

# 2019 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050004  
參展科別 動物學  
作品名稱 眼位變變變-蝌蚪變態前後眼睛型態轉變之  
研究  
得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 臺北市立麗山高級中學  
指導教師 郭瓊華、林獻升  
作者姓名 林緬婷、施佳彤

關鍵詞 無尾兩棲類、眼睛位置、立體視覺

## 作者簡介



我們是台北市立麗山高中 18 屆數理資優班的學生，高一上時我們選修了生物研究方法課程，決定一起加入生專這個大家庭。研究的一開始，我們遇到許多挫折，像是找不到文獻、採集不到樣本等，再加上中學生獎助計畫及青少年培育計畫都沒有上，讓我們一度覺得我們的實驗沒有未來…，但在老師一路的陪伴及鼓勵下，始終沒有中斷實驗。今年寒假我們參加了動物行為研討會，展覽期間，沒有一刻可以停下來休息，人潮不斷往我們的海報聚集，獲得了來自各地兩棲類專家的建議，頓時對我們的實驗燃起一絲希望。雖然因為報錯科別沒有得獎，但卻對我們日後的研究有極大的幫助。很高興能夠入選國際科展，使我們有機會與各國選手分享我們的研究！

## 摘要

兩棲類是一群可以在水域及陸域棲息生活的動物，幼體期蝌蚪生活在水中，具尾巴可四處游動，多數為濾食或刮食，但變態後的成體青蛙主要生活在陸地，吐出長舌捕食會動的生物。因此蝌蚪變態前後不僅生存環境大為改變，攝食行為也從被動取食轉為主動攻擊，所以推測牠們在變態過程中，眼睛位置會有所變化，形成更大的雙眼(立體)視覺區，適應變態前後的劇烈改變。本研究運用向量幾何作圖方式，將頭部眼睛位置座標數值化後，分析不同蝌蚪變態前後眼睛位置與雙眼視覺的變化情形，試著找出變化趨勢與棲地、行為或演化之間的關聯性。結果發現不同眼睛類型的蝌蚪在變態過程中，眼睛位置會有不同的轉變過程，但變態之後，眼睛皆會往頭部兩側移動，眼睛至吻端的距離變短，導致雙眼視覺區變大，更具立體視覺，可精準判斷獵物位置。此外也發現蝌蚪視野範圍主要受水層高低影響，高水層蝌蚪眼睛位於頭兩側，低水層蝌蚪眼睛則生長在背部。成蛙視野範圍影響因素有棲地、行為及親緣關係，棲地分析結果顯示會在水陸兩邊活動的成蛙視野範圍最大。水棲型的福建大頭蛙具有強領域行為，陸棲性黑眶蟾蜍具瞄準捕食行為，故雙眼視覺都較大。同屬於樹蛙科的蛙類雙眼視覺大小的影響因素主要與活動高度有關，樹棲型樹蛙因需在樹林活動，演化出較大的雙眼視覺，以利判斷空間位置。艾氏、王氏與碧眼樹蛙等親緣關係接近的姊妹種因生殖行為類似，蝌蚪與成蛙都演化出具有相似的眼睛型態。

## Abstract

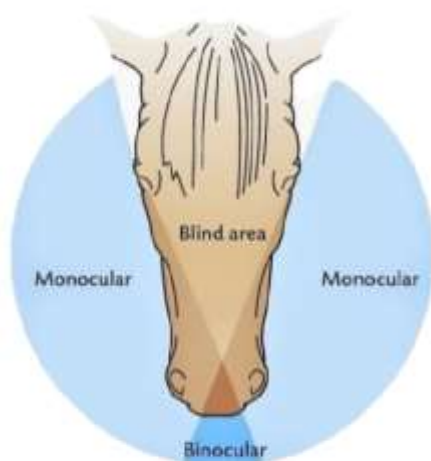
Amphibians are land-sea transitional species. After metamorphosis, they change their habitats, feeding habits and ecological niche. Due to the huge transformation, we speculate that their eyes' position might change during their metamorphosis, so they can have more binocular vision. We have already measured 36 kind of frogs' eyes' position in Taiwan and speculate their field of binocular vision by using GeoGebra and Image J. We found that frogs' field of binocular vision will increase in order to adapt their new living habitats. Then, we find out the main factor that effect tadpoles' field of binocular vision is the depth of the water they live. However, habitats, feeding behavior and phylogeny are the factors that affect frogs' field of binocular vision. According to the analysis, frogs that live in water and land have the biggest field of vision. Aquatic frog, Fujian large-headed frog, have strong territorial behavior ; terrestrial frog, spectacled toad, will aim at their prey, as a result, they have bigger field of binocular vision than others. The factor that affect Rhacophoridae is the height they live. Arboreal frog, evolve bigger field of binocular vision than others, in order to help them live on the tree. The relationship among Eiffinger' s tree frog 、 Wang' s tree frog 、 Emerald-eyed tree frog is close related, and they have similar breeding behavior, so they have similar eyes' position.

# 壹、前言

## 一、研究動機

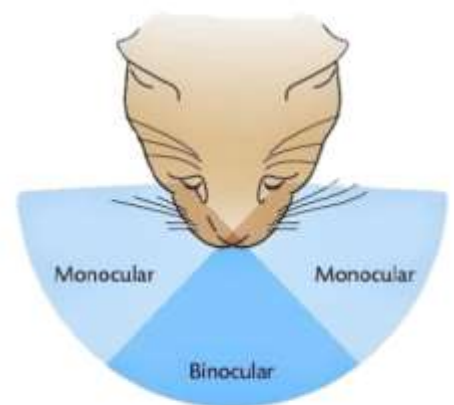
兩棲類是可以生活在水域及陸域的物種，蝌蚪時期棲息環境為水域，可在水層中上下左右的移動，環境較立體，且食性多元；而變態後，他們所棲息的环境則轉變為陸域，主要在地面移動，環境較平面，食性也都變為肉食性，生態棲位也從被捕食者轉為捕食者(楊懿如，1991)；(施信鋒，2011)。為了適應上述劇烈的變化，他們除了外觀上的改變及呼吸器官由腮轉變為肺外，視覺上也可能產生不一樣的變化。

我們知道被捕食者雙眼長在頭部的兩側，讓他們有較廣的視野範圍可以偵測天敵的所在位置。而捕食者雙眼則長在頭部前方因此產生較大的雙眼視覺區，可以有良好的距離感及立體感去判斷獵物的位置。由於草食動物的雙眼和嘴巴的距離較長，因此造成他們的頭前盲區較大，也代表草食動物較無法看到他眼前的東西；反觀，肉食動物的雙眼位於頭部的前端，雙眼和嘴巴的距離較短，頭前盲區較小，代表他們能看見眼前東西的範圍較大(陳揚捷，2014)。



被  
捕  
食  
者

捕  
食  
者



然而現在研究視覺的對象大多為陸地上的生物，如鳥類(Tim Birkhead,2014)、及水中生物，如魚類(McComb and Kajiura,2007)，而少許可以在陸地及水中活動的海豹(Hanke, Romer and Dehnhardt,2006)，幾乎沒有人研究生活史可以橫跨水陸的兩棲類生物，國內只有樂晴宇與覃文瑜在 2017 國際科展中發表一篇蝌蚪眼睛位置與視野範圍研究，利用不同眼睛型態將台灣三十四種蝌蚪分為三種類型，發現眼睛位置與棲息環境有相關，且演化關係較近者，眼睛型態較相同。但他們沒有研究蝌蚪變態過程中眼睛位置的變化情形，及不同種青蛙視覺上的差異。

之前研究主要探討變態前後身體構造的改變與適應，很少有探討幼體與成體的眼睛型態與視野範圍會產生什麼變化(Grany and Keating,1986)，而這些變化又會受到哪些因素的影響？因此我們研究台灣 36 種無尾兩棲類，並比對國外青蛙數據，想要找出變態前後的視覺變化趨勢，並解釋可能原因。

## 二、 研究目的

- (一)利用向量作圖幾何方式將蝌蚪與青蛙的頭部及眼睛座標化，定義型態特徵，計算視野範圍。
- (二)將特徵數據化後探討變態前中後的變化趨勢。
- (三)從棲息環境、活動方式與親緣關係等差異去探討不同種眼睛型態與視野範圍大小不同原因。

## 三、 研究問題

- (一) 蝌蚪變態前後視覺的轉變為何？
- (二) 影響青蛙視覺區因素為何？

## 四、 研究假說

- (一) 蝌蚪變態成青蛙後，需要較大的立體視覺以適應陸域生活，故眼睛位置會改變。
- (二) 兩棲類生活史有劇烈變化，因棲地、食性、體型、行為與親緣關係不相同，影響眼睛形態與視野範圍的因素應該會有所不同。

## 貳、研究方法與過程

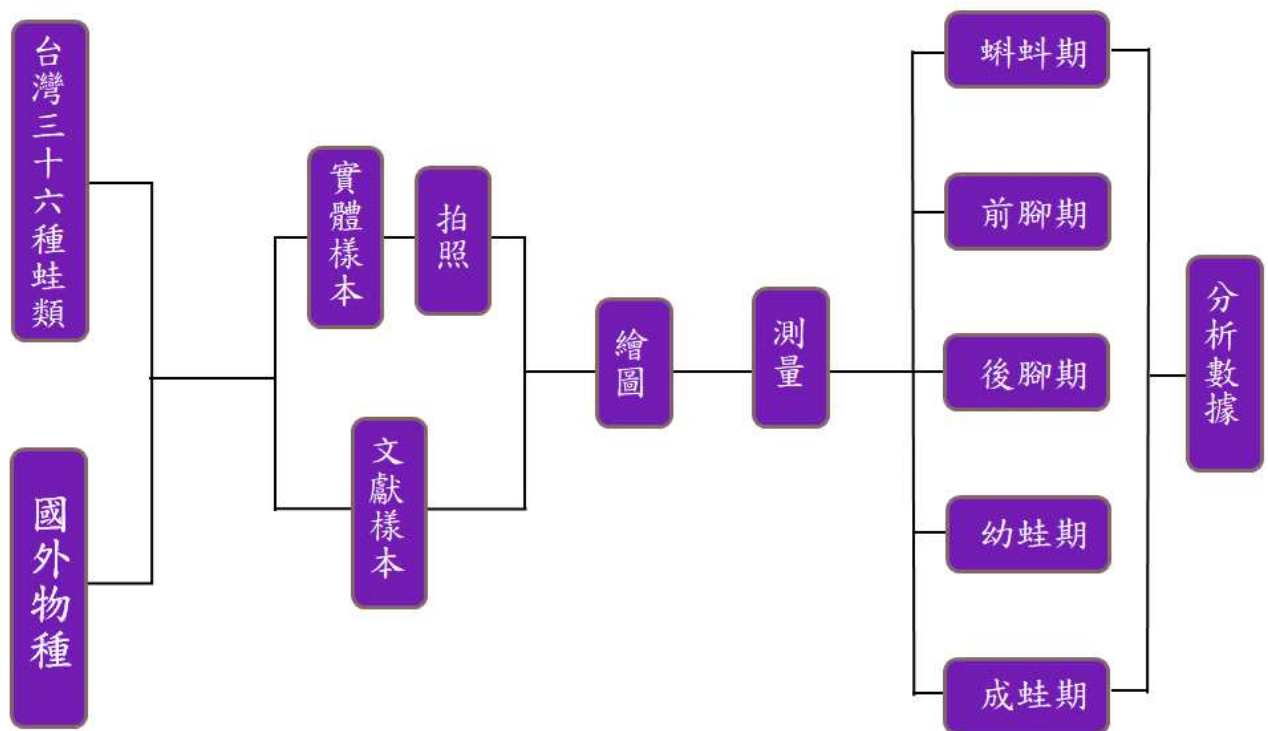
### 一、研究物種



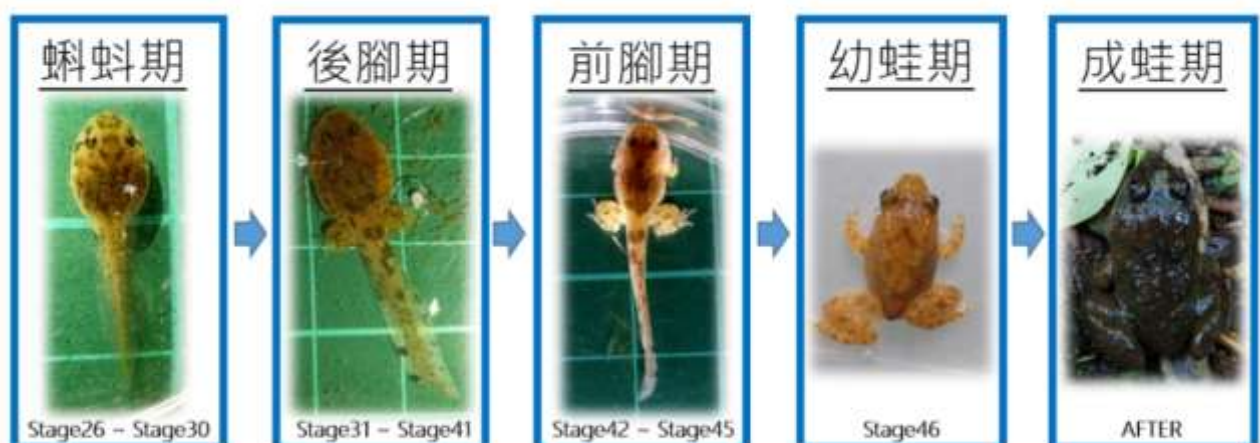
此次研究的物種為兩棲類無尾目(又稱蛙形目)中的蛙類，包括台灣現有蛙類三十六種及國外一種物種；國外物種為樹蛙科-海南溪樹蛙(*Buergeria oxycephalus*)，台灣物種分屬於六科：蟾蜍科、樹蟾科、狹口蛙科、赤蛙科、叉舌蛙科及樹蛙科。如下表(網址 2)。

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

## 二、 研究流程架構圖



我們依據 Ronald(2006)將蝌蚪分為五個時期(如下圖所示)，測量這五個時期蛙類的眼睛位置及視野上的變化。





### 三、 研究流程

#### (一) 蒐集樣本

##### 1. 實體樣本

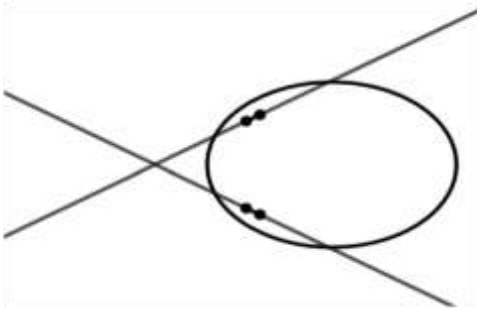
(1.) 到野外採集各類蝌蚪

(2.) 辨識物種並編碼

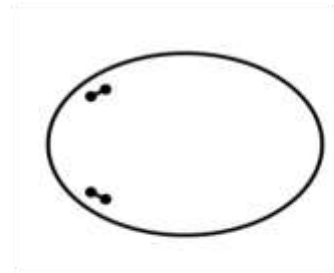
(3.) 分別在 stage26~30、stage31~40、stage41~45、stage46 拍攝俯視圖(如下圖所示)

## (二)繪製蝌蚪各時期的視野範圍

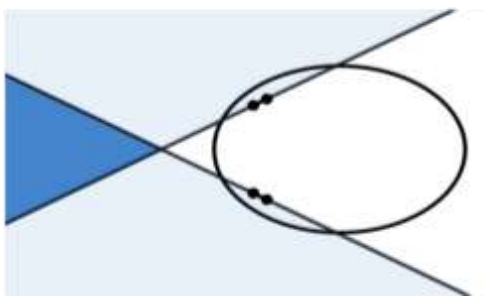
1. 定位眼睛在身體位置



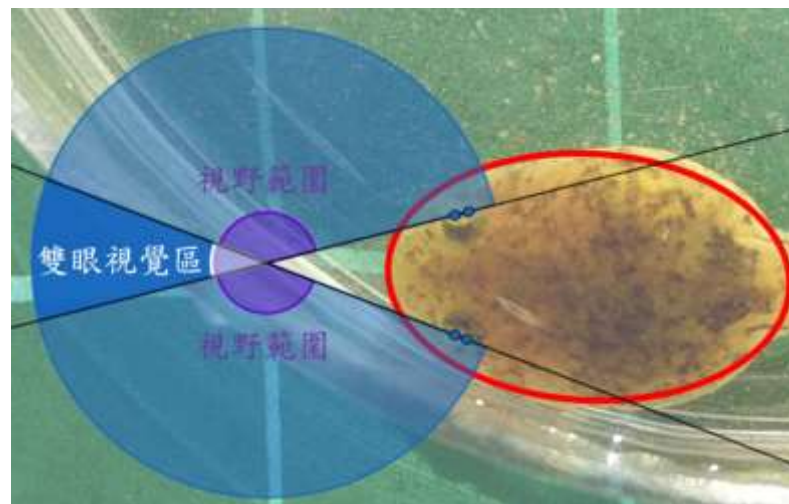
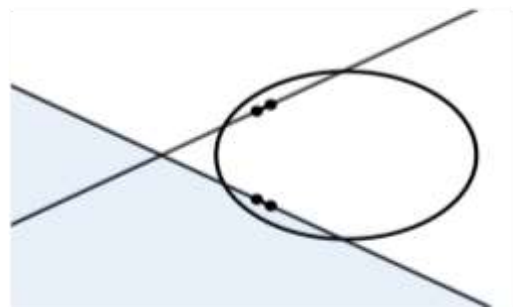
2. 沿眼睛做兩條切線



3. 繪製出單眼視野範圍



4. 重疊為雙眼視覺區

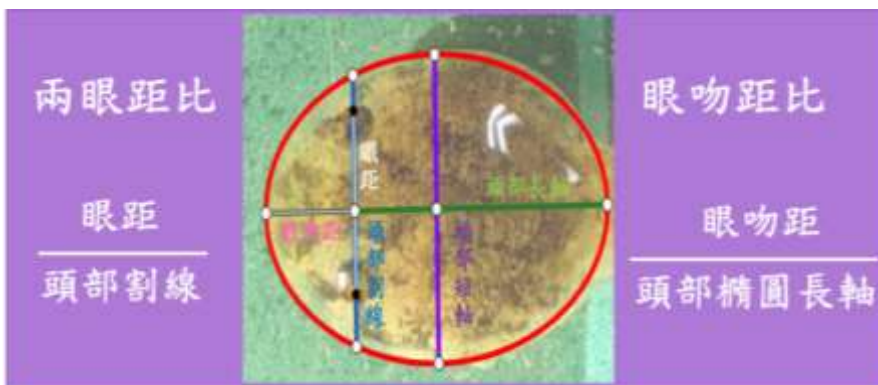


利用 GGB 幾何作圖軟體模擬蝌蚪視野範圍，由於我們無法得知蝌蚪真正所能看到的距離為何，因此我們測量其視野範圍角度及雙眼視覺區角度。

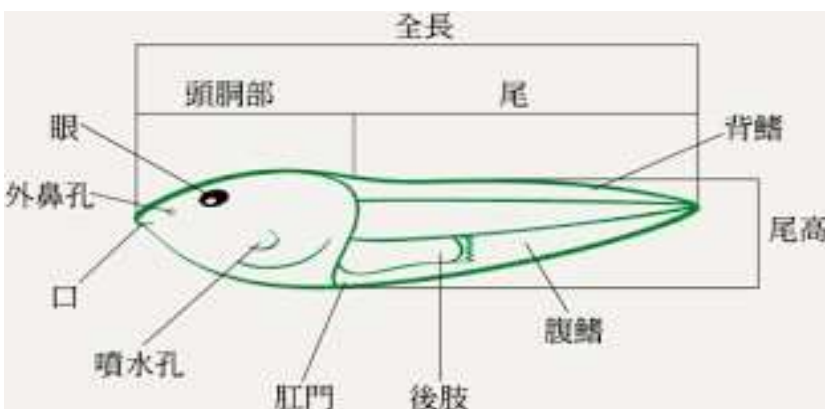
單眼視野範圍為一隻眼睛所看到的範圍，而雙眼視覺區為兩眼視野範圍重疊區域。在單眼視野範圍內所看到的東西較平面，而雙眼視覺區所看到的物體則較有立體感。

### (三)繪製與測量蛙類頭部及眼睛位置

1. 用 GeoGebra 數學幾何軟體描繪出頭部大小及眼睛位置
  - (1.) 用手繪圖形描繪出蝌蚪頭部，得一橢圓形
  - (2.) 畫出橢圓長軸及短軸
  - (3.) 平行頭部短軸於眼睛位置繪兩眼距
  - (4.) 測量其頭部長軸、眼吻距、眼距、頭部割線、體長
2. 用 Image J 生物影像計算軟體， 測量其體長、眼距、眼吻距、頭部短軸及頭部長軸
3. 計算蛙類各時期的眼距比(眼距/頭部短軸)和眼吻距比(眼吻距/頭部長軸)  
比較蛙類各時期眼距比及眼吻距比的變化



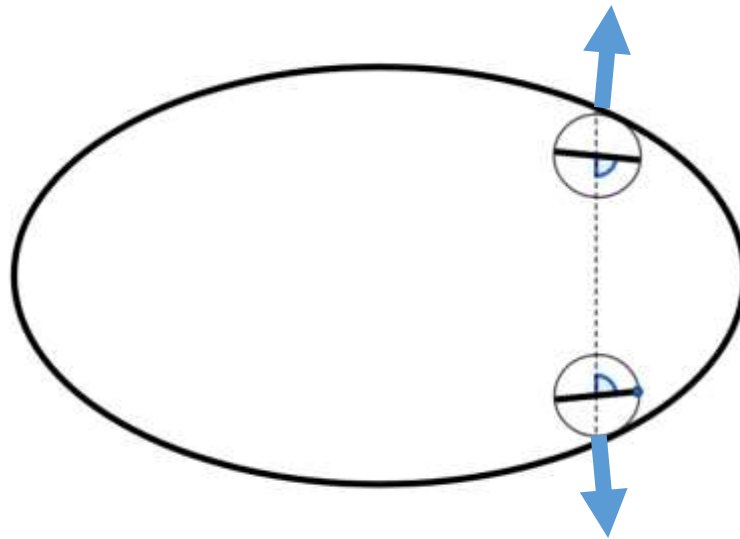
用 GGB 幾何作圖軟體定義两眼距比、眼吻距比兩種測量指標，作為數學座標系上的 X 座標及 Y 座標，藉此觀察蛙類在各個時期眼睛位置的變化。



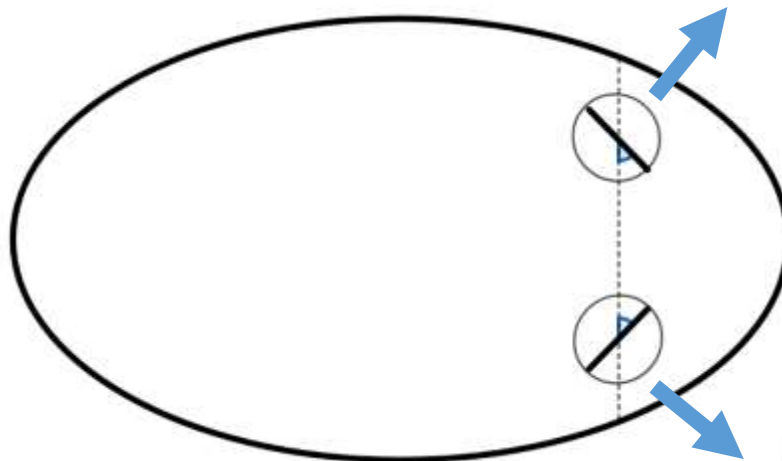
由於蝌蚪變態成青蛙後會由頭部長出四肢，所以在測量蝌蚪時期時指測量其頭部橢圓長軸，並不包含其尾部，以對應青蛙期。

#### (四) 測量蛙類眼睛角度

由於每隻蛙類的眼睛角度皆不同，而眼睛角度越大，切線斜率越大，兩切線交集處所夾出的角度(雙眼立體視覺區)就會越大。因此我們先繪製完視野範圍圖、量測完雙眼視覺區角度後，並回推兩切線與垂直軸之夾角，得出眼睛角度數值。



眼睛角度大

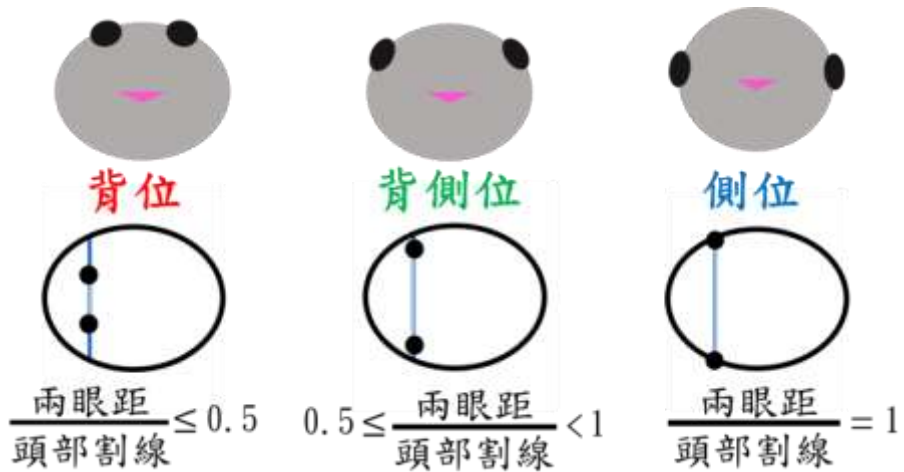


眼睛角度小

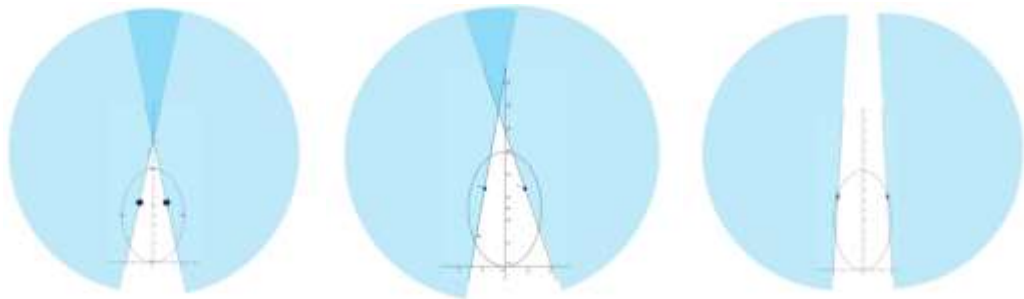
### (五) 蝌蚪眼睛型態分類標準

依據樂與覃(2017)所提出的定義方式，將蝌蚪分為三種眼位類型，分別為眼睛長在頭部兩側的「側位」，眼睛位於頭部中間的「背側位」，及眼睛長在頭頂上的「背位」。然而不管蝌蚪期牠們的眼睛型態為何，變態成青蛙後，牠們的眼睛皆會位於頭部兩側。

眼位分類示意圖



水平視野圖



垂直視野圖



資料來源：樂與覃(2017)

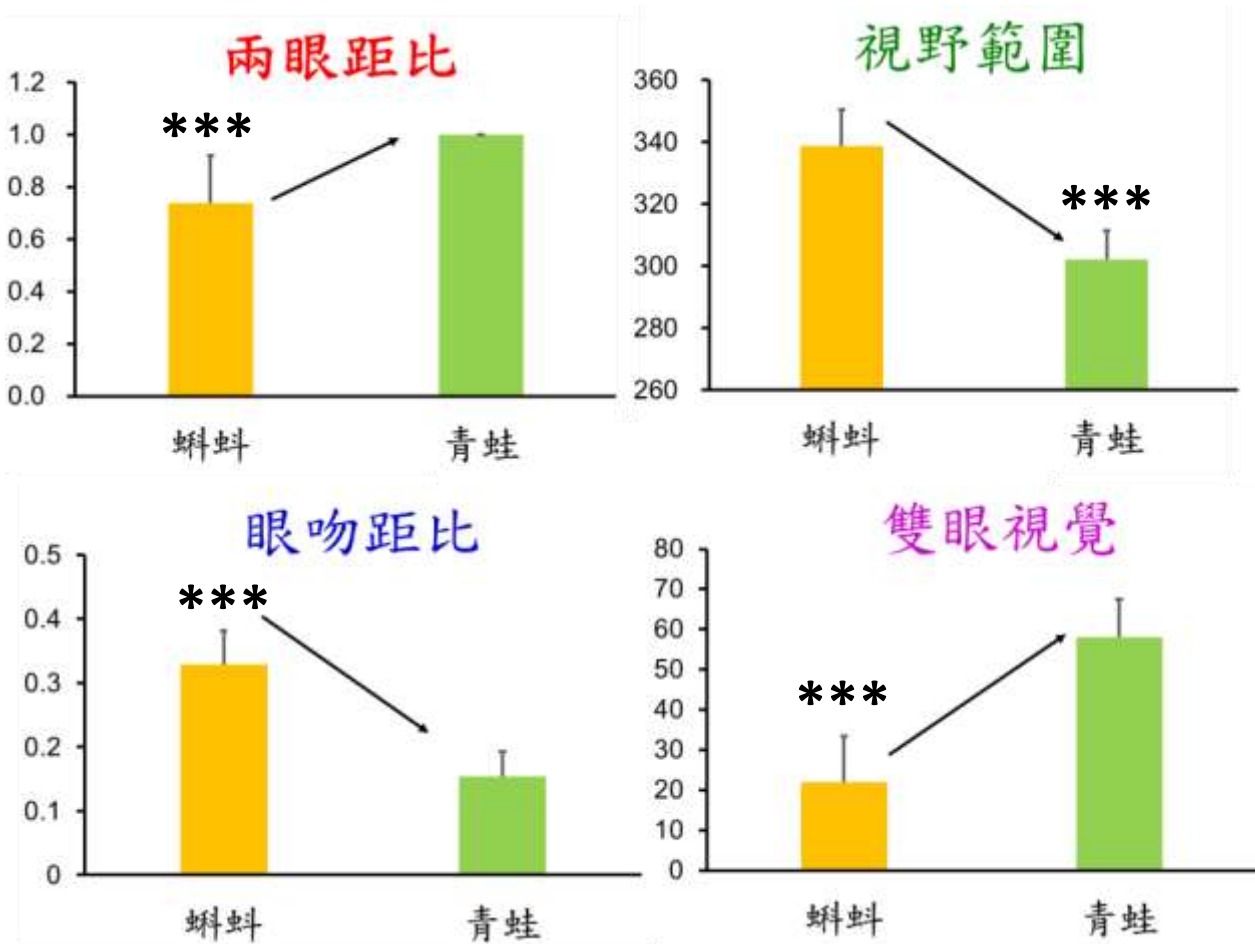
## 參、結果與討論

### 一、 台灣 36 種蛙類測量總表

我們蒐集台灣 36 種蛙類並測量它們的眼睛位置及繪製視野範圍，將所有數據整理後，並查詢蛙類棲息環境與食性資料，依據蝌蚪眼位、科別，整理成下表。

蝌蚪眼位	物種名	科別	屬名	两眼距比		眼吻距比		視野範圍		雙眼視覺區		眼睛高度		棲息環境		食性	
				蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙	蝌蚪	青蛙
側位	亞洲錦蛙	狹口蛙科	<i>Kaloula</i>	1.000	1.000	0.291	0.102	347.4	295.0	12.6	65.0	83.7	57.5	靜水懸泳	兩棲	食懸浮粒子	肉食性
	史丹吉氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.000	1.000	0.300	0.145	349.1	298.6	10.9	61.4	84.6	59.3	靜水懸泳	兩棲	食懸浮粒子	
	黑蒙西氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.000	1.000	0.337	0.100	346.1	298.9	13.9	61.1	83.1	59.5	靜水懸泳	兩棲	食懸浮粒子	
	小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.000	1.000	0.344	0.199	356.1	299.0	3.9	61.0	88.1	59.5	靜水懸泳	兩棲	食懸浮粒子	
	巴氏小雨蛙	狹口蛙科	<i>Microhyla</i>	1.000	1.000	0.302	0.110	346.1	303.5	13.9	56.5	83.1	61.8	靜水懸泳	兩棲	食懸浮粒子	
	中國樹蟾	樹蟾科	<i>Hyla</i>	1.000	1.000	0.378	0.084	351.7	309.3	8.3	50.7	85.9	64.7	靜水懸泳	樹棲	腐食	
	斑腿樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.000	1.000	0.323	0.188	348.1	302.0	11.9	58.0	84.1	61.0	靜水懸泳	樹棲	腐食	
布氏樹蛙	樹蛙科	<i>Polypedates</i>	1.000	1.000	0.329	0.197	352.3	295.7	7.7	64.3	86.2	57.9	靜水懸泳	樹棲	腐食		
背側位	福建大頭蛙	叉舌蛙科	<i>Limnodynastes</i>	0.675	1.000	0.238	0.139	341.9	289.6	18.1	70.4	81.0	54.8	流水總接	水棲	腐食	肉食性
	虎皮蛙	叉舌蛙科	<i>Hoplobatrachus</i>	0.671	1.000	0.185	0.168	303.3	289.6	56.7	70.4	61.7	54.8	靜水總接	兩棲	肉食	
	澤蛙	叉舌蛙科	<i>Fejervarya</i>	0.635	1.000	0.245	0.128	333.2	306.2	26.8	53.8	76.6	63.1	靜水總接	兩棲	腐食	
	海蛙	叉舌蛙科	<i>Fejervarya</i>	0.646	1.000	0.266	0.261	345.4	306.5	14.6	53.5	82.7	63.3	靜水總接	兩棲	---	
	金線蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.817	1.000	0.315	0.150	340.0	288.4	20.0	71.6	80.0	54.2	靜水懸泳	兩棲	腐食	
	琴蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.731	1.000	0.266	0.140	355.7	301.8	4.3	58.2	87.9	60.9	靜水總接	兩棲	腐食	
	斯文豪氏赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.603	1.000	0.279	0.197	330.2	305.8	29.8	54.2	75.1	62.9	流水擊吸	兩棲	刮食	
	貢德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.816	1.000	0.277	0.100	343.4	307.8	16.6	52.2	81.7	63.9	靜水懸泳	兩棲	腐食	
	腹斑蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.648	1.000	0.227	0.175	327.2	309.1	32.8	50.9	73.6	64.6	深水總接	兩棲	腐食	
	台北赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.842	1.000	0.294	0.181	346.7	314.2	13.3	45.8	83.4	67.1	靜水懸泳	兩棲	腐食	
	美洲牛蛙	赤蛙科	<i>Lithobates</i>	0.751	1.000	0.249	0.101	326.0	314.3	34.0	45.7	73.0	67.2	靜水懸泳	兩棲	腐食	
	梭德氏赤蛙	赤蛙科	<i>Pseudacris</i>	0.602	1.000	0.279	0.168	332.9	314.3	27.1	45.7	76.5	67.2	流水擊吸	兩棲	刮食	
	拉都希氏赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.661	1.000	0.269	0.158	336.1	314.5	23.9	45.5	78.1	67.3	靜水總接	兩棲	腐食	
	長腳赤蛙	赤蛙科	<i>Rana</i>	0.628	1.000	0.240	0.156	319.6	316.3	40.4	43.7	68.8	68.2	靜水總接	兩棲	腐食	
	莫氏樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.670	1.000	0.240	0.171	323.7	288.7	36.3	71.3	71.9	54.4	深水總接	樹棲	腐食	
	橙腹樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.508	1.000	0.300	0.142	336.1	289.0	23.9	71.0	78.1	54.5	靜水總接	樹棲	腐食	
	西天樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.665	1.000	0.230	0.156	339.1	293.6	20.9	66.4	79.6	56.8	靜水總接	樹棲	腐食	
	台北樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.691	1.000	0.317	0.132	333.5	295.8	26.5	64.2	76.8	57.9	靜水總接	樹棲	腐食	
	諸羅樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.629	1.000	0.277	0.110	337.2	296.1	22.8	63.9	78.6	58.1	靜水總接	樹棲	腐食	
	翡翠樹蛙	樹蛙科	<i>Rhacophorus</i>	0.652	1.000	0.222	0.207	328.5	303.6	31.5	63.5	74.3	58.3	深水總接	樹棲	腐食	
褐樹蛙	樹蛙科	<i>Boergeria</i>	0.638	1.000	0.380	0.103	344.7	306.2	15.3	53.8	82.4	63.1	流水擊吸	樹棲	刮食		
日本樹蛙	樹蛙科	<i>Boergeria</i>	0.697	1.000	0.236	0.138	344.1	310.8	15.9	49.2	82.1	65.4	流水總接	兩棲	刮食		
大田樹蛙	樹蛙科	<i>Boergeria</i>	0.527	1.000	0.206	0.171	360.0	323.6	---	36.4	---	71.8	流水總接	兩棲	刮食		
黑眶蟾蜍	蟾蜍科	<i>Bufo</i>	0.558	1.000	0.182	0.144	339.3	285.1	20.7	74.9	79.7	52.6	深水總接	陸棲	腐食		
盤古蟾蜍	蟾蜍科	<i>Bufo</i>	0.640	1.000	0.238	0.111	317.6	304.0	42.4	56.0	68.8	62.0	流水總接	陸棲	腐食		
背位	艾氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.385	1.000	0.278	0.187	341.3	310.5	18.7	75.4	80.7	52.3	竹筒總接	樹棲	卵食	肉食性
	碧眼樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.435	1.000	0.371	0.188	330.9	291.9	29.1	74.1	75.5	53.0	竹筒總接	樹棲	卵食	
	王氏樹蛙	樹蛙科	<i>Kurixalus</i>	0.428	1.000	0.274	0.147	339.0	296.5	21.0	71.8	79.5	54.1	竹筒總接	樹棲	卵食	

## 二、 變態前後眼睛型態變化

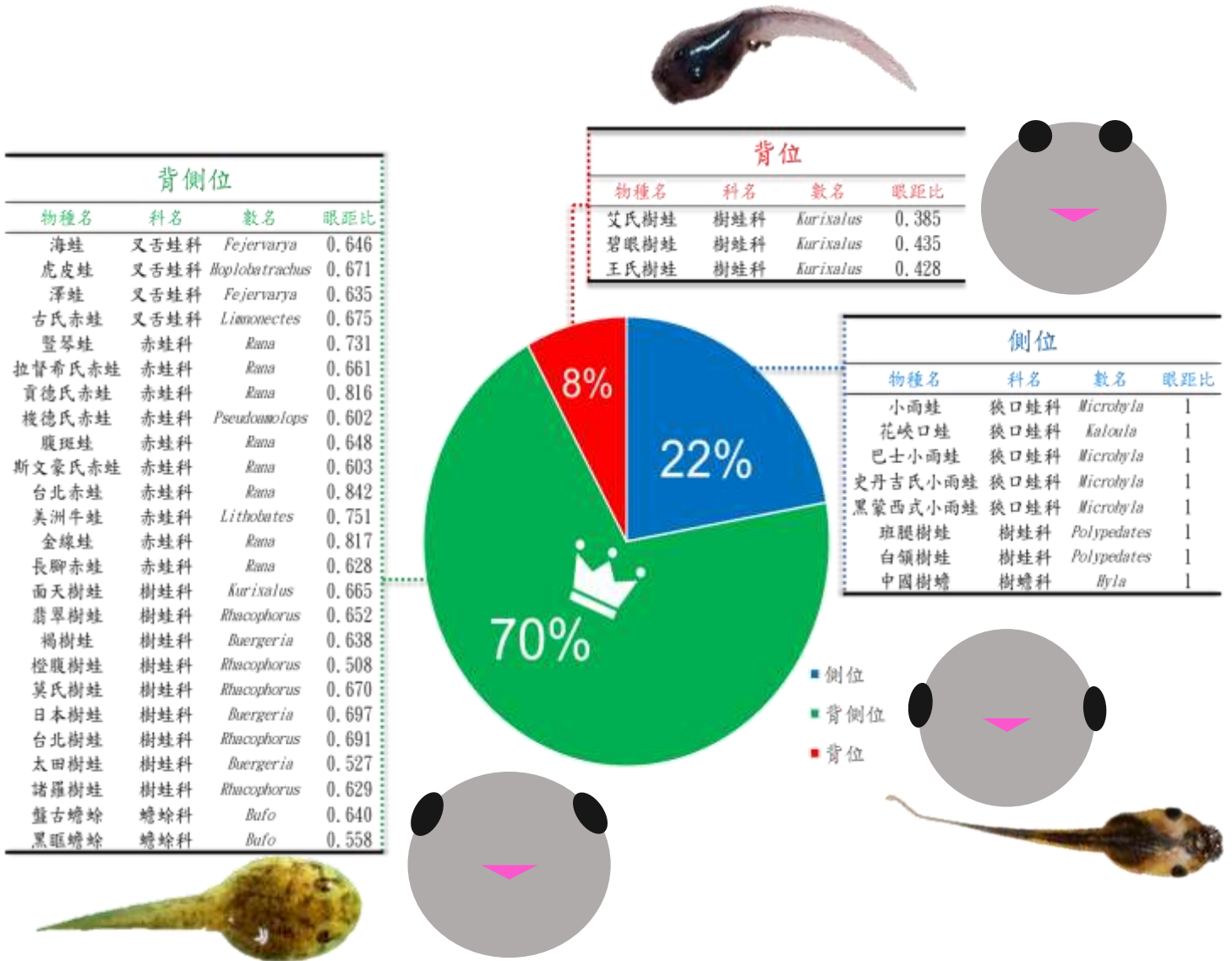


台灣三十六種青蛙蝌蚪平均測量值

將台灣三十六種蛙類所有測量數據進行平均，將測量所得兩眼距比、眼吻距比、視野範圍、雙眼視覺依據青蛙及蝌蚪分群進行統計，得到上述四張圖表。發現蝌蚪變態成青蛙後兩眼距比呈現上升的趨勢，而我們又進一步的發現變態成青蛙後眼吻距比皆會下降，視野範圍雖然縮小但卻產生較大的雙眼視覺區。進行 t 檢定後發現四者皆具有顯著差異。

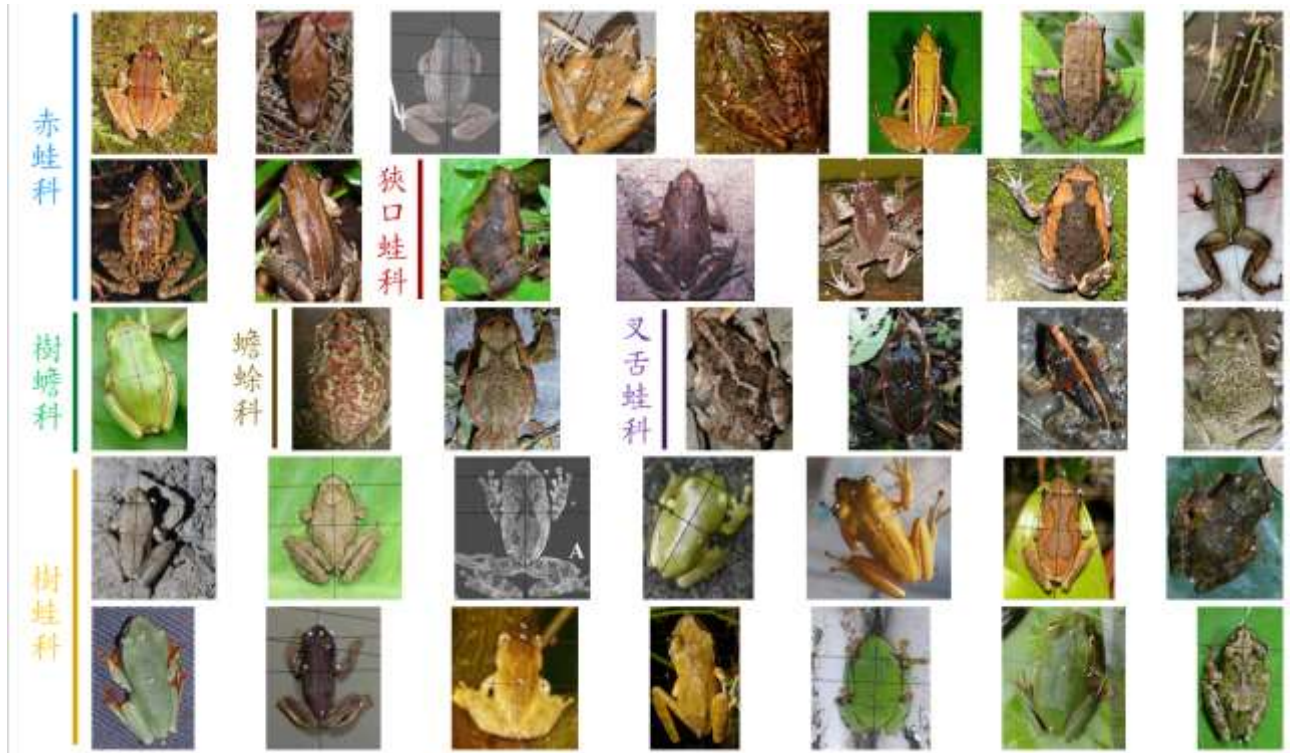
統計數值	t	n	p
兩眼距比	-9.35	36	5.81E-14
眼吻距比	11.94	36	1.45E-18
視野範圍	14.45	36	1.07E-22
雙眼視覺	14.43	36	1.60E-22

我們重新測量 36 種蝌蚪的兩眼距比後，統整數據，其中背側位的蝌蚪所占比例最高，其次為側位，最少的則為背位。但不管蛙類蝌蚪的眼位類型為何，變態為青蛙後眼睛皆會位於頭部兩側，皆為側位型。



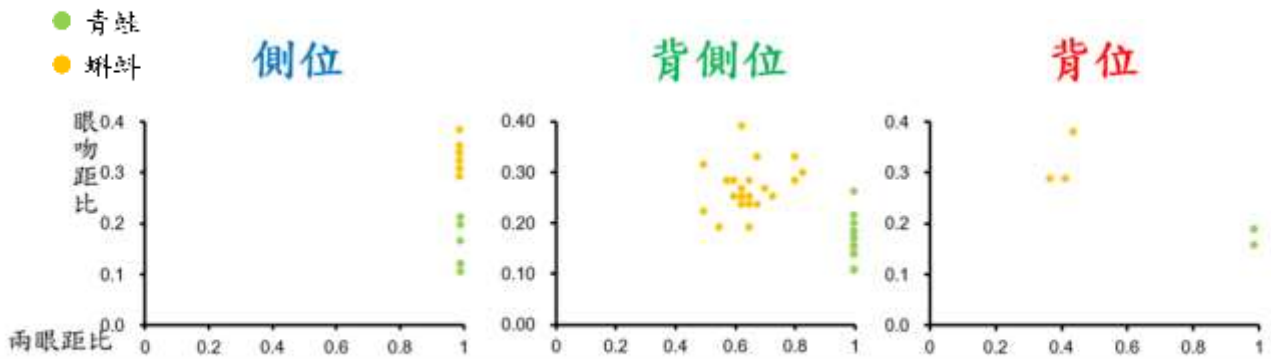
蝌蚪眼位



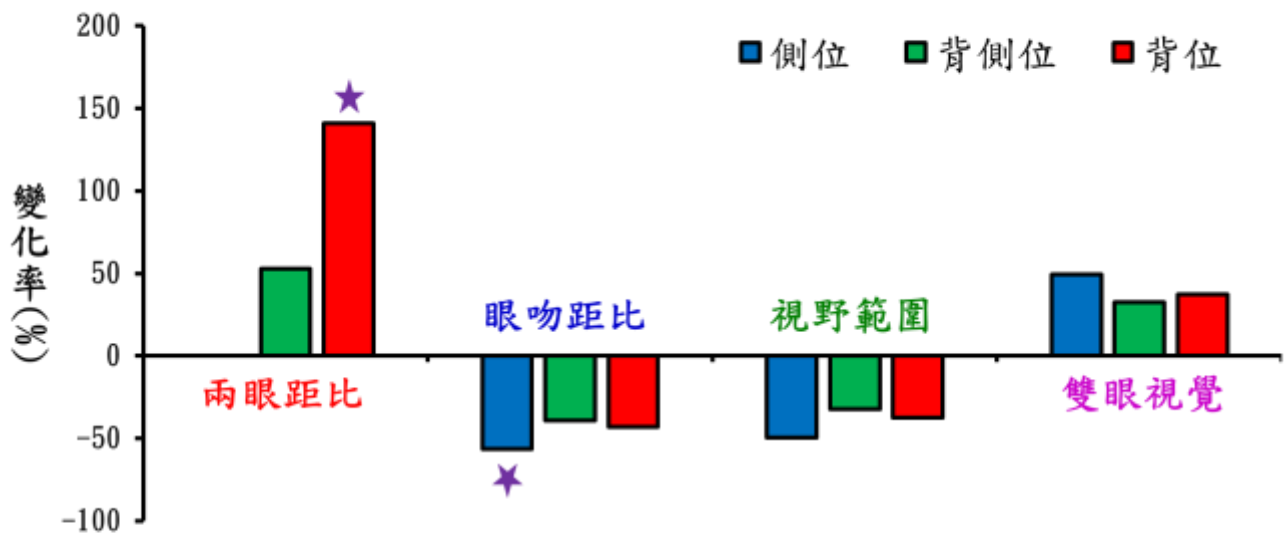


台灣 36 種蛙類測量圖

接著我們繪製三種眼位變化趨勢圖，發現側位型蝌蚪改變眼睛型態的方式主要透過眼  
 吻距比縮短；背位型蝌蚪改變眼睛型態的方式主要透過增加兩眼距比；背側位型蝌蚪則變化  
 不一致。三種眼位的蝌蚪變態成青蛙後兩眼眼距比皆會上升，而眼吻距比皆會下降。



三種眼位蝌蚪期與成蛙期分布圖



側位眼吻距比變化最明顯  
 背位兩眼距比變化最顯著

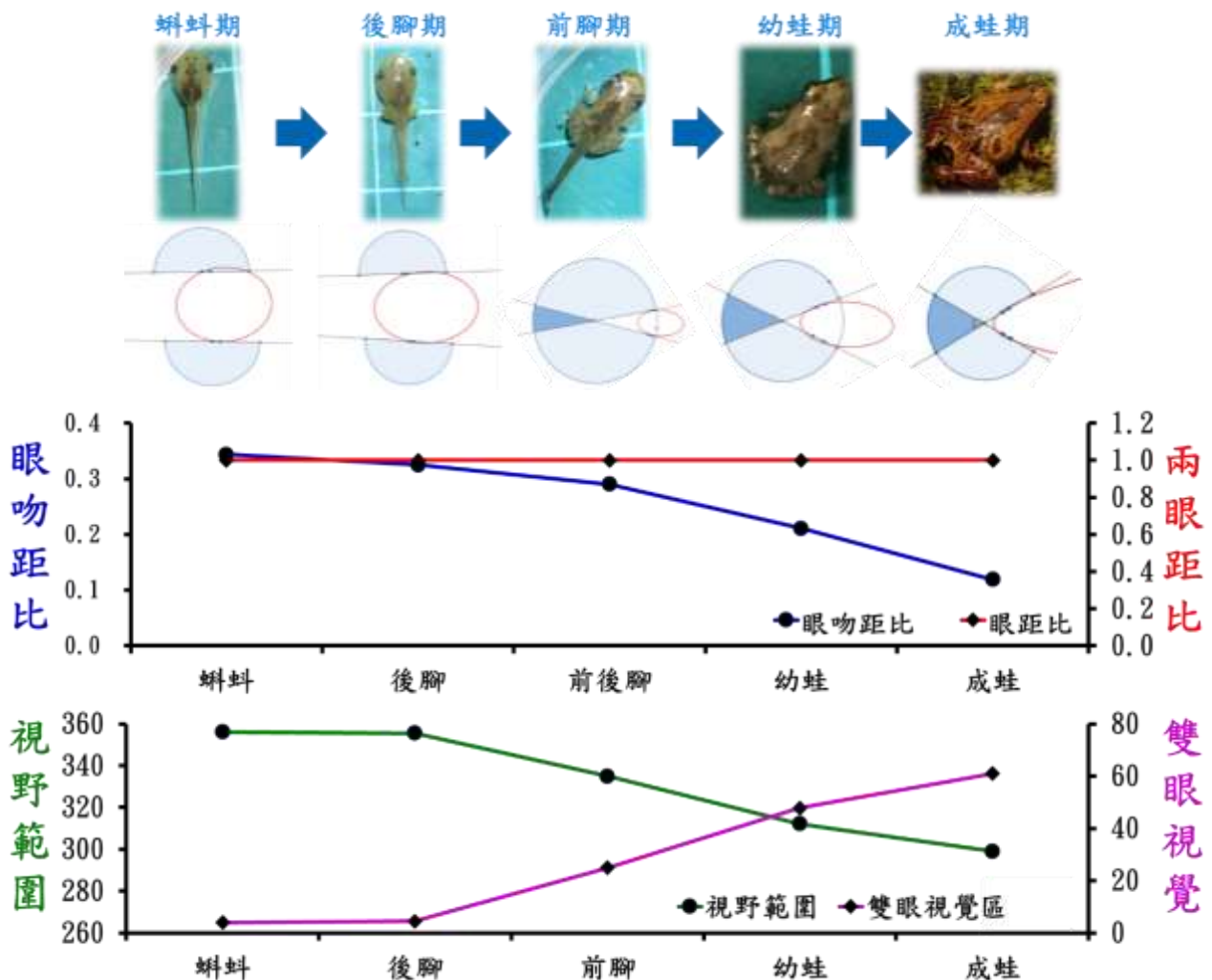
三種眼位蝌蚪變態後各數值變化率

### 三、 不同眼位型態變化過程

不同種蛙類在蝌蚪時期眼位型態分為三種，但在變態過後，眼睛皆移往兩側，也就是側位。我們想個別探討不同眼位的蝌蚪在變態過程中眼睛型態轉變的方式有何不同，所以我們從側位型與背位型兩種極端型態蝌蚪中，挑選出一種代表物種，個別探討與模擬變態過程眼睛位至轉變的情形。

#### (一)側位型—小雨蛙

小雨蛙蝌蚪生存在靜止水面表層，需要較廣的視野，以利尋找食物及偵測天敵方位。變態後食性則轉為肉食，需要較好的距離感獵捕食物。變態前後眼睛皆位於兩側，但吻長縮短，且頭部從圓弧變為三角形，使兩眼視野範圍從原本幾乎無交集，到變態後產生較大的雙眼視覺區。

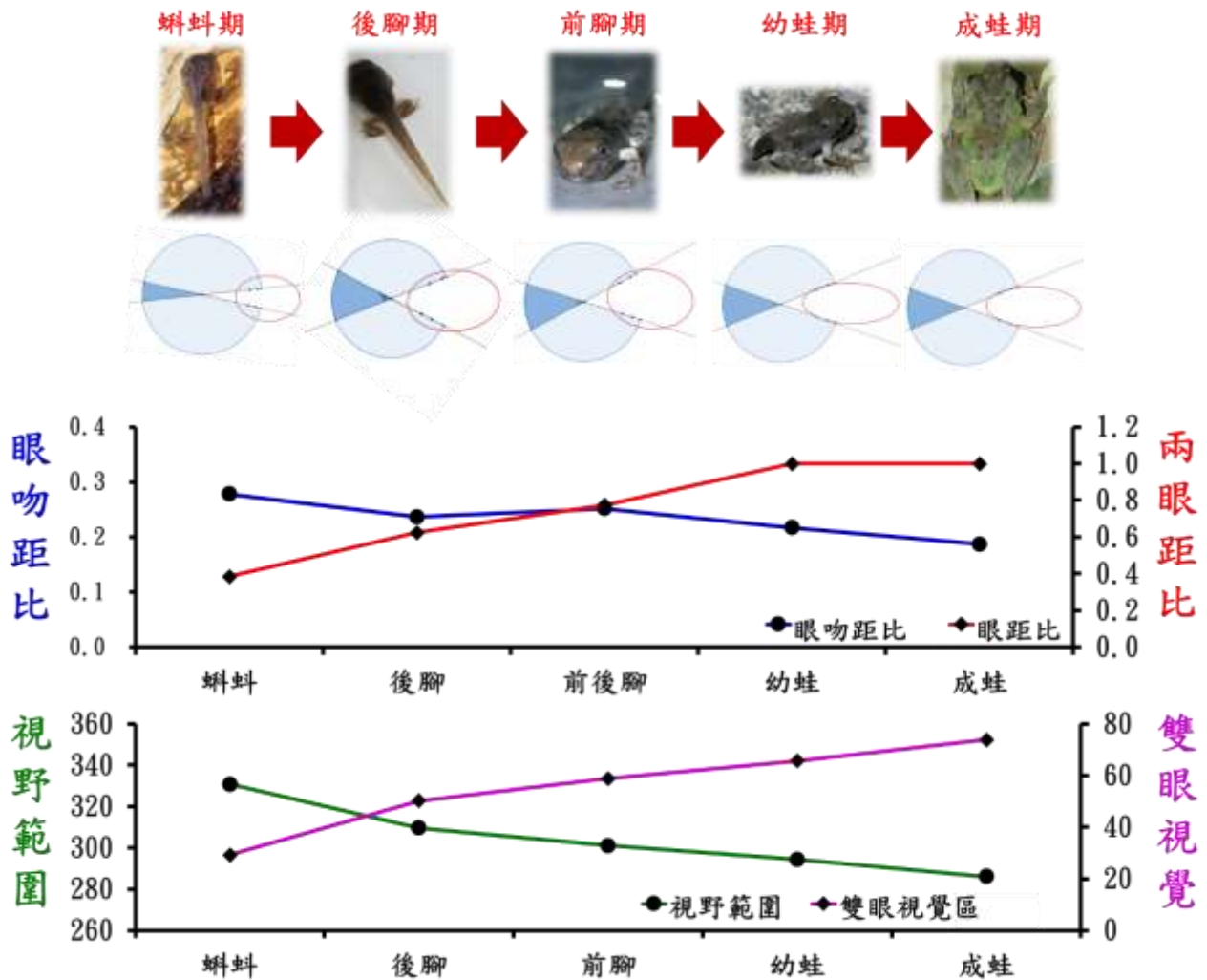


## (二) 背位型—艾氏樹蛙

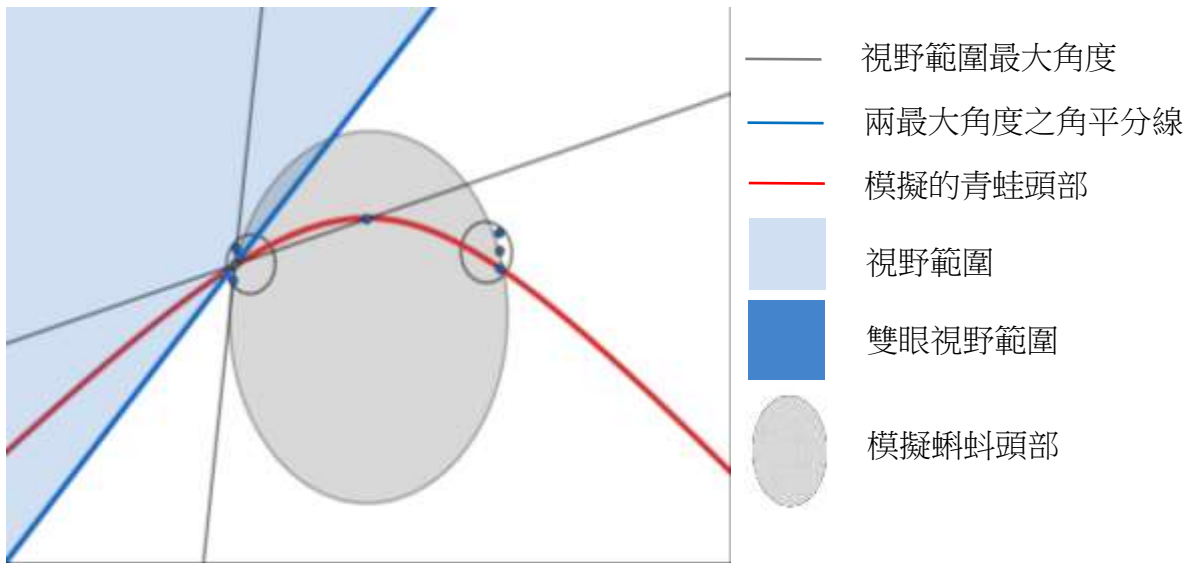
艾氏樹蛙蝌蚪生活於竹筒底部，母蛙會定期回到竹筒上方產下未受精的卵餵食，蝌蚪只能從狹窄的竹筒像上看是否有母蛙產卵，因此他們主要的視野為垂直方向，眼睛演化為背位。變態後，主要棲息於數上，需要較好的距離感幫助他們在數上移動，視野也不再著重於垂直方向。變態後眼睛移往頭部兩側，水平方向雙眼視覺也變大。



竹筒底棲



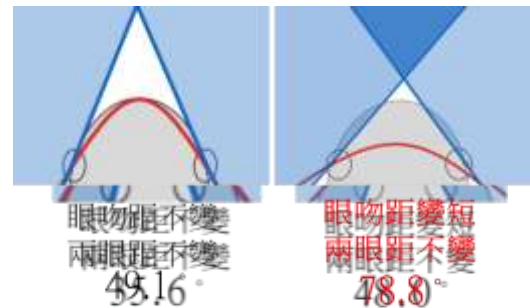
### (三) 眼睛位置與頭部型態影響雙眼視野大小模擬



由上述兩種眼位蝌蚪變態過程發現，不同眼位的蝌蚪增加雙眼視覺的方式不同，因此分別模擬側位(小雨蛙)及背位(艾氏樹蛙)蝌蚪的眼吻距及兩眼距變化對雙眼視覺的影響。以眼睛到青蛙頭部頂點的切線(黑線)和原蝌蚪眼睛切線(黑線)做出的角平分線為模擬成蛙的眼睛切線(藍線)，並測量不同變化情形雙眼視覺角度。

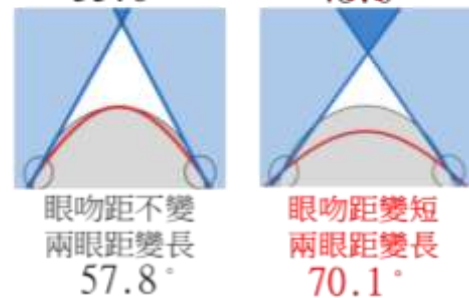
#### 1. 側位型—小雨蛙

經過模擬發現縮短眼吻距產生的雙眼視覺區最大，符合現實中的變態情形。



#### 2. 背位型

經過模擬後發現兩眼距變長及縮短眼吻距可產生最大的雙眼，符合現實生活中的變態情形。



#### 四、成蛙雙眼視覺影響因素

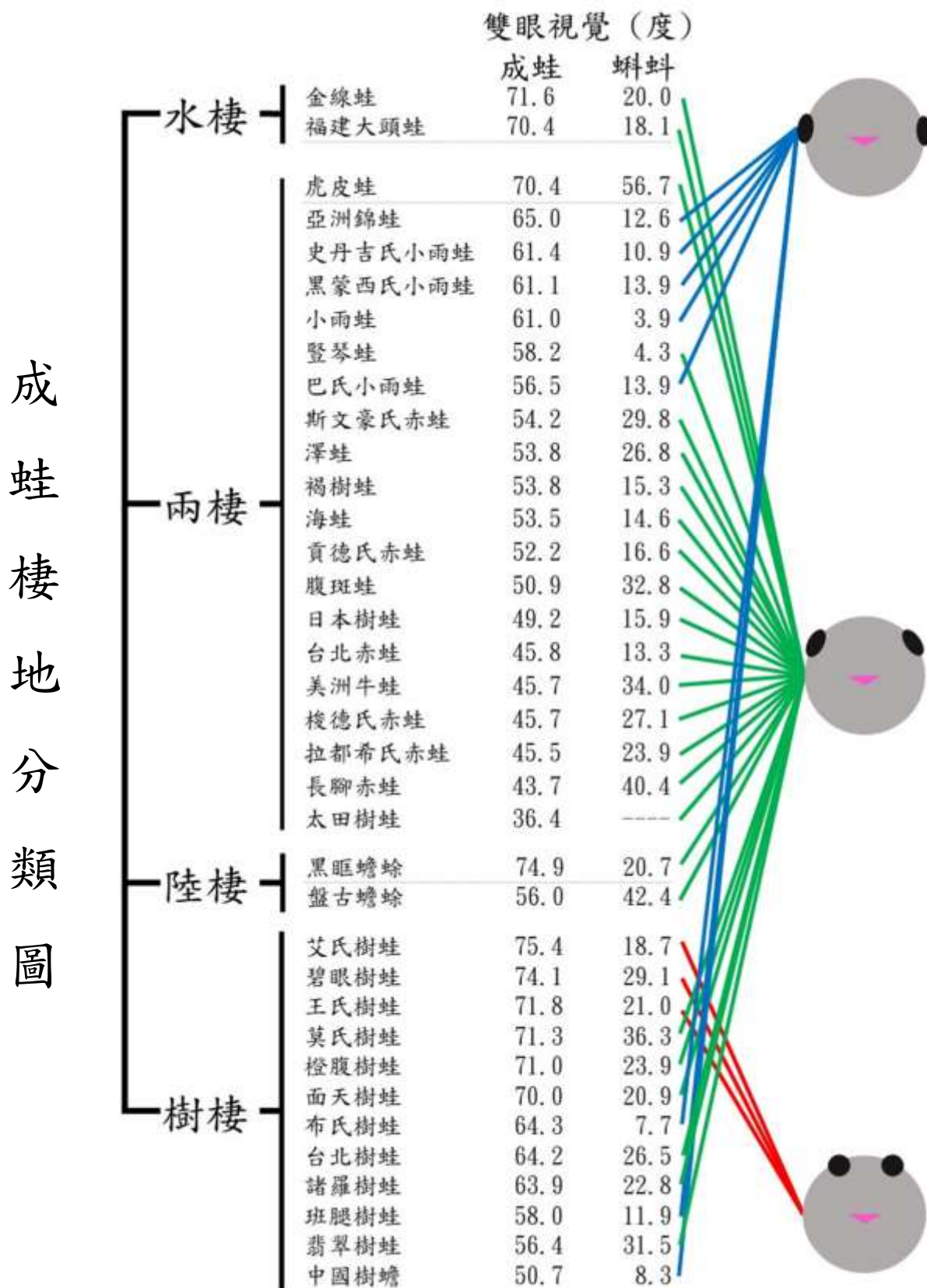
原本預期成蛙雙眼視覺區可能與蝌蚪期眼位有關係，實驗後發現，雖然成蛙的雙眼視覺區都會變大，但與其蝌蚪時期的眼位無直接關聯。

物種名	視野範圍	雙眼視覺	眼睛角度	棲息環境
艾氏樹蛙	310.5	75.4	52.2	樹棲
黑眶蟾蜍	285.1	74.9	52.6	陸棲
碧眼樹蛙	291.9	74.1	53.0	樹棲
王氏樹蛙	296.5	71.8	54.1	樹棲
金線蛙	288.4	71.6	54.2	兩棲
莫氏樹蛙	288.7	71.3	54.4	樹棲
橙腹樹蛙	289.0	71.0	54.5	樹棲
福建大頭蛙	289.6	70.4	54.8	水棲
虎皮蛙	289.6	70.4	54.8	兩棲
面天樹蛙	293.6	70.0	55.0	樹棲
亞洲錦蛙	295.0	65.0	57.5	兩棲
布氏樹蛙	295.7	64.3	57.9	樹棲
台北樹蛙	295.8	64.2	57.9	兩棲
諸羅樹蛙	296.1	63.9	58.1	樹棲
史丹吉氏小雨蛙	298.6	61.4	59.3	兩棲
黑蒙西氏小雨蛙	298.9	61.1	59.5	兩棲
小雨蛙	299.0	61.0	59.5	兩棲
豎琴蛙	301.8	58.2	60.9	兩棲
斑腿樹蛙	302.0	58.0	61.0	樹棲
巴氏小雨蛙	303.5	56.5	61.8	兩棲
翡翠樹蛙	303.6	56.4	61.8	樹棲
盤古蟾蜍	304.0	56.0	62.0	陸棲
斯文豪氏赤蛙	305.8	54.2	62.9	兩棲
澤蛙	306.2	53.8	63.1	兩棲
褐樹蛙	306.2	53.8	63.1	兩棲
海蛙	306.5	53.5	63.3	兩棲
貢德氏赤蛙	307.8	52.2	63.9	兩棲
腹斑蛙	309.1	50.9	64.6	兩棲
中國樹蟾	309.3	50.7	64.7	樹棲
日本樹蛙	310.8	49.2	65.4	兩棲
台北赤蛙	314.2	45.8	67.1	兩棲
美洲牛蛙	314.3	45.7	67.2	兩棲
梭德氏赤蛙	314.3	45.7	67.2	兩棲
拉都希氏赤蛙	314.5	45.5	67.3	兩棲
長腳赤蛙	316.3	43.7	68.2	兩棲
太田樹蛙	323.6	36.4	71.8	樹棲

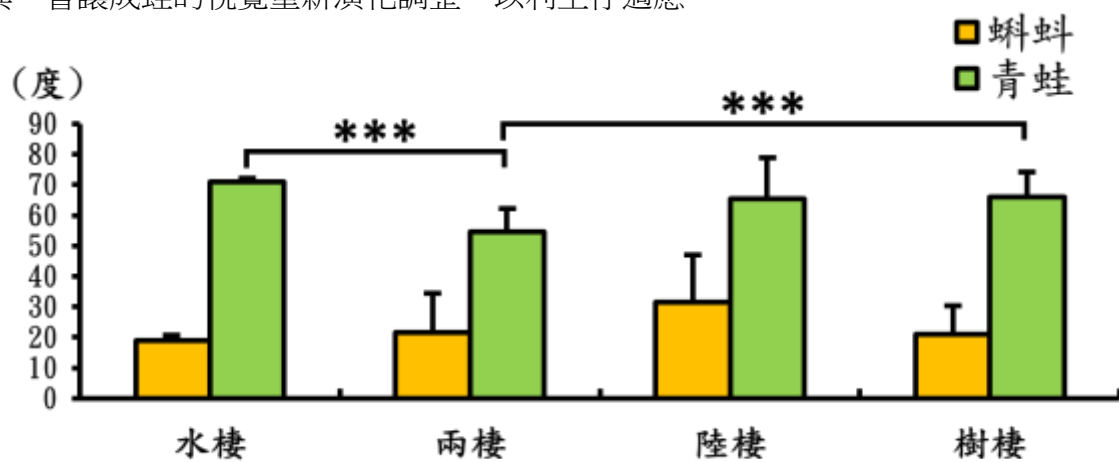
■ 側位  
■ 背側位  
■ 背位

因此推測有其他因素影響成蛙雙眼視覺區的大小，以下針對三種可能因素進行分析。

(一) 棲地分析



依據楊懿如(2010)的分類方法，將成蛙依棲地分為四大類，分別為水棲、兩棲、陸棲及樹棲，利用單因子變異數分析(ANOVA)發現四種棲地的蝌蚪期雙眼視覺區無顯著差異( $F=0.51, df=34, p=0.68$ )，但成蛙期卻有顯著差異( $F=6.96, df=34, p<0.05$ )。水陸兩棲型的成蛙雙眼視覺區最小，視野範圍最大，以利於變態後的青蛙可以在水中及陸地兩種不同的環境棲息生活及獵捕食物。因此蝌蚪及青蛙視覺影響因子不同，也就是原先蝌蚪期的眼睛型態與視野範圍差異是受到棲息水層高低與食性的影響，但變態成青蛙後都是捕食性，故棲息地環境的差異，會讓成蛙的視覺重新演化調整，以利生存適應。



四大棲地蝌蚪期與成蛙期雙眼視覺區比較

1. 成蛙：

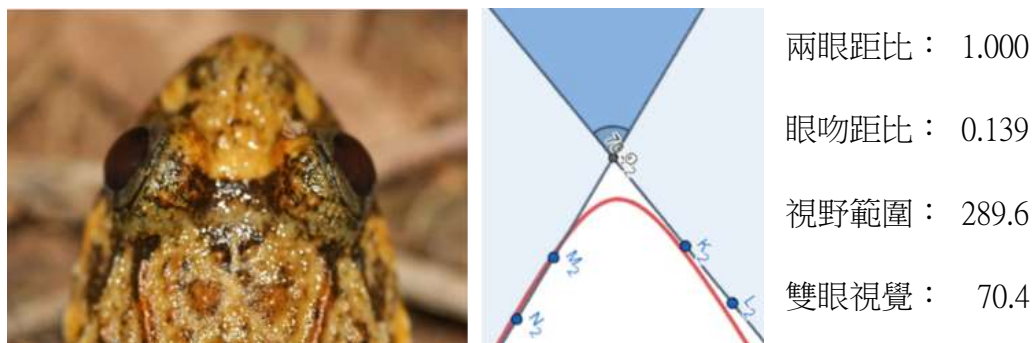
統計值	t	n	p
兩棲—水棲	3.00	22	0.01
兩棲—陸棲	-1.84	22	0.08
兩棲—樹棲	-3.95	31	0.0005
陸棲—水棲	0.59	4	0.62
陸棲—樹棲	-0.09	13	0.93
水棲—樹棲	0.83	13	0.42



## (二)行為分析

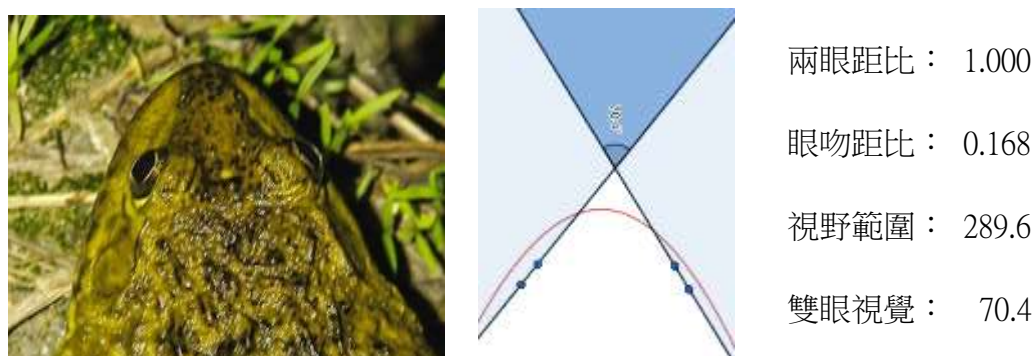
發現各棲地皆有一些物種的雙眼視覺區特別大，因此針對不同棲地中雙眼視覺區較大的物種進行探討。

### 1. 水棲—福建大頭蛙



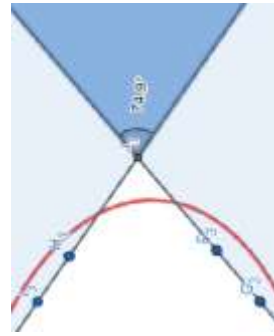
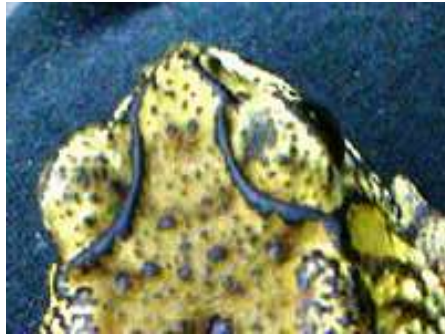
經查詢臺灣兩棲類保育網網站，雄蛙顛肌發達，下頷兩個齒突明顯，且領域性較強，打鬥激烈，會互咬對方，具有較廣的雙眼視覺區可幫助其判斷位置與追逐對手，在演化上具有一定的優勢。

### 2. 兩棲—虎皮蛙



虎皮蛙是屬於肉食性蝌蚪，會主動獵食水中生物或其他蝌蚪(韋力等人，2013)，因此蝌蚪具有較大雙眼視覺，可提高捕食成功率。當變態成青蛙後，也會攻擊與吞食其他大型蛙類(臺灣兩棲類保育網，網址 2)，因此成蛙也有較大的雙眼視覺。虎皮蛙幼體與成體皆擁有較廣的雙眼立體視覺區符合肉食性動物的演化趨勢。

### 3. 陸棲—黑眶蟾蜍



兩眼距比： 1.000

眼吻距比： 0.144

視野範圍： 285.1

雙眼視覺： 74.9

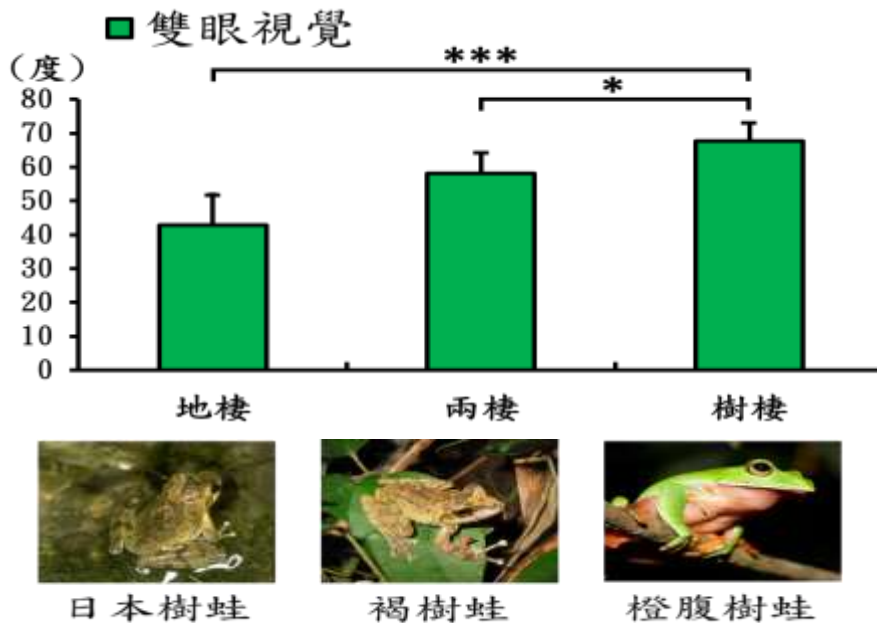
經查詢臺灣兩棲類保育網網站(網址 2)及網路上相關攝食影片(網址 3、4) 後發現，黑眶蟾蜍進食模式為利用眼睛先瞄準獵物，判斷位置之後才伸出舌頭黏回嘴中，若擁有較大的雙眼視覺可以幫助其成功攝食獵物。而台灣另一種盤古蟾蜍的攝食行為模式，主要是靠移動頭部，利用頭部直接撞擊前方獵物，較無瞄準動作，因此與黑眶蟾蜍有所不同，盤古蟾蜍的立體視覺較小，視野範圍反而較大。

### (三)演化分析

		視野範圍(度) 雙眼視覺(度)			
樹蛙科	樹棲	莫氏樹蛙	<i>Rhacophorus</i>	288.7	71.3
		橙腹樹蛙	<i>Rhacophorus</i>	289.0	71.0
		台北樹蛙	<i>Rhacophorus</i>	295.8	64.2
		翡翠樹蛙	<i>Rhacophorus</i>	303.6	56.4
		布氏樹蛙	<i>Polypedates</i>	295.7	64.3
		班腿樹蛙	<i>Polypedates</i>	302.0	58.0
		艾氏樹蛙	<i>Kurixalus</i>	310.5	75.4
		碧眼樹蛙	<i>Kurixalus</i>	291.9	74.1
		王氏樹蛙	<i>Kurixalus</i>	296.5	71.8
	面天樹蛙	<i>Kurixalus</i>	293.6	66.4	
	兩棲	海南溪樹蛙	<i>Buergeria</i>	299.5	62.5
		褐樹蛙	<i>Buergeria</i>	306.2	53.8
地棲	日本樹蛙	<i>Buergeria</i>	310.8	49.2	
	太田樹蛙	<i>Buergeria</i>	323.6	36.4	

樹蛙科棲地分類圖

同為樹蛙科，但因棲地、活動範圍的高度不同，可分為三類群，分別是長期棲息於溪流附近的地棲型、會在溪流與附近樹上活動的兩棲型以及主要活動於樹上的樹棲型。經過 t 檢定後發現，樹棲型與其他兩種有顯著差異，且其雙眼視覺區明顯大於其他兩類，推測樹棲型樹蛙雙眼視覺區較大，就會有較好的距離感，以適應樹棲環境。



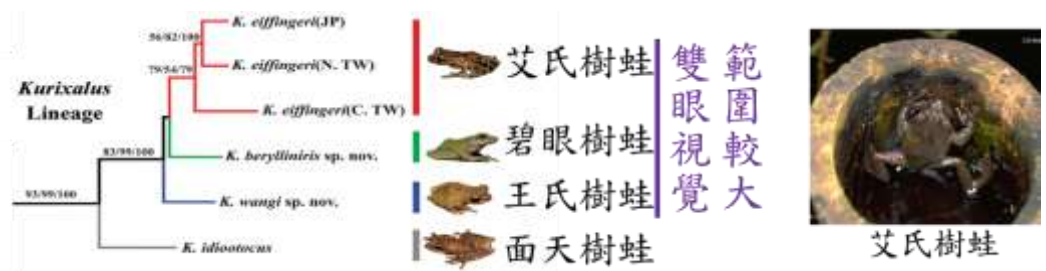
統計數值	t	n	p
兩棲—地棲	-1.98	4	0.19
樹棲—地棲	-5.54	13	0.0002
兩棲—樹棲	-2.24	13	0.05

## 1. 溪樹蛙屬—日本樹蛙與太田樹蛙



日本樹蛙及太田樹蛙為演化關係相近物種，同樣喜好棲息於溪流環境，外型極為相似，只有在鳴叫聲與腿部花紋有些微差異，不易區別。但本研究發現兩者視野範圍不同，日本樹蛙雙眼視覺區為  $49.2^\circ$ ，但太田樹蛙則只有  $36.4^\circ$ ，且日本樹蛙的眼吻距比小於太田樹蛙，此兩種青蛙的雙眼視覺大小有差異，顯示這兩種青蛙的生態區位(Nich)應該有所不同，故眼睛型態也是一種可以區別相近物種或隱藏種的判別特徵。

## 2. 原指樹蛙屬—艾氏樹蛙、碧眼樹蛙與王氏樹蛙



艾氏樹蛙、碧眼樹蛙及王氏樹蛙為演化相近物種，有相同的棲息環境，蝌蚪棲息於竹筒底部，眼睛型態都為背位，成蛙也都是陸棲，且皆會回到原來的竹筒產卵餵食蝌蚪，因此都有高於其他種樹蛙的雙眼視覺區，使其能夠精準判斷竹筒位置與高度。艾氏、王氏與碧眼樹蛙等親緣關係接近的姊妹種因生殖行為類似，蝌蚪與成蛙都演化出具有相似的眼睛型態。

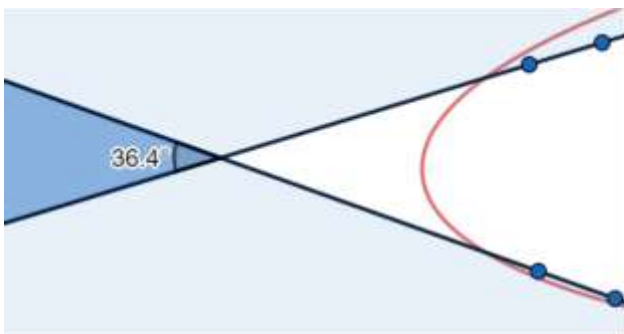
## 肆、結論

1. 蝌蚪具多樣的眼位型態，但變態後眼睛皆移往兩側，吻長也都縮短，雙眼視覺區變大。
2. 三種眼位型態蝌蚪在變態時，以改變頭部輪廓或眼睛位置的方式，以增加雙眼視覺區。
3. 蝌蚪視野範圍主要受水層高低影響；成蛙視野範圍影響因素有棲地、行為及親緣關係。
4. 蛙類為水陸兩棲生物，生活史會橫跨水陸兩環境，在幼體與成體所受到的選汰壓力不同，為適合探討環境改變對形態變化的類群。

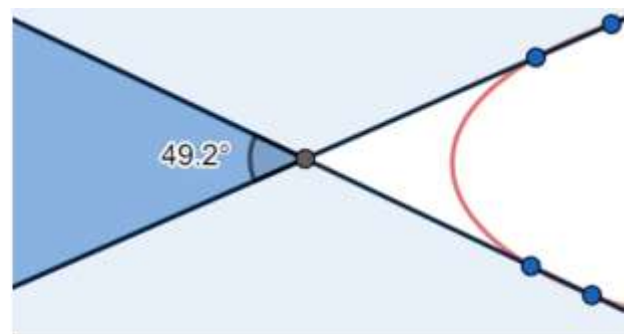
## 伍、應用

本研究運用向量幾何作圖方式，將頭部眼睛位置座標數值化後，可以精確量化物種身體形態特徵。現在手機、監視器或門禁系統大量運用人臉辨識系統，擷取臉部形態特徵，將眼睛、鼻子、嘴巴、眉毛等位置幾何數值量化後，形成一個數據資料庫，可以精準辨識每一個人，進行生物特徵辨識。我們進行的青蛙視覺研究也是以此特徵數值化的概念，精準定位眼睛在頭部的位置，繪畫出視野幾何範圍，計算不同種蝌蚪與青蛙的視覺理論基礎，可以為日後測量每一種蛙類的眼睛的電生理實驗提供比對的數據。

我們的視覺幾何研究方法也提供一種全新物種形態辨識方式，能幫助近似物種的型態區別，未來可進一步辨識隱蔽種。如太田樹蛙及日本樹蛙兩者在眼吻距比與雙眼視覺區的大小上就有些微差異，是些差異無法直接用肉眼可以看出，經過幾何定位後就可以看出差異值。



太田樹蛙



日本樹蛙

## 陸、參考文獻

### A.期刊論文

- Roy W.&Altig Ronald。1999。Tadpoles: The Biology of Anuran Larvae，McDiarmid，Univ of Chicago Pr。
- Ronald Altig。2006。Discussions of the origin and evolution of the oral apparatus of anuran tadpoles
- Katherine V. Fite。1973。青蛙和蟾蜍的視野：比較研究。生物行為學第9卷第6期 p.707~718。
- Susan B. Udin。2011。Binocular maps in *Xenopus tectum*：Visual experience and the development of isthmotectal topography。
- S.Grant，M.J.Keating。1986。Ocular migration and the metamorphic and postmetamorphic maturation of the retinotectal system in *Xenopus laevis*：an autoradiographic and morphometric study。
- 楊懿如。2010。臺灣蛙類的分布及棲地利用。臺灣博物季刊 29 卷第3期 p.46~49
- 韋力、林植華、趙仁友、陳世通。2013。虎紋蛙蝌蚪對同域分布兩種蝌蚪的食物選擇。動物學研究。Jun.34(3) p.209~213
- 樂晴宇、覃文榆。2017。你在看哪裡---蝌蚪眼睛位置及其視野之研究
- 周文豪。1997。台灣無尾類蝌蚪之形態、分類與棲地區隔

### B.書籍文獻

- 呂光洋、陳世煌、葉冠群。1987。兩棲爬蟲類簡介。內政部營建署墾丁國家公園管理處
- 施信鋒。2011。兩棲特攻隊。遠見天下文化出版股份有限公司
- 陳王時。2003。臺灣31種蛙類圖鑑。社團法人台北市野鳥協會
- 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
- 楊懿如。1991。蛙-訪陽明山國家公園兩棲類。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 考克瑟特、格雷策。2002。幾何學的新探索。凡異出版社。
- 向高世、李鵬翔、楊懿如。2009。臺灣兩棲爬行類圖鑑。貓頭鷹出版社。

### C.網路資料

- 網址 1：周文豪。艾氏樹蛙。 <http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/90/166/12.htm>。
- 網址 2：臺灣兩棲類保育網。 <http://www.froghome.org/>。
- 網址 3：黑眶蟾蜍攝食影片網址。 <https://www.youtube.com/watch?v=PJRFPyiF9a8>。
- 網址 4：盤古蟾蜍攝食影片網址。 <https://www.youtube.com/watch?v=NC9egLRzh3A>。
- 網址 4：兩棲生物視野。 <http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2011-2012/m201112/web/amphibians.html>

## 【評語】 050004

此作品進行蝌蚪變態前後眼睛型態的量測，經過比對了多種蛙類的雙眼視區差異，作為與棲地相關的推論，是一件相當有趣的探討題材。然而，雙眼視區的大小與捕食行為或是立體視覺皆有關係，此研究結果值得就蛙類的生態行為做更深入的探討。作品中的「眼睛切線」與眼睛「視野」的定義並未說明清楚，故無法判斷量測與結果推論是否得宜？建議有更精確的生物物理量測的結果來呈現。