

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：動物學

作品名稱：枯木潛盾蝨——石氏煙管蝸牛 (*Euphaedusa sheridani shihi* Chang) 取食策略之研究

學校 / 作者：臺北縣立林口國民中學 蘇星彥

作者簡介

作者：蘇星彥

就讀學校：台北縣立林口國民中學

指導老師：鍾兆晉 老師

能參加這次國際科展，首先就要感謝鍾老師、爸媽及同學，從找蝸牛到印海報，謝謝他們一路上的支持鼓勵，雖然做實驗、趕報告時固然很苦，但他們每一聲的加油打氣，都讓我覺得其實我並不孤單，尤其是在有新發現時，心中的成就感瞬間轉虧為盈，總是迫不及待的想和他們分享我的喜悅。也謝謝張寬敏先生，謝謝他幫忙我們鑑定煙管蝸牛的品種，並提供許多相關資料，對於這些人的幫忙，感謝之情真是情溢乎詞。

本來這報告是參加全縣科展的，在一次蠻偶然的機會一見鍾情的愛上了煙管蝸牛，研究之後就更加無法自拔，因為縣展時評審老師提出了許多我們應當改進之處，爲了給自己再一次的機會，再一次的挑戰，參加了國際科展，繼續拓充自己的報告內容，讓我發現這實驗其實可以更深更廣，也發現了更多當初縣展時沒有發現的東西。



枯木潛盾機——石氏煙管蝸牛(*Euphaedusa sheridani shihi* Chang)取食策略之研究

The shield machine of rotten wood —— The study for the feeding strategies of *Euphaedusa sheridani shihi* Chang.

英文摘要 (Abstract)

When one time we beautified our campus. It made us meet the snails, *Euphaedusa sheridani shihi* Chang, unexpectedly. Maybe snails make people associate with the holes on vegetables tops in thinking. Do all of the snails make vegetables tops as their food? We compared with the weight of the wood which has been stayed by snails or not. After a week, the weight of the wood which has been stayed by *E. sheridani shihi* Chang decreased obviously. It showed they also make wood as their food.

What do they decompose wood become? First, we used the basic Carbohydrate's detection means to test the eluate of the wood which has been stayed by *E. sheridani shihi* Chang. However, we found both the eluate of the wood which has been stayed by *E. sheridani shihi* Chang or not can examine the Pentose out. So next, we plan to use SDS-PAGE to analyze the left enzyme on the wood, and use it to prove whether they secrete enzyme in mouth to decomposed wood or not.

In addition, the holes these snails made and the environment are connected. By means of changing light, temperature and humidity to experiment with how much wood can these snails decompose. We found in the dark, about 20°C and moist environment, they could decompose the wood the most.

Finally, the holes they made on the wood also have its ecological niche. They decomposed the wood not only hastened the dissolution of the wood, but also provided the microhabitat for alga, fungi and small bugs.

中文摘要

一次綠化校園的活動，製造了我們與石氏煙管蝸牛的邂逅。蝸牛，或許使很多人想到蔬菜上的洞，但真的所有的蝸牛都以蔬菜為食嗎？比對有無蝸牛棲息的兩組木頭，結果一星期之後有蝸牛棲息的木頭重量明顯減少，顯示蝸牛也以木頭為食。

那麼牠們把木頭分解成什麼呢？我們先以基本的醣類檢測方法，檢測蝸牛棲息過的木頭表面洗出液，不過發現不管有無蝸牛棲息皆可檢驗出五碳醣，接著預計用 SDS 膠體電泳看是否可以分離分析出蝸牛在消化木頭時殘留在木頭上的酵素，以證明蝸牛是否在口腔分泌酵素以分解木頭。

至於環境和蝸牛消化木頭的關係，我們藉著改變光線、溫度、溼度等變因進行實驗，發現牠們在陰暗、潮濕、約 20°C 的環境下可以分解最多的木頭。

最後，牠們分解木頭形成的洞也具有其生態意義，不僅加速木頭的分解，也製造了微棲地提供藻類、真菌及小型生物的生存空間。

壹、前言

一、研究動機

在綠化校園的活動中，發現了一塊滿是凹洞及蝸牛的木頭，仔細的觀察，我們發現只要稍加留意，石頭下、泥土或枯木堆中都可發現蝸牛的蹤跡。

經過圖鑑的查詢，知道那種蝸牛叫煙管蝸牛，仔細看看那塊木頭，木頭上布滿坑洞，在洞內好像還有更深的洞穴，這些是牠們製造的嗎？煙管蝸牛小小一隻，要做出那錯綜複雜的洞肯定經過很久的時間。

這有趣的現象，吸引我們深入探討，課本中只是輕描淡寫的指出蝸牛是一種軟體動物，是所有的煙管蝸牛都棲息在木頭上嗎？牠們是否只會棲息在同一種樹木呢？環境的影響和牠們鑽洞是否有些關聯？因為這些疑問，激起我們的好奇心繼續研究。

煙管蝸牛是一群很獨特的蝸牛，貝殼修長而略成紡錘形，螺塔高而有許多螺層，多數為左旋型。殼口的構造比一般蝸牛複雜，具有上板、下板、螺旋板、下軸板等，體層上並有特殊的腔襞圖，這些都是分類上的重要特徵。(賴景陽，1990)

煙管蝸牛屬於柄眼目、中輸尿管亞目的煙管蝸牛超科，種類很多，全世界約有2000~3500種(包括亞種)，分散於遠東區、歐洲區及南美洲西部等地。台灣分布8屬，若包含亞種則有48種(賴景陽，1990)。其中有一屬為真煙管蝸牛屬，殼多為小型，殼質較薄，殼體成長紡錘形。殼口脣緣多為寬厚。在這之中有一種蝸牛名為謝氏小煙管蝸牛。這次實驗就是用謝氏小煙管蝸牛的亞種——石氏煙管蝸牛進行。

謝氏小煙管蝸牛，學名 *Euphaedusa sheridani*，殼褐色或黃褐色，殼表具明顯之斜線雕刻紋，殼質薄，略微透明。殼口斜梨形、突出，長約3.3mm 寬約2.5mm，上板斜位，下板高位，於殼口處不明顯。腔襞構造為斜「J」形，主襞長，上腔襞較短，下腔襞於近殼口處顯露。閉板呈廣舌形。卵胎生。齒舌式：19+C+19。舊有文獻記錄該種蝸牛多棲息於森林內之樹林與草叢底層，或人為活動之公園、苗圃或草地。多活動於土壤層或岩石表面潮濕處。分布於台灣全島。(謝伯娟，2003)

1982年，貝類學會理事石忠榮先生自台北縣板橋市採集的八個煙管蝸牛標本經外殼測量觀察及解剖。因其外殼及生殖器解剖後發現頗似臺灣北部普遍棲生的謝氏煙管蝸牛。但因其外殼更粗短而殼口不露出下軸板，故設立一新亞種，命名為石氏煙管蝸牛。

石氏煙管蝸牛的殼形J形腔襞很相似謝氏煙管蝸牛。尤其在生殖器有粗大的陰莖鞘、腔及精囊柄部，有比精囊及精囊管之長度更短之盲管等諸項兩者相同。但新亞種殼形稍粗短，殼表有更微弱的斜狀線彫刻，殼口不像謝氏煙管蝸牛突出前面而不見下軸板。這新亞種與華中煙管蝸牛也因其殼表有光澤，黃褐色及微弱斜線彫刻，殼頂平呈示白色，殼口成斜狀梨形之緣故而不同種。尤其在閉板末端呈示三角形尖狀異於後者的圓狀。因此可認本種是謝氏煙管蝸牛之新亞種。(張寬敏，1982)

分類地位：動物界 Kingdom Animalia

軟體動物門 Phylum Mollusca

腹足綱 Class Gastropoda

有肺亞綱 Subclass Pulmonata

柄眼目 Order Stylommatophora

中輸尿管亞目 Suborder Mesurethra

煙管蝸牛科 Family Clausiliidae

煙管蝸牛屬 Genus *Phaedusa*

真煙管蝸牛亞屬 Subgenus *Euphaedusa*

謝氏小煙管蝸牛 *Euphaedusa sheridani*

亞種：石氏煙管蝸牛 *Euphaedusa sheridani shihi* Chang

(劉月英等，1992；沈麗蕙等 1982)

近年仍有許多學者致力於煙管蝸牛的研究，從 1975 年來，張寬敏先生陸續和多位學者在貝類學報上發表發現新種的報告；在貝類學報中，也有些關於染色體、解剖、和殼形的文獻，而關於蝸牛行爲及生態的研究卻十分的罕見，這次的研究就以石氏煙管蝸牛爲研究對象，對煙管蝸牛的取食策略進行深入的探討，此外，也對他們棲地的選擇做相關的研究。

二、實驗目的

- (一)、分析煙管蝸牛取食類型；
- (二)、證明石氏煙管蝸牛喜好棲息枯木中；
- (三)、設計實驗追蹤枯木中石氏煙管蝸牛棲身洞穴形成之原因；
- (四)、探討石氏煙管蝸牛取食條件；
- (五)、驗證石氏煙管蝸牛消化枯木之機制；
- (六)、檢驗石氏煙管蝸牛棲身洞穴之生態意義；
- (七)、調查石氏煙管蝸牛於棲息地分布情形。

貳、研究方法與過程

一、研究器材與設備

(一)、證明石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang) 專門棲息於枯木中：

| | |
|---|--------------|
| 1、布滿坑洞的枯木(大小, 洞的數量不能相差太多) | 兩塊 |
| 2、扁蝸牛(<i>Bradybaena similaris</i>) | 20 隻 |
| 3、石氏煙管蝸牛(<i>E. sheridani shihi</i> Chang) | 20 隻 |
| 4、鏟子(長: 13.5cm 寬: 1cm, 不鏽鋼製) | 一個 |
| 5、飼養箱(長: 約 29cm, 寬: 約 17cm, 高: 約 17cm, 塑膠製) | 兩個 |
| 6、乾土 | 鋪在飼養箱底層約一公分厚 |
| 7、量杯(容量: 50ml) | 一個 |
| 8、水 | 共約 220ml |

(二)、證明木頭上的坑坑洞洞有一部分是石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)所製造：

| | |
|---|--------------|
| 1、石氏煙管蝸牛 | 20 隻 |
| 2、榕樹的木頭(形狀大小須相似, 質量盡量控制到完全相同) | 兩塊 |
| 3、微量天秤(廠牌: JDEVER 型號: SNUG-1500 測量範圍: 1.5~0.05kg) | 一臺 |
| 4、飼養箱(長: 約 29cm, 寬: 約 17cm, 高: 約 17cm, 塑膠製) | 兩個 |
| 5、乾土 | 鋪在飼養箱底層約一公分厚 |
| 6、水 | 約 100ml |

(三)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)分解木材形成成分：

| | |
|------------------|--------|
| 1、被石氏煙管蝸牛爬過的木頭 | 數塊 |
| 2、試管(容量: 60 毫升) | 十個 |
| 3、試管夾 | 一個 |
| 4、燒杯(容量: 250 毫升) | 一個 |
| 5、三角架 | 一個 |
| 6、陶瓷纖維網 | 一個 |
| 7、酒精燈 | 一個 |
| 8、量筒(容量: 10 毫升) | 一個 |
| 9、本氏液 | 5ml |
| 10、火柴 | 一盒 |
| 11、水 | 適量 |
| 12、Molish 試劑 | 20 滴 |
| 13、濃硫酸 | 共 10ml |
| 14、Barfoed 試劑 | 共 20ml |
| 15、Bail 試劑 | 共 50ml |

(四)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否分泌酵素以消化木頭：

- | | |
|--------------------------------------|------|
| 1、沾有很多石氏煙管蝸牛爬過的痕跡的木頭 | 一塊 |
| 2、燒杯（容量：250 毫升） | 一個 |
| 3、三角架 | 一個 |
| 4、陶瓷纖維網 | 一個 |
| 5、酒精燈 | 一個 |
| 6、火柴 | 一盒 |
| 7、水 | 適量 |
| 8、蛋 | 1 個 |
| 9、玻璃板 | 1 塊 |
| 10、酒精（隆田酒廠，瓶裝日期：93.08.06 14:57，95 度） | 適量 |
| 11、石氏煙管蝸牛 | 20 隻 |
| 12、試管 | 一個 |

(五)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)的齒舌構造：

- | | |
|--|----|
| 1、解剖顯微鏡（品牌：OLYMPUS OPTICAL CD.,LTD 型號：MODLE CHL NO.IC0020） | 一臺 |
| 2、石氏煙管蝸牛 | 數隻 |
| 3、大頭針（長：4.6cm，寬：0.3cm） | 兩枝 |
| 4、滴管（長：18cm，寬：1.5cm，塑膠） | 一個 |
| 5、酒精（隆田酒廠，瓶裝日期：93.08.06 14:57，95 度） | 適量 |

(六)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否只會在榕樹上鑽洞：

- | | |
|------------------------------------|-------|
| 1、樟樹木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 2、榕樹木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 3、相思樹木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 4、苦苓木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 5、尤加利樹木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 6、樹子木塊（和另外三塊大小不能差太多） | 一塊 |
| 7、大收納箱（長：約 50cm，寬：約 40cm，高：約 30cm） | 一個 |
| 8、石氏煙管蝸牛 | 100 隻 |

(七)、探討光線與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

- | | |
|--|--------------|
| 1、石氏煙管蝸牛 | 80 隻 |
| 2、木頭（形狀大小須相似，品種相同，質量盡量控制到完全相同） | 4 塊 |
| 3、微量天秤（廠牌：JDEVER 型號：SNUG-1500 測量範圍：1.5~0.05kg） | 一臺 |
| 4、黑色大垃圾袋 | 2 個 |
| 5、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） | 四個 |
| 6、乾土 | 鋪在飼養箱底層約一公分厚 |
| 7、水 | 約 720ml |

- 8、透明玻璃紙 一張
- (八)、探討石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)的負趨光性：
- 1、塑膠盒（當支撐物，可以支撐玻璃板即可，大小不限） 適量
 - 2、木頭（任意一種皆可） 一塊
 - 3、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） 一個
 - 4、玻璃板（長：45cm，寬：25cm，高：0.3cm） 適量
 - 5、石氏煙管蝸牛 20 隻
 - 6、燈泡（25W，115V，旭光長壽特光燈炮） 一個
- (九)、找出石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)喜歡的溼度：
- 1、水 適量
 - 2、木頭（任意一種皆可） 一塊
 - 3、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） 一個
 - 4、乾土 適量
 - 5、石氏煙管蝸牛 30 隻
- (十)、探討溼度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)鑽洞的關係：
- 1、石氏煙管蝸牛 60 隻
 - 2、木頭（形狀大小須相似，品種相同，質量盡量控制到完全相同） 3 塊
 - 3、微量天秤（廠牌：JDEVER 型號：SNUG-1500 測量範圍：1.5~0.05kg） 一臺
 - 4、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） 三個
 - 5、乾土 鋪在飼養箱底層約一公分厚
 - 6、水 共約 600ml
- (十一)、探討溫度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)鑽洞的關係：
- 1、石氏煙管蝸牛 120 隻
 - 2、木頭（形狀大小須相似，品種相同，質量盡量控制到完全相同） 6 塊
 - 3、微量天秤（廠牌：JDEVER 型號：SNUG-1500 測量範圍：1.5~0.05kg） 一臺
 - 4、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） 六個
 - 5、乾土 鋪在飼養箱底層約一公分厚
 - 6、水 共約 240ml
 - 7、恆溫箱（廠牌：CHANNEL，型式：IB45，製造：89 年 6 月，電壓：110V，電相：1，電流：3A） 一臺
- (十二)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)造成的凹洞是否和生物的分解有關：
- 1、有石氏煙管蝸牛棲息的枯木 數塊
 - 2、美工刀 一把
 - 3、直尺（15cm 即可） 一把

(十三)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)吃木頭時生物分解是否為必要因素：

- | | |
|--|--------------|
| 1、石氏煙管蝸牛 | 20 隻 |
| 2、新砍下的榕樹木塊 | 一塊 |
| 3、腐朽程度較高的榕樹木塊 | 一塊 |
| 4、乾土 | 鋪在飼養箱底層約一公分厚 |
| 5、水 | 適量 |
| 6、飼養箱（長：約 29cm，寬：約 17cm，高：約 17cm，塑膠製） | 一個 |
| 7、電鑽（品牌：BOSCH，型號：PSB 13RE，額定頻率：50/60Hz，額定電壓：AC115V，額定消耗功率：500W，滿載電流：4.7A，絕緣種類：第二類，鑽頭直徑：7mm，） | 一臺 |
| 8、美工刀 | 一把 |

(十四)、證實石氏煙管蝸牛可製造微棲地供其他生物生存：

- | | |
|----------------|----|
| 1、石氏煙管蝸牛棲息過的木塊 | 數塊 |
|----------------|----|

二、研究過程或方法

本研究完整實驗流程圖如下：



圖一、石氏煙管蝸牛實驗流程圖。

表一、將樹棲和地棲性的煙管蝸牛作簡單的分類

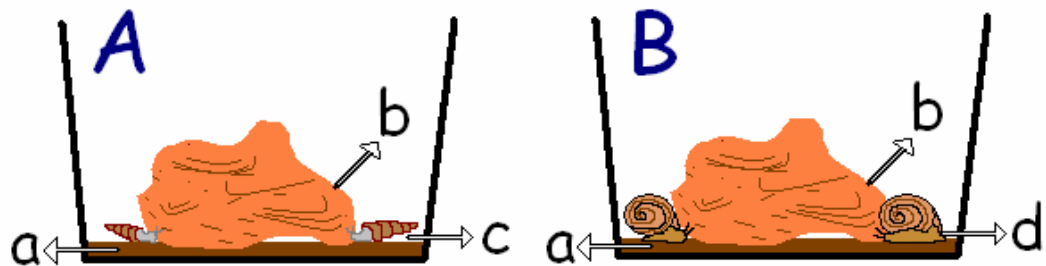
| 樹棲性煙管蝸牛 | 地棲性煙管蝸牛 |
|----------|----------|
| 台灣寬口煙管蝸牛 | 白口煙管蝸牛 |
| 堀川氏煙管蝸牛 | 淡水煙管蝸牛 |
| 高橋氏細煙管蝸牛 | 麥氏煙管蝸牛 |
| | 台灣紡錘煙管蝸牛 |
| | 王氏煙管蝸牛 |
| | 小板氏煙管蝸牛 |
| | 似謝氏煙管蝸牛 |
| | 兩端白煙管蝸牛 |
| | 和仁煙管蝸牛 |
| | 廬山煙管蝸牛 |
| | 安通煙管蝸牛 |
| | 謝氏小煙管蝸牛 |
| | 石氏煙管蝸牛 |
| | 斯文豪氏煙管蝸牛 |
| | 台灣煙管蝸牛 |
| | 光澤台灣煙管蝸牛 |
| | 冷泉煙管蝸牛 |
| | 白頂台灣煙管蝸牛 |
| | 林氏煙管蝸牛 |
| | 鬼牙細煙管蝸牛 |
| | 紡錘細煙管蝸牛 |

棲息於樹林底層的地棲性蝸牛，由於缺乏陽光照射，腐植質較高，蝸牛多生息於其中的腐木、倒木或灌叢內，要找這類的蝸牛，只要將地上的覆蓋物清除就很容易發現。樹棲性的蝸牛常棲息於樹幹間或附生植物上的積水處，要尋找這類的蝸牛，必須仔細留意樹幹間的縫隙或是樹幹與樹葉背面（謝伯娟，2004）。本實驗所研究的對象為石氏煙管蝸牛，則在缺乏陽光照射的腐木、灌木叢中都很容易發現。

(一)、證明石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡棲息於枯木中：

- 1、取兩個飼養箱，在飼養箱內鋪上土約 1 公分，並在兩個飼養箱中各放入一塊坑坑洞洞的木頭，並各加水 50ml。
- 2、其中一個飼養箱 A 放入石氏煙管蝸牛 20 隻（放在土上），另一飼養箱 B 則放入扁管蝸牛 20 隻（放在土上），相隔約 24 小時後，記錄飼養箱 A、B 中各有多少隻蝸牛爬到木頭上。
- 3、每天記錄爬到木頭上的蝸牛數量後各加水 10ml 保濕，並把前一天爬到木頭上的蝸牛用鑷子抓下後放到土上，重新開始實驗，連續實驗七次，並平均出

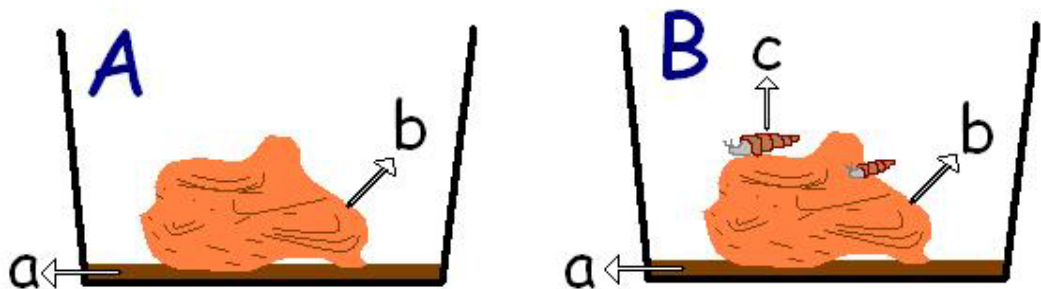
兩種蝸牛爬上枯木的比例。



圖二、比較石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)和扁蝸牛(*B. similis*)爬進枯木中比例示意圖 (a: 一公分厚的泥土 b: 榕樹枯木 c: 石氏煙管蝸牛 d: 扁蝸牛)。

(二)、證明木頭上的坑洞有一部分是石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)所製造：

- 1、取兩個飼養箱，在飼養箱內鋪上土約 1 公分。先在兩塊木頭上各加入 50ml 的水，並用微量天秤測量一開始榕樹木頭的重量。
- 2、把榕樹木塊分別放入兩個飼養箱，設一組飼養箱 A 不放蝸牛，為對照組，另一組 B 則在木頭上放石氏煙管蝸牛 20 隻，為實驗組。
- 3、隔一週後，再用微量天秤測量榕樹木塊的重量，並探討其數字的變化。



圖三、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)是否會消化木頭示意圖 (a: 一公分厚的泥土 b: 榕樹木頭 c: 石氏煙管蝸牛)。

(三)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi Chang*)分解木材形成成分：

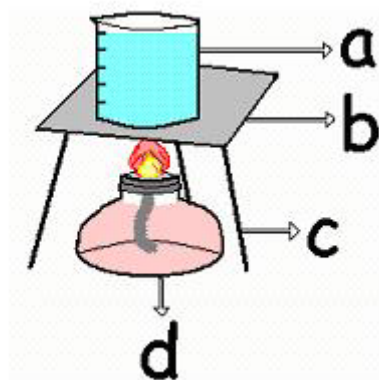
- 1、被石氏煙管蝸牛棲息過的木頭，若牠們真的會在口中分泌酵素幫助攝食，木頭表面上或多或少的會留下其分解木頭後的殘留醣類，用水沖過蝸牛棲息過的木頭表面，收集其洗出液體（設此為洗出液 A），再用水沖洗未被蝸牛棲息過的木頭，設這為洗出液 B，最後把洗出液 A、B 分別進行醣類檢測。
- 2、取一燒杯並在其內放入 250ml 的水，裝五支內有 5ml 的洗出液 A 到五個試管中，並在每個試管內再加入 5ml 的本氏液，放入燒杯中隔水加熱，觀察本氏液顏色的變化。將洗出液 B 同上方法實驗一次。
- 3、醣類的一般檢測：
 - (1)、Molish 檢驗：取 10 支試管，標示水(5 支)及洗出液(5 支)於試管上，在試管中分別加入 2ml 的水或洗出液、加入 1~2 滴 Molish 試劑，由各管

壁再緩緩加入 1ml 濃硫酸，觀察紅紫色在交界面出現表示含糖。(不可搖動)

- (2)、Barfoed 檢驗：取 10 支試管同上，標示後於試管中分別加 1ml 的水或洗出液及 2ml 試劑，置沸水中加熱，觀察形成氧化亞銅紅色沉澱的時間，若在 4~5 分鐘內即可形成者表示為單醣，在超過 20 分鐘才有紅色產物者為雙醣，必要時可過濾單醣，沉澱後再檢驗雙醣。
- (3)、Bail 檢驗：取 10 支試管標示後，各加入 1ml 的水或洗出液及 2ml 的 Bail 試劑；加熱至開始沸騰時，觀察顏色變化；若呈深綠色則為五碳醣；呈棕色為六碳醣。
- (4)、Seliwanoff 檢驗：取 10 支試管標示後，各加 3 滴的水或洗出液及 3ml 的 Seliwanoff 試劑在沸水中加熱，呈深紅色則為酮醣。
- (5)、Benedict 檢驗：取 10 支試管標示過，加幾滴的水或洗出液及 2ml 的 Benedict 試劑在沸水中加熱，呈深紅色氧化銅沉澱表示具有還原能力的醣。(王月雲等，1987)

(四)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否分泌酵素以消化木頭：

- 1、因酵素是一種蛋白質，把上實驗所使用的洗出液 A、B 倒入燒杯加熱，觀察燒杯內有無白色固體。
- 2、把蝸牛放在玻璃上爬，20 分鐘後把蝸牛拿起，等玻璃上的黏液乾了以後再滴酒精，觀察黏液是否變成白色。
- 3、把生雞蛋的蛋白和蛋黃分離，把蛋白放入試管中，加入酒精，觀察蛋白的變化，並和上一個步驟作比較。



圖四、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)棲息過的木頭是否含有酵素示意圖(a: 裝有蝸牛爬過的分泌物的燒杯 b: 陶瓷纖維網 c: 三腳架 d: 酒精燈)。

3、SDS-聚丙烯醯胺膠體電泳技術：

生物高分子絕大部分都帶有電荷，電泳的實驗條件又比較溫和，可以在較低溫度下進行，因此電泳技術在生化研究中已廣泛用於蛋白質、脂蛋白、多糖、核酸、酶、激素和維生素等的分離分析。

SDS 聚丙烯醯胺膠體電泳 PAGE，是最普遍的蛋白質電泳方式，SDS 是界面活性劑，可使蛋白質變性，並在分子表面均勻佈上一層負電荷。因此在 SDS-PAGE 系統中，樣本分子的泳動率，僅取決於其分子量，而與原來分子所帶的電荷無關，故 SDS-PAGE 可用來測定變性狀態 (denatured) 蛋白質之分子量，與原態 (native) 分子量可能不一樣。

〈資料來源：電泳技術：<http://juang.bst.ntu.edu.tw/ECX/Ana3.htm>〉

(五)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang) 的齒舌構造：

用解剖刀把石氏煙管蝸牛解剖後，再用解剖顯微鏡觀察其齒舌構造並繪圖。

(六)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否只會在榕樹上鑽洞：

在大收納箱內放入一些泥土和落葉，並把 100 隻石氏煙管蝸牛平均放在土壤上，再把剛砍下的榕樹、苦苓、尤加利樹、樟樹、相思、樹子這幾種木頭放在土上，把 500ml 的水平均灑上木頭，每隔一個星期之後觀察每塊木頭上的蝸牛數量，連續觀察 4 週。

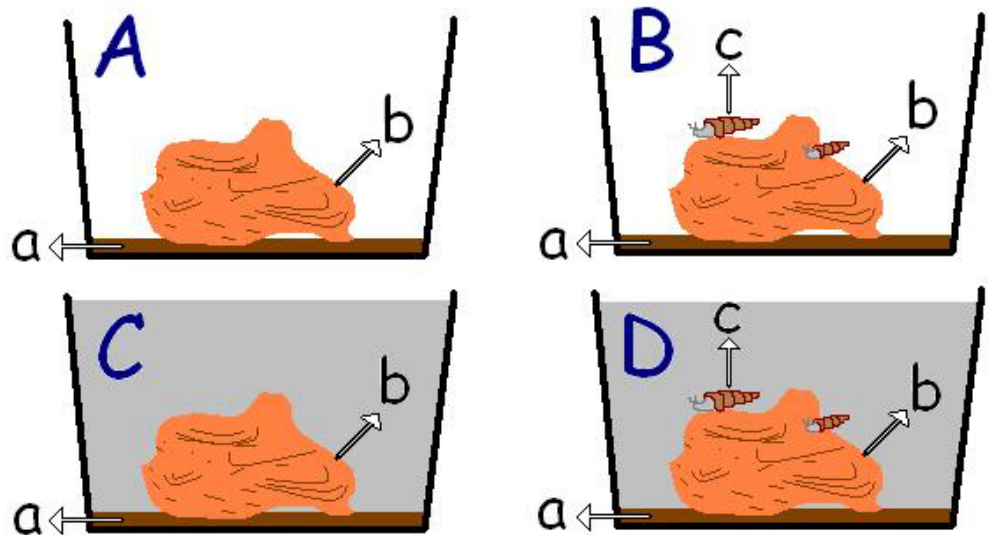
(七)、探討光線與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

- 1、取 4 塊形狀大小相當的榕樹木頭。放入四個飼養箱，在飼養箱內鋪上土約 1 公分，在飼養箱內各放入一塊木頭。
- 2、設四個飼養箱分別為飼養箱 A、B、C、D，型式如下表所示：

表二、實驗光線和石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞關係的飼養箱的內容

| 飼養箱 | light | No.sample |
|-----|-------|-----------|
| A | + | 0 |
| B | + | 20 |
| C | - | 0 |
| D | - | 20 |

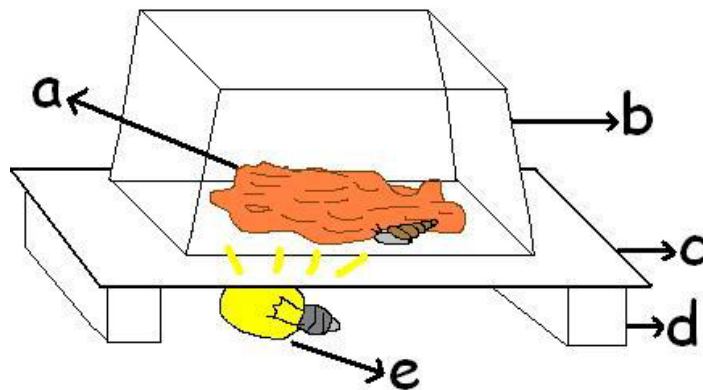
- 3、用 30ml 的水往四塊木頭上澆下，控制四塊木頭重量相同，若有較重的木頭，可將其撥去一點以控制重量。飼養箱 A、B 用透明玻璃紙包住，並照光；飼養箱 C、D 除了放在陰暗處並再用黑垃圾袋包住，連續觀察兩天，兩天後再用微量天秤比較 4 組木頭的質量。
- 4、重複實驗六次，並算出 A、B、C、D 四組木頭平均減少的重量。



圖五、實驗光線和石氏小煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞關係的示意圖 (a: 一公分厚的泥土 b: 榕樹木頭 c: 石氏小煙管蝸牛)。

(八)、探討石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否因有負趨光性而棲息於腐木底部：

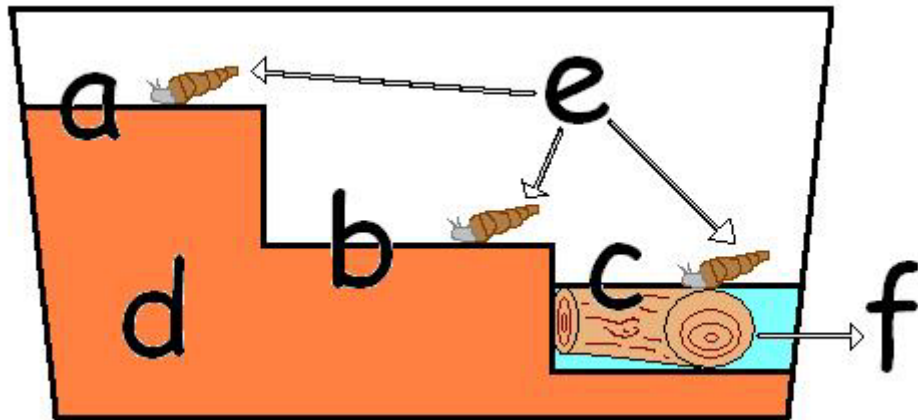
- 1、取一個面積大於飼養箱開口的玻璃板，將腐木和 20 隻煙管蝸牛放在玻璃板上（蝸牛放在腐木周圍接近光源處）。
- 2、將飼養箱蓋住木頭和蝸牛，找兩個支撐物將玻璃板墊高，並在玻璃管的正下方放燈泡。
- 3、兩天後，觀察蝸牛是否仍在木頭的周圍。並重複實驗五次。



圖六、探討石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否真的因為躲避光線而棲息於腐木底部之實驗示意圖(a: 腐木和蝸牛 b: 飼養箱 c: 玻璃板 d: 支撐物 e: 燈泡)

(九)、找出石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡的溼度：

- 1、用乾土在飼養箱內製成一個階梯的形狀，把第二階用水淋濕，在第三階倒入過多的水使它積水，並把一塊木頭淋濕後放入第三階。
- 2、在每一階都放入 10 隻石氏煙管蝸牛，每天記錄各階層的蝸牛數量，連續一週。



圖七、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡的濕度示意圖 (a：第一階→乾土 b：第二階→濕土 c：第三階→積水 d：泥土 e：石氏煙管蝸牛 f：木頭)。

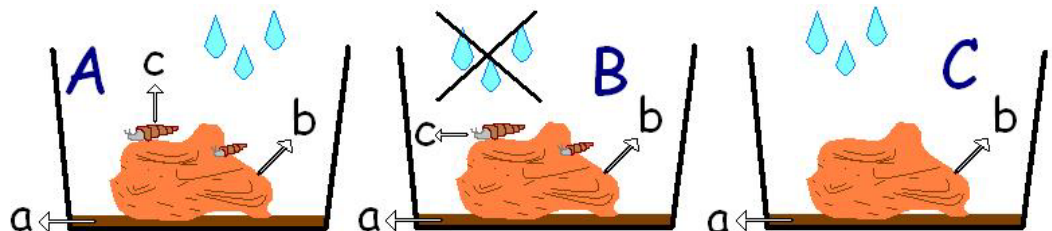
(十)、探討溼度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

- 1、取3塊形狀大小相當的榕樹木頭。放入三個飼養箱，在飼養箱內鋪上土約1公分，在飼養箱內各放入一塊木頭。
- 2、設三個飼養箱A、B、C，型式如下表格：

表三、探討溼度和石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞關係的飼養箱的內容

| 飼養箱 | water | No.sample |
|-----|-------|-----------|
| A | + | 20 |
| B | - | 20 |
| C | + | 0 |

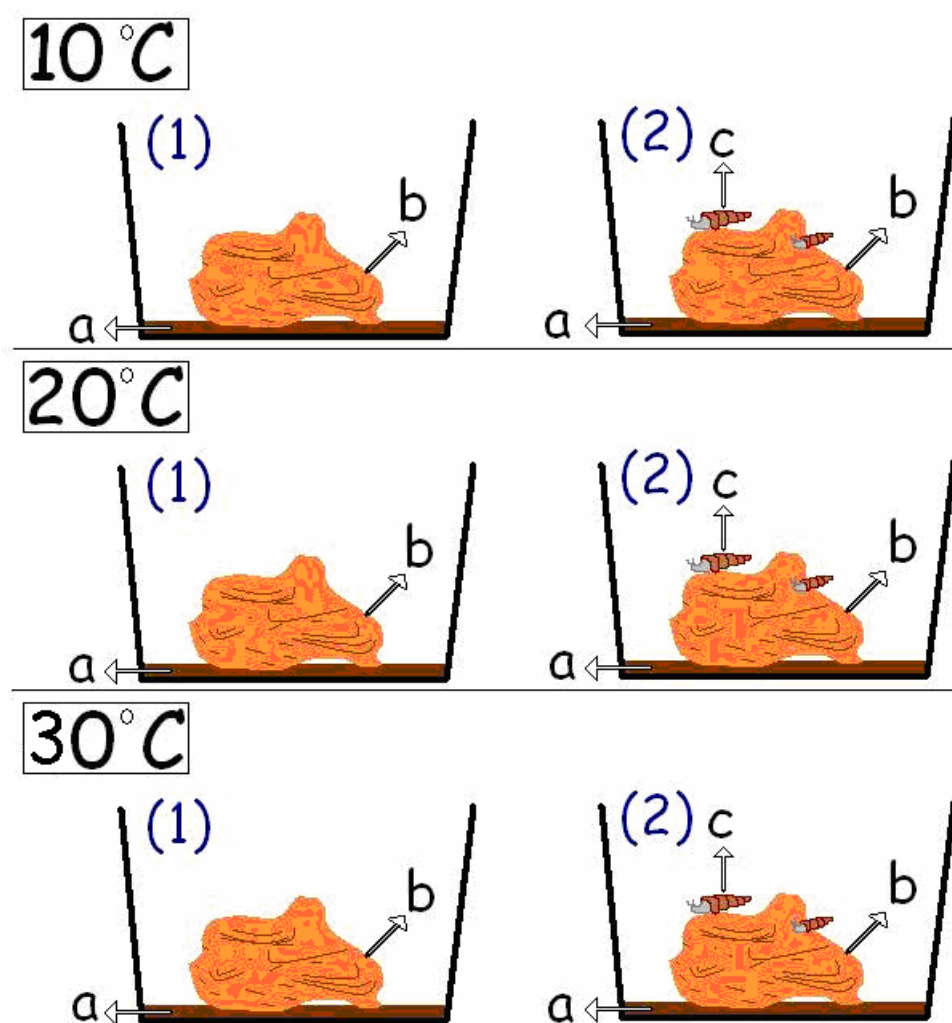
- 3、將A、C木塊加上50ml的水，並控制三塊木頭重量相同，若有較重的木頭，可將其撥去一點以控制重量。兩天後再用微量天秤比較3組木頭的質量。
- 4、重複實驗六次，並算出A、B、C三組木塊平均減少的重量。



圖八、探討溼度和石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞關係的示意圖 (a：一公分厚的泥土 b：榕樹木頭 c：石氏煙管蝸牛)。

(十一)、探討溫度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

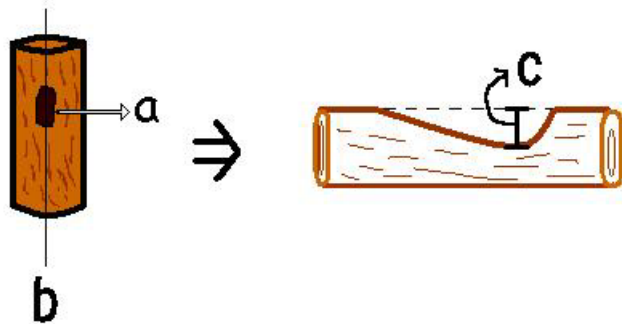
- 1、取 6 塊形狀大小相當的榕樹木頭。放入六個飼養箱，在飼養箱內鋪上土約 1 公分。
- 2、設這些飼養箱分別為高溫 (30°C)、室溫 (20°C)、低溫 (10°C)，每個溫度又分：
 - (1)、沒放蝸牛，
 - (2)、有放蝸牛。
- 3、控製六塊木頭重量相同，若有較重的木頭，可將其撥去一點以控制重量。共有 6 組實驗，連續觀察兩天，一開始先加水 30ml，兩天後再用微量天秤比較 6 組木頭的質量。
- 4、連續實驗四次，並算出四組木塊平均減少的重量。



圖九、實驗溫度和石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞關係的示意圖(a:一公分厚的泥土 b:榕樹木頭 c:石氏煙管蝸牛)。

(十二)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)造成的凹洞是否和生物分解有關：

- 1、將棲息在洞中的煙管蝸牛取出。
- 2、把蝸牛原本棲息的洞縱切（如圖十一的直線 b），並在縱剖面上量出凹洞的最深深度（如圖十一的 c）。
- 3、由木塊的軟硬、顏色判定是否被一些生物先分解破壞過，並觀察和凹洞的最深深度的關係。



圖十、石氏煙管蝸牛鑽出的洞的解剖圖（a：石氏煙管蝸牛鑽出的洞 b：切下的線段 c：最深深度）。

(十三)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)吃木頭時生物分解是否為必要因素：

- 1、把新砍下的榕樹木塊用電鑽鑽出直徑為 7mm 的洞 20 個。
- 2、取腐朽程度較高的榕樹木塊，表面的坑洞用美工刀削平，讓表面盡量平坦。
- 3、在飼養箱內鋪上土約 1 公分，並在土上放下 20 隻煙管蝸牛，把兩塊腐朽程度不同的榕樹木塊用水沖過表面，再放入飼養箱中。
- 4、一天後分別記錄在兩塊木頭上的蝸牛數量，重複實驗五次，並分別算出蝸牛爬到兩塊木頭上的平均比例。

(十四)、證實石氏煙管蝸牛可製造微棲地供其他生物生存：

- 1、尋找石氏煙管蝸牛取食過後遺留的凹洞。
- 2、觀察並計算凹洞內生物的種類及數量（藻類、地衣、真菌類用面積表示）。
- 3、計算比例。

參、研究結果及討論

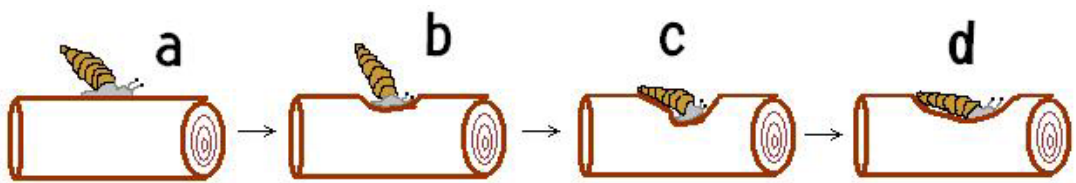
一、研究結果

(一)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)形態分布，結果如圖十一，成熟的石氏煙管蝸牛殼長約 13~15mm，比一個壹圓硬幣的直徑還短。

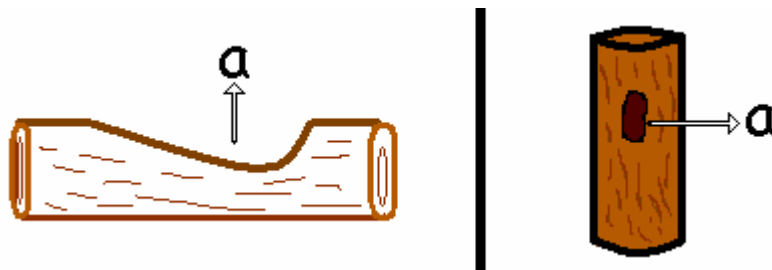


圖十一、不同大小的石氏煙管蝸牛排列圖示 (a：一元硬幣)。

(二)、在我的研究觀察中，歸納煙管蝸牛潛盾的過程簡述如下：



圖十二、煙管蝸牛潛盾過程示意圖 (a：一截枯木與初爬上枯木的蝸牛 b：蝸牛在枯木上消化小部分的木頭 c：蝸牛繼續往下沿殼形消化木頭 d：製造出完整的洞)。

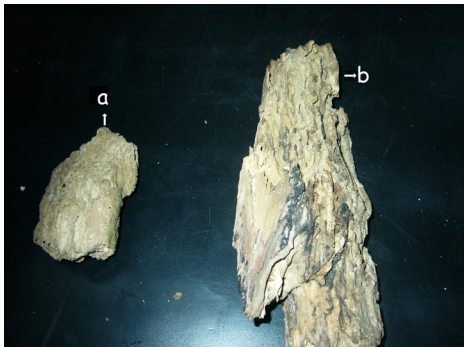


圖十三、煙管蝸牛鑽出的洞的剖面圖 (左圖為側面圖；右圖為俯視圖，a：煙管蝸牛鑽的洞)。

圖十二與圖十三兩圖為我觀察石氏煙管蝸牛向下潛盾的結果。



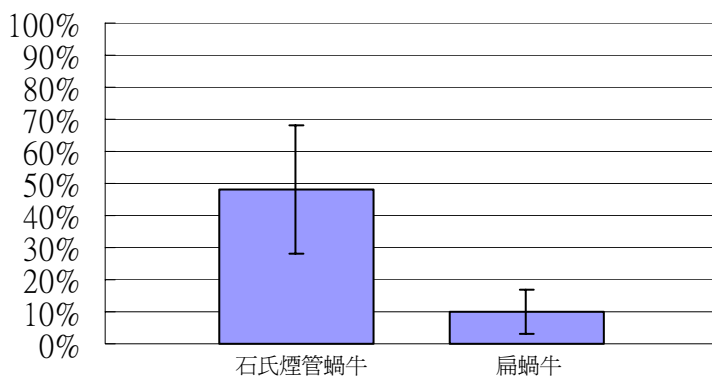
圖十四、石氏煙管蝸牛於自然棲息地聚集的情形。



圖十五、沒凹洞和有凹洞的木塊的比較 (a: 沒有凹洞的木塊 b: 有凹洞的木塊)。

我們就是在木塊 b 上發現一個石氏煙管蝸牛的族群，在木塊 a 上只有零星看到兩三隻，但若經過蝸牛長時間的消化木頭，也是有可能成為木塊 b 坑坑洞洞的樣子。

(三)、證明石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡棲息於枯木中：



圖十六、石氏煙管蝸牛和扁蝸牛會爬進木頭中的比例。

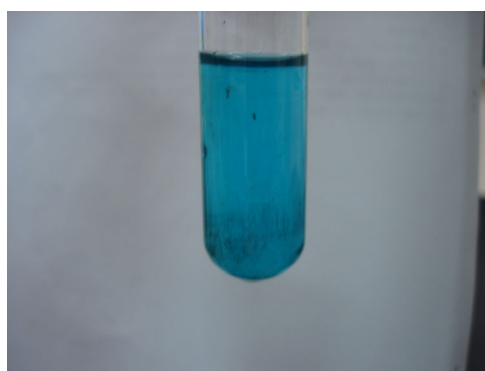
由上圖可以很清楚的看到，石氏煙管蝸牛爬進木頭中的比例比扁蝸牛高了不少。用 Excel 軟體中的 T-test 功能計算 P 值，得到 $P=0.010750357$ ，P 值雖稍大於 0.01，但仍小於 0.05，所以仍可證明出兩組數據的差異很大。

- (四)、證明木頭上的坑坑洞洞有一部分是石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)所製造：
 由下表顯示，實驗組的重量比對照組的重量少了許多，可見木頭質量的減輕除了因為水的蒸發，有一部分也是蝸牛所造成的，因此判斷蝸牛會消化木頭。

表四、證明木頭上的坑坑洞洞有一部分是石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)所製造的

| 項 目 | 測 量 內 容 | 一開始的重量 (克) | 一週後的重量 (克) | 減少的重量之百分比 (%) |
|------------|---------|---------------|---------------|------------------|
| 對照組 (飼養箱A) | | 105.5 | 96.2 | 8.82 |
| 實驗組 (飼養箱B) | | 109.1 | 92.3 | 15.4 |

- (五)、檢測石氏煙管蝸牛分解木材形成成分：



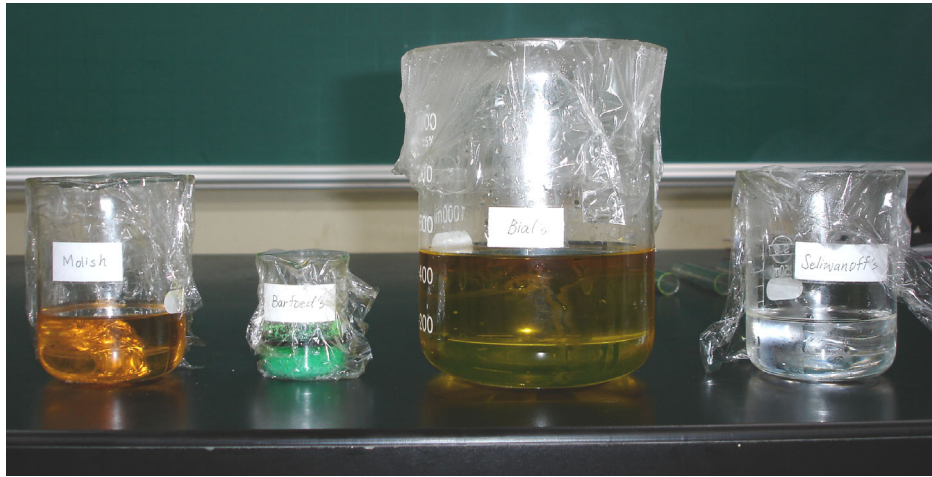
圖十七、被蝸牛爬過的木頭的洗出液和本氏液混合後，隔水加熱前。



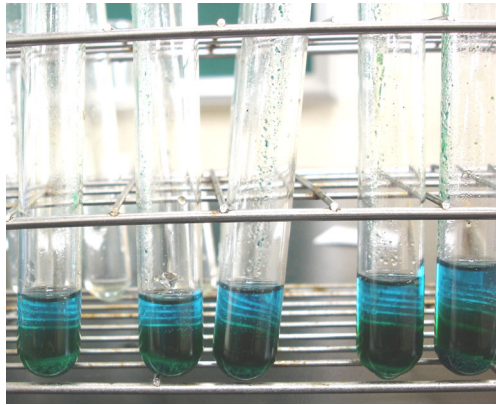
圖十八、被蝸牛爬過的木頭的洗出液和本氏液混合後，隔水加熱後。

隔水加熱後，本氏液仍為藍色，證明蝸牛爬行時不分泌酵素把木質素轉換成雙醣或單醣。不過和老師討論之後，我們才知道醣類又分為很多種，我們預計用 Molish 試劑、Barfoed 試劑、本氏劑及 Seliwanoff 試劑.....等試劑，進行一整組的醣類檢測，我們目前預測為五碳醣，因某部分的五碳醣（木糖）存在於蔬菜及水果中，所以我們預測蝸牛可把木頭消化成五碳醣。

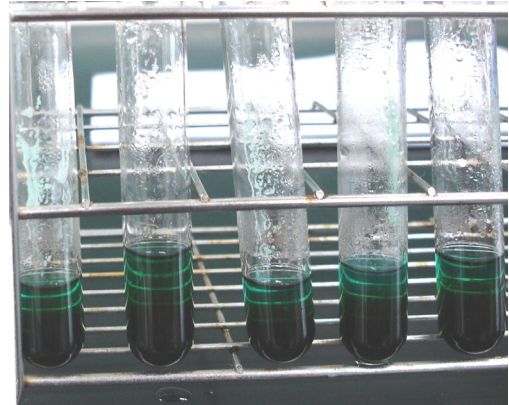
檢測醣類的時候，我們用水、洗出液及葡萄糖三種物質一起實驗。一開始的 Molish 實驗沒有紀錄的很好，這實驗所要觀察的是交界面的顏色，我們忽略到這點，把整個試管的顏色都照下來，以致交界面顏色不清楚；至於 Barfoed 實驗有觀察到紅色的氧化銅沉澱，在綠色的試劑內顯得黑黑的。



圖十九、檢測醣類時用到的試劑（由左而右依序為 Molish、Barfoed、Bial、Seliwanoff）

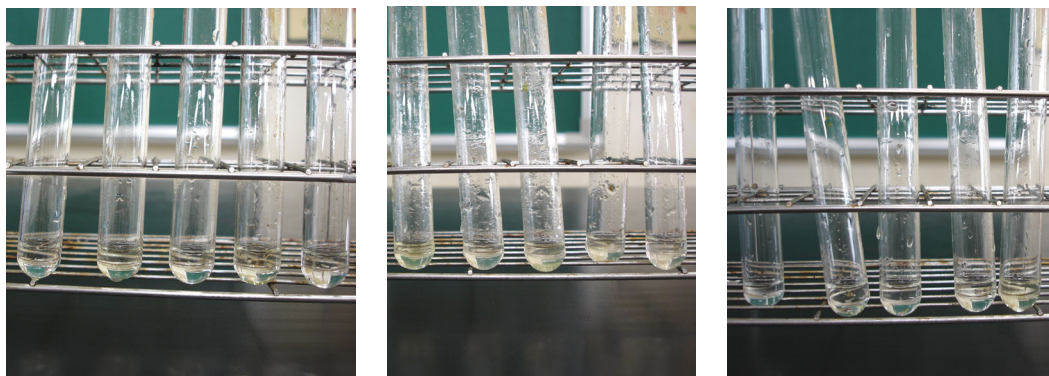


圖二十、加入 Barfoed 試劑，未加熱的洗出液。

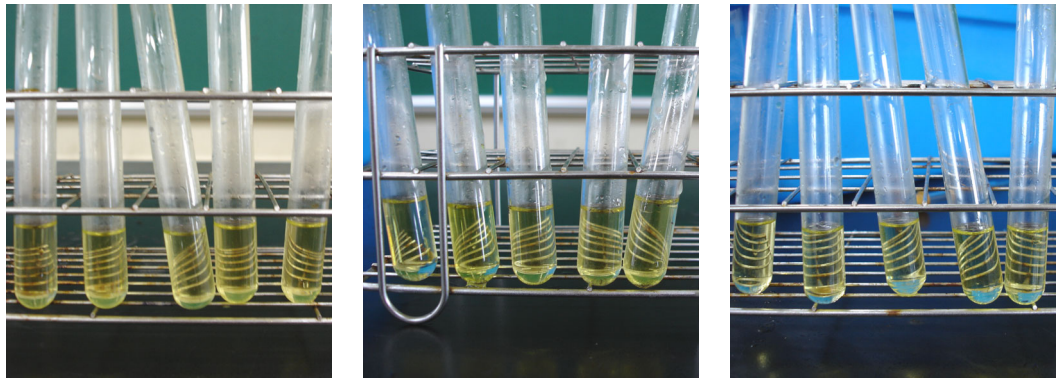


圖二十一、加入 Barfoed 試劑，加熱後的洗出液。

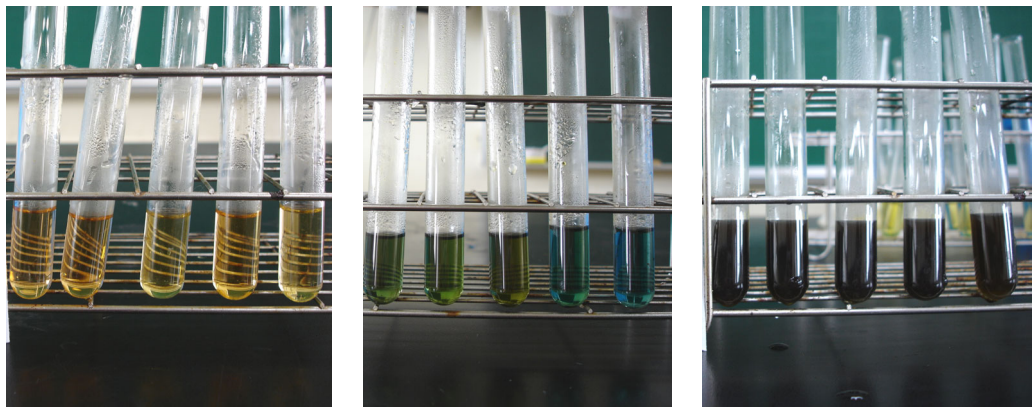
接下來的 Bial 試劑的檢測，可以看出我們的洗出液中含有五碳醣。



圖二十二、未加入任何試劑時的檢測液（由左而右依序為水、洗出液、葡萄糖）。



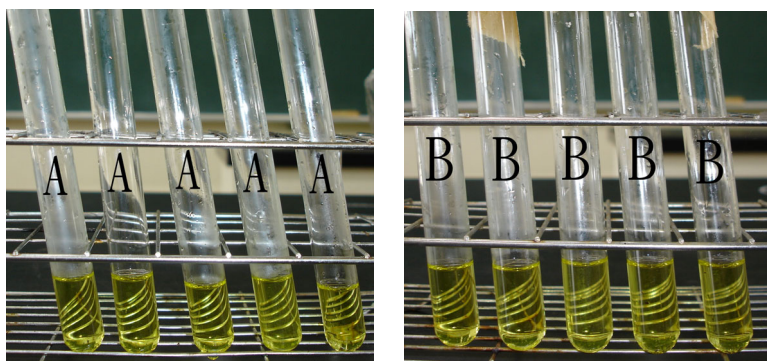
圖二十三、加入 Bial 試劑時的檢測液（由左而右依序為水、洗出液、葡萄糖）。



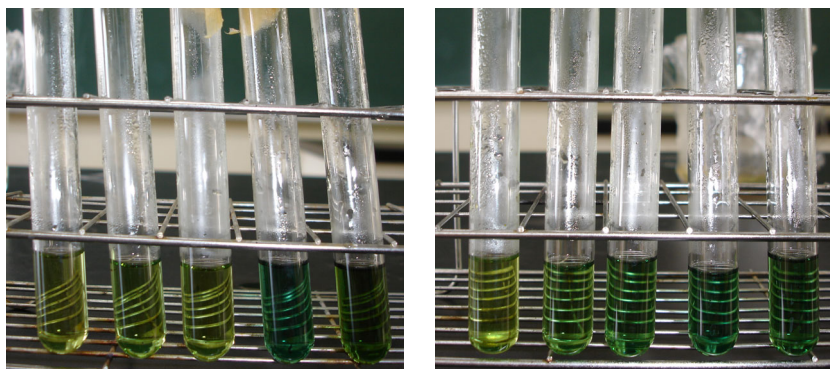
圖二十四、加入 Bial 試劑並隔水加熱後的檢測液（由左而右依序為水、洗出液、葡萄糖）。

由以上三張照片，比對藝軒圖書出版社發行的《植物生理學》P.118 的說明，我們看到裝有水的試管隔水加熱後，顏色並沒有很大的改變；而裝有葡萄糖的試管中，加熱後變成深棕色，為六碳醣；至於從木頭上洗出的液體，加熱後為綠色，顯示是五碳醣，但圖二十四中洗出液的部分，靠近右邊的兩支試管顏色比較偏藍色，或許在洗出液的濃度上和其他有些不同，造成不同的結果，但仍有四支試管呈現綠色，那兩支可能是實驗的誤差。

後來又覺得這實驗有瑕疵，若是木頭洗出液本來就可以檢測出五碳醣呢？於是繼續實驗了有無蝸牛棲息過的兩組木頭洗出液：



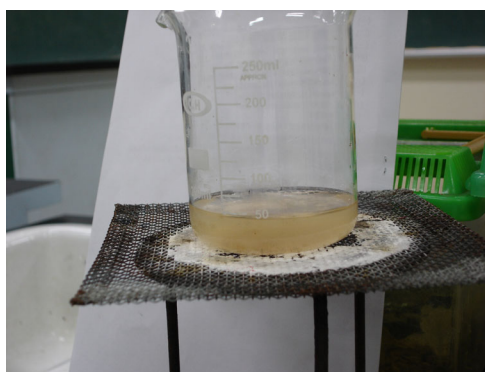
圖二十五、加入 Bial 試劑時的檢測液（由左而右依序為洗出液 A、洗出液 B）。



圖二十六、加入 Bial 試劑並隔水加熱後的檢測液（由左而右依序為洗出液 A、洗出液 B）。

由上兩圖可看出洗出液 A 和洗出液 B 皆可檢驗出五碳醣，或許蝸牛所殘留的醣只是非常微量，洗出液 A 和洗出液 B 差的只是濃度問題，也有這種可能：雖說石氏煙管蝸牛是分解木頭的生物，但不是唯一的一種，或許蝸牛棲息的木頭已先被其他微生物分解過，如此一來不管有無蝸牛的分解，都可檢測出如此的結果。

(六)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否分泌酵素以消化木頭：

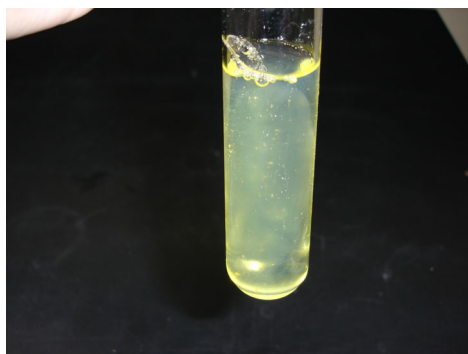


圖二十七、洗出液 A，加熱前。



圖二十八、洗出液 A，加熱後。

加熱後並沒有白色固體產生，顯示煙管蝸牛在爬的時候並沒有分泌酵素(蛋白質)。



圖二十九、生蛋白



圖三十、加入酒精後，蛋白成了白色固體



圖三十一、加入酒精的蛋白固體



圖三十二、讓 20 隻蝸牛在玻璃上爬。

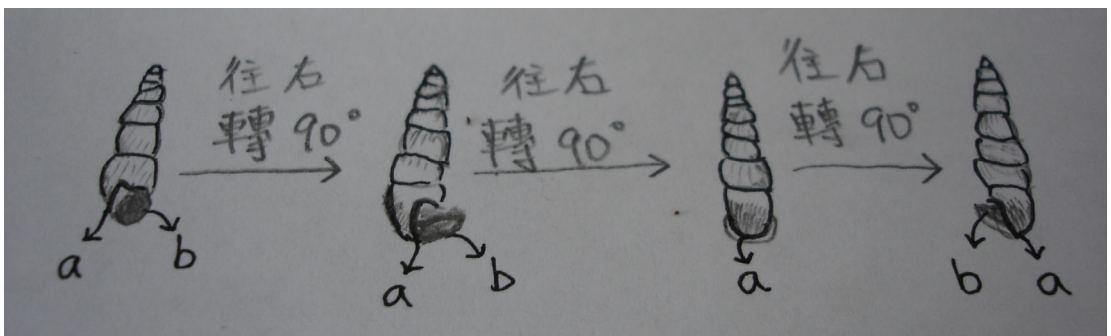


圖三十三、20 分鐘後在玻璃上加上酒精。

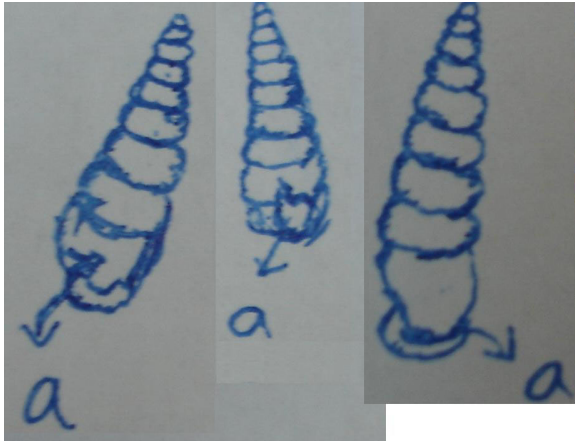
這實驗確定不是因為我們蒐集到的黏液濃度不夠高才實驗不出來，不過這是牠們爬行時留下的黏液，證明蝸牛爬行時不會分泌酵素（蛋白質）。

(七)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)的齒舌構造：

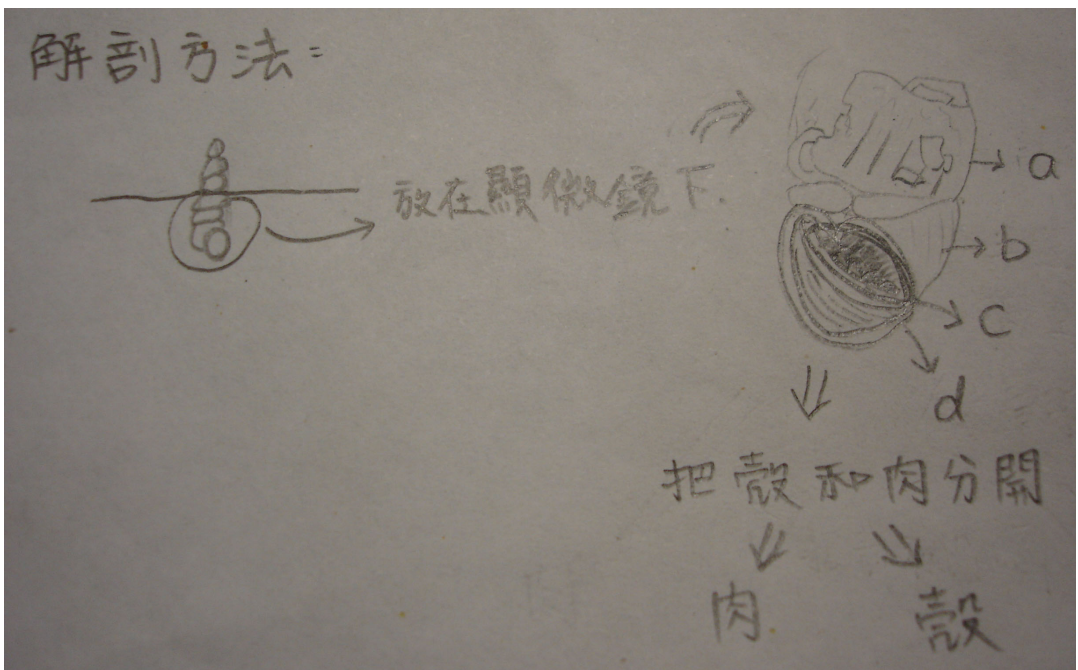
第一次解剖蝸牛，我們在解剖顯微鏡下看到蝸牛的腹足，可是沒有看到牠的齒舌。但在第二次解剖，我們把顯微鏡下看到的內部構造畫出來，只是仍沒有觀察到齒舌的構造。



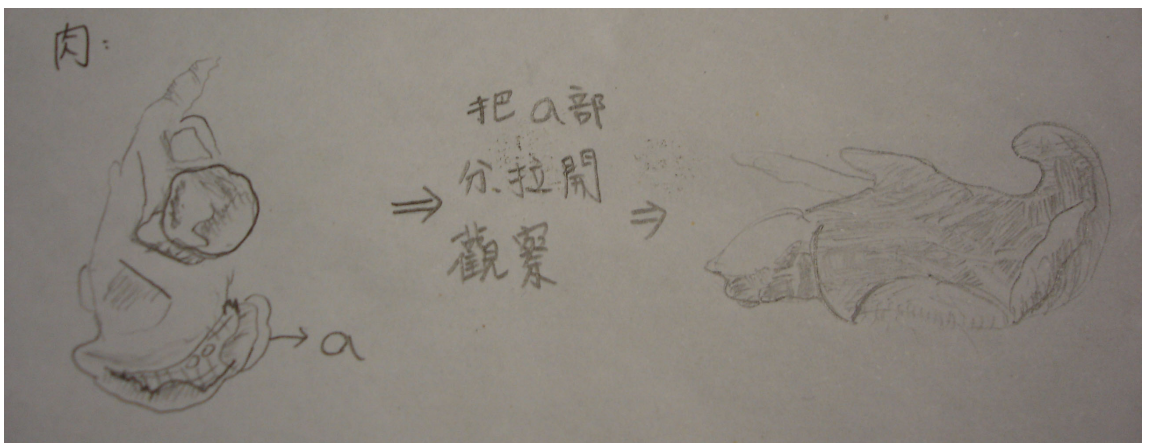
圖三十四、手繪蝸牛外觀圖一（a：殼口唇緣外翻處 b：蝸牛的軟體）。



圖三十五、手繪蝸牛外觀圖二（a：殼口唇緣外翻處）。



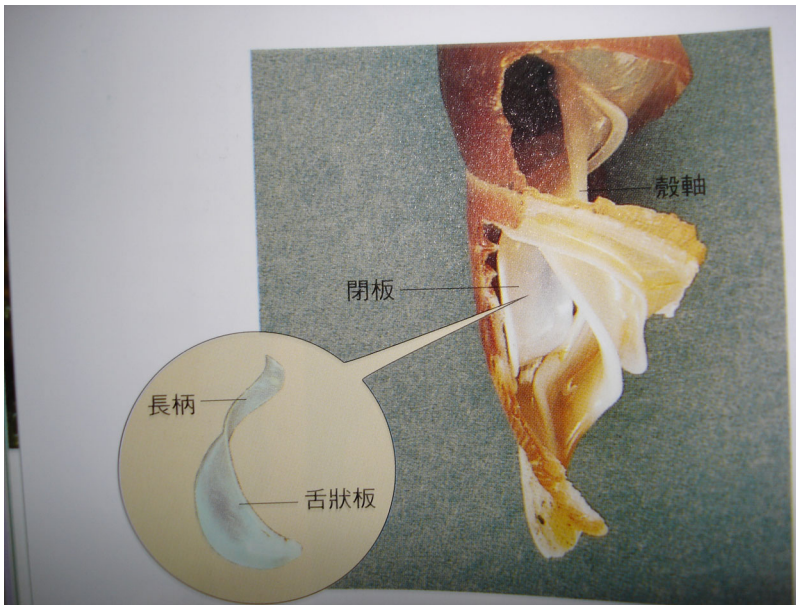
圖三十六、手繪蝸牛解剖圖（a：殼 b：此處呈半透明 c：腹足的一部分 d：此處有一層膜）。



圖三十七、手繪蝸牛解剖圖，腹足的部分（a：腹足的一部分）。

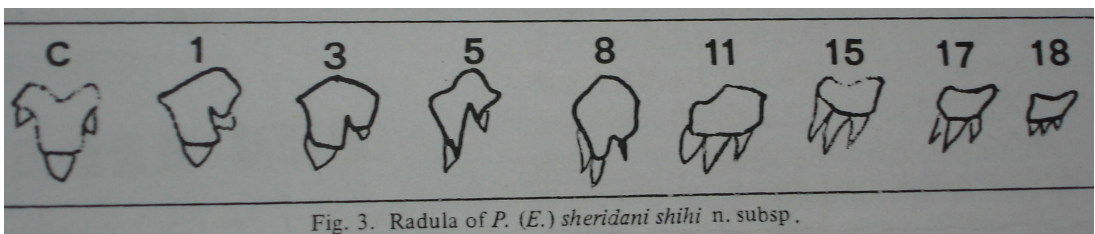


圖三十八、手繪蝸牛解剖圖，殼的部分（a：殼口唇緣外翻處 b：蝸牛的閉板）。



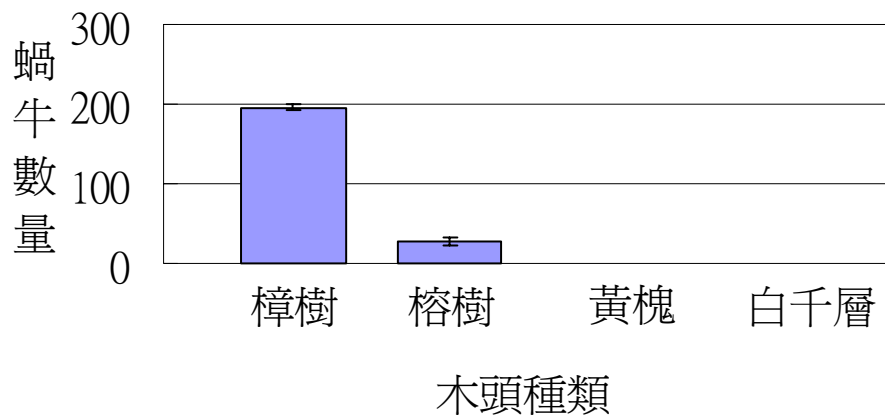
圖三十九、煙管蝸牛閉板構造解說圖（翻拍自《蝸牛不思議》34 頁）。

這實驗我們解剖了三次都沒有找到齒舌，或許解剖這麼微小的構造已超出我們的能力所及，但在貝類學報中找到石氏煙管蝸牛的齒舌構造圖。



圖四十、石氏煙管蝸牛的齒舌圖示。（翻拍自貝類學報第九期，P.20）

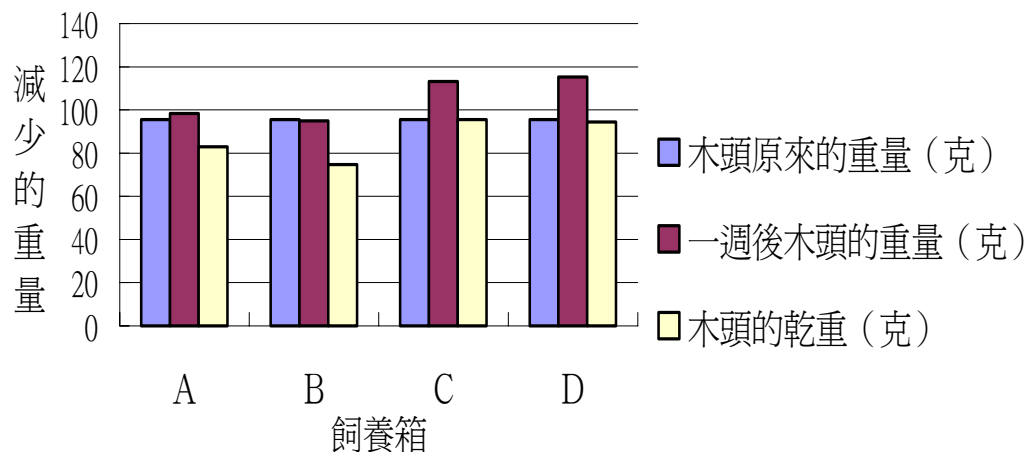
(八)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否只會在榕樹上鑽洞：



圖四十一、不同的木頭上蝸牛的數量的比較圖。

在這圖表中，最多石氏煙管蝸牛棲息在樟樹中，白千層和黃槐皆無同種蝸牛棲息。

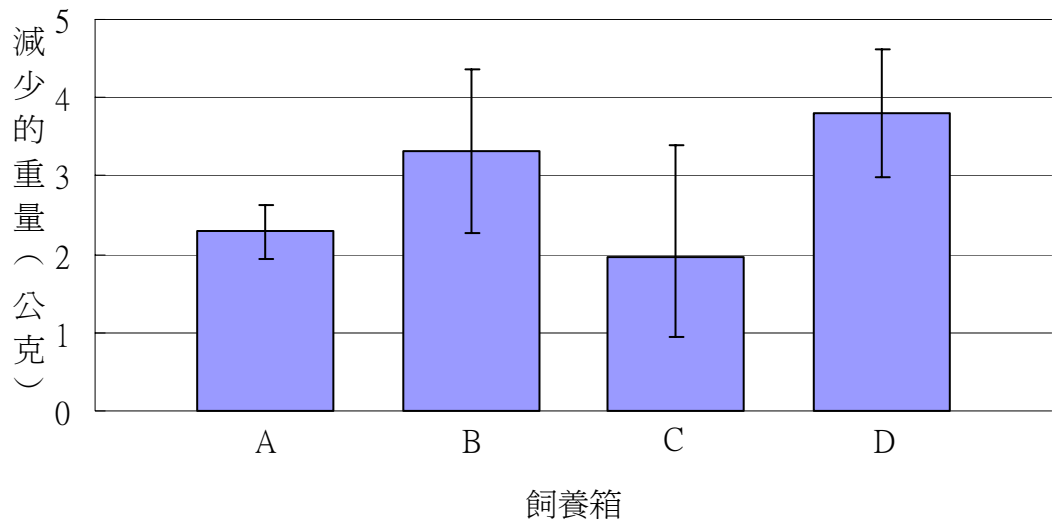
(九)、探討光線與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：



圖四十二、木頭 A、B、C、D 的重量比較圖。

此次實驗的加水量除了第一天加 50ml，其餘每天加 10ml，一週後算出重量變化，重複六週。由圖表得知，一週後木頭的重量有增加的傾向，而黑暗中的木塊 C、D 增加較多。不過，在 60°C 下烘乾三小時後，顯示木塊 A 比 B 重，C 比 D 重，有放蝸牛的木塊都減少較多。而有光線和沒光線的比較，有光線的 A、B 組重量減少較多。

不過此次實驗的水確實加太多了，才導致一週後木頭重量大於原本重量，再烘乾的結果可能也會有些誤差，且此實驗中照光組尚未包上透明紙，水分蒸發較容易，針對這麼多細節造成的誤差，我們決定再進行一次實驗



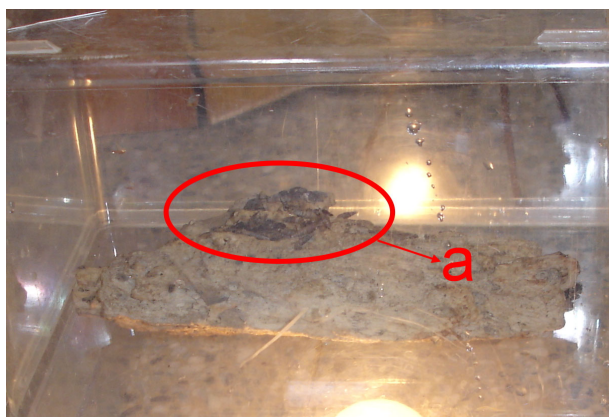
圖四十三、第二次實驗木頭 A、B、C、D 的平均減少的重量比較圖。

第二次的實驗 A、B 組用透明玻璃紙包住，一開始只加 30ml 的水不將實驗時間由一週減少至兩天，兩天後一樣算出減少的重量並重複六次以算取平均值。

此次實驗結果的平均值可看出有蝸牛的木頭減少較多的重量。而比較光線的有無，把有放蝸牛的飼養箱 B、D 作比較，放在陰暗處的 D 重量減少較多，顯示蝸牛在陰暗處能消化較多木頭；若比較飼養箱 A、C，同樣沒放蝸牛，因在陰暗處水分較不易蒸發，所以重量減少較少。

由這次實驗的數據計算 T-test 的 P 值，不管比較明暗或蝸牛的有無，P 值都大於 0.01，四組之間的差異並沒有很大。

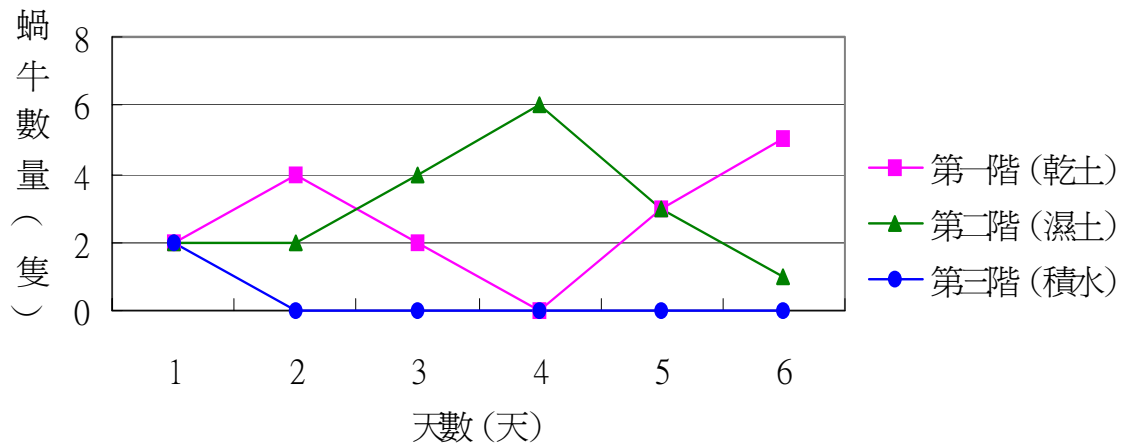
(十)、探討石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)的負趨光性：



圖四十四、石氏煙管蝸牛的負趨光性 (a：石氏煙管蝸牛)。

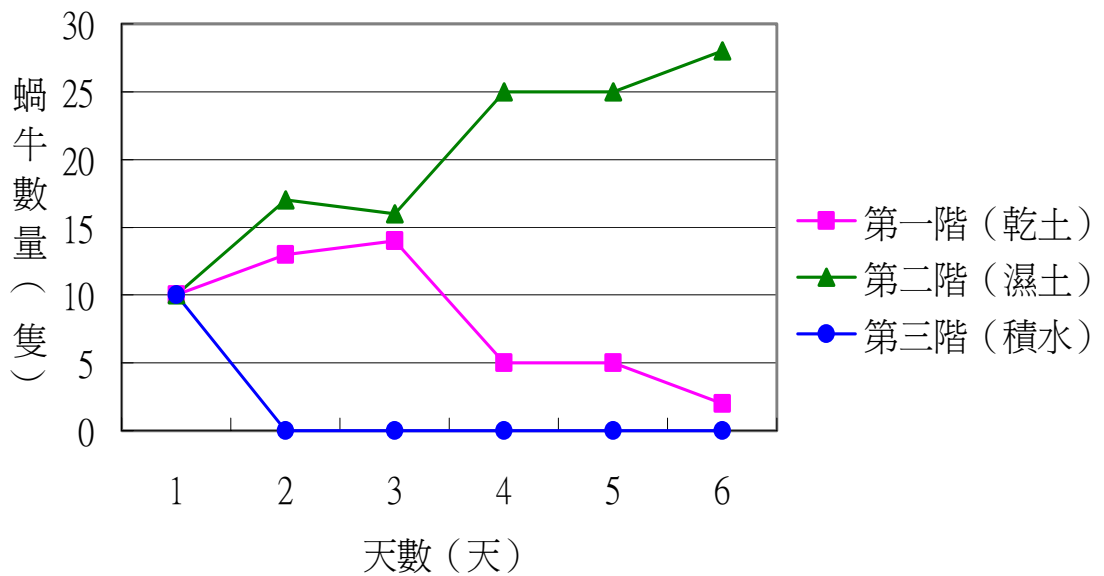
實驗結果顯示，蝸牛都位於木塊上方照不到光線的部分，顯示正常狀況下的蝸牛是因為要躲避光線照射而棲息於木頭底部。呼應上一個實驗，蝸牛在有照到光的地方只會想找地方遮掩，不太可能有攝食行爲，也可以說明在黑暗中比較會消化木頭的原因。

(十一)、找出石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡的溼度：



圖四十五、蝸牛喜歡的溼度 (第一次)。

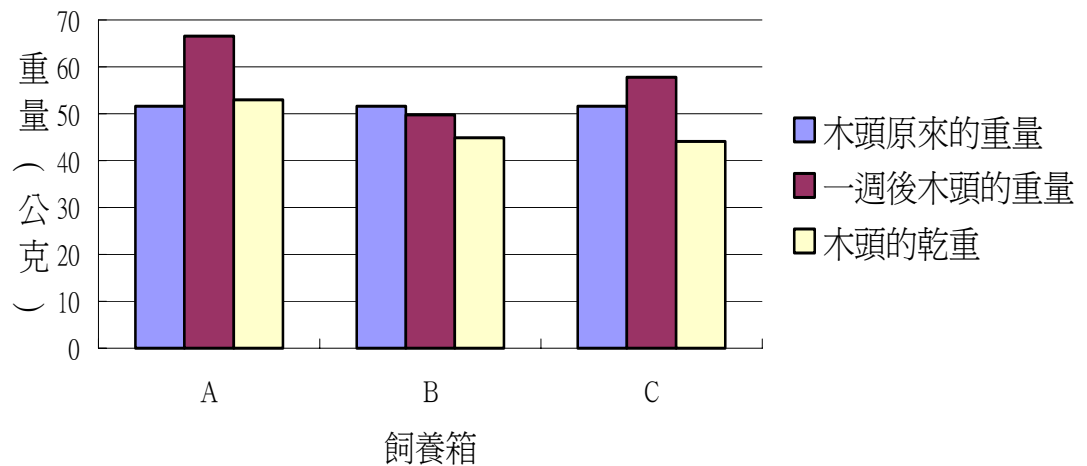
由這張圖所得的數據，可以很明顯的知道蝸牛並不喜歡有積水的環境，但是在乾土和濕土的分部卻差不多，我們把乾土和濕土的數據到 Excel 用 T-test 計算變異數，結果 P 值大於 0.01 ($P = 0.751026405$) 可見兩組差異不大。



圖四十六、蝸牛喜歡的溼度 (第二次)。

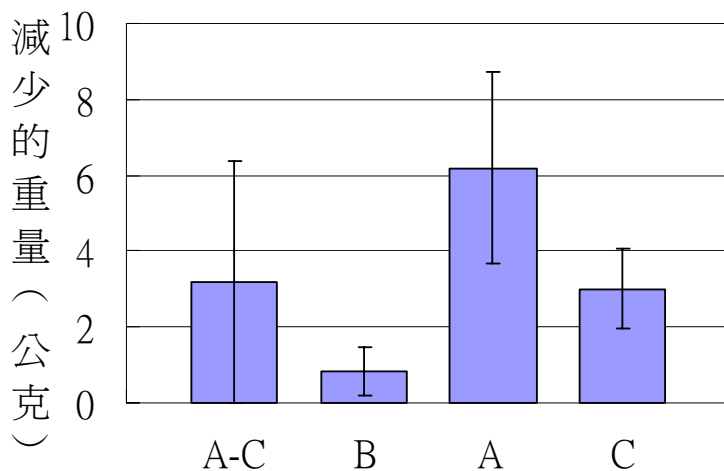
由圖表可看出乾土和濕土的分別，明顯發現蝸牛喜歡濕土，爬到濕土上的蝸牛數量持續增加，這次我們仍把乾土和濕土的數據到 Excel 用 T-test 計算變異數，結果 P 值小於 0.01 ($P = 0.00700312$) 這次的這兩組數據差異就很大。

(十二)、探討溼度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：



圖四十七、木頭 A、B、C 的重量的比較圖。

這實驗與第一次做光線和石氏煙管蝸牛鑽洞關係的實驗時都碰到一樣的問題，爲了增加乾和濕的差異而水加太多了，在 60°C 下烘乾三小時後，木塊 A 還是比原來的重，此次的實驗並不準確。



圖四十八、第二次實驗木頭 A、B、C 的平均重量比較圖。

實驗的結果爲 $A > (A-C) > C > B$ ，顯示潮濕的情況下蝸牛可以消化較多的木頭，第二次的實驗中，A、C 兩組木塊改爲開始時加 50ml 的水，兩天後秤木頭重量，一樣重複六次算平均值。若我們把 A 減少的重量減去 C 減少的重量，剩下的重量 (3.19 克) 就是蝸牛消化掉的重量，仍然比 B (0.85 克) 減少的重量多很多。

計算這次實驗的 P 值，用(A-C)的一系列數據，和 B 列的數據比較，仍然大於 0.01 ($P=0.13282$)，差異也沒有很大，但在兩天內對小小的煙管蝸牛來說應該是可接受的範圍。

(十三)、探討溫度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

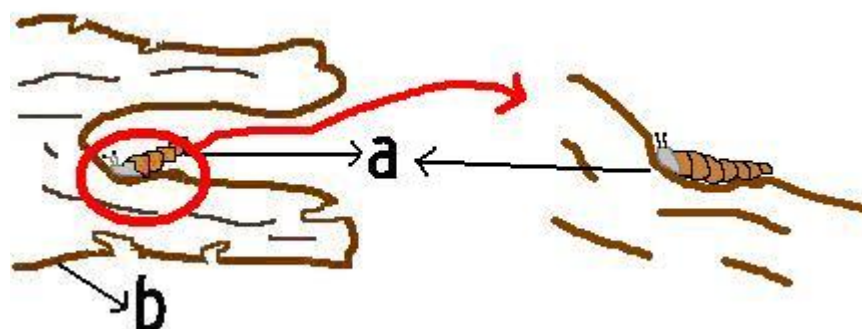
表五、溫度對蝸牛鑽洞的關係

| 飼養箱 項目 | 低溫 (10°C) | | 稍低於室溫 (20°C) | | 高溫 (30°C) | |
|---------------|-----------|-----|--------------|-----|-----------|-----|
| | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| 平均減少重量 (克) | 0.25 | 1.1 | 0.55 | 1.5 | 0.85 | 0.9 |

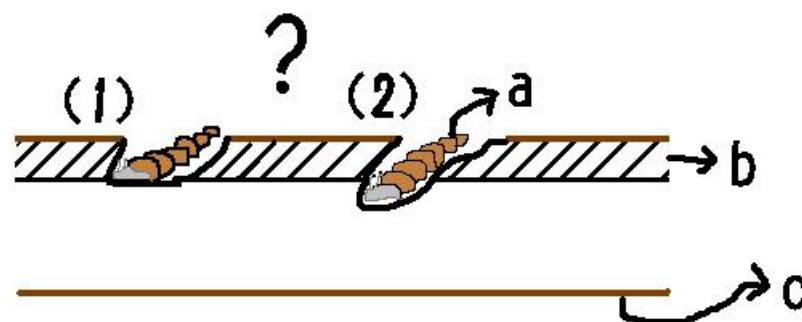
因都是在較陰涼處找到石氏煙管蝸牛，而太過寒冷的冬天則較少見蝸牛爬出殼外活動，此次實驗可以為此現象再一次證明。

(十四)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)造成的凹洞是否和生物分解有關：

在觀察的過程中，我們發現有部分的蝸牛棲息於自己所製造的洞中，它們的最深深度多在 0.5cm 左右，但我們也發現有些蝸牛自己所製造出的洞還非常小，不過仔細看仍可觀察到，如圖四十九：



圖四十九、有些石氏煙管蝸牛所製造的洞還十分微小，但仔細看仍可發現。
(a：石氏煙管蝸牛 b：枯木)



圖五十、石氏煙管蝸牛分解枯木和微生物的關係 (a：石氏煙管蝸牛 b：被真菌、藻類、小型昆蟲先行分解過的部份 c：枯木)。

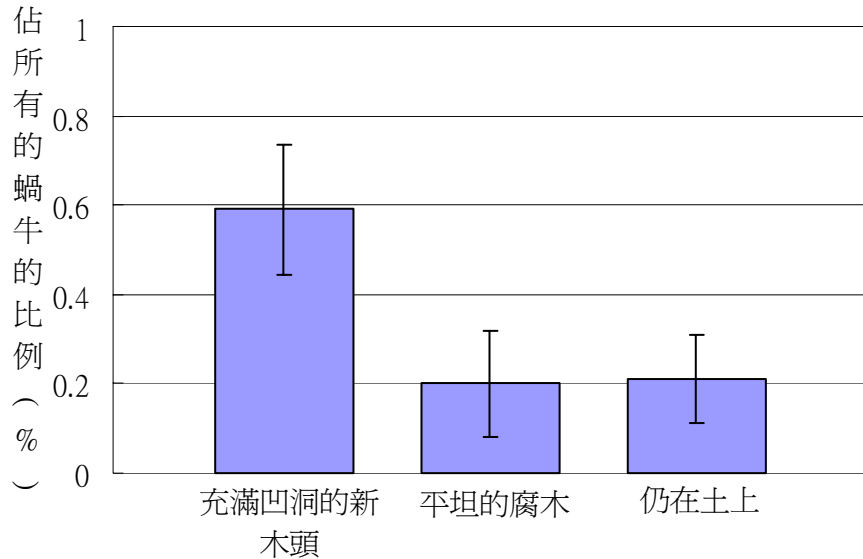
表六、煙管蝸牛鑽出的洞的深度

| 編號 | 深度 (cm) | 編號 | 深度 (cm) | 編號 | 深度 (cm) |
|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 0.4 | 8 | 0.6 | 15 | 0.5 |
| 2 | 0.5 | 9 | 0.2 | 16 | 0.5 |
| 3 | 0.5 | 10 | 0.3 | 17 | 0.6 |
| 4 | 0.2 | 11 | 0.4 | 18 | 0.4 |
| 5 | 0.6 | 12 | 0.5 | 19 | 0.5 |
| 6 | 0.5 | 13 | 0.5 | 20 | 0.4 |
| 7 | 0.5 | 14 | 0.4 | 21 | 0.5 |

由上表可算出平均深度為 0.5 ± 0.05 公分 ($n=21$)，但他們所棲息的木頭多已被微生物先分解軟化，在較新的木頭上則比較少發現石氏煙管蝸牛的蹤跡。

在之前的實驗中我們已知道蝸牛會在腐朽程度較高的枯木中棲息，那麼蝸牛在可以選擇的情況下是因為腐朽的枯木質地較軟，還是因為有其他的生物製造出的洞可以撿現成的而不用自己製造？針對這問題我們設計了下一個實驗

(十五)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)吃木頭時生物分解是否為必要因素：



圖五十一、比較蝸牛選擇棲地時所參考的因素。

由上圖可看出，對石氏煙管蝸牛來說，木頭上的凹洞數量比腐化程度更為重要，也用 T-test 比較充滿凹洞的木頭和平坦的腐木， P 值= 0.001876712 ，雖然稍大於 0.01 ，但仍小於 0.05 ，兩組數據的差異仍算很大。

(十六)、分析石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)棲身洞穴之生態意義：

1、加速枯木的分解；

- 2、製造微棲地 (microhabitat)，使其他生物生存；
- 3、因其在木頭上鑽洞，使木頭的表面積增加，可供更多微小的細菌藻類生長，進而增加濕度的保持；
- 4、減少能量的消耗。

二、討論

(一)、鑑定蝸牛品種討論：

比對圖鑑的標本圖示，參考蝸牛的大小及螺層數，我們最後依顏色、殼口的形狀、殼口有無外翻、殼表有無斜雕刻紋等特徵，加上專家的協助，推測在枯木中找到的蝸牛為石氏煙管蝸牛(*Euphaedusa sheridani shihi* Chang)。

也找到扁蝸牛(*Bradybaena similaris*)，這種蝸牛多棲息於土中，我們可以用這種 2 蝸牛進行比較。

(二)、證明石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡棲息於枯木中：

我們用石氏煙管蝸牛和扁蝸牛進行實驗，因為我們是在土中發現牠們，所以我們預測牠們不會爬到木塊上。

實驗結果出來後，我們明顯的看出石氏煙管蝸牛棲息在木頭中的比例比扁蝸牛高，可見並不是所有的蝸牛都會棲息在木頭上。

不過看石氏煙管蝸牛爬進木頭中的比例，也未達到 75%，比例並不高，我們討論後認為是因為時間不夠久，如果把時間拉長，牠們爬進木頭中的比例應持續增高，為了證明此點，隔了五天後，我們再數木頭上蝸牛的數量，果然增加到有 85%。

不過，有時也可以在土壤表面發現石氏煙管蝸牛，查詢書本(《蝸牛不思議》(P.127) 謝伯娟 著 遠流出版社出版。)後，得知石氏煙管蝸牛為地棲性的煙管蝸牛，棲息於地表的土壤或落葉堆、枯木上，在查查實驗中的扁蝸牛，也屬於地棲，討論後我們認為，若在有木頭的環境下，煙管蝸牛會爬到木頭上棲息，而沒有則棲息於土壤表層。至於為什麼要爬到木頭上呢？我們猜測是因為牠們分解木頭而取得養分，而做了以下實驗。

(三)、證明木頭上的坑坑洞洞有一部分是石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)所製造：

本來沒有做對照組，但後來想到水蒸發的重量會沒有算到，以致數據不準確，所以我們再設計了對照組，以和實驗組比對；也決定在這七天的實驗過程中，不再加水，以免水加太多導致重量增加，不易看出實驗結果。

從表三中可以看出有放蝸牛的木頭，質量減少較多，我們仍認為木頭是煙管蝸牛的食物，少掉的重量是被蝸牛吃掉的，查了資料

(<http://www.biox.cn/content/20050711/29587.htm>)後，發現在牠們的消化道中，皆可找到消化纖維素的消化酵素，因此我們斷定石氏煙管蝸牛以枯木為食。

(四)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)分解木材形成成分：

現在因知道蝸牛消化道中有消化酵素可以分解纖維素，我們認定石氏煙管蝸牛消化木頭以獲得養分，只是大部分的螺類都是以活的生物體為食，有的吃菜葉、水果、蘿蔔……（謝伯娟，2004）但石氏煙管蝸牛卻是消化枯木，他是完全以腸中的酵素消化，還是在口中就已先將枯木作一次分解？

以本氏液的實驗結果說明木頭上沒有殘留葡萄糖，認為是因為濃度不夠高，因我們是用水沖洗木頭表面，所以大部分都是水，就算有一小部分留有葡萄糖，也可能因顏色太淡而不明顯。

我們有找到另一個方法測定葡萄糖，可以把等量的氫氧化鈉和葡萄糖溶液混合，加入亞甲藍，搖一搖後溶液會呈無色，不過這個方法不適用於我們的實驗，因蝸牛爬行後的黏液只有一點點，且很容易又乾掉。之前我們比較木頭上有無石氏煙管蝸牛，哪組一週後質量會減少較少，那七天中石氏煙管蝸牛唯一的食物來源就是木頭，根據整體的判斷，認為木頭是被蝸牛吃掉的為最可能的原因。之後找到了糖類檢測的另一種方法，我們就以 Molish、Barfoed、Bial、Seliwanoff 試劑進行實驗。

一連串的醣類檢測實驗開始後，為避免洗出液濃度不夠，我們讓很多蝸牛一起在木頭棲息。實驗檢測的結果為五碳糖，但五碳糖又可分為核糖、木糖或阿拉伯膠糖，根據找到的資料（<http://www.bio.ncue.edu.tw/~88110738/sugar.htm>）的敘述，我們認為比較有可能是木糖。

之後想想，我們這樣的實驗有缺陷，若是拿沒被蝸牛爬過的木頭的洗出液去檢測本來就會顯示五碳糖呢？所以我們在實驗一次，這次用蝸牛棲息過的木頭表面之洗出液（設為洗出液 A）和沒被蝸牛棲息過的木頭表面之洗出液（設洗出液 B）做比較。實驗結果出來後，果真發現就算木頭沒有被蝸牛棲息過還是檢測得出五碳糖，所以這次的推測再度被推翻。於是我們決定直接檢測看看木頭上有無蝸牛殘留的酵素。

(五)、檢測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否分泌酵素以消化木頭：

承上實驗，為檢測蝸牛口中有無酵素分解木頭產生養分，我們設計了此實驗。

把從木頭上的洗出液加熱後，我們碰到和上個實驗一樣的問題，我們都認為濃度太淡，以致實驗的結果呈陰性，所以我們用另一個方法測蛋白質，先讓蝸牛在玻璃上爬 20 分鐘，在玻璃上留下黏液，等黏液乾了以後再在玻璃上滴下酒精，如果有蛋白質的話蛋白質會變性，蝸牛爬過的黏液會變成白白的，這樣實驗出來的濃度就不會受到稀釋，結果必較準確，但實驗的結果仍沒有，不過當初設計實驗時我們忽略了一點，因為這實驗所檢測的檢測液是蝸牛爬行時所分泌，不足以代表蝸牛攝食時是否分泌酵素，我們預計用 SDS 電泳技術分離出酵素證明。

(六)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)的齒舌構造：

在觀察的過程中，雖然一直沒有找到蝸牛的齒舌，不過在觀察蝸牛的殼時，我們有看到如書上所說的閉板的構造，在謝伯娟小姐寫的《蝸牛不思議》這本書中記載，閉板類似蝸牛口蓋的構造。在此書中也有幾張蝸牛齒舌照片，至少讓我們在書上看到了齒舌照片。

這次沒觀察到齒舌構造，不免有些掃興，在網路上看到有的學生觀察時有用到較特殊的儀器，而國中課程也沒有講到解剖的方法，幸好最後在貝類學報中看到了詳細的照片。

(七)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)是否只會在榕樹上鑽洞：

本來認為石氏煙管蝸牛只會棲息在特定的木頭上，不過在我們去找樟樹木塊以進行實驗時，發現早已有石氏煙管蝸牛在樟樹木頭上棲息，雖然尚未開始實驗，就已經給了我們一個新發現，石氏煙管蝸牛並不只棲息在單一一種的木頭上。

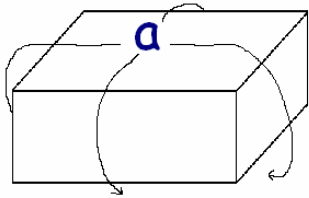
實驗結果顯示煙管蝸牛不只棲息在榕樹木塊上，而樟樹上蝸牛的數量又多於榕樹，不過大多是原本棲息在上面的，但種類相同，也把它計算其內，我們認為他們並不會特定棲息在某種木頭上，而黃槐和白千層沒有蝸牛的蹤跡可能是因為時間不夠，且若其他蝸牛本來在其他木頭上活的好好的，也沒有遷徙的理由。

後來又想到腐化程度的問題，我們在重新一次實驗，在同一時間從活的樹木上鉅下一些枝條，在同上次的方法進行實驗，不過實驗四星期後，爬上木頭的蝸牛數目一直都很少，跟之前的實驗結果相差很多，我們認為若腐蝕程度不夠，爬上木頭的蝸牛數量就會銳減，養分改從土壤中的一些腐植質攝取，在棲息在木頭的時候，才分解木頭。

這次，我們到野外去探查，看看石氏煙管蝸牛是否棲息在其他品種的腐木上除了本來知道的榕樹和樟樹外，我們還在黑板樹和一些不知名的腐木上發現石氏煙管蝸牛，所以認為石氏煙管蝸牛不會棲息在特定種類的腐木上，但木頭的腐化程度卻對石氏煙管蝸牛的棲息造成影響。

(八)、探討光線與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

在腐木堆中找到的蝸牛，牠們棲息的木頭都非常柔軟，容易捏碎，而且他們總是喜歡棲息在木頭底部照不到太陽的部分，我們推測蝸牛喜歡在陰暗的環境，關於這點我們會另設計實驗（探討石氏煙管蝸牛的負趨光性）證明，再做出正確的結論。



圖五十二、蝸牛最常棲息的木頭部位說明（a：本來放蝸牛的位置，不過蝸牛會由圖中箭頭的方向爬到木頭底部）。

此外，之前我們證明木頭上的坑坑洞洞有一部分是石氏煙管蝸牛製造的時候，隔了幾天，也發現本來放在木頭上的蝸牛會自動爬到底部，更加深了我們的好奇想探討。

實驗結束後，結果並不如我們預測，因為我們在野外發現的蝸牛多半是在木頭底部的陰暗處，所以我們原本預測飼養箱D的木頭質量會減少最多，但結果大大相反，除了飼養箱B，其他飼養箱的木頭質量都不減反增，我們得徹底檢討此原因。

我們認為黑暗中的木頭有可能比較重，因沒有受到光照所以水分蒸發較慢，但就C和D兩個都放在黑暗中的飼養箱來比較，為什麼有放蝸牛的飼養箱D反而比較重呢？我們認為蝸牛爬行過後所留下的黏液，會把木頭的小細縫補滿，使水分比較不易蒸發，具有保濕作用。但這推論在飼養箱A、B中則無法符合，我們認為B飼養箱只少了0.6克，雖然它對小小的煙管蝸牛來說是很大的數值，但可能有誤差又因為我們的水加太多，於是我們把這些木頭烘乾以測它們的乾重，四塊木頭皆在60°C下烘了三個小時，這次的數據就可看出有蝸牛的木頭都比較輕，而在正常狀態和在黑暗中，則是在正常狀態下木頭會減少較多的質量。

這次的實驗大部分重量都比之一週前測量的重，可見我們的水加太多，我們預計再多做幾次實驗，增加實驗的準確性，再來的實驗只要一開始加水就好了，之後不要加水，並只要用兩天實驗，減少一次實驗所需的時間。

經過多次實驗後，我們手上有6組實驗數據，實驗結果較為準確，而且這次的水量控制比上次好，至少兩天後木頭的重量不再有增加的現象。這6次實驗的平均看出蝸牛在黑暗中可以消化較多的木頭，我們認為因為蝸牛喜歡棲息在陰暗的地方，所以在有光線的地方比較容易受干擾而影響進食。

但是由實驗數據所得的P值都大於0.01證明差異不大，但Excel的標準不一定適用於煙管蝸牛小小的煙管蝸牛要在兩天內吃掉3公克多的木頭，實在也是個很大的數據，而且這次數據是由六次實驗取得的平均值，減少了特別狀況所造成的影響，可以算是準確的，若是時間許可，能多實驗幾次會更好。

（九）、找出石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)喜歡的溼度：

在參考某些文獻的時候，有些說蝸牛喜歡潮濕，有的又說他們都生活在乾土上，濕與乾到底如何定義？

檢討第一次實驗，我們在挖土時土已有些潮濕，實驗中用的濕土只是將所挖得的土再加一次水，原以為只要不讓它積水就可以和第三階的積水區有所區別，但忽略了第一階和第二階的差異太小，所以我們決定將所挖得的土烘乾作為實驗中所用的乾土，濕土和積水區的佈置方法和之前的相同，用這樣的條件再次進行實驗。

第二次實驗時，我們的乾土是非常乾燥的，不像上次乾濕不易分明，以致實驗結果不準確，我們發現如果增大實驗項目間彼此的差異，可以更明顯的看出結果。

(十)、探討溼度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

此次實驗中有加水的飼養箱 A、C 重量都增加不少，只有沒加水 B 重量減輕，在飼養箱 B 中蝸牛所消化的木頭質量為 $51.6-49.8=1.8$ (克)。

真正檢討起來，我們這個實驗失敗在水加的太多，以致無法看出蝸牛在乾燥還是潮濕的環境中，可以消化較多的木頭。

我們也有測這些木頭的乾重，三塊木頭皆在 60°C 下烘了三個小時，飼養箱 A 的木頭還是比原來的還重，不過已經減少許多了，但這些數據仍無法看出什麼結果，只能說我們的水加太多了。

這次實驗的 P 值也大於 0.01，不過就像光線對蝸牛消化木頭之影響的那段討論所說，也許是標準不同，這次實驗就算在 Excel 差異不大($P=0.13282$)，單看平均數據也是可靠的。

(十一)、探討溫度與石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)鑽洞的關係：

在這之前我們也曾做過另一組的溫度實驗，分別是 35°C （夏天中午時溫度）、 24°C （我們發現石氏煙管蝸牛處的秋季下午氣溫）、 20°C （我們發現石氏煙管蝸牛處的冬季下午氣溫）。但在進行 35°C 的實驗時造成很多蝸牛的死亡，於是把實驗中的溫度降至 35°C 。而 24°C 和 20°C 則無顯著差異，於是才把實驗改至現在的設定，又因此原因，再把溫度往下調至 10°C ，其意義為寒流來時發現石氏煙管蝸牛處的下午氣溫。

太高溫的環境下，有的蝸牛軟體部分都已跑出殼外，呈現十分乾燥的現象，而太冷的環境，蝸牛大部分都躲在殼裡，只有在稍低於室溫的環境下，比較有蝸牛爬出殼外，而蝸牛爬出殼外的原因可能也和我們在保溫箱的黑暗環境內進行實驗有關。

(十二)、觀察石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)造成的凹洞是否和生物分解有關：

之前就實驗出蝸牛比較喜歡在腐木上棲息，而粗木質殘體 (course woody debris, CWD) 在化學分解的過程中，絕大部分由土壤中的細菌和真菌來完成，以增加有機屑的表面積。CWD 物理分解過程中，各類無脊椎動物扮演著重要角色，包含破碎和混合的過程，從大型的蚯蚓到小型的線蟲都能執行這項工作，尤其昆蟲更是不可或缺的主角 (林國銓, 2002)。由此資料讓我們想到蝸牛也會分解枯木中尚未被分解腐化的部分嗎？在此觀察中，找到有蝸牛棲息

的木頭，未被分解或破壞的部分都幾乎沒有，且布滿了其他生物造成的孔洞，這讓我們產生新的疑問，蝸牛在腐化程度高的木塊中棲息，是因為木塊中已有坑洞適合牠生存，還是枯木的質地比較柔軟，易於分解？爲了探討這點，我們設計了下一個實驗證明。

(十三)、實驗石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang) 攝食中生物分解是否爲必要因素：

在實驗室可以爲動物提供一些半自然狀態的棲地樣區，然後觀察動物對這些樣區是否具有不同的偏愛。由於我們很難知道這些樣區中是否包含有天然棲地所應包含的必要信息（動物就是根據這些信息來選擇棲地的），因此，這種實驗方法有可能導致錯誤的結論。另一方面，若在實驗中得出動物對棲地沒有選擇性的結論，不一定就表明動物在自然條件下沒有選擇。（尙玉昌，2001）

在實驗中，有洞的新木頭上蝸牛的數量一直比平坦腐木多，我們認爲可以就此現象推斷出蝸牛在選擇枯木棲息時，木塊表面的平坦與否比腐化程度更有相關。但看了上述的資料後，又使我們有了新的想法，我們確實可以證明出木塊表面的凹洞數量比腐化程度更爲重要，但在真正的自然環境下，凹洞多的木塊一定比高腐化程度的木塊有更多石氏煙管蝸牛棲息嗎？或許有些環境因子是我們沒有控制或難以控制的，且有些實驗中的變因在自然狀態下很少存在，如實驗中的平坦腐木是我們以人爲的力量將它削平，在自然環境中通常很少找到高腐化程度而又沒有凹洞的木塊。同樣的，要在自然狀態下找到布滿凹洞且低腐化程度的木塊也著實不易。

依林國銓先生所發表的 CWD 五級分類系統如下表：

表七、CWD 五級分類系統

| 評估指標 | 第一級 腐爛階段 | 第二級 腐爛階段 | 第三級 腐爛階段 | 第四級 腐爛階段 | 第五級 腐爛階段 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 樹皮覆蓋率 (%) | >95 | 79~95 | 25~75 | 5~25 | <5 |
| 樹皮上的蘚苔 | 存在 | 存在或無 | 無 | 無 | 無 |
| 邊材 | 完整 | 部分變軟 | 腐爛但存在 | 完全腐爛 | 無 |
| 心材 | 完整 | 完整 | 完整 | 結構不完整 | 無 |
| 樹皮 | 完整 | 完整 | 脫落 | 脫落 | 無 |
| 3cm 的小枝條 | 存在 | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 大枝條 | >1m | <1m | <0.5m | 殘存 | 無 |

在實驗中發現蝸牛多棲息於腐化階段在第三級以上的枯木，在第三、四、五腐化階段的枯木中也發現如白蟻、小型擬步行蟲、鋏形蟲幼蟲等分解枯木爲食的生物（林國銓，2002；林守望、蔡東憲、謝宗瑞，1996）。由文獻中得知蝸牛多棲息於腐化階段第三級以上的腐木，代表蝸牛所棲息的腐木中，都有被細菌、藻類、小形昆蟲等先行分解。

我們認為木頭上的凹洞和腐化程度有著一定的關係，但若真要探討何者為蝸牛棲地選擇時的較重要因素，發現凹洞的多寡較有影響。目前我們認為蝸牛爬進洞中除了本身的負趨光性外，也可以藉此躲避天敵，保護自己。

(十四)、推測石氏煙管蝸牛(*E. sheridani shihi* Chang)棲身洞穴可能有下列幾點生態意義：

1、加速枯木的分解：

植物含有自然界中最豐富的碳源，而植物的細胞壁主要是由纖維素、半纖維素、木質素所組成，又煙管蝸牛腸道中有分泌分解這些物質的酵素（尤智立，2003、<http://www.biox.cn/content/20050711/29587.htm>），石氏煙管蝸牛分解枯木，加速腐木的分解，以利自然中碳的循環。

2、製造微棲地（microhabitat），使其他生物生存：

煙管蝸牛鑽洞後所留下的洞，除了可以提供自己的棲地，一些微小的藻類、真菌與昆蟲也可棲息於此，未來將設計實驗加以證明。

3、幫助枯木中水分的保持：

石氏煙管蝸牛分解枯木，使其表面凹凸不平，增加枯木的表面積，使更多的真菌、藻類可以棲息於此，減少木頭水分的散失。

4、減少能量的消耗：

由圖十二可知，煙管蝸牛是向下消化木頭，不是左右來回爬行以進行消化，此方法可以減少分解木頭時能量的消耗。

肆、結論

在這次實驗中，我們發現石氏煙管蝸牛爬進木頭中的比例比扁蝸牛高，他們以木頭為食物，在木頭上繁衍生存，查過資料後斷定牠們以木頭為食，木頭上也許會留有殘留的醣類和酵素，我們試過了幾個醣類檢測方法，由於結果顯示不管有沒有蝸牛棲息的木頭皆含五碳醣（木醣），所以決定直接檢測木頭上有無蝸牛口中殘留的酵素，計劃用 SDS 技術檢驗分離木醣的酵素。

研究中也發現，石氏煙管蝸牛並不會棲息在特定種類的木頭上，但牠們多選擇腐化程度較高的枯木棲息，至於在哪個環境中他們會消化最多木頭，我們實驗的結果顯示牠們在陰暗、潮濕、稍微低溫的環境下會消化最多的木頭。這些結果又和他們所生長的環境有相似之處，在乾燥、陽光直射或溫度太極端的環境下，確實很少看見蝸牛的蹤跡。

石氏煙管蝸牛在木頭上鑽洞也具有其生態意義，牠們可以加速木頭的分解、製造微棲地以供其他物種的生存，並幫助枯木中水分的保持，且又因為牠們鑽洞時不會來回的爬行，是朝著一個點筆直的向下潛盾，也可以減少本身能量的耗損。

伍、參考文獻

一、參考書籍：

- Dvořák, L. 2005. Notes on distribution of the Carpathian snail *Vestia turgida* in the Bohemian Forest. *Silva Gabrate*. 11(2-3):97-103.
- Schilthuizen, M., TH.C.M. Kemperman and E. Gittenberger. 1994. Parasites and predators in *Albinaria* (GASTROPODA PULMONATA: CLAUSILIIDAE). *Bios*(Macedonia. Greece). 2:177-186.
- Schilthuizen, Menno. 2003. Sexual selection on land snail shell ornamentation: a hypothesis that may explain shell diversity. *BMC Evolutionary Biology*. 3:13-19.
- Welter-Schultes, F.W. 2001. Spatial variations in *Albinaria terebra* land snail morphology in Crete (Pulmonata: Clausiliidae): constraints for older and younger colonizations? *Paleobiology*. 27(2):348-368.
- 王月雲等著，《植物生理學》，藝軒圖書出版社發行，P.118~P.122，1987。
- 尤智立，2003，《嗜高溫纖維分解菌纖維分解酵素的探討》國立中山大學生物科學研究所碩士論文，P.1。
- 石資民 發行；張之傑 主編，《環華百科全書 8》，環華出版事業股份有限公司，P.284~P.285，1983。
- 尚玉昌，《行為生態學》，北京大學出版社，P.240~P.253，2001。
- 林守望、蔡東憲、謝宗瑞，1996，《化腐朽為神奇—腐木和昆蟲的探討》台北市三十六屆中小學科學展覽會，P.18。
- 林春輝 發行，《世界動物圖鑑 1》，光復書局企業股份有限公司，P.26，1992。
- 林國銓，2002，《落葉物的分解—氣候、枯落物化學組成土壤、生物的交互作用》，*林業研究專訊*，9(2):3-6。
- 陳敬煌 發行；沈麗蕙 主編，《佳慶百科彙集 地球上的生物①》，佳慶文化事業有限公司，P.476~P.477，1982。
- 陳德牛、張國慶編著，《中國動物誌—軟體動物門，腹足綱，柄眼目，煙管螺科》，科學出版社發行，全，1999。
- 許鐘榮 發行；劉月英等 著，《中國大百科全書 生物學 I》，錦繡出版事業股份有限公司，P.390~P.391，1992。
- 張寬敏，1982，《台灣產石氏煙管蝸牛（新亞種）》，*貝類學報*，9: 15-21，臺灣省立博物館出版。
- 賴景陽，《蝸牛的世界》，臺灣省立博物館出版，全，1990。
- 謝伯娟，《台灣蝸牛圖鑑》，行政院農業委員會出版，P.110~P.141，2003。
- 謝伯娟，《蝸牛不思議》，遠流出版社出版，P.34，2004。

二、參考網站：

Conchologists of America : <http://www.conchologistsofamerica.org/home/> ◦

Die lebende Welt der Weichtiere : <http://www.weichtiere.at/> ◦

Femorale : <http://www.femorale.com.br/> ◦

Francisco Welter-Schultes, homepage : <http://wwwuser.gwdg.de/~fwelter/> ◦

Micro shells Homepage : <http://www.bigai.ne.jp/> ◦

Tripod : <http://members.tripod.com/> ◦

中央研究院 : <http://www.sinica.edu.tw/> ◦

生命經緯，消化酶 : <http://www.biox.cn/content/20050711/29587.htm> ◦

貝類齒舌的研究比較 : <http://www.sinica.edu.tw/~hispi/news/poster/92/xu&lin.pdf> ◦

真核微生物的型態、結構及其生理功能：

<http://www.foodmate.net/topic/110/13824.html> ◦

電泳技術 : <http://juang.bst.ntu.edu.tw/ECX/Ana3.htm> ◦

臺灣貝類資料庫 : <http://shell.sinica.edu.tw/> ◦

醣類 : <http://www.bio.ncue.edu.tw/~88110738/sugar.htm> ◦

評語

本作品針對石氏煙管蝸牛之取食策略進行探討。作品中討論蝸牛對木頭的攝食行為有詳細的觀察與描述，頗值鼓勵。動物的攝食行為與酵素有很大的關係是一項既知的生理現象，本作品如果能對酵素有更精確的了解，會使作品的可看性或價值性更為良好。