

# 2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050001

參展科別 動物學

作品名稱 你在看哪裡

--蝌蚪眼睛位置及其視野之研究

得獎獎項 大會獎：一等獎

就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 林獻升、林思民

作者姓名 覃文榆、樂晴宇

關鍵字 蝌蚪、眼睛位置、視野範圍

## 作者簡介



### 樂晴宇

麗山高中數理資優班  
生物專題高二生  
偏鄉服務學習副召  
紫錐花社團 星晞服務隊  
麗山之新副美宣  
班聯會活動長

2017

To  
Be  
Continued

上海市青少年創新科技大賽

優勝

動物行為生態研討會

入選

國際科學展覽

特優

中學生網站小論文比賽

旺宏科學獎

中學生獎助計畫

結業

青少年科學培育計畫

### 覃文榆

麗山高中數理資優班  
生物專題高二生  
麗山之新美宣長  
17屆校慶總召  
班聯會美宣長

2016

## 摘要

陸域草食性動物的眼居於頭兩側，有較寬的單眼視野以便於逃避攻擊；而肉食性動物的眼居於頭前方，立體視覺較佳，有較好的距離感以捕捉獵物。我們利用 Geogebra 軟體分析台灣 33 種蝌蚪頭部影像資料，定位出每種蝌蚪眼睛的相對位置，並以數學幾何方式描繪眼睛的視野範圍。

我們發現蝌蚪眼睛位置可依兩眼距離分為“側位”(23%)、“背側位”(67%)及“背位”(10%)三種型態。側位兩眼距較大，背位兩眼距較小。蝌蚪眼睛視野則可分為“前視型”(42%)及“側視型”(58%)二種型態，前視型雙眼視覺區較大，側視型視野範圍較廣。我們將眼睛位置與視野範圍的數據與蝌蚪的棲息環境、食性種類及演化分類等進行相關分析，結果發現：1. 眼睛位置與棲息環境有相關，棲息越接近水面，為「側位」；棲息越接近水底或是密閉空間，為「背位」。2. 視野範圍與食性種類有相關，肉食性蝌蚪雙眼視覺角度較大，濾食性整體視野較廣。3. 眼睛型態與物種演化關係大部分相符合，同一屬且生態棲位相似者，蝌蚪眼睛型態會相似，如台灣狹口蛙科 *Microhyla* 屬 4 種蝌蚪都是側位型；樹蛙科 *Kurixalus* 屬的 3 種蝌蚪都是背位型；但有些例外，如面天樹蛙眼位與同屬艾氏樹蛙不同，可能與生態棲位不同，而演化成不同的眼位有關。

## Abstract

Terrestrial herbivore eyes are on the head on both sides. Have wider monocular vision to avoid attacks. Carnivorous animal eyes are in front of the head. It's stereoscopic vision is better than terrestrial herbivore. And has better sense of distance to capture preys. We used Geogebra software to analyze 33 kinds of Taiwan tadpoles' head image data, located the relative position of each tadpole eyes, and described the eye geometry in mathematical geometry.

We found that tadpole's eye position according to the distance between the eyes divided into "Lateral" (23%), "Dorsal lateral" (67%) and "Dorsal" (10%) three types. Tadpoles who are lateral, it's distance between eyes are the larger. Tadpoles who are dorsal, it's vision are the smaller. The visual of the tadpole eye can be divided into two types, the preoptic type (42%) and the lateral type (58%). The visual of the binocular visual is larger and the lateral visual is wider.

We did the analysis of correlation the data of tadpole's eye position and virtual with its habitat, feeding behaviours and evolutionary taxonomy. The result shows: 1. The eye position correlate with habitat, when the habitat gets closer to the superjacent waters, the eye position gets to "Lateral". When the habitat becomes closer to the subjacent waters or the enclosed bodies of water, the eye position gets to "Dorsal". 2. The virtual correlate with the feeding behaviours, the binocular vision of carnivorous tadpoles is bigger, and the filter tadpoles have the wider virtual. 3. Most of the eye patterns is conform to the relationship between species' evolution, the tadpoles that in the same genus and the ecological niche is close, their eye patterns is similar, like the four kinds of tadpole in the genus *Microhyla* are all lateral. the three kinds of tadpole in the genus *Kurixalus* are all dorsal. But there's some exceptions, for example, the eye position of *Kurixalus idiotocus* is different with any other *Kurixalus* in Taiwan, the reason maybe is the different of their ecological niche, so they evolve to the different eye position.

# 壹、前言

## 一、研究動機

視野是視覺感官系統的一部分，而且是生物對環境的感知中心。被大量捕食的草食動物通常具有向兩側看的眼睛，具有較廣的單眼視野以監測捕食者運動(Guillemain et al., 2002)。相較之下，捕食者通常具有向前看的眼睛以及較大的雙眼視覺區，以具有較佳的距離感，這對於空間追蹤與捕獲獵物是重要的(圖一)(圖二)。(Blumstein et al., 2000)



• 被捕獵者雙目在頭兩旁

• 捕獵者雙目在頭前方



眼睛在頭前一雙眼視覺大 眼睛在兩側—視野範圍廣

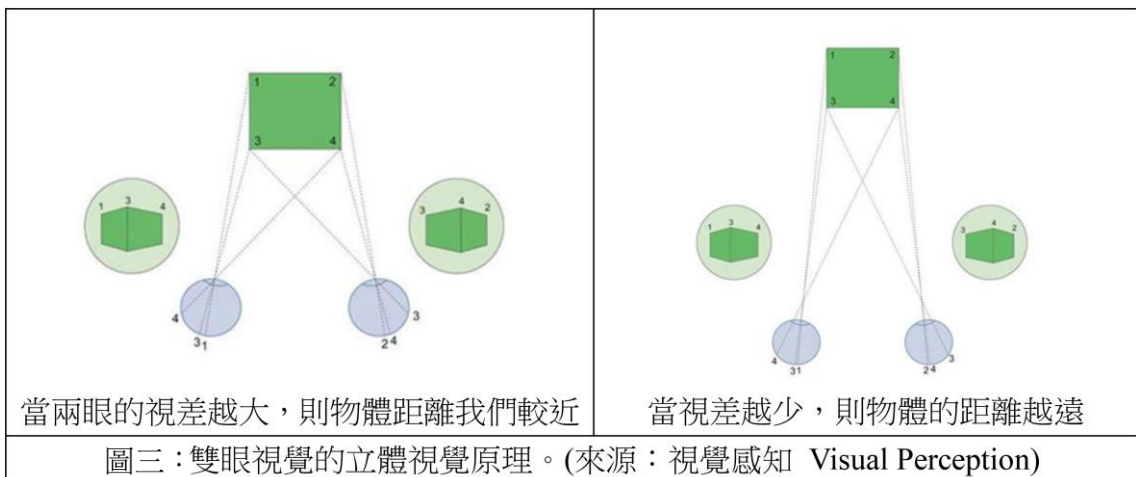


圖二：捕食者與被捕食者視野範圍的比較  
(來源：左上 Ojos de buho 右上 Portraits Of Animals And Humans Foto's, Afbeeldingen, & Afbeeldingen 左下 The Owl Pages 右下新浪體育)

圖一：捕食者與被捕食者眼睛位置  
(來源：視覺感知 Visual Perception)

雙眼視覺(Binocular vision)，是指生物在雙眼視野範圍互相重疊下，所產生的視覺。其因為兩眼因具有瞳距，而在視網膜產生有差別但又基本相似的圖像，這種視覺信號傳送至大腦之後，大腦將兩幅圖像之間的差異進行整合，即可判斷出眼睛到物體之間的精準距離關係。

(基礎雙眼視覺學， 陳揚捷，2014)



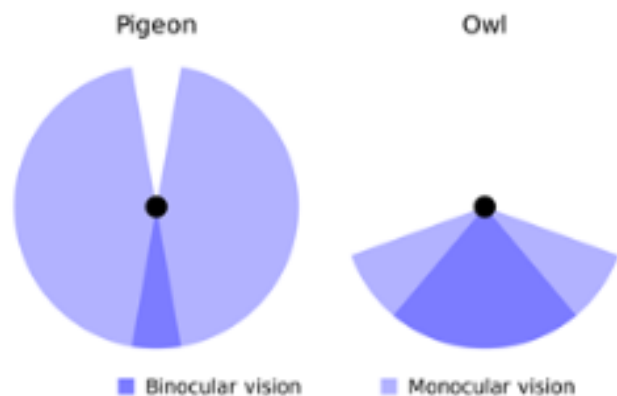
圖三：雙眼視覺的立體視覺原理。(來源：視覺感知 Visual Perception)

令人驚訝的是，視野的重要性似乎已被忽略，脊椎動物的單眼與雙眼視覺範圍的數據僅包括兔子 (Hughes, 1972)、大鼠 (Hughes, 1979)、人類 (Emsley, 1948)、蛙類與蟾蜍 (Collett, 1977; Fite, 1973) 和鳥類 (Martin, 1999)，大部分的視覺評估僅限於鳥類。在水生動物中，視野在相對較少的物種中再次被判定，包括港海豹 (Hanke et al., 2006)、烏賊 (Watanuki et al., 2000)、鸚哥魚 (Rice and Westneat, 2005)、白斑角鯊 (Harris, 1965) 和檸檬鯊 (Hueter and Gruber, 1982)。因為視野已經在這麼少的物種和相關性的物種中被調查，缺乏一致性以及合適的方法已經阻礙了形成以及檢視「在系統演化及環境範疇中，視覺範圍的演化適應」假說的能力。(Visual fields of four batoid fishes: a comparative study, D. Michelle McComb, Stephen M. Kajiura, 2008)

不同動物生活在不同的環境中，演化出不同的視覺構造及視野特徵，例如英國廣播公司於 2014 年報導中提到，雙眼在前距離感會變好，可獲得更多光線。並猜測有些眼睛在兩側的龜類在頭縮進龜殼時(圖四)只能接收前方光線，以讓其處理視覺訊息時像是眼睛在前方。



圖四：龜類縮頭進龜殼  
(來源：圖片 114 網)

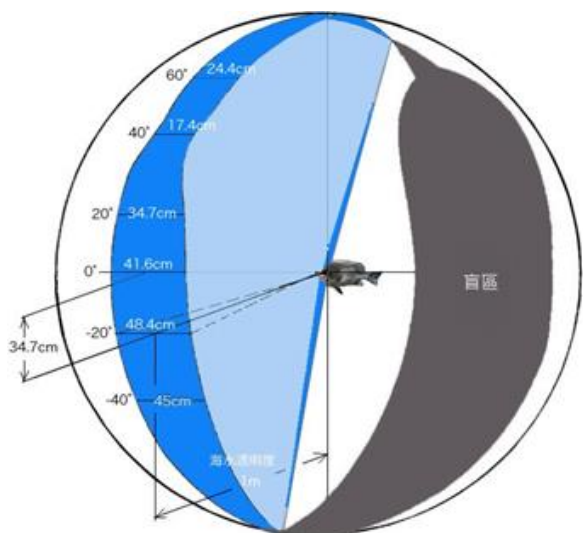


圖五：企鵝與貓頭鷹視覺區比較  
(來源：File:Fieldofview-pigeon-owl.svg)

鳥的眼睛位置分成三類，第一種的眼睛在兩側，有絕佳的側像視野與部分前方視野。第二種眼睛在頭部兩側較高處，擁有上方和前方的全景視野，以便於偵查是否有敵人接近。第三種雙眼朝前，以便於在夜晚飛行時獲得足夠的光線(圖五)。(鳥的感官, Tim Birkhead, 2014)

魚類的眼睛不能調節，所以魚類的盲區在頭前及身後，且頭前盲區較大。由於水與空氣折射率不同，水與空氣的折射及水面反射，離水面太近的物體魚眼看不到(圖六)。(善於喬裝打扮的魚)

蝌蚪是生活在水中，我們發現不同種的眼睛型態有差異(圖七)，有些蝌蚪的眼睛分別在頭部兩側，位置非常分開，有些蝌蚪眼睛在頭部上方。但研究蝌蚪視覺的文獻非常稀少，僅有 *Stereopsis in toads* 及 *The visual fields of the frog and toad: a comparative study* 兩篇，因此想要探討蝌蚪眼睛型態之差異及差異之影響因素。



圖六：海水魚視覺區  
(來源：魚の視野)



圖七：不同種蝌蚪眼睛位置有所差異  
(來源：左上 hoher's blog 右上蝶小小的自然影像  
左中新浪部落 右中新浪部落 左下自然生活記趣  
右下浮雲雅築)

## 二、研究目的

- (一)用數學幾何分析不同種類的蝌蚪眼睛位置
- (二)模擬不同種類蝌蚪的單眼及雙眼視野範圍
- (三)探討蝌蚪眼睛位置及視野範圍的影響因素

## 三、研究問題

- (一)蝌蚪眼睛型態有何不同
- (二)蝌蚪眼睛位置為何不同

## 四、假說

蝌蚪眼睛型態之差異可能與其棲地、食性、親緣關係有關

## 貳、研究方法或過程

### 一、研究物種

蛙類包括青蛙與蟾蜍，分類上屬於兩棲類無尾目，台灣的蛙類共有三十五種，分屬於五科：蟾蜍科、樹蟾科、狹口蛙科、赤蛙科及樹蛙科(圖八)。本研究採計三十四種蛙類，如表一



圖八：台灣三十四種蛙類 (來源：台灣兩棲類保育網)

科名	種名	
蟾蜍科	盤古蟾蜍 <i>Bufo bankorensis</i>	
	黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>	
樹蟾科	中國樹蟾 <i>Hyla chinensis</i>	
狹口蛙科	巴氏小雨蛙 <i>Microhyla butleri</i>	
	黑蒙西氏小雨蛙 <i>Microhyla heymonsi</i>	
	小雨蛙 <i>Microhyla fissipes</i>	
	史丹吉氏小雨蛙 <i>Micryletta steinegeri</i>	
	亞洲錦蛙(花狹口蛙) <i>Kaloula pulchra</i>	
赤蛙科	澤蛙 <i>Fejervarya limnocharis</i>	拉都希氏赤蛙 <i>Hylarana latouchii</i>
	虎皮蛙 <i>Hoplobatrachus rugulosa</i>	美洲牛蛙 <i>Lithobates catesbeianus</i>
	古氏赤蛙 <i>Limnonectes fujianensis</i>	斯文豪氏赤蛙 <i>Odorrana swinhoana</i>
	腹斑蛙 <i>Babina adenopleura</i>	金線蛙 <i>Pelophylax fukienensis</i>
	豎琴蛙 <i>Babina okinavana</i>	長腳赤蛙 <i>Rana longicrus</i>
	貢德氏赤蛙 <i>Hylarana guentheri</i>	梭德氏赤蛙 <i>Pseudoamolops sauteri</i>
	臺北赤蛙 <i>Hylarana taipehensis</i>	
樹蛙科	日本樹蛙 <i>Buergeria japonica</i>	斑腿樹蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>
	褐樹蛙 <i>Buergeria robusta</i>	諸羅樹蛙 <i>Rhacophorus arvalis</i>
	艾氏樹蛙 <i>Kurixalus eiffingeri</i>	橙腹樹蛙 <i>Rhacophorus aurantiventris</i>
	面天樹蛙 <i>Kurixalus idiotocus</i>	莫氏樹蛙 <i>Rhacophorus moltrechti</i>
	王氏樹蛙 <i>Kurixalus wangi</i>	翡翠樹蛙 <i>Rhacophorus prasinatus</i>
	布氏樹蛙 (白領樹蛙)	台北樹蛙 <i>Rhacophorus taipeianus</i>
	<i>Polypedates braueri</i>	碧眼樹蛙 <i>Kurixalus berylliniris</i>

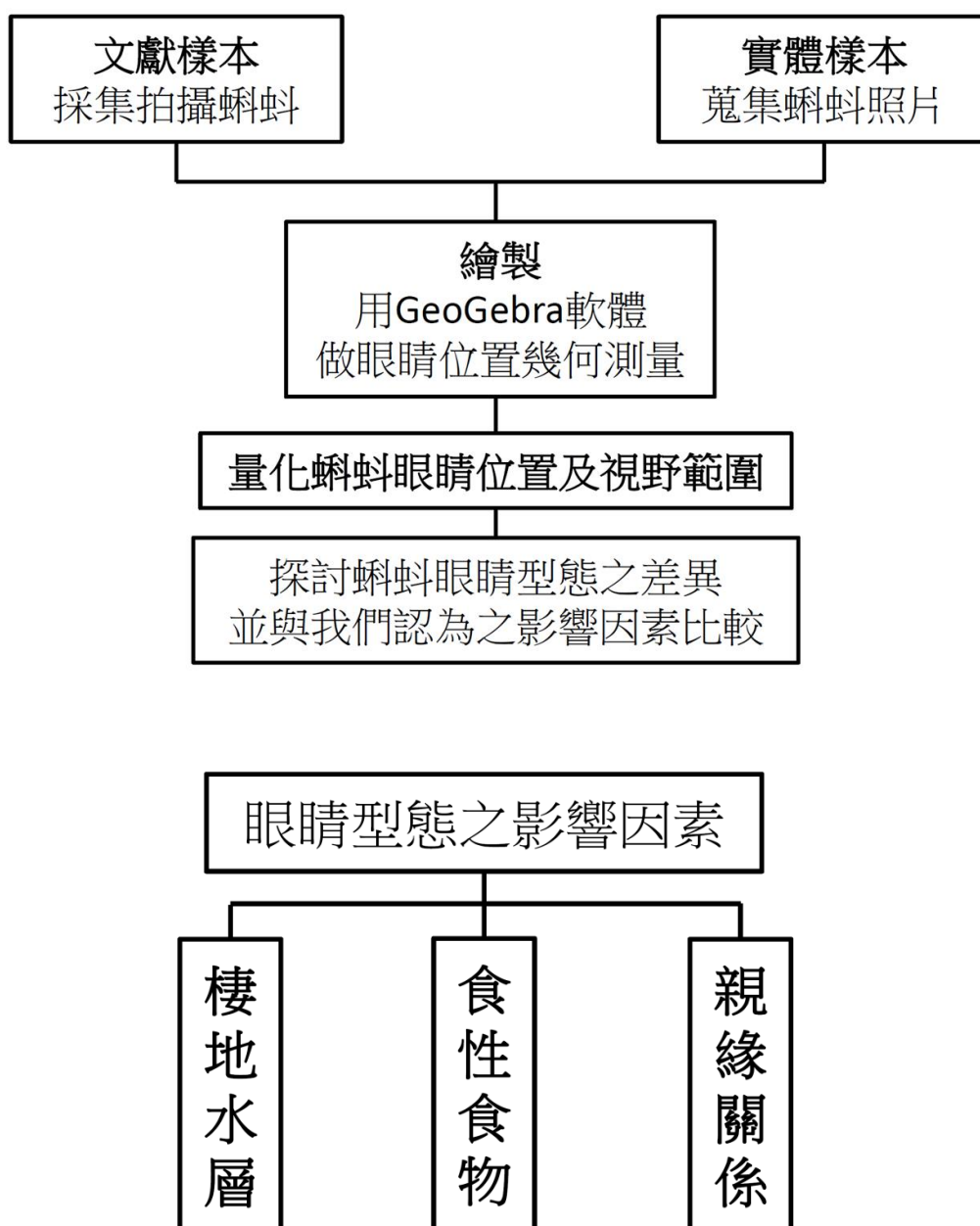
表一：台灣 34 種蝌蚪一覽表



## 二、實驗器材

器材	用途	數量
Geogebra 軟體	作圖	1 套
相機	拍攝照片	1 台
34 種蝌蚪照片	分析眼睛位置	數張

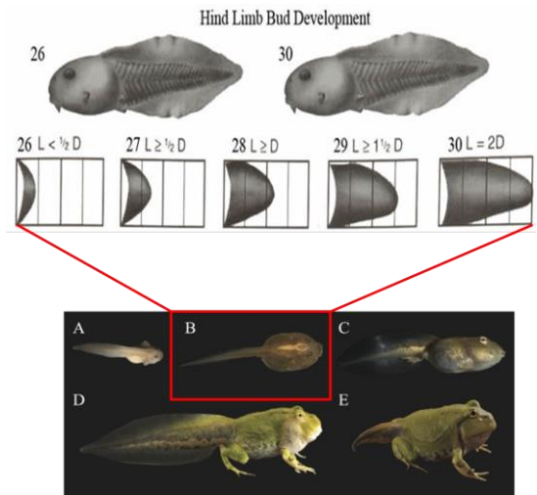
## 三、研究方法



## (一)樣本蒐集

### 實體樣本

- (1) 自野外採集台灣 34 種蝌蚪  
齡期為「stage26-30」(圖九)  
(因 stage26-30 頭部型態較固定)
- (2) 將蝌蚪放進冰箱約 10 分鐘，降低其活動力
- (3) 放置顯微鏡下拍攝蝌蚪俯視及正視圖



圖九：蝌蚪齡期 stage26-30

(來源: Note that tadpoles are not to the same scale.)

由於有些蝌蚪位於高山上或為保育種，不是所有的蝌蚪都能輕易採集，所以我們也從論文及圖鑑中蒐集文獻樣本來補足實體樣本的不足

### 文獻樣本

- (1) 自文獻蒐集齡期「stage26-30」的蝌蚪數張照片(圖十)



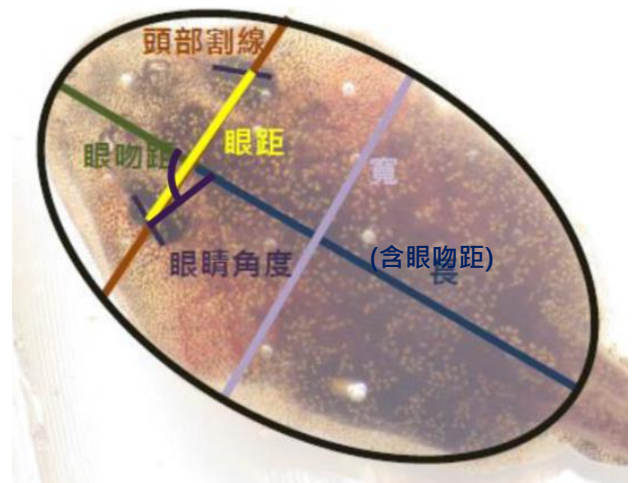
圖十：台灣 34 種蝌蚪照片

(來源：自然生活記趣、小勛's BLOG、楊懿如的青蛙學堂)

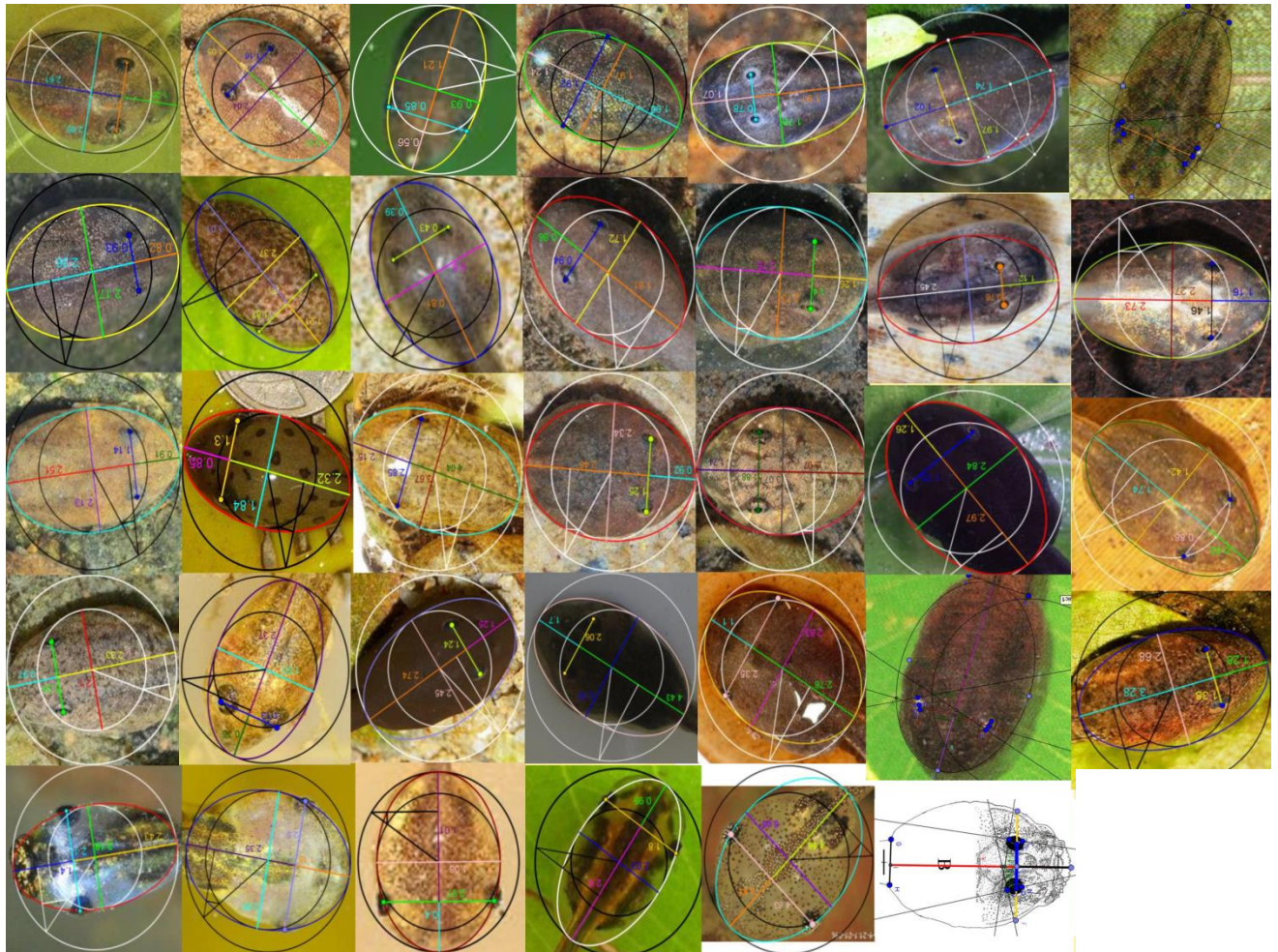
## (二)測量與繪製蝌蚪頭部型態與眼睛位置

用 Geogebra 軟體做眼睛型態幾何測量(圖十一)：  
 蝌蚪頭長寬、眼吻距、眼距、眼睛角度(視野)、  
 頭部割線

- (1)繪製蝌蚪雙眼眼距。
- (2)兩眼眼距做中垂線，取其長於中垂線上。
- (3)用其長寬畫橢圓(蝌蚪頭的大小)。
- (4)蝌蚪眼距延長交橢圓於兩點，成為其頭部割線
- (5)眼睛長軸垂線交於長的夾角，為其眼睛角度。



圖十一：蝌蚪眼睛位置幾何測量圖

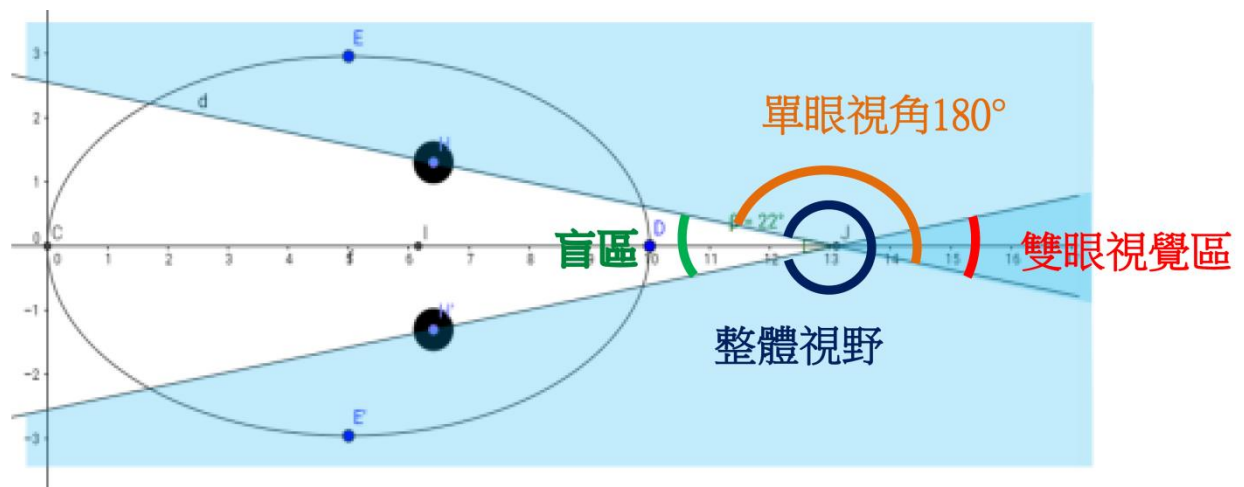


圖十二：台灣 34 種蝌蚪眼睛位置幾何測量

### (三)繪製及分析蝌蚪視野範圍

由於我們無法明確知道蝌蚪實際的視野，於是我們依與牠生活環境類似的魚類單眼視角 $180^\circ$ (來源：魚の視野)為蝌蚪的單眼視角，兩單眼視角重疊區為雙眼視覺區，其角度與盲区相同， $360^\circ$  減其盲区為蝌蚪的整體視野範圍。

- (1) 將眼睛位置幾何測量繪製於座標軸上。
- (2) 將蝌蚪兩眼長軸延伸，使兩線相交，並測兩線之夾角，此為蝌蚪之眼睛角度也為蝌蚪的盲区角度， $360^\circ$  減此夾角為蝌蚪的整體視野範圍(圖十三)。



圖十三：蝌蚪視野範圍幾何測量

### (四)比較蝌蚪眼睛型態之差異及影響因素

將蝌蚪的眼睛位置及視野範圍與我們認為之影響因素進行比對，並探討蝌蚪眼睛型態與其棲地、食性、演化背景的關係。

我們將測量的蝌蚪頭長、頭寬、眼距、眼吻距、頭部割線以及眼睛角度整理成表格，並結合周文豪博士在台灣無尾類蝌蚪之型態、分類與棲境區隔這篇論文中蝌蚪的食性食物及棲地水層整理成下表二。

物種名稱	長	寬	眼距	眼吻距	頭部割線	眼睛角度	食性食物	棲地水層
黑蒙西氏小雨蛙	3.83	2.18	2.1	1.4	2.10	173.0	食懸浮粒子	表層浮泳
巴氏小雨蛙	3.53	2.66	2.5	1.18	2.50	174.7	食懸浮粒子	表層浮泳
中國樹蟾	3.53	2.03	1.8	0.95	1.80	176.5	腐食	靜水懸泳
布氏樹蛙	3.32	1.97	1.92	1.24	1.92	172.3	腐食	靜水懸泳
斑腿樹蛙	1.77	0.93	0.85	0.56	0.85	166.4	腐食	靜水懸泳
小雨蛙	7.07	5.05	4.83	2.51	4.83	167.7	食懸浮粒子	表層浮泳
史丹吉氏小雨蛙	1.41	1.08	0.97	0.4	0.97	165.4	食懸浮粒子	表層浮泳
亞洲錦蛙	3.88	2.83	2.35	1.1	2.55	168.9	食懸浮粒子	表層浮泳
貢德氏赤蛙	4.22	2.37	1.87	1.21	2.15	172.8	腐食	靜水懸泳
金線蛙	6.19	3.67	2.85	2.15	3.48	175.4	腐食	靜水懸泳
豎琴蛙	4.78	3.07	1.88	1.71	2.81	179.6	腐食	淺水底棲
澤蛙	3.3	2.1	1.24	0.97	1.91	169.6	腐食	淺水底棲
拉都西氏赤蛙	4.01	2.73	1.4	1.26	2.55	172.3	腐食	淺水底棲
面天樹蛙	3.89	2.27	1.46	1.16	2.06	174.6	腐食	淺水底棲
莫氏樹蛙	4.23	2.84	1.75	1.26	2.57	172.8	腐食	深水底棲
翡翠樹蛙	2.76	1.97	1.2	1.02	1.90	170.8	腐食	深水底棲
台北樹蛙	3.86	2.66	1.53	1.25	2.51	168.7	腐食	淺水底棲
褐樹蛙	4.56	2.68	1.38	1.28	2.38	170.4	刮食	溪流底棲
日本樹蛙	3.06	2.04	1.16	1.05	2.04	176.3	刮食	溪流底棲
黑眶蟾蜍	6.13	3.75	2.06	1.7	3.61	169.2	腐食	深水底棲
台北赤蛙	1.16	0.61	0.48	0.36	0.57	158.3	腐食	靜水懸泳
美洲牛蛙	3.17	1.84	1.3	0.85	1.63	163.5	腐食	靜水懸泳
虎皮蛙	3.12	1.93	1.13	0.75	1.66	140.3	肉食攻擊	淺水底層
古氏赤蛙	3.42	2.13	1.14	0.91	1.90	167.0	腐食	溪流底棲
腹斑蛙	3.37	2.34	1.25	0.92	2.08	165.8	腐食	深水底棲
斯文豪氏赤蛙	2.67	1.72	0.94	0.86	1.59	165.6	刮食	溪流底棲
梭德氏赤蛙	1.2	0.8	0.43	0.39	0.73	158.1	刮食	溪流底棲
長腳赤蛙	3.18	2.17	0.93	0.82	1.86	164.3	腐食	淺水底棲
諸羅樹蛙	2.37	1.42	0.88	0.63	1.38	163.2	腐食	淺水底棲
橙腹樹蛙	1.48	0.96	0.56	0.44	0.92	158.1	腐食	淺水底層
盤古蟾蜍	3.99	2.45	1.24	1.25	2.25	164.6	腐食	溪水底棲
碧眼樹蛙	2.98	1.76	0.78	1.07	1.70	169.2	卵食	竹筒積水
王氏赤蛙	6.83	4.8	1.67	1.07	4.12	169.5	卵食	竹筒積水
艾氏樹蛙	3.57	2.11	0.76	1.12	1.95	167.3	卵食	竹筒積水

表二：蝌蚪測量數據以及食性棲地

## 參、研究結果與討論

### 一. 蝌蚪眼睛位置

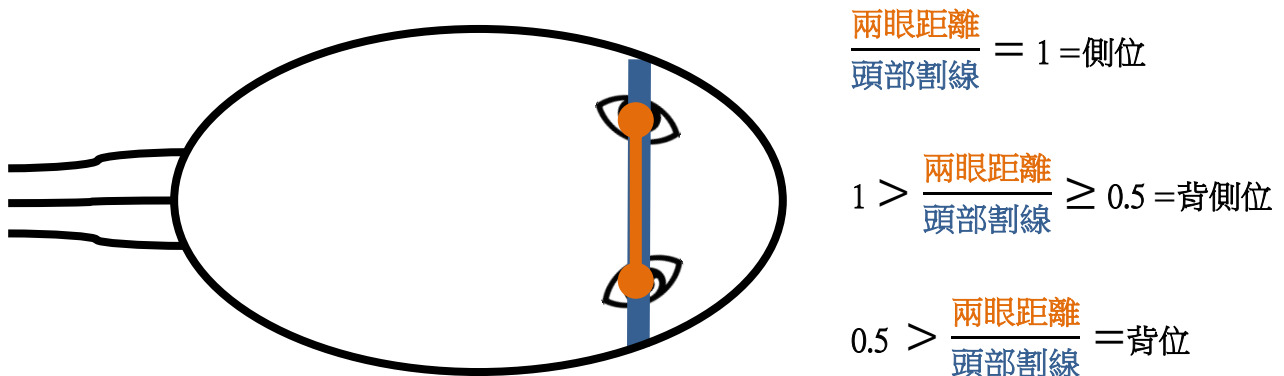
在周文豪博士的論文(台灣無尾兩棲類蝌蚪之型態、分類與棲境區隔, 1997)中將蝌蚪的眼睛分成背位、背側位、側位三類(圖十四)。

1. 背位是眼睛在頭部的上方。
2. 側位是眼睛在頭部的兩側。
3. 背側位是眼睛位置介於背位及背側位之間。



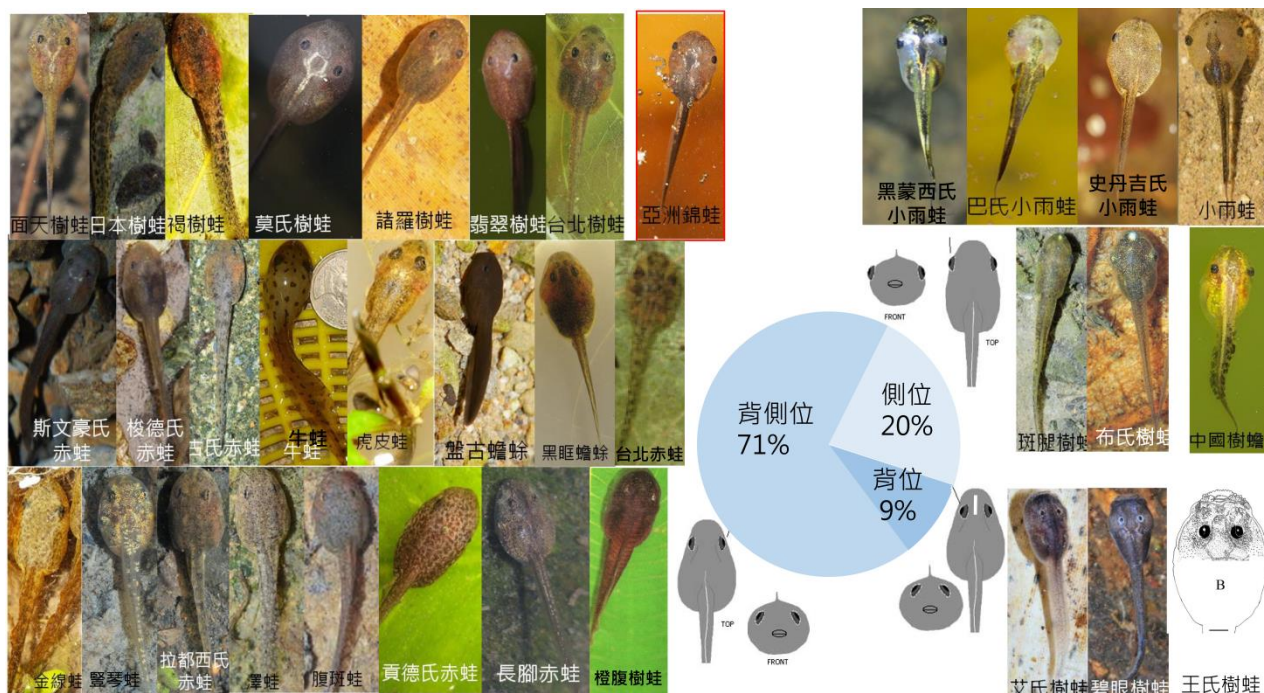
圖十四：蝌蚪眼睛位置分類示意圖  
(來源：Herpetofaunal Atlas - Latest News)

但文獻中並未明確地提到如何分成這三類，於是我們依據蝌蚪眼睛在頭上的相對位置將蝌蚪分類，我們將蝌蚪的兩眼距離除以其頭部割線，我們稱他為眼距比，其值等於一為側位；小於 1 為背位；介於 1 跟 0.5 之間為背側位 (圖十五)。



圖十五：蝌蚪分類臨界值示意圖

於是我們依以上臨界值將蝌蚪分成三類，與文獻大致相符合，可以看到大部份的蝌蚪都為背側位型，如圖十六及表三：



圖十六：將蝌蚪依據眼睛位置分成三類

- 1.背位(9%)：王氏樹蛙、艾氏樹蛙及碧眼樹蛙 3 種。
- 2.側位(20%)：黑蒙西氏小雨蛙、巴氏小雨蛙、史丹吉氏小雨蛙、小雨蛙、斑腿樹蛙、布氏樹蛙及中國樹蟾 7 種。
- 3.背側位(71%)：面天樹蛙、日本樹蛙、褐樹蛙、莫氏樹蛙、諸羅樹蛙、翡翠樹蛙、台北樹蛙、斯文豪氏赤蛙、梭德氏赤蛙、古氏赤蛙、牛蛙、虎皮蛙、盤古蟾蜍、黑眶蟾蜍、金線蛙、豎琴蛙、拉都西氏赤蛙、澤蛙、腹斑蛙、長腳赤蛙、台北赤蛙、橙腹樹蛙、貢德氏赤蛙及亞洲錦蛙 24 種。

如表三將蝌蚪眼距排列後，發現在臨界值部分，如亞洲錦蛙，雖被分類在背側位，但習性很接近側位。



圖十七

眼位	物種名	兩眼間距	蝌蚪食性	棲息環境
側位 lateral	黑蒙西氏小雨蛙	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
	巴氏小雨蛙	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
	中國樹蟾	1.00	腐食	靜水懸泳
	布氏樹蛙	1.00	腐食	靜水懸泳
	斑腿樹蛙	1.00	腐食	靜水懸泳
	小雨蛙	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
	史丹吉氏小雨蛙	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
背側位 dorsal lateral	亞洲錦蛙	0.92	食懸浮粒子	表層浮泳
	貢德氏赤蛙	0.87	腐食	靜水懸泳
	金線蛙	0.82	腐食	靜水懸泳
	豎琴蛙	0.67	腐食	淺水底棲
	澤蛙	0.65	腐食	淺水底棲
	拉都西氏赤蛙	0.55	腐食	淺水底棲
	面天樹蛙	0.71	腐食	淺水底棲
	莫氏樹蛙	0.68	腐食	深水底棲
	翡翠樹蛙	0.63	腐食	深水底棲
	台北樹蛙	0.61	腐食	淺水底棲
	褐樹蛙	0.58	刮食	溪流底棲
	日本樹蛙	0.57	刮食	溪流底棲
	黑眶蟾蜍	0.57	腐食	深水底棲
	台北赤蛙	0.84	腐食	靜水懸泳
	美洲牛蛙	0.80	腐食	靜水懸泳
	虎皮蛙	0.68	肉食攻擊	淺水底層
	古氏赤蛙	0.60	腐食	溪流底棲
	腹斑蛙	0.60	腐食	深水底棲
	斯文豪氏赤蛙	0.59	刮食	溪流底棲
	梭德氏赤蛙	0.59	刮食	溪流底棲
長腳赤蛙	0.50	腐食	淺水底棲	
諸羅樹蛙	0.64	腐食	淺水底棲	
橙腹樹蛙	0.61	腐食	淺水底層	
盤古蟾蜍	0.55	腐食	溪水底棲	
背位 dorsal	碧眼樹蛙	0.46	卵食	竹筒積水
	王氏樹蛙	0.41	卵食	竹筒積水
	艾氏樹蛙	0.39	卵食	竹筒積水

表三：將蝌蚪依據眼睛位置分成三類



## 二. 蝌蚪視野範圍

有些蝌蚪眼距相同，但眼睛角度不相同(圖十八)，也就是說，有些蝌蚪眼睛往頭的前看，有些蝌蚪眼睛往頭的兩側看，所以我們無法只用上述的蝌蚪分類完全表示蝌蚪的眼睛型態，我們用蝌蚪的眼睛角度將他們分成側視型及前視型兩種。



側視型視野

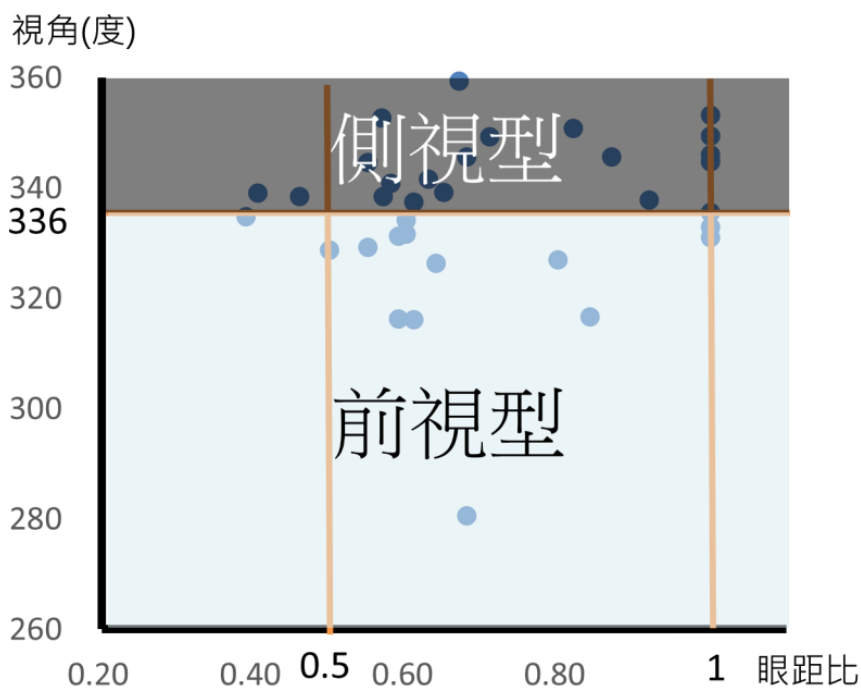


前視型視野

側視型蝌蚪眼睛比較往頭的兩側看；  
前視型蝌蚪眼睛比較往頭的前側看。

圖十八：側視型蝌蚪及前視型蝌蚪

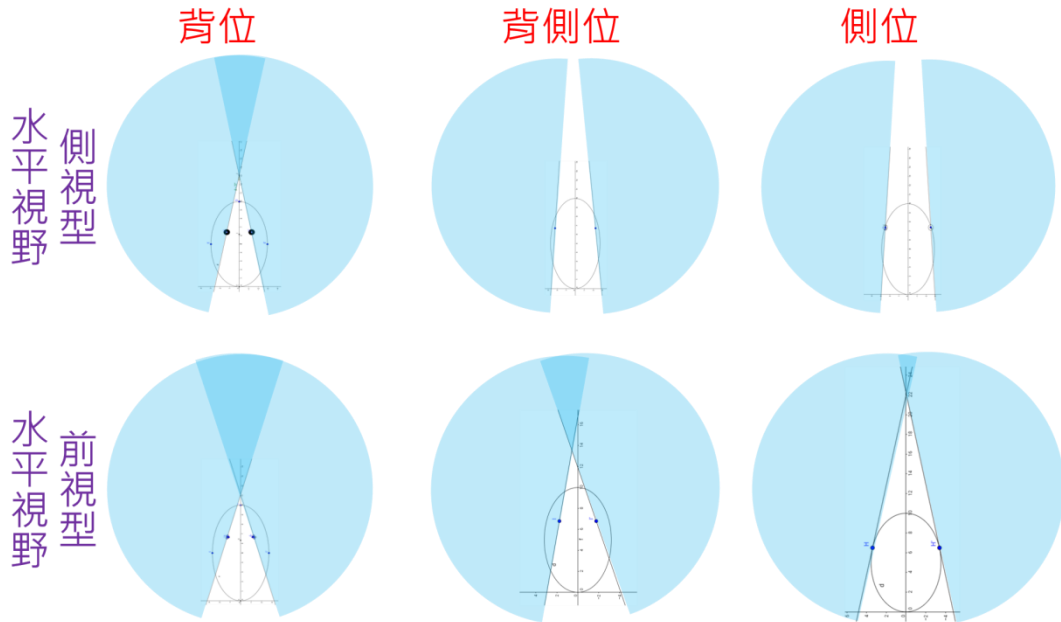
我們將 34 種蝌蚪整體視野的平均作為區分前視型及側視型的臨界值，為  $336^\circ$ 。  
大於  $336^\circ$  側視型視野，小於  $336^\circ$  為前視型視野(圖十九)。



圖十九：將蝌蚪依據視野分成兩類

綜合上述兩種分類依據，可將蝌蚪分成六類，如圖二十：

- 1.背位側視型      3.背側位側視型      5.側位側視型
- 2.背位前視型      4.背側位前視型      6.側位前視型



圖二十：蝌蚪分成六類

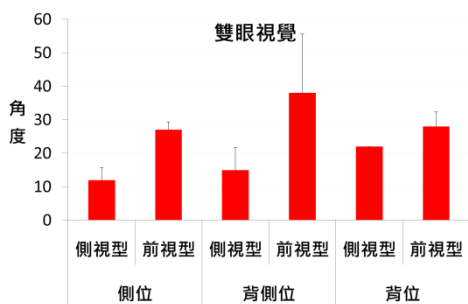
從圖二十我們可以看到，眼睛位置分類同類型的蝌蚪，前視型的蝌蚪頭前的雙眼視覺區比側視型的蝌蚪大；而側視型的蝌蚪整體的視野比前視型的蝌蚪廣。

用 T test 做統計，也可以看到側視型蝌蚪的視野範圍與前視型蝌蚪的視野範圍有顯著的差異。

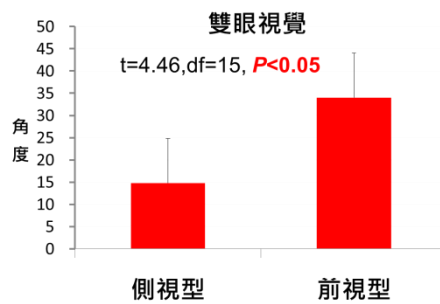
從圖二十一可以看到眼睛位置分類相同的蝌蚪，前視型蝌蚪的雙眼視覺區都比側視型大。

從圖二十二可以看到前視型蝌蚪的雙眼視覺區遠大於側視型蝌蚪，有顯著差異。

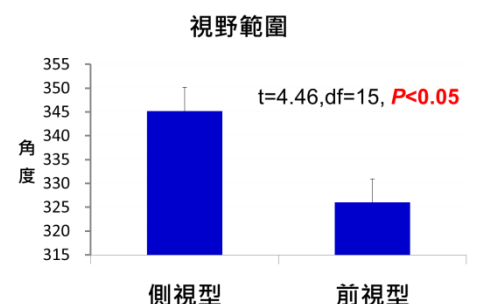
從圖二十三可以看到側視型蝌蚪的整體視覺遠廣於前視型蝌蚪有顯著差異。



圖二十一



圖二十二



圖二十三

以上的都是蝌蚪的水平視野，蝌蚪也需要垂直的視野，所以我們也測量了蝌蚪的垂直視野。



圖二十四：蝌蚪垂直視野示意圖

如圖二十四，我們可以看到，從垂直視野來看，背位型蝌蚪在頭上的兩眼視覺重疊區比其他兩者大，也就是說，背位型蝌蚪眼睛多看頭的上方，而側位型蝌蚪兩眼視覺重疊區最小，也就是說，側位型蝌蚪眼睛多看兩側，整體視野較廣，甚至可以看到下方的視野。

然而在 A Primer For The Morphology Of Anuran Tadpoles (Altig,2007)這篇論文中，只將蝌蚪分為背位及側位兩類，他們是依據蝌蚪的垂直視野分，而我們的分類是依據蝌蚪俯視圖中，眼睛在頭上的相對位置區分背位、背側位及側位，與文獻中的分類相比，我們分類中的背位及背側位在文獻中均屬於背位，是因為文獻中的分類依據是側位型只往兩側看，而其餘都是背位型蝌蚪。再從我們所測量出的垂直視野來看(圖二十四)，我們背側位從背位區分出來，因為背位所看到的垂直視野與背側位是不同的。而文獻中並無實際測量蝌蚪之視野，沒有明確的標示何謂往兩側看，我們的數據均為測量值，是經過數學幾何分依量化過的數值。

我們將上述的分類套用置之前的數據，整理出以下的表四。

眼位	視角	物種名	科名	屬名	兩眼間距	視野範圍	雙眼視覺區	蝌蚪食性	棲息環境
側位 lateral	側視型	黑蒙西氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	346	14	食懸浮粒子	表層浮泳
		巴氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	349	11	食懸浮粒子	表層浮泳
		中國樹蟾	樹蟾科	<i>Hyla</i>	1.00	353	7	腐食	靜水懸泳
	前視型	布氏樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	345	15	腐食	靜水懸泳
		斑腿樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	333	27	腐食	靜水懸泳
		小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	335	25	食懸浮粒子	表層浮泳
		史丹吉氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Micryletta</i>	1.00	331	29	食懸浮粒子	表層浮泳
背側位 dorsal lateral	側視型	亞洲錦蛙	狹口蛙科	<i>Kaloula</i>	0.92	338	22	食懸浮粒子	表層浮泳
		貢德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Hylarana</i>	0.87	346	14	腐食	靜水懸泳
		金線蛙	赤蛙科	<i>Pelophylax</i>	0.82	351	9	腐食	靜水懸泳
		豎琴蛙	赤蛙科	<i>Babina</i>	0.67	359	1	腐食	淺水底棲
		澤蛙	赤蛙科	<i>Fejervarya</i>	0.65	339	21	腐食	淺水底棲
		拉都西氏赤蛙	赤蛙科	<i>Hylarana</i>	0.55	345	15	腐食	淺水底棲
		面天樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.71	349	11	腐食	淺水底棲
		莫氏樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.68	346	14	腐食	深水底棲
		翡翠樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.63	342	18	腐食	深水底棲
		台北樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.61	337	23	腐食	淺水底棲
	前視型	褐樹蛙	樹蛙科	<i>Buergeria</i>	0.58	341	19	刮食	溪流底棲
		日本樹蛙	樹蛙科	<i>Buergeria</i>	0.57	353	7	刮食	溪流底棲
		黑眶蟾蜍	蟾蜍科	<i>Duttaphrynus</i>	0.57	338	22	腐食	深水底棲
		台北赤蛙	赤蛙科	<i>Hylarana</i>	0.84	317	43	腐食	靜水懸泳
		美洲牛蛙	赤蛙科	<i>Lithobates</i>	0.80	327	33	腐食	靜水懸泳
		虎皮蛙	赤蛙科	<i>Hoplobatrachus</i>	0.68	281	80	肉食攻擊	淺水底層
		古氏赤蛙	赤蛙科	<i>Limnonectes</i>	0.60	334	26	腐食	溪流底棲
		腹斑蛙	赤蛙科	<i>Babina</i>	0.60	332	28	腐食	深水底棲
		斯文豪氏赤蛙	赤蛙科	<i>Odorrana</i>	0.59	331	29	刮食	溪流底棲
		梭德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.59	316	44	刮食	溪流底棲
背位 dorsal	側視型	長腳赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.50	329	31	腐食	淺水底棲
		諸羅樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.64	326	34	腐食	淺水底棲
		橙腹樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.61	316	44	腐食	淺水底層
		盤古蟾蜍	蟾蜍科	<i>Bufo</i>	0.55	329	31	腐食	溪水底棲
	前視型	碧眼樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.46	338	22	卵食	竹筒積水
		王氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.41	339	21	卵食	竹筒積水
		艾氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.39	335	25	卵食	竹筒積水

表四：蝌蚪眼睛型態數據、棲地、食性及分類之總表

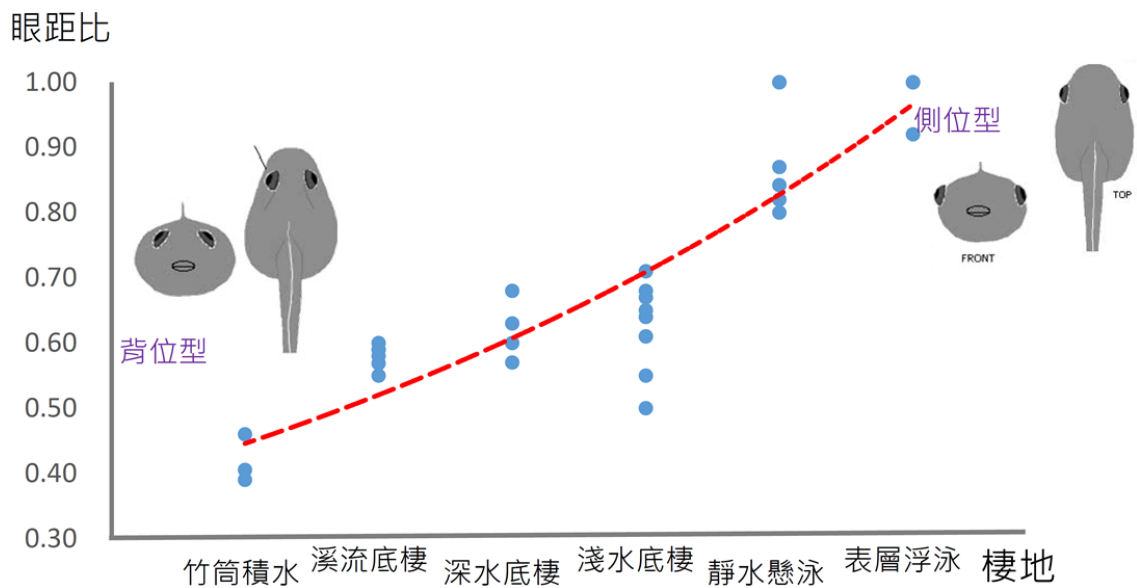
### 三.眼睛位置與視野範圍的影響因素

蝌蚪眼睛型態有所差異，於是我們需探討其差異之影響因素，我們將蝌蚪的眼睛型態與他們的棲地水層、食性食物及親緣關係作比對。

#### (一)棲地水層

蝌蚪棲地依水域分成：竹筒積水、溪流底棲、深水底棲、靜水懸泳、靜水懸泳、表層浮泳  
如圖二十五所示，蝌蚪眼睛位置及其生存水域有極大相關性。

越接近底層或水域越小蝌蚪較需要往上看，則蝌蚪眼距越小，蝌蚪眼睛位置越靠近頭部上方，眼睛型態越接近背位型；越接近表層蝌蚪則不那麼需要往上看，大多都平視，甚至需要看下方的視野，則蝌蚪眼距越大，蝌蚪的眼睛位於頭部兩側，眼睛型態越接近側位型。



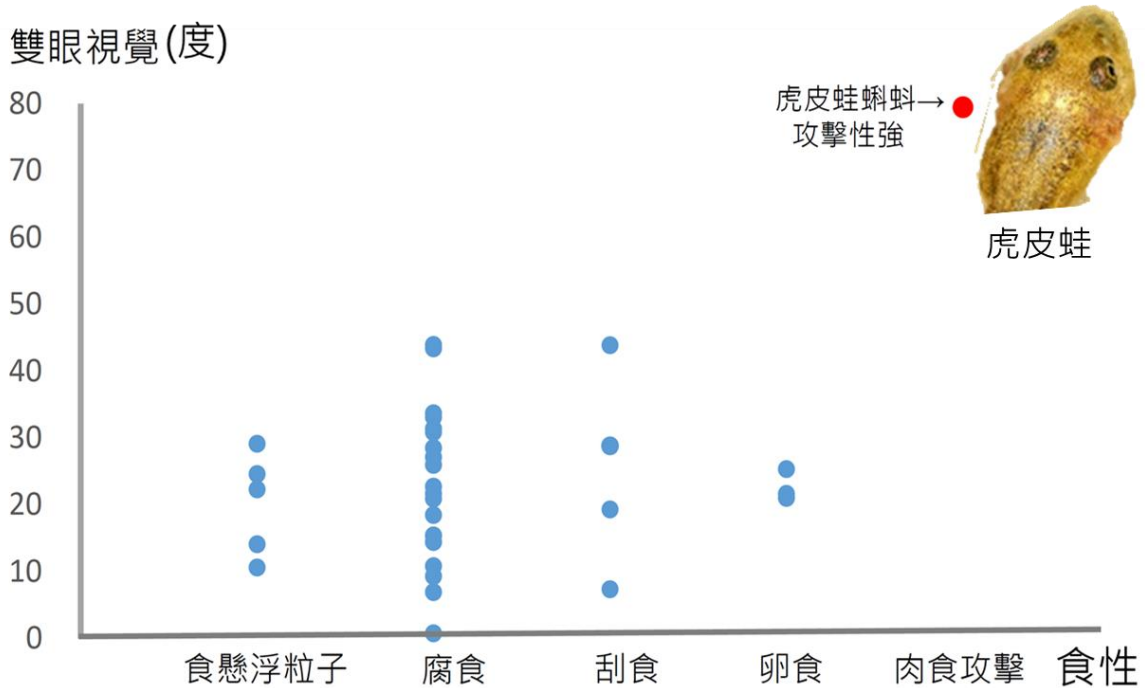
圖二十五：蝌蚪眼睛位置與棲地之關係

## (二)食性食物

一般來說，具有角質齒的蝌蚪在食物的選擇上有很大的彈性，如果是不具角質齒的蝌蚪在食物的選擇上相對就比較單調，如狹口蛙科的蝌蚪，通常透過濾食的方式來取得養分。

肉食性的蝌蚪(ex:虎皮蛙)視角與其他食性的蝌蚪有顯著的差異，可以明顯地看到(如圖二十六)，大部分蝌蚪的雙眼視覺區都在 50°以下，而虎皮蛙蝌蚪的雙眼視覺高達 80°明顯高於其他食性的蝌蚪相當多，認為因為虎皮蛙為肉食性需要捕食動物，需要有較好的距離感，因此有較好的雙眼視覺。

從此可以發現蝌蚪的視野範圍與其食性有相關，而與陸地上動物的視野影響因素相呼應。



圖二十六：蝌蚪雙眼視覺與食性之關係

### (三)親緣關係

眼位	視角	物種名	科名	屬名	兩眼間距	蝌蚪食性	棲息環境
側位	前視型	斑腿樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	腐食	靜水懸泳
側位	側視型	布氏樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	腐食	靜水懸泳
背側位	側視型	日本樹蛙	樹蛙科	<i>Buergeria</i>	0.58	刮食	溪流底棲
背側位	側視型	褐樹蛙	樹蛙科	<i>Buergeria</i>	0.57	刮食	溪流底棲
背位	前視型	艾氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.39	卵食	竹筒積水
背位	前視型	王氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.41	卵食	竹筒積水
背位	側視型	碧眼樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.46	卵食	竹筒積水
背側位	側視型	面天樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.71	腐食	淺水底棲
背側位	前視型	諸羅樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.64	腐食	淺水底棲
背側位	側視型	莫氏樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.68	腐食	深水底棲
背側位	側視型	翡翠樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.63	腐食	深水底棲
背側位	側視型	台北樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.61	腐食	淺水底棲
側位	前視型	小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
側位	側視型	黑蒙西氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
側位	側視型	巴氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
側位	前視型	史丹吉氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Micryletta</i>	1.00	食懸浮粒子	表層浮泳
背側位	前視型	腹斑蛙	赤蛙科	<i>Babina</i>	0.53	腐食	深水底棲
背側位	側視型	豎琴蛙	赤蛙科	<i>Babina</i>	0.61	腐食	淺水底棲
背側位	側視型	貢德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Hylarana</i>	0.87	腐食	靜水懸泳
背側位	側視型	拉都西氏赤蛙	赤蛙科	<i>Hylarana</i>	0.55	腐食	淺水底棲
背側位	前視型	長腳赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.50	腐食	淺水底棲
背側位	前視型	梭德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.59	刮食	溪流底棲

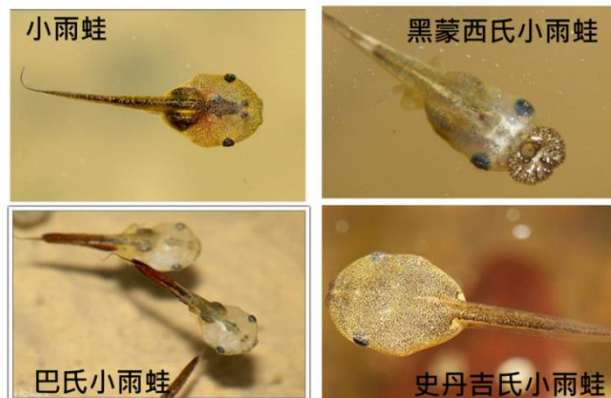
表五：蝌蚪雙眼視覺與食性之關係

我們將蝌蚪眼睛型態與他們的親緣關係比對(表五)，發現同屬的蝌蚪其眼睛位置在分類上是相同的，因此我們認為親緣關係接近的蝌蚪其眼睛位置會較相似。

例如，在 *Microhyla* 這一屬的蝌蚪，他們都是屬於側位型的(圖二十七)。

### 側位型

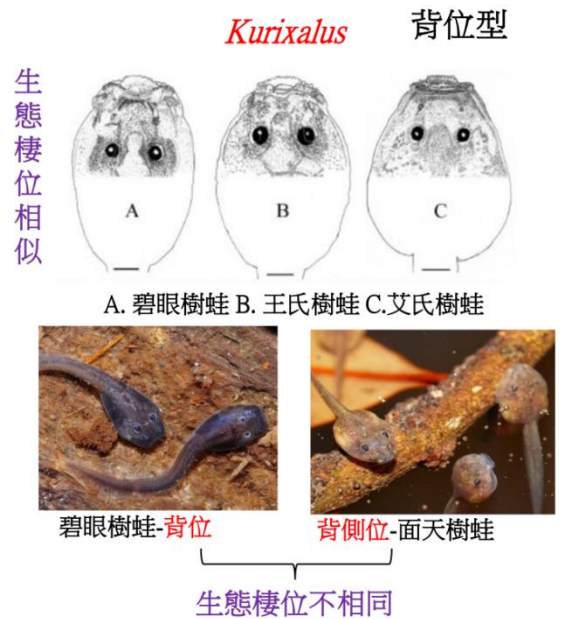
#### 表層浮泳-食源懸浮粒子 *Microhyla*



圖二十七

但在 *Kurixalus* 這一屬的四種蛙：碧眼樹蛙、王氏樹蛙、艾氏樹蛙以及面天樹蛙，其中碧眼樹蛙、王氏樹蛙以及艾氏樹蛙都是屬於背位型的蝌蚪，面天樹蛙卻是背側位型的(圖二十八)。

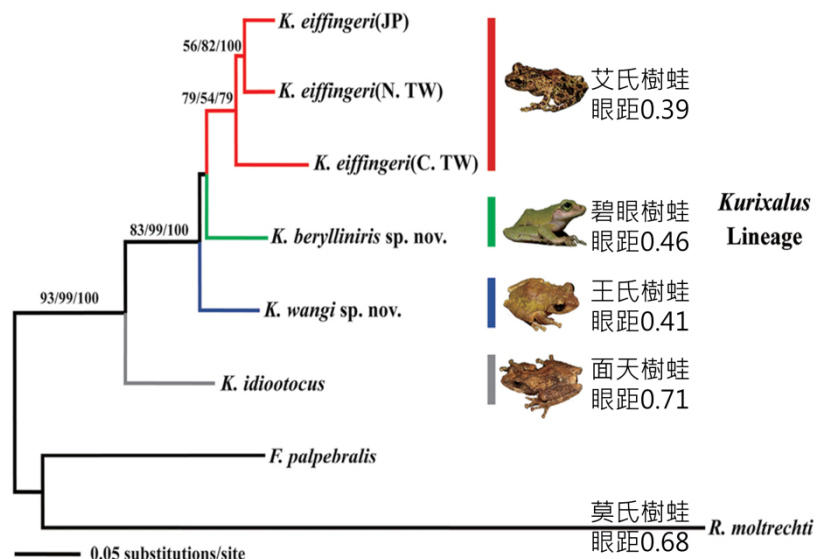
我們認為這與他的生態棲位有所關係，因為面天樹蛙的食性及棲地都與其他三種不同，面天樹蛙是腐食性且淺水底棲，其餘三種為卵食性且棲息於竹筒積水中，母蛙會定期回到竹筒內產下未受精的卵餵食蝌蚪，因此蝌蚪只能從狹窄的竹筒往上看是否有母蛙或食物供應，其眼睛演化成背位，非常靠近，像比目魚一樣，往上觀察。



圖二十八

(上方碧眼樹蛙、王氏樹蛙、艾氏樹蛙圖片  
來源: Wu et al., 2016, *Zookeys*.)

而我們從文獻(Wu et al., 2016, *Zookeys*.)中找到，在演化上面艾氏樹蛙、王氏樹蛙、碧眼樹蛙這三種青蛙的演化親緣關係非常靠近，與面天樹蛙演化關係較遠(圖二十九)。然而目前的研究多認為蝌蚪型態的多樣性可能是適應不同棲息環境的結果，因而未將其利用在親緣關係的分析上(楊雅惠，2010)，楊雅惠在 2010 年提到的論文中，有試著使用蝌蚪特徵建構演化樹，他是用蝌蚪的 52 個口部特徵，但相差甚大。可是從我們的實驗來看，*Kurixalus* 這一屬的演化關係樹與我們的研究數據是相符的(圖二十九)，因此我們認為蝌蚪眼睛型態可用於輔助兩棲類演化分類。

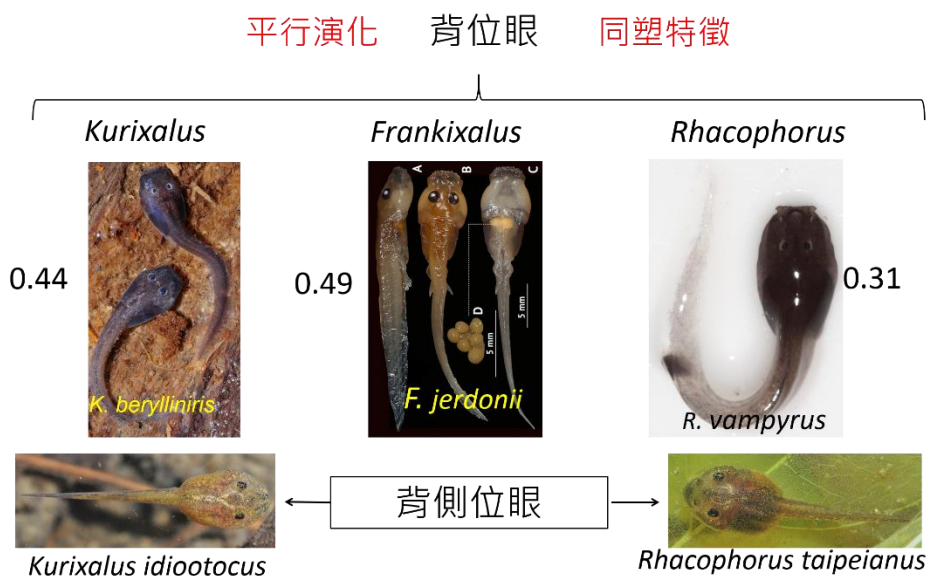


圖二十九： *Kurixalus* 親緣關係樹與測量的眼距資料



我們也搜尋了國外同樣是樹蛙科卵食性且棲息於竹筒積水的蝌蚪，*Frankixalus jerdonii* 與 *Rhacophorus vampyrus*，發現他們的眼睛型態均與同屬不為卵食性棲地不為竹筒積水的蝌蚪不同，其他蝌蚪眼睛位置屬於背側位型，*F. jerdonii* 與 *R. vampyrus* 均屬於背位型。我們認為這是為了適應其生態棲位的平行演化，而背側位為其祖徵，背位眼為他們的同塑特徵(圖三十)。

### 樹蛙科不同屬卵食性蝌蚪



圖三十

(來源: Wu et al., 2016, *Zookeys*.)

而在側位的部分，狹口蛙科、樹蟾科、布氏樹蛙以及斑腿樹蛙的棲地食性也相近(表六)，而也都屬於側位，我們認為這發生了趨同演化的現象。

眼位	視角	物種名	科名	屬名	兩眼間距	視野範圍	雙眼視覺區	蝌蚪食性	棲息環境
側位 lateral	側視型	黑蒙西氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	346	14	食懸浮粒子	表層浮泳
		巴氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	349	11	食懸浮粒子	表層浮泳
		中國樹蟾	樹蟾科	<i>Hyla</i>	1.00	353	7	腐食	靜水懸泳
	前視型	布氏樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	345	15	腐食	靜水懸泳
		斑腿樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.00	333	27	腐食	靜水懸泳
		小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.00	335	25	食懸浮粒子	表層浮泳
		史丹吉氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Micryletta</i>	1.00	331	29	食懸浮粒子	表層浮泳

表六

由以上兩個例子，可以看到生態棲位會影響蝌蚪的眼睛型態，相似的蝌蚪會平行演化或趨同演化出類似的眼睛型態。

## 肆、結論與應用

### 一、結論

1. 蝌蚪眼睛位置可依眼距分為"側位"、"背側位"及"背位"，眼距越小代表眼睛越靠頭頂。
2. 蝌蚪眼睛視野可分為"前視型"及"側視型"。前視型雙眼視覺區較大，側視型整體視野較廣。
3. 眼睛位置與『棲地』相關：棲息越接近水面，眼距越大，眼睛型態為「側位」。棲息水底或密閉空間，眼距越小，型態為「背位」。
4. 視野範圍與『食性』相關：肉食性蝌蚪雙眼視覺較廣，立體視覺較佳；濾食性蝌蚪整體視野較廣，立體視覺差。
5. 生態棲位相似的蝌蚪會平行演化或趨同演化出類似的眼睛型態。
6. 蝌蚪眼睛型態特徵可用以佐證物種的演化關係。

### 二、應用

1. 很少有關兩棲類眼睛位置的文獻，所以藉這個研究建立兩棲類資料庫套到演化分類。
2. 在周文豪的論文中，只有提到將蝌蚪定為背側位、背位及側位，並沒有一個明確的區分標準，而我們利用幾何繪圖的方式將不同種蝌蚪的眼睛位置量化後，找出一個較客觀的分類標準，是國內外第一個有實驗測量，量化眼位標準的，並希望能將這個標準，套用到世界其他種蝌蚪的眼位分類。
3. 現今兩棲類分類特徵均為成蛙特徵，我們發現蝌蚪的眼睛型態與他們的親緣關係有相關性，而將我們測出的眼距比套至 *Kurixalus* 這一屬的演化關係樹，發現是相吻合的，因此將來希望能用蝌蚪的眼睛特徵輔助演化分類。
4. 現今蝌蚪辨識特徵為排水孔及齒列，在野外採集時極難辨認，因此未來希望能將我們的數據應用置簡易的蝌蚪辨識，讓蝌蚪辨識可以從頭部上方辨識，不必再辛苦地將蝌蚪翻身，不必擔心好不容易翻身的蝌蚪又隨意翻回去，也不必再用顯微鏡來辨識蝌蚪，我們也計畫未來可製作成應用程式以供普通大眾使用。

## 伍、參考文獻

### A.論文

- 1.王慶讓, 2016, Systematic revision of the Taiwanese genus *Kurixalus* members with a description of two new endemic species (Anura, Rhacophoridae)
- 2.周文豪, 1997, 台灣無尾類蝌蚪之型態、分類與棲地區隔
3. Blumstein, D. T., Daniel, J. T., Griffin, A. S. and Evans, C. S. , 2000 , Insular tammar wallabies (*Macropus eugenii*) respond to visual but not acoustic cues from predators. *Behav. Biol.* 11,528 -535.
4. Collett, T. , 1977 , . Stereopsis in toads. *Nature* 267,349 -351.
5. Emsley, H. H. , 1948 , . *Visual Optics* (4th edn).
6. Fite, K. V. , 1973 , The visual fields of the frog and toad: a comparative study. *Behav. Biol.* 9, 707-718.
7. Guillemain, M., Martin, G. R. and Fritz, H. , 2002 , Feeding methods, visual fields and vigilance in dabbling ducks (Anatidae). *Funct. Ecol.* 16,522 -529.
8. Hanke, W., Römer, R. and Denhardt, G. , 2006) , Visual fields and eye movements in a harbor seal (*Phoca vitulina*) *Vis. Res.* 46,2804 -2814.
9. Harris, J. A. , 1965 , Eye movements of the dogfish *Squalus Acanthis* L. *J. Exp. Biol.* 43,107 -130.
10. Hueter, R. E. and Gruber, S. H. (1982). Recent advances in studies of the visual system of the juvenile lemon shark (*Negaprion Brevirostris*). *Fla. Sci.* 45, 11-25.
7. Hughes, A. (1972). A schematic eye for the rabbit. *Vis. Res.* 12,123 -128.
8. Hughes, A. (1979). A schematic eye for the rat. *Vis. Res.* 19,569 -588.
9. Martin, G. R. (1999). Optical structure and visual fields in birds: their relationship with foraging behaviour and ecology. In *Adaptive Mechanisms in the Ecology of Vision* (ed. S. N. Archer, M. B. A. Djamgoz, E. Loew, J. C. Partridge and S. Vallergera), pp. 485-508.
10. Rice, A. N. and Westneat, M. W. (2005). Coordination of feeding, locomotor and visual systems in parrotfishes (Teleostei: Labridae). *J. Exp. Biol.* 208,3503 -3518.
11. Watanuki, N., Kawamura, G., Kaneuchi, S. and Iwashita, T. (2000). Role of vision in behavior, visual field, and visual acuity of cuttlefish (*Sepia esculenta*). *Fish. Sci.* 66,417 -423.

12. D. Michelle McComb, Stephen M. Kajiura, 2008, Visual fields of four batoid fishes: a comparative study
13. Shu-Ping Wu, Chuan-Chin Huang, Chi-Li Tsai, Te-En Lin, Jih-Jia Jhang, Sheng-Hai Wu, 2016, Systematic revision of the Taiwanese genus *Kurixalus* members with a description of two new endemic species
14. Ronald Altig, 2007, A Primer For The Morphology Of Anuran Tadpoles
15. 楊雅惠, 2010, 樹蛙蝌蚪口部與頰咽腔型態發育變化及其在探討親緣關係的意義

#### B. 書籍文獻

1. 陳揚捷, 2014, 基礎雙眼視覺學, 新文京出版社
2. 楊懿如, 1999, 賞蛙圖鑑 台灣蛙類野外觀察指南, 中華民國自然與生態攝影協會出版
3. Roy W. & Altig, Ronald, 1999, Tadpoles: The Biology of Anuran Larvae, McDiarmid, Univ of Chicago Press
4. Tim Birkhead, 2014, 鳥的感官：當一隻鳥是什麼感覺？BIRD SENSE: What It's Like to Be a Bird?, 貓頭鷹出版社

#### C. 報章文章

1. Jason G Goldman, 2014, Evolution: Why do your eyes face forwards, British Broadcasting Corporation

#### 網路資料

1. 善於喬裝打扮的魚 <http://www.b111.net/novel/2/2432/625552.html>
2. 魚の視野 <http://www15.plala.or.jp/TENGUYA/skill%20up/skill%20up7.html>
3. 自然生活記趣 <http://blog.sina.com.tw/d100vs/>
4. 小勛's BLOG <http://www.ellison.idv.tw/ellisonblog/>
5. 楊懿如的青蛙學堂 <http://www.froghome.idv.tw/>
6. 台灣兩棲類保育網 <http://www.froghome.org/>

## 【評語】 050001

很有趣的行為生態研究，一改善樣品使用數據呈現，若能加入與國外物種比較，甚至一起分析，更有價值。