

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

佳作

080309

「睡睡」平安-扁蝸牛的休眠行為之探討

學校名稱：高雄市左營區新莊國民小學

作者： 小六 涂欣彤 小六 曾毓喬 小六 張妘溱	指導老師： 陳嘉雯 曾健評
---	-----------------------------

關鍵詞：扁蝸牛、休眠

「睡睡」平安-扁蝸牛的休眠行為之探討

摘要

我們探討扁蝸牛休眠行為發現：一、休眠時殼口有透明或白色薄膜；休眠以垂掛黏壁、倒掛黏壁、殼口向下及殼口向上；攝氏 27 度相對溼度 50%開始休眠，相對溼度 75%時沒有休眠；偏好向光源於深色及光滑面休眠。二、休眠後醒來伸出先以腹足推開薄膜；殼口透膜比白膜先醒來伸出；相對溼度提高與同伴喚醒是影響醒來伸出的要素。三、喚醒行為以接觸薄膜，或爬過螺殼；喚醒行為對同伴影響有薄膜破洞、薄膜變透或伸出爬行；喚醒同伴 1 隻的比例最高；飢餓及飽食組在菜園對同伴都有喚醒行為。四、只有成蝸對成蝸有接觸膜的喚醒行為；距離小於 2cm 時會接觸膜喚醒同伴的比例較高；推測喚醒行為不是為了吃薄膜，可能是為利於族群生存繁殖的利他行為值得進一步研究。

壹、前言

一、研究動機

姨婆的菜園常有菜葉及幼苗被刮食嚴重，有時發現有些蝸牛殼口有白色的薄膜，引起我們的好奇。我們利用蝸牛照片查詢「台灣蝸牛圖鑑」比對外形特徵，並透過「蝸園-台灣陸生蝸牛交流園地」社團請教專家，知道這是扁蝸牛。自然科學五下的「動物世界面面觀」探討動物的生存行為，我們想瞭解扁蝸牛殼口為什麼有薄膜？和生存有什麼關係？研究過程發現先醒的扁蝸牛會喚醒休眠的同伴，真是奇妙！扁蝸牛會思考嗎？牠的休眠行為與喚醒行為有什麼機制？有趣的問題等著我們去探究。

二、研究目的

- (一)探討扁蝸牛的休眠行為
- (二)探討扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動
- (三)探討扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為
- (四)探究影響扁蝸牛喚醒行為的選擇差異

三、文獻探討

(一)認識扁蝸牛

扁蝸牛(Flat snail)，學名是 *Bradybaena similaris* (Férussac, 1821)，分類階層為動物界 Animalia/軟體動物門 Mollusca/腹足綱 Gastropoda/柄眼目 Stylommatophora/扁蝸牛科 Bradybaenidae/扁蝸牛屬 *Bradybaena*(行政院農委會林業試驗所、陳俊宏，2020.06.29)。

扁蝸牛貝殼成扁球形，殼口馬蹄形，螺層 5~6 層，螺唇右旋，體黃褐色或紅褐色而有光澤，頭部具有兩對觸角，沒有口蓋(行政院農業委員會農業試驗所)。殼中小型，本種殼的形態變異大。幼蝸殼口的唇緣薄且不整齊；成蝸唇緣變厚，整齊平滑且略為向外反捲，由此可區分幼蝸及成蝸(章加寶、陳武揚 1989)。

扁蝸牛喜食植株幼嫩組織，如嫩葉、新芽、根端、花蕾、花瓣等部位，造成不規則之傷痕或孔洞，而影響植株之生長及品質，體藏於介質中不易查覺，故防治困難(行政院農業委員會農業試驗所)。

(二)扁蝸牛的休眠行為

當環境變得太乾、太冷或不適合活動時蝸牛會選擇休眠，休眠地點多為隱密處；休眠時，有肺類蝸牛會分泌黏液將殼黏在物體上，如休眠時間延長，會使用黏液在殼口形成薄膜渡過休眠期(謝伯娟、黃重期、吳書平，2006)。

扁蝸牛棲息範圍廣泛，如農田、住宅區潮濕地等，活動與雨季有關，乾早期呈休眠狀態，雨期與其活動有關，每年以 4~11 月為其活動高峰時期，遇到惡劣環境時，可行休眠的狀態，在蝸口處分泌白色黏膜將其封閉預防水分散失渡過不良環境(行政院農委會林業試驗所、陳俊宏，2020.06.29)。扁蝸牛於天氣太乾燥或冬天太冷時，會呈現休眠狀態，春暖時即開始活動(行政院農業委員會農業試驗所)。

我們找到 2 篇有討論扁蝸牛休眠的報告，摘要其與本研究相關之結論如下；

1.葡萄園扁蝸牛之形態及其生活習性觀察(章加寶、陳武揚 1989)

- (1)扁蝸牛對於自然環境適應力極強，但夏季乾旱或酷暑時或冬季乾旱低溫時扁蝸牛隨時隨地可進入靜止(quiescence)狀態，靜止期之久暫隨乾旱期之長短而定。

(2)休眠時其肉體均縮入殼內，在殼口形成一層白色半透明之臘質薄膜與外界隔離，藉以防高、低溫與乾燥，並可防小型捕食性動物之襲擊。除冬眠、夏眠外，平時如遇惡劣環境亦可隨時進入休眠狀態。

2. 馱著小房子去旅行的小蝸牛(蔡昀臻、孫卉馨、郭祐寧、吳沛翰、黃德綸，2020)

(1)小蝸牛平常住在隱密的樹叢、石頭堆細縫中，及花盆底下的空隙等。身體經常躲在殼內，分泌一層白色的碳酸鈣物質把殼口蓋住，防止其他小動物的侵害。

(2)等到一場雨，地面潮濕，樹木、石頭都被清洗了，小蝸牛就會打開殼口，伸出大觸角四處搖擺、探測外面的景物，再把腹足伸出殼外，開始活動覓食。

目前針對扁蝸牛休眠行為的研究較少，由已知的相關文獻歸納當環境的濕度、溫度太低或不適合活動時，蝸牛會休眠，休眠地點多為隱密處；休眠時扁蝸牛會分泌黏液在殼口形成薄膜渡過休眠期(謝伯娟、黃重期、吳書平，2006；行政院農委會林業試驗所、陳俊宏，2020.06.29；行政院農業委員會農業試驗所)。然而，對於扁蝸牛的休眠習性，及休眠後醒來伸出活動的行為，缺乏較詳細介紹；尤其，研究過程發現先醒來的扁蝸牛有喚醒休眠同伴的行為，我們覺得很有趣也很好奇，這問題目前尚未找到相關文獻探討，希望透過本研究能進一步探究與瞭解扁蝸牛對休眠同伴喚醒行為的奧秘。

四、名詞釋義

(一)休眠行為：本研究所探討之休眠行為，是指扁蝸牛當遇到不適合生存的環境時，隨時將身體縮入螺殼內，殼口結薄膜進入休眠狀態，待環境條件適合時，再從殼口伸出腹足與頭部開始活動的行為。

(二)扁蝸牛幼蝸：本研究所探討之幼蝸，是包括螺層有 4.5-4.75 圈，殼口的唇緣薄，且尚未向外翻之扁蝸牛的幼蝸。

(三)喚醒行為：本研究所探討扁蝸牛對同伴的喚醒行為，是研究過程多次發現休眠後先醒來的扁蝸牛，會將頭接觸休眠同伴殼口薄膜的行為，因為此行為有促進影響同伴從休眠狀態醒來伸出活動，因此本研究稱為喚醒行為。

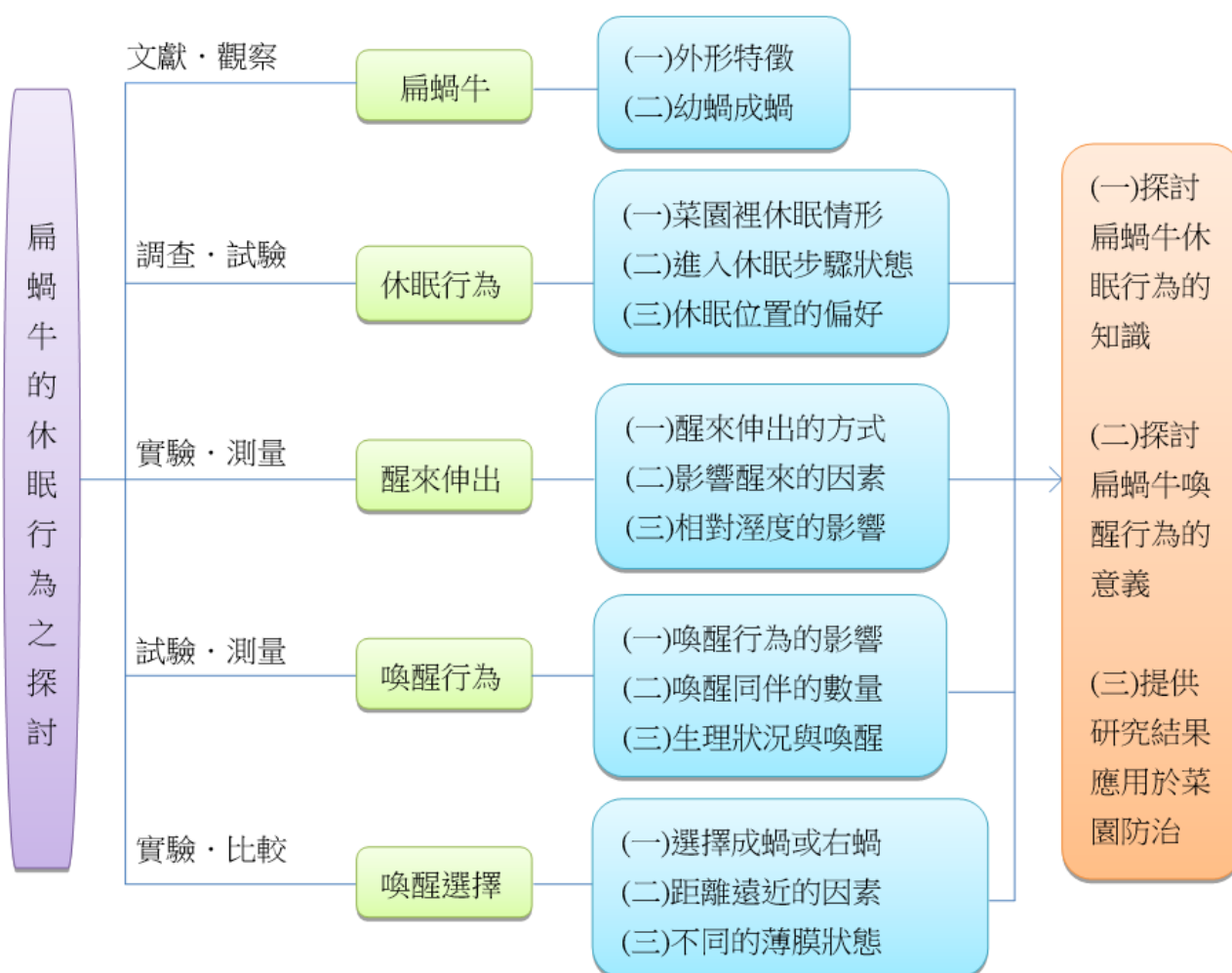
貳、研究設備與器材

表(1)研究設備與器材

飼養器材	塑膠飼養盒、大小飼養箱、多個透明飼養罐、菜葉
記錄器材	手機相機、數位相機、錄影機、腳架、電腦、excel 軟體
觀察器材	解剖顯微鏡、光學顯微鏡、手機顯微鏡
測量器材	無線數位溫、濕度、光照數據收集感應器；游標尺、碼表、量尺
實驗器材	正立方透明箱、透明罐、噴水瓶、透明塑膠杯
其他	黑紙、色紙、不同粗細砂紙、鑷子、大紙箱、標籤貼紙等

參、研究方法與過程

一、研究架構圖



圖(1)研究架構圖

二、研究過程與步驟

(一) 戶外調查與採集

在親戚的菜園、多肉園及住家庭院盆栽採集扁蝸牛，調查並觀察記錄扁蝸牛的數量、休眠狀態與環境的溫度與相對溼度。



(二) 飼養觀察

在教室用透明塑膠方箱、飼養箱及圓柱塑膠罐飼養扁蝸牛，每天定時觀察紀錄扁蝸牛的休眠行為與習性。



(三) 測量統計

- 1.用數位濕度器測量溫、濕度變化，觀察統計扁蝸牛休眠及殼口薄膜狀態。
- 2.用顯微鏡觀察測量不同大小扁蝸牛的螺層數及是否殼外翻，判斷成蝸或幼蝸。
- 3.觀察統計每次透明飼養盒內扁蝸牛休眠的位置、方式、群居及薄膜狀態的數量。
- 4.觀察統計休眠的扁蝸牛，噴水前後濕度變化，休眠與伸出腹足的時間及數量。
- 5.同伴喚醒比例：相對濕度變化時，觀察 50 隻扁蝸牛從休眠漸漸醒來伸出活動，統計扁蝸牛自己醒來或是被同伴喚醒，伸出活動的數量比例。



(四) 試驗與實驗

1. 休眠位置的偏好：


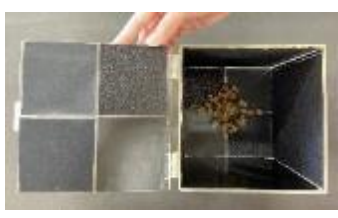


- (1)盆栽：飼養扁蝸牛 35 隻，分別以無加蓋、藍色及粉紅色珍珠板蓋在上方，統計隔天早上棲息或休眠於珍珠板上的數量。
- (2)顏色：於透明正方體實驗箱，第一次實驗，貼上黑、棕、綠及藍色的色紙，放入扁蝸牛 20 隻，各紀錄三次不同時段扁蝸牛休眠於各色紙位置的數量。
- (3)粗細：於透明正方體實驗箱，分別貼上大粗(No:80)、中粗(No:180)、細沙(No:240)及光臘的紙，放入扁蝸牛 30 隻，紀錄三次不同時段，扁蝸牛休眠於粗、細不同位置的數量。

2. 相對濕度的影響：

用數位感應器收集溫濕度數據紀錄並觀察扁蝸牛休眠情形；噴水讓相對濕度變化，觀察並統計相對濕度變化對扁蝸牛醒來伸出腹足活動的影響。

3. 同伴喚醒行為的因素與影響：

- (1)成蝸與幼蝸喚醒行為差異：將實驗組別分為成蝸對成蝸、成蝸對幼蝸、幼蝸對幼蝸、幼蝸對成蝸，四組各 10 隻(此實驗的幼蝸指殼層 4.5-4.75 圈，殼口未外翻)，將測試喚醒同伴放至於距離 1cm 處，分別觀察統計有喚醒同伴的行為與數量。
- (2)成蝸的喚醒行為重要因素：以室內及菜園為場地，分別進行下列試驗與實驗：成蝸選擇對另一成蝸或幼蝸的喚醒同伴行為，統計比較數量與行為差異；成蝸選擇對另一有薄膜休眠成蝸的喚醒比例；成蝸選擇對單片白膜、食物的喚醒比例；飽食組與飢餓組對休眠同伴喚醒行為，有無差異。
- (3)對幼蝸休眠行為可能的影響：將三隻幼蝸(螺層 4.5-4.75 圈)，各分別與其他休眠 9 隻成蝸一起觀察，比較統計 5 次醒來伸出活動的排序。

			
溼度變化休眠實驗	休眠接觸面粗細實驗	選擇成蝸喚醒實驗	菜園喚醒行為試驗

(五)研究範圍

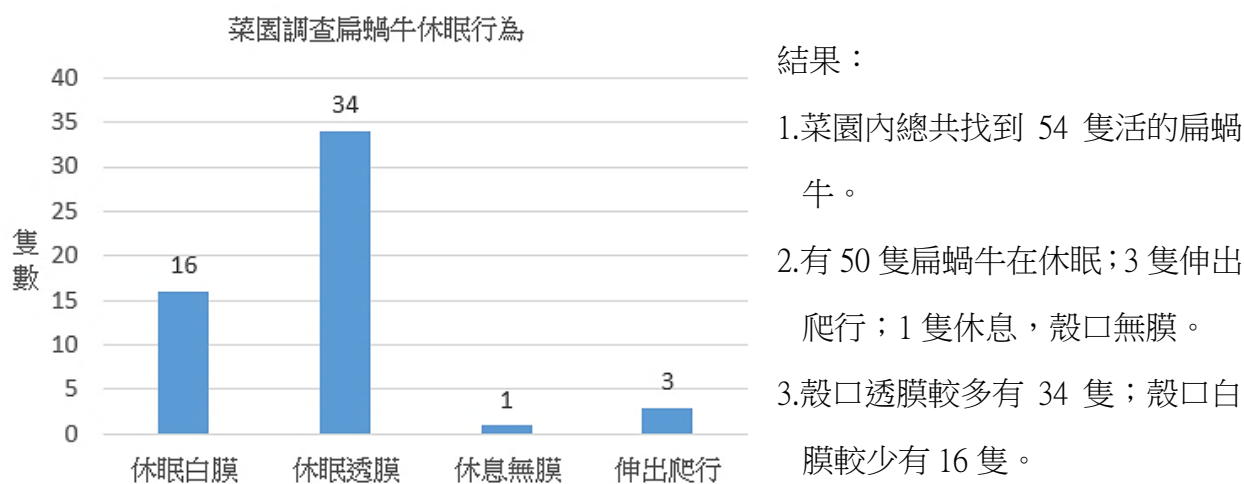
本研究以室內飼養扁蝸牛進行觀察、試驗與實驗，並於戶外菜園實地調查與試驗，所得結果提出研究報告，作為提供扁蝸牛休眠行為探究與防治之參考。

肆、研究結果

一、扁蝸牛的休眠行為

(一)菜園裡扁蝸牛的休眠行為

休眠是蝸牛的一種行為，它通過對整體生理學進行一系列修改來確保牠們在不利的環境下生存，在此期間蝸牛形成一個減少水分流失的膜片(Panayiota Kotsakiozi 等，2012)。我們想瞭解菜園裡扁蝸牛休眠的結薄膜情形，到採集扁蝸牛的地點，實地調查網室菜園(12m*6.5m)內的扁蝸牛休眠情形，時間約上午 10:30，溫度 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計扁蝸牛在菜園的休眠情形，統計結果如下圖：



圖(2)菜園調查扁蝸牛休眠行為

(二)常見的休眠狀態

1.休眠時殼口的薄膜狀態

我們觀察扁蝸牛殼口休眠薄膜的狀態，主要可分類為下列四種：(1)殼口有黏液透膜；(2)殼口有較多層的黏液透膜；(3)殼口有形成白色薄膜；(4)殼口有外透膜加內白膜，如圖(2)。殼口的臘質薄膜在肺孔處仍留有一呼吸孔以利呼吸(章加寶、

陳武揚 1989)。我們推測扁蝸牛休眠時透過薄膜仍可感受外在環境的變化，可對刺激作應對反應。

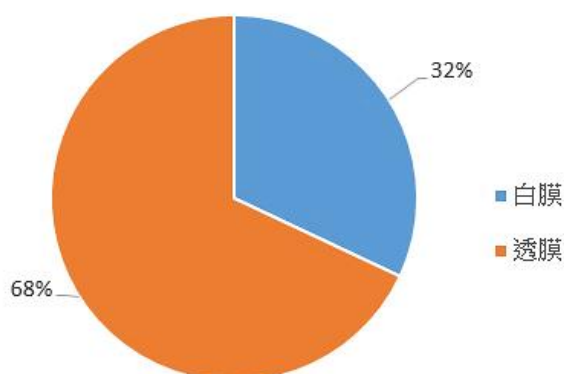
			
有透膜看不見腹足	有較多層的透膜	殼口形成白色薄膜	內有白膜外加透膜
本文簡稱透膜		本文簡稱白膜	

圖(3)常見休眠殼口薄膜的狀態

2.菜園休眠扁蝸牛的殼口薄膜

我們在網室菜園內(12m*6.5m)採集 50 隻正休眠的扁蝸牛，溫度攝氏 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計殼口薄膜的比例，統計如圖(4)：

扁蝸牛菜園休眠殼口薄膜的狀態



結果：有 68%是透膜；32%是白膜。

討論：採集時間是上午 10:00，推測因離扁蝸牛出來吃食後休眠結膜時間不長，因此以結透膜的比例較高。

圖(4)菜園裡休眠殼口薄膜的狀態

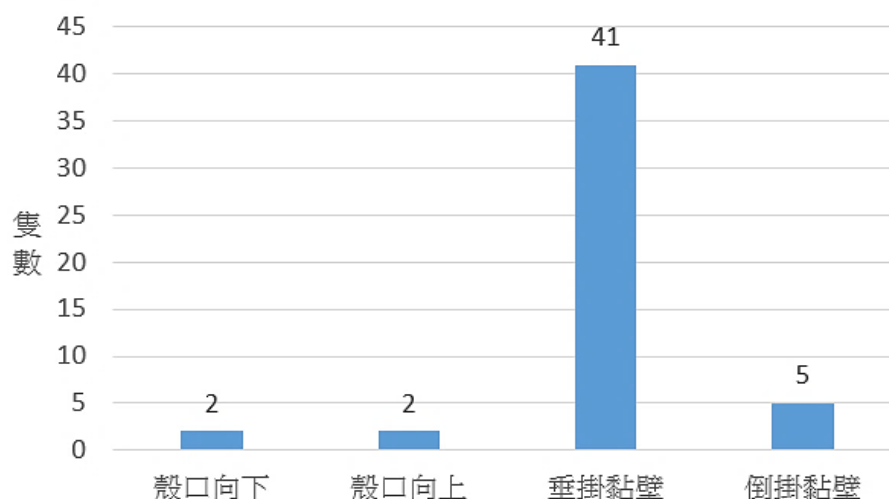
(三)不同的休眠姿態

我們好奇在戶外與室內扁蝸牛的休眠姿態習性是否有不同，進行相關調查。

1.網室菜園內不同的休眠姿態

網室菜園內(長 12m*寬 6.5m)觀察 50 隻休眠的扁蝸牛，溫度 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計不同的休眠姿態，統計如圖(5)：

扁蝸牛菜園休眠姿勢



結果：

共 50 隻扁蝸牛在休眠，以垂掛黏壁較多有 41 隻；倒掛黏壁較少有 5 隻；2 隻殼口向下；2 隻殼口向上。

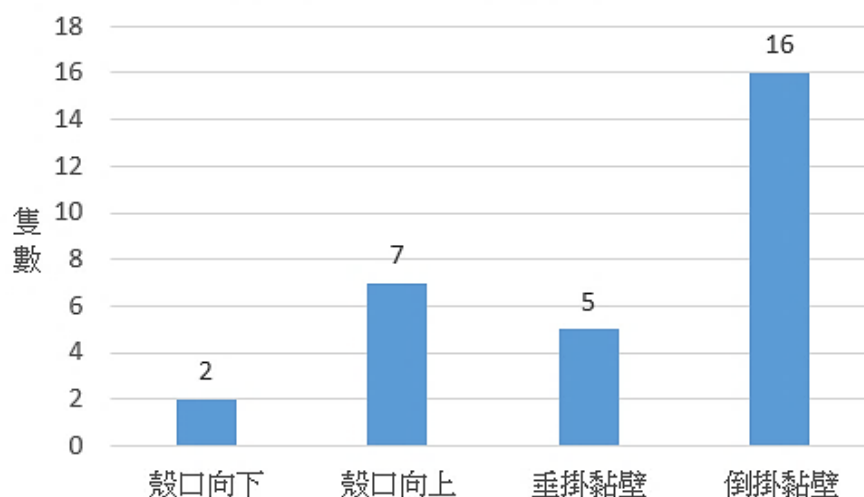
圖(5)扁蝸牛菜園裡休眠姿勢



2. 飼養箱內不同的休眠姿態

觀察記錄 30 隻不同休眠方式狀態，統計 3 次平均結果如下圖(6)：

扁蝸牛飼養箱內休眠姿勢



結果：

飼養箱內最多的休眠姿態，是倒掛黏壁有超過半數；最少是殼口朝下，與戶外不同。

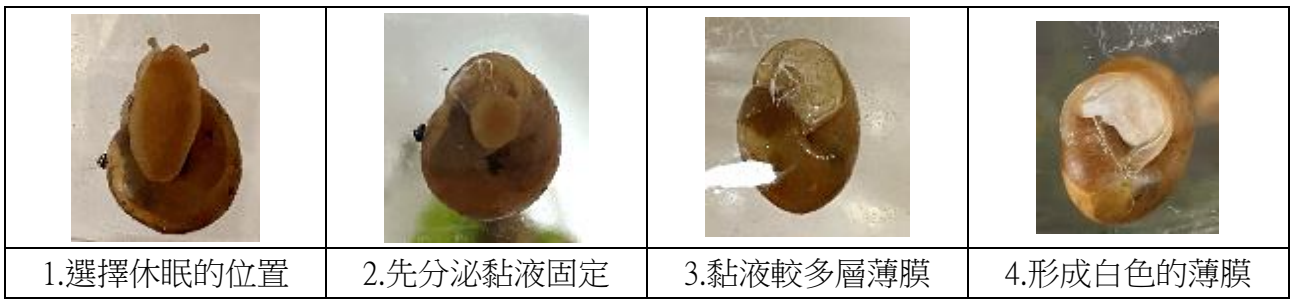
討論：

飼養箱內螺殼口朝上較多；推測與生活環境不同有關。

圖(6)扁蝸牛飼養箱內休眠姿勢

(四) 進入休眠的步驟

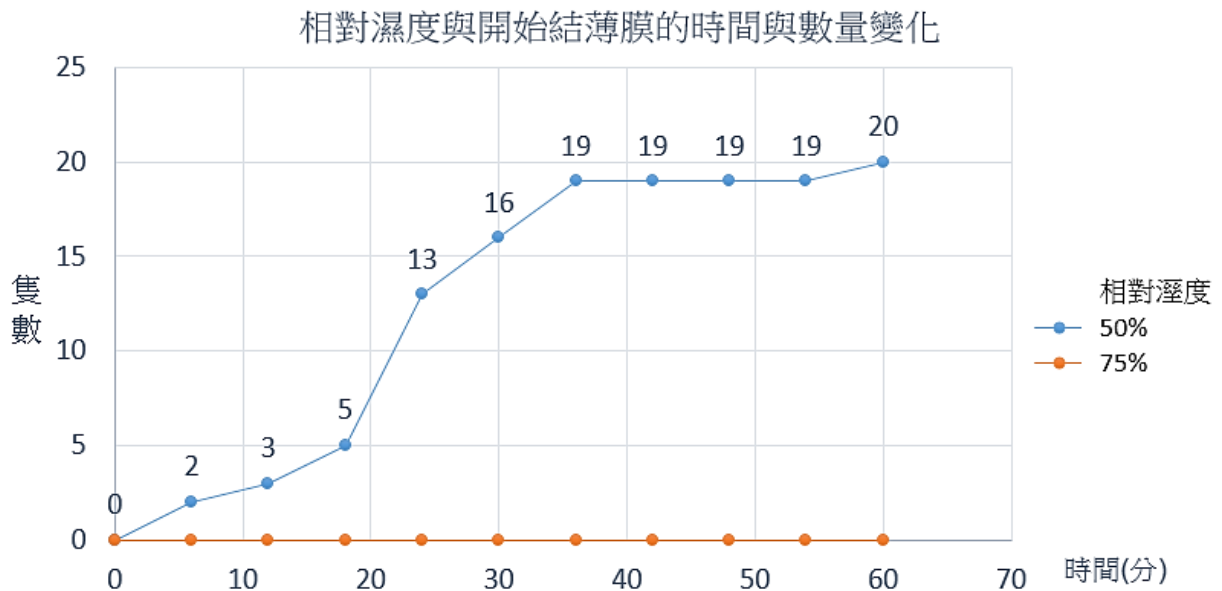
1. 我們觀察扁蝸牛遇到不適合環境進入休眠的步驟，歸納主要有下列四個步驟：(1) 選擇休眠的位置；(2) 先分泌黏液固定；(3) 黏液較多層薄膜；(4) 形成白色的薄膜。



圖(7)扁蝸牛進入休眠的步驟

2.相對濕度與開始結膜休眠

研究過程發現教室平常相對溼度較低，扁蝸牛常處於休眠狀態。我們取 20 隻扁蝸牛於溫度平均攝氏 27 度，分別於相對濕度平均約 50% 及 75% 二種環境時，觀察扁蝸牛開始休眠的數量，每 6 分鐘紀錄休眠數量，統計結果如下圖(8)：



圖(8)相對濕度與開始結膜的時間與數量變化

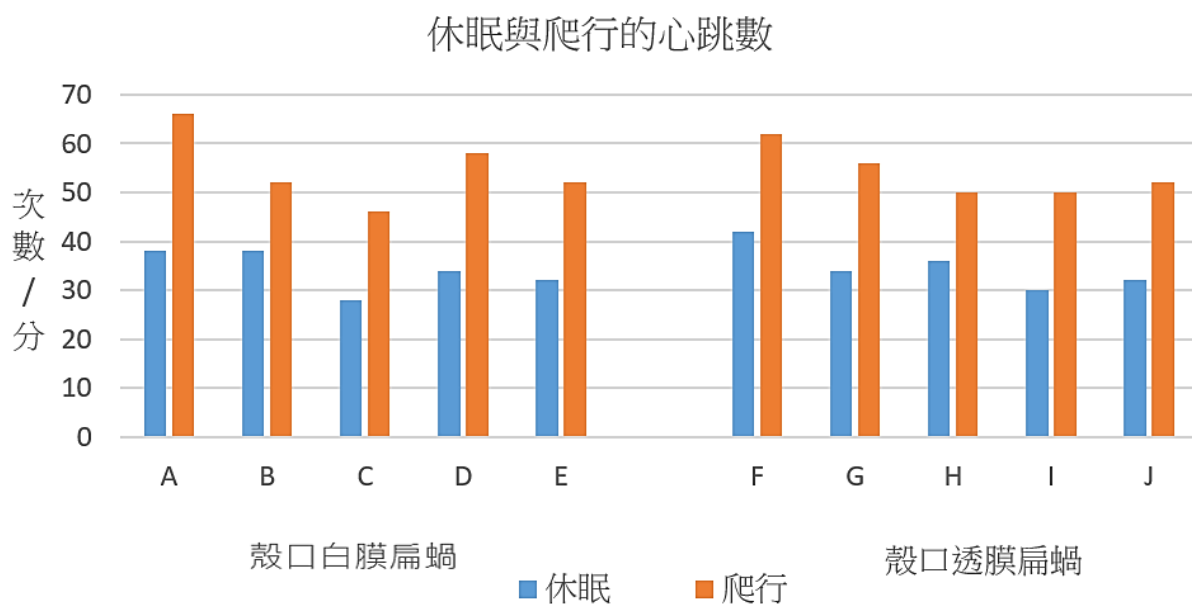
結果：(1)相對濕度平均約 50% 時，從 6 分鐘後扁蝸牛開始休眠，60 分鐘後 20 隻都開始結膜休眠。

(2)相對濕度平均約 75% 時，60 分鐘後 20 隻都沒有結膜休眠。

討論：扁蝸牛一次休眠結膜約需 10-14 小時，絕食條件下結膜有 6 層(章加寶、陳武揚 1989)。我們觀察從開始結膜約 1 小時有結白膜，可能其厚度及溫溼度環境有差異；推測扁蝸牛的休眠結膜與醒來伸出活動的時間縮短，可以較即時反應，休眠行為能應對不適合環境及生理需求的變化，有助於在環境中生存。

(五)扁蝸牛休眠與爬行時心跳差異

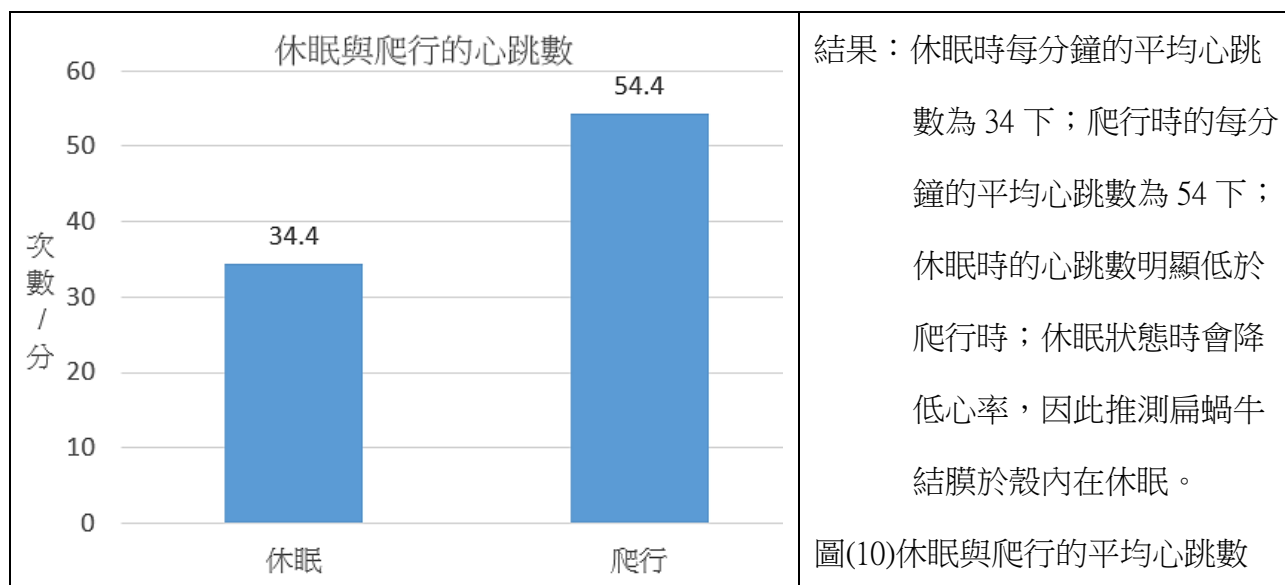
1.測量 10 隻休眠扁蝸牛，殼口白膜及透膜各 5 隻，每隻休眠及爬行時的每分鐘的心跳數，每隻各測量 3 次平均，統計如下圖(9)：



圖(9)休眠與爬行的心跳數

結果：殼口白膜及透膜各 5 隻的每分鐘心跳數，在休眠及爬行時都有明顯差異。

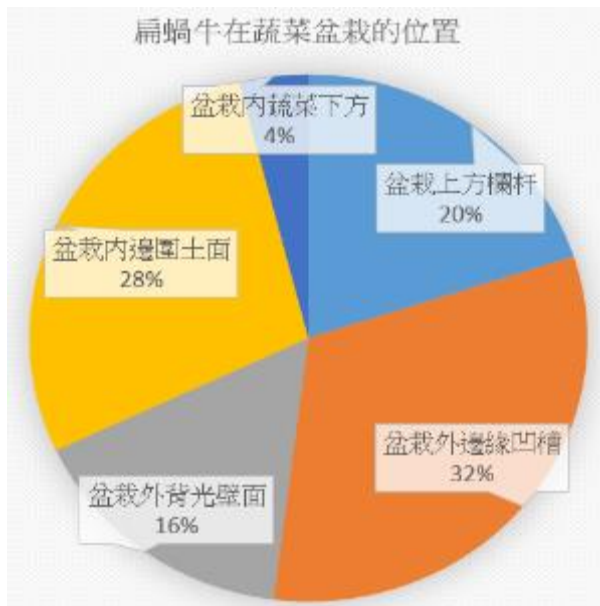
2.將測量 10 隻休眠扁蝸牛，休眠及爬行時的心跳數，各測量 3 次平均，統計如圖(10)：



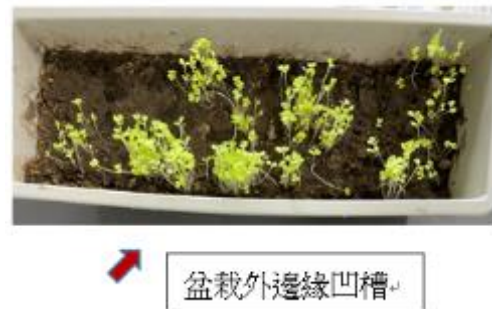
(六)扁蝸牛休眠的偏好

1.扁蝸牛在種菜盆栽的休眠偏好

在教室陽台的種菜盆栽中央放置扁蝸牛 30 隻，隔天早上統計棲息或休眠於盆栽各處的數量，統計結果如圖(11)：



結果：扁蝸牛在種菜盆栽不同位置休眠的比例，以盆栽外邊緣凹槽的比例最高有 32%；其次是盆栽內邊圍的土面有 28%；最少的是平面盆栽內蔬菜下方有 4%。



圖(11)扁蝸牛在盆栽不同位置休眠的比例

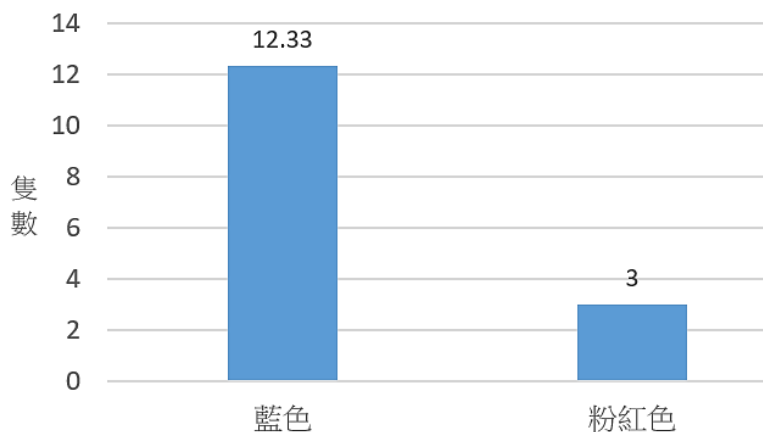
討論：

- (1)扁蝸牛活動後選擇於盆栽外邊緣凹槽及盆栽內邊圍的比例最高，此處離蔬菜位置近，又是隱蔽又避光的位置，是扁蝸牛偏好選擇休眠的位置。
- (2)盆栽上方的欄杆也有 20%的蝸牛休眠，推測是扁蝸牛向上爬的習性，遇到太陽出來且相對濕度變低，就直接在欄杆上休眠。
- (3)直接在菜葉上或下方休眠的蝸牛最少，所以白天不容易在蔬菜附近發現扁蝸牛。

2.扁蝸牛對顏色的偏好

在教室盆栽飼養扁蝸牛 35 隻，分別以無加蓋、藍色及粉紅色珍珠板蓋在上方，統計隔天早上棲息或休眠於珍珠板上的數量，測量 3 天平均統計結果如圖(12)：

棲息與接觸面顏色的偏好

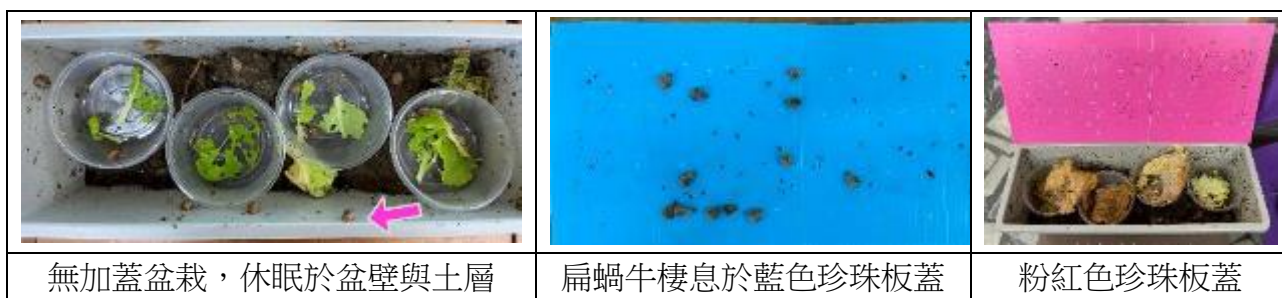


圖(12)棲息與接觸面顏色的偏好

結果：

- 1.在藍色珍珠板棲息或休眠較多有 12 隻；在粉紅色有 3 隻。
- 2.約有 34%的扁蝸牛倒掛在藍色珍珠板棲息或休眠。
- 3.無加蓋的盆栽，蝸牛分別休眠於盆壁與土層。

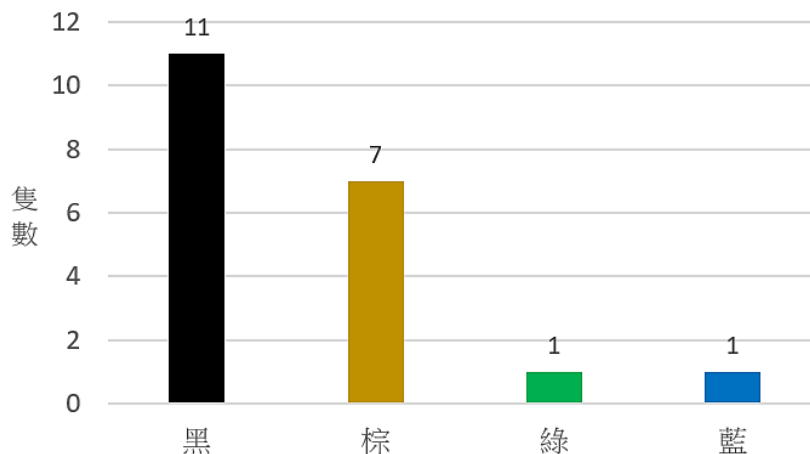
討論：扁蝸牛較偏好短波長之藍色(章加寶、陳武揚 1989)。可用於誘捕防治扁蝸牛參考。



3.扁蝸牛對休眠接觸面顏色的偏好

放入扁蝸牛 20 隻在透明正方體實驗箱(長 15cm 寬 15cm 高 15cm)內，我們選擇扁蝸牛食物的綠色，生存環境的棕色及黑色，及文獻提到對扁蝸牛最具引誘力的藍色(章加寶、陳武揚 1989)，分別貼上黑、棕、綠及藍色的色紙，記錄三次不同時段，扁蝸牛休眠於各色紙位置的三次平均數量，統計結果如圖(13)：

休眠的顏色偏好

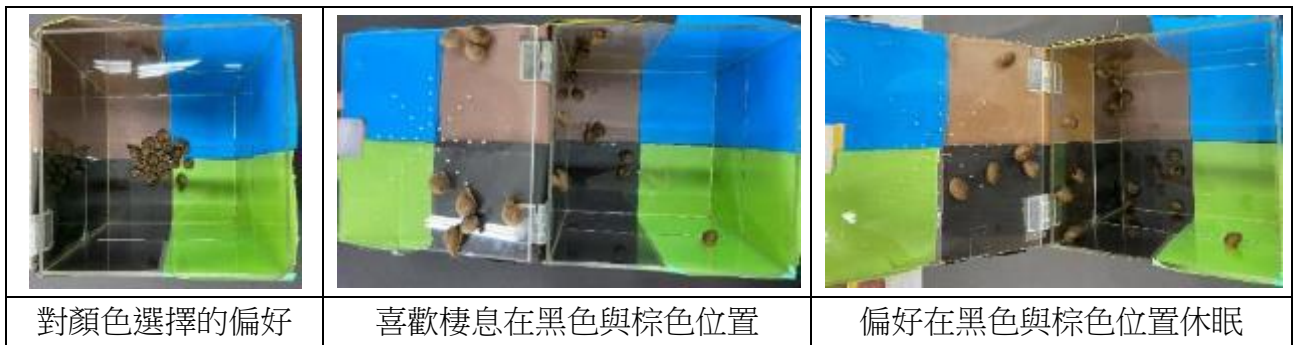


圖(13)對休眠接觸面顏色的偏好

結果：最多扁蝸牛在黑色紙休

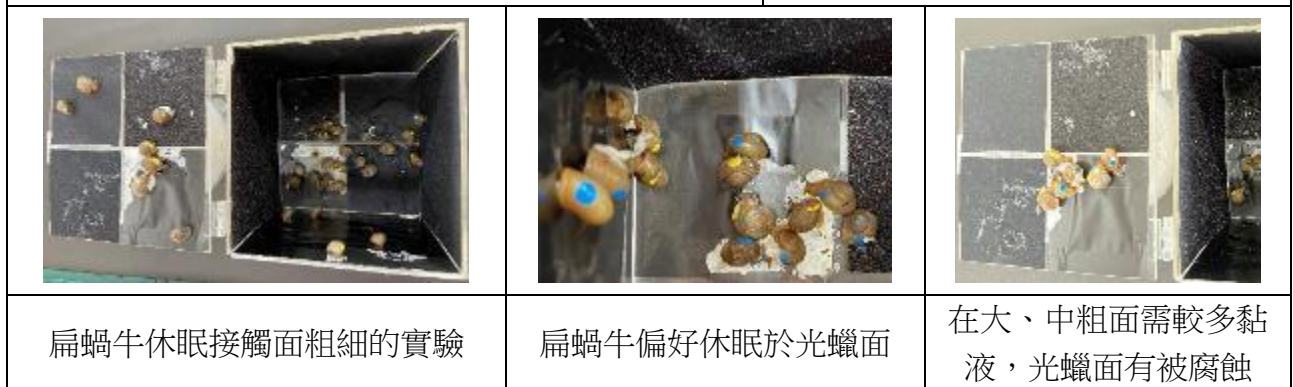
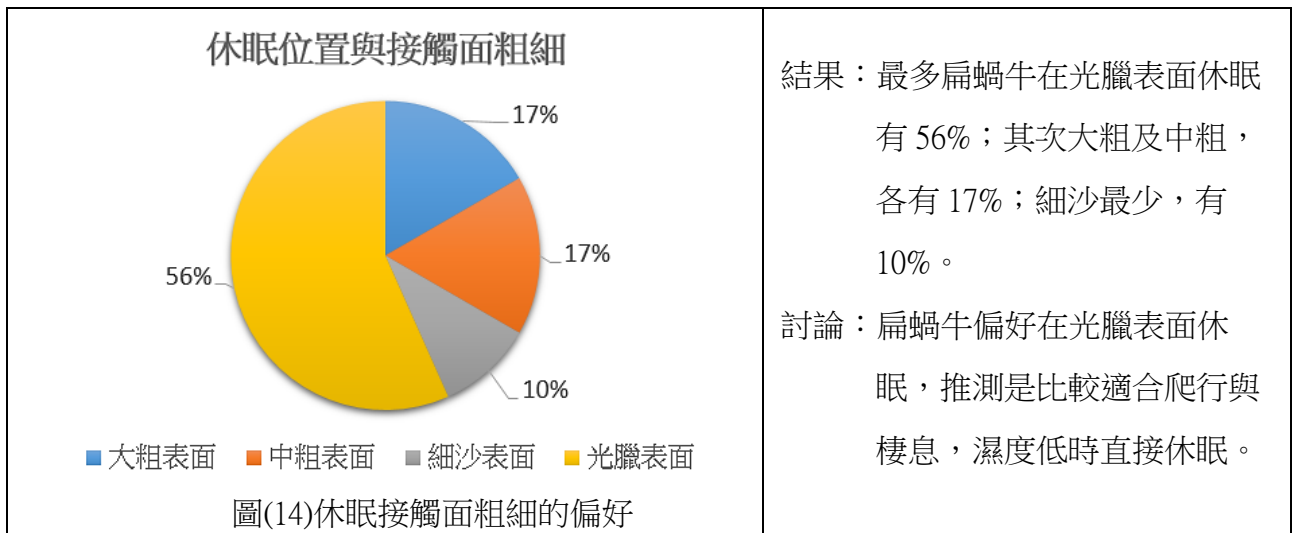
眠有 11 隻(55%)；其次是棕色有 7 隻(35%)；綠色及藍色最少，各有 1 隻(5%)。

討論：研究過程也發現扁蝸牛離開飼養環境會選擇黑色物體休眠。



4. 扁蝸牛對休眠接觸面粗細的偏好

我們想瞭解扁蝸牛休眠時對接觸面粗細是否有不同偏好？放入扁蝸牛 30 隻於透明正方體實驗箱，分別貼上大粗、中粗、細沙及光臘的紙，觀察扁蝸牛休眠於粗、細不同位置的數量，紀錄三次不同時段，統計結果如圖(14)：



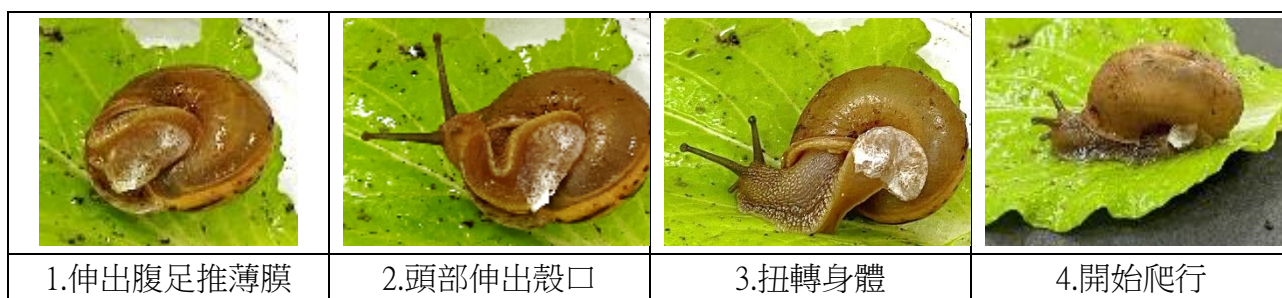
二、扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動

(一) 扁蝸牛休眠後醒來伸出活動

1. 休眠後醒來伸出活動的步驟

我們觀察扁蝸牛休眠後伸出身體活動，大多有下列四個步驟：(1)伸出腹足推薄

膜；(2)頭部伸出殼口；(3)扭轉身體；(4)開始爬行。



圖(15)休眠後再伸出身體的步驟

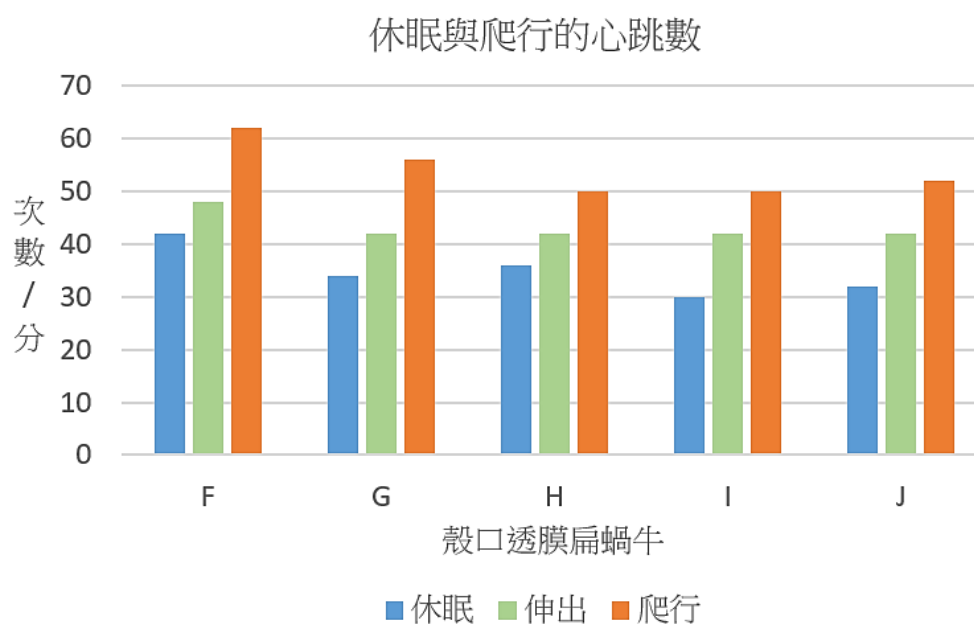
2.休眠後醒來對於薄膜的處理方式

扁蝸牛休眠後醒來伸出活動，對於白色薄膜的處理方式，主要步驟是：(1)用腹足推開薄膜；(2)刮食可能黏在殼口的部分薄膜；(3)薄膜黏在殼上或掉在地上。



(二)休眠、伸出及爬行時的心跳數

扁蝸牛休眠、伸出及爬行時的心跳數有差異嗎？測量 5 隻休眠殼口透膜扁蝸牛，記錄每隻休眠、伸出及爬行時的心跳數，各測量 3 次平均心跳數統計如下圖：

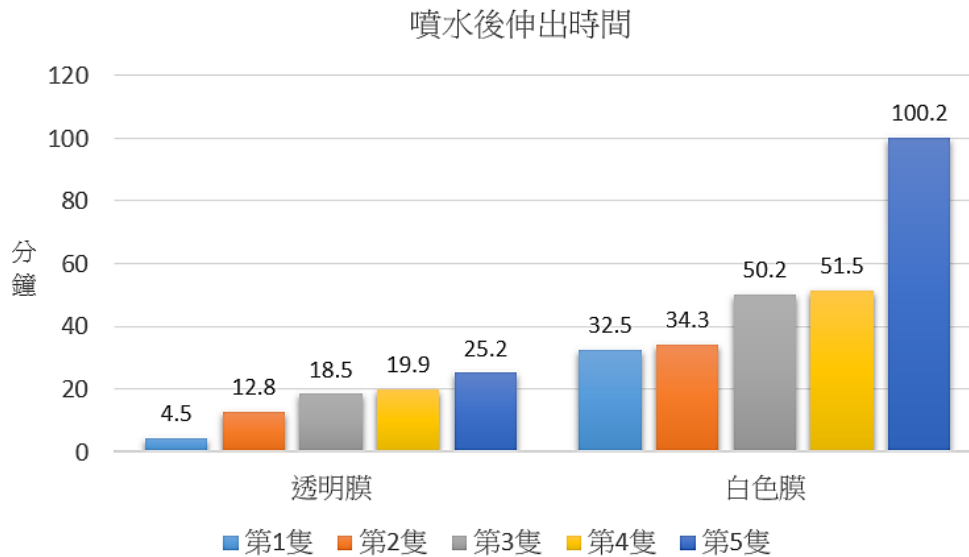


圖(16)休眠、伸出及爬行心跳數差異

結果：5 隻扁蝸牛都是休眠時心跳數最少，伸出時次之，爬行時心跳數最多。

(三)不同薄膜狀態與扁蝸牛醒來時間有無差異

有肺蝸牛休眠時通常分泌一系列薄膜，每個連續的膜被狹窄空間隔開，其厚度、鈣化程度和產生的數量隨物種、季節和環境條件而變化(M. Christopher Barnhart, 1983)。我們想知道不同薄膜狀態對醒來時間有無影響？觀察殼口透膜及白膜各 5 隻，噴水後相對濕度 75%，紀錄伸出腹足的時間，統計如下圖(17)：



圖(17)噴水後伸出腹足的時間

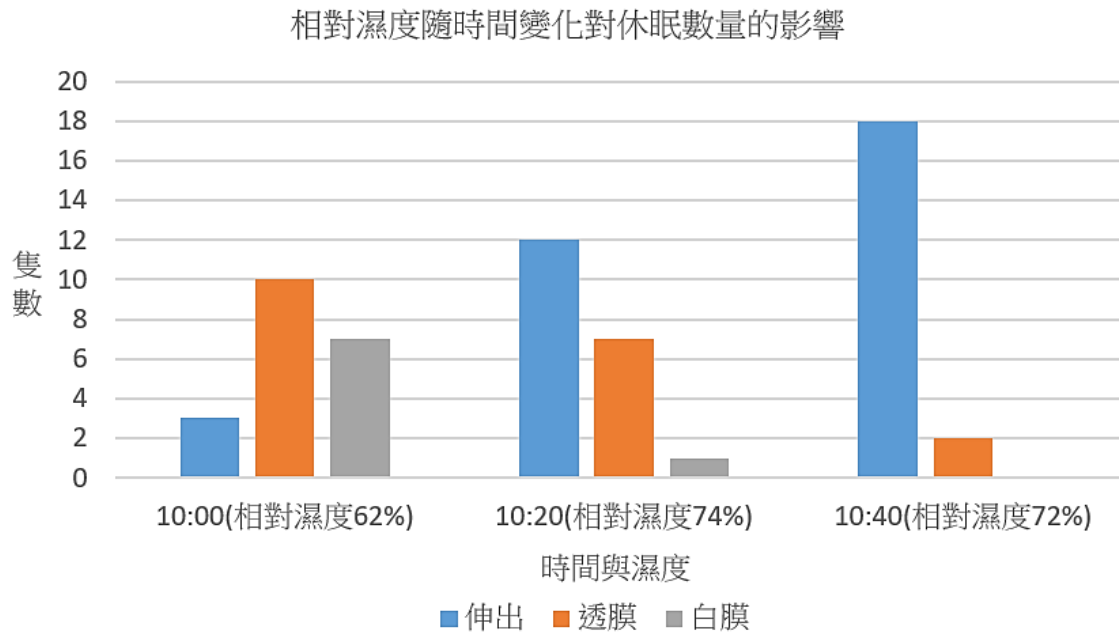
結果：5 隻殼口透膜的扁蝸牛都比殼口白色薄膜的扁蝸牛先伸出身體；推測殼口透膜的扁蝸牛對水或濕度的刺激比較敏銳，對相對濕度變化有較快的反應。

(四)影響休眠後醒來伸出的重要因素

研究過程發現**相對濕度提高及同伴喚醒行為**，是影響扁蝸牛休眠後伸出活動的重要影響因素。

1.相對濕度變化對休眠與醒來伸出的影響

我們先以 20 隻扁蝸牛在溫度攝氏 24 度，透過噴水讓相對濕度提高，觀察扁蝸牛從休眠陸續伸出活動，有些自己醒來，有些被同伴喚醒伸出活動，每 20 分鐘紀錄一次，觀察相對濕度變化、時間及伸出活動的扁蝸牛數量，統計結果如下圖(18)：



圖(18)相對濕度隨時間變化對休眠數量的影響

結果：

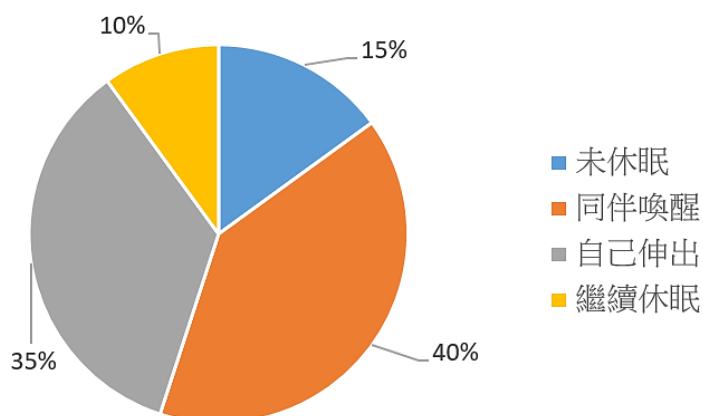
- (1)相對濕度 62%有 3 隻(15%)扁蝸牛已伸出活動；相對濕度 72%時有 15 隻(75%)的扁蝸牛從休眠醒來伸出活動。
- (2)殼口白膜扁蝸牛有 7 隻(100%)於噴水後相對濕度 72%的 20 分鐘內都伸出活動。
- (3)殼口透膜扁蝸牛在噴水後 20 分鐘有 8 隻(80%)伸出活動；40 分鐘後相對濕度降為 55%尚未休眠。

討論：研究過程發現，當環境的相對濕度於 60%-72%時，有些扁蝸牛活動，有些休眠；當相對濕度變化提高於 72%以上，多數扁蝸牛醒來伸出活動，會維持一段時間再進入休眠。

2.噴水對休眠後醒來伸出的影響

在教室透過噴水讓濕度變化，相對溼度從 62%提高為 72%，溫度攝氏 24 度，20 隻扁蝸牛伸出活動的比例，統計結果如下圖(19)：

相對濕度改變時休眠情形百分比



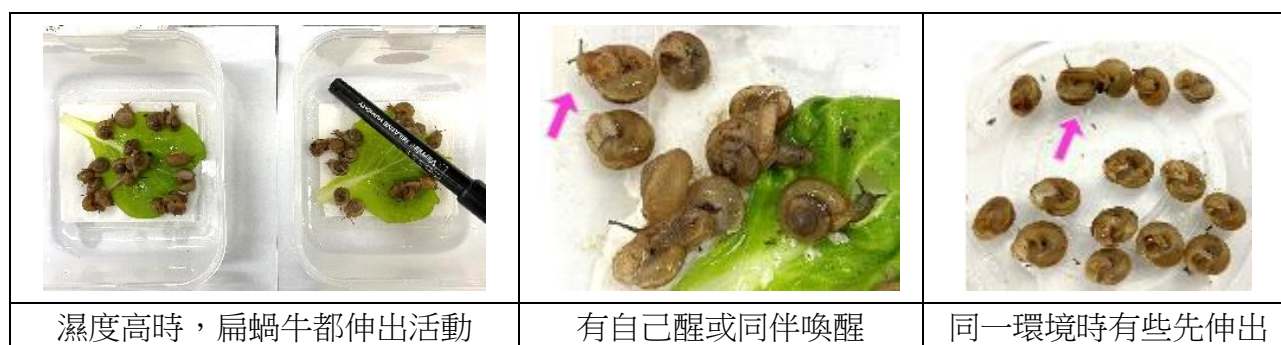
濕度變化(62%-72%)與醒來伸出身體				
	未休眠	同伴喚醒	自己伸出	繼續休眠
隻	3	8	7	2

結果：

1. 相對溼度 62% 環境有 15% 未休眠；
2. 相對濕度提高為 72% 時，有 40% 是同伴喚醒；其次，有 35% 是自己醒來；有 10% 繼續休眠。

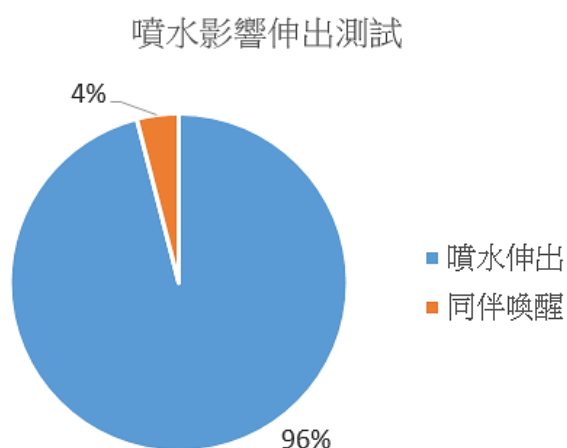
圖(19)濕度變化時休眠情形的比例

討論：研究過程發現，當環境的相對濕度低於 60% 時，扁蝸牛會漸漸開始休眠；相對濕度提高於 70% 以上時，部分扁蝸牛會漸漸醒來伸出活動；相對濕度高於 90% 時，扁蝸牛都伸出活動，沒有休眠。



3. 相對濕度及同伴喚醒對扁蝸牛醒來伸出的影響

想瞭解相對濕度及同伴喚醒對扁蝸牛醒來伸出的影響情形？對 50 隻休眠扁蝸牛的殼口直接噴水，提高相對溼度為 72% 以上，扁蝸牛從休眠漸漸伸出活動，有些自己醒來，有些被同伴喚醒伸出活動，統計結果如下圖(20)：



噴水影響伸出測試		
	噴水伸出	同伴喚醒
隻數	48	2

結果：

1. 對殼口薄膜直接噴水，有 96% 伸出活動；剩下的 4% 被同伴喚醒伸出活動。
2. 殼口薄膜受到相對濕度提高或同伴刺激薄膜時，扁蝸牛都會從休眠醒來活動。

圖(20)噴水影響伸出活動測試

三、探討扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為

飼養過程發現扁蝸牛會喚醒休眠的同伴，我們對此行為感到非常好奇，目前尚未找到這方面的相關文獻，因此進行多次對休眠同伴喚醒行為的相關探究試驗與實驗。



(一)喚醒同伴行為對休眠扁蝸牛有影響嗎？

1.喚醒同伴對休眠扁蝸牛的休眠狀態影響

我們觀察扁蝸牛的喚醒同伴行為後，可能對同伴的影響有以下三種狀態：

- (1)薄膜破洞、(2) 薄膜變透、(3)伸出爬行。後續觀察發現前二種喚醒行為結果，會讓休眠同伴受影響而較快醒來伸出活動。另外，觀察也發現，相對溼度低時，喚醒行為後比較慢伸出爬行；相對溼度高時，喚醒行為後立即伸出爬行。

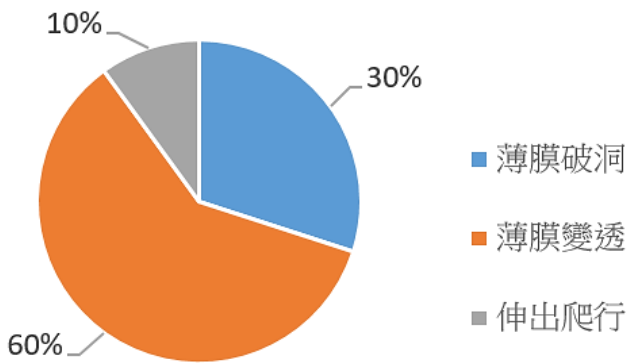


(二)在菜園的喚醒同伴行為

1.喚醒行為對休眠同伴的影響

教室內觀察發現成蝸對休眠成蝸有明顯的喚醒行為，我們到菜園進行實地測試觀察。在菜園的溫度攝氏 37.0 度，相對溼度 67.0%時，觀察 10 隻休眠成蝸被同伴喚醒行為對殼口薄膜的影響，觀察 10 分鐘後結果統計如下圖(21)：

被同伴喚醒後的影響



圖(21)被同伴喚醒後的影響情形

結果：

薄膜變透的比例最高有 60%；其次是薄膜破洞；伸出爬行最少有 10%。

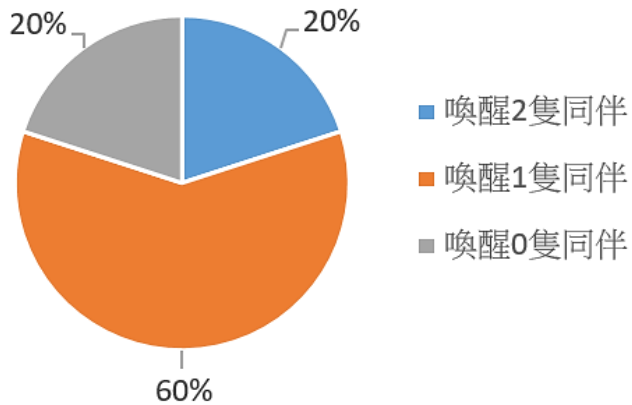
討論：

觀察發現喚醒行為的結果與當下環境的濕度有關，相對溼度於 70%以上時，喚醒後較快伸出；此測試過 20 分鐘後被喚醒的成蝸，都有醒來伸出。

2.在菜園的喚醒同伴的數量

我們以有「接觸殼口薄膜」作為有「喚醒同伴行為」的觀察紀錄，我們在菜園進行實地測試觀察。菜園的溫度攝氏 37.0 度，相對溼度 67.0%；共 10 隻伸出活動成蝸，以每次 1 隻爬行成蝸，喚醒 4 隻休眠成蝸，進行三次測試平均結果如圖(22)：

在菜園的喚醒同伴行為



圖(22)菜園裡喚醒同伴隻數

結果：

喚醒 1 隻同伴的比例最高有 60%；其次是喚醒 2 隻及 0 隻各 20%。

討論：

在菜園與室內測試的結果類似，大多數成蝸喚醒附近休眠同伴，被喚醒的再繼續喚醒附近休眠同伴，推測以此陸續喚醒扁蝸牛團能集體醒來行動。



喚醒 1 隻同伴



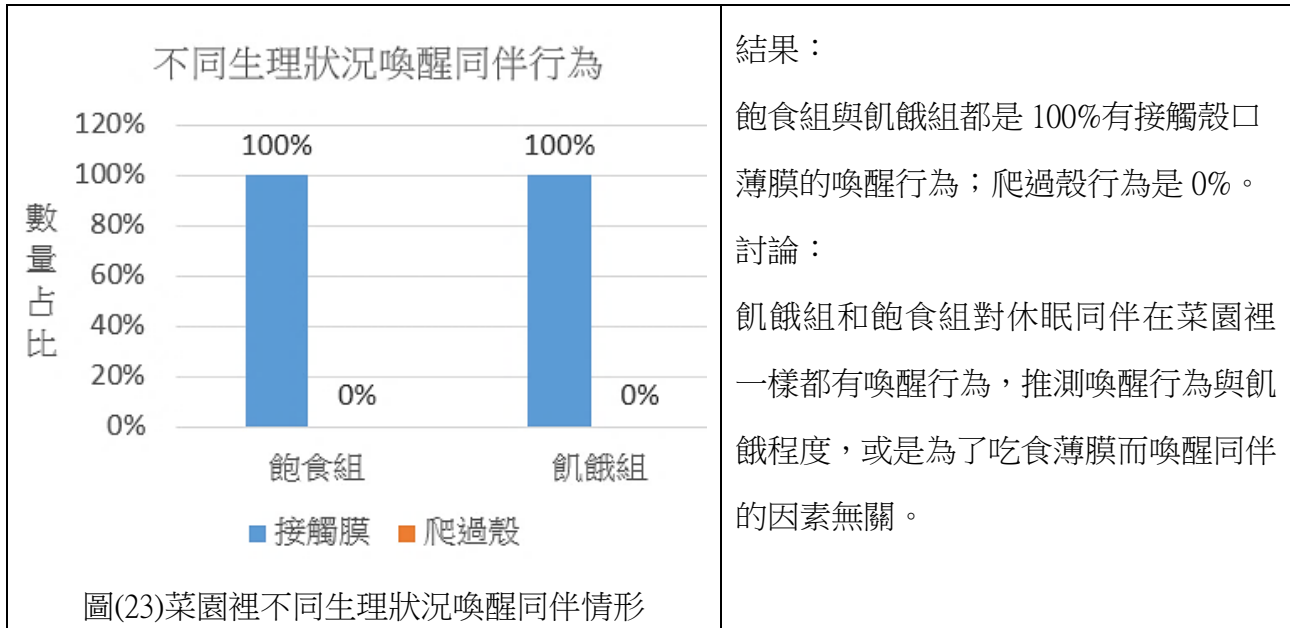
喚醒 2 隻同伴



喚醒 0 隻同伴

(三)不同生理狀況的喚醒行為

我們好奇飢餓的扁蝸牛在菜園裡是否因為急著去吃食，而沒有喚醒行為？菜園實地進行喚醒試驗，在菜園地瓜葉上，溫度攝氏 34 度，相對濕度平均約 73%，觀察 20 隻蝸牛，分為飽食組與飢餓組(至少 48 小時未進食)，各組各有 5 隻伸出及 5 隻休眠，各觀察 15 分鐘，統計結果如下圖(23)：



四、探究影響扁蝸牛喚醒行為的選擇差異

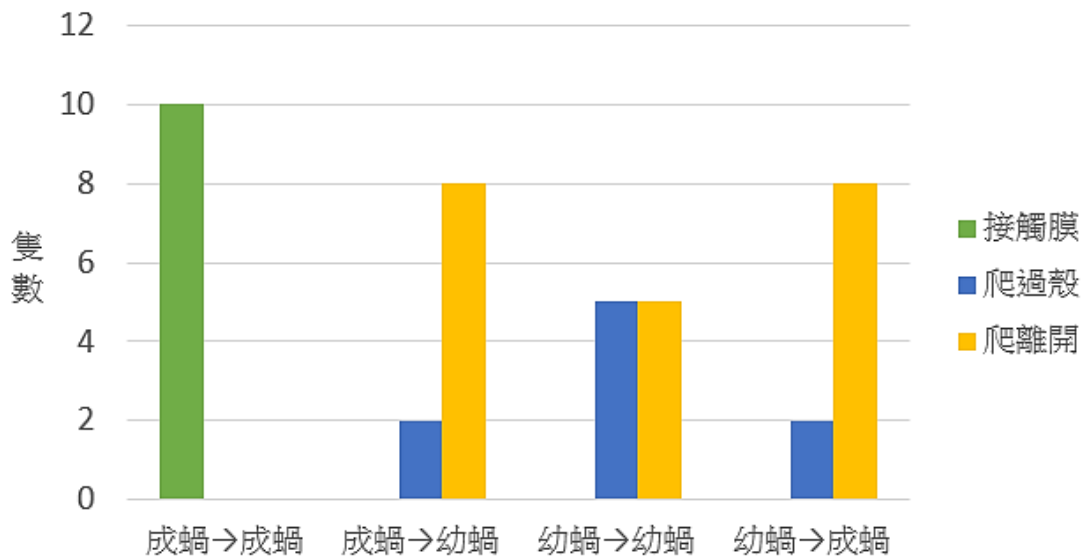
觀察發現扁蝸牛的喚醒行為是否受到哪些重要因素影響？我們探討：對成蝸或幼蝸、距離遠近、不同薄膜、吃薄膜或吃菜葉，更進一步瞭解喚醒行為。

(一)成蝸或幼蝸的喚醒行為有無差異

1.單一對象的選擇

將試驗組別分為：A 組-成蝸對成蝸、B 組-成蝸對幼蝸、C 組-幼蝸對幼蝸、D 組-幼蝸對成蝸，四組各 10 隻(此試驗的幼蝸指螺層約 4.5 層，殼口尚未外翻；螺層約 5 層以上，殼口外翻多為成蝸)，將測試喚醒同伴放至距離 1 公分處，分別觀察記錄有喚醒同伴的行為與數量，統計結果如下圖(24)：

成蝸與幼蝸的喚醒情形



圖(24)扁蝸牛的喚醒同伴行為

結果：

- (1) A 組-成蝸對成蝸，10 組都有接觸膜的喚醒同伴行為；B 組-成蝸對幼蝸，有 8 組爬離開，有 2 組成蝸對幼蝸爬過殼。
- (2) C 組-幼蝸對幼蝸，有 5 組爬離開，有 5 組幼蝸對幼蝸爬過殼；D 組-幼蝸對成蝸，有 8 組爬離開，有 2 組幼蝸對成蝸爬過殼。
- (3) 只有成蝸對成蝸，有接觸膜的喚醒同伴行為；幼蝸對成蝸及對幼蝸，都沒有接觸膜的喚醒同伴行為。

討論：

- (1) 我們發現成蝸對成蝸有明顯的喚醒同伴行為。有些動物有利他行為(Altruistic acts)，會增進其他個體的存活和繁殖成功的機會(尚玉昌編，2005)。推測成蝸喚醒其他成蝸的行為，可能與利他行為有關，透過交互利他，可以增進群體的生存與繁殖機會。對這個問題我們覺得很有興趣，希望繼續探討。
- (2) 我們觀察推測成蝸對成蝸，對休眠同伴接觸薄膜是主動的喚醒同伴行為；爬過殼比較可能是隨機的動作，但也可能因此喚醒同伴。目前我們尚未找到扁蝸牛有喚醒行為的相關文獻，值得深入探究。

2.二種對象的選擇

進行五次成蝸選擇另一成蝸或幼蝸的喚醒同伴行為，統計結果如下表(2)：

表(2)成蝸對喚醒同伴的選擇表

次序	第一次選擇		第二次選擇		第三次選擇		第四次選擇		第五次選擇	
	成蝸	幼蝸	成蝸	幼蝸	成蝸	幼蝸	成蝸	幼蝸	成蝸	幼蝸
接觸膜	✓	X	✓	X	✓	X	✓	X	X	X
轉離開	X	✓	X	✓	X	✓	X	✓	✓	✓

結果：成蝸有 4 次(80%)選擇對休眠成蝸作接觸薄膜喚醒行為；0%選擇喚醒幼蝸。

討論：測試結果發現，成蝸能分辨成蝸與幼蝸；選擇喚醒成蝸，沒有喚醒幼蝸。



(二)喚醒同伴行為有無距離影響差異

蝸牛集群有助於減少總暴露表面積並保持更濕潤的微氣候，從而降低水分流失率(Panayiota Kotsakiozi 等，2012)。我們想觀察距離是否影響喚醒行為，在溫度攝氏 27 度，相對濕度平均 51%，觀察 8 隻飢餓蝸牛(48 小時以上未進食)，每組以 3cm、2cm、1cm，觀察結果如下表(3)：

表(3)不同距離對喚醒行為的影響

距離	3cm	2cm	1cm	是否伸出
A	-	-	-	否
B	-	爬過殼	接觸膜.爬過殼	是
C	爬過殼	接觸膜.爬過殼		是
D	-	爬過殼	接觸膜.爬過殼	是
E	爬過殼	-	接觸膜.爬過殼	是
F	-	-	-	否
G	-	接觸膜.爬過殼	-	是
H	-	爬過殼	接觸膜.爬過殼	是
共計 8 隻	0 隻接觸膜	2 隻接觸膜	4 隻接觸膜	6 隻伸出

結果：距離 3cm 有 0 隻接觸膜；距離 2cm 有 2 隻接觸膜；距離 1cm 有 4 隻接觸膜；6 隻被接觸膜都伸出爬行。

討論：距離 1、2cm 有接觸膜喚醒行為；推測與扁蝸牛成蝸殼寬 1.7-1.8cm 有關，觀察群聚距離多小於 1cm，先醒者容易接觸同伴身體而有主動或隨機喚醒休眠同伴行為。動物的利他行為可能也有群擇(Group selection)行為，協助沒有血緣關係的群體(羅竹芳、吳書平)。推測成蝸因此而有群聚習性，值得繼續探討。

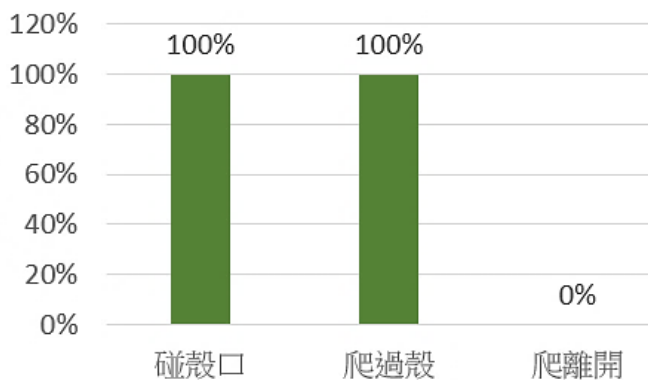


(三)成蝸對不同薄膜同伴的喚醒行為有無差異

1.成蝸對殼口透膜同伴有無喚醒行為

成蝸對殼口白膜同伴有明顯的喚醒行為，我們好奇對殼口透膜同伴是否也有明顯的喚醒行為，在溫度攝氏 26 度，相對濕度平均 52%，取 10 隻各做 3 次平均統計如圖(25)：

成蝸對殼口有透膜成蝸的反應



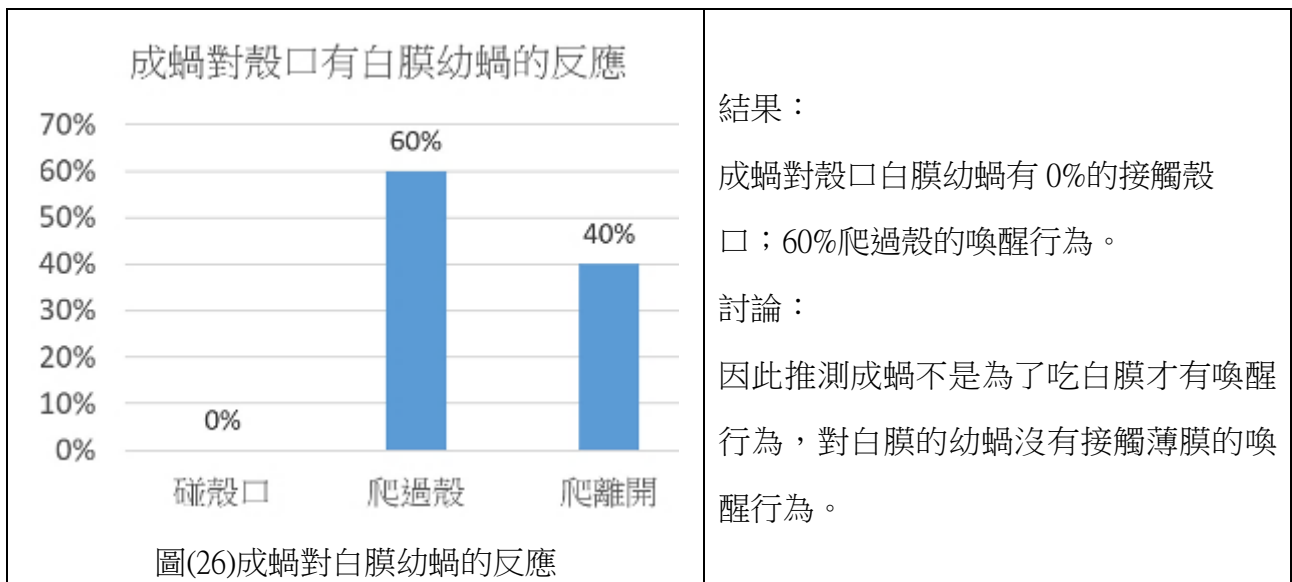
結果：成蝸對殼口透膜同伴有 100%的接觸殼口及爬過殼的喚醒行為。

討論：因此推測成蝸不是為了吃白膜才有喚醒行為，對透膜的同伴也有喚醒行為。

圖(25)成蝸對透膜成蝸的反應

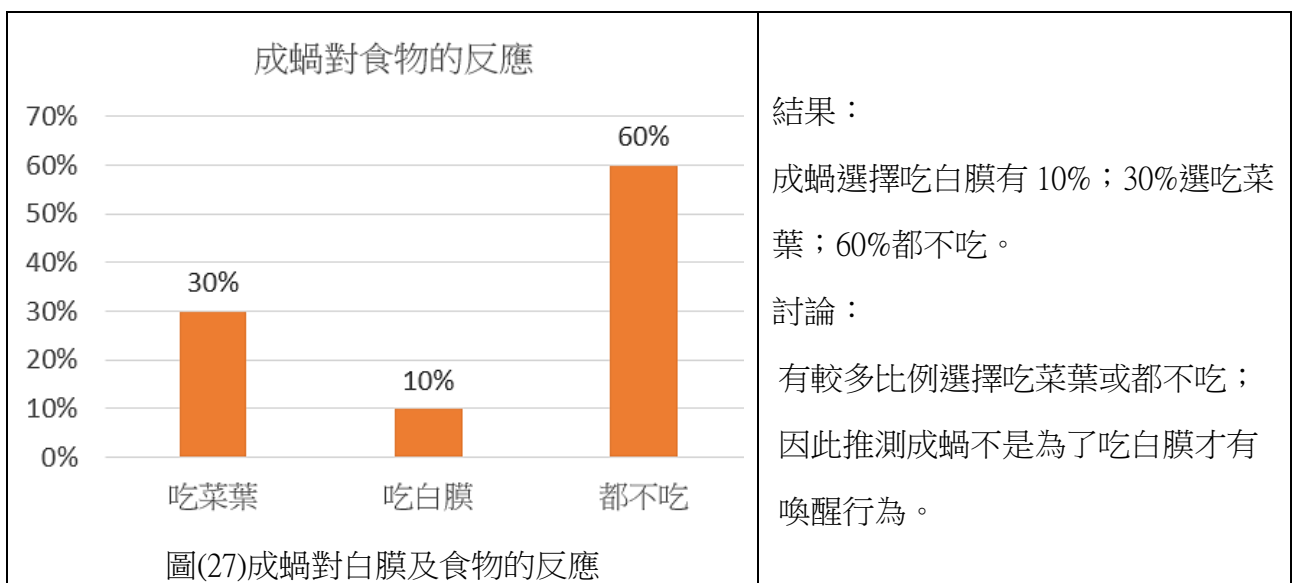
2.成蝸對殼口白膜幼蝸同伴有無喚醒行為

我們好奇成蝸對殼口白膜幼蝸是否也有明顯的喚醒行為，在溫度攝氏 27 度，相對濕度平均 53%，取 10 隻各做 3 次平均，統計如圖(26)：



(四)成蝸選擇白膜或是菜葉

有肺蝸牛會由外套膜分泌物在殼口形成薄膜，表皮由碳酸鈣沉積物增強的粘蛋白基質組成(M. Christopher Barnhart, 1983)。我們好奇成蝸刮食休眠同伴的白膜是為了喚醒同伴還是營養需求呢？設計成蝸選擇白膜(一片薄膜)或菜葉(一片菜葉)的試驗，在溫度攝氏 30 度，相對濕度平均 60%，取 10 隻各做 3 次平均，統計如圖(27)：

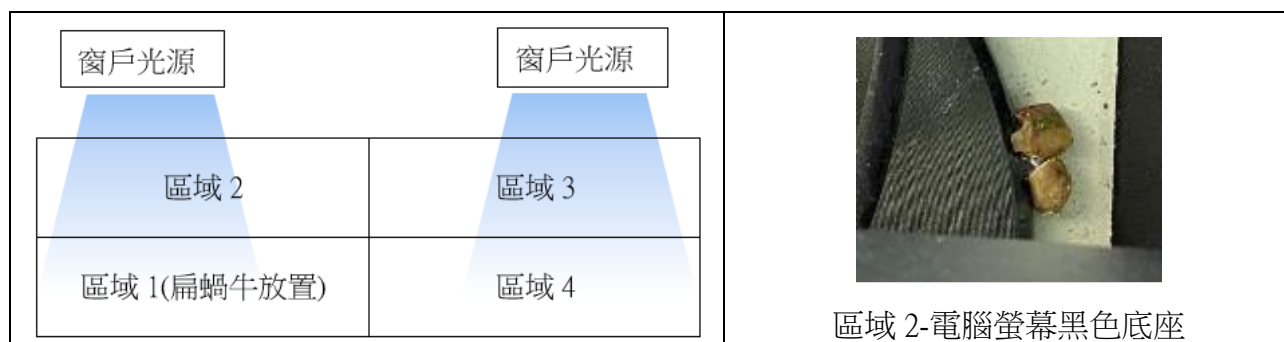


伍、研究討論

一、光照對休眠位置的有影響嗎？

探討扁蝸牛休眠偏好時發現夜間於教室休眠位置，以扁蝸牛放置的區域最多；其次是接近光源的區域 2；區域 4 最暗，沒有扁蝸牛爬去休眠。發現夜晚時扁蝸牛會向光源的來源處移動，並非向暗處移動，且會在遮光處或深色物品上休眠。蝸牛的眼睛在弱光

下比強光下看得遠(徐怡德、張馨涵、陳豐鼎、孟廣斌，1987)。推測夜晚時，扁蝸牛向光源較能看見物體並向前移動，環境不適時就地選擇偏好的黑色物體上休眠。此可作為誘捕扁蝸牛防治參考。



二、喚醒行為有哪些動作？

探討扁蝸牛的喚醒行為時，發現扁蝸牛常聚集揪成一團，或是對休眠同伴有不同的接觸行為，透過研究分析包括：1.接觸薄膜—碰觸薄膜或刮食薄膜喚醒同伴；2.爬過螺殼-造成振動或翻動激發同伴感知醒來。

觀察一隻伸出對四隻休眠同伴的影響：有爬過、翻動及刮食薄膜，最後 5 隻身體接觸形成扁蝸牛團。推測可能是我們常見扁蝸牛會群聚成團的情形。





三、喚醒行為對先後醒來伸出有影響嗎？

研究過程發現幼蝸總是比成蝸較早醒來伸出活動，我們將各 5 隻休眠狀態的幼蝸及成蝸，同時抓離開罐子放置一起，觀察 20 分鐘內先醒來伸出活動的順序如表(4)；發現

4/5 的幼蝸都比成蝸先醒伸出活動；推測是否因為幼蝸沒有同伴喚醒經驗與行為，休眠後醒來伸出活動的機制比較靈敏，值得再繼續探討。

表(4)扁蝸牛先醒來伸出活動的順序

分類	幼蝸 (5 隻)					成蝸 (5 隻)					
編號	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
伸出序	2	4	3	1	×	6	5	7	×	×	
	最早醒的幼蝸 D						幼蝸先伸出活動，爬過另一隻幼蝸的殼				

四、喚醒行為的生物意義為何？

從研究結果四，發現扁蝸牛喚醒行為主要不是為了營養需求，我們好奇喚醒行為的生物意義是利他行為？或是利他也利己呢？

(一)利他行為

利他行為除了前面提到親緣選擇概念，廣義適合度也可能解釋喚醒同伴行為的意義。廣義適合度(inclusive fitness)，是指個體在後代中遺傳自身基因的能力有多大(尚玉昌，2005)。推測扁蝸牛的喚醒行為或**翻動螺殼**(殼口朝上翻動為朝下)維護同伴安全的行為可增加同伴存活，也可能是維護種族繁殖所演化的利他行為。



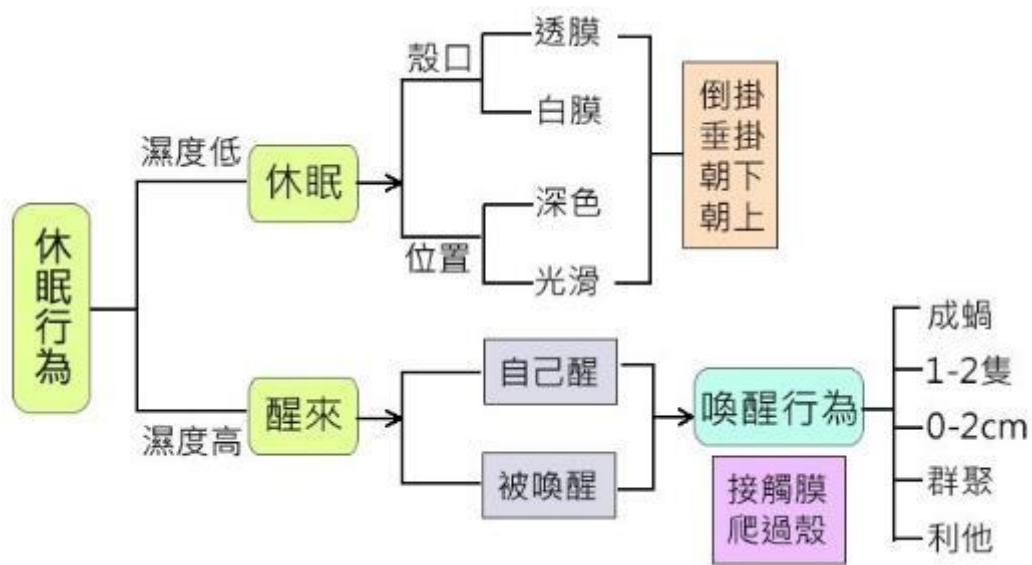
(二)利他也利己

我們推測喚醒行為對扁蝸牛除了利他也利己，例如：就防禦行為來說，喚醒其他同伴一起行動，自己也比較安全；群聚休眠時，有同伴彼此可以被喚醒，不會繼續休眠以致缺乏動能而死亡。另外，我們觀察扁蝸牛在喚醒同伴後，就獨自爬離開，尚未觀察有跟隨或繁殖行為，值得進一步探討。



陸、研究結論

摘要研究結論如圖(28)：



圖(28)研究結論

一、探討扁蝸牛的休眠行為

扁蝸牛休眠時常見的殼口狀態主要有**透明薄膜**及**白色薄膜**；休眠姿態主要有垂掛黏壁、倒掛黏壁、殼口向下及殼口向上；溫度攝氏 27 度，相對溼度 50%時，扁蝸牛開始休眠，相對溼度 75%時沒有休眠；休眠時的心跳數明顯低於爬行時；**偏好向光源**爬行於**深色及光滑面**休眠。

二、探討扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動

扁蝸牛休眠後伸出身體活動，大多有下列四個步驟：1.伸出**腹足推薄膜**，2.頭部伸出殼口，接著刮食可能黏在殼口的部分薄膜，3.扭轉身體，4.開始爬行，薄膜黏在殼上或掉在地上。殼口透膜比白色薄膜先醒來伸出活動；**相對溼度提高與同伴喚醒**，是影響扁蝸牛醒來伸出的重要因素。

三、探討扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為

我們發現扁蝸牛會喚醒休眠的同伴；喚醒行為主要以**接觸殼口薄膜**，也可能用爬過螺殼。**喚醒行為對同伴有以下三種影響**：1.薄膜破洞、2.薄膜變透、3.伸出爬行；喚醒 1 隻同伴的比例最高；**飢餓組及飽食組在菜園裡對休眠同伴都有喚醒行為**。

四、探究影響扁蝸牛喚醒行為的重要因素

我們探討影響扁蝸牛的喚醒行為的重要因素包括 1.**只有成蝸對成蝸有接觸薄膜**的喚醒行為；**距離小於 2cm** 會接觸薄膜喚醒同伴的**比例較高**；對不同薄膜同伴都有喚醒行為；對幼蝸沒有接觸膜喚醒行為；推測**成蝸不是為了吃薄膜才有喚醒行為**，可能是為了**利於族群生存與繁殖的利他行為**，值得持續進一步研究。

柒、未來展望與建議

一、探討喚醒行為對生存與適應環境的生物意義

目前我們發現扁蝸牛有喚醒休眠同伴的行為，未來能進一步探討喚醒同伴行為對扁蝸牛的生存與適應環境有什麼好處？其他種類蝸牛是否也有這種行為？希望更進一步探討扁蝸牛休眠行為與環境的行為生態學相關知識。

二、應用休眠行為偏好誘捕防治扁蝸牛

文獻提到適用於葡萄園的扁蝸牛防治寶特瓶法，並不適合直接作為一般菜園防治應用；我們希望運用本研究發現扁蝸牛的行為習性及偏好，設計製作適用於盆栽及菜園的扁蝸牛防治方法，避免使用農藥防治扁蝸牛，減少扁蝸牛對種菜的為害。

捌、參考資料

行政院農委會林業試驗所、陳俊宏(2020.06.29)。臺灣生命大百科。扁蝸牛。取自：

<https://taieol.tw/pages/138962>

行政院農業委員會農業試驗所製作。作物病蟲害與肥培管理技術資料光碟。其他－有害

動物-蝸牛。取自：<https://reurl.cc/d7Xn5D>

尚玉昌編(2005)。《動物行為學》。北京市：北京大學出版社。

林俊義(2018.12.18)。葡萄園扁蝸牛之防治。有機農業全球資訊網。取自：

<https://info.organic.org.tw/3482/>

徐怡德、張馨涵、陳豐鼎、孟廣斌(1987)。蝸牛眼睛探秘。第 27 屆全國中小學科學展覽會。取自：<https://reurl.cc/qkNEmR>

章加寶、陳武揚(1989)。葡萄園扁蝸牛之形態及其生活習性觀察。臺中區農業改良場研究彙報 23:21-29 (1989)。取自：<https://ppt.cc/fU0zGx>

蔡昀臻、孫卉馨、郭祐寧、吳沛翰、黃德綸(2020)。馱著小房子去旅行的小蝸牛。第 60 屆全國中小學科學展覽會。取自：<https://reurl.cc/n7r4yd>

謝伯娟(2013)。《蝸牛不思議》。台北市：遠流。

謝伯娟、黃重期、吳書平(2006)。《台灣蝸牛圖鑑》。台北市：農委會林務局。

羅竹芳、吳書平(無日期)。第 13 單元 你的舉手投足-動物行為學。2022.12.30，取自：

<https://reurl.cc/OVMday>

M. Christopher Barnhart,(Jul, 1983),GAS PERMEABILITY OF THE EPIPHRAGM OF A TERRESTRIAL SNAIL, OTALA LACTEA.*Physiological Zoology, Vol.56, No.3* , p.436-444.<https://www.jstor.org/stable/30152609>

Panayiota Kotsakiozi, Panayiotis Pafilis, Sinos Giokas, Efstratios Valakos(May 2012).A comparison of the physiological responses of two land snail species with different distributional ranges.Journal of Molluscan Studies, Volume 78, Issue 2, May 2012, Pages 217 – 224.<https://doi.org/10.1093/mollus/ey003>

【評語】 080309

本研究的主旨在於探討扁蝸牛的休眠與喚醒休眠同伴行為。研究作品的題目名稱相當有趣，容易吸引讀者目光。適時結合上課所學與生活知識對殼口薄膜詳加觀察和試驗，作品說明書亦適時引述並參考前人的文獻資料做陳述與討論。

建議：

1. 有些論述及推論不太精確，實驗方法描述也可以再更精緻，但「喚醒行為」主題相當有趣，值得再更進一步探討，有發展性。
2. 顏色的偏好實驗，建議可以再思考。對於蝸牛而言，是否真的會有顏色的感應？測試這些顏色的意義？應該可以有更精緻的假設與理論依據後，在進行實驗驗證。
3. 為什麼「成蝸喚醒其他成蝸的行為，可能與利他行為有關，透過交互利他，可以增進群體的生存與繁殖機會」？若喚醒後是否有競爭食物資源的可能？這樣的推測其實可以進一步設計實驗、收集數據來驗證，有利於對喚醒行為的了解。

4. 扁蝸牛的睡醒因素探討深具趣味性，建議可針對喚醒模式試試各種因素測試，如震動，不同物種的接觸等，是否皆具有喚醒功能，進行探討。

作品海報

「睡睡」平安——



扁蝸牛的休眠行為之探討

壹、前言

一、研究動機

姨婆的菜園常有菜葉及幼苗被刮食嚴重，有時發現有些蝸牛殼口有白色的薄膜，引起我們的好奇。我們利用蝸牛照片查詢「台灣蝸牛圖鑑」比對外形特徵，並透過「蝸牛園-台灣陸生蝸牛交流園地」社團請教專家，知道這是扁蝸牛。自然科學五下的「動物世界面面觀」探討動物的生存行為，我們想瞭解扁蝸牛殼口為什麼有薄膜？和生存有什麼關係？研究過程發現先醒的扁蝸牛會喚醒休眠的同伴，真是奇妙！扁蝸牛會思考嗎？牠的休眠行為與喚醒行為有什麼機制？有趣的問題等著我們去探究。

二、研究目的

- (一) 探討扁蝸牛的休眠行為
- (二) 探討扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動
- (三) 探討扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為
- (四) 探究影響扁蝸牛喚醒行為的選擇差異

三、文獻探討

目前針對扁蝸牛休眠行為的研究較少，由已知的相關文獻歸納當環境的濕度、溫度太低或不適合活動時，蝸牛會休眠，休眠地點多為隱密處；休眠時扁蝸牛會分泌黏液在殼口形成薄膜渡過休眠期(謝伯娟、黃重期、吳書平, 2006; 行政院農委會林業試驗所、陳俊宏, 2020.06.29; 行政院農業委員會農業試驗所)。然而，對於扁蝸牛的休眠習性，及休眠後醒來伸出活動的行為，缺乏較詳細介紹；尤其，研究過程發現先醒來的扁蝸牛有喚醒休眠同伴的行為，我們覺得很有趣也很好奇，這問題目前尚未找到相關文獻探討，希望透過本研究能進一步探究與瞭解扁蝸牛對休眠同伴喚醒行為的奧秘。

貳、研究設備與器材

表 (1) 研究設備與器材

飼養器材	塑膠飼養盒、大小飼養箱、多個透明飼養罐、菜葉
記錄器材	手機相機、數位相機、錄影機、腳架、電腦、excel 軟體
觀察器材	解剖顯微鏡、光學顯微鏡、手機顯微鏡
測量器材	無線數位溫、濕度、光照數據收集感應器；游標尺、碼表、量尺
實驗器材	正立方透明箱、透明罐、噴水瓶、透明塑膠杯
其他	黑紙、色紙、不同粗細砂紙、鑷子、大紙箱、標籤貼紙等

參、研究方法與過程

一、研究架構圖

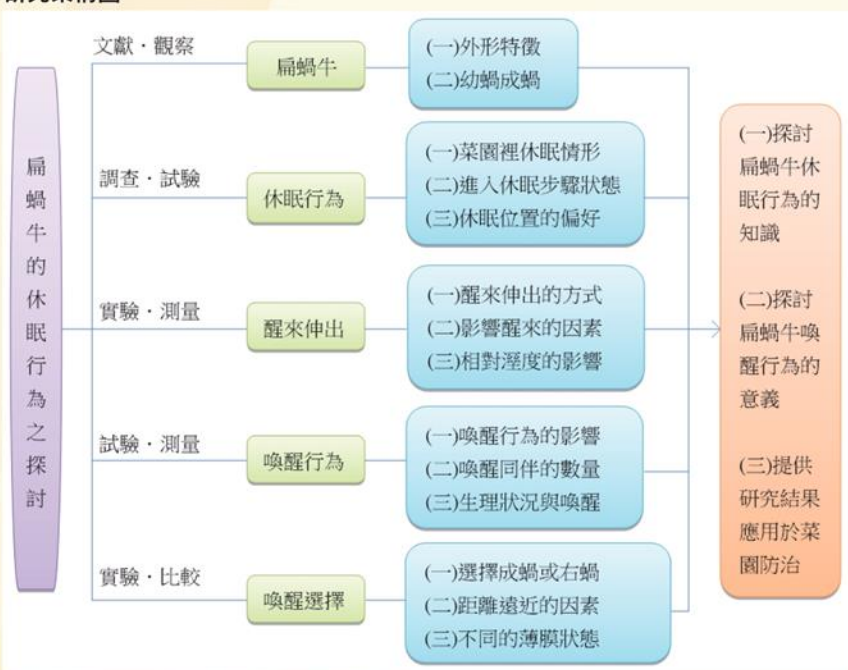


圖 (1) 研究架構圖

二、研究過程與步驟

(一) 戶外調查與採集

在親戚的菜園、多肉園及住家庭院盆栽採集扁蝸牛，調查並觀察記錄扁蝸牛的数量、休眠狀態與環境的溫度與相對濕度。



(二) 飼養觀察

在教室用透明塑膠方箱、飼養箱及圓柱塑膠罐飼養扁蝸牛，每天定時觀察記錄扁蝸牛的休眠行為與習性。



(三) 測量統計

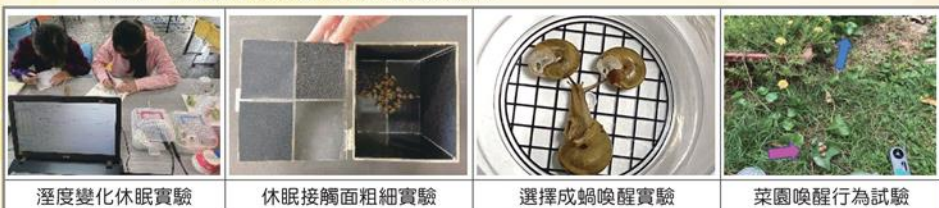
1. 用數位濕度器測量溫、濕度變化，觀察統計扁蝸牛休眠及殼口薄膜狀態。
2. 用顯微鏡觀察測量不同大小扁蝸牛的螺層數及是否殼外翻，判斷成蝸或幼蝸。
3. 觀察統計每次透明飼養盒內扁蝸牛休眠的位置、方式、群居及薄膜狀態的數量。
4. 觀察統計休眠的扁蝸牛，噴水前後濕度變化，休眠與伸出腹足的時間及數量。
5. 同伴喚醒比例：相對濕度變化時，觀察 50 隻扁蝸牛從休眠漸漸醒來伸出活動，統計扁蝸牛自己醒來或是被同伴喚醒，伸出活動的數量比例。



(四) 試驗與實驗

1. 休眠位置的偏好：
 - (1) 盆栽：飼養扁蝸牛 35 隻，分別以無加蓋、藍色及粉紅色珍珠板蓋在上方，統計隔天早上棲息或休眠於珍珠板上的數量。
 - (2) 顏色：於透明立方體實驗箱，貼上黑、棕、綠及藍色的色紙，放入扁蝸牛 20 隻，各紀錄三次不同時段扁蝸牛休眠於各色紙位置的數量。
 - (3) 粗細：於透明立方體實驗箱，分別貼上大粗 (No:80)、中粗 (No:180)、細沙 (No:240) 及光纖的紙，放入扁蝸牛 30 隻，紀錄三次不同時段，扁蝸牛休眠於粗、細不同位置的數量。
2. 相對濕度的影響：

用數位感應器收集溫濕度數據紀錄並觀察扁蝸牛休眠情形；噴水讓相對濕度變化，觀察並統計相對濕度變化對扁蝸牛醒來伸出腹足活動的影響。
3. 同伴喚醒行為的因素與影響：
 - (1) 成蝸與幼蝸喚醒行為差異：將實驗組別分為成蝸對成蝸、成蝸對幼蝸、幼蝸對幼蝸、幼蝸對成蝸，四組各 10 隻 (此實驗的幼蝸指殼層 4.5-4.75 圈，殼口未外翻)，將測試喚醒同伴放至於距離 1cm 處，分別觀察統計有喚醒同伴的行為與數量。
 - (2) 成蝸的喚醒行為重要因素：以室內及菜園為場地，分別進行下列試驗與實驗：成蝸選擇對另一成蝸或幼蝸的喚醒同伴行為，統計比較數量與行為差異；成蝸選擇對另一有薄膜休眠成蝸的喚醒比例；成蝸選擇對單片白膜、食物的喚醒比例；飽食組與飢餓組對休眠同伴喚醒行為，有無差異。
 - (3) 對幼蝸休眠行為可能的影響：將三隻幼蝸 (螺層 4.5-4.75 圈)，各分別與其他休眠 9 隻成蝸一起觀察，比較統計 5 次醒來伸出活動的排序。

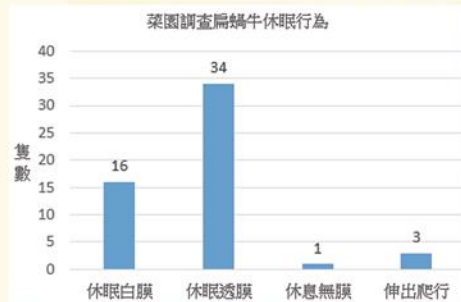


肆、研究結果

一、扁蝸牛的休眠行為

(一) 菜園裡扁蝸牛的休眠行為

休眠是蝸牛的一種行為，它通過對整體生理學進行一系列修改來確保牠們在不利的環境下生存，在此期間蝸牛形成一個減少水分流失的膜片 (Panayiotou Kotsakiozi 等, 2012)。實地調查網室菜園 (12m*6.5m) 內的扁蝸牛休眠情形，時間約上午 10:30，溫度 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計扁蝸牛在菜園的休眠情形，統計結果如下圖：



結果：

1. 菜園內總共找到 54 隻活的扁蝸牛。
2. 有 50 隻扁蝸牛在休眠：3 隻伸出爬行；1 隻休息，殼口無膜。
3. 殼口透膜較多有 34 隻；殼口白膜較少有 16 隻。

圖 (2) 菜園調查扁蝸牛休眠行為

(二) 常見的休眠狀態

1. 休眠時殼口的薄膜狀態

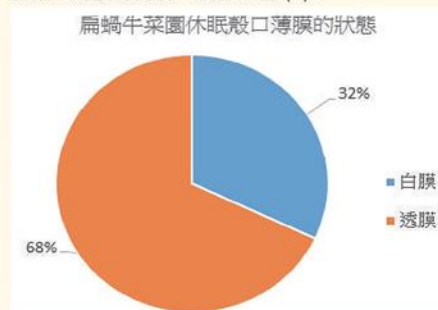
扁蝸牛殼口休眠薄膜的狀態，主要可分為下列四種：(1) 殼口有黏液透膜；(2) 殼口有較多層的黏液透膜；(3) 殼口有外透膜加內白膜，如圖 (2)。我們推測扁蝸牛休眠時透過薄膜仍可感受外在環境的變化，可對刺激作應對反應。



圖 (3) 常見休眠殼口薄膜的狀態

2. 菜園休眠扁蝸牛的殼口薄膜

網室菜園內 (12m*6.5m) 採集 50 隻正休眠的扁蝸牛，溫度攝氏 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計殼口薄膜的比例，統計如圖 (4)：



結果：

有 68% 是透膜；32% 是白膜。

討論：

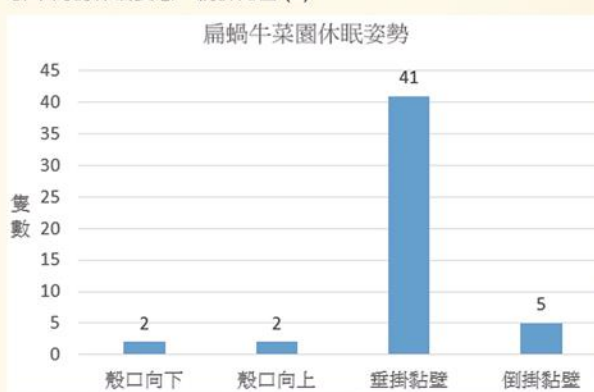
採集時間是上午 10:00，推測因離扁蝸牛出來吃食後休眠結膜時間不長，因此以結透膜的比例較高。

圖 (4) 菜園裡休眠殼口薄膜的狀態

(三) 不同的休眠姿態

1. 網室菜園內不同的休眠姿態

網室菜園內 (長 12m*寬 6.5m) 觀察 50 隻休眠的扁蝸牛，溫度 37.2 度，相對濕度 48.7%，統計不同的休眠姿態，統計如圖 (5)：



結果：

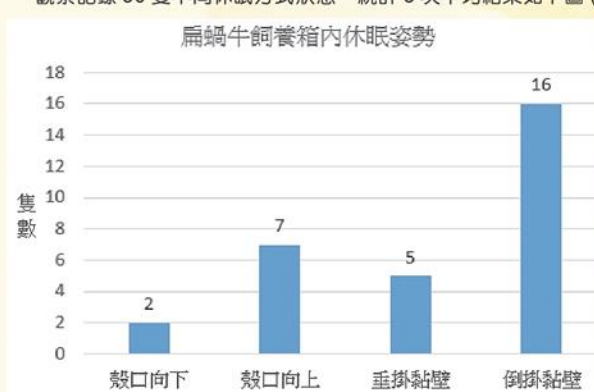
共 50 隻扁蝸牛在休眠，以垂掛黏壁較多有 41 隻；倒掛黏壁較少有 5 隻；2 隻殼口向下；2 隻殼口向上。

圖 (5) 扁蝸牛菜園裡休眠姿態



2. 飼養箱內不同的休眠姿態

觀察記錄 30 隻不同休眠方式狀態，統計 3 次平均結果如下圖 (6)：



結果：

飼養箱內最多的休眠姿態，是倒掛黏壁有超過半數；最少是殼口朝下，與戶外不同。

討論：

飼養箱內螺殼口朝上較多；推測與生活環境不同有關。

圖 (6) 扁蝸牛飼養箱內休眠姿態

(四) 進入休眠的步驟

1. 扁蝸牛進入休眠的步驟，歸納主要有下列四個步驟：(1) 選擇休眠的位置；(2) 先分泌黏液固定；(3) 黏液較多層薄膜；(4) 形成白色的薄膜。

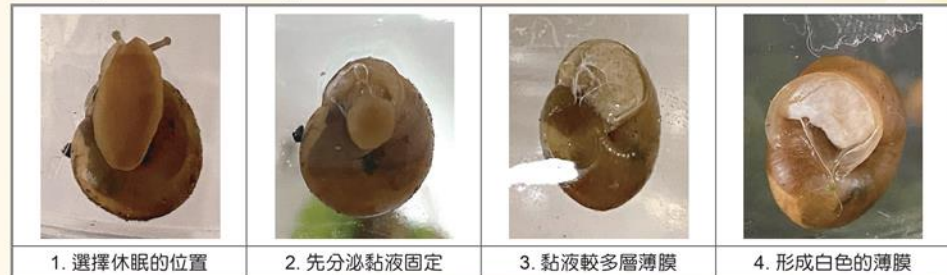


圖 (7) 扁蝸牛進入休眠的步驟

2. 相對濕度與開始結膜休眠

取 20 隻扁蝸牛於溫度平均攝氏 27 度，分別於相對濕度平均約 50% 及 75% 二種環境時，觀察扁蝸牛開始結膜的時間，每 6 分鐘紀錄休眠數量，統計結果如下圖 (8)：

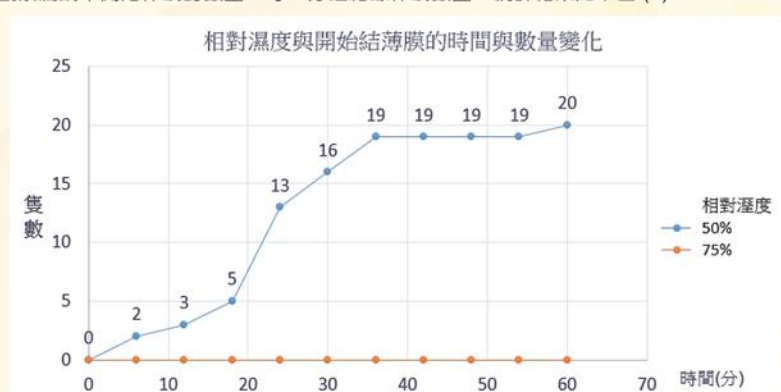


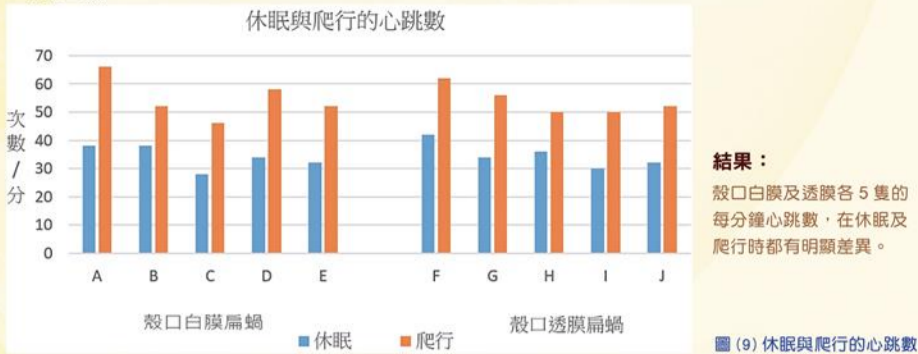
圖 (8) 相對濕度與開始結膜的時間與數量變化

- 結果：(1) 相對濕度平均約 50% 時，從 6 分鐘後扁蝸牛開始結膜，60 分鐘後 20 隻都開始結膜休眠。
- (2) 相對濕度平均約 75% 時，60 分鐘後 20 隻都沒有結膜休眠。

討論：我們觀察從開始結膜約 1 小時有結白膜；推測扁蝸牛的休眠結膜與醒來伸出活動的時間縮短，可較即時反應對不適環境及生理需求的變化，有助於在環境中生存。

(五) 扁蝸牛休眠與爬行時心跳差異

1. 測量 10 隻休眠扁蝸牛，殼口白膜及透膜各 5 隻，每隻休眠及爬行時的每分鐘心跳數，每隻各測量 3 次平均，統計如下圖 (9)：



2. 將測量 10 隻休眠扁蝸牛，休眠及爬行時的心跳數，各測量 3 次平均，統計如圖 (10)：

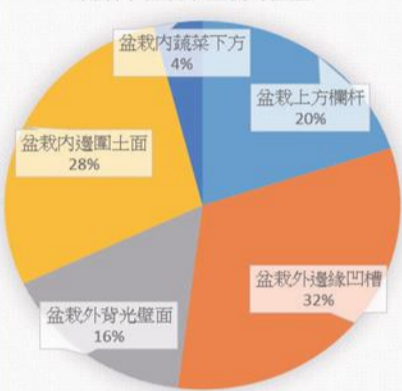


(六) 扁蝸牛休眠的偏好

1. 扁蝸牛在種菜盆栽的休眠偏好

種菜盆栽中央放置扁蝸牛 30 隻，隔天早上統計棲息或休眠於盆栽各處的数量，統計結果如圖 (11)：

扁蝸牛在種菜盆栽的位置



結果：
扁蝸牛在種菜盆栽不同位置休眠的比例，以盆栽外邊緣凹槽的比例最高有 32%；其次是盆栽內邊圍的土面有 28%；最少的是平面盆栽內蔬菜下方有 4%。

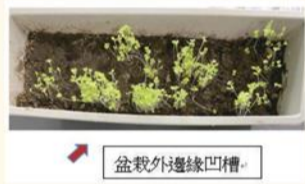


圖 (11) 扁蝸牛在盆栽不同位置休眠的比例

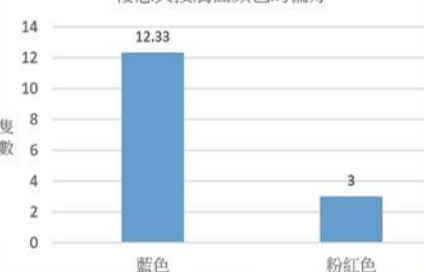
討論：

- 扁蝸牛選擇於盆栽外邊緣凹槽及盆栽內邊圍的比例最高，此處離蔬菜位置近，又是隱蔽又避光的位置，是扁蝸牛偏好休眠的位置。
- 盆栽上方的欄杆有 20% 的蝸牛休眠，推測是扁蝸牛向上爬的習性，遇到太陽出來且相對濕度變低，就直接在欄杆上休眠。
- 在菜葉上或下方休眠的扁蝸牛最少，所以白天不容易在蔬菜附近發現扁蝸牛。

2. 扁蝸牛對顏色的偏好

盆栽飼養扁蝸牛 35 隻，分別以無加蓋、藍色及粉紅色珍珠板蓋在上方，統計隔天早上棲息或休眠於珍珠板上的數量，測量 3 天平均統計結果如圖 (12)：

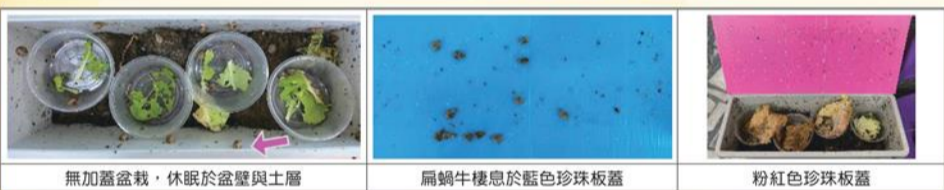
棲息與接觸面顏色的偏好



結果：
1. 在藍色珍珠板棲息或休眠較多有 12 隻；在粉紅色有 3 隻。
2. 無加蓋的盆栽，蝸牛分別休眠於盆壁與土層。

討論：
結果與扁蝸牛較偏好短波長之藍色 (章加實、陳武揚 1989) 相似。可用於誘捕防治扁蝸牛參考。

圖 (12) 棲息與接觸面顏色的偏好



3. 扁蝸牛對休眠接觸面顏色的偏好

放入扁蝸牛 20 隻在透明正方體實驗箱 (長 15cm 寬 15cm 高 15cm) 內，我們選擇扁蝸牛食物的綠色，生存環境的棕色及黑色，及文獻提到對扁蝸牛最具吸引力的藍色 (章加實、陳武揚 1989)，分別貼上黑、棕、綠及藍色的色紙，記錄三次不同時段，扁蝸牛休眠於各色紙位置的三次平均數量，統計結果如圖 (13)：

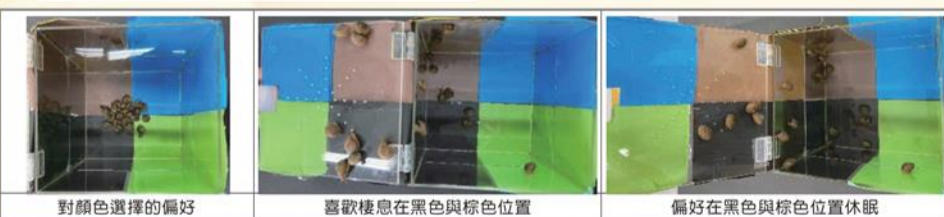
休眠的顏色偏好



結果：
最多扁蝸牛在黑色紙休眠有 11 隻 (55%)；其次是棕色有 7 隻 (35%)；綠色及藍色最少，各有 1 隻 (5%)。

討論：
研究過程也發現扁蝸牛離開飼養環境會選擇黑色物體休眠。

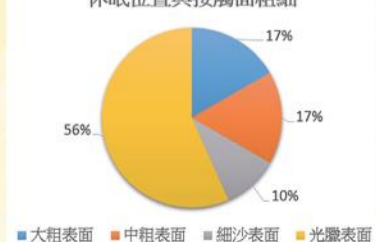
圖 (13) 對休眠接觸面顏色的偏好



4. 扁蝸牛對休眠接觸面粗細的偏好

扁蝸牛休眠時對接觸面粗細是否有不同偏好？放入扁蝸牛 30 隻於透明正方體實驗箱，分別貼上大粗、中粗、細沙及光纖的紙，觀察扁蝸牛休眠於粗、細不同位置的數量，紀錄三次不同時段，統計結果如圖 (14)：

休眠位置與接觸面粗細



結果：
最多扁蝸牛在光纖表面休眠有 56%；其次大粗及中粗，各有 17%；細沙最少，有 10%。

討論：
扁蝸牛偏好於光纖表面休眠，推測是比較適合爬行與棲息，濕度低時直接休眠。

圖 (14) 休眠接觸面粗細的偏好



二、扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動

- (一) 扁蝸牛休眠後醒來伸出活動

1. 休眠後醒來伸出活動的步驟

扁蝸牛休眠後伸出身體活動，有下列四個步驟：(1) 伸出腹足推薄膜；(2) 頭部伸出殼口；(3) 扭轉身體；(4) 開始爬行。



圖 (15) 休眠後再伸出身體的步驟

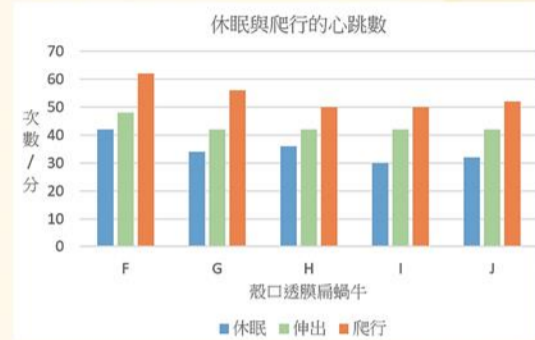
2. 休眠後醒來對於薄膜的處理方式

扁蝸牛休眠後醒來伸出活動，對於白色薄膜的處理方式，主要步驟是：(1) 用腹足推開薄膜；(2) 刮食可能黏在殼口的部分薄膜；(3) 薄膜黏在殼上或掉在地上。當濕度較低時，有些扁蝸牛推開薄膜會直接掉落，沒有刮食薄膜的情形。



- (二) 休眠、伸出及爬行時的心跳數

扁蝸牛休眠、伸出及爬行時的心跳數有差異嗎？測量 5 隻休眠殼口透膜扁蝸牛，記錄每隻休眠、伸出及爬行時的心跳數，各測量 3 次平均心跳數統計如下圖：



結果：
5 隻扁蝸牛都是休眠時心跳數最少，伸出時次之，爬行時心跳數最多。

圖 (16) 休眠、伸出及爬行心跳數差異

- (三) 不同薄膜狀態與扁蝸牛醒來時間有無差異

有肺蝸牛休眠時通常分泌一系列薄膜，每個連續的膜被狹窄空間隔開，其厚度、鈣化程度和產生的數量隨物種、季節和環境條件而變化 (M. Christopher Barnhart, 1983)。不同薄膜狀態對醒來時間有無影響呢？觀察殼口透膜及白膜各 5 隻，噴水後相對濕度 75%，紀錄伸出腹足的的時間，統計如下圖 (17)：



結果：
5 隻殼口透膜的扁蝸牛都比殼口白色薄膜的扁蝸牛先伸出身體；推測殼口透明膜的扁蝸牛對水或濕度的刺激比較敏銳，休眠與伸出活動時間較短。

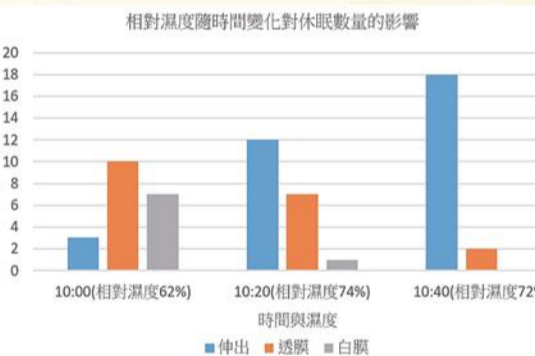
圖 (17) 噴水後伸出腹足的時間

- (四) 影響休眠後醒來伸出的重要因素

研究過程發現相對濕度提高及同伴喚醒行為，是影響扁蝸牛休眠後伸出活動的重要影響因素。

1. 相對濕度變化對休眠與醒來伸出的影響

以 20 隻扁蝸牛在溫度攝氏 24 度，透過噴水讓相對濕度提高，觀察扁蝸牛從休眠陸續伸出活動，有些自己醒來，有些被同伴喚醒伸出活動，每 20 分鐘紀錄一次，觀察相對濕度變化、時間及伸出活動的扁蝸牛數量，統計結果如下圖 (18)：



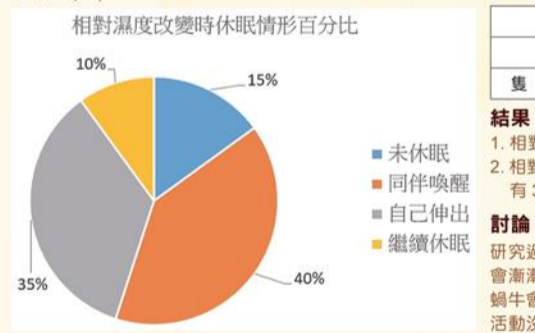
結果：
(1) 相對濕度 62% 有 3 隻 (15%) 扁蝸牛已伸出活動；相對濕度 72% 時有 15 隻 (75%) 的扁蝸牛從休眠醒來伸出活動。
(2) 殼口白膜扁蝸牛有 7 隻 (100%) 於噴水後相對濕度 72% 的 20 分鐘內都伸出活動。
(3) 殼口透膜扁蝸牛在噴水後 20 分鐘有 8 隻 (80%) 伸出活動；40 分鐘後相對濕度降為 55% 尚未休眠。

討論：
研究過程發現，當環境的相對濕度於 60%-72% 時，部分扁蝸牛休眠；當相對濕度提高於 72% 以上，多數扁蝸牛醒來伸出活動。

圖 (18) 相對濕度隨時間變化對休眠數量的影響

2. 噴水對休眠後醒來伸出的影響

透過噴水讓濕度變化，相對濕度從 62% 提高為 72%，溫度攝氏 24 度，20 隻扁蝸牛伸出活動的比例，統計結果如下圖 (19)：



	未休眠	同伴喚醒	自己伸出	繼續休眠
隻數	3	8	7	2

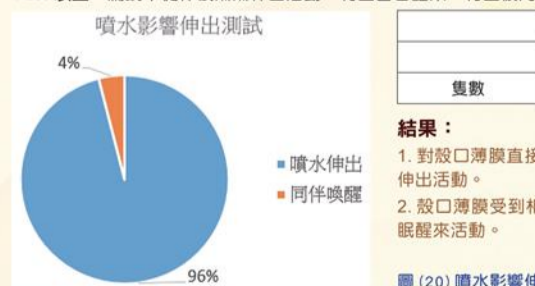
結果：
1. 相對濕度 62% 環境有 15% 未休眠；
2. 相對濕度提高為 72% 時，有 40% 是同伴喚醒；其次，有 35% 是自己醒來；有 10% 繼續休眠。

討論：
研究過程發現，當環境的相對濕度低於 60% 時，扁蝸牛會漸漸開始休眠；相對濕度提高於 70% 以上時，部分扁蝸牛會漸漸醒來伸出活動；相對濕度高於 90% 時都伸出活動沒有休眠。



3. 相對濕度及同伴喚醒對扁蝸牛醒來伸出的影響

相對濕度及同伴喚醒對扁蝸牛醒來伸出的影響情形如何？對 50 隻休眠扁蝸牛的殼口直接噴水，提高相對濕度為 72% 以上，扁蝸牛從休眠漸漸伸出活動，有些自己醒來，有些被同伴喚醒伸出活動，統計結果如下圖 (20)：



	噴水伸出	同伴喚醒
隻數	48	2

結果：
1. 對殼口薄膜直接噴水，有 96% 伸出活動；剩下的 4% 被同伴喚醒伸出活動。
2. 殼口薄膜受到相對濕度提高或同伴刺激濕潤時，扁蝸牛都會從休眠醒來活動。

圖 (20) 噴水影響伸出活動測試

三、扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為

我們發現扁蝸牛會喚醒休眠的同伴，對此行為感到非常好奇，目前尚未找到這方面的相關文獻，因此進行多次對休眠同伴喚醒行為的相關探究試驗與實驗。



用頭接觸薄膜喚醒同伴

將頭伸入殼口內喚醒同伴

成蝸喚醒休眠同伴伸出

（一）喚醒同伴行為對休眠扁蝸牛有影響嗎？

1. 喚醒行為對休眠扁蝸牛狀態的影響

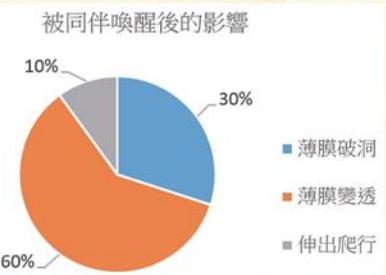
我們觀察扁蝸牛的喚醒行為後，可能對休眠同伴的影響有以下三種狀態：**(1) 薄膜破洞、(2) 薄膜變透、(3) 伸出爬行。**前二種喚醒行為的結果，會讓休眠同伴受影響而較快醒來伸出活動。另外，觀察發現，相對溼度低時，喚醒行為後比較慢伸出爬行；相對溼度高時，喚醒行為後立即伸出爬行。



（二）在菜園的喚醒同伴行為

1. 喚醒行為對休眠扁蝸牛的影響

室內觀察發現成蝸對休眠成蝸有明顯的喚醒行為。我們到菜園進行實地試驗。菜園的溫度攝氏 37.0 度，相對溼度 67.0% 時，觀察 10 隻休眠成蝸被同伴喚醒行為對殼口薄膜的影響，觀察 10 分鐘後結果統計如下圖 (21)：



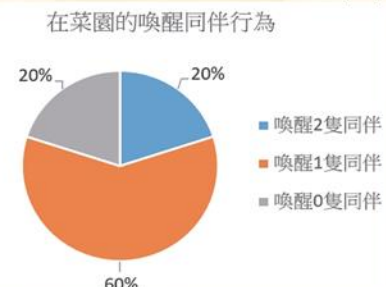
結果：薄膜變透的比例最高有 60%；其次是薄膜破洞；伸出爬行最少有 10%。

討論：觀察發現喚醒行為的結果與當下環境的濕度有關，相對溼度於 70% 以上時，喚醒後較快伸出；此測試過 20 分鐘後被喚醒的成蝸，都有醒來伸出。

圖 (21) 被同伴喚醒後的影響情形

2. 在菜園裡喚醒同伴的數量

我們以有「接觸殼口薄膜」作為有「喚醒同伴行為」的觀察紀錄，在菜園進行實地試驗。溫度攝氏 37.0 度，相對溼度 67.0%；共 10 隻伸出活動成蝸，以每次 1 隻爬行成蝸，喚醒 4 隻休眠成蝸，進行三次測試平均結果如圖 (22)：



結果：喚醒 1 隻同伴的比例最高有 60%；其次是喚醒 2 隻及 0 隻各 20%。

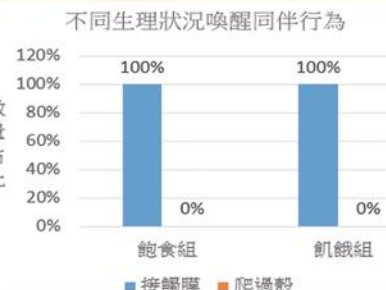
討論：在菜園與室內測試的結果類似，大多數成蝸喚醒附近休眠同伴，被喚醒的再繼續喚醒附近休眠同伴，推測以此陸續喚醒扁蝸牛團能集體醒來行動。

圖 (22) 菜園裡喚醒同伴隻數



（三）不同生理狀況的喚醒行為

我們好奇飢餓的扁蝸牛在菜園裡是否因為急著去吃食，而沒有喚醒行為？菜園實地進行喚醒試驗，溫度攝氏 34 度，相對溼度平均約 73%，在冬瓜葉上觀察 20 隻蝸牛，分為飽食組與飢餓組（至少 48 小時未進食），各組各有 5 隻伸出及 5 隻休眠，各觀察 15 分鐘，統計結果如下圖 (23)：



結果：飽食組與飢餓組都是 100% 有接觸殼口薄膜的喚醒行為；爬過殼行為是 0%。

討論：在菜園裡的飢餓組與飽食組，對休眠同伴一樣都有喚醒行為，推測喚醒行為與飢餓程度，及吃食薄膜的因素無關。

圖 (23) 菜園裡不同生理狀況喚醒同伴情形

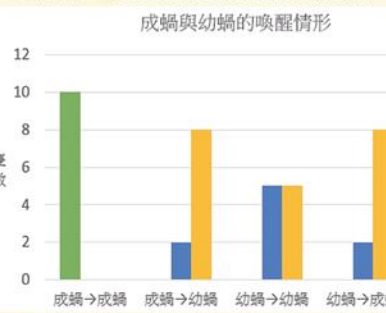
四、影響扁蝸牛喚醒行為的選擇差異

觀察扁蝸牛的喚醒行為是否受到哪些重要因素影響？我們探討：對成蝸或幼蝸同伴、距離遠近、不同薄膜、吃薄膜或吃菜葉的影響因素，更進一步瞭解喚醒行為。

（一）成蝸或幼蝸的喚醒行為有無差異

1. 單一對象的選擇

將試驗組別分為：A 組 - 成蝸對成蝸、B 組 - 成蝸對幼蝸、C 組 - 幼蝸對幼蝸、D 組 - 幼蝸對成蝸，四組各 10 隻（此試驗的幼蝸指螺層約 4.5 層，殼口尚未外翻），將測試喚醒同伴放至距離 1 公分處，分別觀察有無喚醒行為及數量，統計結果如下圖 (24)：



結果：(1) A 組 - 成蝸對成蝸，10 組都有接觸膜的喚醒行為；(2) B 組 - 成蝸對幼蝸，有 8 組爬離開，有 2 組成蝸對幼蝸爬過殼；(3) C 組 - 幼蝸對幼蝸，有 5 組爬離開，有 5 組幼蝸對幼蝸爬過殼；(4) D 組 - 幼蝸對成蝸，有 8 組爬離開，有 2 組幼蝸對成蝸爬過殼；(5) 只有成蝸對成蝸，有接觸膜的喚醒同伴行為；幼蝸對成蝸及對幼蝸，都沒有接觸膜的喚醒同伴行為。

討論：(1) 我們發現成蝸對成蝸有明顯的喚醒同伴行為。有些動物有利他行為 (Altruistic acts)，會增進其他個體的存活和繁殖成功的機會 (尚玉昌編, 2005)。推測成蝸喚醒休眠成蝸的行為，可能與利他行為有關，透過交互利他，可以增進群體的生存與繁殖機會。對這個問題我們覺得很有興趣，希望繼續探討。(2) 我們觀察推測成蝸對成蝸，對休眠同伴接觸薄膜是主動的喚醒行為；爬過殼比較可能是隨機的動作，但也可能因此喚醒同伴。目前我們尚未找到扁蝸牛有喚醒行為的相關文獻，值得深入探究。

2. 二種對象的選擇

進行五次成蝸選擇另一成蝸或幼蝸的喚醒同伴行為，統計結果如下表 (2)：

表 (2) 成蝸對喚醒同伴的選擇表

次序	第一次選擇	第二次選擇	第三次選擇	第四次選擇	第五次選擇
蝸牛	成蝸 幼蝸	成蝸 幼蝸	成蝸 幼蝸	成蝸 幼蝸	成蝸 幼蝸
接觸膜	✓	✓	✓	✓	✓
轉離開	×	×	×	×	×

結果：成蝸有 4 次 (80%) 選擇對休眠成蝸作接觸薄膜喚醒行為；0% 選擇喚醒幼蝸。
討論：測試結果發現，成蝸能分辨成蝸與幼蝸；選擇喚醒成蝸，沒有喚醒幼蝸。



（二）喚醒同伴行為有無距離影響差異

蝸牛集群有助於減少總暴露表面積並保持更濕潤的微氣候，從而降低水分流失率 (Panayiota Kotsakiozi 等, 2012)。想瞭解距離是否影響喚醒行為？在溫度攝氏 27 度，相對溼度平均 51%，觀察 8 隻飢餓蝸牛 (48 小時以上未進食)，每組以 3cm、2cm、1cm，觀察結果如下表 (3)：

表 (3) 不同距離對喚醒行為的影響

距離	3cm	2cm	1cm	是否伸出
A	-	-	-	否
B	-	爬過殼	接觸膜、爬過殼	是
C	爬過殼	接觸膜、爬過殼	接觸膜、爬過殼	是
D	-	爬過殼	接觸膜、爬過殼	是
E	爬過殼	-	接觸膜、爬過殼	是
F	-	-	-	否
G	-	接觸膜、爬過殼	-	是
H	-	爬過殼	接觸膜、爬過殼	是
共計 8 隻	0 隻接觸膜	2 隻接觸膜	4 隻接觸膜	6 隻伸出

結果：距離 3cm 有 0 隻接觸膜；距離 2cm 有 2 隻接觸膜；距離 1cm 有 4 隻接觸膜；6 隻被接觸膜扁蝸牛都伸出爬行。

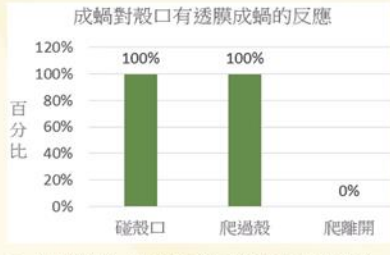
討論：距離 1、2cm 有接觸膜喚醒行為；推測與扁蝸牛成蝸殼寬 1.7-1.8cm 有關，觀察群聚休眠時距離多小於 1cm，先醒者容易接觸同伴身體而有主動或隨機喚醒休眠同伴行為。動物的利他行為可能也有群擇 (Group selection) 行為，協助沒有血緣關係的群體 (竹芳、吳書平)。推測成蝸因此而有群聚習性，值得進一步探討。



（三）成蝸對不同薄膜同伴的喚醒行為有無差異

1. 成蝸對殼口透膜同伴有無喚醒行為

成蝸對殼口白膜同伴有明顯的喚醒行為，好奇對殼口透膜同伴是否也有明顯的喚醒行為，在溫度攝氏 26 度，相對溼度平均 52%，取 10 隻各做 3 次平均統計如圖 (25)：



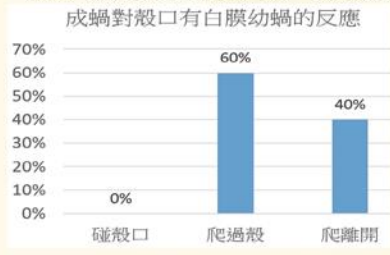
結果：成蝸對殼口透膜同伴有 100% 的接觸殼口及爬過殼的喚醒行為。

討論：因此推測成蝸不是為了吃白膜才有喚醒行為，對透膜的同伴也有喚醒行為。

圖 (25) 成蝸對透膜成蝸的反應

2. 成蝸對殼口白膜幼蝸同伴有無喚醒行為

我們好奇成蝸對殼口白膜幼蝸是否也有明顯的喚醒行為？在溫度攝氏 27 度，相對溼度平均 53%，取 10 隻各做 3 次平均，統計如圖 (26)：



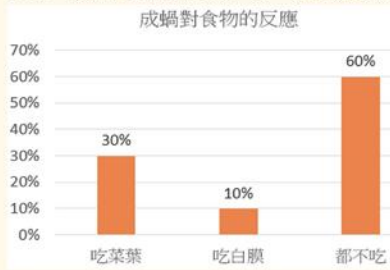
結果：成蝸對殼口白膜幼蝸有 0% 的接觸殼口；60% 爬過殼的喚醒行為。

討論：因此推測成蝸不是為了吃白膜才有喚醒行為，對白膜的幼蝸沒有接觸薄膜的喚醒行為。

圖 (26) 成蝸對白膜幼蝸的反應

（四）成蝸選擇白膜或是菜葉

有肺蝸牛會由外套膜分泌物在殼口形成薄膜，表皮由碳酸鈣沉積物增強的粘蛋白基質組成 (M. Christopher Barnhart, 1983)。我們好奇成蝸對食休眠同伴的白膜是為了喚醒同伴還是營養需求呢？設計成蝸選擇白膜 (一片薄膜) 或菜葉 (一片菜葉) 的試驗，在溫度攝氏 30 度，相對溼度平均 60%，取 10 隻各做 3 次平均，統計如圖 (27)：



結果：成蝸選擇吃白膜有 10%；30% 選吃菜葉；60% 都不吃。

討論：有較多比例選擇吃菜葉或都不吃；因此推測成蝸不是為了吃白膜才有喚醒行為。

圖 (27) 成蝸對白膜及食物的反應

伍、研究討論

一、光照對休眠位置有影響嗎？

室內休眠位置以扁蝸牛放置的區域 1 最多；其次是接近光源的區域 2；區域 4 最暗，卻沒有扁蝸牛去休眠。夜晚扁蝸牛會向光源處移動，在避光處或深色物品上休眠。



二、喚醒行為有哪些動作？

發現扁蝸牛常聚成一團，先醒來者對休眠同伴有不同的接觸行為，包括：1. 接觸薄膜 -- 碰觸薄膜或刮食薄膜喚醒同伴；2. 爬過殼 -- 造成振動或翻動刺激同伴感知醒來。我們測試 1 隻醒者對周圍 4 隻休眠同伴的影響 (相對溼度 70%，溫度 27 度)；有爬過、翻動及刮食薄膜的行為，最後 5 隻身體接觸形成扁蝸牛團，陸續醒來伸出活動。



三、喚醒行為對先後醒來伸出有影響嗎？

發現幼蝸常常比成蝸較早醒來伸出活動，我們將 5 隻休眠狀態的幼蝸及成蝸，同時抓離開罐子放置一起，觀察 20 分鐘內先醒來伸出活動的順序如表 (4)；發現成蝸都比幼蝸慢醒來伸出活動；推測成蝸有同伴喚醒經驗與行為，是否會因依賴喚醒而休眠後自動醒來伸出反應比較慢；覺得很有趣繼續探討。

表 (4) 扁蝸牛先醒來伸出活動的順序

分類	幼蝸 (5 隻)					成蝸 (5 隻)				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
伸出序	2	4	3	1	X	6	5	7	X	X

四、喚醒行為的生物意義為何？

從研究結果或，發現扁蝸牛喚醒行為主要不是為了飢餓或營養需求，我們好奇喚醒行為的生物意義是利他行為？或是利他也利己呢？

（一）利他行為

利他行為除了前面提到親緣選擇概念，廣義適合度也可能解釋扁蝸牛喚醒行為的意義。推測扁蝸牛的喚醒行為或翻動螺殼 (殼口朝上翻動為朝下) 可能是維護同伴安全的行為可增加同伴存活，也可能是維護種族繁殖所演化的利他行為。



（二）利他也利己

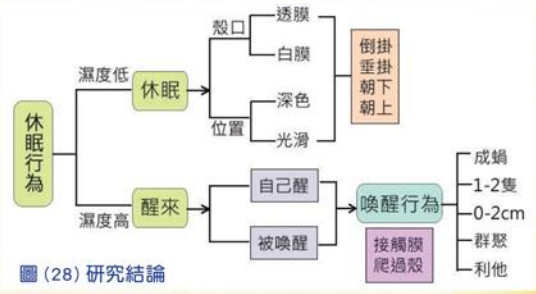
喚醒行為對扁蝸牛可能利他也利己，例如：就防禦行為來說，喚醒其他同伴一起行動，自己也比較安全；群聚休眠時，有同伴可以彼此被喚醒，不會繼續休眠以致缺乏動能而死亡；值得進一步探討。



陸、研究結論

一、扁蝸牛的休眠行為

扁蝸牛休眠時常見的殼口狀態主要有透明薄膜及白色薄膜；休眠姿態主要有垂掛黏壁、倒掛黏壁、殼口向下及殼口向上；溫度攝氏 27 度，相對溼度 50% 時，扁蝸牛開始休眠，相對溼度 75% 時沒有休眠；休眠時的心跳數明顯低於爬行時；偏好向光源爬行於深色及光滑面休眠。



二、扁蝸牛休眠後如何醒來伸出活動

扁蝸牛休眠後伸出身體活動，大多有下列四個步驟：1. 伸出腹足推薄膜，2. 頭部伸出殼口，接著刮食可能黏在殼口的部分薄膜，3. 扭轉身體，4. 開始爬行，薄膜黏在殼上或掉在地上。殼口透膜比白色薄膜先醒來伸出活動；相對溼度提高及同伴喚醒，是影響扁蝸牛醒來伸出的重要因素。

三、扁蝸牛對休眠同伴的喚醒行為

我們發現扁蝸牛會喚醒休眠的同伴；喚醒行為主要以接觸殼口薄膜，也可能用爬過螺殼。喚醒行為對同伴有以下三種影響：1. 薄膜破洞、2. 薄膜變透、3. 伸出爬行；喚醒 1 隻同伴的比例最高；飢餓組及飽食組在菜園裡對休眠同伴都有喚醒行為。

四、影響扁蝸牛喚醒行為的重要因素

我們探討影響扁蝸牛的喚醒行為的重要因素包括 1. 只有成蝸對成蝸有接觸薄膜的喚醒行為；距離小於 2cm 會接觸薄膜喚醒同伴的比例較高；對不同薄膜同伴都有喚醒行為；對幼蝸沒有接觸膜喚醒行為；推測成蝸不是為了吃薄膜才有喚醒行為，可能是利他行為也能利己，值得進一步研究。

柒、未來展望與建議

一、探討喚醒行為對生存與適應環境的生物意義

目前我們發現扁蝸牛有喚醒休眠同伴的行為，未來能進一步探討喚醒同伴行為對扁蝸牛的生存與適應環境有什麼好處？其他種類蝸牛是否也有這種行為？希望更進一步探討扁蝸牛休眠行為與環境的行為生態學相關知識。

二、應用休眠行為偏好誘捕防治扁蝸牛

適用於葡萄園的扁蝸牛防治實特瓶法，並不適合直接作為一般菜園防治應用；我們希望運用本研究發現扁蝸牛的行為習性及偏好，設計製作適用於菜園的扁蝸牛防治方法，避免使用農藥防治扁蝸牛，減少扁蝸牛對種菜的為害。

捌、參考資料 (略)