

溫度與水量對於澤蛙(*Fejervarya limnocharis*)

蝌蚪體長及變態的影響

Effects of temperature and water volume on body

length and metamorphosis of Indian rice frog

(*Fejervarya limnocharis*) tadpoles

楊育昌^{1,2,*} 林春富¹ 林雅玲³

Yu-Chang Yang^{1,2,*}, Chun-Fu Lin¹ and Ya-Ling Lin³

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集镇民生東路 1 號

² 國立臺灣大學生命科學系 10617 台北市羅斯福路四段 1 號

³ 觀察家生態顧問有限公司 10088 台北市中正區晉江街 129 號 4 樓

¹ Endemic Species Research Institute, Nantou, Taiwan

² Department of Life Science, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³ Observer Ecological Consultant Co., Ltd., Taipei, Taiwan

*通訊作者: ycyang@tesri.gov.tw

*Corresponding author: ycyang@tesri.gov.tw

摘 要

本研究以台灣平地至低海拔地區常見的澤蛙(*Fejervarya limnocharis*)蝌蚪為對象，觀察在實驗室操作不同環境溫度及水量狀況下的蝌蚪存活及變態率，探討這些因子對於無尾兩棲類蝌蚪的影響。澤蛙蝌蚪在 20°C、25°C、30°C 下置於 100ml、200ml、400ml 水量飼養，於蝌蚪開始變態的第 58 天及結束實驗的第 125 天比較體長數據。結果 20°C 存活率最高但體長較小且無法變態，顯示低溫環境雖有利蝌蚪生存但不利其成長。水量多的環境中蝌蚪體長明顯較大，且溫度與水量對蝌蚪體長的影響有交互作用，顯示不同環境因子除了其個別效果外，彼此也會相互影響；依本研究結果推

測，暖化可能造成棲地環境升溫而影響澤蛙幼體之存活。

Abstract

To investigate the impacts of environmental temperature and water volume on metamorphosis and survival rates of anuran amphibians, *Fejervarya limnocharis* tadpoles were incubated at 20°C, 25°C, 30°C with different water volumes. Survival rates of *Fejervarya limnocharis* tadpoles were highest under 20°C. Average body size was smaller at lower environmental temperature and lower water volume on Day 58 and Day 125 under the 20°C treatment. Tadpoles in high water volume treatments reached significantly larger body size. This suggests that lower temperature is favorable to the survival of tadpoles, but harmful to their growth. In spite of singular effects on growth, there was also remarkable correlation between environmental temperature and water volume factors on the body length of the tadpoles.

關鍵詞：變態、蝌蚪、溫度、水量

Key words: metamorphosis, tadpole, temperature, water volume,

收件日期：2014 年 09 月 05 日 接受日期：2014 年 12 月 29 日

Received: September 05, 2014 Accepted: December 29, 2014

緒 言

隨著長期氣候資料的蒐集與研究，科學家們近年陸續提出世界正面臨暖化與氣候變遷的現象。政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)長期關注暖化現象，在其第四次評估報告中指出 1906 至 2005 年全球均溫上升 0.74°C，且以 1980 年以來的氣溫上升最為明顯(IPCC 2007)；第五次評估報告亦指出氣候系統暖化很明確，1983 至 2012 年可能為 1400 年來北半球最暖的 30 年，更預測在 2100 年全球均溫上升可能達到 1.5°C 以上(IPCC 2013)。暖化狀況使得劇烈氣候事件更加明顯，例如 2013 年侵襲

菲律賓的海燕(Haiyan)颱風，便是有氣象記錄以來登上陸地的最強熱帶氣旋(Blunden and Arndt 2014)。科學家們也透過電腦模擬氣候狀況作出預測，認為溫室效應引起的暖化現象將會增加聖嬰現象的頻率及強度，進而嚴重影響全球氣候(Cai *et al.* 2014)。

台灣地區近期的報告指出，百年來(1911 至 2009 年)台灣的年平均溫度上升 1.4°C，約為全球平均值(0.74°C)的 2 倍(許等 2011)。在降雨方面，台灣各地 6 個測站(台北、台中、台南、恆春、花蓮及台東)平均降雨量的線性變化幅度雖然不明顯，但是降雨日數卻有減少的趨勢。百年來(1911 至 2009 年)下降幅度平均每 10 年

減少 4 天，但近 30 年(1980 年以後)卻增為每 10 年減少 6 天。豪雨(日雨量 $\geq 100\text{mm}$)及大豪雨(日雨量 $\geq 200\text{mm}$)在近 50 年及近 30 年均有明顯增多趨勢；而小雨日數(日雨量 $\leq 1\text{mm}$)則百年來每 10 年減少 2 天，近 30 年每 10 年減少 4 天(許等 2011)。足見台灣地區氣候朝著降雨天數減少、間隔延長及雨量集中化的方向變動。

在各類脊椎動物中，兩棲動物是最容易因為環境變動而族群受影響的動物類群之一(Foden *et al.* 2013)。舉例而言，中美洲哥斯大黎加 Monteverde 地區的金蟾蜍 (*Bufo periglenes*) 族群在 1980 年代末期消失，就被認為是 1986 至 1987 年間聖嬰現象造成當地氣候及生態系的改變有關(Anchukaitis and Evans 2010)。而近期研究亦歸納出：已名列 IUCN 紅皮書中有滅絕危機兩棲類當中，有 670 至 933 個物種的族群高度容易受到氣候變遷危害，其比例約為全球現生兩棲類物種的 11% 至 15% (Foden *et al.* 2013)。

蝌蚪及幼蛙的存活率以及變態時間早晚可能會間接影響兩棲類生殖族群波動，國外科學家發現變態時間較早以及變態時體型較大的幼蛙除了存活率較高外，尚有性成熟時間較早、體型較大等特點(Berven 1990)，這可能讓牠們在生殖季獲得一些優勢。低溫環境下，兩棲類幼體的甲狀腺發育、甲狀腺素分泌與相關受器的功能皆會受到溫度的影響而產生缺陷，造成幼體成長緩慢、體型較小且無法進入變態期(Frieden *et al.* 1965; Moriya 1983)。高溫除了增加蝌蚪代謝率、改變水中含氮廢物濃度與水質外，也可能會透過對甲狀腺功能的作用而間接影響蝌蚪變態過程(Ashley *et al.* 1968)，可見溫度對於蝌蚪變態的影響不容忽視。此外，由於暫時性靜水水域水量與其中生活

的蝌蚪密度呈反比關係，當水量減少時，蝌蚪密度即相對增加。國外學者曾指出當生長環境的水量減少時，其中的蝌蚪會提早以較小體型進入變態(Crump 1989; Denver *et al.* 1998)成為幼蛙；亦有人證實這個現象與蝌蚪的密度增加有關(Richter *et al.* 2009)，但上述現象是否會另外受到溫度影響則不得而知，值得再加以探討。

台灣地區有許多無尾兩棲類利用野外暫時性靜水域進行繁殖，而這些水域的存續時間長短、積蓄水量多寡、水體溫度高低等物理條件則容易受到當地降雨日數、雨量、氣溫等天氣因素的影響。若台灣地區氣候變動真如氣象學家所言，有氣溫升高、小雨日數減少、豪大雨頻率增加的趨勢，則這些暫時性水域中繁殖的蛙類蝌蚪除了容易因為高溫與降雨間隔延長造成生存空間狹小、乾涸死亡外，亦有可能因豪雨帶來洪水被沖走而無法存活。

國內以往對於靜水域繁殖之兩棲類受精卵發育及蝌蚪成長過程是否受水體表面積、深度、水量、存續時間、水中環境因子影響之研究成果較少，大部分僅針對單一環境因子進行探討，例如水溫(張 2002; 吳 2004)及水量變化(陳 2005)對蝌蚪的影響等。但對於水中不同的物理因子之間是否有存在著交互作用，甚至在水量不足、族群密度過高時對兩棲類個體本身之生長情形、存活率或變態後的體形大小等關乎未來族群量，以及個體競爭力的狀況會造成多大的影響？在現有研究中則尚未加以探討。

本研究以澤蛙(*Fejervarya limnocharis*)蝌蚪為實驗對象，觀察在實驗室中操作溫度及水量因子狀況下蝌蚪的存活、成長及變態情形，來探討這些因子對於兩棲類蝌蚪成長狀況是否有影響，以及不同因子對其成長是否存在交

互作用。澤蛙主要產於中國、日本、東南亞與台灣地區，普遍出現於 1,000 公尺以下低海拔平原、丘陵及農村環境，多在水深 5~15cm 的稻田、水池、草澤及雨後臨時水坑中產卵，繁殖期為 2 月至 10 月(費 1999; 呂等 2002)。雌蛙每次產卵數約 30 至 1800 顆；依前人研究所述，台灣地區澤蛙的蝌蚪期大約 20 至 60 天(Alexander *et al.* 1963; Kuan and Lin 2011)。

材料與方法

我們於 2010 年 7 月 14 日在雲林縣斗六市湖山水庫自然生態保留及復育區菜園內，採集產於低窪積水之 3 片漂浮性澤蛙卵團，每團採集 200 至 250 顆卵；蛙卵來自同一族群但並非同一對澤蛙所生。為確保所有蛙卵在孵化過程中環境條件一致，卵在攜回實驗室充分混合後一起放入裝有 3000ml 人工軟水(Artificial soft water, ASW; Freda and Dunson 1984)，L40cm x W25cm 方型塑膠水盆中，再置於控制日/夜各 12 小時光週期的 25°C 生長箱。人工軟水成分為每 1000ml 逆滲透水加入 NaHCO₃(48mg)、CaSO₄(24mg)、MgSO₄(30mg)及 KCl(2mg)以維持一定滲透壓。2 天後換水並除去雜質與未受精卵，再放回生長箱等待其完全孵化。依據 2009 年研究人員於當地所設溫濕度記錄器(型號 HOBO H08-003-02)資料，該地區 1 至 3 月、4 至 6 月、7 至 9 月和 10 至 12 月之平均氣溫各為 19.83°C、25.43°C、29.57°C 及 25.17°C，全年平均相對濕度則是 80.22%。本實驗飼養蝌蚪的生長箱依野外狀況取整數值，設定溫度 20°C、25°C 及 30°C(上下波動控制在 2°C 內)及相對濕度 80%，並以日/夜各 12 小時進行光週期的調控。

蝌蚪孵化後，將發育至 Stage25(Gosner

1960)蝌蚪分裝至不同水量燒杯開始進行實驗，以 20 隻蝌蚪為一組放入控制 20°C、25°C 及 30°C 三種溫度生長箱；生長箱內部空間為 150 公升。蝌蚪置於 100ml、200ml、400ml 水量燒杯中飼養；各處理 3 重複，共使用 540 隻蝌蚪；其餘蝌蚪則於 7 月下旬放回同一菜園。每 2 或 3 天換水並餵食足夠的顆粒飼料並隨機自每個燒杯中取樣 5 隻蝌蚪測量體長至 0.1mm，若前次飼料被蝌蚪食盡，則換水時按照存活蝌蚪數增放飼料，至蝌蚪開始變態(Stage42; Gosner 1960)為止。進入變態期後蝌蚪體長會因尾部被吸收而縮短，在實驗第 58 天 25°C 及 30°C 處理組開始出現變態個體時，由各燒杯取樣 5 隻蝌蚪測量此時期的體長並將已變態蝌蚪移除。此後每次換水及餵食時皆移除已變態個體、記錄變態所需天數並保留其餘未變態蝌蚪。部分蝌蚪在長期飼養下並未全數變態，我們在實驗開始後第 125 天結束實驗，計算存活及變態蝌蚪數並取樣量測蝌蚪體長。遇燒杯中剩餘蝌蚪不足 5 隻時，則測量並記錄所有蝌蚪的體長。

統計方法上，本研究以 Chi-square(χ^2)來比較第 125 天的蝌蚪存活率及變態率，並以 Two-way ANOVA 比較第 58 天與 125 天蝌蚪的平均體長是否有受到不同水量、溫度處理的影響，以及不同因子之間有無交互作用(溫度 x 水量)；並用 Fisher's Least Significant Difference (LSD)進行事後比較。所使用的統計軟體為 SYSTAT 12。

結果

在實驗結束(第 125 天)時，蝌蚪總存活率為 29.6%(表 1)；各水量處理下溫度對存活率均有顯著影響(水量 100ml: $\chi^2_2=7.5$, $p=0.023$ ；

水量 200ml: $\chi^2_2=16.5, p<0.001$; 水量 400ml: $\chi^2_2=13.1, p=0.001$) , 以 20°C 處理組平均存活率

35.0%最高、30°C處理組 24.5%最低; 水量對蝌蚪存活率影響則不顯著($\chi^2_2=1.4, p=0.495$)。

表 1. 澤蛙蝌蚪在各處理下的存活率及初始體長(平均值±標準差)

Table 1. Survival rates and initial body length (mean±sd) of *Fejervarya limnocharis* tadpoles under all treatments

Water volume	Survival rate (%)			Initial bodylength (mm)		
	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C
100 ml	30.0±1.0	10.0±3.5	20.0±1.0	8.3±0.8	8.3±0.8	7.7±0.8
200 ml	36.7±0.6	11.7±2.8	15.0±2.6	8.3±0.8	8.5±1.1	8.1±1.1
400 ml	38.3±2.5	25.0±0	10.0±3.5	8.6±0.9	8.3±0.9	8.5±0.7
average	35.0±1.6	15.6±2.8	15.0±2.4	8.4±0.8	8.4±0.9	8.1±0.9

實驗開始時平均體長為 8.3±0.9mm(表 1); 因各處理的蝌蚪初始體長無差異($p>0.05$) , 我們認為可直接比較第 58 天(開始有蝌蚪進入變態)及 125 天(結束實驗)的數據來探討溫度及水量對蝌蚪體長之影響。排除未出現變態個體的 20°C 處理組後, 第 58 天出現變態個體的 25°C 及 30°C 處理組平均體長各為 16.9±4.3 及 17.8±3.6mm(表 2) , 顯示澤蛙蝌蚪在本實驗條件下開始進入變態的平均體長約為 16.9±4.3mm。出現變態個體的 25°C 及 30°C 處理組在第 125 天平均體長各為 25.6±3.8 及 25.4±2.5mm; 此時蝌蚪雖未全部變態, 我們仍可判斷在本實驗條件下, 澤蛙蝌蚪最大可變態的平均體長應當在 25.6±3.8mm 以上(表 2)。

第 58 天各水量處理下蝌蚪體長具有顯著差異(two-way ANOVA, $F_{2,99}=5.381, p=0.006$) : 400ml 處理組平均體長(17.8±3.6mm)大於 100ml(16.0±2.7mm)及 200ml(16.1±2.9mm)。蝌蚪在第 125 天結束實驗時, 各水量處理的蝌蚪體長亦有顯著差異(two-way ANOVA, 水量 $F_{2,102}=5.097, p=0.008$) , 100ml 處理下蝌蚪平均體長(23.3±3.6mm)顯著小於 400ml(25.8±3.4mm)

及 200ml(26.0±3.2mm)處理組, 可見長時間處於水量不足的情況下, 對蝌蚪的成長存在著不利的影響; 而在相同飼養期間內, 水量多則可讓蝌蚪成長至較大的體型。而 30°C 下 400ml 水量蝌蚪變態率最高且平均變態時間最短, 顯示高溫與大水量有助蝌蚪變態(表 3)。

溫度對第 125 天蝌蚪體長的影響達到顯著水準(two-way ANOVA, $F_{2,102}=3.503, p=0.034$; 表 2) , 20°C 處理下的體長小於 25°C 及 30°C 處理組。此外, two-way ANOVA 結果亦顯示溫度及水量對體長的影響有顯著交互作用(溫度×水量: $F_{2,99}=2.806, p=0.030$)。

在 125 天實驗期間不同溫度處理下蝌蚪變態率有顯著差異($p<0.05$) , 其中 20°C 處理組蝌蚪均無變態(表 3)。不同水量處理間的變態率則無顯著差異($\chi^2_2=1.59, p=0.452$)。所需的變態日數平均為 100.2±18.7 天, 但此兩種溫度變態日數差異不顯著(two-way ANOVA, 溫度、水量、溫度×水量: $p>0.05$; 表 3)。因僅有 25°C 及 30°C 處理組有蝌蚪進入變態期, 故只針對 25°C 及 30°C 溫度處理組進行變態日數的比較及討論而排除 20°C 處理組。

表 2. 第 58 天及 125 天在各處理下的澤蛙蝌蚪體長(平均值±標準差)

Table 2. Body length (mean±sd) of *Fejervarya limnocharis* tadpoles under all treatments on Day 58 and Day 125

Water volume	Day 58 length (mm)			Day 125 length (mm)		
	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C
100ml	15.0±1.9 (n=15)	16.6±3.0 (n=15)	16.3±3.3 (n=15)	23.2±3.3 (n=15)	22.8±4.9 (n=6)	23.8±2.6 (n=12)
200ml	15.2±1.6 (n=15)	17.2±4.5 (n=15)	15.8±2.5 (n=15)	24.1±4.4 (n=15)	27.6±2.3 (n=7)	26.3±2.8 (n=9)
400ml	15.1±2.4 (n=15)	17.0±5.4 (n=15)	21.2±5.0 (n=15)	25.0±3.6 (n=15)	26.3±4.3 (n=15)	26.2±2.2 (n=6)
Average	15.1±2.0	16.9±4.3	17.8±3.6	24.1±3.8	25.6±3.8	25.4±2.5

表 3. 澤蛙蝌蚪在各處理下的變態率與變態日數(平均值±標準差)

Table 3. Metamorphosis rates and metamorphosis days (mean±sd) of *Fejervarya limnocharis* tadpoles under all treatments

Water volume	Temperature	Number of metamorphosis	Metamorphosis rate (%)	Metamorphosis days
100ml	25°C	6	10.0±5.0	110.2±7.1
	30°C	4	6.7±2.9	101.8±17.7
200ml	25°C	8	13.3±5.8	95.3±19.4
	30°C	4	6.7±2.9	104.5±16.8
400ml	25°C	7	11.7±2.9	107.4±23.6
	30°C	9	15.0±5.0	89.1±18.3
Total		38	7.0±5.2	100.2±18.7

*No tadpoles underwent metamorphosis under 20°C treatment.

討 論

環境溫度可能影響兩棲類的變態過程，日本研究曾指出在低溫環境下會因為甲狀腺素及泌乳激素的影響而使兩棲類變態時間延長(Moriya 1998)。前人研究結果顯示台灣北部春、夏季澤蛙蝌蚪有表現出成長模式的差異，出生季節及溫度對於蝌蚪體長影響有顯著的交互作用：春季蝌蚪在低溫(22°C)下成長時間較久但變態時體長較大；夏季蝌蚪在高溫(29°C)下雖長得較快但變態時體長較小(Kuan and Lin 2011)。該研究與本研究的結果有些出入，但依其實驗方法所述，蝌蚪飼養於方型淺塑膠盒且餵食煮熟菠菜(未說明有無控制濕度)，是否因為飼養容器較易蒸發水分及所餵食物種類不同造成蝌蚪在變態上的差異，日後應可再進行研究加以探討。

科學家普遍接受無尾兩棲類蝌蚪的成長至變態過程具表型可塑性(phenotypic plasticity)，若環境條件較差且蝌蚪達到最小可變態體長時，蝌蚪會儘快變態成為小蛙以早日脫離惡劣環境。若環境條件良好則蝌蚪會留在該水域成長，待體長較大再進入變態，如此對小蛙生存率及競爭力將有正面幫助(Wilbur and Collins 1973)。已知北美洲鐘足蟾科(Pelobatidae)兩棲類的蝌蚪會因溫度升高、族群密度增加與食物量改變而加快變態時間(Newman 1998)；其作用機制為身體感受到環境中水量減少及食物受限等逆境，間接促使甲狀腺素等內分泌激素加速產生而提前進入變態期(Boorse and Denver 2003)。在本研究採取固定水量及供應充足食物的穩定環境飼養下，無法得知澤蛙蝌蚪是否有類似的生理反應，但由平均變態時間長達 100 天以上的結果看來，如此穩定環境下的澤蛙蝌蚪應是採取緩

慢成長、等待體長夠大後才開始變態的策略。至少，我們可確定本實驗所操作的最低水量(100ml)雖然影響蝌蚪體長大小，尚不會對蝌蚪造成壓力促使牠們儘速變態。

而在環境條件不佳的水域中，部分蝌蚪雖可加快其生長速率以達最小變態體長以避免乾旱死亡，但取而代之的可能是勉強變態後的小蛙背負著體長過小、行動力差、免疫較弱等另類風險(Gervasi and Foufopoulos 2008)。我們參考與澤蛙同樣在春至秋季繁殖，且產卵於雨後積水等暫時水域的諸羅樹蛙(*Rhacophorus arvalis*)的例子來看，其蝌蚪需要達到特定體長才會開始變態，若環境狀況不佳(如食物或空間不足)則會造成生長遲滯、變態時程延長(陳 2005)。本研究中澤蛙蝌蚪最小可變態體長為 $16.9 \pm 4.3\text{mm}$ 而最大變態體長超過 $25.6 \pm 3.8\text{mm}$ ，在此體長範圍內若不考慮溫度對於內分泌等生理功能的影響，第 125 天時各處理下蝌蚪應當都達到可變態體長且正常進入變態。然而結果不如預期的原因，有可能是我們所操作實驗條件並非蝌蚪難以忍受之逆境，無法迫使其早日進入變態期逃離此等環境的緣故。未來可進行水量及食物量減少的操作實驗，以探討澤蛙蝌蚪在惡劣環境下是否會因此提前進入變態過程。

由於同一卵團無法滿足實驗所需蝌蚪數量，本研究僅能以充分混合再隨機取樣的方式降低處理間蝌蚪的遺傳差異。而實驗過程中亦觀察到部份燒杯中蝌蚪大小出現明顯差異而使得平均體長標準差(SD 值)較大，例如第 58 天 25°C 的 200ml 處理組和 400ml 處理組。但在前人研究會出現如此體型差異，推測可能是蝌蚪們對空間及食物資源出現種內競爭的結果(Semlitsch and Caldwell 1982)。在野外，處於競爭弱勢的個體可能因資源持續短缺，直到

優勢蝌蚪變態離開水池之後才能獲取到較為足夠的資源，從而延長其變態所需時間。此現象在水量穩定的環境下尚不會對蝌蚪存活造成顯著影響，倘若其所生活之暫時性水域因久未降雨而乾涸，則可能造成競爭弱勢蝌蚪來不及變態離開而死亡。但科學家亦曾觀察到蝌蚪會在低溫下主動往較水溫較高之處移動(Bradford 1984)，甚至進行聚集以其行為維持一定溫度來抵抗寒冷環境(Beiswenger 1977)，此類行為應當會相對減少蝌蚪個體間的競爭，或許可以作為本實驗中 20°C 低溫處理下蝌蚪體型較為一致的原因。且因蝌蚪呈現聚集行為為時所需的活動空間相對較小，故水量對此溫度下蝌蚪的影響效應亦較不顯著，使得各水量處理蝌蚪體長差異不大。

在第 125 天結束實驗時，不同溫度處理下的蝌蚪變態率具有顯著差異，但不同水量處理間的變態率則無顯著差異($\chi^2_2=1.59, p=0.452$ ；含完全無蝌蚪進入的 20°C 處理組)。蝌蚪進入變態所需日數(不含 20°C 處理組)平均為 100.2 ± 18.7 天，由其標準差數值大小可知變態日數的變動幅度頗大；但由水量、溫度(不含 20°C 處理組)均未顯著影響蝌蚪變態日數的結果來看，影響其變態日數另有其他原因。依據前人研究過程中減少水量及降低深度可使蝌蚪提早進入變態期(Denver *et al.* 1998)的結果看來，或許實驗過程中的水量動態減少較可能是刺激蝌蚪變態的因子，此論點尚需未來有進一步的研究來驗證。本實驗所操作的各溫度處理下僅 25°C 及 30°C 組有蝌蚪進入變態，但此兩種溫度變態率差異不顯著(表 3)；依此推測只要到達一定的溫度以上，蝌蚪便可正常進入變態期。而在本研究各操作組中唯獨 20°C 處理下無任何蝌蚪進入變態狀態，顯示低溫對於澤蛙蝌蚪變態有負面影響，可能是因為低溫影響

甲狀腺正常功能(Frieden *et al.* 1965; Moriya 1983)並使蝌蚪生理代謝率下降的緣故。

本研究的澤蛙蝌蚪於 20°C 處理組在 125 天實驗結束時，其平均體長($24.1 \pm 3.8\text{mm}$)雖已達到本實驗操作下的 $16.9 \pm 4.3\text{mm}$ 最小可變態平均體長但卻完全未進入變態，推測是低溫抑制其內分泌系統功能而間接造成的影響。而較高溫度(25°C、30°C)處理下蝌蚪雖然可正常變態，但我們生長箱溫度上下波動僅控制在操作溫度的 $\pm 2^\circ\text{C}$ 以內，而野外水體實際上會因陽光曝曬而出現較 30°C 更高的水溫，加上日夜溫差亦可能對生理功能產生效應；未來可進一步用控制 24 小時溫度起伏變動的方式，來探討日周期性溫度變化對蝌蚪是否會有其他程度的影響。

綜合本研究結果，我們可初步得知較高水溫不利於澤蛙蝌蚪生存，且澤蛙蝌蚪的體長會在高溫環境下受到生存環境中水量多寡影響。但實驗室內所操作的環境條件畢竟不若野外狀況多變及規模劇烈，其中有許多因素被簡化，是否能代表野外狀況仍有待商榷。但針對溫度與水量的議題上，暖化效應更明顯是否會造成棲地升溫而影響蝌蚪存活？氣候變遷導致降雨間隔時間延長是否會造成水量減少而使蝌蚪體長較小？若野外狀況真是如此，不能排除將會造成蝌蚪無法變態或小蛙因體長小而減低其競爭力與逃避天敵能力。未來可設計野外實驗、監測環境變動情形，或在類似研究中增加溫度日夜變化、水量隨時間減少等操作變因，以了解日夜溫差劇烈與降水間隔延長對兩棲類可能造成之衝擊。

引用文獻

呂光洋、杜銘章、向高世。2002。臺灣兩棲爬

- 行動物圖鑑 (第 2 版)。72-73 頁。中華民國自然生態保育學會。大自然出版社。
- 吳華蓉。2004。白額樹蛙蝌蚪溫度生理學之研究。國立彰化師範大學生物學研究所碩士論文。
- 張麗文。2002。不同海拔盤古蟾蜍蝌蚪高溫耐受與其可塑性之比較。國立成功大學生物學研究所碩士論文。
- 陳清圳。2005。暫時性水域水量變化對諸羅樹蛙蝌蚪變態與發育之研究。私立靜宜大學生態學研究所碩士論文。
- 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明。2011。2011 台灣氣候變遷科學報告。行政院國家科學委員會自然科學發展處。
- 費梁主編。1999。中國兩棲動物圖鑑。182-184 頁。中國野生動物保護協會。湖南科學技術出版社。
- Alexander, P. S., C.-M. Chang and C.-H. Yang. 1963. Reproductive variation in the female rice frog *Rana limnocharis* during the spring season in Taiwan. *Tunghai Journal* 5(2):19-32.
- Anchukaitis, K. J. and M. N. Evans. 2010. Tropical cloud forest climate variability and the demise of the Monteverde golden toad. *PNAS* 107(11): 5036-5040.
- Ashley, H., P. Katti and E. Frieden. 1968. Urea excretion in the bullfrog tadpole: effect of temperature, metamorphosis, and thyroid hormones. *Developmental Biology* 17: 293-307.
- Beiswenger, R. E. 1977. Diel patterns of aggregative behavior in tadpoles of *Bufo Americanus*, in relation to light and temperature. *Ecology* 58(1): 98-108.
- Berven, K. A. 1990. Factors affecting population fluctuations in larval and adult stages of the wood frog (*Rana sylvatica*). *Ecology* 71: 1599-1608.
- Blunden, J. and D. S. Arndt Eds. 2014. State of the Climate in 2013. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95(7): S1-S238.
- Boorse, G. C. and R. J. Denver. 2003. Endocrine mechanisms underlying plasticity in metamorphic timing in spadefoot toads. *Integrative and Comparative Biology* 43(5): 646-657.
- Bradford, D. F. 1984. Temperature modulation in a high-elevation amphibian. *Copeia* 1984(4): 966-976.
- Cai, W., S. Borlace, M. Lengaigne, P. van Rensch, M. Collins, G. Vecchi, A. Timmermann, A. Santoso, M. J. McPhaden, L. Wu, M. H. England, G. Wang, E. Guilyardi and F. Jin. 2014. Increasing frequency of extreme *El Niño* events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change* 4: 111-116.
- Crump, M. L. 1989. Effect of habitat drying on developmental time and size at metamorphosis in *Hyla pseudopuma*. *Copeia* 1989: 794-797.
- Denver, R. J., N. Mirhadi and M. Phillips. 1998. Adaptive plasticity in amphibian metamorphosis: response of *Scaphiopus hammondi* tadpoles to habitat desiccation. *Ecology* 79: 1859-1872.
- Foden, W. B., S. H. M. Butchart, S. N. Stuart, J. Vié, H. R. Akçakaya, A. Angulo, L. M.

- DeVantier, A. Gutsche, E. Turak, L. Cao, S. D. Donner, V. Katariya, R. Bernard, R. A. Holland, A. F. Hughes, S. E. O'Hanlon, S. T. Garnett, Ç. H. Şekercioğlu and G. M. Mace. 2013. Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE* 8(6): e65427.
- Freda, J. and W. A. Dunson. 1984. Sodium balance of amphibian larvae exposed to low environmental pH. *Physiological Zoology* 57: 435-443.
- Frieden, P. E., A. Wahlborg and E. Howard. 1965. Temperature control the response of tadpoles to triiodothyronine. *Nature* 205: 1173-1176.
- Gervasi, S. S. and J. Foufopoulos. 2008. Costs of plasticity: responses to desiccation decrease post-metamorphic immune function in a pond-breeding amphibian. *Functional Ecology* 22: 100-108.
- Gosner, K. L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16: 183-190.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kuan, S. H. and Y. K. Lin. 2011. Bigger or faster? Spring and summer tadpole cohorts use different life-history strategies. *Journal of Zoology* 285: 165-171.
- Moriya, T. 1983. The effect of temperature on the action of thyroid hormone and prolactin in larvae of the salamander *Hynobius retardatus*. *General and Comparative Endocrinology* 49: 1-7.
- Newman, R. A. 1998. Ecological constraints on amphibian metamorphosis: interactions of temperature and larval density with responses to changing food level. *Oecologia* 115: 9-16.
- Richter, J., L. Martin and C. K. Beachy. 2009. Increased larval density induces accelerated metamorphosis independently of growth rate in the frog *Rana sphenocephala*. *Journal of Herpetology* 43(3): 551-554.
- Semlitsch, R. D. and J. P. Caldwell. 1982. Effects of density on growth, metamorphosis, and survivorship in tadpoles of *Scaphiopus holbrooki*. *Ecology* 63: 905-911.
- Wilbur, H. M. and J. P. Collins. 1973. Ecological aspects of amphibian metamorphosis. *Science* 182:1305-1314.