

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

第三名

080319

蜓！水中王者

學校名稱：宜蘭縣羅東鎮成功國民小學

作者： 小六 吳宛庭 小六 洪若茵 小六 林資宸 小六 宋承翰	指導老師： 李冠霆 湯姿敏
---	-----------------------------

關鍵詞：勾蜓科、羽化、水蠶

摘要

本研究以蜻蛉目勾蜓科 *Chlorogomphus* 屬的稚蟲為研究對象，野外常見的有 3 種，分別是：短痣勾蜓、褐翼勾蜓和斑翼勾蜓。

在生活習性方面：1. 每一次的蛻皮是稚蟲成長的重要時機，蛻皮時翅芽長度生長百分率值最高達 70%；其次是重量達 47%；第三為頭寬，19%；最低是體長，10%。2. 羽化時間大約於晚間 9-11 時開始，整個過程約需 5-6 小時。3. 經由定期測量結果發現翅芽長度 $\langle y \rangle$ 與重量 $\langle x \rangle$ 有明顯相關性， $R^2 = 0.8802$ ，其二者關係式為 $y = 1.1224x + 0.0131$ 。終齡稚蟲的頭寬與翅芽長度的比值為 0.7； $n-1$ 齡比值為 1.1，可依此推估稚蟲的齡期。

在環境因子方面：1. 野外採集時有 88% 稚蟲棲息的基底質是 32mm 以下；實驗中 80% 的稚蟲選擇棲息在 1.5-2.5mm 基底質。2. 水溫對於稚蟲的生長影響以低溫組生長情形較高溫組佳。

壹、研究動機

週末時，爸爸帶著全家人一起到溪邊去烤肉玩水，正當我為了捕捉蝦子而翻開石頭時，發現了一種外型奇特的動物，大家都猜不出來它究竟是何方神聖？將牠帶到學校詢問老師後，終於揭開了謎底-----「水蠶」，是蜻蜓的稚蟲。此時我的腦海裡浮現了數不清的問號，臉上充滿疑惑的想著，牠真的會變成蜻蜓嗎？牠們的生活史跟蠶寶寶一樣嗎？牠喜歡在什麼樣環境下成長呢？為了解開這一些疑問，和老師討論後，決定以南一版四下第三單元---昆蟲世界為參考的基礎，並配合南一版五下第三單元---動物的生活作進一步深入的探討，經由一連串的實驗、觀察與紀錄，希望能逐一解開這一道道的謎題。

貳、研究目的及架構

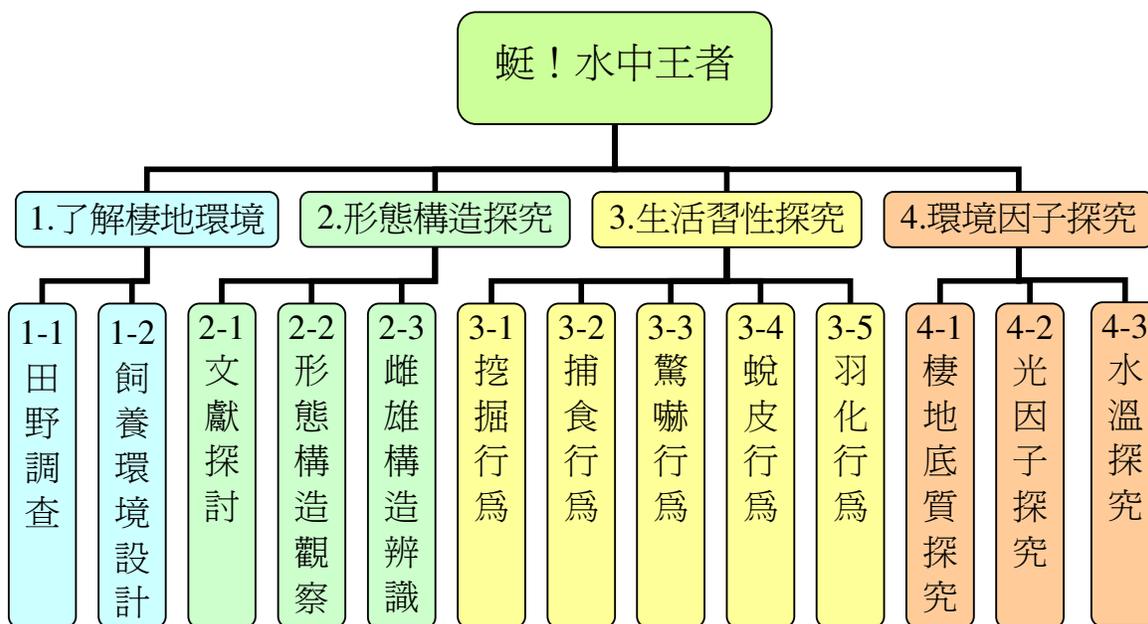
研究目的

- 一、了解勾蜓科稚蟲的棲地環境
- 二、了解勾蜓科(Cordulegastridae)稚蟲的形態構造
- 三、探討稚蟲的生活習性
- 四、探討稚蟲生長的環境因子

研究進度

研究步驟	97年						98年					
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
文獻蒐集												
田野調查												
實驗設計與進行												
資料整理與統計												
撰寫作品說明書												

研究架構



參、研究設備與器材

塑膠軟管、塑膠硬管、塑膠桶、水量控制閥、冷卻機、加溫棒、抽水馬達、過濾海綿、溫度計、塑膠杯、底質砂石、過濾沸石、熱融膠槍(條)、黑布、白熾燈泡、PP板、照相機、MOTIC立體解剖顯微鏡、游標尺、pH值檢定器、溶氧計、電子秤、培養皿、攝影機、石蕊試紙、酒精、小玻璃瓶、畚箕型漏斗、捕蟲網、飼養帳篷、鏟子。

肆、研究過程

【研究一】了解勾蜓科稚蟲的棲地環境

1-1. 田野調查

1-1-1. 調查地點

分別位於員山鄉雙連埤的粗坑溪(圖1)與蘇澳鎮的蘇澳溪上游(埤頭坑溪)(圖2)。

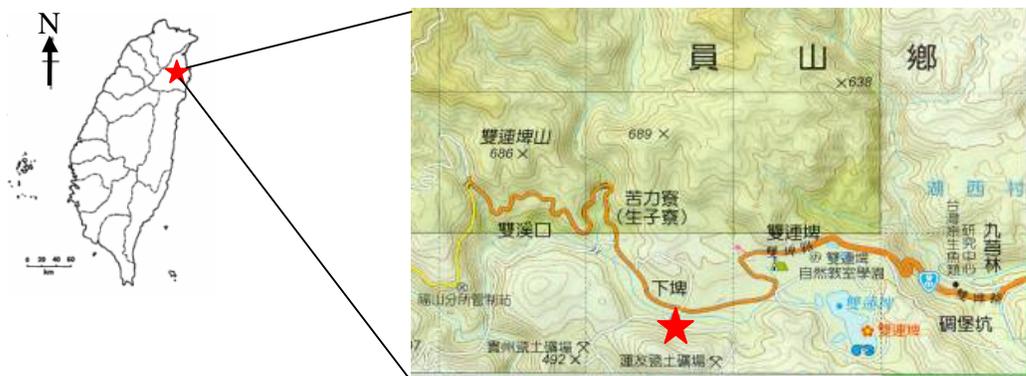


圖 1. 雙連埤粗坑溪相關位置圖，「★」採集點。

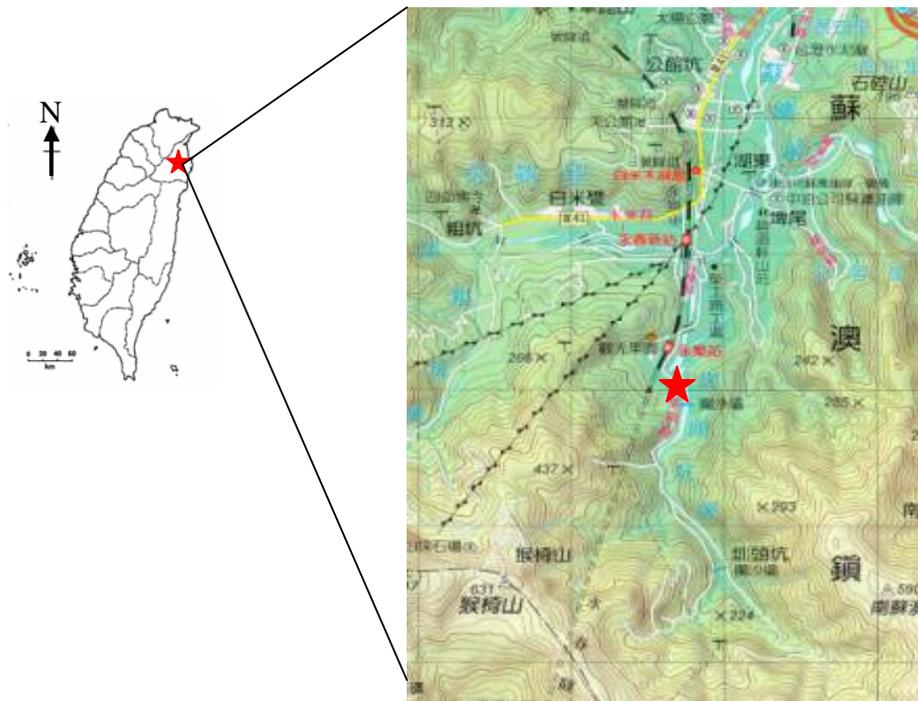


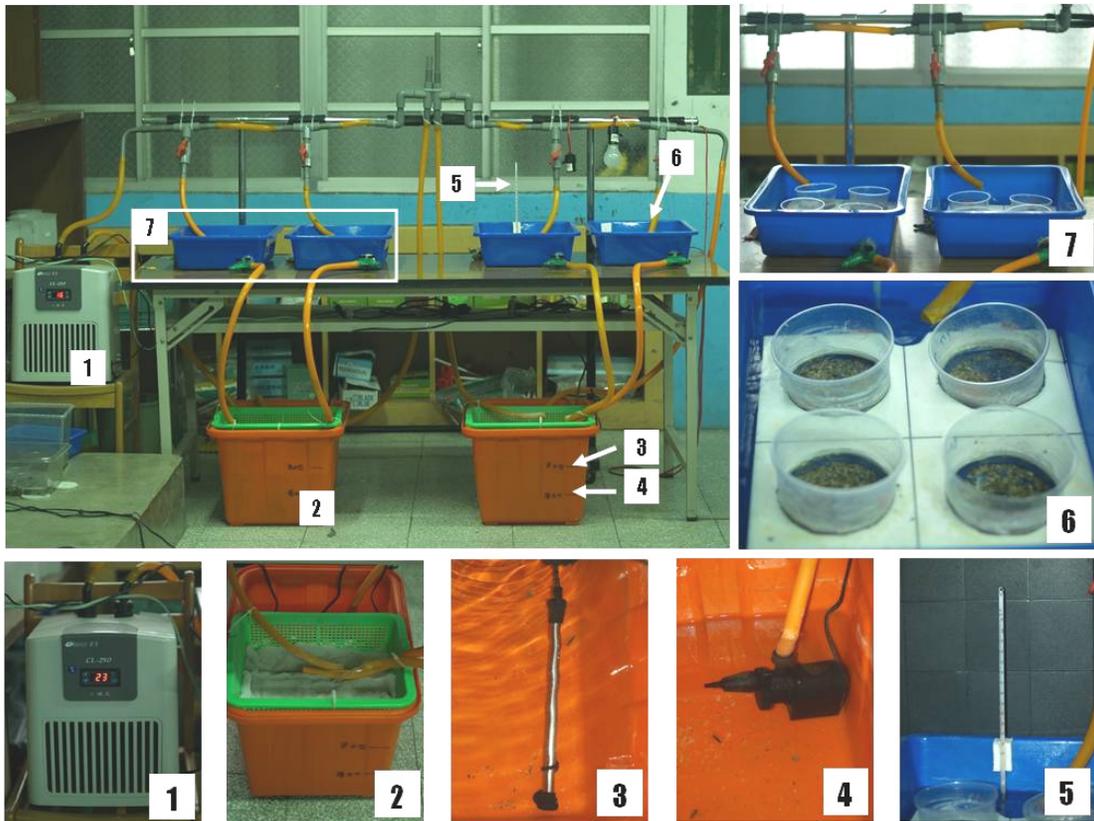
圖 2.蘇澳溪上游圳頭坑溪相關位置圖，「★」採集點。

1-1-2. 稚蟲採集方法

<p>1、將畚箕型採集器放至欲採集的位置。</p>	<p>2、先評估採集範圍內基底質組成的比例。</p>	<p>3、測量水的 pH 值。</p>	<p>4、測量水溫。</p>
<p>5、測量溶氧量。</p>	<p>6、將採集範圍內的砂石快速地撥進畚箕型採集器中。</p>	<p>7、過濾挑移砂石時，亦目視檢查採集器內是否有稚蟲。</p>	<p>8、將抓到的稚蟲放進塑膠杯中暫放，並貼上採集編號。</p>

1-2.實驗室飼養環境設計：

體型大於 1.8 公分以上的勾蜓稚蟲帶回飼養，計有 21 隻稚蟲。飼養杯經改良後，決定採用塑膠杯來製作。稚蟲採集點的溪流水溫約 21°C，於實驗室飼養時以水溫為變因，將稚蟲分為高溫組 25°C (編號 1-11，共 11 隻) 及低溫組 20°C (編號 12-21，共 10 隻) 進行飼養，時間自 97 年 8 月 11 日持續至 98 年 5 月，計 9 個月。



飼養器材說明：

- 1、冷卻機：將低溫組飼養水溫控制在攝氏 20 度以下(平均水溫 19.3℃，pH 值平均為 8.15)。
- 2、過濾設備：放置過濾海棉及沸石，流出的水過濾後，再由儲水桶內的抽水馬達將水抽出，讓水流動形成一個循環。
- 3、加溫棒：將高溫組飼養水溫控制在攝氏 25 度以上(平均水溫 25.8℃，pH 值平均為 8.35)，置於儲水桶中。
- 4、抽水馬達：將儲水桶的水抽到上方飼養盆中，置於儲水桶中。
- 5、溫度計：記錄水溫。
- 6、飼養杯：塑膠杯底部及側面切開用熱溶膠黏上網子，讓杯內的水能流動，放入約一公分高的細砂。將飼養杯放在挖好洞的珍珠板上，利用浮力原理讓飼養杯內的水位高度一致。
- 7、飼養盆：在方型塑膠盆前方挖一圓孔，裝設水流控制閥並接上水管將水引流至過濾設備中；上方經由硬水管注入水，讓水流動模擬溪流環境。

【研究二】了解勾蜓科(Cordulegastridae)稚蟲的形態構造

2-1. 文獻探討

問題 1：勾蜓科的分類特徵是什麼？

實驗方法：

搜集相關文獻資料進行閱讀與整理。

實驗結果：

Kingdom Animalia 動物界
Phylum Arthropoda 節肢動物門
Class Insecta 昆蟲綱
Order Odonata 蜻蛉目
Family Cordulegastridae 勾蜓科

目前台灣已知的蜻蜓共有 5 科，分別是：勾蜓科、春蜓科、晏蜓科、弓蜓科以及蜻蜒科。勾蜓科是屬於大型的種類，主要辨識特徵：(1) 體色呈黑色具有螢黃色斑紋參雜於其中。(2) 複眼並沒有緊密相連，但跟春蜓相比之下又稍微靠近。(3) 下唇前方具有裂縫。勾蜓科通常會把卵產在森林中溪流流速極緩慢的地方或小瀑布下方的水池中，產卵時雌蟲會將整個身子筆直插入水中有如農夫種稻插秧一般。台灣記錄共有 2 屬 6 種，如下：

***Anotogaster* 屬**

粗斑勾蜓 -*Anotogaster flaveola* Lohemann, 1993 ※特有種

無霸勾蜓 -*Anotogaster sieboldii* (Selys, 1854)

***Chlorogomphus* 屬**

短痣勾蜓 -*Chlorogomphus brevistigma* Oguma, 1926 ※特有種

褐翼勾蜓 -*Chlorogomphus risi* Chen, 1950 ※特有種

闊翼勾蜓 -*Chlorogomphus splendidus* Selys, 1878

(僅在蘭嶼有紀錄但缺乏詳細資料)

斑翼勾蜓 -*Chlorogomphus suzukii* (Oguma, 1926)

本研究經野外調查後，以勾蜓科 *Chlorogomphus* 屬的稚蟲為研究對象，而野外常見的有 3 種：

- 1、短痣勾蜓：屬台灣特有種，僅東部、東北部及北部少數地方有其蹤跡，生活在海拔 2000 公尺以下。成蟲出現於 5~9 月。
- 2、褐翼勾蜓：屬台灣特有種，普遍分佈於台灣全島海拔 1500 公尺以下的溪流或森林步道，成蟲出現於 4~9 月。
- 3、斑翼勾蜓：本種分佈於海拔 1500 公尺以下的山區，成蟲出現於 4~9 月，7 月數量較多。

2-2. 形態構造觀察

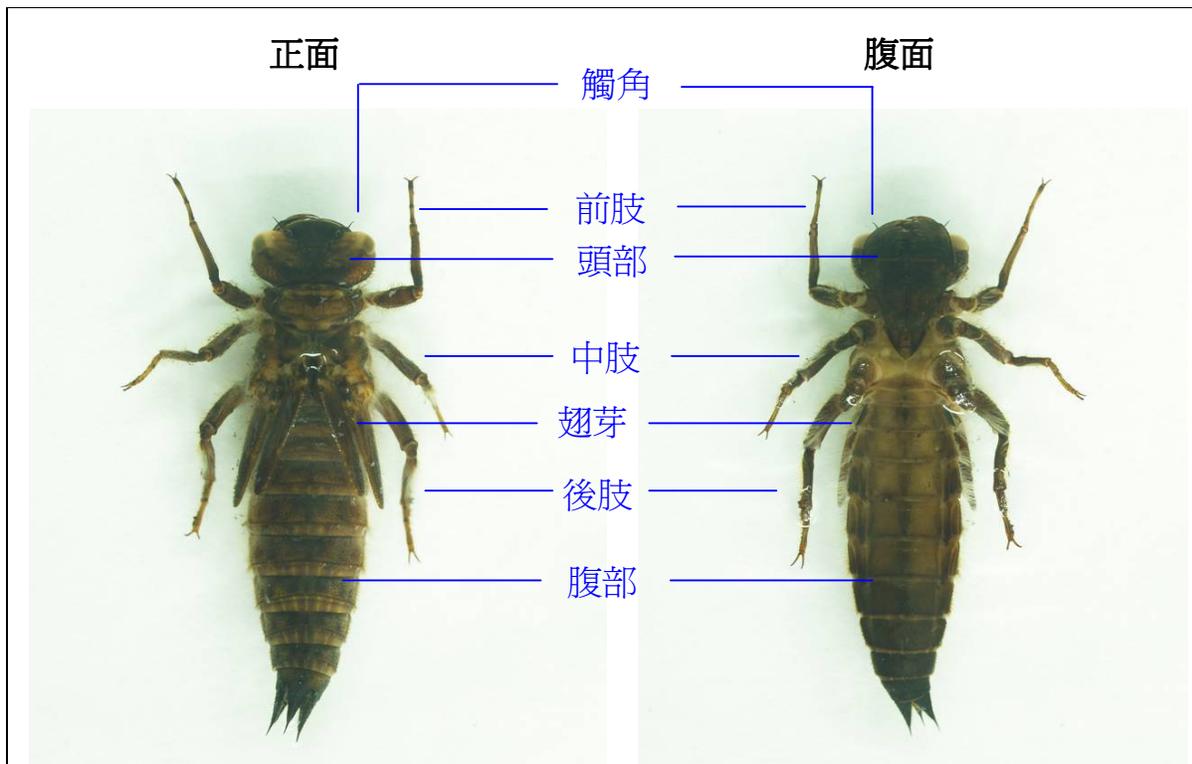
問題 2：稚蟲的外部形態構造為何？

實驗方法：

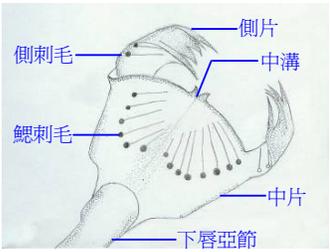
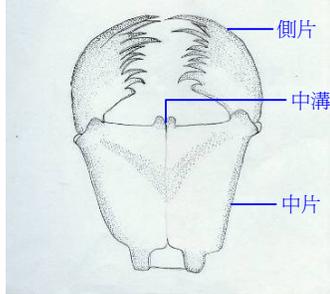
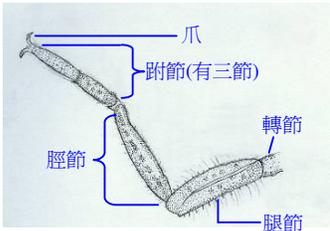
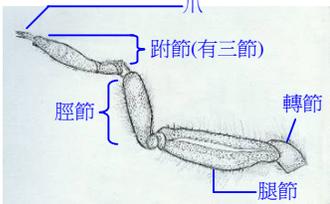
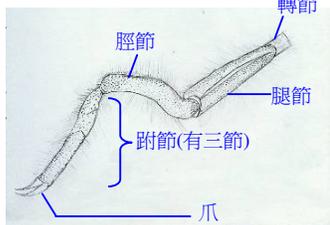
利用立體解剖顯微鏡來進行觀察與描繪，描繪的部位包括頭部、觸角、下唇內側、下唇外側、前肢、中肢、後肢、翅芽、腹部及直腸鰓等主要分類特徵。

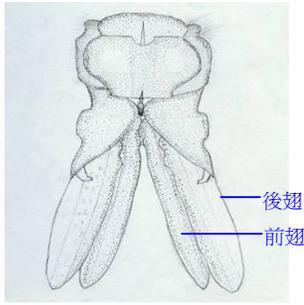
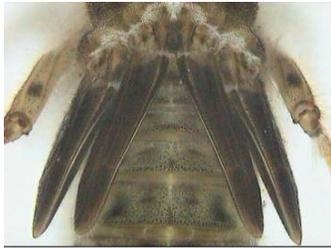
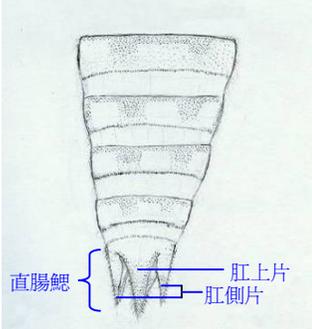
實驗結果：

將形態觀察的描述、手繪圖及攝影照片整理如下：



部位	描述	手繪圖	照片
頭部	<p>(1) 頭部上方有兩個橢圓形紋路。</p> <p>(2) 複眼上有網狀紋路。</p>	<p>觸角</p> <p>複眼</p>	<p>10X</p>
觸角	<p>(1) 有七節。</p> <p>(2) 兩旁顏色較深，中間的顏色較淺。</p> <p>(3) 從第一節愈變愈小。</p> <p>(4) 第七節顏色最深。</p> <p>(5) 第一、二節邊緣有細毛。</p> <p>(6) 節與節的連接處顏色較淡，只有第二節和第三節的連接處顏色較深。</p>	<p>第七節</p> <p>第六節</p> <p>第五節</p> <p>第四節</p> <p>第三節</p> <p>第二節</p> <p>第一節</p>	<p>30X</p>

<p>下唇內側</p>	<p>(1) 鰓刺毛右邊 8 個，左邊 6 個。 (2) 側刺毛左右各 4 個。 (3) 每根刺毛基部都有一黑色小圓點。 (4) 外側側片顏色較深。 (5) 下唇亞節有點透明。</p>		<p>10X</p> 
<p>下唇外側</p>	<p>(1) 口器側片呈鋸齒狀，左右互相齧合，鋸齒前端顏色最深。 (2) 側片鋸齒左右各 10 齒，距離中溝愈近，側片愈鈍。 (3) 中片中央顏色較深，呈 Y 狀。</p>		<p>10X</p> 
<p>前肢</p>	<p>(1) 兩旁邊緣的顏色較深，有細毛。 (2) 腿節的毛最長而濃密、較明顯，腿節中央有一長條凹陷處。 (3) 脛節長度最長，顏色較深，表面中間有 7-9 處黑色斑點排成一列。 (4) 跗節有三節，第一節最小，顏色最淡。 (5) 最前端為 2 分叉狀的爪。</p>		<p>10X</p> 
<p>中肢</p>	<p>(1) 兩旁邊緣的顏色較深。 (2) 節的連接處顏色較深。 (3) 腿節較粗，中央有一長條凹陷處。 (4) 轉節和腿節的毛多而明顯。</p>		<p>10X</p> 
<p>後肢</p>	<p>(1) 轉節和腿節的毛濃密細長。 (2) 腿節較粗，中央有一長條凹陷處。 (3) 跗節的毛較粗。</p>		<p>10X</p> 

翅芽	<p>(1) 前翅較小，後翅較大。</p> <p>(2) 前翅顏色較深，後翅顏色較淺。</p> <p>(3) 接近羽化時，翅芽會從上下交疊變化成平行且飽滿。</p>		<p>15X</p> 
腹部	<p>(1) 腹部兩側有細長毛。</p> <p>(2) 節間呈現半透明狀。</p> <p>(3) 每節的分隔處有一排整齊的黑色粗毛。</p> <p>(4) 直腸總包括一個肛上片及兩個肛側片。</p> <p>(5) 肛上片的毛較肛側片的毛多。</p>		<p>10X</p> 

2-3. 雌雄構造辨識

問題 3：稚蟲與成蟲的雌雄個體如何區分？

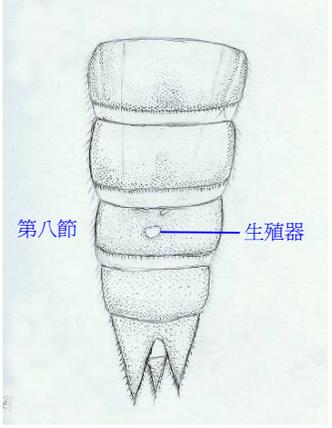
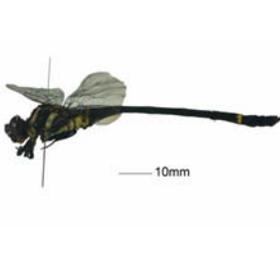
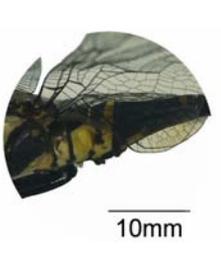
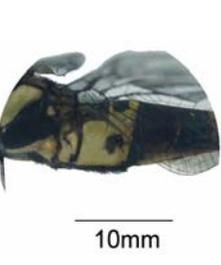
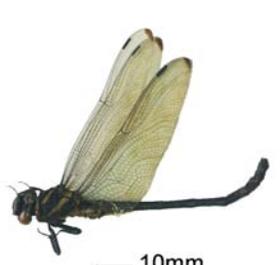
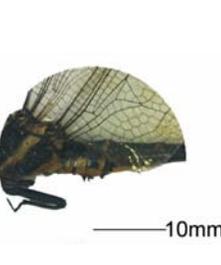
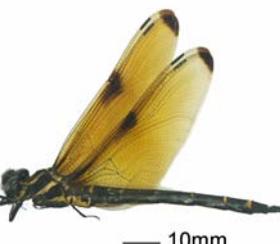
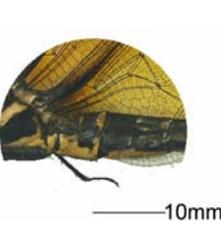
實驗方法：

利用立體解剖顯微鏡來進行觀察與描繪。

實驗結果：

將形態觀察描述、手繪圖及攝影照片整理如下：

雄性稚蟲生殖器	<p>(1) 雄性生殖器在第二、三節。</p> <p>(2) 第二節有 2 對勾狀物。</p> <p>(3) 第三節呈現黃色。</p>		<p>30X</p> 
---------	---	--	--

<p>雌性稚蟲生殖器</p>	<p>(1) 雌性生殖器在腹部第八節。 (2) 呈「愛心狀」。</p>	 <p>第八節 生殖器</p>	 <p>15X</p>	
<p>斑翼勾蜓雄蟲</p>	<p>(1) 第二腹節的雄性生殖器凸出。 (2) 第七腹節黃斑較明顯</p>	 <p>10mm</p>	 <p>10mm</p>	
<p>斑翼勾蜓雌蟲</p>	<p>(1) 雌性生殖器略有下陷。 (2) 第二腹節兩側各有一個黑點。 (3) 第七腹節黃斑較明顯</p>	 <p>10mm</p>	 <p>10mm</p>	
<p>褐翼勾蜓雄蟲</p>	<p>(1) 腹部較雌性細長。 (2) 第二腹節的雄性生殖器凸出。 (3) 前、後翅具淡黃色色斑。 (4) 翅端具褐色斑紋，面積較雌性小。</p>	 <p>10mm</p>	 <p>10mm</p>	
<p>褐翼勾蜓雌蟲</p>	<p>(1) 腹部末端生殖器膨大。 (2) 前、後翅褐色斑紋明顯。 (3) 翅端具褐色斑紋，面積較雄性大。</p>	 <p>10mm</p>	 <p>10mm</p>	

【研究三】探討稚蟲的生活習性

3-1. 挖掘行爲

問題 4：稚蟲是如何將自己埋藏於砂石中？

實驗方法：

將稚蟲放置於透明燒杯中，利用數位相機攝影觀察其挖掘過程。

實驗結果：

可看到稚蟲會利用中、後肢將腹部下方的底質往兩旁撥動，使腹部漸漸的埋入底質中。約 3~5 分鐘後，胸部、腹部已埋藏於底質中，只露出頭部。由於與底質顏色相近，具有絕佳的保護色。

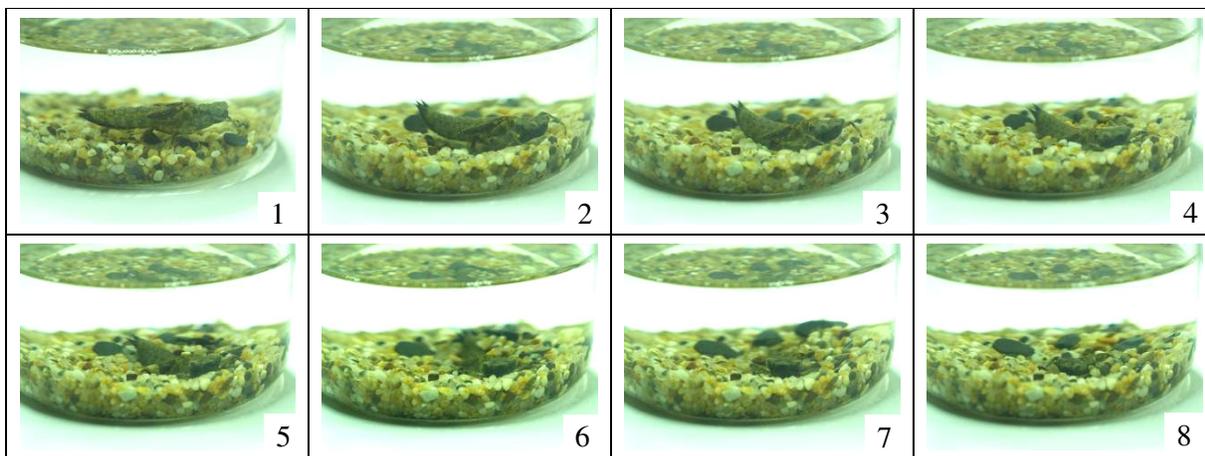


圖 3. 稚蟲挖掘底質埋藏過程。

3-2. 捕食行爲

3-2-1. 食物選擇

問題 5：稚蟲喜歡吃什麼食物？

實驗方法：

- 1、固定於每星期四進行餵食並記錄，一次使用一種食材。
- 2、挑選不同食材，如大肚魚、日光燈魚、黑殼蝦、紅蟲、蝌蚪、蛆、蒼蠅、蚊子、白蟻、生魚片、炸雞肉、薯條、蕃茄、蘋果等，進行餵食。
- 3、將食材以鑷子夾住，於稚蟲頭部上方繞圈以吸引稚蟲的注意。
- 4、以自由落體的方式將食材投於稚蟲頭部前方。
- 5、用計時器計時其進食時間，並記錄結果。

實驗結果：

表 1. 稚蟲對於不同食材的進食結果。

有吃的食材	不吃的食材
大肚魚、日光燈魚、黑殼蝦、蛆、紅蟲、生魚片(僅咬一口)、蒼蠅、蚊子、白蟻(隨機掉落未計時)	炸雞肉、薯條、蕃茄、蘋果、蝌蚪

表 2. 稚蟲對於不同食材的進食時間。

食 材	蛆	黑殼蝦	日光燈魚	紅蟲	大肚魚	生魚片
平均進食時間(秒)	283.5	49	52.2	31.9	119.5	93
高溫組平均進食時間(秒)	327.1	48.7	82	46		
低溫組平均進食時間(秒)	237.2	88.0	77.1	75.9		

- 1、各種食材中進食時間以紅蟲最短；蛆最長。
- 2、食物蛆在高溫組中平均進食時間 327 秒；低溫組是 237 秒。

3-2-2. 餵食觀察：

問題 6：稚蟲是怎麼吃東西的呢？

實驗方法：進行餵食時觀察並記錄。

實驗結果：

- 1、若發覺有食物時，稚蟲頭部會略微抬高，捕食時直腸鰓會不斷翹起來。
- 2、在稚蟲頭上繞圈圈，吸引牠的注意，投食到水中的距離不能離頭太遠，投食的高度大約 1~3 公分為佳。
- 3、伸長下唇時側片左右張開將食物抓住後縮回。有時候會一邊撥土，一邊進食。
- 4、稚蟲在進食時大顎會先撕裂食物再吞食；剛吃完蛆時，稚蟲會吐出灰色的液體。
- 5、當吃完食物後，稚蟲下唇會反覆來回伸縮，利用下唇將水撥動，經觀察統計大多為 2~20 次不等，僅少數會達到 30 次以上；同時直腸鰓也會冒出氣泡且翹起來。



圖 4. 稚蟲進食情形。

3-3. 驚嚇行爲

問題 7：稚蟲遇到危險時，牠會有怎樣的反應？

實驗方法：以人為方式給予干擾，觀察並記錄。

實驗結果：稚蟲受到干擾時會有以下行爲產生：

- 1、在底質中瞬間將身體收縮不動。
- 2、利用腹部急速收縮噴水產生反作用力迅速游走。
- 3、腹部會急速收縮朝干擾物噴出水柱一至數次，讓干擾物受到攻擊而利用此空檔逃脫。
- 4、急速移動找尋安全的地方，干擾平息後，會進行挖掘行爲將自己埋藏於砂石中。

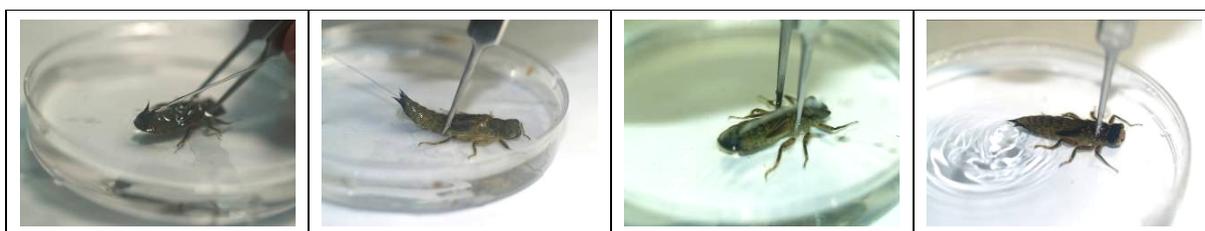


圖 5. 稚蟲受驚嚇時噴出水柱的情形。

3-4. 蛻皮行爲

問題 8：稚蟲蛻皮後，身體的顏色會改變嗎？

實驗方法：

- 1、當發現稚蟲蛻皮時，立即使用數位相機拍照。
- 2、將體色變化的結果描述記錄下來。
- 3、將稚蟲的蛻以 75%酒精浸泡保存。

實驗結果：

			
1. 勾蜓稚蟲經過一段時間飼養後，會有蛻皮更換齡期的現象。	2. 剛蛻皮後的稚蟲，全身會呈現較淡的體色。	3. 經過一段時間後，身體的顏色會慢慢變深。	4. 蛻皮後的蛻會呈現半透明的狀態。

圖 6. 稚蟲蛻皮後體色的變化。

問題 9：當稚蟲蛻皮時，體長、頭寬、翅芽長度及重量的成長情形為何？

實驗方法：

- 1、當稚蟲蛻皮時，使用游標尺測量其體長、頭寬、翅芽長度。
- 2、使用電子秤測量體重。
- 3、生長淨值=蛻皮後的數值—最近一次測量的數值。

$$4、生長百分率 = \frac{\text{生長淨值}}{\text{最近一次測量的數值}} \%$$

實驗結果：

表 3. 稚蟲蛻皮後，體長、頭寬、翅芽長度及重量的成長變化。

編號	體長(cm)		頭寬(cm)		翅芽長度(cm)		重量(g)	
	生長淨值	生長百分率	生長淨值	生長百分率	生長淨值	成長百分率	生長淨值	成長百分率
1	0.15	5%	0.10	13%	0.45	75%	0.26	38%
2	0.40	13%	0.15	21%	0.50	67%	0.21	30%
4	0.30	10%	0.10	13%	0.50	71%	0.13	19%
5	0.10	4%	0.15	27%	0.15	38%	0.11	26%
9	0.30	13%	0.15	25%	0.35	88%	0.30	100%
10	0.30	10%	0.10	14%	0.20	29%	0.29	50%
12	0.35	12%	0.15	21%	0.50	71%	0.21	30%
13	0.50	20%	0.15	20%	0.45	69%	0.20	33%
14	0.20	8%	0.10	17%	0.25	63%	0.30	100%
16	0.45	19%	0.10	17%	0.25	56%	0.22	59%
17	0.10	3%	0.15	21%	0.45	64%	0.34	49%
18	0.15	5%	0.10	13%	0.50	71%	0.20	26%
19	0.15	5%	0.10	13%	0.65	87%	0.22	28%
20	0.40	17%	0.10	17%	0.30	75%	0.21	57%
21	0.30	12%	0.15	27%	0.40	133%	0.21	54%
平均	0.28	10%	0.12	19%	0.39	70%	0.23	47%

- 1、在蛻皮後，稚蟲的體長、頭寬、翅芽長度及重量均呈現增加的情形。
- 2、生長百分率平均值最高者為翅芽長度，達 70%；其次為重量，達 47%；第三為頭寬，19%；最後是體長，10%。

問題 10：不同的飼養水溫會影響蛻皮後的生長淨值嗎？

實驗方法：同問題 9。

實驗結果：

表 4. 蛻皮後生長淨值與飼養水溫的關係

組別	體長(cm)		頭寬(cm)		翅芽長度(cm)		重量(g)	
	生長淨值	生長百分率	生長淨值	生長百分率	生長淨值	生長百分率	生長淨值	生長百分率
高溫組	0.26	9.3%	0.13	19.0%	0.36	61.1%	0.22	43.7%
低溫組	0.29	11.1%	0.12	18.5%	0.42	76.6%	0.23	48.4%

註、高溫組蛻皮 6 次；低溫組蛻皮 9 次，生長淨值為該組測量的平均值。

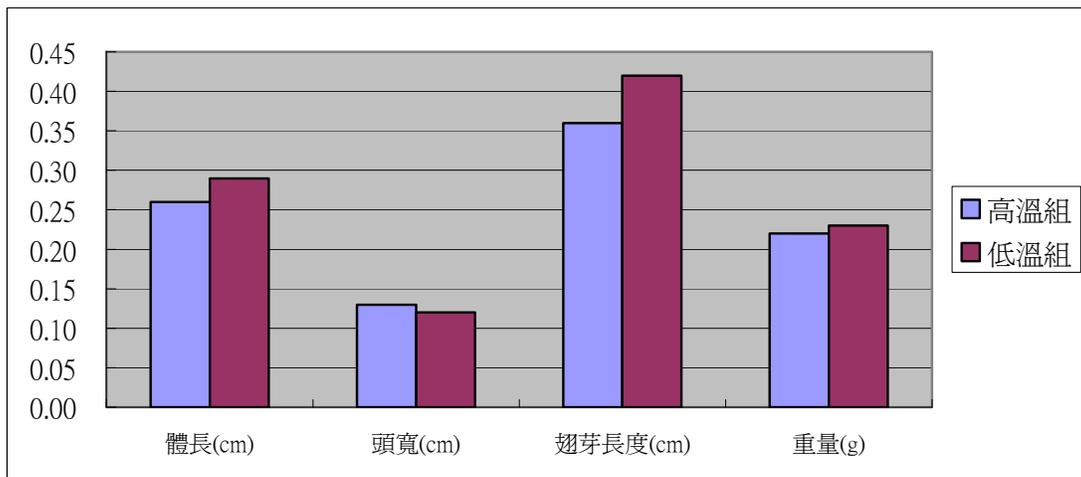


圖 7. 蛻皮後生長淨值與飼養水溫的關係

3-5. 羽化行爲

問題 11：羽化前稚蟲的翅芽是如何改變呢？

實驗方法：每日觀察稚蟲的翅芽，當有明顯變化時用數位相機拍照記錄。

實驗結果：

				
1.終齡稚蟲的同側翅芽一開始呈現上下交疊且扁平的情形。	2.第 5 天，觀察到上下交疊的翅芽有漸漸分開的現象。	3.第 7 天，翅芽分開的現象更明顯了。	4.第 16 天，原本上下交疊且扁平的翅芽已變化成平行且呈現飽滿狀。	5.第 34 天，羽化而出，圖為稚蟲羽化後的殼。

圖 8. 稚蟲翅芽的改變情形。

問題 12 能否從稚蟲的體長、頭寬、翅芽長度及體重的生長情形來判斷終齡稚蟲嗎？

實驗方法：

- 1、每隔二星期定期進行一次測量（97/11/7-98/4/3）共 11 次，若有蛻皮情形，亦進行測量並記錄。
- 2、以游標尺測量其頭寬、體長、翅芽長度。
- 3、使用電子秤測量體重。
- 4、計算稚蟲頭寬與翅芽長度的比值=頭寬/翅芽長度。
- 5、依據稚蟲頭寬與翅芽長度的比值來推測稚蟲的齡期。

實驗結果：

表 5. 稚蟲頭寬與翅芽長度之比值

齡期	高溫組 (N=4)				低溫組(N=4)			
	平均值	最小值	最大值	標準偏差	平均值	最小值	最大值	標準偏差
終齡前一期 (n-1)	1.1	1.0	1.3	0.14	1.1	1.1	1.1	0.00
終齡 (n)	0.7	0.7	0.8	0.03	0.7	0.7	0.8	0.05

表 6. 稚蟲齡期推測表〈以頭寬與翅芽長度的比值來推測稚蟲齡期〉

編號	齡期	終齡前 x 期 (n-x)	終齡前一期 (n-1)	終齡 (n)	目前狀態	推測尚需蛻皮幾次 才進入終齡	推測的齡期
1		-	1.3	0.8	羽化失敗	0	n
2		-	1.1	0.7	羽化成功	0	n
3		-	1.0	-	稚蟲	1	n-1
4		-	1.0	0.7	羽化失敗	0	n
5		1.4	-	-	稚蟲	2	n-2
6		-	-	-	稚蟲死亡	-	-
7		-	1.0	-	稚蟲死亡	1	n-1
8		-	1.0	-	稚蟲	1	n-1
9		-	1.1	-	稚蟲	1	n-1
10		-	1.1	0.7	羽化失敗	0	n
11		2.8	-	-	稚蟲死亡	-	-
12		-	1.0	0.7	稚蟲死亡	0	n
13		-	1.1	0.8	羽化成功	0	n
14		1.5	1.0	-	蛻皮死亡	1	n-1
15		-	1.0	-	稚蟲	1	n-1
16		1.3	-	-	稚蟲	2	n-2
17		-	1.1	0.7	羽化成功	0	n
18		1.7	1.1	0.7	羽化成功	0	n
19		-	1.1	0.7	羽化成功	0	n
20		1.5	-	-	稚蟲	2	n-2
21		1.4	-	-	稚蟲	2	n-2

註:「-」表示缺該項資料。

問題 13: 稚蟲羽化前的進食行爲會改變嗎? 最後一次蛻皮至羽化日會相隔多久時間呢?

實驗方法:

- 1、定期餵食並完成餵食記錄。
- 2、將已羽化稚蟲的資料進行分析。

實驗結果:

表 7. 稚蟲最後一次捕食日期至羽化日的相隔日數記錄。

編號	羽化日期	最後一次 捕食日期	羽化前停止 進食日數(日)	最後一次 蛻皮日期	最後一次蛻皮 至羽化日數(日)	勾蜓種類 〈性別〉
1	98.03.28	98.03.16	12	97.11.26	122	羽化失敗死亡
22	98.04.07	98.03.15	23	98.01.21	76	斑翼勾蜓〈♀〉
23	98.04.09	98.03.06	34	98.02.02	66	斑翼勾蜓〈♂〉
25	98.04.15	98.03.12	34	-	-	斑翼勾蜓〈♀〉

13	98.04.23	98.04.02	21	97.12.11	133	褐翼勾蜓〈♀〉
19	98.05.04	98.03.31	34	98.03.02	63	斑翼勾蜓〈♀〉
17	98.05.08	98.04.10	28	98.01.21	107	斑翼勾蜓〈♀〉
18	98.05.13	98.04.10	33	98.03.09	65	斑翼勾蜓〈♀〉
2	98.05.30	98.05.08	22	98.03.28	63	斑翼勾蜓〈♀〉
10	98.06.19	98.05.29	21	98.04.18	62	羽化失敗死亡
4	98.06.21	98.05.29	23	98.02.02	139	羽化失敗死亡
平均(日)		26		90		

註:「-」表示缺該項資料。

- 1、稚蟲翅芽若呈現飽滿狀後一段時間發現稚蟲不再進食。
- 2、羽化前停止進食日數約 12 天至 34 天，平均值約為 26 天。
- 3、最後一次蛻皮至羽化日相隔 62 天至 139 天，平均約 90 天。

問題 14：稚蟲的羽化會與氣候有關聯嗎？

實驗方法：經由中央氣象局宜蘭站提供氣候資料，配合稚蟲羽化日期整理並分析。

實驗結果：

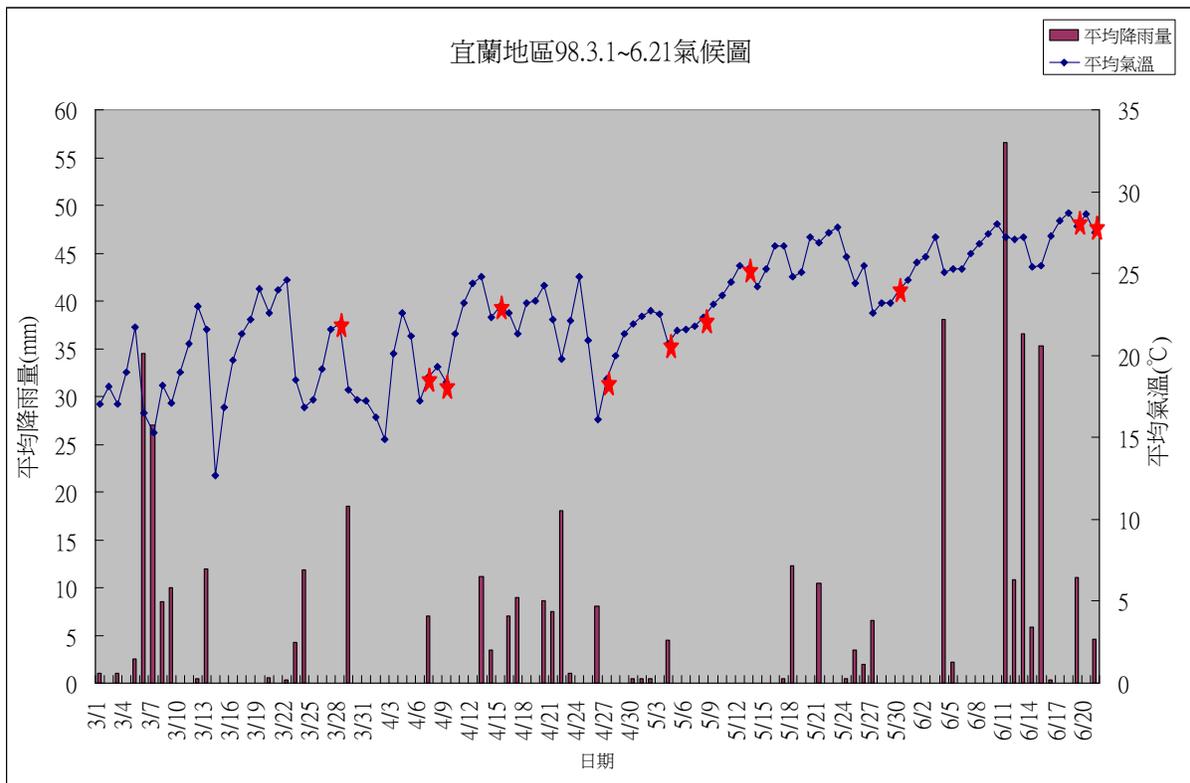


圖 9. 稚蟲羽化日期與氣候資料相關圖。(★表示稚蟲羽化日期。)

- 1、在 11 次的羽化資料中，有 6 次降雨量為 0mm，另 5 次降雨量為 1~11mm，屬非大雨的氣候型態。
- 2、從羽化日的平均氣溫來看，11 次羽化中有 6 次是高於前一日的平均氣溫。

問題 15：稚蟲的羽化過程是如何進行的呢？

實驗方法：

- 1、以水族缸〈長：58cm，寬：39cm，高：39cm〉為一空間，放入細砂當作底質，並把枯樹幹、石塊擺入其中，以利稚蟲羽化時攀爬。
- 2、把將要羽化的稚蟲移至上述環境中，每日觀察記錄。
- 3、若發現稚蟲爬出水面即將羽化時，則立即使用數位攝影機及數位相機攝影記錄。

實驗結果：

- 1、根據觀察編號 22、23 及 25 稚蟲爬出水面的時間，大約為晚上九點至十一點之間。
- 2、羽化過程資料整理如下圖。

				
1. 羽化時，先以腳爪勾緊樹枝防止羽化過程的劇烈擺盪而掉落。	2. 背脊裂開，露出青綠色的胸部。	3. 頭部及複眼先探出。	4. 頭部、胸部、翅膀及腳依序慢慢伸出軀殼。	5. 前半身倒垂在軀殼外端。
				
6. 需倒垂一段時間等待腳部硬化，此時複眼顏色變深。	7. 倒掛約六分鐘後，瞬間以仰臥起坐的方式彎起腹部。	8. 腳攀緊軀殼，準備滑出腹部。	9. 腹部滑出，此時腹部呈現自然下垂狀。	10. 翅膀呈現縮皺的團狀。

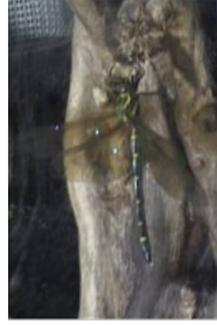
				
11. 藉著液體的輸送，翅膀逐漸延伸。	12. 緊皺的翅膀逐漸趨於平坦。	13. 翅膀逐漸變成透明狀且有光澤。	14. 翅膀已經達到不再增大的定位。	15. 接著換腹部慢慢伸長。
				
16. 翅膀內的體液從翅脈流回體內，再從腹部末端排出。	17. 翅膀及腹部顏色逐漸加深。	18. 翅膀與腹部顏色大致變化完成。	19. 翅脈間的薄膜更具光澤。	20. 翅膀左右攤開，翅膀輕輕振動，準備飛翔。

圖 10. 稚蟲羽化過程記錄。

【研究四】探討稚蟲生長的环境因子

4-1. 棲地底質探究

問題 16：在野外，稚蟲喜歡棲息在什麼樣的基底質環境中呢？

實驗方法：

- 1、參照 Wentworth 底石分級的方法(Giller&Malmqvist,2002)再加以調整，將砂石的大小區分為 5 種等級，分別是大於 128mm、128-64mm、64-32mm、32-2mm、小於 2mm。
- 2、於野外採集時，在所選定的採集樣區中估計這 5 種等級砂石所佔的百分率並記錄。
- 3、將有採集到稚蟲的基底質資料進行分析。

實驗結果：

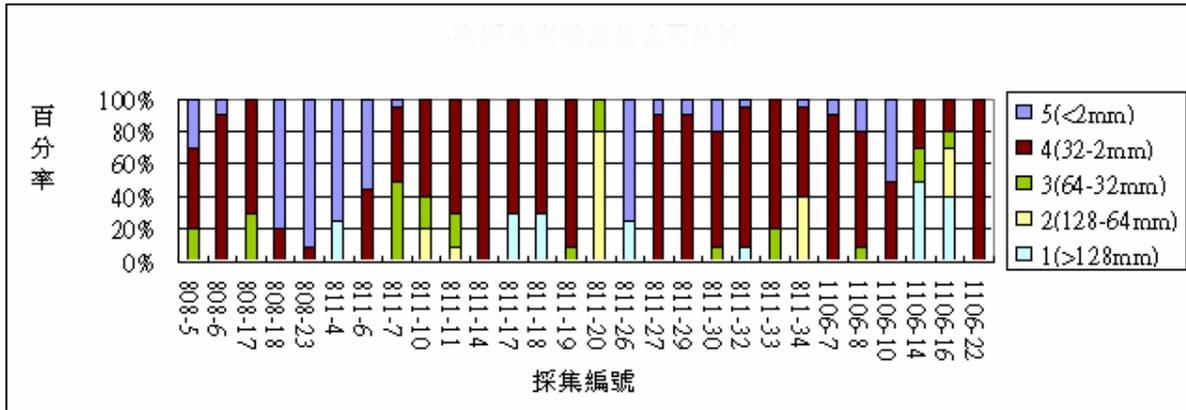


圖 11. 有採集到稚蟲的基底質組成百分率。

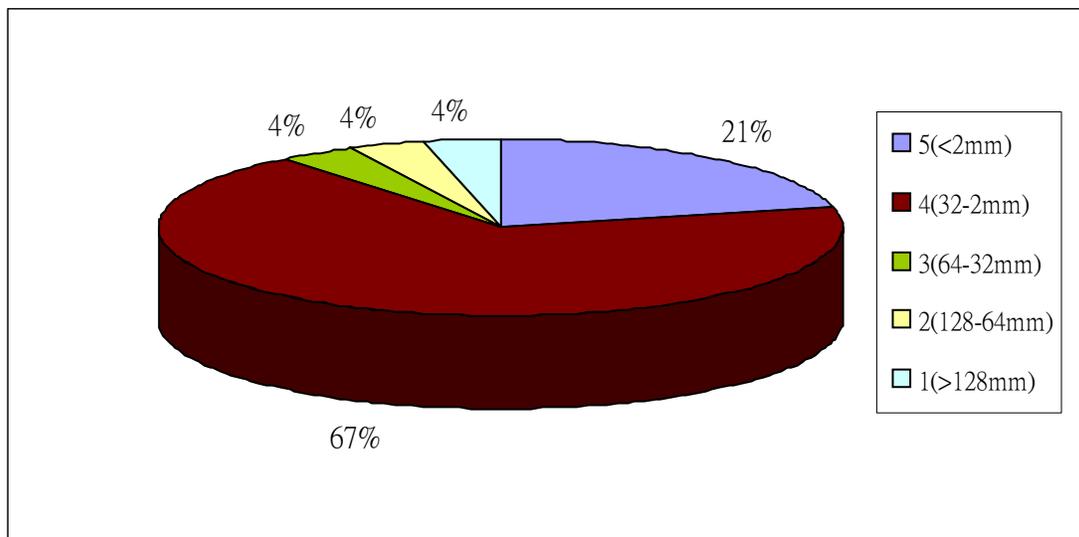


圖 12. 有採集到稚蟲的基底質組成圓餅圖。

問題 17：稚蟲喜歡哪一種顆粒大小的底質呢？

實驗方法：

- 1、利用塑膠圓盤，中央留一個直徑 6cm 的圓，周圍劃分為 6 等分。
- 2、砂石清洗乾淨曬乾，利用篩網過篩，將砂石分成六種等級，分別是底質 1(<1.5mm)、底質 2(1.5mm-2.5mm)、底質 3(2.5mm-5mm)、底質 4(5mm-7.5mm)、底質 5(7.5mm-9mm) 和底質 6(>9mm)。
- 3、將六種底質依序放入塑膠圓盤的周圍，中央的圓形區域不放入任何底質。
- 4、於下午 3 時將稚蟲置於實驗地點，隔天早上 8 時（經過 17 小時）觀察結果。
- 5、五組器材各一隻稚蟲同時進行實驗，中央區域重複實驗 9 次，共計 45 次；底質 1 至底質 6 重複實驗 3 次，共計 15 次，實驗總次數為 135 次。

實驗結果：

表 8. 稚蟲基底質選擇實驗記錄。

實驗結果 \ 放置位置	中央區域	底質1	底質2	底質3	底質4	底質5	底質6	總次數	百分率
中央區域	4	0	0	0	0	0	0	4	3%
底質1 (<1.5mm)	3	13	0	1	0	0	4	21	16%
底質2 (1.5mm-2.5mm)	6	1	13	0	2	1	3	26	19%
底質3 (2.5mm-5mm)	7	0	0	12	2	1	4	26	19%
底質4 (5mm-7.5mm)	10	1	2	1	10	2	1	27	20%
底質5 (7.5mm-9mm)	9	0	0	1	1	11	2	24	18%
底質6 (>9mm)	6	0	0	0	0	0	1	7	5%
實驗總次數	45	15	15	15	15	15	15	135	100%
稚蟲留在原放置地點比率	9%	87%	87%	80%	67%	73%	7%		

1、稚蟲留在原實驗位置的比率達 80%以上的是底質 1、底質 2 與底質 3。

2、稚蟲放置於中央區域與底質 6 的位置時，停留在原位置的比率最低。



圖 13. 稚蟲基底質選擇實驗情形。

4-2. 光因子探究

問題 18：稚蟲喜歡棲息在亮的環境還是暗的環境呢？

實驗方法：

- 1、使用圓形塑膠管，將其部份切除，形成長形凹槽。
- 2、將整根塑膠管劃分為四個區域，每區域長 25 公分。
- 3、於第一區域處上方提供光源，其餘三個區域皆以黑布覆蓋於上方，隔絕其他光源。
- 4、於下午 3 時將稚蟲置於實驗位置(第一區域中央)，隔天早上 8 時（經過 17 小時）觀察移動結果。
- 5、三組器材各一隻稚蟲同時進行實驗，每一個區域重複實驗三次，共計 36 次。

實驗結果：

表 9. 稚蟲對光因子影響實驗結果記錄

實驗位置 實驗結果	1	2	3	4
1	8	0	1	0
2	1	9	2	0
3	0	0	6	1
4	0	0	0	8
停留在原處%	89%	100%	67%	89%

- 1、由實驗發現稚蟲較喜歡停留在原來放置區域，較少移動。
- 2、在 5 次的移動記錄中，有 4 次稚蟲是往較原先放置位置為亮的區域移動，只有 1 次是往較暗的區域移動。

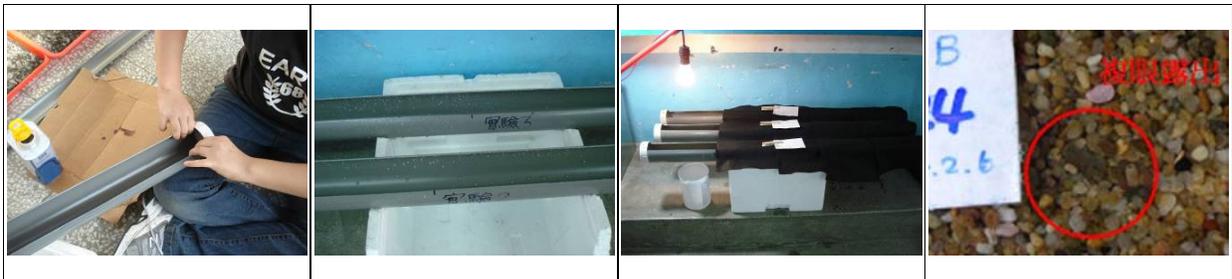


圖 14. 稚蟲對光因子影響的實驗情形。

4-3. 水溫探究

問題 19：稚蟲的生長情形如何呢？

實驗方法：

- 1、每隔二星期定期進行一次測量（97/11/7-98/4/3）共 11 次，若有蛻皮情形，亦進行測量並記錄。
- 2、以游標尺測量其頭寬、體長、翅芽長度。
- 3、使用電子秤測量體重。
- 4、經由測量的基本資料，進一步分析稚蟲的頭寬、體長、重量、與翅芽長度之間的關係。

實驗結果：

- 1、21 隻稚蟲生長曲線如附錄三。
- 2、由圖中可知每次的蛻皮是其成長的重要時期，平時生長較為緩慢。
- 3、翅芽長度 $\langle y \rangle$ 與重量 $\langle x \rangle$ 有明顯相關性， $R^2 = 0.8802$ ，其二者關係式為 $y = 1.1224x + 0.0131$ 。

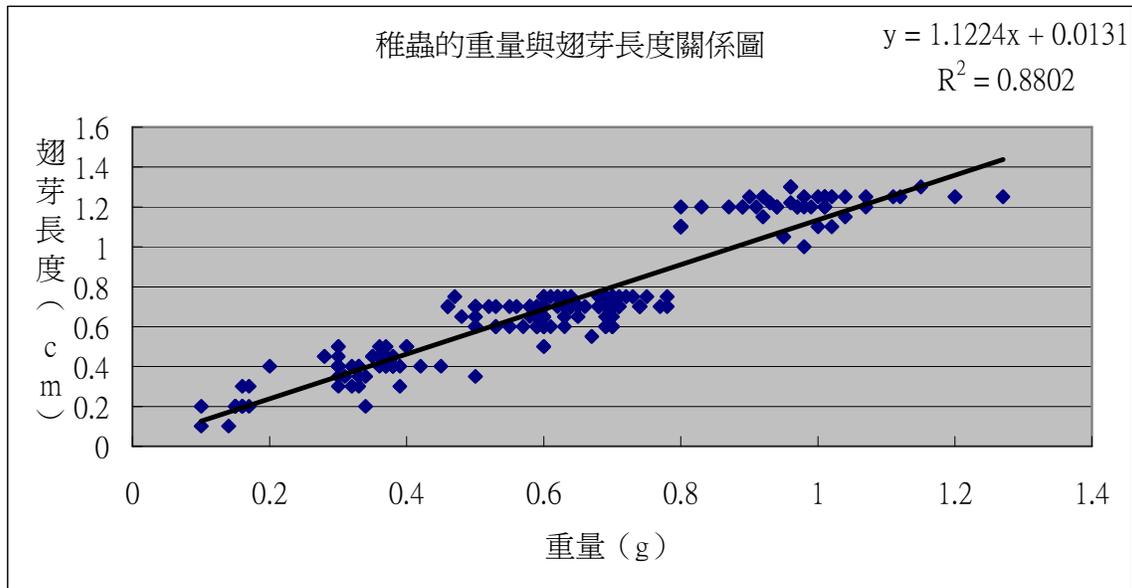


圖 15. 稚蟲的重量與翅芽長度關係圖。

問題 20：稚蟲在高溫環境中是否能長得較好呢？

實驗方法：

- 1、將稚蟲依體長平均分為兩組，一組是高溫組（攝氏 25 度以上），稚蟲編號為 1-11，共 11 隻；另一組是低溫組（攝氏 20 度以下），稚蟲編號為 12-21，共 10 隻。
- 2、測量其體長、頭寬、翅芽長度和體重做比較。
- 3、每隔二星期進行一次測量（97/11/7-98/4/3）共 11 次，若有蛻皮情形，亦進行測量並記錄。

實驗結果：

表 10. 稚蟲在不同水溫的生長值。

測量項目	高溫組(N=11)				低溫組(N=10)			
	平均	最小值	最大值	標準偏差	平均	最小值	最大值	標準偏差
體長(cm)	0.46	0	0.70	0.34	0.64	0.00	1.15	0.39
頭寬(cm)	0.10	-0.05	0.25	0.07	0.11	0.00	0.25	0.08
翅芽長度(cm)	0.31	0.10	0.65	0.26	0.38	-0.10	0.90	0.34
重量(g)	0.28	0.06	0.57	0.20	0.33	0.19	0.62	0.19

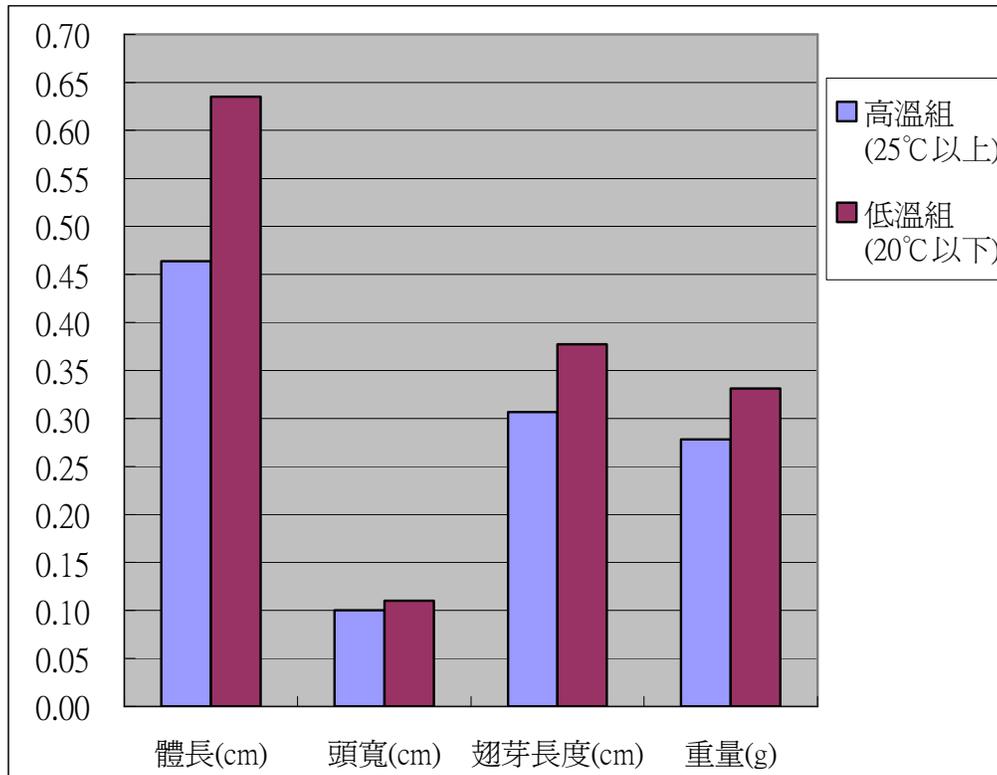


圖 16. 稚蟲的生長與水溫的關係。

伍、討論

【研究一】了解勾蜓科稚蟲的棲地環境

- 一、在溪流中進行稚蟲採集時，需注意腳踩踏的位置以避免踩到稚蟲可能棲息的地方。
- 二、採集稚蟲時，將底質砂石撥進採集器的動作要迅速，採集器的開口需朝向上游，並注意是否有稚蟲出現。

【研究二】了解勾蜓科(Cordulegastridae)稚蟲的形態構造

- 一、在使用稚蟲標本或蛻進行觀察繪圖時，較易操作，惟標本顏色會因浸泡酒精而有所差異。
- 二、稚蟲性別的判斷，在終齡時較易觀察到生殖器的特徵。
- 三、稚蟲種類的鑑定目前尚無檢索表可對照，需等到稚蟲羽化後才能依成蟲特徵來進行辨識。

【研究三】探討稚蟲的生活習性

- 一、稚蟲會有挖掘底質躲藏其中的行為，若將稚蟲置於無底質的環境中亦能觀察到中、後肢有嘗試撥動底質的行為，推測稚蟲判斷有無底質存在是利用其肢體的感覺。
- 二、根據文獻資料稚蟲會以捕捉小型水棲生物為食物，與實驗結果相符。
- 三、將食物置於稚蟲上方吸引其注意有助於餵食的進行，當稚蟲吃完食物後會利用下唇來回伸縮約 2~20 次不等，因下唇伸縮會造成水流，有助於口器的清潔。
- 四、從蛻皮後的生長淨值來看，除頭寬外，低溫組的生長淨值皆高於高溫組的生長淨值，可能原因為低溫組的溫度與野外棲地水溫相似。

【研究四】探討稚蟲生長的环境因子

- 一、勾蜓科的稚蟲會習慣躲藏於溪流的底質沙石中；在野外有採獲稚蟲的基底質大小 <math><32\text{mm}</math> 的比例佔全部的 88%，在實驗觀察中更進一步發現稚蟲偏好在基底質大小 <math><9\text{mm}</math> 以下的環境中棲息。
- 二、在河道中能採集到的稚蟲大部分都分布在河道右岸，上方多有植物遮蔽物且水流較緩慢；河道左岸因人為干擾因素，使稚蟲數量較少不易採集；河道中央雖有大石頭的堆積，其下方水流亦較緩慢，卻採集不到稚蟲，推測原因可能是缺乏食物來源，其上方開闊無植物掉落物，無法吸引其他小生物前來覓食所致。
- 三、飼養環境的水溫對於稚蟲成長的影響在本實驗中不甚明顯，建議可將水溫的差距拉大，以更進一步的了解水溫對稚蟲成長的影響。
- 四、在進行定期測量時，稚蟲會受干擾而使腹節收縮，造成體長的測量值不夠精準。另外稚蟲亦會利用直腸鰓噴水，導致測量體重亦有所誤差。
- 五、稚蟲羽化時間皆在晚間進行且過程持續 5~6 小時，在觀察的時間上學生無法配合，僅能以老師所拍攝的影片進行觀察，學生若能親身體驗整個羽化過程將使實驗的經歷更加完美。

陸、結論

- 一、稚蟲會習慣用中肢及後肢撥動腹部下方底質，將身體埋藏於底質中，約 3~5 分鐘完成。
- 二、根據資料顯示稚蟲會捕捉小型水棲生物為食，與實驗結果相符。但唯獨蝌蚪並未取食，可能與餵食方式有關。
- 三、稚蟲發覺有食物時，頭部會略微抬高。吃完食物後，下唇會反覆來回收縮 2-20 次不等。同時直腸鰓也會吐氣泡並翹起來。
- 四、稚蟲受到干擾時，會瞬間將身體收縮不動或利用腹部急速收縮噴水產生反作用力迅速逃脫。有時也會在杯子裡急速繞圈移動，直到外界干擾平息，會再挖掘底質將自己埋藏於砂石中。
- 五、平時稚蟲的生長速度是很緩慢的。蛻皮是稚蟲成長重要時機，由稚蟲生長曲線圖(附錄四)可看到明顯變化。
- 六、蛻皮後，稚蟲在體長、翅芽長度及重量的生長淨值均是低溫組高於高溫組。而頭寬的生長淨值則為高溫組高於低溫組。蛻皮後的稚蟲體色會較淺，需隔一段時間後才會漸漸變深。
- 七、稚蟲爬出水面等待羽化的時間約為晚上九點~十一點，整個羽化過程歷時約 5~6 小時，依序為爬出水面、背脊裂開、頭部探出、前半身倒垂、仰臥翻身、翅膀伸長展開、腹部伸長、體色變深、展翅飛翔。
- 八、稚蟲的羽化與氣候的關係，發現稚蟲選擇羽化日的氣溫多比前一日的高，降雨量介於 0~11mm 之間，以不降雨的天氣型態居多。
- 九、羽化前的終齡稚蟲其翅芽會漸漸飽滿。將稚蟲頭寬與翅芽長度的比值進行分析，可發現終齡稚蟲的比值約 0.7，n-1 齡的稚蟲比值約為 1.1。
- 十、稚蟲在野外喜愛棲息的底質環境是以 32mm 以下砂石為主，而「4-1 棲地底質探究」實驗中更是清楚指出，91.9%的稚蟲會選擇底質是 9mm 以下的環境。

- 十一、經由「4-2 光因子探究」實驗得知，光因子不是影響稚蟲選擇棲息環境的重要因子。
- 十二、在溫度與稚蟲生長關係的實驗中，低溫組的生長情形比高溫組佳。低溫組的溫度與野外溪流的溫度較為接近，讓稚蟲生長得較好。高溫組新陳代謝雖然較快，但成長值並沒有比低溫組高，而且蛻皮次數比低溫組少三次。
- 十三、當前面臨全球暖化現象，溪流溫度逐漸升高將影響稚蟲的生長，對於蜻蜓的生態會造成影響。
- 十四、經由定期測量結果發現翅芽長度〈y〉與重量〈x〉有明顯相關性， $R^2 = 0.8802$ ，其二者關係式為 $y = 1.1224x + 0.0131$ 。

柒、未來展望

- 一、藉由稚蟲的頭寬與翅芽長度的比值來推測稚蟲的齡期，目前僅能推測到終齡時期及終齡前一期，希望能將稚蟲各齡期的資料建立完整。
- 二、本實驗中的種類辨識僅能藉由羽化後的成蟲來進行區分，目前勾蜓科稚蟲的分類檢索表尚未建立，希望能建立完整的稚蟲分類檢索表。
- 三、本研究對於成蟲的行為觀察不足，建議可持續在野外定時定點做觀察記錄。對於成蟲的外部形態觀察部分可再做進一步的探討。
- 四、勾蜓科的稚蟲生活在溪流環境中，為生物指標的物種，若能建立勾蜓科稚蟲對環境變化影響的資料，將有助於未來環境改變的監測。

捌、參考資料

中文部分

- 一、石田 昇三、石田 勝義、小島 圭三、杉村 光俊，1998，東京。
Illustrated guide for identification of the Japanese Odonata：東海大學出版會。
- 二、常見蜻蜓及豆娘簡介摺頁，2003，行政院農業委員會特有生物研究保育中心編：南投縣。
- 三、曾美華，2006，台灣 120 種蜻蜓圖鑑：自然叢書系列（三）。106 台北市大安區復興南路三段 160 巷 32 號 1F：社團法人台北市野鳥協會。
- 四、張永仁，2001，昆蟲圖鑑 2：台灣 760 種昆蟲生態圖鑑。臺北市：遠流出版社。
- 五、張永仁、汪良仲，1998，陽明山國家公園解說叢書－蜻蛉篇。內政部營建署陽明山國家公園管理處：台北。
- 六、楊平世編，2002。水棲昆蟲生物入門。台中縣霧峰鄉：台灣省政府教育廳。
- 七、賴民杰，2008。從生態資源調查到部落格分享討論平台-以蘇澳溪為例。教育部九十七年度中小學科學教育專案：台北。
- 八、龔藍玉，2002。台灣地理人文全覽圖北島濁水溪以北。台北縣汐止市：上河文化股份有限公司。
- 九、中央氣象局宜蘭地區氣候統計資料。

英文部分

- 一、Giller, P. S. & B. Malmqvist. 2002. The biology of streams and rivers. Oxford University, New York.

網路資料

- 一、六足王國-蜻蜓(不均翅亞目)Dragonflies(Anisoptera)。民 97 年 7 月 25 日，取自：
<http://freebsd.tspes.tpc.edu.tw/~afu/151.htm>
- 二、台南市海東國小-蜻蜓。民 97 年 7 月 25 日，取自：
<http://www.htps.tn.edu.tw/res/insects/aniso/aniso.htm>
- 三、四獸山昆蟲相調查網-最新動態。民 97 年 7 月 25 日，取自：
<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!LazE8jmeEUL34jn1T1e90w--/article?mid=4129>

【評語】 080319

研究勾蜓科稚蟲生態，實驗設計佳，觀察仔細，表達清楚。
但實驗樣本數不足，也可增加野外調查資料，以印證實驗結果。