

# 台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：動物學

作品名稱：緩步門的木乃伊-會蟄伏的熊蟲

學 校：國立武陵高級中學

作 者：楊惇茹、賴品融

## 作者簡介

### 楊惇茹

從小我就對大自然有份特殊的熱愛，我喜歡芸芸眾生的美、浩瀚世界的真，我想探究萬物的真理……我觀察小樹的成長、蝴蝶的凋亡，徜徉在大自然的美，忘懷得失，在一次次實驗及科展中不斷成長。高一以來，持續參加中研院高中生物資優營，感謝中研院的老師，讓我是「入寶山滿載而歸」，學得極佳的研究精神。我能有這次研究機會，真要歸功於我的父母、老師和朋友，我特別感謝我的父母，是他們使我廣泛地閱讀、有絕佳的英文與思考能力，最重要的是：他們給我一科關懷與謙卑的心。

### 賴品融

我的名字叫做賴品融，從小就生長在一個十分和樂開明的家庭，並且在一個純樸的鄉村長大，因為有父母的用心栽培，我不僅能夠在田裡跑、跳，享受騎單車的愉快，做盡任何一個鄉下小孩會做的玩樂，還能夠看許多的課外讀物——父母總是鼓勵我多吸收知識，陪伴我學習，而且在假日的時候帶我親近自然。因此造就了我對科學的興趣，我喜歡看書、喜歡運動、喜歡探索這個世界，上了國中以後，更發現自己對生物這方面的喜愛。考上桃園縣武陵高中的數理資優班以後，有了同學的切磋以及老師的鼓勵與指導，也有了參加科展的機會。能夠變成一個做任何一件事都專心、熱情投入的人，是因為爸媽、老師的教導，有機會做這次的研究，更是因為受到無數多人的幫忙，我感謝父母，感謝老師，感謝朋友。我一直抱持著這種感謝的心和對科學的熱愛，做這份有關於台灣熊蟲的研究。日後，我也要抱著這樣的心情，對這個世界有所回饋，幫助更多的人。



作品名稱：緩步門的木乃伊（會蟄伏的熊蟲）

作者：楊惇茹 賴品融

英文摘要(Abstract)

Taiwanese tardigrades

The study is to investigate Taiwanese tardigrades, and the research of that is few. Tardigrades are commonly called water bears and have been identified more than 750 species. Limno-terrestrial tardigrades are small, 0.2-0.5 mm in length, and mostly found in moss cushions growing on rocks, soil, or the wall of houses. When the environment dehydrates in dry weather, Tardigrades desiccate into a reversible state of metabolic suspension called cryptobiosis. We have been finding a number of tardigrades in moss at many places in Taoyuan country. First, we put the moss on the dissected microscope to seek for tardigrades, and then placed it on the microscope for photographing and observing. The study is mainly focus on Taiwanese tardigrades. we have classified 11 Taiwanese species in four families (Echiniscidae, Calohypsibiidae, Milnesiidae and Macrobiotidae), making Chinese keys of classification. From the habitat environment, the species, the density and the diversity we survey as well as the most suitable pH environment we experiment, we approach the relationship between the distribution of tardigrades and their habitat. Besides, we also research lots of conditions which bring cryptobiosis and make culture medium in order to inspect its living. These results indicate that tardigrades desiccate into cryptobiosis in ten minutes in acid rain (pH4.65). From outdoor surveys, we have noticed tardigrades can't be found in the moss right next to road. The length of each family is: Calohypsibiidae > Milnesiidae *Milnesium* > Macrobiotidae > Echiniscidae.

中文摘要

此研究是探討台灣熊蟲，而有關台灣熊蟲的文獻資料極少。熊蟲屬於緩步門，體長約 0.2-0.5 mm，熊蟲在不利的環境會蟄伏，環境有利時又會膨脹而復甦，而其構造系統不因此而破壞。

我們在桃園縣多處的苔蘚發現熊蟲，我們先將採集的苔蘚放至解剖顯微鏡下尋找熊蟲，再由複式顯微鏡觀察構造並拍照紀錄。研究主要是探討台灣本地的熊蟲，我們已分類出十一種台灣熊蟲，製作中文檢索表。藉由觀測採集環境和所測的密度、歧異度和種類，及實驗出其最適宜的 pH 值，探討環境對其分布的影響。也探討各種因素與蟄伏的關係，製作培養基以觀測其生活史。研究結果顯示：1. 已經分類出台灣有緩步門四科（端爪科、Calohypsibiidae 科、Milnesiidae 科和 Macrobiotidae 科）十一種熊蟲。2. 污染嚴重或環境髒亂的地方，不會有熊蟲的存在，且熊蟲有群居性。3. 端爪科(棕色)熊蟲在 pH4.65（台灣都會區雨的酸鹼值）以下的液體環境活動力明顯降低。4. 熊蟲多分布在高溼度（87.5~90.4%）的地方，不分布在中低溼度（76%以下）的地區。5. 各科的體長為 Calohypsibiidae 科 > Milnesiidae 科 *Milnesium* 屬 > Macrobiotidae 科 > 端爪科。

## 一、 前言

### (一) 研究動機：

- 1.在偶然的機會看到緩步門可愛的照片，便想更加了解他，發現台灣有關他的研究極少，於是開啓我們建立台灣緩步門的研究。
- 2.在我們到處找尋熊蟲的時候，發現雖然在相同的地點，但是不同環境中我們所看到的熊蟲種類和數量都不太一樣；又發現馬路旁和遠離道路的地點雖然有相同種類的棲地，但是馬路旁邊的棲地卻幾乎無法發現熊蟲；而且並不是每一種苔蘚或藻類都可以看見熊蟲的存在，因此我們想了解環境與熊蟲的關係。
- 3.我們在一次下雨天興起了一個疑問，台灣的工業發達，酸雨十分嚴重，熊蟲是否能承受酸雨的 pH 值？酸雨是否也是影響熊蟲分部的主要原因？

### (二) 研究目的：

- 1.台灣熊蟲的分類與搜集
- 2.探討熊蟲的構造
3. 製作培養基
4. 觀測採集環境和所測的密度、歧異度和種類，探討環境對其種類分布的影響。
- 5.測量熊蟲能適應環境的 pH 值以作為日後培養的依據，以及探討酸雨對其影響，可以作為採集地點的考慮因素。

## 二、 研究方法與過程

### (一) 採樣

- 1.根據中山科學大辭典，熊蟲分布於苔蘚、地衣、溪底、海沙、海底等地區，本實驗是以苔蘚為主。採集地點有桃園縣新屋鄉九斗村、大園鄉的民宅、桃園市桃園農工、桃園市武陵高中、中壢市中原大學學區內，在牆面、樓梯上採樣。
- 2.採樣時使用美工刀刮取，盛裝於培養皿。
- 3.觀察工作皆在解剖及複式顯微鏡下進行。用滴管加入數滴清水於培養皿中，使苔蘚皆覆蓋一層約 0.1cm 厚的水。使用解剖顯微鏡（20 倍）搜尋，以針（5ml 和 2.5ml）將苔蘚分碎，熊蟲會攀爬在其中，用針將牠吸出或挑出，放置在懸滴玻片上。

### (二) 觀察與照相

- 1.熊蟲活動、蟄伏行爲，在解剖顯微鏡（20/40 倍）下觀察。
- 2.為測量體長，將熊蟲挑至懸滴玻片上，移至複式顯微鏡（100 倍）下測量。
- 3.為詳細觀察內部構造，需將放大倍率提高至 500 倍與 800 倍，並使用顯微攝影設備拍照。因為當放大倍率為 800 倍時只能拍攝到熊蟲身體的一部分，所以利用 photo impact 將其合成。

### (三) 培養



- 1.根據文獻，熊蟲以苔蘚、藻類、真菌、細菌、線蟲、輪蟲、或熊蟲為食物，為了材料的方便性，我們將洋菜膠分別加入樣本中的苔蘚、綠藻粉（購自台灣綠藻公司）、紫菜、海帶及清水分別加入苔蘚、綠藻粉、紫菜、褐藻、裙帶，但洋菜膠組尚未加入熊蟲培養便發黴，不易保存，故本實驗以清水來保持溼度，而不用洋菜膠。
- 2.在塑膠培養皿（直徑 3.5cm）中清水 0.025g 加入苔蘚、綠藻粉、紫菜、褐藻、裙帶各 0.01g，放入熊蟲，並以純清水組為對照組。用直徑 0.5mm 的棉線，與一盤水之間相連接，以保持溼度，皆放入培養皿。

### (四) 密度調查

我們在有刮取到熊蟲的地方分別做了環境和密度的探查。分別在各地點取一塊 36×36 cm<sup>2</sup>的樣區，將其分成邊長 3cm的正方形 144 塊，用抽籤的方式，隨機抽取 5 小塊，將五個 3 ×3 cm<sup>2</sup>個別刮下並裝進培養皿中，以標籤貼上座標，我們也收集了每個地點的溫度、溼度、棲地面向方位、採集處距地高度，並紀錄棲地的環境以及採集的時間、情形並且拍照。之後紀錄解剖顯微鏡看到的數量和種類，再根據Simpson Diversity Index =  $1 - \text{Sum of } [P_i^2]$ （辛普森歧異度）算出每個地點的歧異度【算出的值在 0~1 之間，越靠近 0 的表示歧異度越小】。

至於沒有發現熊蟲刮下的地點我們也做了溫度、溼度、棲地面向方位、採集處距地高度等各種紀錄。

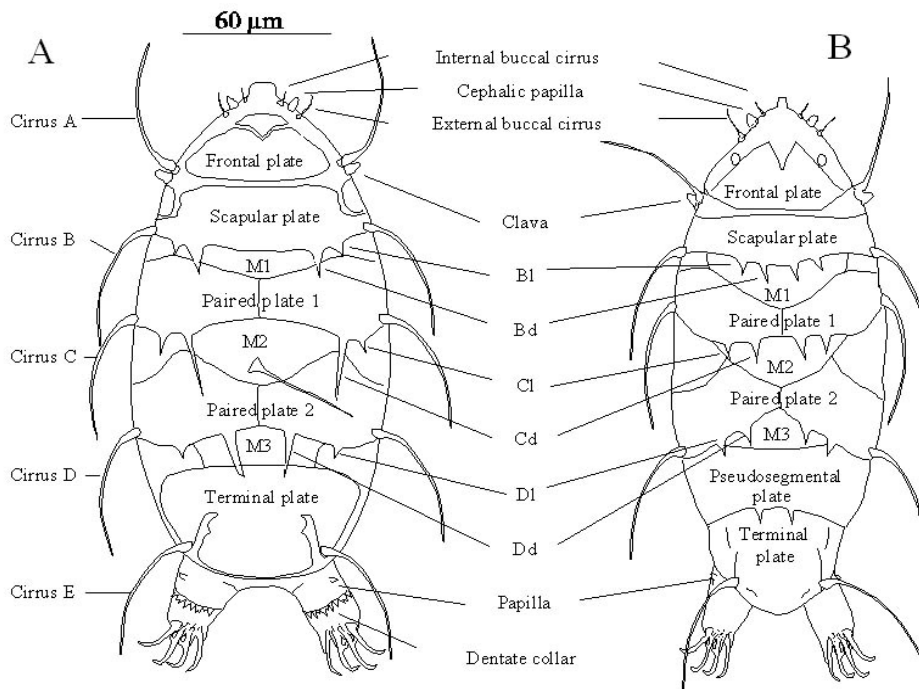
### (五) pH 值與活動力

- 1.材料——緩衝溶液（以 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 與 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 所調配）、pH 計
- 2.實驗觀察對象——體表有殼，體色為紅棕的端爪科熊蟲——端爪科
- 3.實驗步驟——
  - a.用緩衝溶液配成所想要的 pH 值，並用 pH 計檢定。（我們配出了 pH4.65、pH5.6、pH6.2、pH6.6、pH6.8、pH7、pH7.2、pH7.4、pH7.8、pH8.2）
  - b.所採集的苔蘚中找到熊蟲後，把他挑到另一個乾淨的培養皿（此培養皿需要放少數苔蘚和適當的水），注意挑起時不能使其進入蟄伏狀態。
  - c.觀察一段時間發現他正常活動後，用針筒吸取想要測定的 pH 值液，加到熊蟲的活動範圍（加入時如果怕一次量太多，可以在原本活動的苔蘚附近再放一些乾苔蘚，乾苔蘚可以幫助吸收過多的液體。）
  - d.開始計時並觀察，觀察時間至少 12 分鐘以上。（這是以 pH5.6 時發生不活動的情形的時間為標準）
  - e.觀察時，大約等到前一次加入的液體快乾時（即熊蟲活動漸漸遲緩），再重新加入液體。重複此步驟至少 3 次

### 三、研究結果與討論



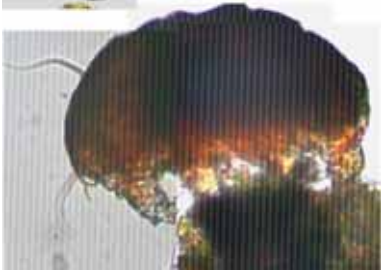

#### (一) 陸生緩步動物門之檢索表

- 1A 頭部有附屬肢，例如有側面的觸毛、clava、口腔內側的 cirri、口腔外側的 cirri，有側面的 cirrusA.....2
- 1B 頭部無附屬肢，無側面的 cirrusA.....3
- 2A 背部的表皮有板或盔甲.....端爪科 Echiniscidae
- 2B 背部的表皮無板或盔甲.....Family Oreellidae
- 3A 頭部有乳頭狀突起，包括頭部側面的兩個乳頭狀突起，爪的第一肢和第二肢分開..... 4
- 3B 頭部無乳頭狀突起，爪的第一肢和第二肢結合在一起.....5
- 4A 口腔周圍有六個乳頭狀突起，有六個口腔的 lamallae，短而寬的口腔管，有短的口腔刺.....Family Milnesiidae,Genus *Milnesium*
- 4B 口腔周圍無乳頭狀突起，有四個口腔的 lamallae，簡單而緊縮的口腔管，無口腔刺.....Family Milnesiidae,Genus *Limmenius*
- 5A 第二、三、四對足無爪，第一對足中間有兩個爪.....Family Necopinatidae
- 5B 四對足都有兩爪.....6
- 6A 兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線.....Family Macrobiotidae
- 6B 兩個爪不線對稱於足部的中線.....7
- 7A 兩個爪大小相等、形狀相似，爪的第一肢和第二肢堅硬地連接、無可動的關節.....Family Calohypsibiidae
- 7B 爪的第一肢和第二肢有可動的關節.....8
- 8A 兩個爪大小不相等、形狀不相似，爪無基部.....Family Hypsibiidae
- 8B 爪有基部.....Family Eohypsobiidae

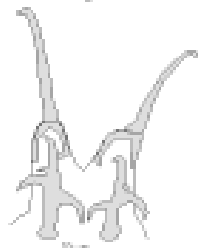

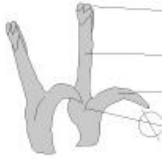



(二) 外部觀察




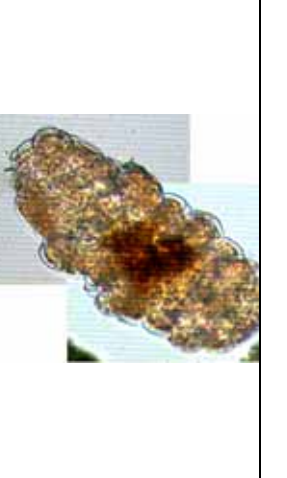
1. 異緩步綱

分類	端爪科	端爪科
體腔顏色	棕	棕
表皮顏色	紅	透明
體長	120 $\mu\text{m}$ ~270 $\mu\text{m}$	190 $\mu\text{m}$ ~300 $\mu\text{m}$
特徵	頭部有附屬肢，例如有側面的觸毛、clava、口腔內側的 cirri、口腔外側的 cirri，背部的表皮有盔甲。	頭部有附屬肢，例如有側面的觸毛、clava、口腔內側的 cirri、口腔外側的 cirri，背部的表皮有盔甲。
爪型態		
體節數	7 節	
眼點顏色	紅	紅
照片		

2. 真緩步綱 (Macrobiotidae 科除外)

分類	Milnesiidae 科 <i>Milnesium</i> 屬	Milnesiidae 科 <i>Milnesium</i> 屬	Calohypsibiidae 科	Parachela 目
體腔顏色	粉黃	粉紅	紅	淺紅
表皮顏色	透明	透明	透明	透明
體長	550 $\mu$ m	170 $\mu$ m~340 $\mu$ m	500~560 $\mu$ m	
特徵	<p>頭部無附屬肢。頭部有乳頭狀突起，包括頭部側面的兩個乳頭狀突起，口腔周圍有六個乳頭狀突起，有六個口腔的孔頭(lamallae)和三角鱗片圍繞嘴部開口。有短而寬的口腔管及短的口刺。身體為向前傾斜，肌肉咽區沒有 placoids。肉食性並且偶爾觀察到牠吃線蟲。它的食道偶爾觀察到輪蟲和其它熊蟲的 buccal apparatus 或嘴部組織。</p>	<p>頭部無附屬肢。頭部有乳頭狀突起，包括頭部側面的兩個乳頭狀突起，口腔周圍有六個乳頭狀突起，有六個口腔的孔頭(lamallae)和三角鱗片圍繞嘴部開口。有短而寬的口腔管及短的口刺。身體為向前傾斜，肌肉咽區沒有 placoids。肉食性並且偶爾觀察到牠吃線蟲。它的食道偶爾觀察到輪蟲和其它熊蟲的 buccal apparatus 或嘴部組織。</p>	<p>頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。</p>	<p>頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。</p>
爪型態	 <p>爪的第一枝和第二枝分開，四對足都有兩爪。爪有一個長的主要分支和一個短小、多被鉤的次要分支。</p>	 <p>爪的第一枝和第二枝分開，四對足都有兩爪。爪有一個長的主要分支和一個短小、多被鉤的次要分支。</p>	 <p>爪的第一枝和第二枝結合在一起，四對足都有兩爪，兩個爪不線對稱於足部的中線。兩個爪大小相等、形狀相似，爪的第一枝和第二枝堅硬地連接、無可動的關節。</p>	 <p>四對足都有兩爪。</p>



體節數	10~11 節		7~8 節	10 節
眼點顏色		黑		
照片				

### 3. Macrobiotidae 科

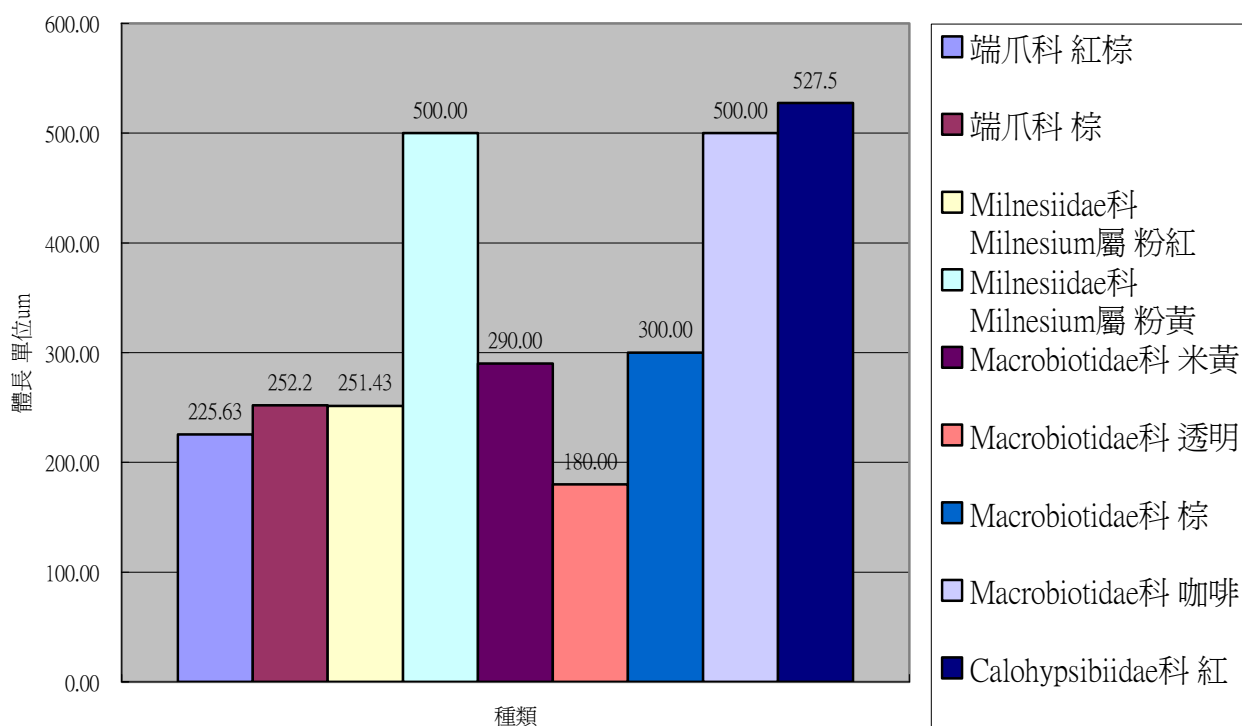
分類	Macrobiotidae 科	Macrobiotidae 科	Macrobiotidae 科	Macrobiotidae 科	Macrobiotidae 科
體腔顏色	米黃	透明 複式顯微鏡：透明	棕	透明 複式顯微鏡：深棕	咖啡
表皮顏色	透明	透明	透明	透明	透明
體長	200~400 $\mu\text{m}$	160~210 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$		500 $\mu\text{m}$
特徵	頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。	頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。	頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。	頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。	頭部無附屬肢。頭部及口腔周圍皆無乳頭狀突起。
爪型態	四對足都有兩爪。兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線。 	四對足都有兩爪。兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線。 	四對足都有兩爪。兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線。 	四對足都有兩爪。兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線。 	四對足都有兩爪。兩個爪大小相等、形狀相似、互相線對稱於足部的中線。 
體節數	12 節	9~10 節	9~10 節	10~11 節	11 節
眼點顏色	紅				
照片					

(三) 體長的測量

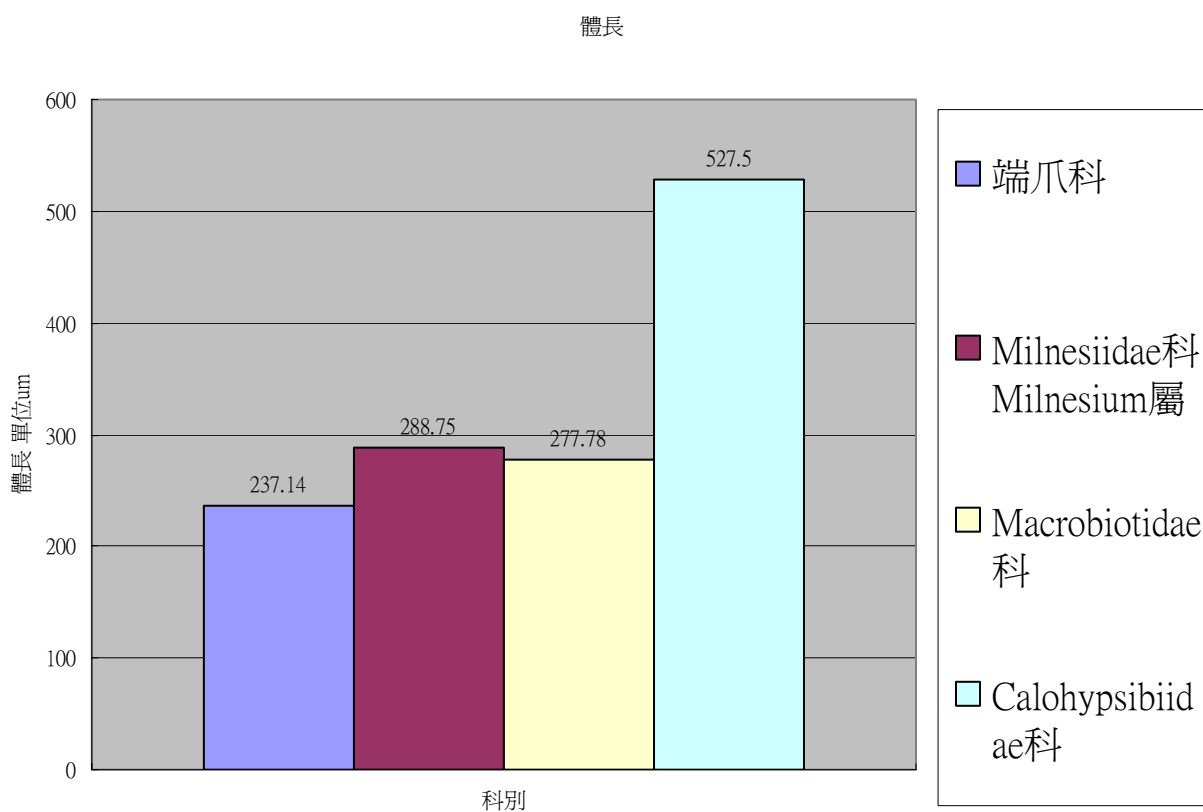
1.各種體長比較 單位  $\mu\text{m}$

分類	顏色	1	2	3	4	5	6	7	8	平均	標準差
端爪科	紅棕	245	170	160	230	220	270	270	240	225.63	38.68
端爪科	棕	290	215	220	300	190	300			252.5	45.25
Milnesiidae 科 <i>Milnesium</i> 屬	粉紅	190	290	340	200	300	170	270		251.43	59.86
Calohypsibiidae 科	紅	500	560	510	540					527.5	23.85
Macrobiotidae 科	米黃	280	200	400	280					290	71.41
Macrobiotidae 科	透明	170	160	210						180	21.6
Macrobiotidae 科	棕	300								300	0
Milnesiidae 科 <i>Milnesium</i> 屬	粉黃	550								550	0
Macrobiotidae 科	咖啡	500								500	0

體長



## 2. 各科體長比較

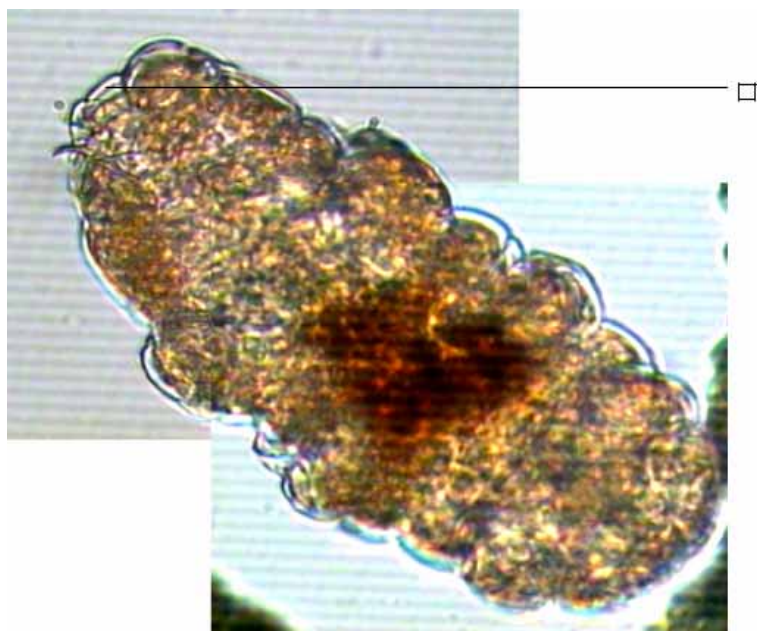


## 3. 蟄伏與甦醒體長比較

科別	體色	甦醒體長 (μm)	蟄伏體長 (μm)	收縮百分比
Calohypsibiidae 科	紅	510	323	63%
Macrobiotidae 科	米黃	280	185	66%

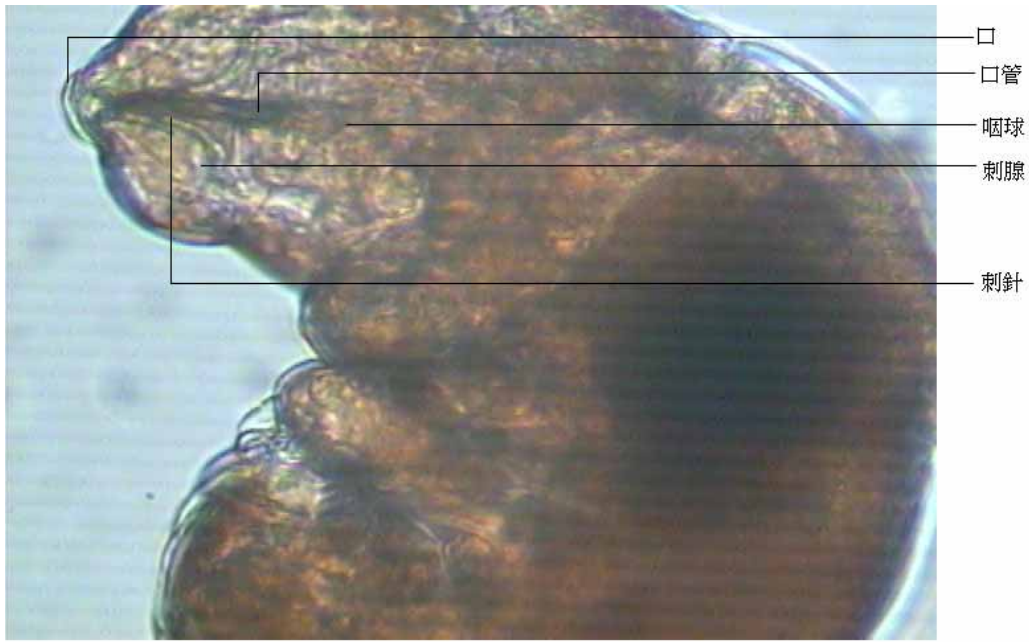
### (四) 內部構造

#### 1. 真緩步綱 Parachela 目 (淺紅)

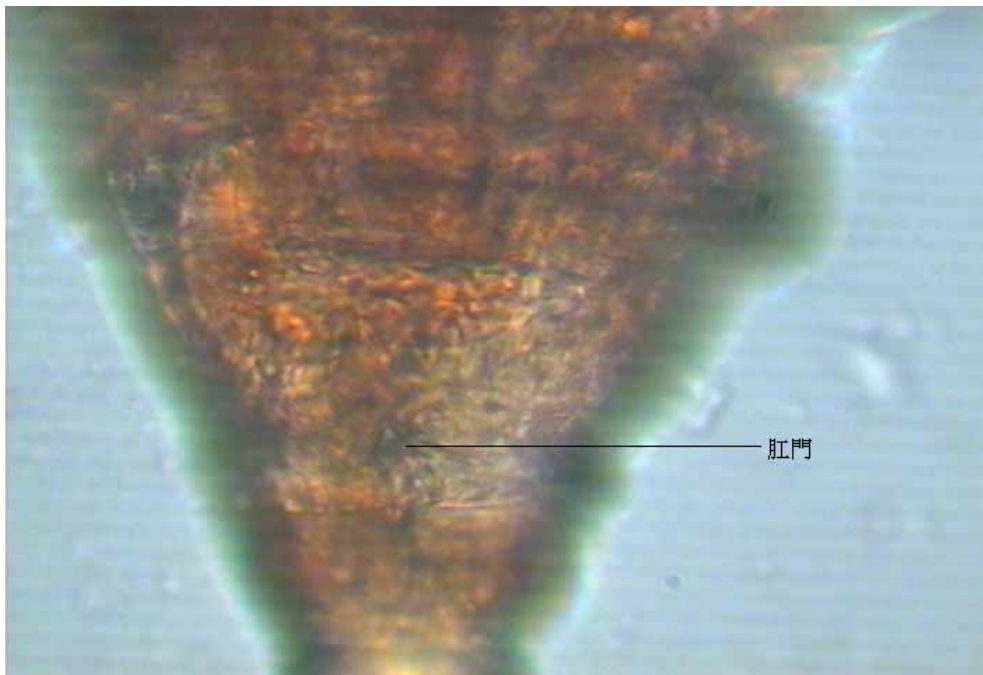


(800 倍)

2. 真緩步綱 Parachela 目 Macrobiotidae 科 (棕色)

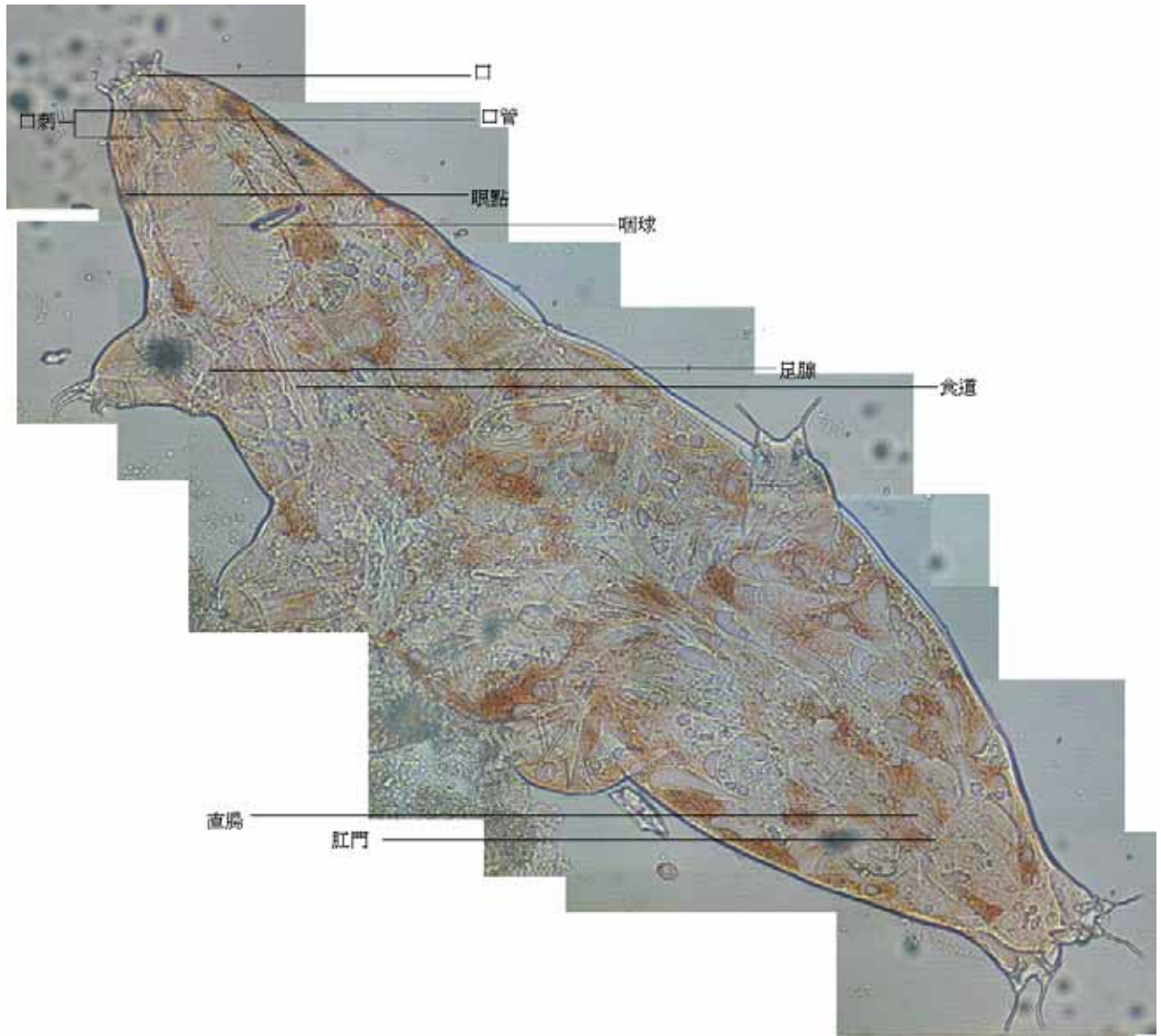


(800 倍)



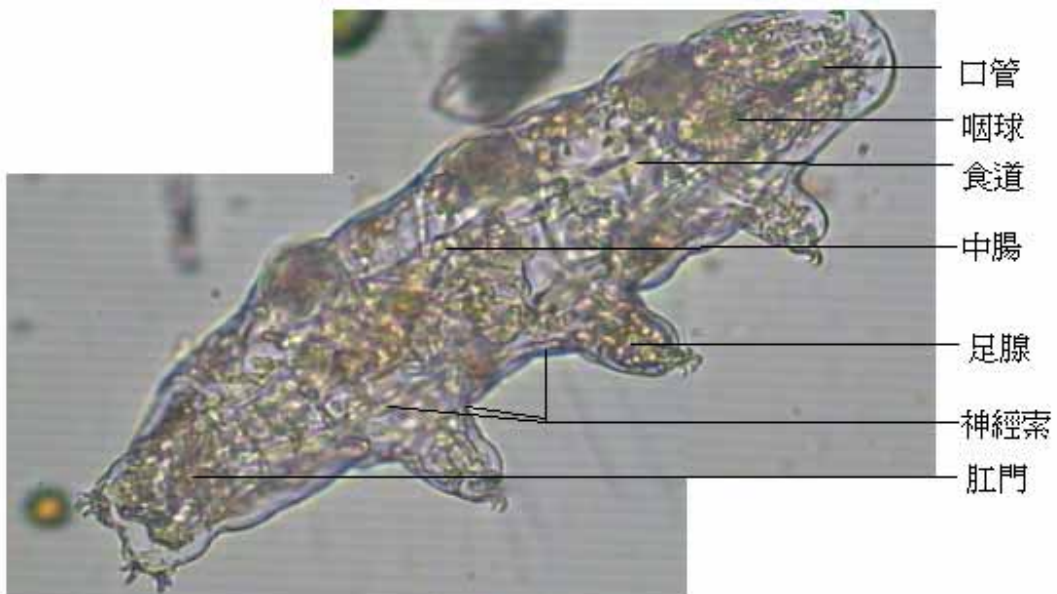
(800 倍)

3. 真緩步綱 Parachela 目 Milnesiidae 科 *Milnesium* 屬 (粉紅)

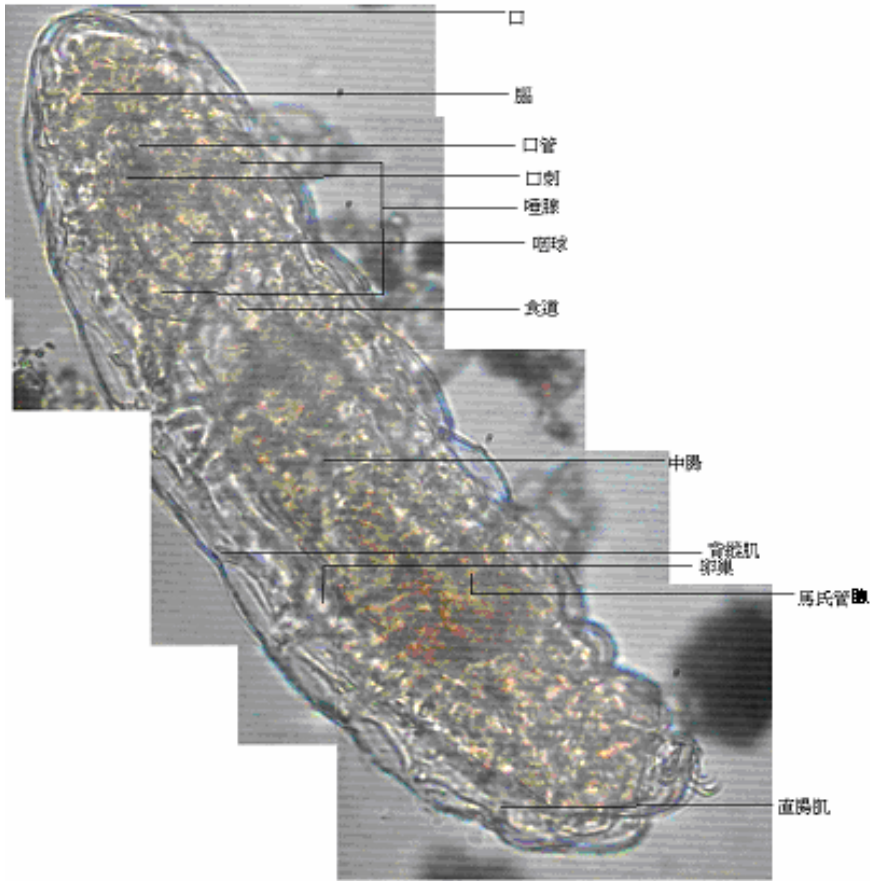


(800 倍)

4. 真緩步綱 Parachela 目 Macrobiotidae 科 (米黃色)

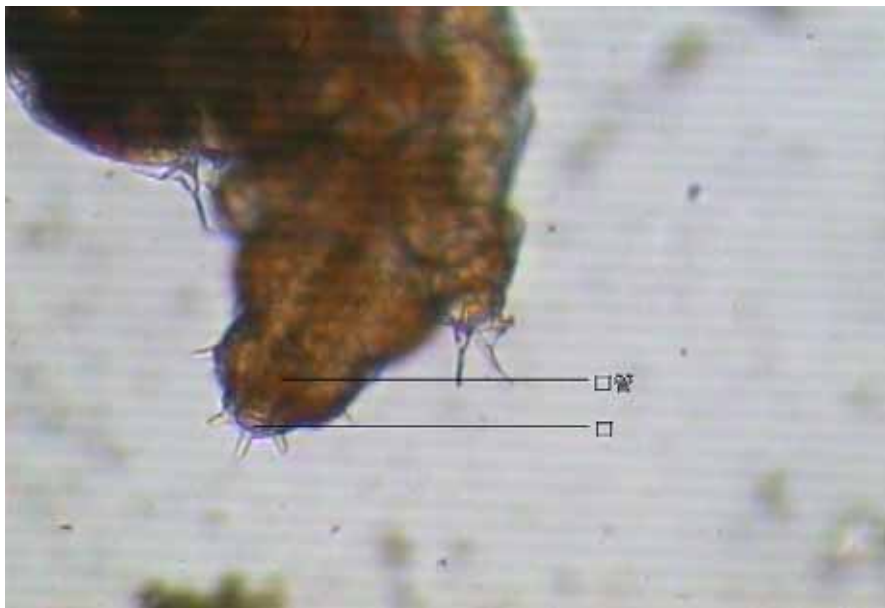


(800 倍)



(800 倍)

5. Milnesiidae 科 *Milnesium* 屬 (粉黃)

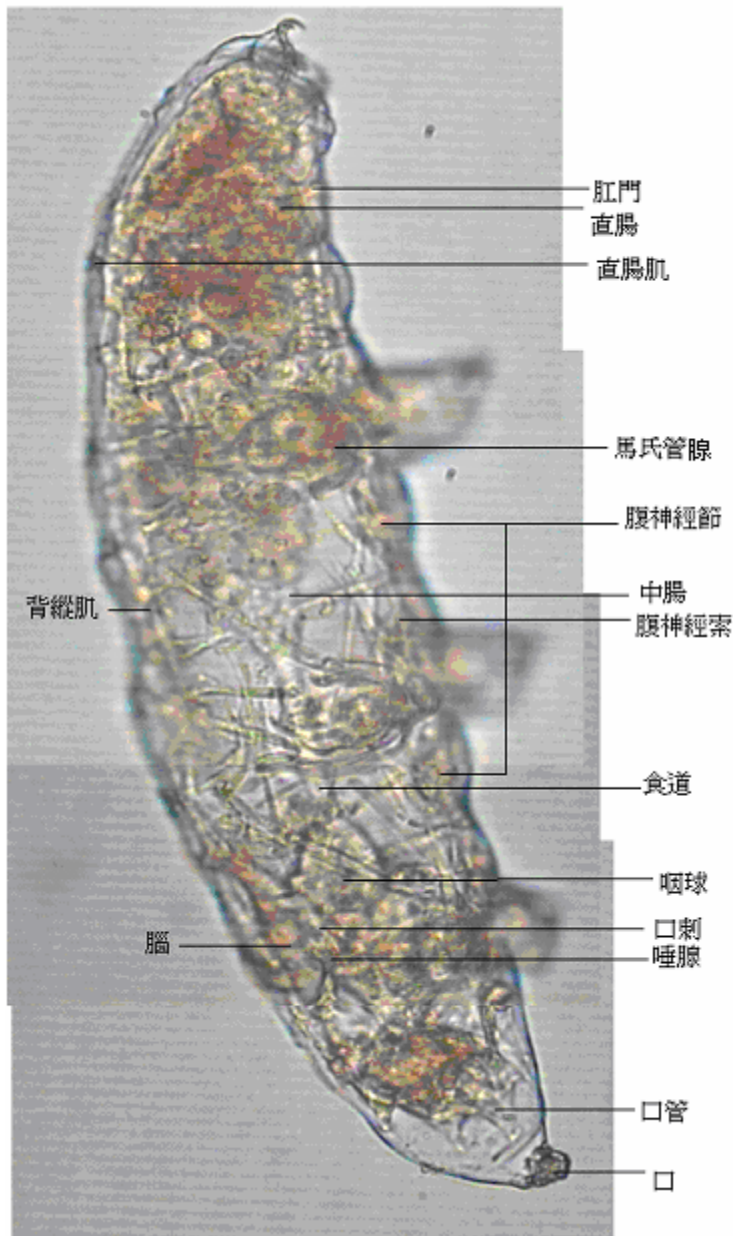


(800 倍)



(800 倍)

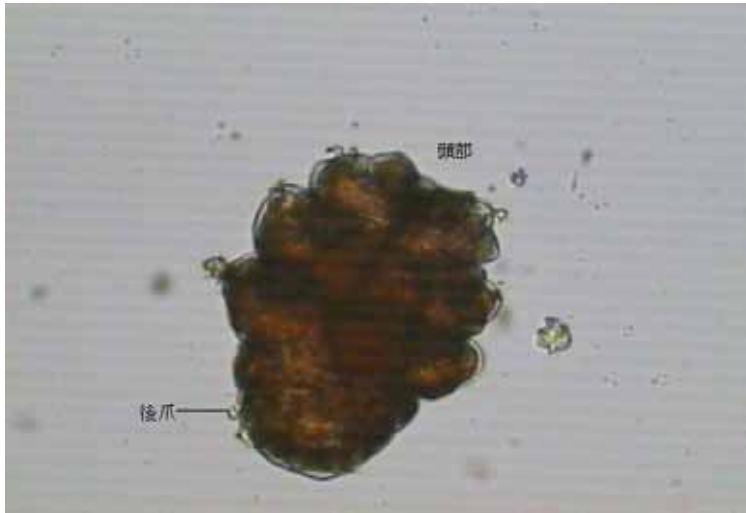
6. Macrobiotidae 科 (透明)



(800 倍)

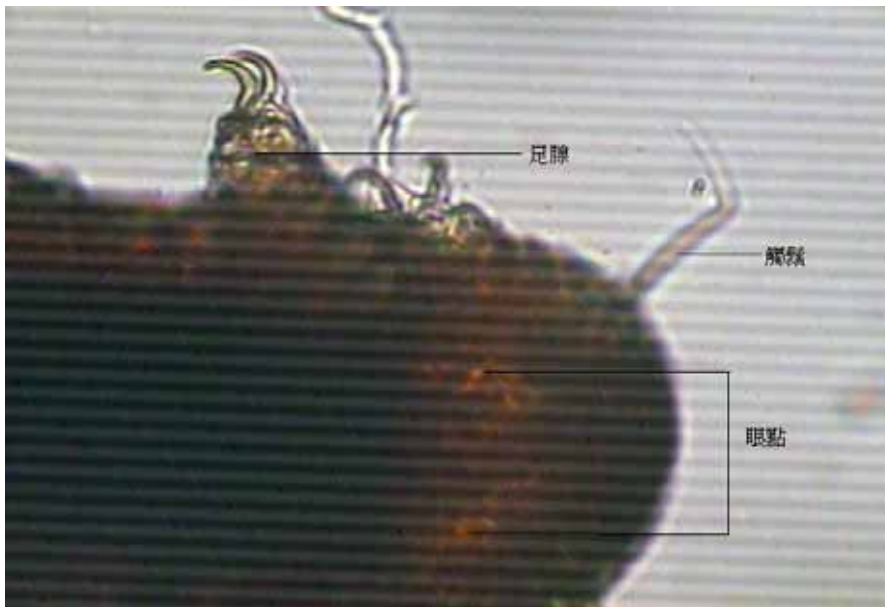


7. Macrobiotidae 科 (透明深棕)



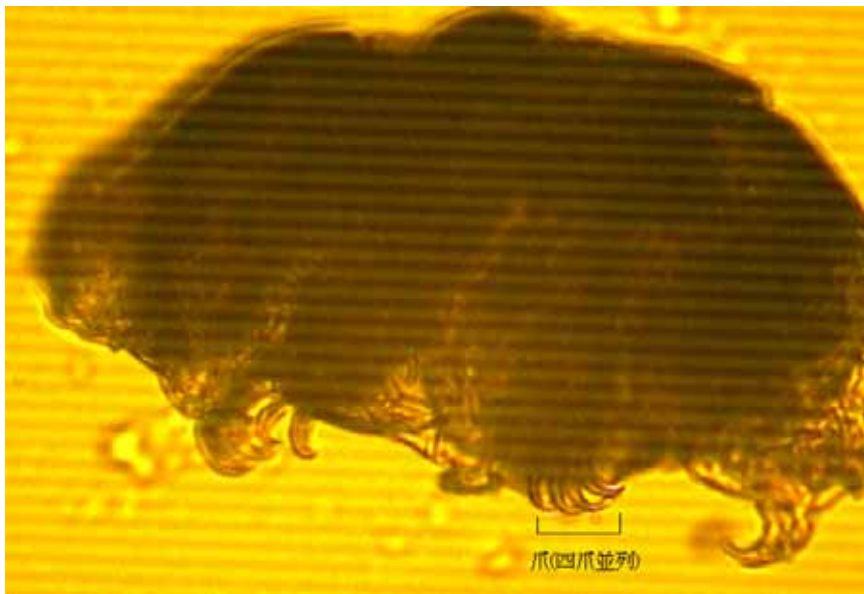
蟄伏時的照片 (500 倍)

8. 端爪科 (紅棕)

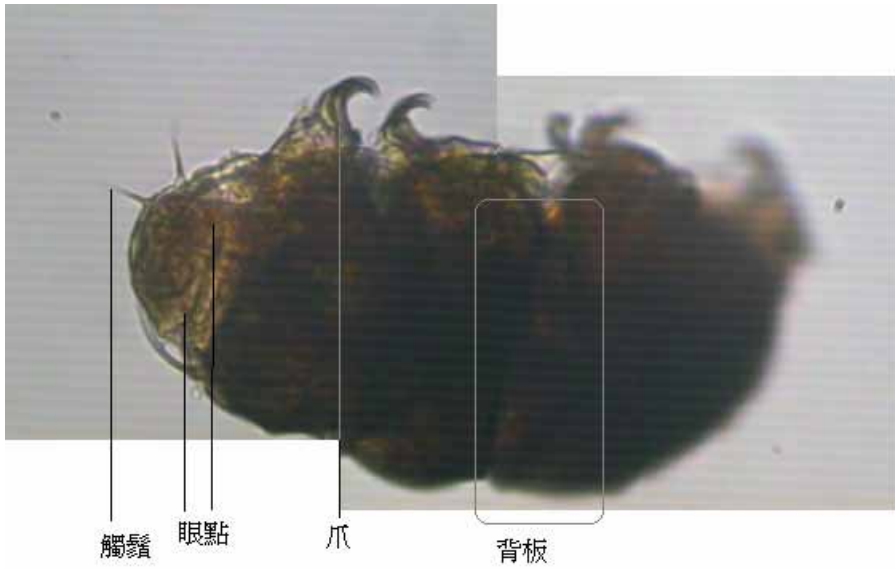


(800 倍)

9. 端爪科 (棕)



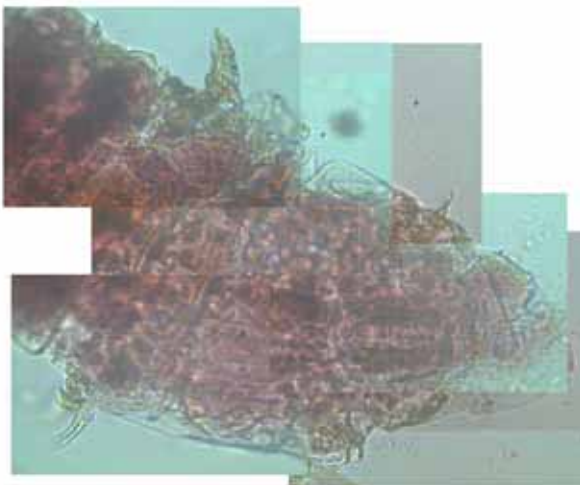
(500 倍)



(800 倍)

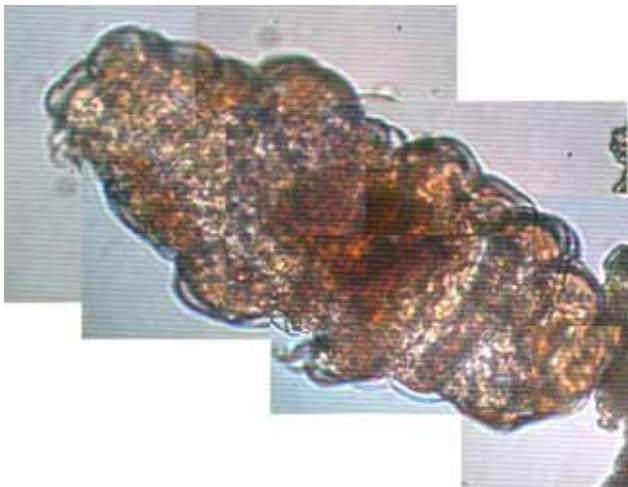
(五) 相片

1. 真緩步綱 Parachela 目 Calohypsibiidae 科 (紅色)



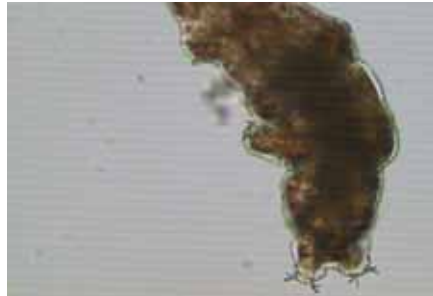
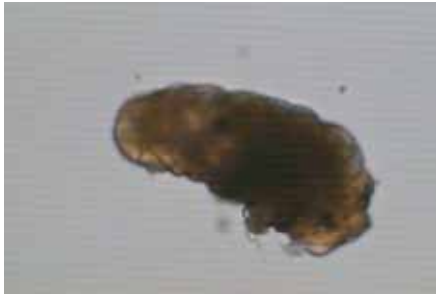
可見到清楚的爪 (800 倍)

2. 真緩步綱 Parachela 目 (淺紅)



(800 倍)

3. 真緩步綱 Parachela 目 Macrobiotidae 科 (棕色)

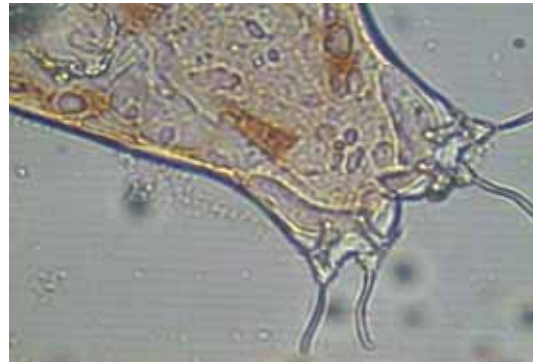


未甦醒時，足部未伸出 (500 倍) 最後一對足明顯的爪 (500 倍)

4. 真緩步綱 Parachela 目 Milnesiidae 科 *Milnesium* 屬 (粉紅)



口器 (800 倍)

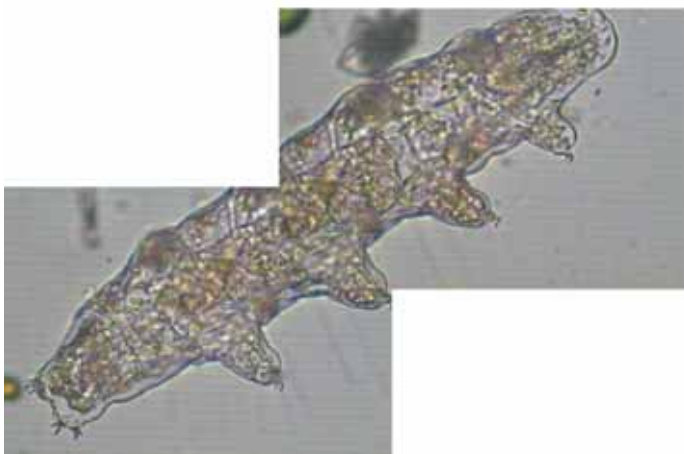


最後一對足 (800 倍)



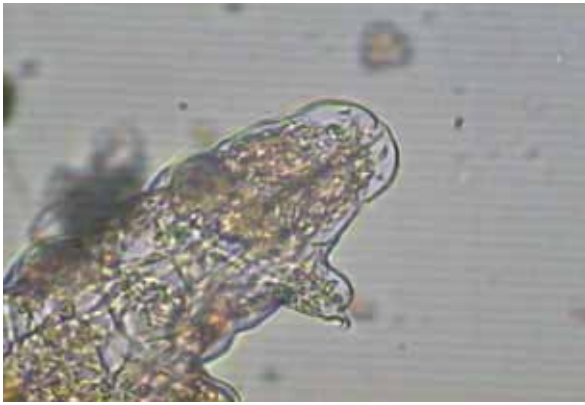
爪和神經 (800 倍)

5. 真緩步綱 Parachela Macrobiotidae 科 (米黃色)

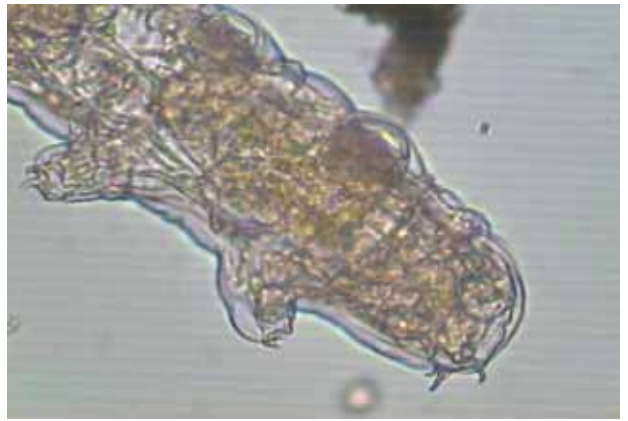


整條背縱肌都很明顯 (800 倍)

(800 倍)



有明顯的眼點 (800 倍)



後面三對爪 (800 倍)



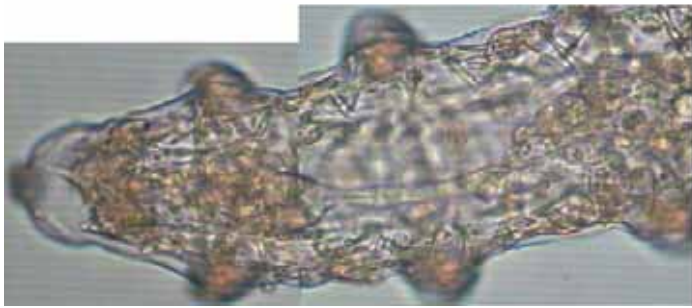
腹面的皮層解析 (800 倍)

#### 6. Milnesiidae 科 *Milnesium* 屬 (粉黃)



(800 倍)

7. Macrobrotidae 科 (透明)

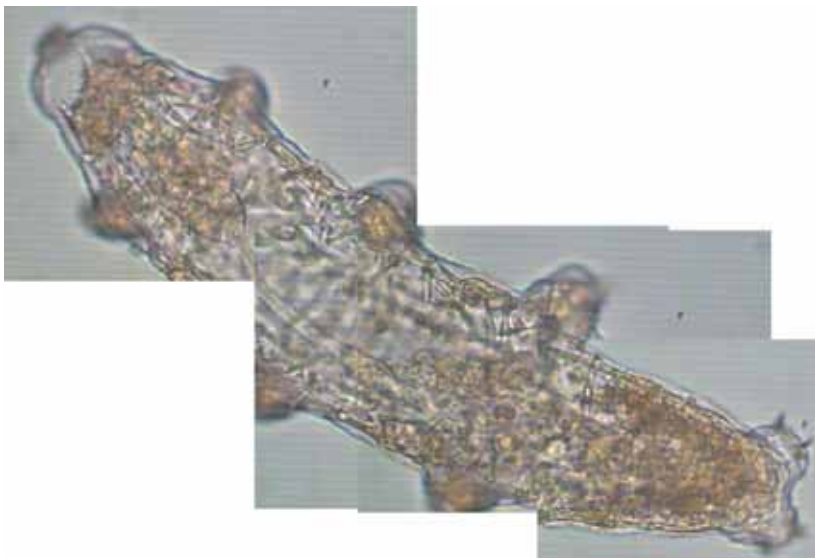


頭部的前端構照

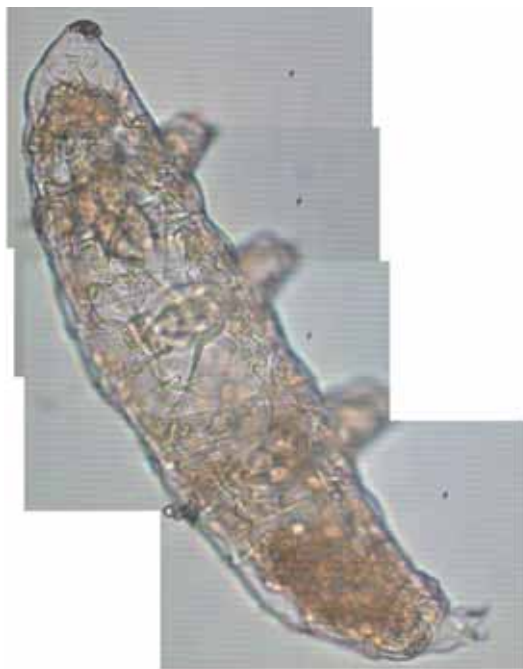
800 倍



神經和食道 800 倍



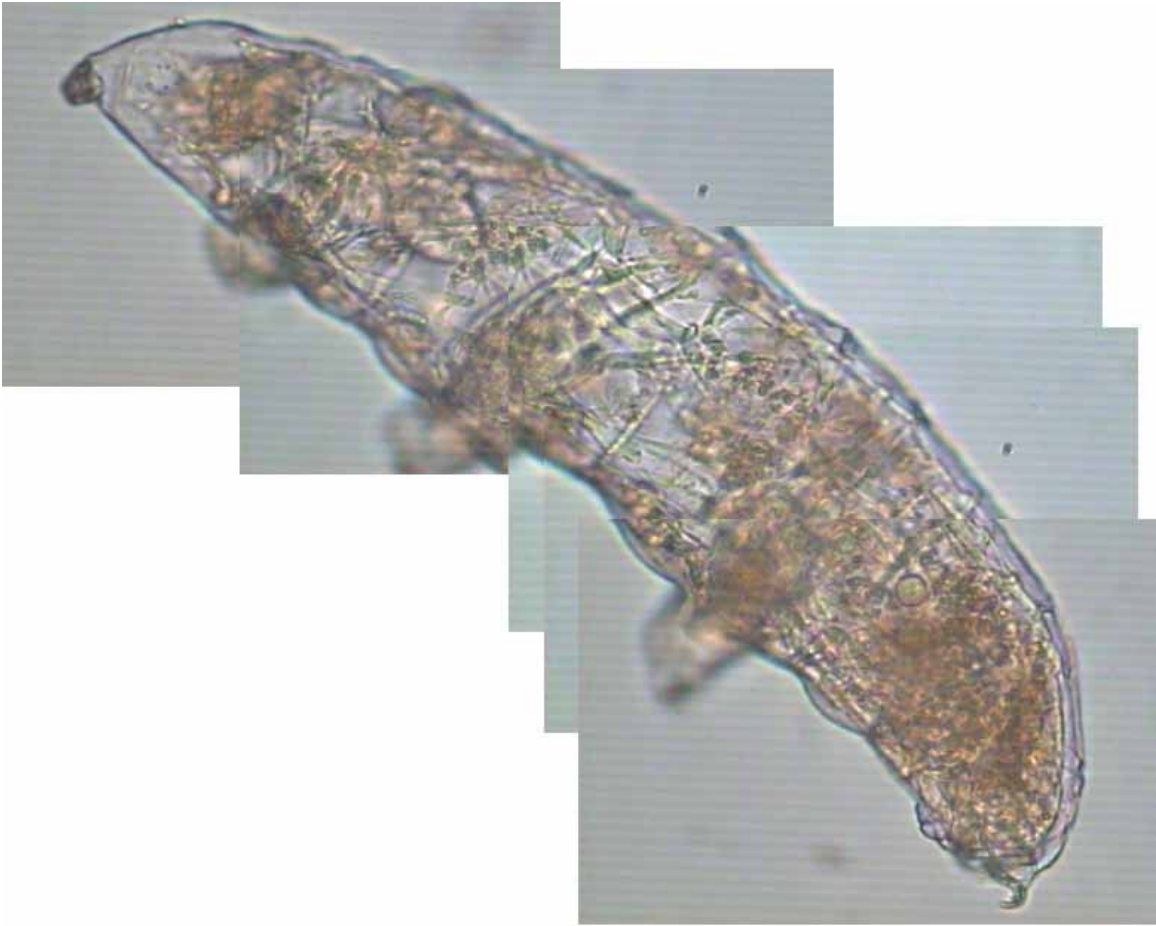
800 倍



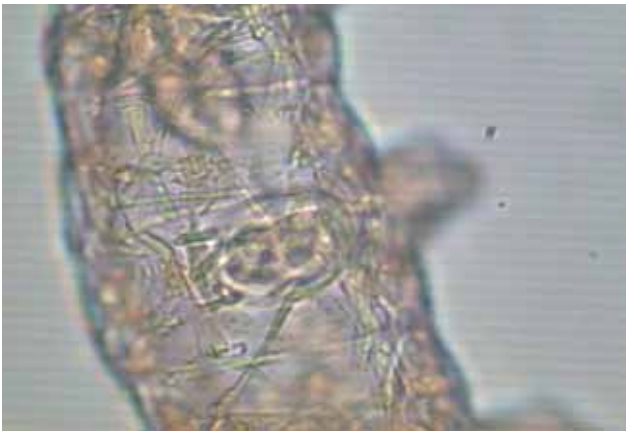
(800 倍)



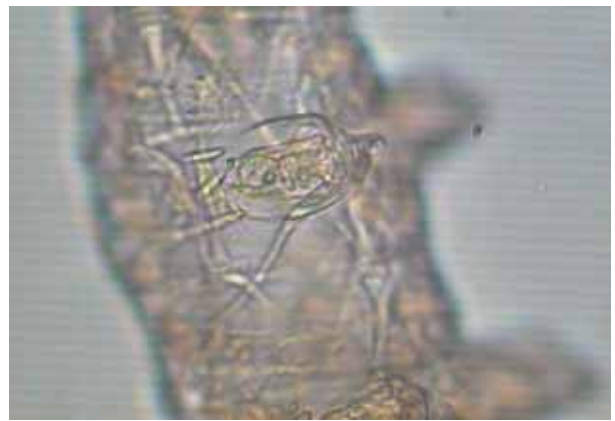
(800 倍)



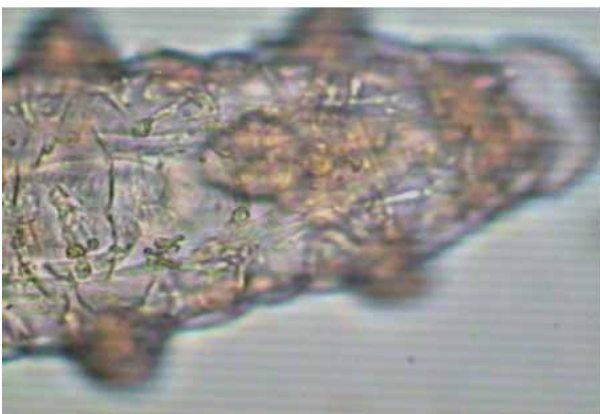
(800 倍)



(800 倍)



(800 倍)



(800 倍)

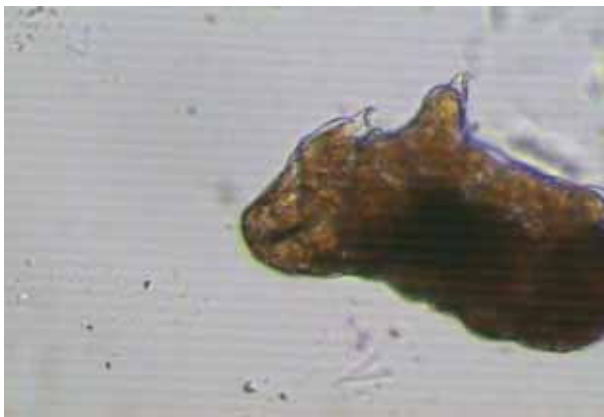


(800 倍)

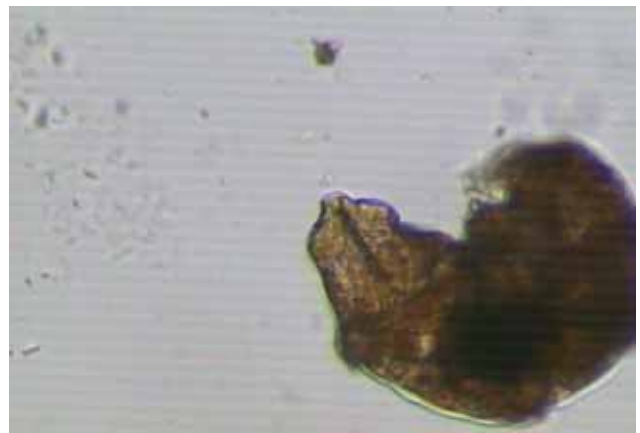


(800 倍)

### 8. Macrobiotidae 科 (咖啡)

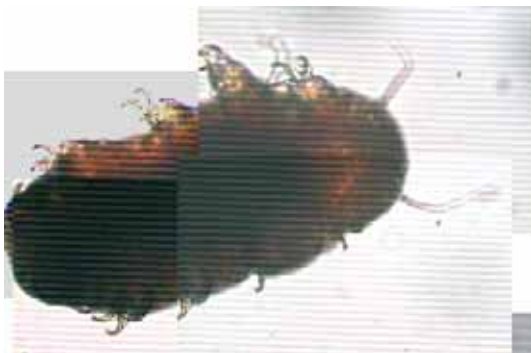


(500 倍)

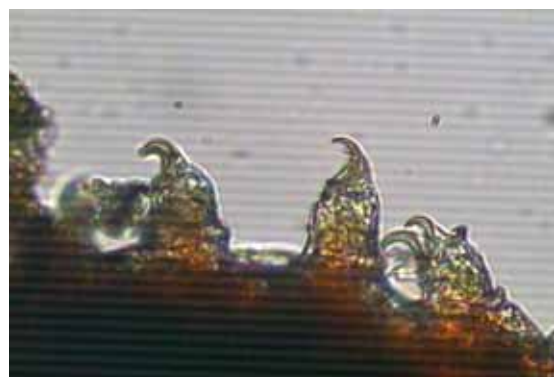


(500 倍)

### 9. 端爪科 (紅棕)



(800 倍)



(800 倍)

10. 端爪科 (棕)



(500 倍)



(800 倍)

(六) 熊蟲的死亡

死亡的熊蟲和蟄伏的熊蟲十分好辨認。死亡的時候，熊蟲的身體會拉長，足伸直向外，此時身體的環帶較明顯，原本體內流動的物質不明顯，體色變淡。*Macrobiotidae* 科可以看見明顯的一團深色的物質在體內，因為其位置在消化道，又有觀察到大小的變化，推測為牠的食物。

500 倍



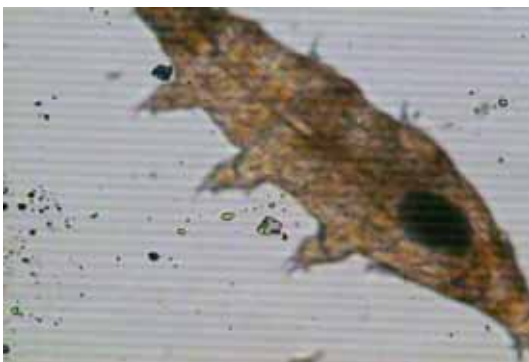
*Macrobiotidae* 科(棕) 未死亡時



*Macrobiotidae* 科(棕)

死亡後的照片

(500 倍 )



*Milnesiidae* 科

*Milnesium* 屬(粉紅)

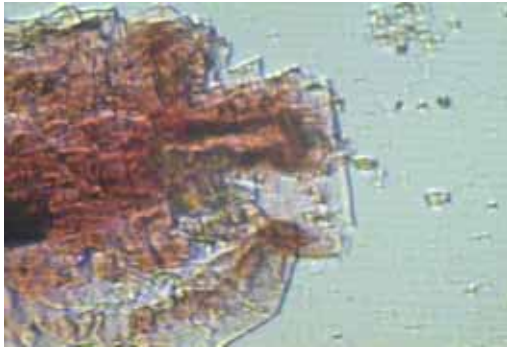
(500 倍)



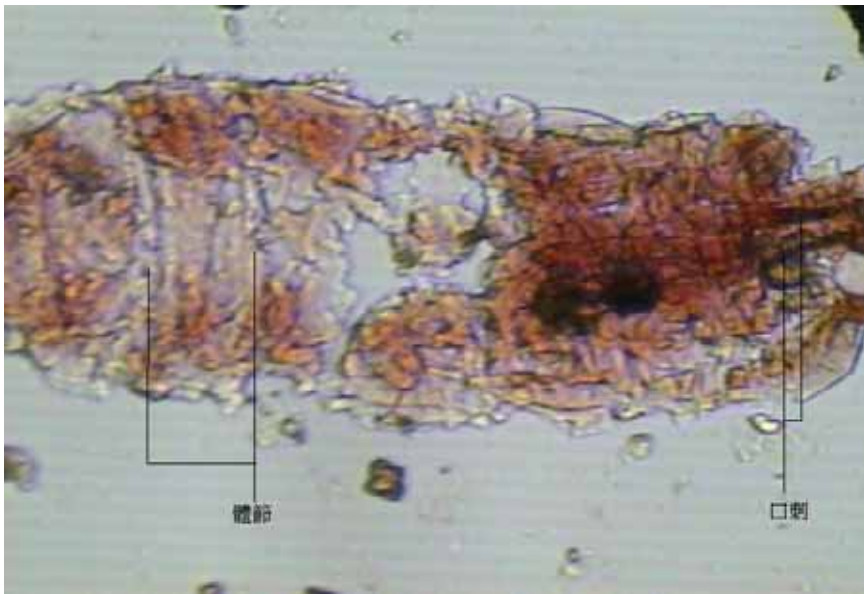
### (七) 熊蟲的蛻皮

1. 熊蟲和節肢動物一樣有蛻皮的現象。在一次觀察中意外中發現有熊蟲形狀的皺摺的物質，拿到複式顯微鏡下放大，發現有熊蟲的攝食器和爪子的痕跡，根據所查的資料，熊蟲的蛻皮是由後足開始，後足的外皮移位，漸漸脫離，此時熊蟲會不斷地扭曲身體。剛蛻皮的熊蟲會有一段時間沒有攝食器，這是判斷熊蟲是否剛蛻皮的方式。

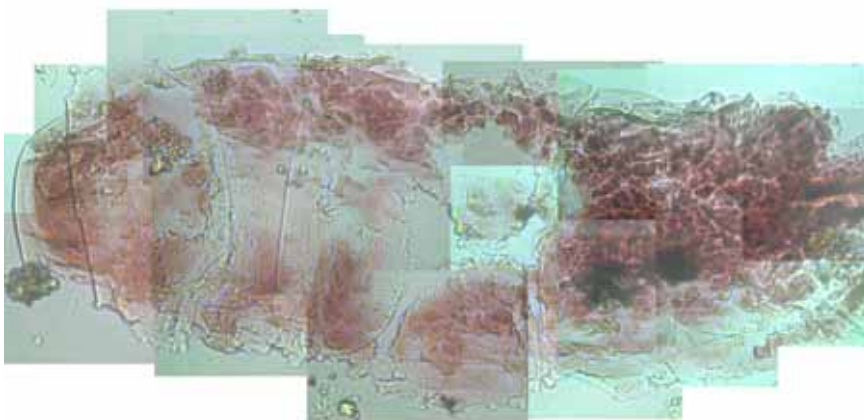
#### 2. 蛻皮照片



(800 倍)



(500 倍)



(800 倍)

### (八) 行走

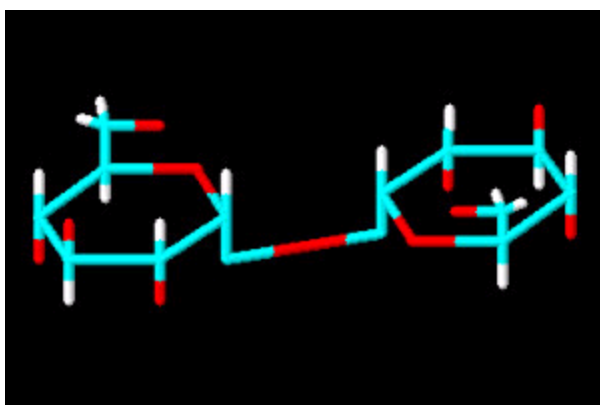
行走時，四對足是獨立運動，不過，其很少有同一側的四對足同時向前伸或向後伸的情形出現。端爪科行走時不蠕動，真緩步綱行走則有蠕動的情形。

## (九) 蟄伏

根據 *The biology of Tardigrades* 一書，熊蟲在缺水 (anhydrobiosis)、低溫 (cryobiosis)、高鹽 (osmobiosis)、缺氧 (anoxybiosis) 時會蟄伏，研究過程中有觀察到符合缺水與缺氧的蟄伏現象。

### 1. 缺水

當水分逐漸散失時，熊蟲活動會趨緩，身體逐漸彎曲、依體節頭尾垂直縮起，將足慢慢往內縮，身體縮小，體色加深，大部分的水分排出，形成桶狀 (tun formation)。根據文獻，此時熊蟲也會排出脂質，以免菌類侵入 (Wright, 1988*b*)，但蟄伏時脂質仍不可或缺，脂質能在體內形成分隔，防止未蟄伏時被分開的分子發生化學反應 (Bird and Buttrose, 1974)，脂質似乎也扮演著修飾表皮滲透性的角色 (Wright, 1988*b*; 1989*a*; Wharton *et al.*, 1988)，而甘油及 trehaloses 能改變脂質 (Madin and Crowe, 1975; Westh and Ramløv, 1991)，使它具有膜的功能 (Crowe *et al.*, 1984; 1987)，可以維持乾燥熊蟲的完整，脂質並作為乾燥時能量的來源 (Womersley, 1981)，也有另一說能量來源為澱粉 (Crowe, 1975)。當乾燥而蟄伏的熊蟲遇到水時，在 15 分鐘內會逐漸甦醒，體色變淡，身體展開，足伸出恢復活動。



disaccharide trehalose 的分子模 (Haworth 投射)。實際幾何分子是更加複雜的。Trehalose 也是青苔 (R5ompps Chemie-Lexikon) 的組成分子。

紅色: 氧原子

白色: 氫原子

藍色: 碳鏈

圖片來源: Water Bear web base

<http://www.tardigrades.com/>

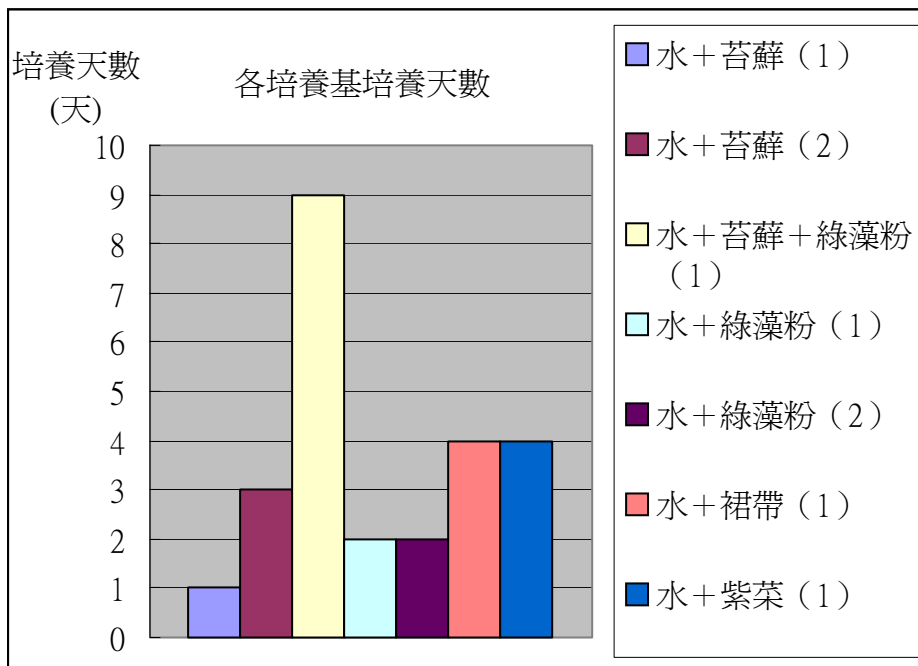
### 2. 缺氧

在培養的過程中，因為熊蟲數天都在同一環境中活動，有些開始不動，身體微彎曲、膨脹，足沒有完全內縮，這與拉長身體，四對足皆伸出的死亡有明顯的不同，查閱文獻發現，多數特徵都符合缺氧時的狀態。再移到新的環境，多數熊蟲也都不改變此狀態。這是本實驗的一大疑惑。

## (十) 培養

培養基	熊蟲數量 (隻)	培養天數 (天)
水 + 苔蘚 (1)	1	1
水 + 苔蘚 (2)	4	3
水 + 苔蘚 + 綠藻粉 (1)	2	9
水 + 綠藻粉 (1)	1	2
水 + 綠藻粉 (2)	4	2
水 + 裙帶 (1)	1	4
水 + 紫菜 (1)	2	4
水	1	2

裙帶、紫菜與綠藻粉皆有腐臭的現象，就天數而言，目前以水 + 苔蘚 + 綠藻粉的效果為最好。



(十一) 種類分布與環境

1. 熊蟲生長環境的探討密度的調查

(1) 密度調查

中原大學的恩惠堂（環境見照片 1-1、1-2）

a. 環境：此次採集時為剛下過雨，所以空氣中的溼度高達 87.5%。此因為在距離採集處三公  
尺有一棟平房，光照是屬於較少的區域。離採集地兩公尺有一排水溝，可能會對熊蟲分部  
產生影響。蘚類長得極緩慢，採集過後的刻痕在一個月後仍十分清楚。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
20°C	87.5%	東南	水泥牆上 的蘚類	2004 年 12 月 19 日 17:53	1.5m

b. 結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	透明	活動：1 隻	1 隻	0.0222	0.6281
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiida 科 <i>Milnesium</i> 屬	粉黃色	活動：2 隻	2 隻	0.0444	
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiida 科 <i>Milnesium</i> 屬	粉紅色	不活動：1 活動：1 隻	2 隻	0.0444	
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	不活動：4 隻 活動：2 隻	6 隻	0.1333	
合計			不活動：5 隻 活動：6 隻	11 隻	0.2444	

中原大學中正樓北側樓梯（見照片 2）

a.環境：此次採集時為剛下過雨，所以空氣中的溼度高達 88%。此採集地為已經封閉的樓梯，所以走的人應該很少，而且沒有遮蔽，陽光可以照射。此採樣區分部於三個階梯，可視為三個區域，所以歧異度很高。此處苔蘚有在生長，刮取一個月後，苔蘚已長回一些。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
18°C	88%	北	水泥樓梯 垂直面的 苔蘚	2004 年 12 月 19 日 18:02	1.0m

b.結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
真緩步綱 / Parachela 目		淺紅	活動：2 隻	2 隻	0.0444	0.7989
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	棕色	不活動：1 隻	1 隻	0.0222	
真緩步綱 / Parachela 目		橄欖綠	活動：2 隻	2 隻	0.0444	
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiida 科 <i>Milnesium</i> 屬	粉紅色	活動：5 隻	5 隻	0.1111	
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	活動：3 隻	3 隻	0.0667	
合計			不活動：1 隻 活動：12 隻	13 隻	0.2888	

中原大學中正樓北側樓梯下方（見照片 3-1、3-2）

a.環境：此地終年陰濕，因為向北面又在離牆 1.5 公尺處即有牆擋住陽光，所以光照極少。正逢寒流來襲，溫度偏低。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
14°C	90.4%	西	碎石子牆 上的蘚類	2005 年 1 月 4 日 18:00	1.65m

b.結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	透明	活動：2 隻	2 隻	0.0444	0.7200
真緩步綱 / Parachela 目		淺紅	不活動：1 隻	1 隻	0.0222	
真緩步綱 / Parachela 目		米黃	活動：1 隻	1 隻	0.0222	
		紅棕色	不活動：1 隻	1 隻	0.0222	
合計			不活動：2 隻 活動：3 隻	5 隻	0.1111	

中原大學中正樓南側樓梯（見照片 4）

a.環境：此次採集時為綱下過雨，所以空氣中的溼度高達 90%。此地大部分環境與北側樓梯一樣，唯獨是向南面的，而且沒有遮蔽，陽光可以照射。苔蘚長得極快，一個月後，刮痕已十分模糊，而天氣晴朗的時候，此處梯面上仍會有積水。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
17.5°C	90%	南	水泥樓梯 垂直面的 苔蘚	2004 年 12 月 19 日 18:24	1.0m

b.結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	粉黃	活動：10 隻 不活動：2 隻	12 隻	0.3333	0.5877
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	透明	不活動：1 隻 活動：16 隻	17 隻	0.4722	
真緩步綱		肉色	不活動：1 隻 活動：3 隻	4 隻	0.1111	
合計			不活動：4 隻 活動：29 隻	33 隻	0.9167	

新屋的九斗村（見圖一）

A 宅後面（見照片 5-1、5-2）

a.環境：這裡的環境無法照到陽光，因為是屬於房子和房子間的牆，而且被樹木和 B 宅的房子遮住，整面牆布滿了苔蘚，而且有些苔蘚是厚厚綠綠的在採集後過了約 3 個星期，發現我們原本刻的痕跡變淡了，上面又長了一些新苔蘚，那天綱好下雨，仔細觀察它沒有屋簷，雨會滴在牆上，但由於牆是垂直的，並不會留在同樣的地方，這樣的溼度對熊蟲而言是不會太濕的，是他們最喜歡活動的時候。

b.結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	棕色	不活動：15 隻 活動：6 隻	21 隻	0.4667	0.4376
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiidae 科 Milnesium 屬	粉紅色	活動：4 隻	4 隻	0.0889	
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiidae 科 Milnesium 屬	肉色	活動：4 隻	4 隻	0.0889	
合計			不活動：15 隻 活動：14 隻	29 隻	0.6444	

B 宅前面（見照片 6-1、6-2）

a.環境：此處很少車子經過，因為是住戶，沒有什麼空氣污染。面南，日光照的到，附近有滿多雜草的，長苔蘚的地方離地面 0 公尺。過了大約三星期，發現刮過的痕跡仍然沒有什麼變化。

b.結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	棕色	不活動：1 隻 活動：1 隻	2 隻	0.0444	0.5156
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiidae 科 Milnesium 屬	粉紅色	活動：10 隻	10 隻	0.2222	
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	不活動：1 隻 活動：1 隻	2 隻	0.0444	
真緩步綱 / Parachela 目	Macrobiotidae 科	透明	活動：1 隻	1 隻	0.0222	
合計			不活動：2 隻 活動：13 隻	15 隻	0.3333	

B 宅後面（見照片 7-1、7-2）

a.環境：這一面牆幾乎沒什麼陽光，被樹和房子擋住了，附近植物更多，相較於 B 宅前牆，他潮濕的多，苔蘚的範圍亦較大，又因為有屋簷，所以苔蘚長的比較下方。三星期後，痕跡也較不明顯。

b.結果

綱 / 目	種類	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	棕色	不活動：1 隻 活動：6 隻	7 隻	0.1556	0.4688
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	不活動：8 隻 活動：8 隻 蛻皮：2 個	16 隻	0.3556	
真緩步綱 / Apochela 目	Milnesiidae 科 Milnesium 屬	粉紅色	不活動：1 隻	1 隻	0.0222	
合計			不活動：10 隻 活動：14 隻	24 隻	0.5333	

桃園縣大園鄉五權村的某一個住家（見圖二）

牆壁 1（見照片 8-1、8-2、8-3）

a. 環境：此處不會有什麼車子經過，因為是住戶，沒有什麼空氣污染。少量光照，附近有雜草，長苔蘚的地方靠近地面。過了大約一個月，發現刮過的痕跡仍然沒有什麼變化。另外採集時並沒有下雨。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
17°C	88.5%	西	三合院牆上的蘚類	2005年1月20日 15:00	0.15m

b. 結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	不活動：15 隻 活動：44 隻	59 隻	1.3111	0.1714
		棕色	活動：4 隻	4 隻	0.0889	
真緩步綱			活動：2 隻	2 隻	0.0444	
合計			不活動：15 隻 活動：50 隻	65 隻	1.6250	

三面牆（見照片 9-1、9-2）

a. 環境：此處因為被三面牆圍住，陽光幾乎照射不到，故十分的陰暗潮濕，溫度也比其他地方低，沒有什麼空氣污染的可能，採集的下方就是一條潮濕但是不會臭的水溝，附近有菜圃，牆上越靠近地面的苔蘚越濃厚。一個月前刮的痕跡還看的到一點。另外，採集時並沒有下雨。

溫度	溼度	棲地面向方位	棲地	採集時間	採集處距地高度
15°C	88%	西	碎石子牆上的蘚類	2005年1月20日 16:00	0.15m

b. 結果

綱 / 目	科 / 屬	體色	紀錄資料	總數量	密度(隻/cm <sup>2</sup> )	歧異度
真緩步綱		肉色	不活動：1 隻 活動：18 隻	19 隻	0.4222	0.6860
		粉紅	活動：2 隻	2 隻	0.0444	
		淺灰	活動：1 隻	1 隻	0.0222	
		米黃	活動：1 隻	1 隻	0.0222	
		透明	活動：1 隻	1 隻	0.0222	
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	棕色	不活動：3 隻	3 隻	0.0667	
異緩步綱 / Echiniscoidea	端爪科	紅棕色	不活動：4 隻 活動：17 隻	21 隻	0.4667	
合計			不活動：8 隻 活動：39 隻	47 隻	1.0444	

另外有採集到熊蟲但未計算密度的地點（見附錄文字一）



## (2) 有調查密度的統整表格

		真緩步綱	異緩步綱	陽光量	歧異度	密度
桃園縣 新屋鄉 九斗村	A 宅後	8 隻	21 隻	極少量光照	0.4376	0.6444
	B 宅後	1 隻	23 隻	極少量光照	0.4688	0.5333
	B 宅前	11 隻	4 隻	陽光無遮蔽	0.5156	0.3333
中原大學	恩惠堂	5 隻	6 隻	少量光照	0.6281	0.2444
	中正樓北側 樓梯	10 隻	3 隻	陽光無遮蔽	0.7989	0.2888
	中正樓南側 樓梯	33 隻	0 隻	陽光無遮蔽	0.5877	0.9167
	中正樓北側 樓梯下方	5 隻	0 隻	極少量光照	0.7200	0.1111
桃園縣 大園鄉 五權村	牆壁 1	2 隻	63 隻	少亮光照	0.1714	1.6250
	三面牆	25 隻	22 隻	極少量光照	0.6860	1.0444

## (3) 沒有採集到熊蟲的紀錄

- 桃園縣新屋鄉的馬路旁沒有採集到(見附錄中的圖一)【採集時間 2004 年 8 月】
- 桃園縣新屋鄉 D 宅圍牆上的磚頭也沒有採集到，有濃厚的苔蘚，很容易刮下來。
- 宜蘭縣太平山的地衣，沒有採集到【採集時間 2004 年 7 月】
- 武陵高中 【採集時間 2004 年 7 月】

地點	環境	溫度 (°C)	溼度 (%)	棲地面向 方位	採集處距地高 度 (m)	環境備註
水溝旁	苔蘚	19.0	72.5	上	0	見附錄之照片一
體育館門口 水溝	苔蘚	18.5	73.5	東	-0.1	見附錄之照片二
體育館後大 水溝	苔蘚	18.3	73	西	-0.1	見附錄之照片三
水槽下	苔蘚	18.0	73	西	0.2	見附錄之照片四
體育館旁	苔蘚	18.3	72	北	0	見附錄之照片五
圍牆	苔蘚	17.8	76	東南	1.5	見附錄之照片六
水池旁石頭	苔蘚	18.8	75	西	0.4	見附錄之照片七
警衛室的牆	苔蘚	18.5	75	北	2.3	見附錄之照片八
崇德樓	苔蘚	18.7	70	東	1.5	見附錄之照片九
水池中石頭	苔蘚	21.8	66	上	0	見附錄之照片十
水池	苔蘚	21.6	65	上	0	見附錄之照片十一
K 書中心	苔蘚	19	64	北	0.1	見附錄之照片十二

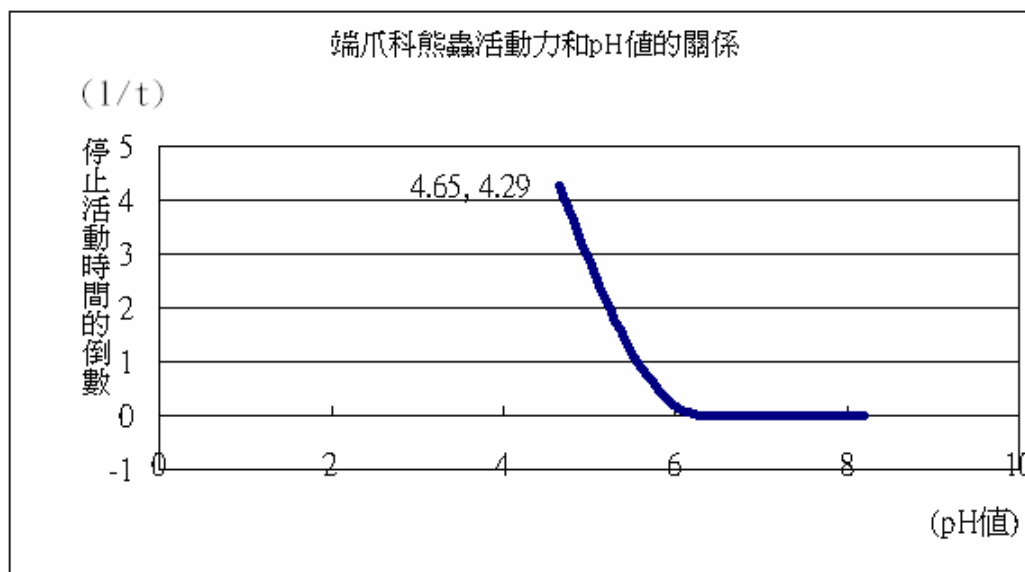
e. 地點 2 沒有採到熊蟲：植物種類為橄欖綠色，粉狀，很薄（見照片十三；地點見圖片二）

f. 中原大學的籃球場、看台、停車場和宿舍 採集時間：2004 年 8 月

#### (4) 熊蟲分布與不分布的環境比較

	棲地	平均溫度	標準差	平均溼度	標準差	方位
分布	黑或灰色苔蘚	16.8°C	1.8	88.6%	1.0	東、西、南、北
不分布	黑、棕或綠色植物	19.0°C	1.25	71.3%	3.9	東、西、北、上

#### (十二) pH 值與活動力



#### (十三) 討論

##### 1. 分類

(1) 根據爪的型態，*Macrobiotidae* 科的透明（深棕）與棕色應為 *Macrobiotus* 屬，找到卵則可確定。

(2) 端爪科的棕色和紅棕色、*Milnesium* 屬的粉紅和粉黃、*Macrobiotidae* 科的透明（深棕）和棕色和咖啡和透明和米黃是否為同一種需進一步確定。

##### 2. 外部結構與內部結構

(1) 在採樣的結果中，發現有些破裂的端爪科熊蟲，旁邊為紅色團狀或褐色液體，身體則全部為褐棕色。在 *The biology of Tardigrdes* 一書中，有介紹到表皮內側有色素微粒 (pigment granules)。因此推測褐棕色為表皮的顏色，而所流出的物質顏色與食物有關。

(2) 在 Water Bear web site 中提供的熊蟲圖片，其口器非常明顯，為二個黑色的針狀物。而我們所拍攝的圖片，經過比對，發現 *Milnesiidae* 科的熊蟲，其口器為透明針狀物，與先前看到的圖片顏色不同。目前口器形狀已為分類依據之一，但口器顏色卻不見文獻記載，讓我們懷疑顏色是否造成種類差異或影響功能。

##### 3. 種類分布與環境

(1) 根據我們的調查結果，發現在黑色的、像毛毯般糾結的棲地最容易找到熊蟲。而且在越老舊的房屋牆壁或屋頂越容易發現他們的存在。到目前為止，我們還沒有在乾淨剛整修好的屋子或者是新長出的苔蘚發現他們。

(2) 根據調查的結果，在桃園縣新屋鄉九斗村和中原大學以及桃園縣大園鄉五權村的採集，發現一種情形：陽光照射少量的地方，異緩步綱端爪科的數量會遠大於真緩步綱的數量，陽光照射越少這種情況越明顯。相反的陽光充足的地方，真緩步綱的數量會遠大於異緩步綱端爪科的數量。這和我們最先開始的假設完全相反：有陽光的地方熊蟲應該大部分是屬於體色較深，有背板的。由此我們可以確定，熊蟲體內的顏色目的並不是為了遮擋陽光的照射而有的。我們原本以為是陽光的照射量照成的影響，但是我們又發現桃園縣大園鄉五權村的三面牆雖然再相同的陽光照射量，可是真緩步綱和異緩步綱的數量都差不多，於是對於三面牆部份的觀察，我們仔細探討後，發現真緩步綱的棲地是比較多綠色葉片的，而異緩步綱是在較少葉片的棲地。根據文獻：海生的熊蟲全部都屬於異緩步綱，因此我們推測這樣的分部情形可能跟演化有關。我們推論海生的熊蟲所需要的氧氣是比較少的，所以當逐漸演化至陸地時，熊蟲慢慢的演化成需要較多氧氣的真緩步綱，異緩步綱的熊蟲能夠在氧氣較缺乏的地方生存，而真緩步綱卻沒有辦法。

(3) 根據調查的結果，雖然同樣是在新屋鄉九斗村採集，可是馬路旁的卻沒辦法採集到熊蟲，不是密度太低就是沒有熊蟲在路旁活動；又武陵高中的採集，不是很乾淨的環境（例如水溝附近、冷氣水下的苔蘚、排水孔附近的蘚類）也都無法見到他們的蹤跡，又其中在武陵高中的校門口附近，我們有見到類似新屋鄉的那種黑色的棲地，但是卻沒有發現熊蟲，可能是因為太靠近大馬路的關係。因此我們判斷污染嚴重或環境髒亂的地方，不會有熊蟲的存在。

(4) 在做密度調查時，隨機選取得方塊中，有時距離僅相距 3cm，熊蟲的數量卻有零隻與八隻的差異，這個結果可印證文獻說的，熊蟲具有群居性。

(5) 根據調查的結果，我們知道在未受污染的老舊屋子牆上的黑黑的植物幾乎都可以找到熊蟲，而太綠的棲地沒有發現熊蟲的機會，我們推測這和熊蟲的攝食可能是相關的。

(6) 另外，在解剖顯微鏡下觀察到有熊蟲的棲地有一個共通的特性，不管是顆粒狀或者是片狀或是絲狀，皆有互相纏結的情形，至於刮下來是粉末狀的，則沒有熊蟲的蹤跡。又在幾次的觀察中，我們發現將糾纏的植物解開，裡面可能還藏著兩三隻熊蟲，因此我們推測棲地和熊蟲的活動有關。

(7) 熊蟲多分布在高溼度（87.5~90.4%）的地方，不分布在中低溼度（76%以下）的地區，推測可能是因為缺水則易進入蟄伏，不利其生長。

(8) 根據 Meininger 和 Spatt(1988)的觀察：在靠近污染的路旁常能找到 *Diphascon scoticum* 種，我們調查了桃園及中壢市區幾的地方，卻未能發現此種或與牠同科的熊蟲，推測可能是我們調查的地方是校園內，仍離馬路太遠。

(9) 在實驗過程中我們發現，當我們把熊蟲挑至新環境，因為環境中沒有許多苔蘚，熊蟲容易落入水中。當端爪科的熊蟲落水時為腹部朝上，則會不斷揮舞雙腳，且持續此一狀態許久；當 Macrobiotidae 科的熊蟲發生同樣狀況時，也會拼命掙扎，但能較快恢復爬行。可能是因為 Macrobiotidae 科身體無背板，且較柔軟有彈性，當爪不著地時，能夠翻身；端爪科受背板限制，無法翻身。而採樣的調查顯示，Macrobiotidae 科可以分布於三種不同形狀的苔蘚，也有與端爪科處於同一環境的，但端爪科只見於一種苔蘚上。因此我們推測端爪科需要密度較高的苔蘚，提供一個可以任意行走的環境；而 Macrobiotidae 科可以在較多樣的環境下居住。

#### 4. pH 與活動力

(1) 當 pH4.65 液體加入時，牠會掙扎，但不是因為沒有苔蘚可以附著，將其移至苔蘚上，活動力明顯的較其他酸鹼值要低，只會原地緩慢地動足，而其他酸鹼值都會正常移動。

(2) 做實驗的過程中我們用針頭測量水的深度，發現正常活動的熊蟲幾乎一整隻都埋在水中，自己還會跑到苔蘚下方活動。若整隻熊蟲在水中正常移動，過了幾分鐘，苔蘚附近仍濕潤但已經沒辦法使熊蟲沒入水中，行動會越來越緩慢，準備蟄伏，但加入適量的水又會正常的移動，我們曾經發現即將進入蟄伏狀態的熊蟲，再加一些水，結果才剛進入蟄伏的他又動了，恢復正常。因此我們推測熊蟲對水量的多寡十分的敏感，也認為熊蟲不是立即性的進入蟄伏，蟄伏是需要一段時間的。

(3) 實驗中當為了想方便觀察，用透明的礦物給他爬，大約 3、4 分鐘後他又會躲到苔蘚附近，或是自己滑到石頭上，又趕緊爬回苔蘚。而且只要一旦落入液體而無苔蘚，會拼命的掙扎（活躍），放回苔蘚上又正常移動。牠們藉由抓住苔蘚的表面來行動，在水中沒有東西可以給他抓時，牠會揮動它的足，仍然沒辦法正常爬行，而在石頭上他爬行的速率明顯降低，甚至可以看見他站不太住的情形。因此我們認為苔蘚對熊蟲的活動十分重要，是他可以用來攀附活動的憑藉。

(4) 若以針頭輕輕的觸碰活動力小的熊蟲，會發現其逐漸活動恢復正常。又當熊蟲進入膨脹不活動的情形，我們也可以藉由加水、吸水的重複動作使其開始活動。所以我們認為熊蟲的活動和甦醒可能和刺激有關。

(5) 實驗中我們所用的熊蟲，從刮下來二個月以上到一天的苔蘚都有，我們發現看見熊蟲不活動的數量似乎和刮下來的時間有關，數量的關係大概是：快進入蟄伏 < 進入蟄伏約一~三分鐘 < 進入蟄伏約 10~40 分鐘 < 進入蟄伏一天到三天 < 進入蟄伏二個月以上。

(6) 實驗中我們也試過，將 Milnesium 屬加入 pH=5.6 和 Macrobiotidae 科加入 pH=4.65。和端爪科加入 pH=4.65 的反應不太一樣，製成表格如下：

種類 時間	真 緩 步 綱 Parachela 目 Macrobiotidae 科	真緩步綱 Apochele 目 Milnesiida 科 Milnesium 屬	異緩步綱 Echiniscoidea 科 端爪科
1 分鐘 ~ 3 分鐘	活動緩慢，身體縮成一團(豌豆貌)，足緩緩移動，三分鐘時可見中心小黑點在流動，前後幾乎看不見足。	有掙扎的跡象，足以及尾部會動	掙扎於液體中，爬上苔蘚，無先前激烈揮動足爪。
3 分鐘~10 分鐘	第 4 分鐘只有身體前後收縮，體長變短，最後完全不動。	足仍微微動，身體扭曲像是被腐蝕，微微地搖動	努力攀爬到苔蘚上
11 分鐘~14 分鐘	仍不活動	第 12 分鐘不活動	活動遲緩，體色漸深
15~20 分鐘	仍不活動	仍不活動	20 分鐘左右，不動，體色仍黑

我們因此而推測，不同種的熊蟲能接受 pH 值的範圍不同，而且放在 pH4.65 以下的酸性環境下並不會馬上死亡。我認為端爪科的熊蟲可能是因為有背板的緣故，所以對於酸性環境下的反應較遲緩，背板可能有延遲酸鹼刺激的功用。

(7) 又將三種熊蟲由酸性環境下移到原來環境後的反應也不一樣

種類 加入水的 時間	真緩步綱 Parachela 目 Macrobotidae 科	真緩步綱 Apochelc 目 Milnesiida 科 Milnesium 屬	異 緩 步 綱 Echiniscoidea 科 端爪科
1~2 分鐘	仍不動，貌似蟄伏，身體很薄，體節很明顯，皮皺皺的	完全不活動	前足第二微動
3~5 分鐘	完全不活動	完全不活動	前足第二微動
6~17 分鐘	開始活動	足開始微動	其他足也微動，躺在原地。
8~10 分鐘	爬行移動像原來正常時，看不出有受 pH4.65 水的影響	身體可以開始扭曲，但是活動力低	仍是其他足微動，躺在原地。
10 分鐘後	正常爬行	完全不動	活動力低

我們因此推測真緩步綱 *Macrobotidae* 科在酸性環境下的狀態：身體縮成豌豆的樣子，可能是抵抗酸鹼的機制，所以在恢復正常環境後又可以正常活動，而真緩步綱 *Apochelc* 目 *Milnesiida* 科 *Milnesium* 屬，可能是三者之中抵抗酸鹼能力最差的。

## 5. 培養

- (1) 根據中山自然科學大辭典，熊蟲無呼吸器官，但對氧之含量相當敏感，缺氧即身體膨脹，不活動，此狀況下可活數天，有氧時，又會再活動。然而我們所觀察到缺氧的熊蟲，經針頭觸碰後有些會再活動，可能的原因有：代謝廢物累積、無攀爬物或是此培養基環境與熊蟲生長環境差異大。推測觸碰對熊蟲而言是外在環境的危險，因此熊蟲提高警覺，恢復活動。不過，熊蟲最後都會回到不動且彎曲的狀態，無論觸碰、換水、加入可攀爬物（如：苔蘚）都仍然不動，可能原因有：代謝廢物已超過最大容忍度、無法適應環境、食物、缺氧過久。
- (2) 若熊蟲在未放入培養基時活動力已經較弱，則放入培養基後一天內，便會不動，無論如何刺激，也不活動。因為培養基為封閉環境，推測此類熊蟲對累積的代謝廢物抵抗能力較弱，因此一天內便無法再活動。
- (3) 平常觀察發現，熊蟲會傾向於爬行在苔蘚中，一但落入水而無著力點時，便會猛烈掙扎，直到有攀附物的出現才恢復正常爬行；在培養基中，也有發現到部分熊蟲會攀附在毛線上。「攀爬物」對熊蟲的似乎有一定的重要性，可能是因為熊蟲的爪在苔蘚、毛線等粗糙物上較穩，行走容易，培養皿的玻璃表面光滑，熊蟲又浸於水中，移動不易，故活動時傾向靠近「攀爬物」。而在不同種的熊蟲間，對於攀爬物的需求也有差異。在 pH 值實驗時，發現若端爪科落入水中，會先極力掙扎，如果一直沒有攀附到苔蘚上，則漸漸不動。一旦移至苔蘚上，又恢復爬行。但在做培養時，*Macrobotidae* 科（米黃色）則無明顯向移動苔蘚。推測與爪型的差異有關。

- (4) 培養基的腐臭，應該是因爲菌類生長。但植物不同，長菌的時間也不同。速率爲裙帶 > 紫菜 > 綠藻粉 > 苔蘚。其中苔蘚似乎沒有長菌。

## 6. 蟄伏

- (1) 熊蟲缺乏水分會表現蟄伏，我們推測熊蟲缺乏維持水分構造，而演化出蟄伏的機制，讓自己乾燥來適應環境。而排出大量的水分，可能使生理反應因爲缺乏水分而停止。當水分重新進入體內時，會再度啓動生理反應，使熊蟲恢復活動。
  - (2) 本實驗剛開始發現熊蟲時，爲了下次觀察方便，將其挑至懸滴載玻片存放，但部分熊蟲乾燥時卻無桶狀發生。之後加水，身體膨脹的很快，不需一分鐘便恢復原來體長，卻都不活動，無論碰觸或換環境，皆無復甦跡象。我們推測是因爲只有熊蟲存在時，乾燥速度太快，使牠無法適應。後來在網站 Water Bear web base 中找到，熊蟲在不適宜的環境中乾燥，無法蟄伏，而會死亡。熊蟲需要適當的環境來爲蟄伏做準備工作，以確保自己能夠再復甦。熊蟲也不是立刻就能乾燥，環境逐漸乾燥時，牠體內的 trehalose 分子被觀察到緩慢增加並取代水，讓完全乾燥的身體處於穩定的化學結構。因此，熊蟲需要緩慢降低溼度的環境，如苔蘚，而且牠在自然環境中會進入苔蘚中，而非停留在表面，以獲得緩衝時間 (Crowe, 1975)。這論點解釋了我們所發現的現象。
  - (3) 根據牛頓雜誌報導，某些種類的熊蟲在蟄伏時有驚人的生命力，能在乾燥環境下存活 120 年，置身於 100°C 的高溫與零下 260°C 的低溫，也能存活下來，在幾近真空的狀態下短暫存活，對放射線也有抵抗力。推測這與熊蟲幾乎停止代謝活動有關，體內分子處於十分穩定的狀態，不因爲外界刺激發生反應。
7. 體長有些種類歧異度很大，文獻說是年紀愈大的熊蟲體長愈長。

## 四、結論與應用

### (一) 結論

1. 已經分類出台灣有緩步門四科(端爪科、Calohypsibiidae 科、Milnesiidae 科和 Macrobiotidae 科) 十一種熊蟲。
2. 污染嚴重或環境髒亂的地方，不會有熊蟲的存在，且熊蟲有群居性。
3. 端爪科(棕色)熊蟲在 pH4.65 (台灣都會區雨的酸鹼值) 以下的液體環境活動力明顯降低。
4. 熊蟲多分布在高溼度 (87.5~90.4%) 的地方，不分布在中低溼度 (76%以下) 的地區。
5. 各科的體長爲 Calohypsibiidae 科 > Milnesiidae 科 Milnesium 屬 > Macrobiotidae 科 > 端爪科。

### (二) 應用

1. 在醫學上死亡的定義是中止所有生理功能，包括循環系統、腦神經系統等等。且這些生理功能的中止是不可逆的。熊蟲蟄伏時中止幾乎所有的新陳代謝，時間可以持續七年以上，這樣的情況因爲能再復甦，而不被稱做死亡。是何種機制，能讓熊蟲經過蟄伏後又恢復生命的運作？
2. 在缺水、低溫、高鹽、缺氧時，熊蟲會有蟄伏現象，環境恢復時又能正常活動。這種現象是否能在更大的有機體，應用在食品、醫學上的保存，目前有許多科學家都投入研究，日本科學家利用熊蟲中的糖 trehalose 使鼠的心臟保留在冰箱 4°C 10 天然後使它恢復功能，這個結果使此一研究方向有應用價值。
3. Amber 的研究 Tardigrades as Environmental Bio-Indicators 中，指出環境中二氧化硫的多寡，會影響到熊蟲的分部。而我們的研究也發現熊蟲對環境中的空氣污染十分敏感，或許能成爲環境污染的生物指標之一。

- 4.目前世界各地有許多關於熊蟲的研究文獻，然而台灣這方面的資料十分缺乏。採樣的結果，發現台灣也有不少地區有熊蟲存在。希望能有更多的採樣調查，也許，會有新的種類出現。進一步明白台灣與其他地區熊蟲的異同，讓世界上的熊蟲資料更完整。

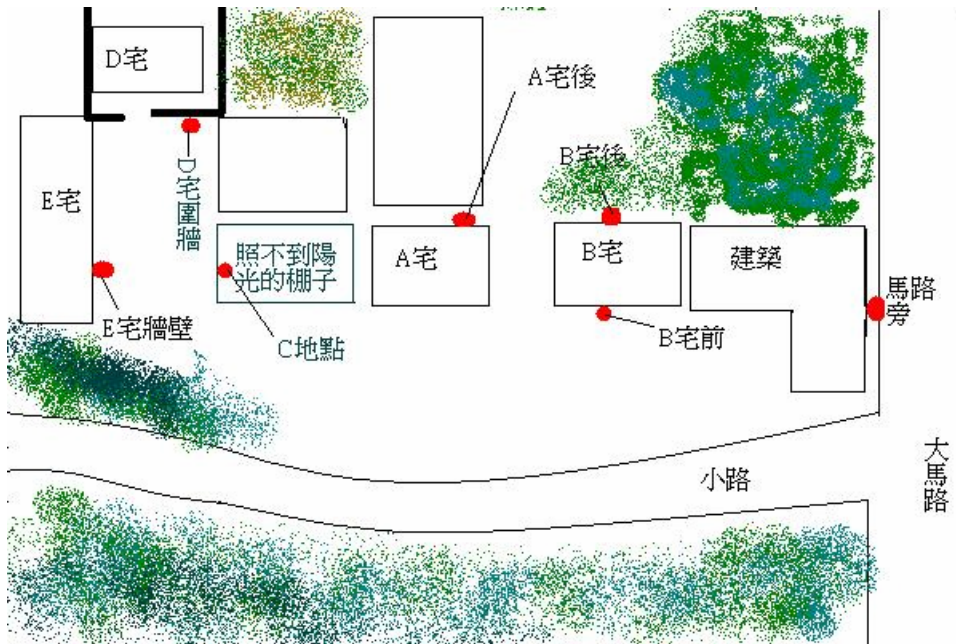
## 五、參考文獻

- (一) 中山科學大辭典 (第九冊 動物學 第貳部無脊椎動物 第 XIX 篇) P · 355~P · 356
- (二) 任淑仙 無脊椎動物學 (下冊) 淑馨出版社 P · 82~P · 85
- (三) 牛頓雜誌 (第 148 期) 牛頓出版股份有限公司 P · 84~P · 86
- (四) Alfred Kaestner. Lehrbuch der speziellen Zoologie. 3. Auflage, Bd. I, Teil 1, S. 596.
- (五) Bertolani, R. (Ed.) 1987. Biology of Tardigrades, Selected Symposia and Monographs No. 1, Unione Zoologia Italia. Mucchi Modena, 380 pp.
- (六) Binda and Pilato. 1990. Tardigradi di terra del fuoco e magallanes milnesium brachyungue. *Animalia*, 17: 105-10.
- (七) Claxton, S. K. 1991. A study of tardigrade populations in mosses and lichens from a temperate rainforest and dry sclerophyll forest in New South Wales, MS thesis, Macquarie University, pp. 77.
- (八) Claxton, S.K. 1996. Sexual dimorphism in Australian Echiniscus (Tardigrada, Echiniscidae) with descriptions of three new species, *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 116, 13-33.
- (九) Copley, J. 1998. Putting life on hold. *New Scientist* 7 November 1998: 7.
- (十) Copley, J. 1999. Indestructable. *New Scientist* 23 October 1999: 44-46.
- (十一) Crowe, J. H. 1971a. Anhydrobiosis: an unsolved problem. *The American Naturalist*, 946: 563-73.
- (十二) Dastych, H. 1987. Two new species of Tardigrada from the Canadian Subarctic with some notes on sexual dimorphism in the family Echiniscidae, *Entomologische Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum Hamburg*, vol. 8, pp. 319-334.
- (十三) Dewel, Nelson, and Dewel. 1993. Tardigrada in *Microscopic Anatomy of Invertebrates*, 12: 143-83.
- (十四) Ernst Marcus. 1928. *Bärtierchen (Tardigrada)*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- (十五) Evelyn du Bois-Reymond Marcus: Tardigrada from Curaçao, Bonaire and Los Testigos.
- (十六) Giuseppe Ramazzotti: Il phylum Tardigrada. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, Band 28 (1972) S. 1-732.
- (十七) Hartmut Greven: *Die Bärtierchen*. Neue Brehm-Bücherei, Wittenberg, 1980
- (十八) Hartmut Greven: *Die Kryptobiose der Bärtierchen*. *Mikrokosmos* 62 (1973) pp. 65-69.
- (十九) Hermann Linder: *Biologie. Lehrbuch für die Oberklassen der höheren Schulen*. 13th ed. p. 3. Stuttgart 1963
- (二十) Higgins, R.P. 1959. Life history of *Macrobiotus islandicus* Richters with notes on other tardigrades from Colorado, *Transactions of the American Microscopical Society*, Vol. 78, pp. 137-154
- (二十一) I, M, Kinchin. *The Biology of Tardigrades*. London, Portland Press. 1994.
- (二十二) John H. Crowe: The physiology of cryptobiosis in tardigrades. *Memorie dell' Istituto Italiano di Idrobiologia*, pp. 37-59. 1975.
- (二十三) Kristensen, R.M. 1987. Generic revision of the Echiniscidae (Heterotardigrada), with a discussion of the origin of the family, In Bertolani, R. (Ed.) 1987. *Biology of Tardigrades*,

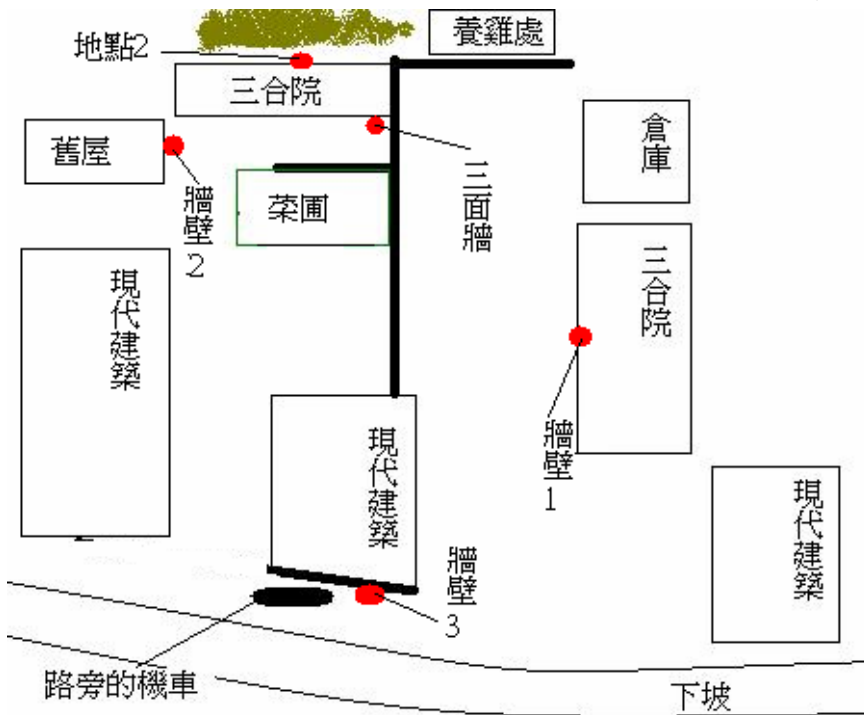
- Selected Symposia and Monographs No. 1, U.Z.I., Mucchi, Modena, pp. 261-335.
- (二十四) Kristenssen, R. M. (Ed) 2001. Tardigrada. *Zoologischer Anzeiger* 240: 3-4.
- (二十五) McInnes, S.J. 1994. Zoogeographic distribution of terrestrial/freshwater tardigrades from current literature, *Journal of Natural History*, vol. 28, pp. 257-352.
- (二十六) McInnes, S.J. & Norman, D.B. 1996. Tardigrade Biology, *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 1-2, pp. 1-243.
- (二十七) Miller, William R. Tardigrades -- Bears of Moss. Kansas: Emporia State University, Vol. 43, No.3, 1997.
- Miller, W.R. & Heatwole, H.F. 1995. Tardigrades of the Australian Antarctic Territories: the Mawson Coast, East Antarctica, *Invertebrate Biology*, vol. 114, pp. 27-38.
- (二十八) Miller, W.R. & Heatwole, H.F. 1996. Tardigrades of the Australian Antarctic Territories: the Northern Prince Charles Mountains, East Antarctica, *Proceedings of The Linnean Society of New South Wales*, vol. 116, pp. 245-260.
- (二十九) Miller, W.R., Miller, J.D. & Heatwole, H.F. 1996. Tardigrades of the Australian Antarctic Territories: the Windmill Islands, East Antarctica, *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 116, 175-184.
- (三十) Nelson, D.R. 1982. Proceedings of the third international symposium on tardigrades. August 3-6, 1980. Johnson City, Tennessee, U.S.A. East Tennessee State University Press, PP. 1-236.
- (三十一) Pennak, R.W. Fresh-Water Invertebrates of the United States, John Wiley & Sons, pp.803. 1978.
- (三十二) Pilato, G. 1979. Correlations between cryptobiosis and other biological characteristics in some soil animals, *Bolletino di Zoologia*, vol. 46, pp. 319-332.
- (三十三) Ramazzotti, G. & Maucci, W. 1983. *Il Phylum Tardigrada* (third edition), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia Marco Marchi*, vol. 41, pp. 1-1012.
- (三十四) Roser, B. and Colaço, C. 1993. A sweeter way to fresher food. *New Scientist*, 1873: 25-28.
- (三十五) Somme, L. & Meier, T. 1995b. Cold tolerance in tardigrada from Dronning Maud Land, Antarctica. *Polar Biology*, 15: 221-24.
- (三十六) Somme, L. (1996). Anhydrobiosis and cold tolerance in tardigrades. *European Journal of Entomology*, 93: 349-57.
- (三十七) Sims, Freeman, and Hawksworth. *Key Works to the Fauna and Flora of the British Isles and North-western Europe*. Oxford, Clarendon Press. 1988.
- (三十八) Stachowitsch, Micheal. *The Invertebrates: An Illustrated Glossary* New York, John Wiley & Sons, Inc. 1992.
- (三十九) Storey, K. B. and Storey, J. M. 1990. Frozen and alive. *Scientific American*, 92-97.
- (四十) Westh, P. & Ramlov, H. 1991. Trehalose accumulation in the tardigrade *Adorybiotus coronifer* during anhydrobiosis. *The Journal of Experimental Zoology*, 258: 303-11.
- (四十一) Wright, J. C. 1989b. Dessication tolerance and water-retentive mechanisms in Tardigrades. *Journal of Experimental Biology*, 142: 267-92.
- (四十二) Wright, J. C., Westh, P., & Ramlov, H. 1992. Cryptobiosis in Tardigrada. *Biological Review*, 67: 1-29.



## 六、附錄：



(圖一) 桃園縣新屋鄉



(圖二) 桃園縣大園鄉五權村



武陵高中 水溝旁 (照片一)



武陵高中體育館門口水溝 (照片二)



武陵高中體育館後大水溝 (照片三)



武陵高中水槽下 (照片四)



武陵高中體育館旁 (照片五)



武陵高中圍牆 (照片六)



武陵高中水池旁石頭 (照片七)



武陵高中警衛室的牆 (照片八)



武陵高中崇德樓 (照片九)



武陵高中水池中石頭 (照片十)



武陵高中水池 (照片十一)



武陵高中 K 書中心 (照片十二)



桃園縣大園鄉的地點 2 (照片十三)



中原大學的恩惠堂 (照片 1-1)



中原大學的恩惠堂 (照片 1-2)



(照片 2) 中原大學中正樓北側樓梯



中原大學中正樓北側樓梯下方 (照片 3-1)



中原大學中正樓北側樓梯下方 (照片 3-2)



中原大學中正樓南側樓梯（照片 4）



新屋的九斗村A宅後面（照片 5-1）



新屋的九斗村A宅後面（照片 5-2）



新屋的九斗村B宅前面（照片 6-1）



新屋的九斗村B宅前面（照片 6-2）



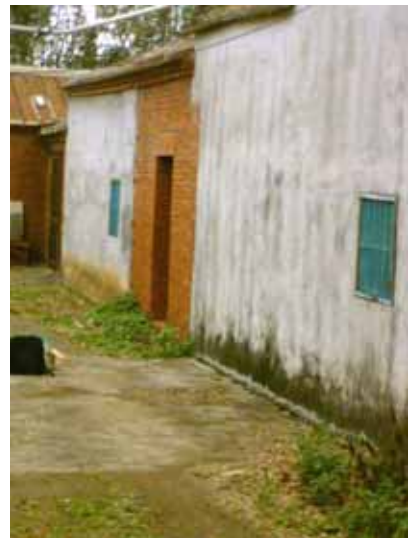
新屋的九斗村B宅後面（照片 7-1）



新屋的九斗村B宅後面（照片 7-2）



桃園縣大園鄉五權村牆壁 1（照片 8-1）  
8-2）



桃園縣大園鄉五權村牆壁 1（照片 8-2）



桃園縣大園鄉五權村牆壁 1（照片 8-3）



桃園縣大園鄉五權村三面牆（照片 9-1）



桃園縣大園鄉五權村三面牆（照片 9-2）

有採集到熊蟲但未計算密度的地點（文字一）

- a. 桃園縣中壢市的 YAMAHA 牆壁，能照到部分光，在離地 1.5 公尺處，有刮到異緩步綱-Echiniscoidea 目-端爪科-紅棕色的熊蟲。
- b. 桃園縣中壢市商家光陽機車的牆壁，能照到部分光，在離地 1.5 公尺處，有刮到異緩步綱-Echiniscoidea 目-端爪科-紅棕色的熊蟲。
- c. 桃園縣中壢市的土木工程，此處可以受到陽光直接照射，有看到真緩步綱-Apochelc 目-Milnesiidae 科-Milnesium 屬的粉紅色蛻皮。
- d. 桃園縣桃園市的桃園農工中，有一個照射不到太陽的斜坡下，有刮到真緩步綱-Parachela 目-Macrobiotidae 科透明的熊蟲。
- e. 桃園縣大園鄉牆壁 2（見上圖二）