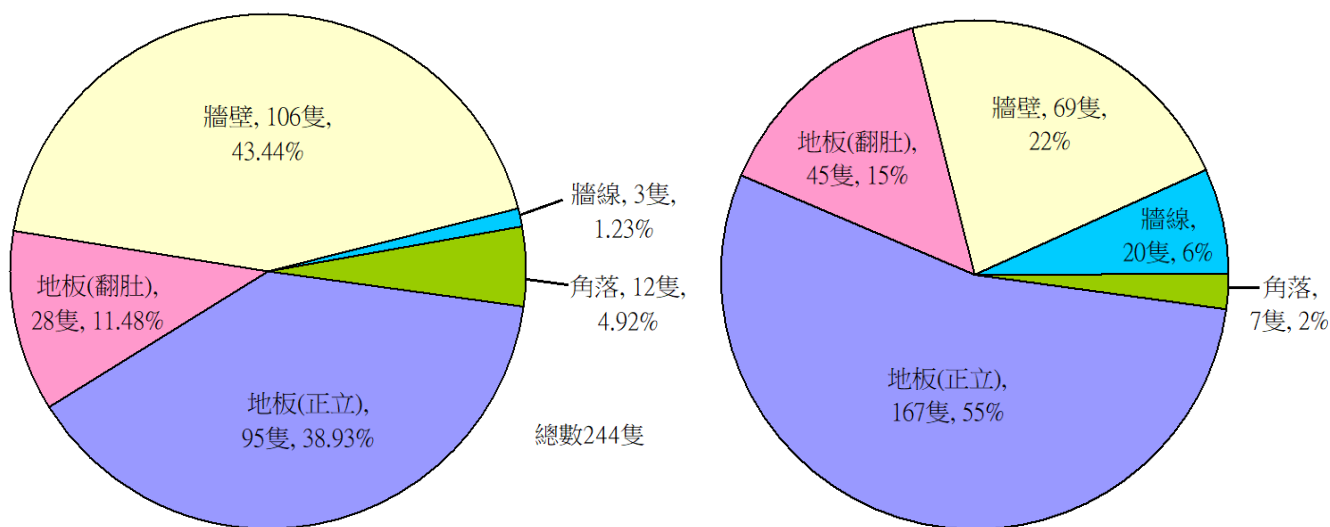


圖 20、成螺分布。(作者繪製)
觀察成螺 15 箱 45 隻
共計 52 箱次 244 隻次

圖 21、幼螺分布。(作者繪製)
觀察幼螺 3 盆(兩盆各 25 隻，一盆 27 隻)
計 12 盆次 308 隻次

2.觀察幼螺 3 盆 12 盆次 308 隻次

如圖 21，幼螺於盆中的分布隻數與百分比為地板(正立)167 隻、佔 55%；地板(翻肚)45 隻、15%；牆線 20 隻，6%；牆壁 69 隻、22%以及角落 7 隻、2%。

3.整個飼養箱，地板和牆壁面積比較大，故分布在地板和牆壁的田螺比較多。圖 20 和圖 21 似乎顯示，比較成螺和幼螺，成螺多分布牆壁而幼螺多分佈地板。我們進一步探究，到底田螺偏好分布的位置。結果見圖 20b。

4.圖 20b 顯示，總數 5 隻時，5 隻皆布地板。總數 10 隻時，牆壁、牆線、地板分別為 2、2、6 隻。總數 15 隻時，地板 9 隻、牆壁為 5 隻、牆線為 1 隻；總數 20 隻時，地板數量為 15、牆壁為 4 隻、牆線為 1 隻；總數 25 隻時，地板為 17、牆壁為 5 隻、牆線為 3 隻。

5.從圖 20b 可看出，隨著成螺數量增加，地板的成螺數隨著逐漸增加。而牆壁的田螺數在一開始也隨著投放數增多，但在投放到一定量(15 隻)之後就不再繼續增加。顯示，成螺偏好分布在地板。

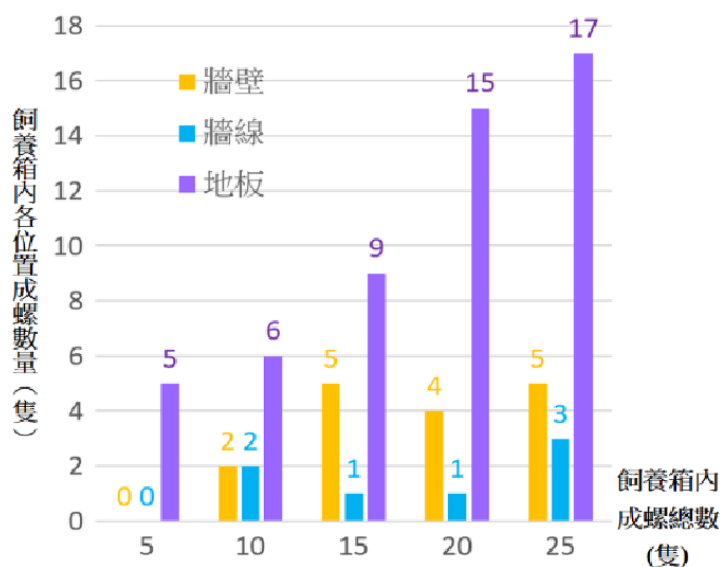


圖 20b、成螺分布。(作者繪製)

(五)探究田螺對「光線明暗」的偏好

1.明暗偏好研究

- (1)實驗第一組，如圖 22-1，在初始時，田螺於光、影兩區的數量分別為 14 和 11，中線為 0，為均勻分布。而在三次觀察裡，光區的數量為 3、3、5，影區的數量為 22、22、20。

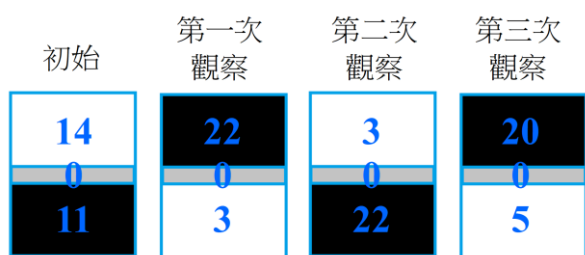


圖 22-1、第一次明暗實驗結果（作者繪製）

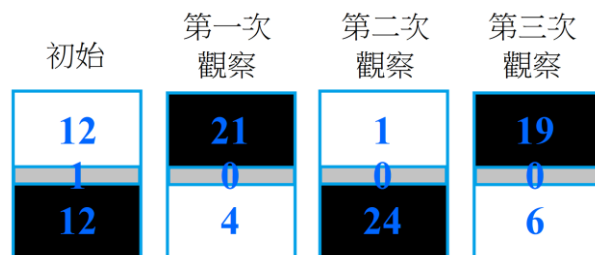


圖 22-2、第二次明暗實驗結果（作者繪製）

- (2)實驗第二組，如圖 22-2，在初始時，光影兩區的數量分別為 12 和 12，中線為 1。而在三次觀察裡，田螺在光區的數量為 4、1、6，在影區的數量為 21、24、19，且均無分布在中線。
- (3)實驗第三組，如圖 22-3，初始時，光影兩區的數量分別為 13 和 14，中線為 0。而在三次觀察裡，田螺在光區的數量為 6、5、6，在影區的數量為 20、21、20，均有 1 隻分布在中線。

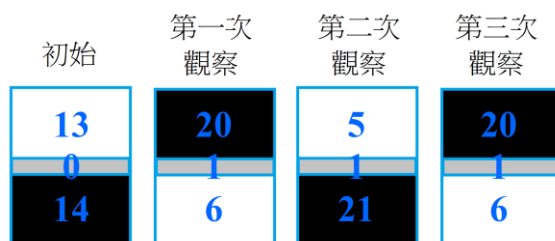


圖 22-3、第三次明暗實驗結果。（作者繪製）

- (4)分析三組實驗數據，我們發現田螺在有明暗兩處的分布，有明顯的差異。我們認為，田螺對光影有感知，且偏好待在陰影處。
- (5)根據結果並且結合三次觀察記錄時間，第一次觀察在正午 12:00，第二次觀察在下午 14:00，第三次觀察在下午 16:00，為每兩小時記錄一次觀察結果。發現在陽光最盛的正午時（前兩次觀察）待在光區的田螺比起午後（第三次觀察）來的少。我們認為，其對光影的感知，比我們一開始認為的更靈敏，並非只是感知光線有無。

2.延伸實驗--明暗紅綠光偏好實驗

- (1) 為什麼我們研究明暗偏好後，追蹤研究明暗、紅光、綠光的偏好？

在一天的不同時段中，由於太陽光受到雲層等遮蔽程度不同，故不同時段光線的平均頻率不盡相同 (Corfidi, 2014)。太陽光(亮)平均頻率大約為 545.5THz、一般陰影(暗)平均頻率為 564.1THz、紅光平均頻率為 439.5THz、綠光平均頻率為 551.6 THz，結合四種顏色的平均頻率，將有明顯偏好的顏色分離，沒有明顯差異的顏色納入，我們推測其偏好的平均頻率範圍。

- (2)小螺光影分佈延伸實驗，明暗紅綠兩兩對比總計五組，分別為紅綠組 81 隻次、紅亮組 59 隻次、綠暗組 79 隻次、綠亮組 59 隻次、紅暗組 59 隻次。

(3)紅綠組，如圖 23a，初始時紅綠兩區皆為 40 隻和中線 1 隻。而在三次觀察裡，田螺在紅區的數量為 40、40、38 隻，在綠區的數量為 38、36、42 隻，中線為 3、5、1 隻。

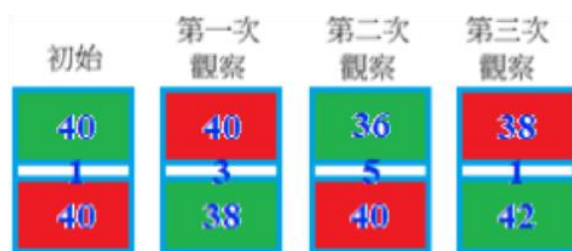


圖 23a、紅綠組偏好研究結果。（作者繪製）

(4)紅亮組，如圖 23b，初始時紅亮兩區皆為 29 隻和中線 1 隻。而在三次觀察裡，田螺在紅區的數量為 48、40、36 隻，在亮區的數量為 11、40、20 隻，中線為 0、4、0 隻。



圖 23b、紅亮組偏好研究結果（作者繪製）

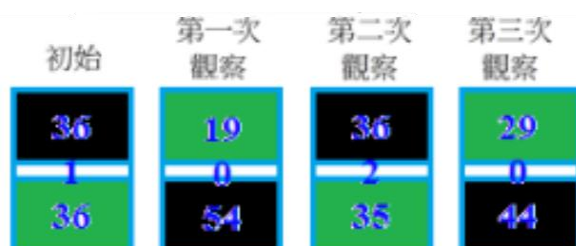


圖 23c、暗綠組偏好研究結果（作者繪製）

(5)綠暗組，如圖 23c，初始時綠暗兩區皆為 36 隻和中線 1 隻。而在三次觀察裡，田螺在綠區的數量為 19、35、29 隻，在暗區的數量為 54、36、44 隻，中線為 0、2、0 隻。

(6)紅暗組，如圖 23d，初始紅暗兩區皆為 29 隻和中線 1 隻。而在三次觀察裡，田螺在紅區的數量為 35、33、29 隻，在暗區的數量為 24、23、28 隻，中線為 0、1、2 隻。

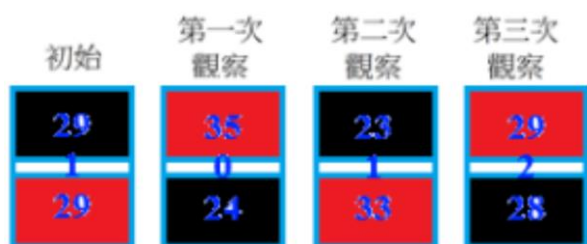


圖 23d、暗紅組偏好研究結果（作者繪製）

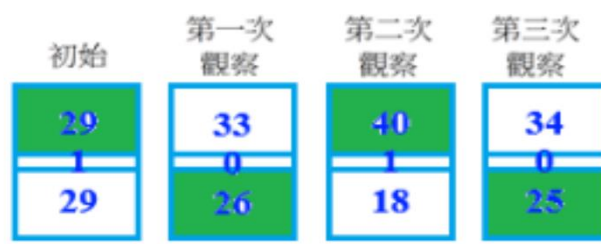


圖 23e、綠亮組偏好研究結果（作者繪製）

11.綠亮組，如圖 23e，初始時綠亮兩區皆為 29 隻和中線 1 隻。而在三次觀察裡，田螺在綠區的數量為 26、40、25 隻，在亮區的數量為 33、18、34 隻，中線為 0、1、0 隻。

12.分析五組實驗數據，我們發現田螺在綠暗、紅亮兩組的分布，有明顯的差異。我們認為，田螺對光色的偏好為紅≡綠、紅>亮、黑>綠、紅≡黑、綠≡亮。

(六)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係

- 1.我們的假說有二：假說一，飼料的豆渣比例愈高，母螺生的子代愈多，且子代的營養不良者較少。假說二，飼料的豆渣比例可能有一「最佳比例」，最佳比例時，母螺生的子代愈多，且子代的營養不良者較少；低於或高於最佳比例，子代數量及健康狀況漸差。
- 2.對照組飼料以麥片為主，實驗組飼料含豆渣比例 25%、30%、35%、40% 四組。
- 3.圖 24 顯示，1 月 11 日實驗裝置對照組、25%組、30%組、35%組、40%組配置好，第一週（1/12~18）分別累計新生 1、0、5、10、0 隻小螺；第二週（1/19~25）累計 8、2、16、10、0 隻小螺；第三週（1/26~2/1）累計 12、4、16、11、0 隻；第四週（2/2~8）累計 18、4、18、15、1 隻小螺；第五週（2/9~15）累計 23、17、24、24、8 隻小螺。
- 4.由圖 24 可知，食用含有 30%和 35%豆渣的母田螺，可以生出較多的幼螺，25%的次之，最後是 40%，對照組的出生數則是有穩定的成長累積。

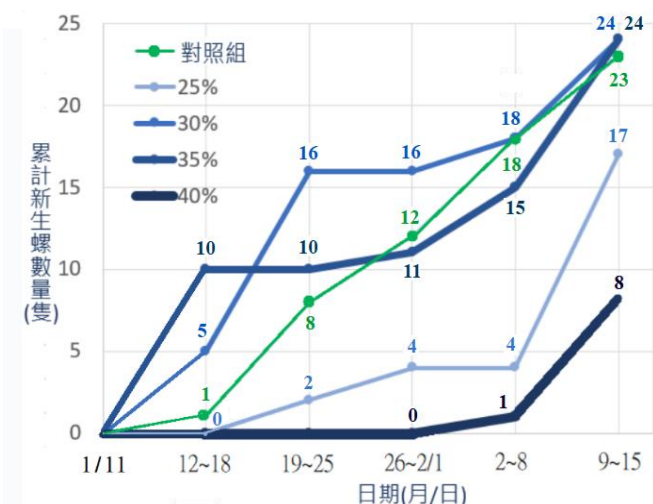


圖 24、累計 35 天，各組累計新生螺數。
(作者繪製)

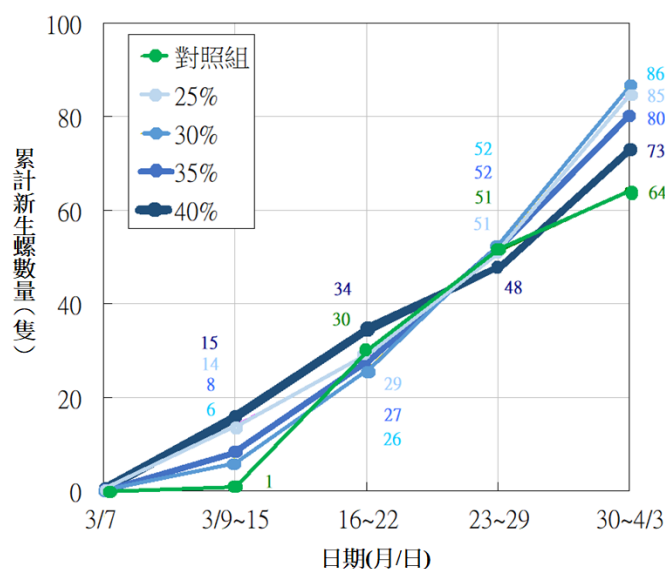


圖 24b、飼養 27 天，各組累計新生螺。
(作者繪製)

- 5.我們後續飼養 27 天(圖 24b)，以 3/7 為起始日，實驗裝置對照組、25%組、30%組、35%組、40%組累積新生螺數統一重計，第一週(3/9~15)，累計新生螺數分別為 1、14、6、8、15 隻；第二週(3/16~22)，累計新生螺數分別為 30、29、26、27、34 隻；第三週(3/23~29)，累計新生螺數分別為 51、51、52、52、48 隻；第四週(3/30~4/3)，累計新生螺數分別為 64、85、86、80、73 隻。

6.根據圖 24 與圖 24b，整理為圖 24c 和圖 24d。顯示食用豆渣比例 30%的母田螺，生產的新生螺數量最多。圖 24c 顯示，飼養 35 天，各組（對照組、25%組、30%組、35%組、40%組）母田螺累計產生子螺分別有 23、17、24、24、8 隻。圖 24d 顯示，飼養 62 天，各組母田螺累計產生子螺分別有 87、102、110、104、81 隻。

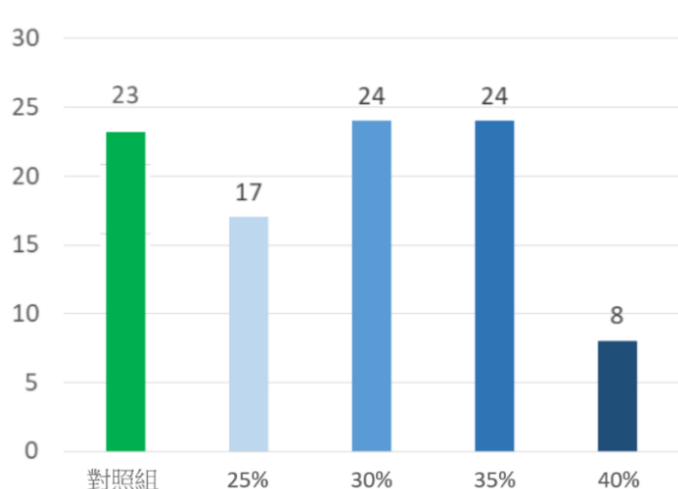


圖 24c、飼養 35 天，各組累計新生田螺數量。
（作者繪製）

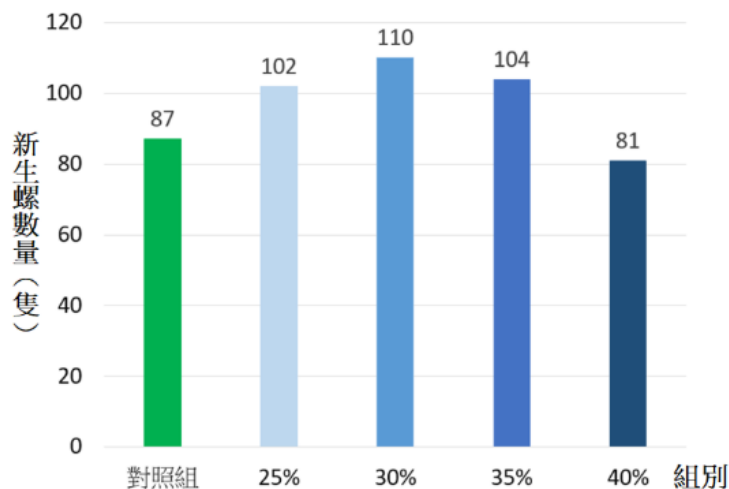


圖 24d、飼養 62 天，各組累計新生田螺數量。
（作者繪製）

(七)探究「飼料豆渣含量」與「新生田螺體型」的關係

- 1.圖 25 顯示，對照組、25%組、30%組、35%組、40%組，母螺產生的子螺，最高螺高分別為 4.2、4.0、4.2、4.5、4.1mm，子螺平均螺高分別為為 $3.517^{AB} \pm 1.188$ 、 $3.424^{AB} \pm 1.159$ 、 $4.004^A \pm 0.130$ 、 $3.492^{AB} \pm 0.828$ 、 $2.725^B \pm 1.437$ mm。
- 2.子螺的最高螺高的最大值落在餵食豆渣比例 35%的組別。子螺平均螺高，30%組顯著大於 40%組（ $P=0.013^*$ ）。
- 3.後續飼養 27 天，總計飼養 62 天後，圖 25b 顯示，對照組、25%組、30%組、35%組、40%組平均螺高為 $4.00^B \pm 0.79$ 、 $3.91^B \pm 0.93$ 、 $4.32^A \pm 0.46$ 、 $3.86^B \pm 0.68$ 、 $3.92^B \pm 0.88$ mm，有顯著差異（ $P=0.027^*$ ）。30%組的平均螺高顯著最高。

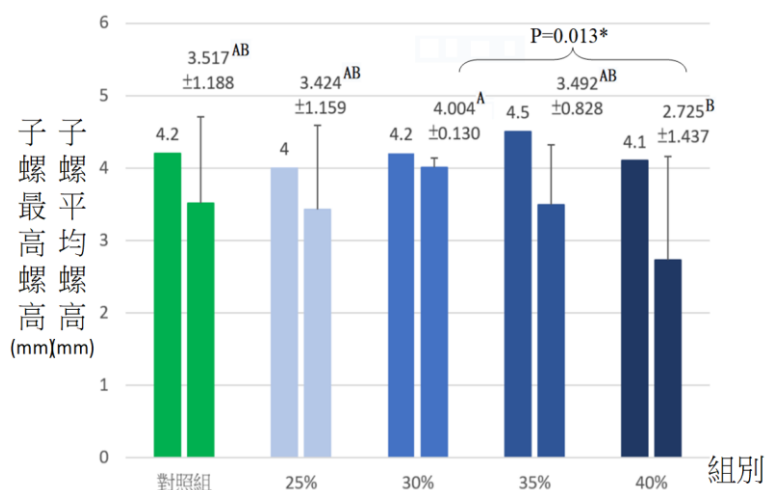


圖 25、飼養 35 天，各組最高螺高與平均螺高。
（作者繪製）

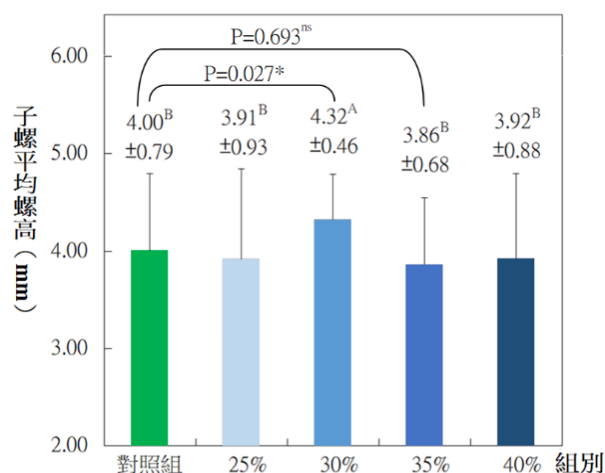


圖 25b、飼養 62 天，各組平均螺高。
（作者繪製）

伍、討論

(一)認識田螺

- 1.不論公母，殼高與殼寬皆呈顯著正相關（圖 26， $P=0.009^*$ ， $R^2=0.441$ ； $P<0.001^{***}$ ， $R^2=0.3572$ ），即殼高愈高的田螺，其殼寬也顯著愈寬。
- 2.不論公母，殼高與重量的關係不顯著，殼寬與重量的關係也不顯著（圖 27， $P=0.656^{ns}$ ， $P=0.658^{ns}$ ）。根據此統計結果，以及我們觀察田螺實體，我們發現，田螺的重量包括肌肉與螺殼，螺殼大小相近的田螺，有些肌肉多有些肌肉少。

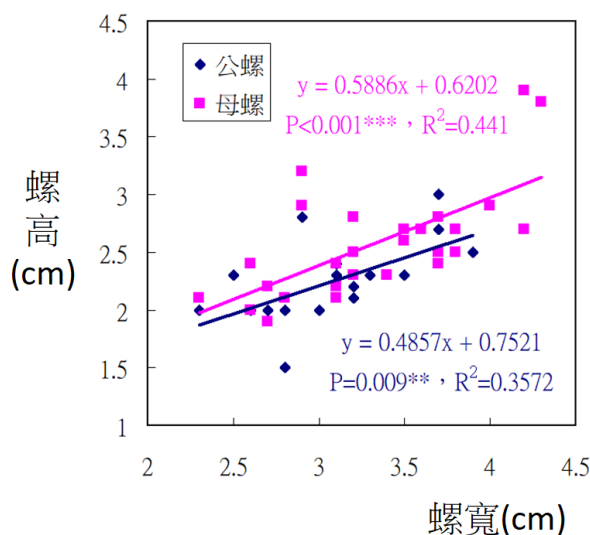


圖 26、公母螺高與螺寬的關係。（作者繪製）

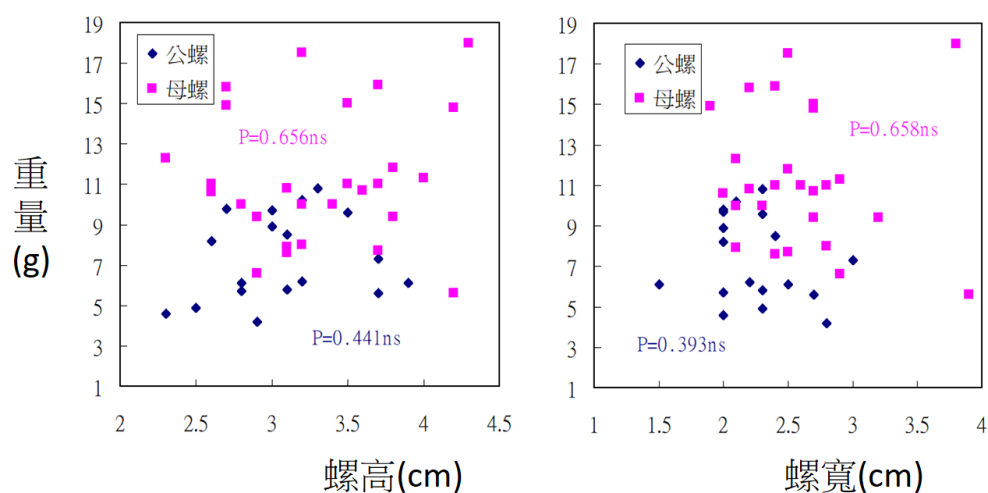


圖 27、左：公母螺高與重量的關係。右：公母螺寬與重量的關係。（作者繪製）

(二)利用「豆渣調配」田螺飼料，保存飼料

1.由圖 28 可知，飼料保存在室溫、冷藏、冷凍的子螺總數分別為 23、15、58 隻，發育不良的個體分別有 7、5、0 隻，平均螺高分別為 $2.64^B \pm 1.04$ 、 $2.99^B \pm 1.46$ 、 $4.05^A \pm 0.17$ mm ($P < 0.001^{***}$)。平均螺高再另製圖 29，更清楚顯示冷凍是較佳的飼料保存方式。

2.不良新生螺的定義可參考上文，在冷凍飼料餵養的田螺中並未產出不良新生螺，而其他兩組則是分別產出了不同程度的不良新生螺，我們認為造成此現象的原因大致有以下幾點：

(1)營養的保存與完整性。

冷凍飼料可以減少營養素，如蛋白質、脂肪酸、維生素的氧化或分解，這樣能夠更好地保留關鍵營養成分，從而支持田螺的一系列生育行為，提高田螺生育率。

(2)室溫保存可能導致油脂酸敗。

油脂在環境的影響下發生氧化反應和水解反應，而這樣會導致營養價值降低，若是反應太激烈使得飼料變質甚至可能對田螺造成負面影響。且油脂酸敗可能會影響田螺的進食意願，進食量降低則會直接影響生育數量與質量等。

(3)生理機製以及繁殖效應。

查閱資料，我們發現充足且穩定的營養供應有助於維持田螺的內分泌平衡，而經過冷凍的飼料中蛋白質含量較其他溫度高，能夠促進田螺卵巢激素的合成和分泌，從而改善產卵率與胚胎的發育狀況。

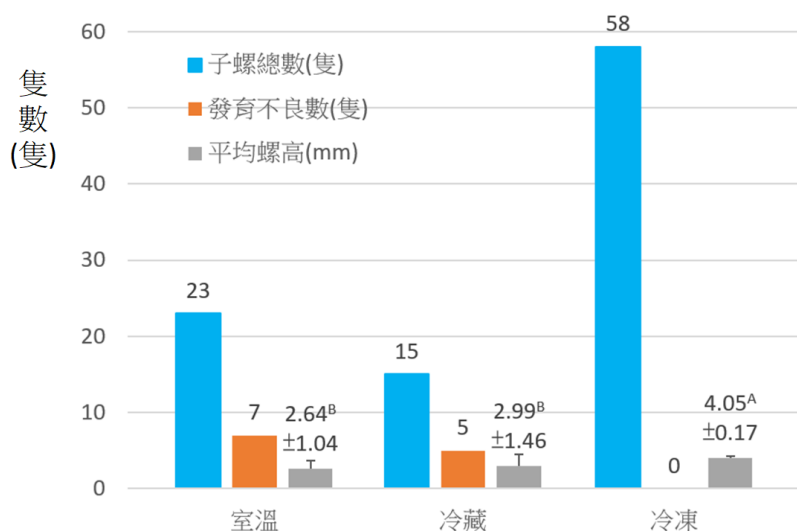


圖 28、飼料保存方式與子螺狀態的關係。
(作者繪製)

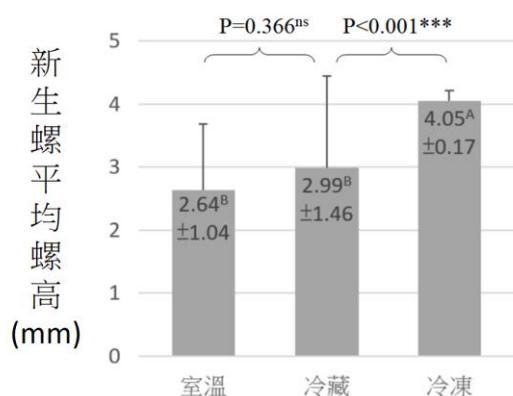


圖 29、飼料保存方式與新生螺螺高。
(作者繪製)

(四)觀察並量化田螺的「分布」情況

1.觀察成螺（共計觀察四天 52 箱次 244 隻次，圖 31）

(1)數據整理如圖 32，成螺於地板(正立)平均為 1.83 ± 1.31 隻，地板(翻肚) 0.54 ± 0.90 隻，牆壁 2.12 ± 1.15 隻；牆線 0.06 ± 0.24 隻，角落 0.23 ± 0.51 隻。

(2)我們發現在地板的田螺大多數有「彼此靠攏」的傾向（圖 31），推測在沒有土壤躲藏及無陰影處遮擋時，為了躲避天敵，弱小的田螺會聚在一起，以利提高生存率。

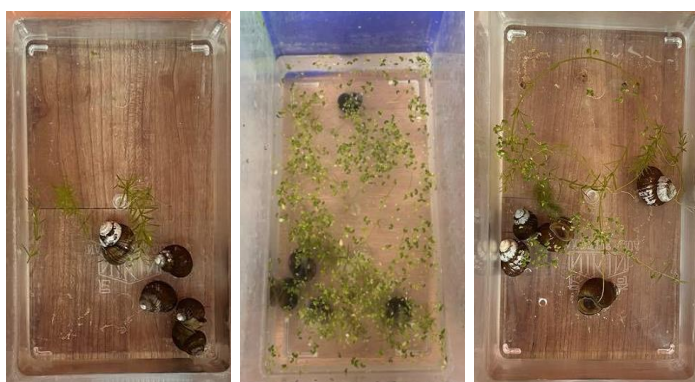


圖 31、成螺分布觀察。（作者拍攝）

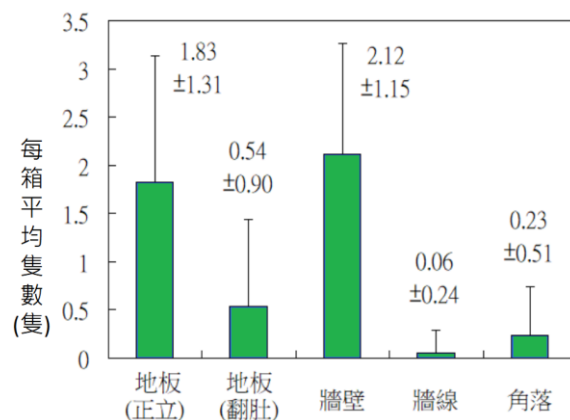


圖 32、各箱成螺分布隻數（作者繪製）

2.觀察幼螺（共觀察四天 12 盆次 308 隻次，圖 33）

(1)總數據整理如圖 34，幼螺於地板(正立)平均為 13.92 ± 2.94 隻；地板(翻肚) 3.75 ± 1.54 隻，牆壁 5.75 ± 2.90 隻；牆線 1.67 ± 1.87 隻，角落 0.58 ± 0.67 隻。

(2)我們發現在地板的幼螺「均勻散佈」（圖 33）



圖 33、幼螺分布觀察。（作者拍攝）

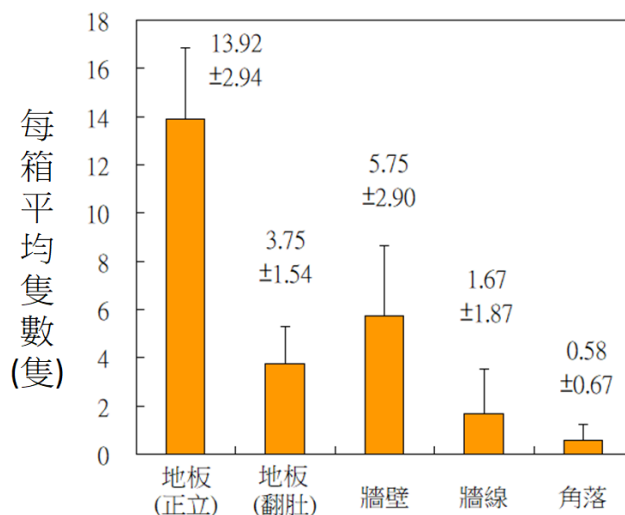


圖 34、各箱幼螺分布隻數。（作者繪製）

3.成螺幼螺分布位置的關係（圖 35）

- (1)成螺幼螺分布位置關係不顯著（ $P=0.120^{ns}$ ）。因為翻肚必位於地板，若去除不算，成螺幼螺分布位置關係也不顯著（ $P=0.224^{ns}$ ）。
- (2)前文圖 20、圖 21，及此處圖 31 至 35，分布在地板和牆壁的田螺比較多，主要原因是地板和牆壁面積比較大，我們認為並無繼續追蹤必要。

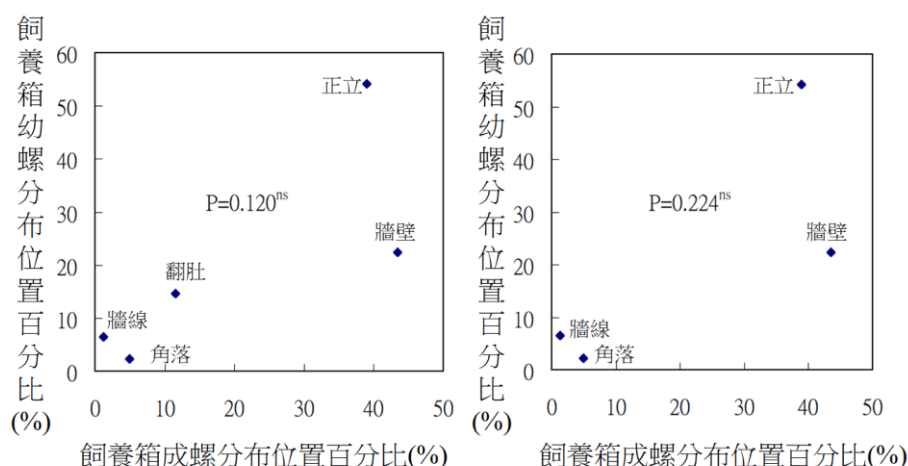


圖 35、成螺幼螺分布位置的關係。（作者繪製）

- (3)可以追蹤的是，比較成螺和幼螺，「成螺多分布牆壁而幼螺多分佈地板」（圖 20、圖 21、圖 32、圖 34），「地板成螺多聚集，地板幼螺則均勻散佈」（圖 31、圖 33）。我們設計實驗驗證，方法見前文第 6 頁，假說是「田螺偏好木地板」，成螺體積大，避免在地板互相擠而爬上牆壁。
- (4)如圖 20b 及前文第 10 頁所述，隨著成螺數量增加，地板的成螺數隨著逐漸增加。當總數 25 隻時，地板為 17 隻、牆壁為 5 隻、牆線為 3 隻。顯示田螺偏好分布在地板。
- (5)我們將圖 20b 的數量，換算為百分比。圖 35b 顯示，總數 5、10、15、20、25 隻時，成螺分布地板的百分比分別為 100%、60%、60%、75%、68%；於牆線分布的百分比為 0%、20%、7%、5%、12%；於牆壁分布的百分比為 0%、20%、33%、20%、20%。
- (6)從圖 35b 可知，當牆壁比例到達一定大小之後會下降並趨近一值(20%)，地板和牆線的綜合百分比隨數量增加而上升，其中牆線的數值上升而純地板的數值下降，是因有限空間內當純地板範圍聚集一定程度後會漸漸向外擴張觸及牆線。

4.我們推測造成此種現象理由

- (1)空間的有限性造成物理限制。
相同空間下，田螺數量少，為了避免擁擠，會有部分田螺選擇上牆；而在田螺數量增多之後，因資源有限，上牆的田螺數達到飽和，新投入的田螺就不會選擇上牆。
- (2)密度上升導致行為抑制。
田螺可能隨著族群密度的上升，因競爭或接觸壓力，使上牆或移動的行為減少。

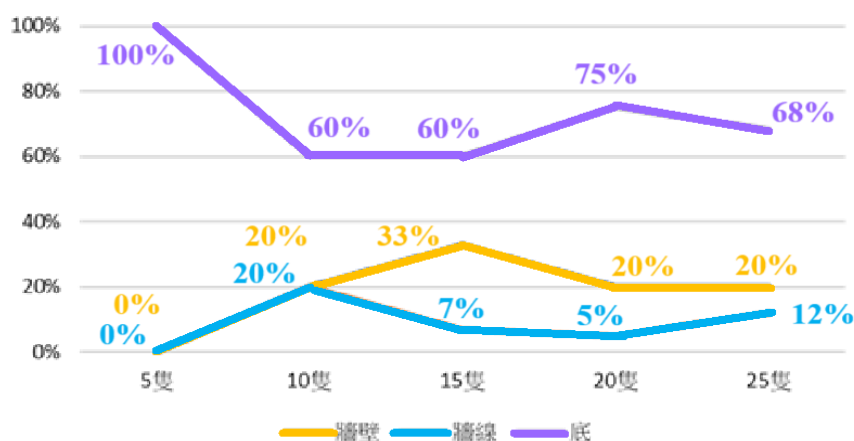


圖 35b、各田螺總數，田螺分布牆壁、牆線、底(地板)百分比。（作者繪製）

(五)探究田螺對「光線明暗」的偏好

1.如圖 36，共進行三次實驗，每次實驗觀察三次，三次平均。圖 36 顯示三次實驗棲息於陰影處的隻數百分比分別為 $85.33^A \pm 4.62\%$ 、 $85.33^A \pm 10.07\%$ 、 $75.31^A \pm 2.14\%$ ，棲息於光照處的隻數百分比分別為 $14.67^B \pm 4.62\%$ 、 $14.67^B \pm 10.07\%$ 、 $20.99^B \pm 2.14\%$ ，經統計，有顯著差異（ $P < 0.001^{***}$ ）。

2.整理後得出，田螺較喜歡在陰影遮蔽處活動，且對陰影處的偏好相當明顯。我們推測有以下幾點理由：

(1)田螺是底棲生物。

田螺主要以底層有幾碎屑、藻類與浮遊生物為食，故觀察野生田螺也可發現它們平常生活在水源處的底部泥沙層，而這些地方的光線通常較弱，較適合它們挖掘與覓食。所以推斷受到天性影響，田螺天然對陰影處更有適應性。實驗用的田螺也較傾向於待在陰影遮蔽處。

(2)適宜的水溫。

在實驗中，我們使用太陽光照射部分水域，這會導致部分水域的水溫升高，當水溫超過田螺可適應的範圍後，田螺傾向於移動至陰影遮蔽處來避免過高的水溫。

(3)過多的光照可能影響視覺與感知。

雖然田螺並沒有複雜、發達的視覺系統，但是強烈的光照可能會刺激到感光器官，影響到田螺對環境的感知，這會使得它們更加傾向於避開光源，選擇陰暗處活動。

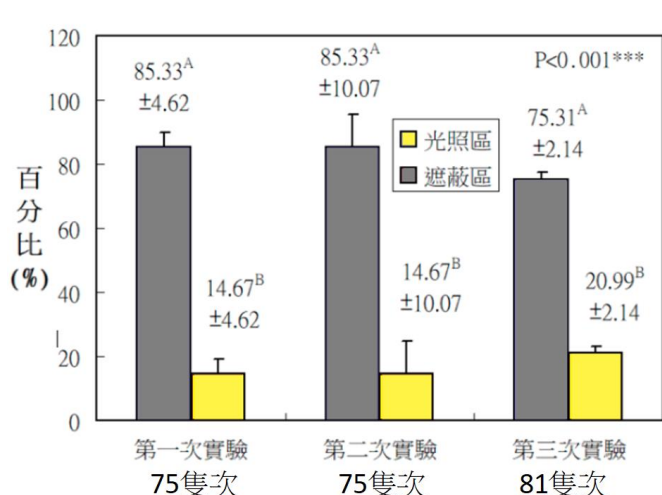


圖 36、明暗偏好實驗，田螺分布陰影處與光照處百分比。（作者繪製）

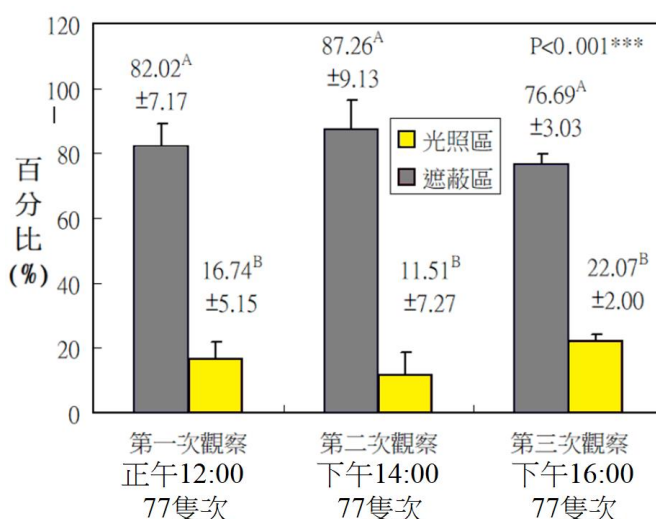


圖 37、明暗偏好實驗，田螺在不同時間分布陰影處與光照處百分比。（作者繪製）

3.圖 37 將三次實驗的第一次觀察結果平均，第二次觀察和第三次觀察亦然。三次觀察，棲息在陰影處的田螺分別佔 $82.02^A \pm 7.17\%$ 、 $87.26^A \pm 9.13\%$ 、 $76.69^A \pm 3.03\%$ ，棲息在光照處的田螺分別佔 $16.74^B \pm 5.15\%$ 、 $11.51^B \pm 7.27\%$ 、 $22.07^B \pm 2.00\%$ 。經統計，有顯著差異（ $P < 0.001^{***}$ ）。

4.雖然三次觀察的田螺分布百分比差異不顯著 ($P>0.05^{ns}$)，但是，我們很好奇。我們三次觀察的時間不一樣，分別是正午 12:00、下午 14:00、下午 16:00，為每兩小時記錄一次觀察結果。我們發現，下午陰影區田螺的數量稍多於正午炎熱時。延續圖 36 得出的結論，整理並推論後得出，田螺較喜歡在陰影遮蔽處活動，而觀察的時間段不同，太陽光的強度不同，也可能不同程度上影響田螺的分佈狀況。我們作了以下討論：

(1)光照環境與溫度梯度。在太陽光強度較小的時間段，如早上或是傍晚，這樣的日照強度對田螺的分佈影響相對較小，田螺的分佈較為分散，活動範圍較大；而在正午，太陽光強度最大時，強光照射使得水溫升高，田螺就聚集於陰影處躲避太陽光。

(2)溶氧量的降低。較高的溫度可能降低水中氧氣的溶解度，過低的溶氧量可能會導致田螺出現短暫缺氧的情況，對其生理功能與活動力產生一定的負面影響。

5.根據上述進行小螺光影分佈延伸實驗，彙整為圖 36b。圖 36b 顯示，暗亮組的平均隻數分別為 21.00 ± 1.50 和 4.33 ± 1.73 隻，有顯著差異($P<0.001^{***}$)，顯示田螺在暗亮兩者偏好暗。其他五組的數據解讀方式相同。

6.圖 36b 顯示，暗綠組和紅亮組也有顯著差異，紅暗組、紅綠組、綠亮組差異不顯著。平均田螺數量及顯著性 P 值請參閱圖 36b。田螺對光色的偏好為黑>亮、黑>綠、紅>亮、黑≡紅、紅≡綠、綠≡亮。

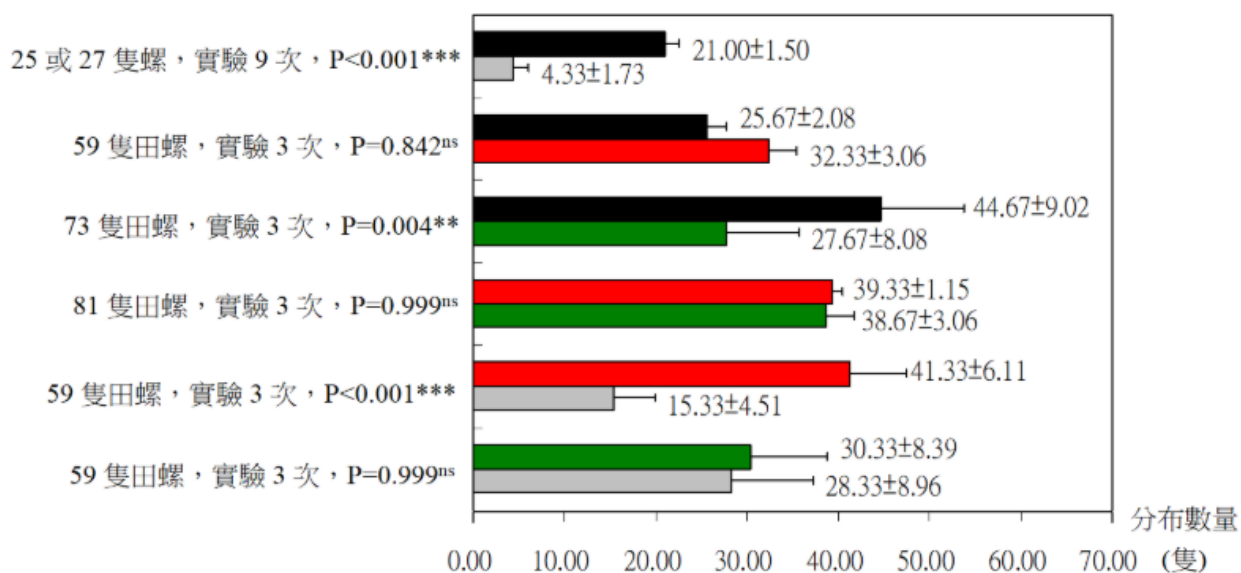


圖 36b、黑暗、白光、紅光、綠光偏好。(作者繪製)

(六)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係

- 1.延續前文及圖 24、圖 24b、圖 24c、圖 24d、圖 25 和圖 25b，顯示了「整體」情況。我們知道豆渣含量 30%的飼料效果最好，25%和 35%次之，40%較差。
- 2.我們進一步分析「細部」情況，從最小的 1mm 至最大的 5mm，以「每 0.5mm」為間隔，將各組新生螺體型分組距，如圖 38。
 - (1)圖 38 顯示，大多數幼螺的體型，都在 3.0mm 以上。3mm 以下的新生螺，30%組為 0 隻。
 - (2)最普遍的新生螺體型，介於 4.0~4.4mm。
 - (3)4.0~4.4mm、4.5~4.9mm、5.0mm 三個組距，都是 30%組所生隻數最多。
- 3.綜上可知，以 30%豆渣比例飼料飼養田螺，所生小螺的各種效果都最好。
- 4.查閱文獻後，我們得知，田螺需要一定的碳水化合物、蛋白質與脂肪比例來維持正常代謝。於是我們推斷，影響田螺生育率的因素可能有以下幾點：
 - (1)豆渣比例。如果豆渣比例過高，可能會相對稀釋掉其他重要營養來源，導致田螺的繁殖力下降或幼螺發育不良。
 - (2)膳食纖維和抗營養因子（如胰蛋白酶抑制劑、大豆皂苷等）。
豆渣中含有較多的膳食纖維和抗營養因子（如胰蛋白酶抑制劑、大豆皂苷等），這些物質可能會影響田螺對蛋白質或其他養分的消化與吸收，進而影響其繁殖能力
 - (3)最後，豆渣比例 30%~35%的飼料提供了最佳的營養組合，既能提供充足的蛋白質和纖維，又不至於影響消化吸收或水質，故這兩組的新生螺數量最多。

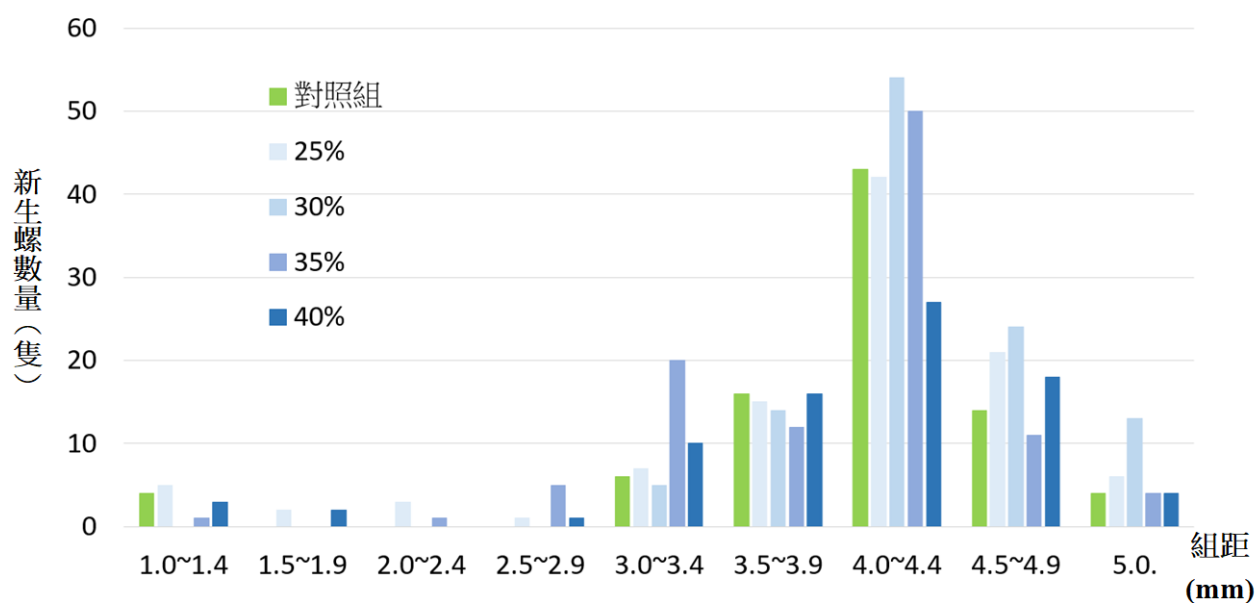


圖 38、各組新生螺各組距的數量。（作者繪製）

(七)探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係

(體型包括：體長、重量、螺紋數、體長增加率、重量增加率、螺紋數增加率)

1.圖 39 顯示，對照組、25%組、30%組、35%組、40%組，母螺產生子螺營養不良率為 0.174、0.176、0、0.042、0.5，可知豆渣含量 30%和 35%的飼料效果最好。

2.圖 41（同 14 頁圖 25b）顯示，對照組、25%組、30%組、35%組、40%組平均螺高分別為 $4.00^B \pm 0.79$ 、 $3.91^B \pm 0.93$ 、 $4.32^A \pm 0.46$ 、 $3.86^B \pm 0.68$ 、 $3.92^B \pm 0.88$ mm，有顯著差異（ $P=0.027^*$ ）。30%組的平均螺高顯著最高。

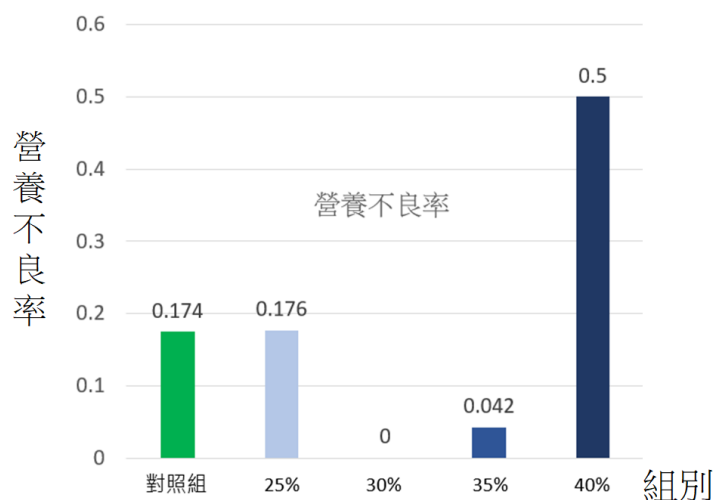


圖 39、各組新生田螺營養不良率。（作者繪製）

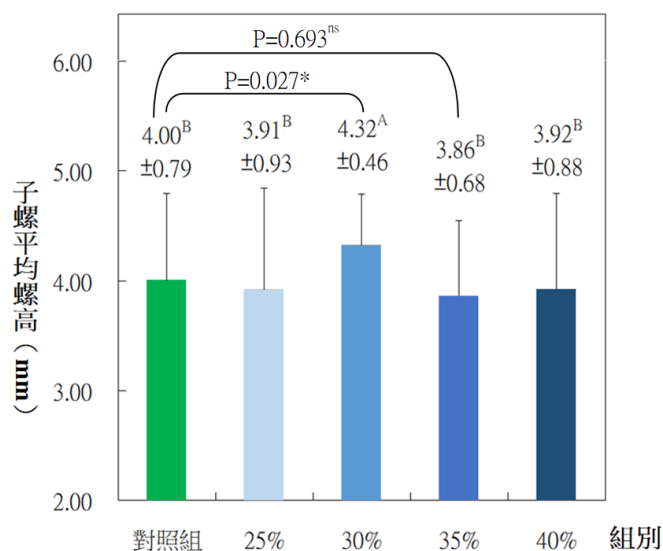


圖 41、各組平均螺高。（作者繪製）

3.圖 42 顯示，飼養 62 天，對照組、25%組、30%組、35%組、40%組，各組新生螺高最大值皆為 5.0mm，隻數分別為 3、6、13、4、4 隻，顯示 30%組螺高 5.0mm 的隻數最多。各組新生螺高 2.9mm 以下的隻數分別為 4、11、0、7、6 隻。

4.綜合圖 39、圖 41、圖 42 可知，以 30%豆渣比例的飼料，飼養田螺的效果最好。

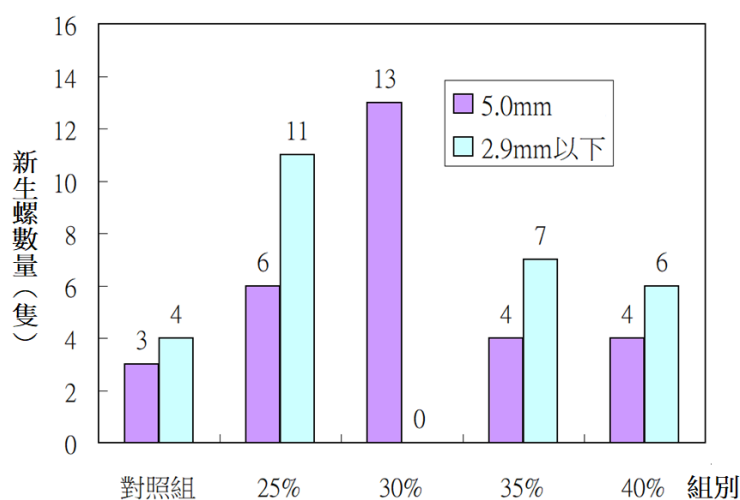


圖 42、飼養 62 天，各組新生螺 5.0mm 及 2.9mm 以下的數量。（作者繪製）

5.圖 43 為「豆渣比例」與「累計新生螺數量」的關係圖，二者呈現顯著二次曲線關係（ $P=0.031^*$ ， $R^2=0.9991$ ）。方程式代入 x 值，求最大 y 值。發現，當 $x=30.506$ 時， y 有最大值 110.457。即理論上，豆渣比例為 30.506% 時，可得到最大的新生螺數量。實驗值見圖 24d，以豆渣比例 30% 飼養田螺 62 天，生殖 110 隻。實驗值與理論值的誤差為 $(110-110.457)/110.457=0.0041$ ，誤差小於 0.05。

6.圖 45 為「豆渣比例」與「新生螺螺高總和」的關係圖，二者有 $P=0.0838^†$ 、 $R^2=0.9194$ 的顯著二次曲線關係。方程式代入 x 值，求最大 y 值。發現，當 $x=30.274$ 時， y 有最大值 454.122。即「理論」上，豆渣比例為 30.274% 時，可得到最大的新生螺螺高總和。「實際（實驗）」上，我們以 30% 豆渣比例的飼料飼養，新生螺螺高總和為 475.2mm。（可由圖 24d 的 110 隻，圖 41 的 4.32mm，相乘得知）

7.我們飼養田螺，新生螺螺高總和，實驗值與理論值的誤差為 $(475.2-454.122)/454.122=0.0464$ ，誤差小於 0.05。

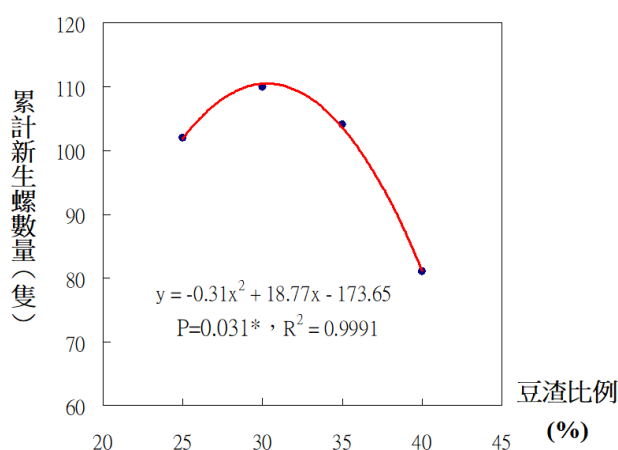


圖 43、「豆渣比例」與「累計新生螺」的關係。
（作者繪製）

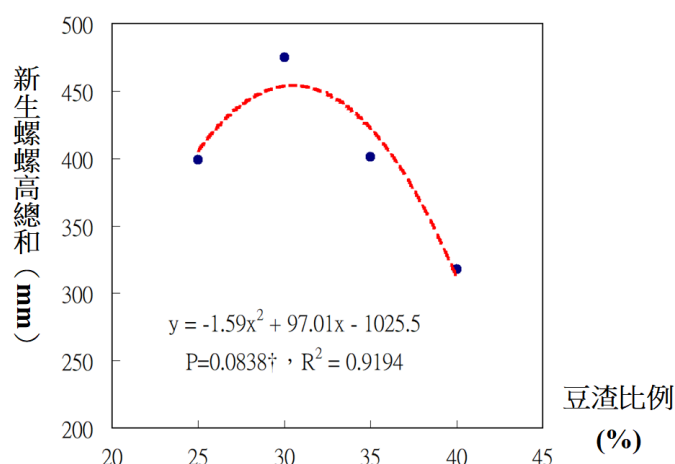


圖 45、「豆渣比例」與「新生螺螺高總和」的關係。
（作者繪製）

8.豆渣比例 30% 的飼料效果最好，優於 25%、35% 與 40%，我們推測理由如下。

(1)比例適中

豆渣中富含蛋白質、膳食纖維和部分脂肪酸，而 30% 的飼料可能提供了最佳的蛋白質與能量比，這使得田螺能夠最有效的利用營養，促進田螺生育，35% 與 30% 相比略顯過足，而 25% 中的蛋白質含量較低，這可能影響田螺的發育，最後 40% 中蛋白質含量過高，可能導致消化不良或使得其他營養素吸收不良。

(2)生物活性物質的作用

豆渣中豐富的膳食纖維雖有助於田螺的消化，但過量的膳食纖維可能會影響營養的吸收，我們推測 30% 中含有適量的膳食纖維，25% 的含量相較於 30% 較不明顯，35% 和 40% 則過多，反而影響消化效率。

(3)活化物質

查找資料後，我們發現豆渣中所含有的異黃酮與抗氧化物質會影響田螺的代謝與生長激素的分泌，適量的異黃酮會促進生長發育，而過量的異黃酮則可能產生抑製效果。

陸、結論

(一)認識田螺

- 1.測量 18 隻公螺及 27 隻母螺（圖 15）。螺高分別為 3.07 ± 0.43 及 3.33 ± 0.50 公分，差異不顯著（ $P=0.105^{ns}$ ）。公母殼寬分別為 2.24 ± 0.35 及 2.58 ± 0.30 公分，差異顯著（ $P=0.016^*$ ），母螺比較寬。重量分別為 7.34 ± 2.13 及 11.28 ± 3.16 公分，母螺顯著比較重（ $P<0.001^{***}$ ）。
- 2.解剖發現，母螺的「育幼腔」懷有「7 隻」小螺，可知田螺為「胎生」生物（圖 16）。
- 3.不論公母，殼高與殼寬皆呈顯著正相關（圖 26， $P=0.009^*$ ， $R^2=0.441$ ； $P<0.001^{***}$ ， $R^2=0.3572$ ）。但是，不論公母，殼高與重量的關係不顯著，殼寬與重量的關係也不顯著（圖 27， $P=0.656^{ns}$ ， $P=0.658^{ns}$ ）。

(二)利用「豆渣調配」田螺飼料

- 1.我們成功依照表 17 製造了田螺飼料，包括以麥片為主的對照組飼料，及含豆渣比例 25、30、35、40%的飼料（圖 18）。
- 2.由圖 28 和圖 29 可知，飼料保存在室溫、冷藏、冷凍的子螺總數分別為 23、15、58 隻，發育不良的個體分別有 7、5、0 隻，平均螺高分別為 $2.64^B\pm1.04$ 、 $2.99^B\pm1.46$ 、 $4.05^A\pm0.17\text{mm}$ （ $P<0.001^{***}$ ）。顯示冷凍是顯著較佳的飼料保存方式。

(三)設計並改良飼養田螺的「飼養箱」（圖 19、圖 9）

飼養箱中設置了兩種調節水質的水草，並有打氣機打氣。研究過程總共使用成田螺 80 隻，研究過程存活率 $75/80=0.9375$ ，顯示我們飼養箱設計良好。

(四)觀察並量化田螺的「分布」情況

- 1.觀察成螺 15 箱 45 隻 52 缸次 244 隻次，分布百分比為地板(正立)38.93%，地板(翻肚)11.48%，牆線 1.23%，牆壁 43.44%，角落 4.92%（圖 20）。
- 2.觀察幼螺 3 盆 12 盆次 308 隻次，分布百分比為地板(正立)55%，地板(翻肚)15%，牆線 6%，牆壁 22%，角落 2%（圖 21）。
- 3.在地板的成螺傾向「彼此靠攏」（圖 31），在地板的幼螺則「均勻散佈」（圖 33）。
- 4.成螺總數 5、10、15、20、25 隻時，地板的成螺數為 5、6、9、15、17 隻，牆壁的成螺數為 0、2、5、4、5 隻。顯示，成螺偏好分布在地板（圖 20b）。

(五)探究田螺對「光線明暗」的偏好

- 1.圖 22-1、圖 22-2、圖 22-3、圖 36 和圖 37 皆顯示，田螺棲息於陰影處和光照處的隻數百分比，皆有顯著差異（ $P<0.001^{***}$ ），田螺偏好棲息在陰影處。田螺棲息於陰影處的隻數百分比，最多佔 $87.26\pm9.13\%$ ，最少也佔 $75.31^A\pm2.14\%$ 。
- 2.彙整圖 23a 至圖 23e 為圖 36b，顯示田螺對明暗紅綠的偏好為 黑>亮、黑>綠、紅>亮、黑 \approx 紅、紅 \approx 綠、綠 \approx 亮。
- 3.整合研究(四)和(五)，證明了田螺喜歡暗處，但仍要有微光。並不愛亂爬，所以底面積盡量大而淺盤水體更適合飼養田螺。也回應了田螺的原生環境，長了大量葉片的水稻田，是田螺的最愛。

(六)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係

圖 24d 顯示，飼養 62 天，各組（對照組、25%組、30%組、35%組、40%組）母螺累計產生子螺分別有 87、102、110、104、81 隻。得知豆渣含量 30%的飼料效果最好，25%和 35%次之，40%較差。

(七)探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係

- 1.母螺產生 5.0mm 的新生螺隻數，以 30%組的 13 隻為最多，對照組、25%組、35%組、40%組則分別為 3、6、4、4 隻；產生 2.9mm 以下的新生螺隻數，30%組 0 隻，對照組、25%組、35%組、40%組分別為 4、11、7、6 隻。可知 30%豆渣飼料的效果最好。（圖 42）
- 2.對照組、25%組、30%組、35%組、40%組，母螺產生的子螺，子螺平均螺高分別為 $4.00^B \pm 0.79$ 、 $3.91^B \pm 0.93$ 、 $4.32^A \pm 0.46$ 、 $3.86^B \pm 0.68$ 、 $3.92^B \pm 0.88$ mm，有顯著差異（ $P=0.027^*$ ），可知豆渣比例 30%的飼料效果顯著最好。（圖 41）
- 3.理論上，豆渣比例為 30.506%時，會有最大的累計新生螺數 110.457 隻（圖 43），實驗以 30%豆渣飼料飼養得小螺 110 隻，實驗值與理論值的誤差為 0.0041，誤差小於 0.05。理論上，當豆渣比例為 30.274%時，會有最大新生螺螺高總和 454.122mm（圖 45），實驗以 30%豆渣飼料飼養得螺高總和 475.2mm，實驗值與理論值的誤差為 0.0464，誤差小於 0.05。
- 4.麥片要錢，而豆渣不用錢。人吃麥片，但人不吃豆渣。本研究自製 30%豆渣比例的飼料，餵養田螺的效果，「田螺繁殖數量」、「子螺平均螺高」、「子螺營養不良率」皆優於麥片組（對照組）。可解決豆渣廢棄物的問題，在省錢、不與人爭食的情況下，兼顧本土種中華圓田螺的復育。

柒、參考文獻資料

黃思敏（2020）。臺灣原生種「圓田螺」保種成功，水試所：還可量產、育成率達九成。
《國家地理期刊》<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-12523.html>

余廷基（1979）。田螺養殖。https://kmweb.moa.gov.tw/redirect_files.php?id=121672

孫陸宇（2012）。溫度和鹽度對中華圓田螺和銅銹環棱螺標準代謝的影響。
<http://hinter.com.cn/Upload/pdf/76.pdf>

Corfidi, S. F. (2014). *The Colors of Sunset and Twilight*
<https://www.spc.noaa.gov/publications/corfidi/sunset/>

邱皓政（2005）。量化研究與統計分析。五南圖書出版股份有限公司。

中央研究院生物多樣性研究中心（無日期）。台灣貝類資料庫。
https://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellpic_T.php?science_no=270

【評語】 052017

本作品「豆渣再利用復育田螺研究」以台灣原生圓田螺復育為目標，結合環保及資源再利用，創新探討豆漿豆渣副產品在人工飼養田螺上的應用。研究設計多組（對照組、豆渣 25%、30%、35%、40%）評估田螺存活、繁殖、子代成長、營養狀況，並配合行為觀察（如環境分布偏好、光影偏好），結果顯示以豆渣佔 30% 的飼料效果最佳、冷凍保存為最適、田螺存活率高，且在飼養箱底部陰影處偏好聚集。此研究觀查與紀錄詳盡，但因企圖研究的目標較多，致個別研究假設的立論與推導略顯跳躍，整體而言仍是相當有趣的研究，為台灣田螺保育、生物資材永續利用提供應用可能。建議與疑問如下：

1. 豆渣成分分析不足，雖然推測含蛋白質與纖維素，但未進行實際營養成分定量分析（如蛋白質含量、異黃酮等），限制機制解釋的深度。
2. 僅止於短期人工飼養／未驗證野外放流壽命、世代穩定性與生態影響。
3. 僅測殼高、營養不良，用以推斷生長健康，未更進一步分析（如蛋白質、脂肪蓄積、抗氧化活性等）。

4. 討論未提及大量豆渣飼養於田區、密養密度過高可能引生的水質或環境負面效應及風險。
5. 實驗結果是在受控的人為環境下取得的。田螺在更廣闊的自然環境或不同養殖系統下的攝食行為、生長繁殖表現可能有所不同，研究結果的普適性有待進一步驗證。

作品海報



豆渣再利用 復育田螺研究

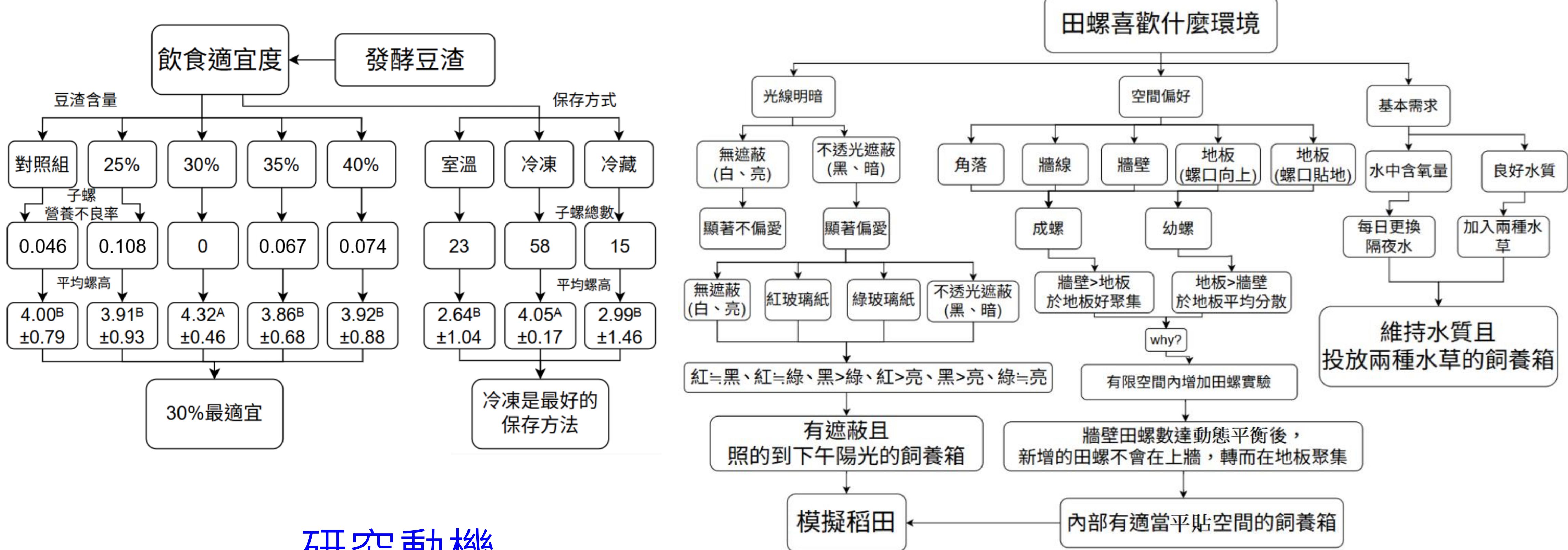


摘要

我們發現原生種田螺日漸減少的問題，決定找出田螺適宜的飲食和居住環境。在飲食上，我們利用豆漿店的廢棄豆渣製作飼料，並與高價格的麥片做比較。結果發現，以30%豆渣比例飼料來飼養田螺，其「繁殖子代數量」、「子代不良率」、「子代平均螺高」，效果都最好。「豆渣比例」與「新生螺平均螺高；新生螺螺高總和」皆呈二次曲線關係 ($R^2=0.9091$ ； $R^2=0.9194$)。理論上，豆渣比例30.274%的飼料飼養田螺62天，可以得到最大的田螺高度總和。

關於生活環境的研究裡，我們研究田螺對「光線明暗」和「空間分布」的偏好，將兩者結合，用真實稻株設計出模擬飼養箱。發現「遮蔽度」與「田螺平均數量」顯著正相關 ($R^2=0.7526$)。整合上述所有資料，整理出簡略的田螺復育結論。

實驗架構圖



研究動機

生物課時，我們得知「螢火蟲幼蟲會捕食小型螺類或其他水生無脊椎動物」，由此推測，設法讓本土種圓田螺繁盛，可以間接幫助螢火蟲復育。於是我們聚焦研究圓田螺。

既然初衷是為使本土種圓田螺繁盛，我們認為最符合目標的方式，就是研究要如何才能讓牠們繁殖的更好。同時，我們發現，住家附近的古早豆漿店，會將大批的豆渣整車運出去丟棄。我們對於仍含有營養的素材，未發揮最大效益感到可惜。

在我們設計實驗時，了解到對於田螺來說，一般麥片作為飼料主原料，雖有許多好處，但缺點是蛋白含量低且價格相對高昂，所以我們想，能否利用這些豆渣替代麥片自製飼料，研究田螺們吃下不同「豆渣比例」的飼料後生產的結果，並與價格較高的麥片飼料比較。如此，不但可以找出田螺最適宜的豆渣飼料，同時還能將一部分廢棄或是使用效率不高的豆渣友善利用，兼顧環保。

研究目的

- (一) 認識田螺
- (二) 利用「豆渣調配」田螺飼料
- (三) 探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係
- (四) 探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係
- (五) 探究田螺對「光線明暗」的偏好
- (六) 觀察並量化田螺的「分布」情況
- (七) 設計並改良飼養田螺的「飼養箱」
- (八) 探究「模擬稻株遮蔽度」與「田螺出沒數量」的關係

(一)認識田螺

我們認為，了解田螺的生理，有助於我們在培育小螺時，能獲得更好的成果。因此在實驗之前，我們觀察並量測公母螺的長寬高，並解剖一隻死亡的母螺，發現此母螺的「育幼腔」懷有「7隻」小螺，可知田螺為「胎生」生物(舊稱「卵胎生」)。



圖3、公母螺判別。因為生殖器官位置的影響，導致公螺右觸角有明顯的彎曲(如右圖)。

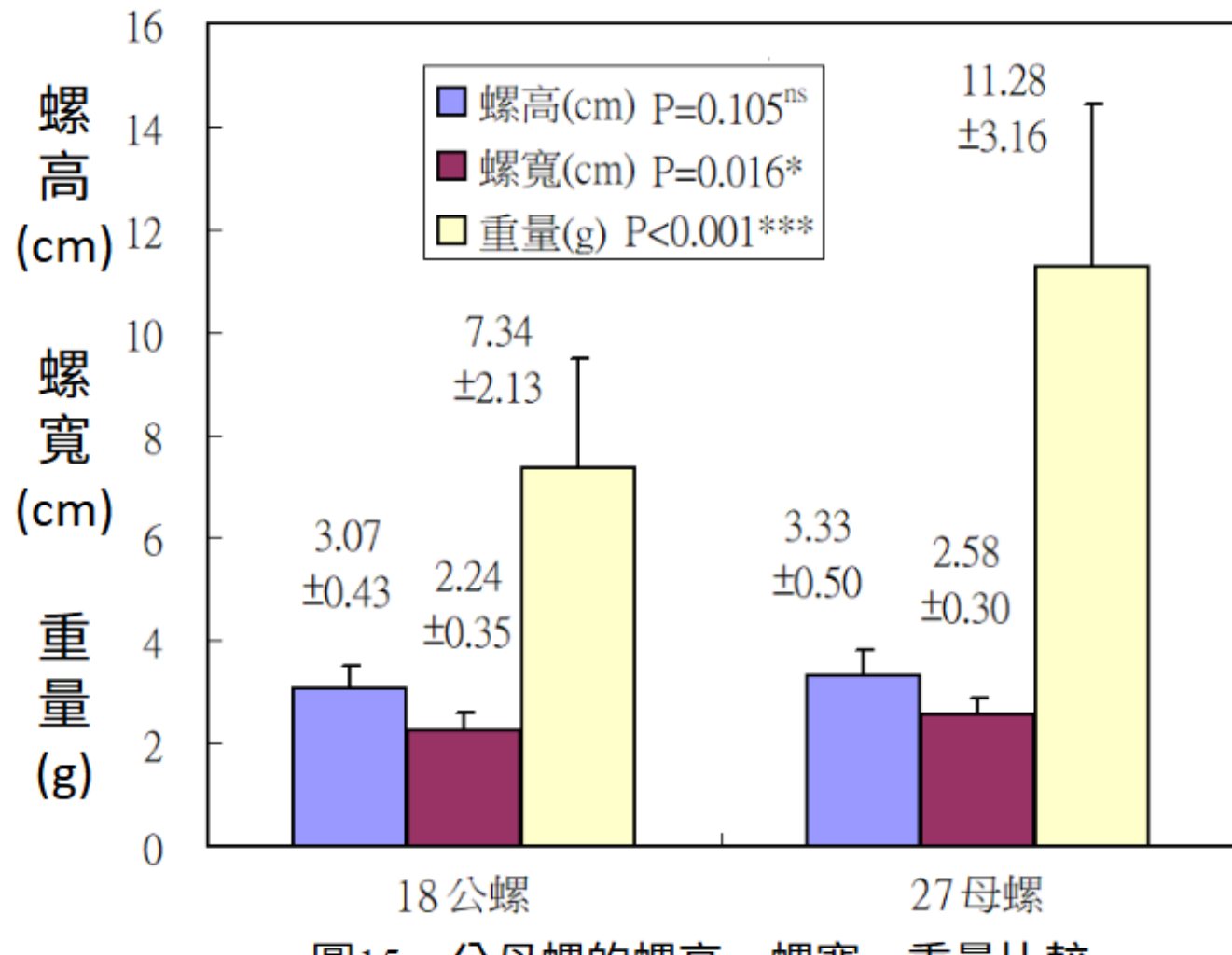


圖15、公母螺的螺高、螺寬、重量比較。



圖16、母螺的「育幼腔」懷有「7隻」小螺。

(二)利用「豆渣調配」田螺飼料

我們混合生物生存必需的營養素，做成自製飼料，將提供蛋白質的豆渣以25%、30%、35%、40%的比例，製成四組實驗組。由於蛋白質若保存不當，可能導致質變酸敗的問題，我們針對自製飼料的保存方法，對新生螺(小螺)的影響作觀察，結果發現，在冷凍、冷藏、室溫三種保存方法下，冷凍是最佳的方式。

表一、田螺飼料配方。

	對照組	25%	30%	35%	40%
麥片	86.96	59.13	45.22	31.30	16.52
發酵豆渣	0.00	27.83	41.74	55.65	70.43
骨油	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
中筋麵粉11.5%	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
黏粉	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
礦物質混和	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
綜合維他命	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43

資料來源：作者整理。



圖6、作者再用豆渣，製作的田螺飼料。



營養不良 <3mm 正常≥3mm

圖13、依據小螺殼寬分為「正常」及「營養不良」兩類。「正常」為「達到3mm」的小螺，且外觀上「與成螺的體態相同」，只是體型較小。「營養不良」除了「未達3mm」，且外型非常明顯「異於成螺」。

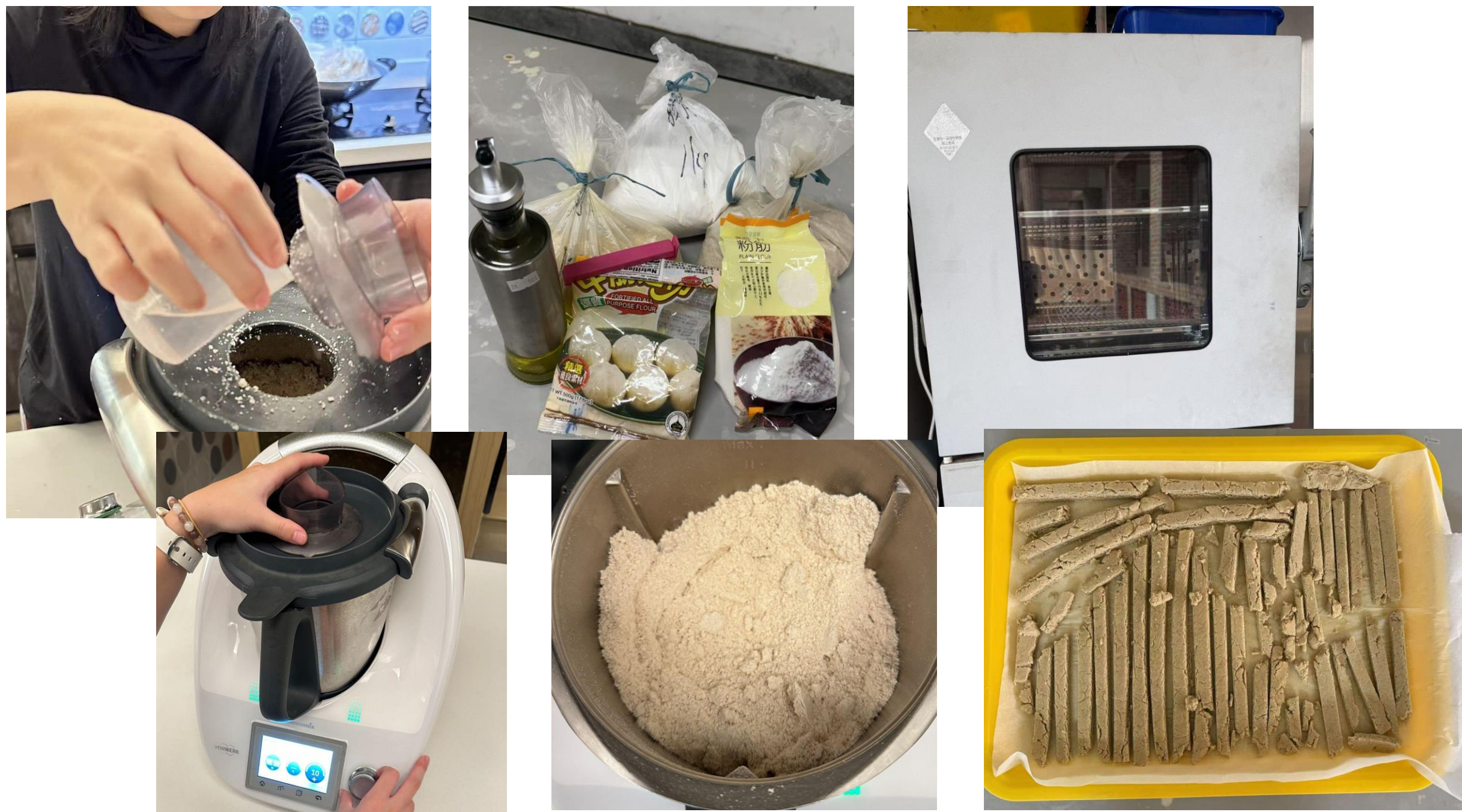


圖2、製作飼養流程。

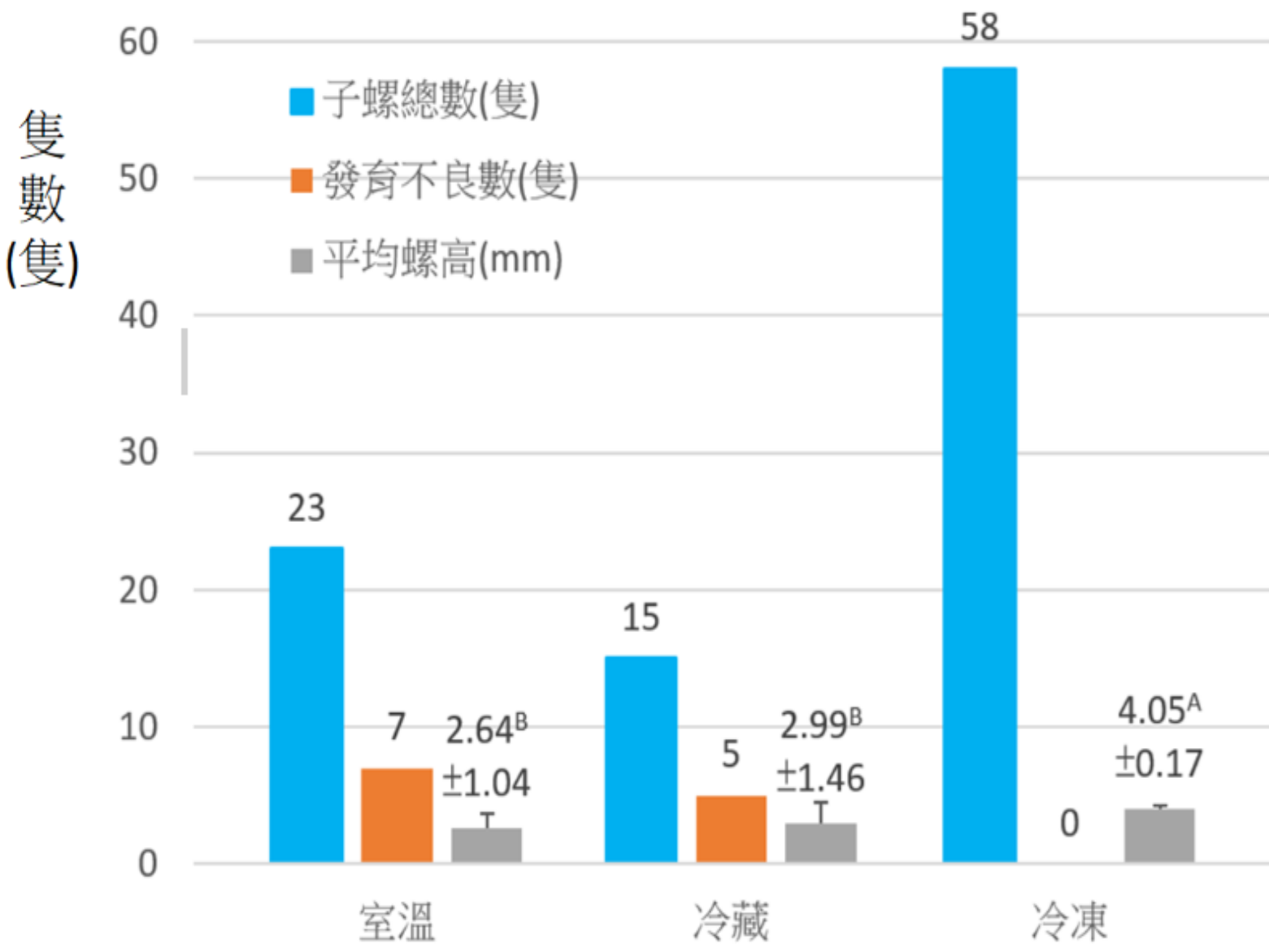


圖28、飼料保存方式與子螺狀態的關係。

(三)探究「飼料豆渣比例」與「田螺繁殖數量」的關係

我們認為，蛋白質的不足，或超出田螺生產所需，會影響並反映在母螺生產新生螺上，因此，研究(三)中，我們針對豆渣比例和新生螺數量進行數據蒐集和分析探討。

我們蒐集飼養62天的新生螺數據，繪製成累計新生螺數量圖，其中25%組、30%組和35%組的數量逼近或超越對照組；而40%組皆低於對照組。我們得出30%組是其中最好的組別。

我們將蒐集的數據繪製成二次函數回歸圖，發現理論上，當發酵豆渣含量(x)=30.506(%)時，飼養62天累積新生螺數量(y)有最大值110.574(隻)。實際實驗中，30%組的累計新生螺數量為110隻，與理論值誤差為(110.574-110)/110.574=0.0041，誤差小於0.05。

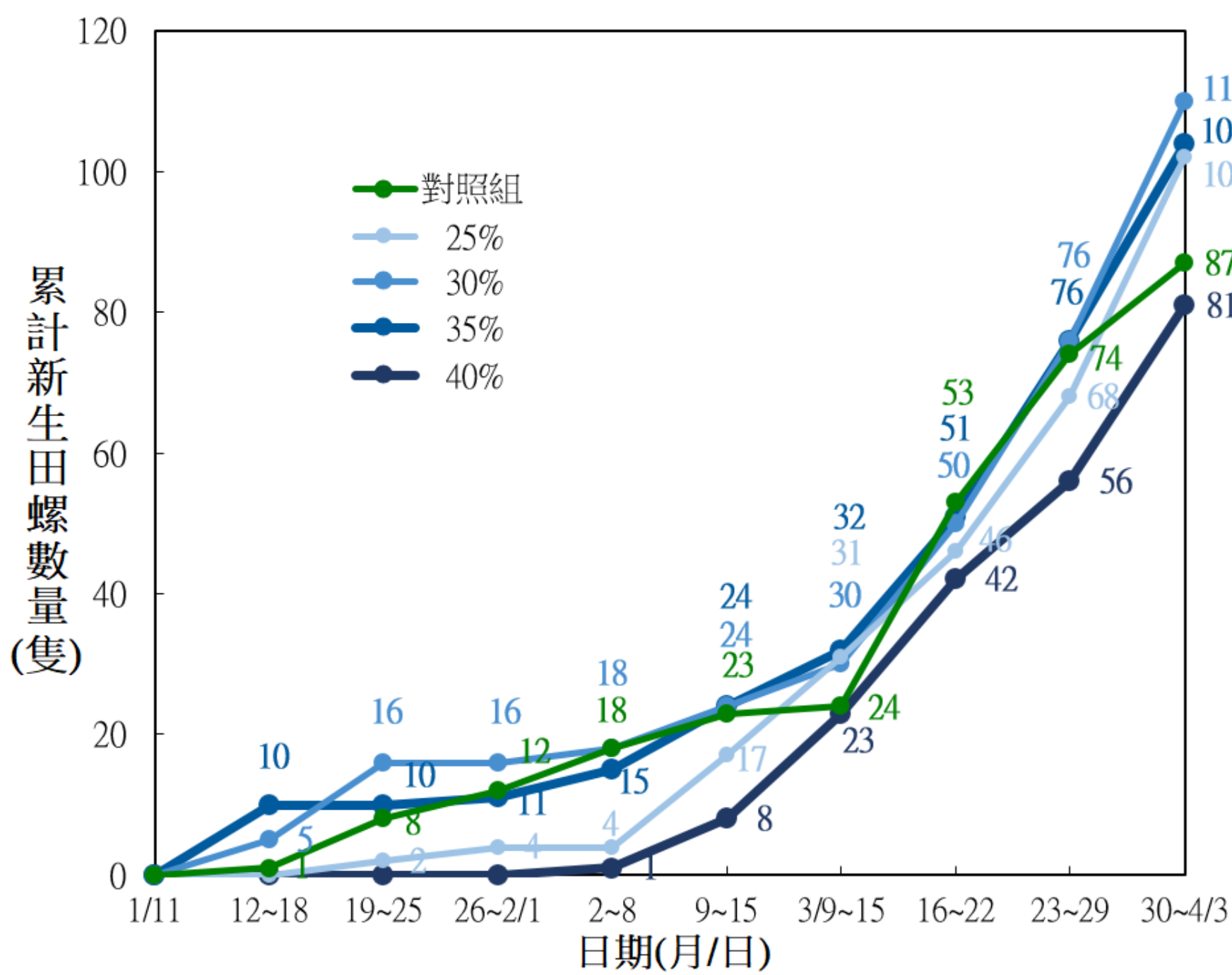


圖24、累計62天，各組新生螺數量。

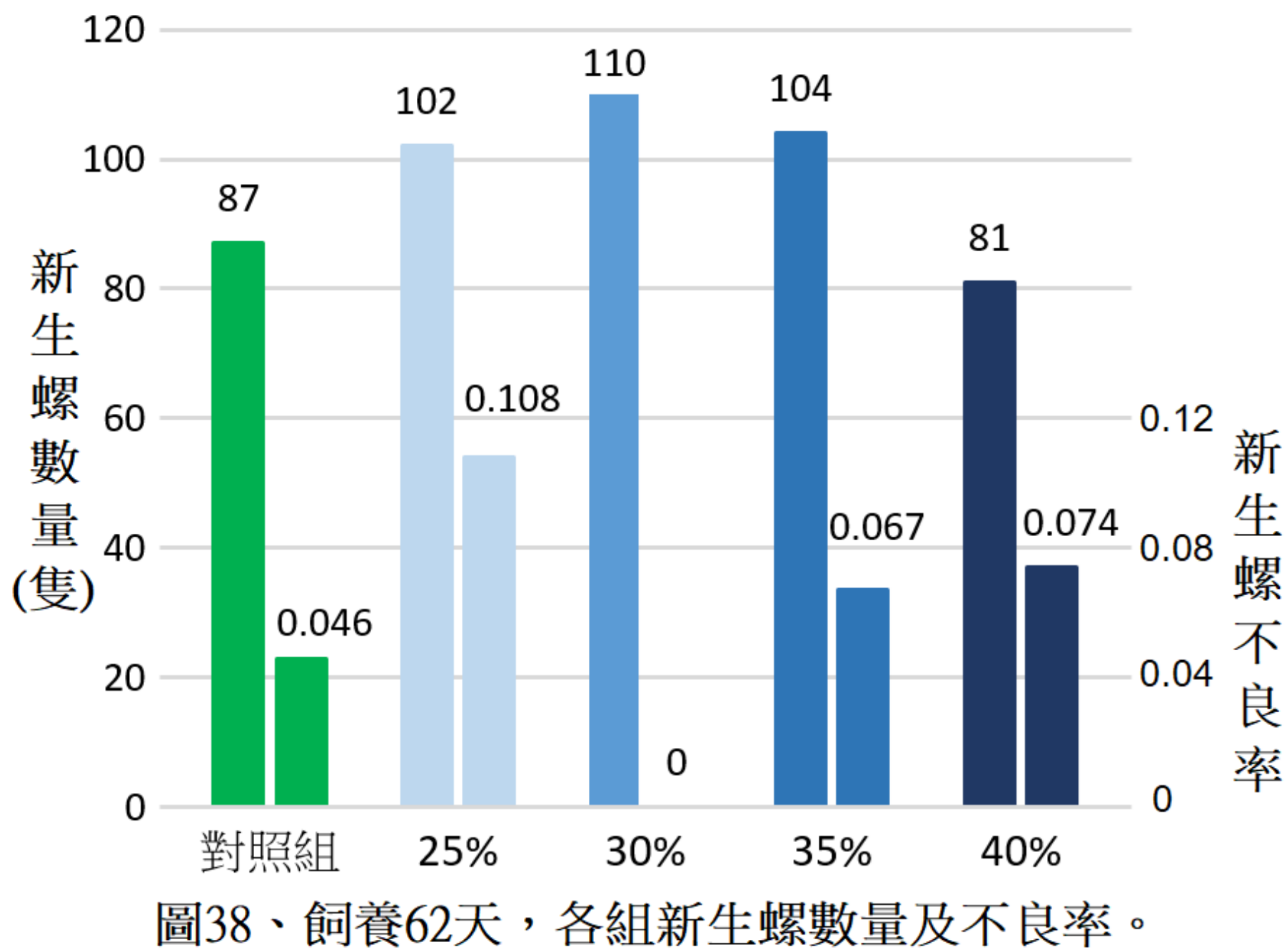


圖38、飼養62天，各組新生螺數量及不良率。

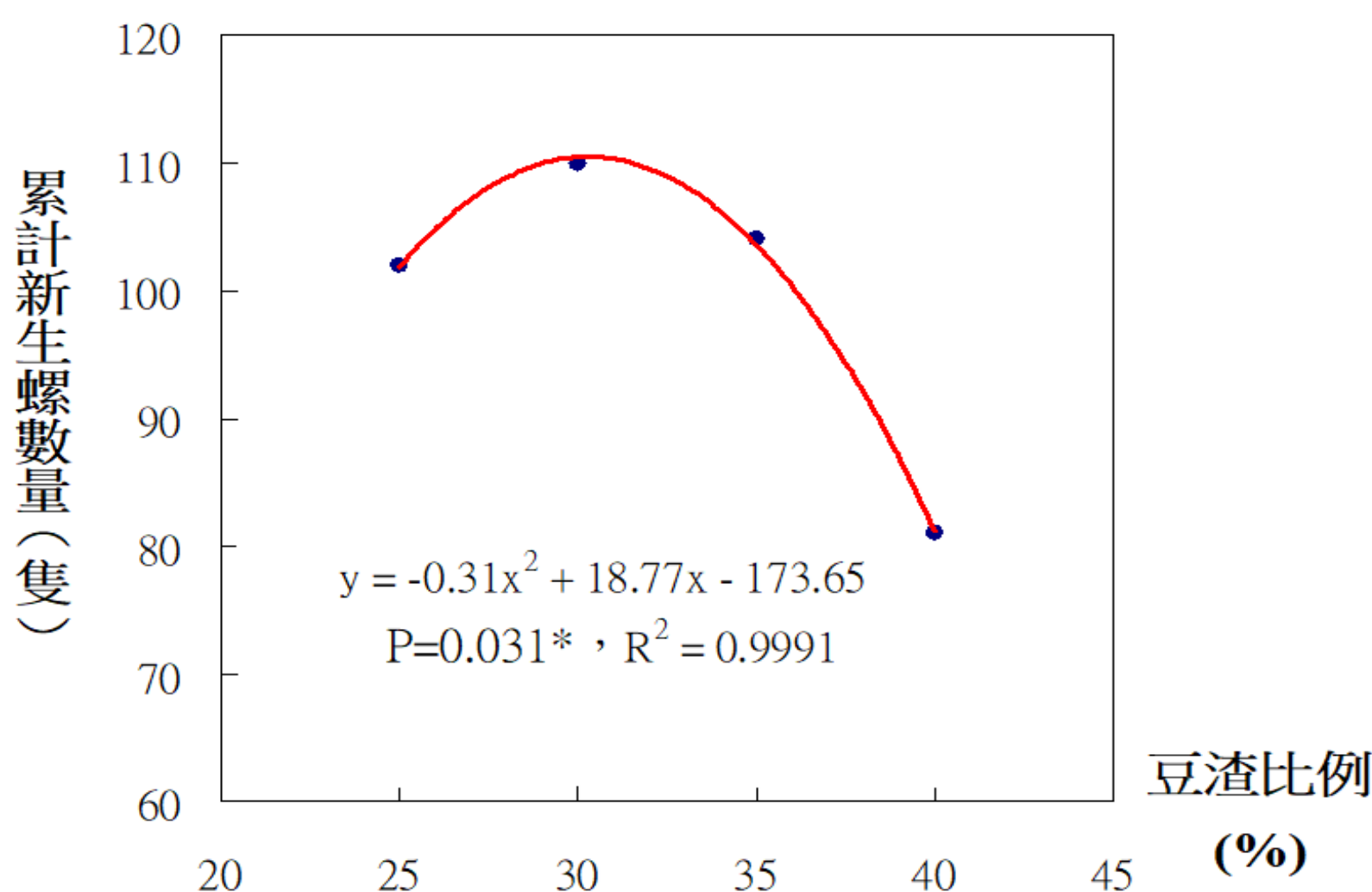


圖 43、「豆渣比例」與「累計新生螺」的關係。

(四)探究「飼料豆渣比例」與「新生田螺體型」的關係

在研究(四)，我們聚焦在新生螺體型及螺高上，我們假設，即使獲得過量的蛋白質，新生螺體型和螺高也不會隨之變大，相反的，因為過量的蛋白質導致母螺營養攝取失衡，反而會使新生螺在體態和螺高上，與一般新生螺有出入。

實驗數據統計裡可以發現，30%組的平均螺高，顯著高於其他實驗組與對照組，而在4.0~4.4和4.5~4.9(mm)這兩個佔比最大的組距裡，也是以30%組最多。另外，檢視2.9mm以下的各組隻數，可以得出，30%組除了平均螺高高於其他組，也未曾產出體態不良的新生螺。

我們將各組新生螺螺高加總，整理成二次函數回歸圖，得出理論上當豆渣比例(x)=30.274 (%)時，會有最大新生螺螺高總和(y)=454.122 (mm)。實際實驗中，30%組的新生螺螺高總和為475.2，與理論值誤差為(475.2-454.122)/454.122=0.0464，誤差小於0.05。

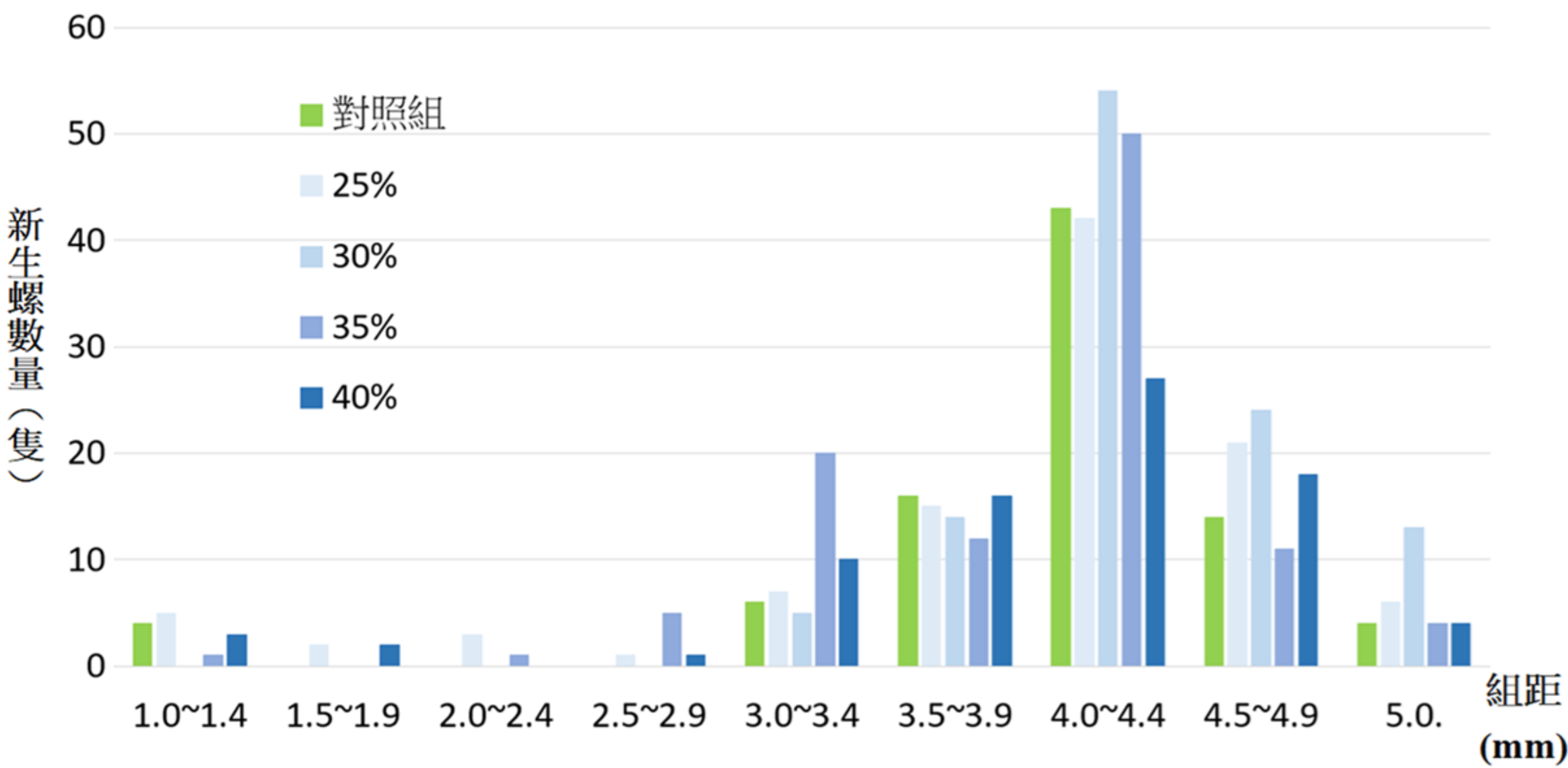


圖 24c、各組新生螺各組距的數量。

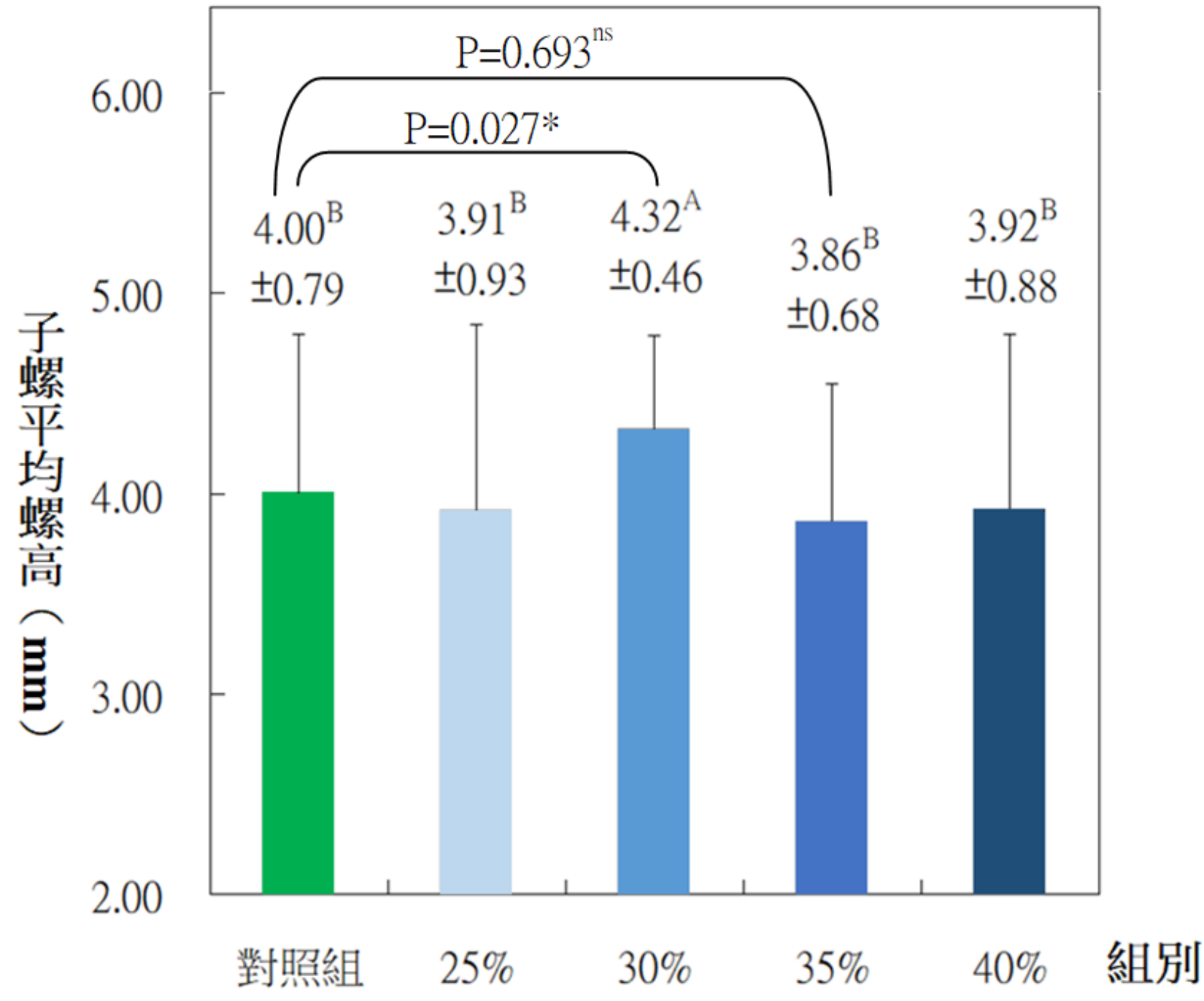


圖 41、各組平均螺高。

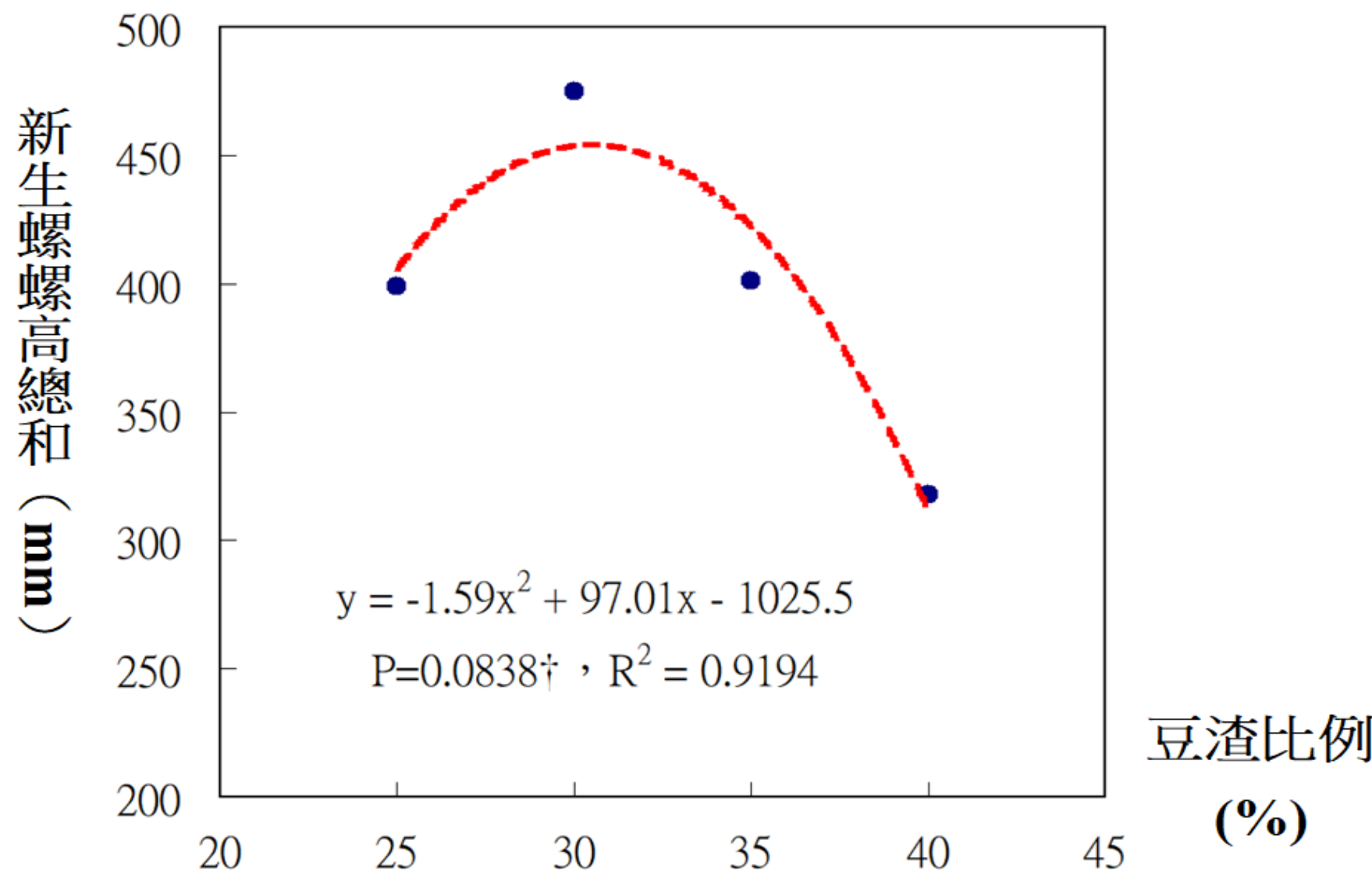


圖 45、「豆渣比例」與「新生螺螺高總和」的關係。

(五) 探究田螺對「光線明暗」的偏好



圖11、明暗偏好實驗裝置。

第一組 初始	第一次 觀察	第二次 觀察	第三次 觀察
14	22	3	20
0	0	0	0
11	3	22	5

圖22、第一組明暗實驗觀察結果。

田螺作為生活在農業社會的底棲生物，想到田螺，就脫不開農村水稻的茂密和田底下厚重濕潤的土壤，為了驗證田螺偏愛暗處勝於光亮處的假說，我們利用不透光的紙板做遮蔽，研究田螺對光線的偏好，發現牠們確實顯著的不喜愛光照。

接著，我們在有遮蔽和無遮蔽裡加入紅綠兩色玻璃紙，將四種狀況兩兩配對，結果發現田螺對四種亮暗色光的偏好並非絕對的大於等於，而是只能建立在兩兩配對中的紅≠黑、紅≠綠、黑>綠、紅>亮、黑>亮、綠≠亮。

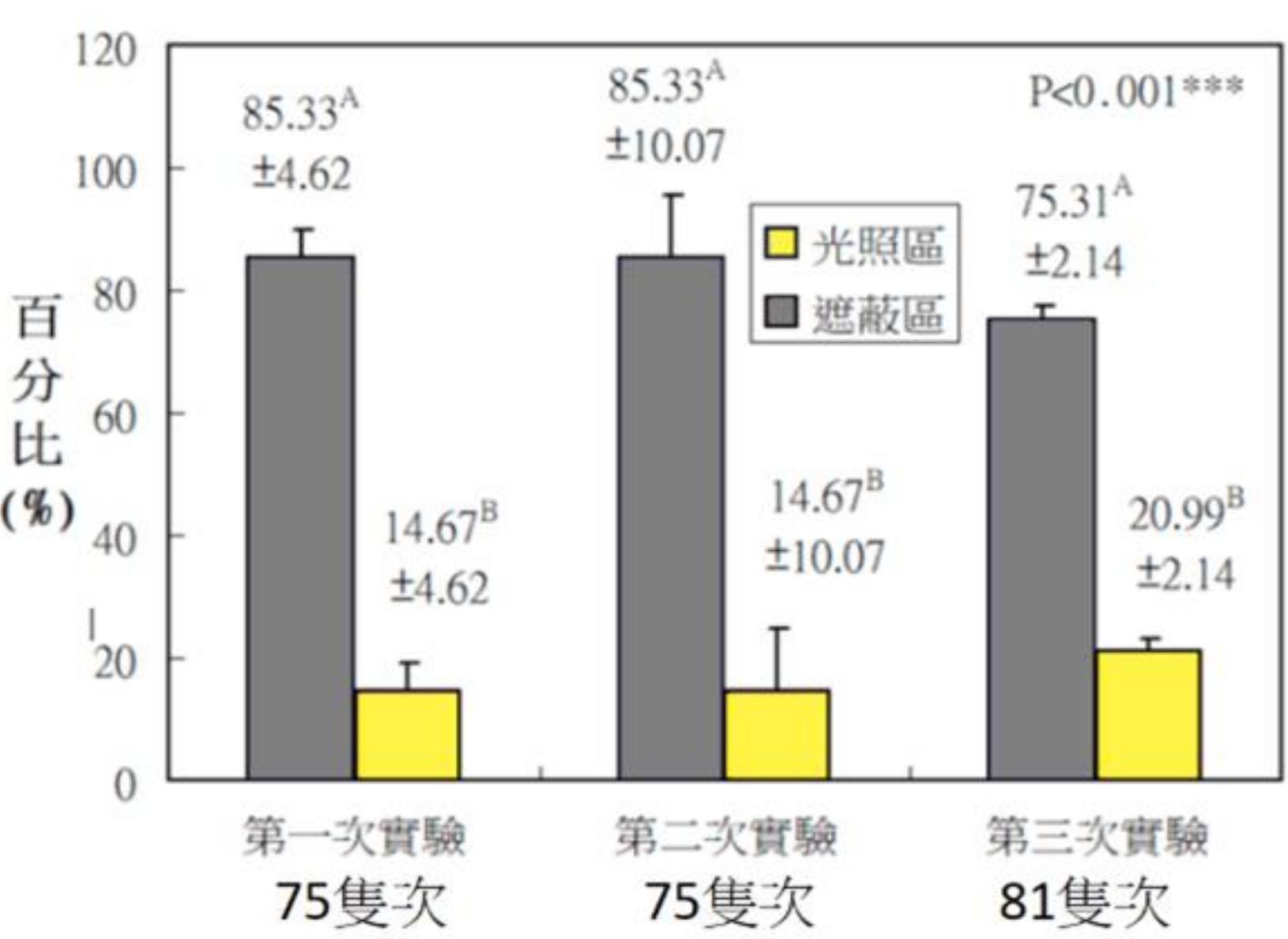


圖36、明暗偏好實驗，田螺分布陰影處與光照處百分比。

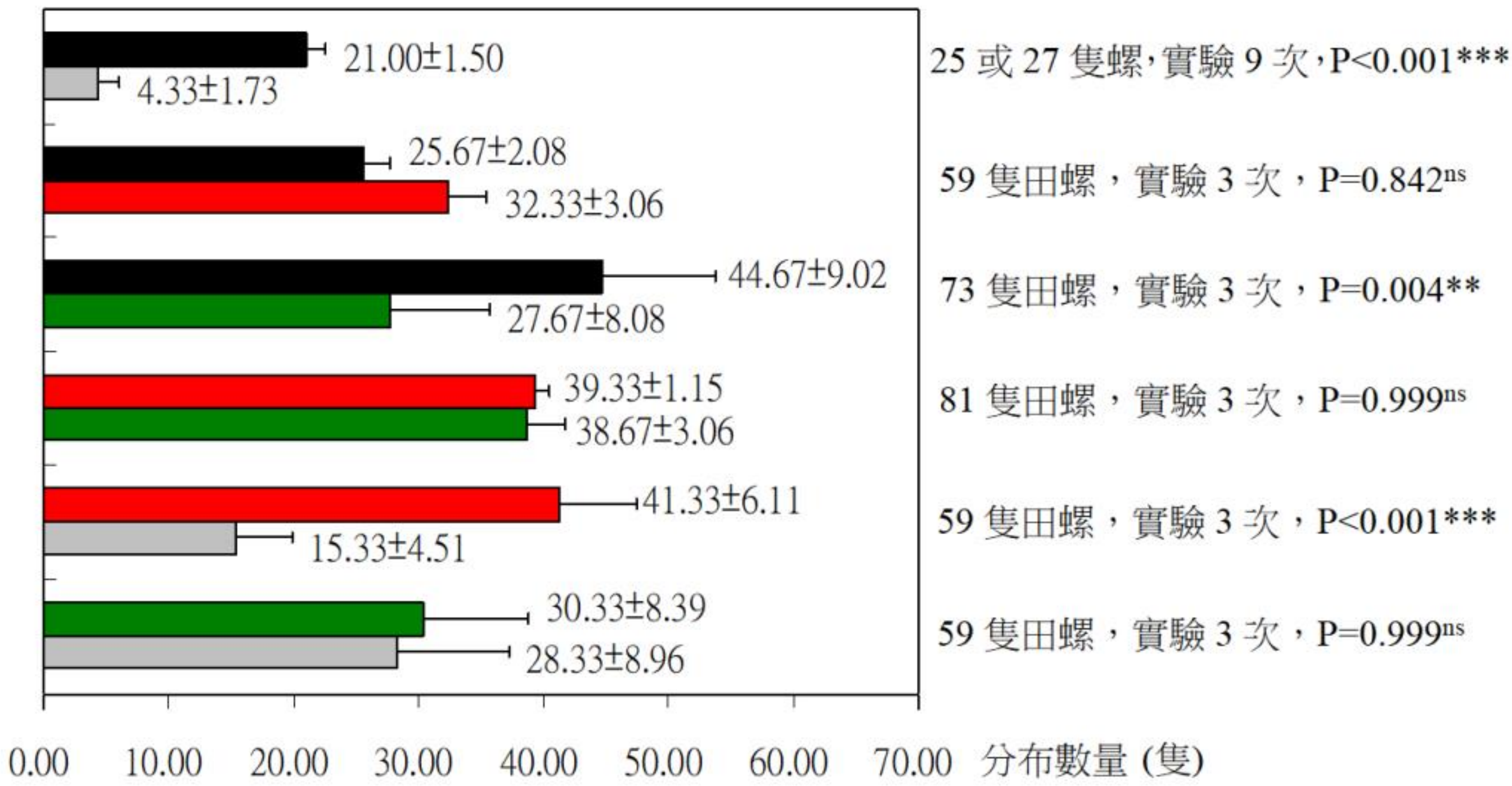
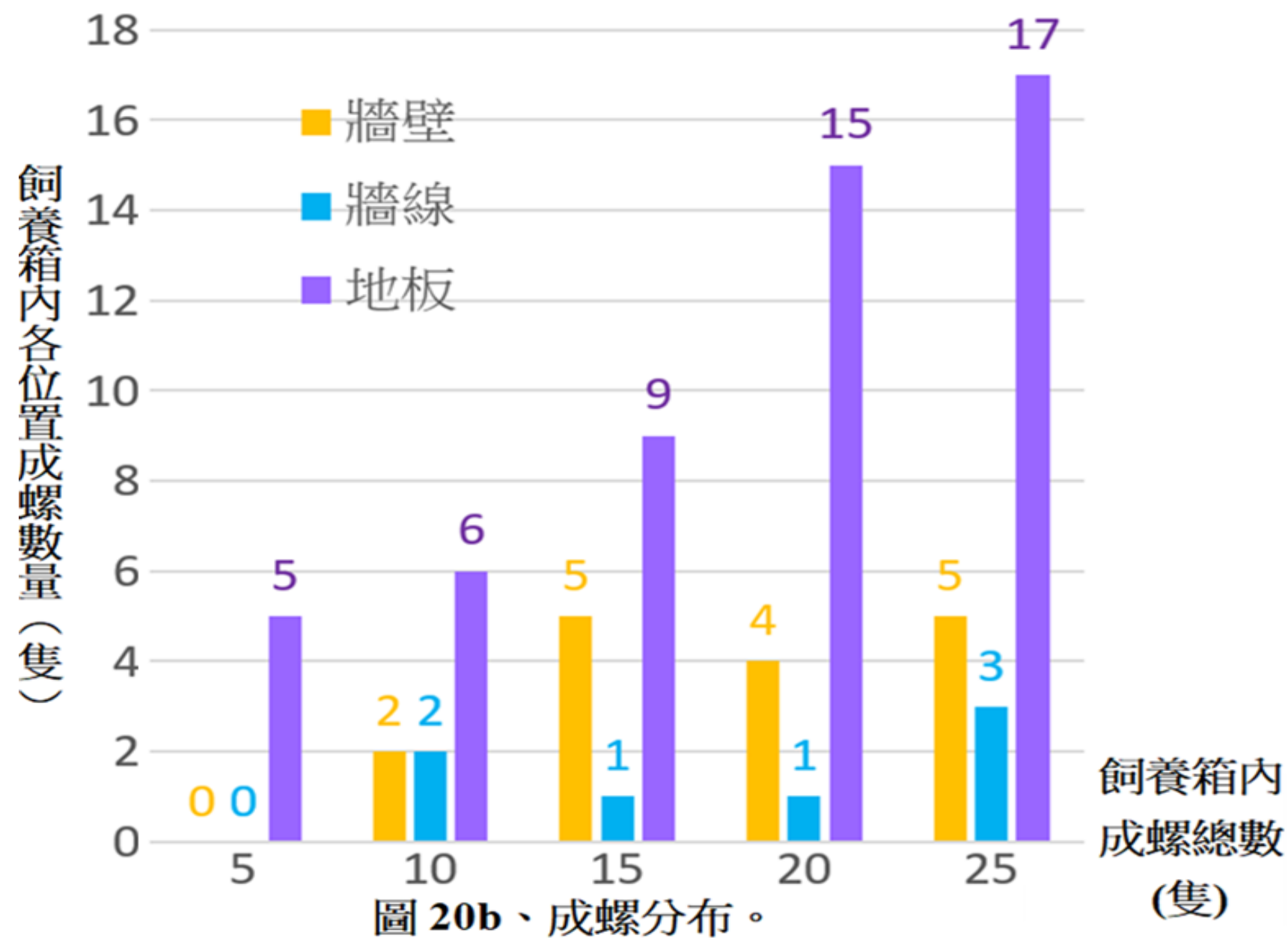


圖 36b、黑暗、白光、紅光、綠光偏好。

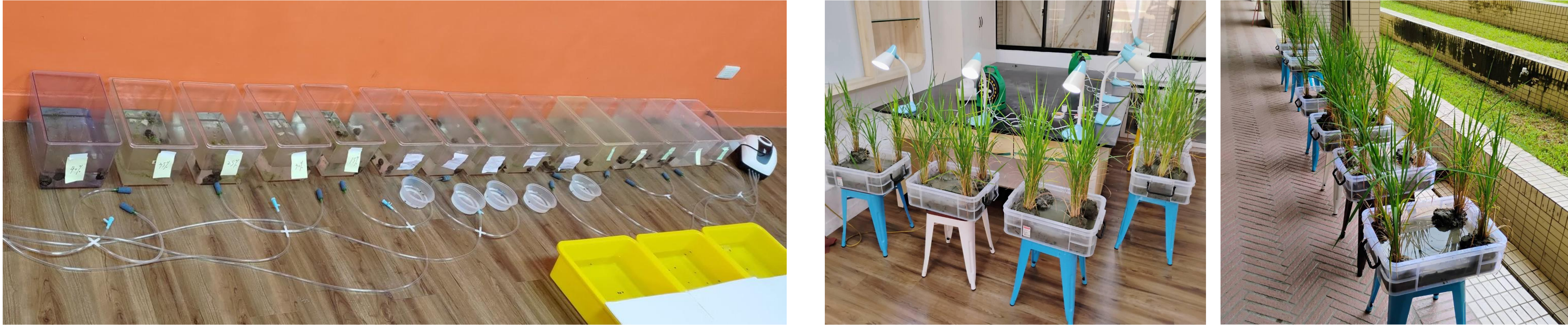
(六) 觀察並量化田螺的「分布」情況

我們好奇田螺喜愛平貼在地或攀附牆壁，我們將飼養箱分成五種空間，發現幼螺則明顯偏好地板，而成螺也是地板較多但有些是翻肚造成。於是，我們進一步設計「有限空間、逐漸增加成螺數量」的實驗，結果顯示，隨著田螺總數漸增，牆壁的數量到達一定值便動態平衡，地板的數量仍漸增。根據延伸實驗的結果，我們得知，成螺和幼螺皆偏好平貼在地板。



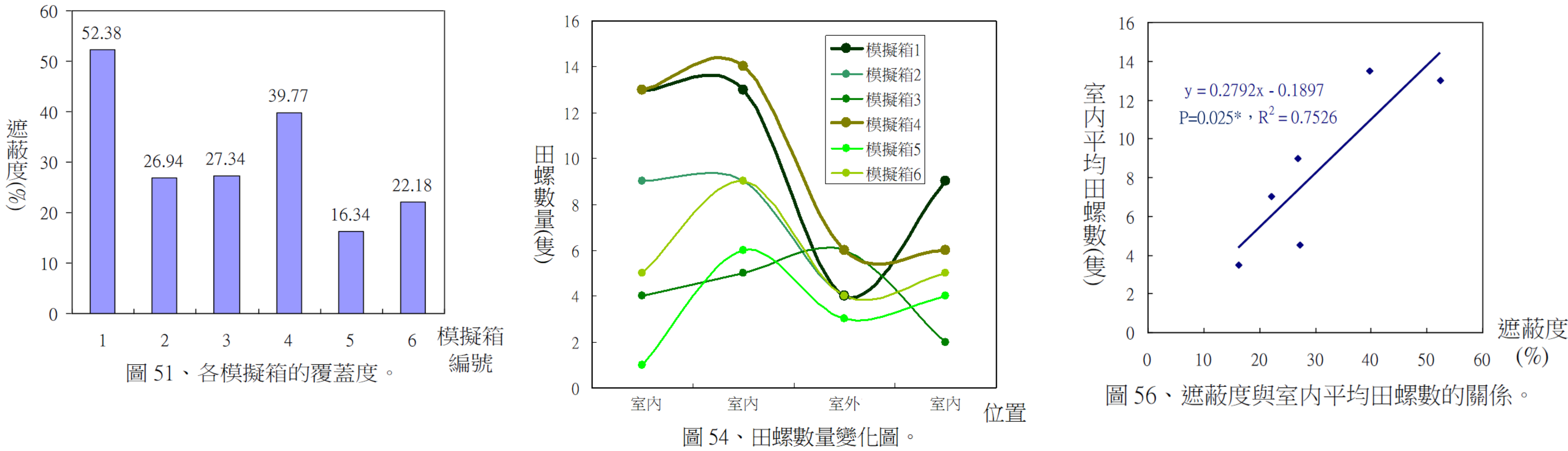
(七) 設計並改良飼養田螺的「飼養箱」

我們在初代飼養箱中設置了兩種水草，田螺原本生長環境需要的砂土堆，由於觀察需求沒有放置，並且，為了防止水面油膜和水中含氧量的下降，我們每日更換隔夜水。後續我們將田螺移置自製的模擬稻田，在模擬箱內配置不同的秧苗數，底下鋪有土層，模擬稻田環境、維持模擬稻田內水量。



(八) 探究「模擬稻株遮蔽度」與「田螺出沒數量」的關係

根據研究(五)和(六)的結果，田螺偏好「平貼」在「暗處」。我們進而開始探討遮蔽度與田螺數量的關係，這可以幫助我們了解田螺喜愛的生活環境。研究結果顯示，田螺出沒數量為室內多於室外，模擬箱遮蔽度與田螺出沒數量呈顯著正相關。



結論

- 整合(二)、(三)、(四)研究結果，我們得出，田螺吃豆渣比例30%的飼料是最適宜的，優於高價格、與人爭糧的麥片組。
- 整合(五)、(六)、(七)、(八)研究結果，田螺喜歡有足夠平面空間、有遮蔽處的生活空間。

表一、比較五組田螺的新生螺數、不良率、平均螺高。

	對照組	25%	30%	35%	40%
新生螺數(隻)	87	102	110	104	81
不良率	0.046	0.108	0	0.067	0.074
平均螺高(mm)	4.00 ^B	3.91 ^B	4.32 ^A	3.86 ^B	3.92 ^B

表二、比較六模擬箱的覆蓋度、室內室外最多田螺數。

模擬箱	1	2	3	4	5	6
覆蓋度(%)	52.38	26.94	27.34	39.77	16.34	22.18
室內最多(隻)	13	9	5	14	6	9
室外最多(隻)	4	4	6	6	3	4

參考文獻

黃思敏 (2020) 。臺灣原生種「圓田螺」保種成功，水試所：還可量產、育成率達九成。
<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-12523.html>

余廷基 (1979) 。田螺養殖。https://kmweb.moa.gov.tw/redirect_files.php?id=121672

孫陸宇 (2012) 。溫度和鹽度對中華圓田螺和銅銹環棱螺標準代謝的影響。<http://hinter.com.cn/Upload/pdf/76.pdf>

邱皓政 (2005) 。**量化研究與統計分析**。五南圖書出版股份有限公司。

中央研究院生物多樣性研究中心 (無日期) 。台灣貝類資料庫。https://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellpic_T.php?science_no=270