
2013 年第廿四屆國際生物奧林匹亞競賽

-- 實驗試題(III)

中華民國生物奧林匹亞競賽代表團

實驗三：演化個體生態學

總分：94 分，總操作時間：90 分鐘

【器材】

- 1 個已置入影片的平版電腦
- 計算紙

【序言】

絕大多數的個體，會受資源如食物、配偶或棲所的限制，因此常造成同種或異種間的個體藉由攻擊行為來競爭並保衛可用資源。一種常見的獨佔資源的現象，就是建立一個完好的防衛領域；但要建立完好的防衛領域是要付出代價的，這可能使領主（領地擁有者）增加受傷或被天敵捕食的危機，也可能因此減少了從事其他活動（例如覓食、繁殖或照顧後代）的時間。因此，一個領主的攻擊反應如果能夠依據入侵者的威脅程度來進行調整，在天擇的壓力下，是較有利的。

在本實作測驗中，你將檢測非洲口孵魚 (*Neolamprologus pulcher*) 為了調整攻擊行為，牠所用來辨識競爭者行為的方式，到底是藉由視覺或嗅覺，或者是兩者皆用。非洲口孵魚 (*N. pulcher*) 是 Tanganyika 湖的原生種，牠在湖裡配對繁殖，並建立了一個小而連續的防衛領域（平均範圍 = 0.3 平方公尺），藉以覓食、繁殖及躲避天敵。

所有的實驗皆已在實驗室的水族箱進行，並已錄影記錄。現在你的工作是來分析這些紀錄，量化這些不同個體的行為。所有的影像紀錄皆已事先載入所提供的平版電腦中供你隨時使用。

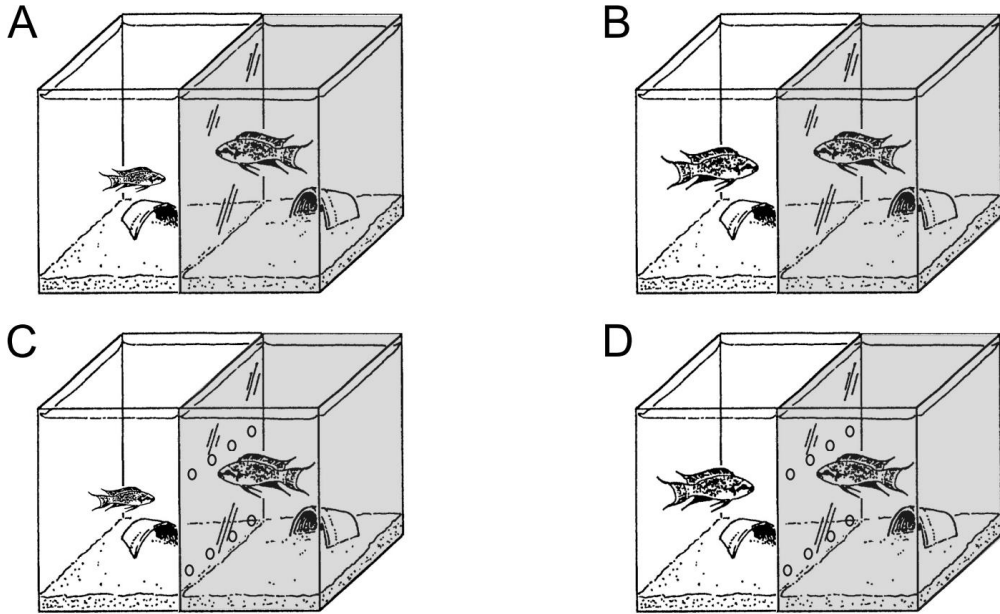
題項 1：將攻擊行為予以量化

在本題項中，你須對雄性口孵魚 (*N. pulcher*) 的攻擊行為予以量化，藉由統計檢定來判斷，到底雄性口孵魚是經由視覺或嗅覺，或者是兩者皆用，以調整牠對雄性競爭者的攻擊程度。

1.1: 實驗設計

在每一個實驗中，兩隻從未接觸過的雄魚被放入 1 個新的魚缸中，實驗情況可分成

A、B、C 及 D 共 4 種。其中 A、B 情況的水箱中是以玻璃完全隔離；C、D 情況則是以具有孔洞的玻璃隔離，在此情況下，水箱兩側的水可相互流動。實驗要觀察的對象是放在水箱右側的雄魚；至於水箱左側，在 A、C 情況中是放入體型相對較小的雄魚，在 B、D 情況中則放入與右側體型相同的雄魚。

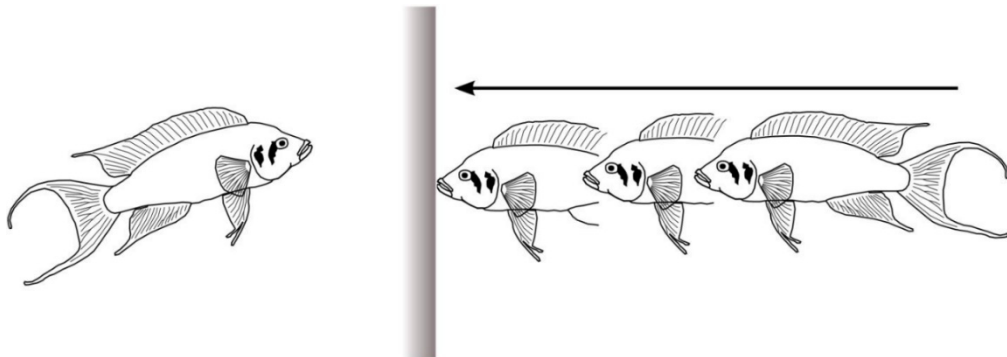


在本題項中，你只需要觀察水箱右側（即圖中灰色水域）中雄魚的行為反應。

1.2: 口孵魚 (*N. pulcher*) 的攻擊行為

本題項中，右側口孵魚 (*N. pulcher*) 遇到左側同種競爭者時，將會出現相當明顯的衝撞或咬的攻擊行為；你須計算這些行為出現的頻率。

當右側的魚明顯地游向左側的競爭者並碰撞玻璃隔間板時，這些行為就被計算為衝撞或咬（「咬」是指衝撞時亦張開嘴）的攻擊行為。不論雄魚在幾秒內重複出現幾次衝撞或咬的行為，只要魚嘴端每碰撞到玻璃隔間板 1 次，就被計為 1 次。下圖說明了此類行為。



1.3: 衝撞或咬的攻擊行為之範例

請按壓及滑動你的手指來啟動平板電腦，並打開資料夾 E_1。在此資料夾中，你會發現 3 部影片。影片 I 的內容包含了一系列明顯的咬或衝撞行為；請仔細觀察，以熟悉如何判斷此類行為。接著，請觀看影片 II 及 III，這些影片將教你如何計算攻擊行為。請仔細觀看。當你已經知道如何計算口孵魚 (*N. pulcher*) 的此類行為時，請立刻觀看考試的影片。

1.4: 量化口孵魚 (*N. pulcher*) 的衝撞或咬的攻擊行為 (30 分)

請觀看資料夾 A、B、C 及 D 中的影片，每個資料夾都包含了 3 部影片，顯示了前述 1.1 的圖及下表中的 A、B、C 及 D 的 4 種實驗情況。請計算 12 部影片中水箱右側雄魚出現衝撞或咬的攻擊行為的次數，並將計算結果填入下表中。建議你在觀看影片的過程中，可先使用計算紙逐次劃記紀錄。

情況		A	B	C	D
Q1	隔間板	封閉	封閉	孔洞	孔洞
	體型	不同	相同	不同	相同
	重複實驗 1				
	重複實驗 2				
	重複實驗 3				

1.5: 重複更多次的實驗

下表針對每種實驗設計，另外提供了 3 個重複實驗的結果；請將這些結果與你所觀察的結果合併計算，以進行後續的統計分析。

情況	A	B	C	D
隔間板	封閉	封閉	孔洞	孔洞
體型	不同	相同	不同	相同
重複實驗 4	24	45	10	15
重複實驗 5	34	41	17	8
重複實驗 6	27	38	12	16

1.6: 統計分析咬或衝撞的攻擊行為 (20 分)

你須以變異數分析 (ANOVA) 來檢定得到的實驗結果，其目的是為了推論在你所測

量結果的變異中，有多少部分是屬於被研究個體之間的隨機變異，有多少部分是屬於本實驗操弄的 2 個因子（1.隔間板：封閉或孔洞。2.雄性競爭者的體型：相同或不同）所造成的變異。此種分析方式，是將總變異區分成不同的部分，再檢測這些不同部分的相對重要性。

組內變異

針對 A 到 D 四種實驗設計，分別就每一種設計下，計算重複實驗 1 到重複實驗 6 之實驗結果的平均值及變異數。請你計算到小數點後第 1 位，並將計算結果填入下表中。變異數的計算公式如下

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (R_i - M)^2$$

其中 i 代表重複實驗的次別 1 到 n ； R_i 代表每種實驗情況下，各次重複實驗所得的數據； M 代表每種實驗情況下所得數據的平均值。

	情況	A	B	C	D
Q2	隔間板	封閉	封閉	孔洞	孔洞
	體型	不同	相同	不同	相同
	平均值(M)				
	樣本變異數(O ²)				

現在請計算組內的平均樣本變異 (V_g)，亦即前述 4 變異的平均值。請你計算到小數點後第 1 位，並將計算結果填入下格中。

Q3 組內平均樣本變異 (V_g)

變異數可分為「間隔板類型」及「雄性競爭者體型差異」所造成的變異

再來，請計算出「間隔板類型」所造成的變異 ($V_{separation}$) 及「雄性競爭者體型差異」所造成的變異 (V_{size})。要計算此二數據，你必須先計算 24 個實驗所得數據的總平均值。請你計算到小數點後第 1 位，並將計算結果填入下列方格中。

Q4 總平均 (M_{ABCD})

接著，請只考慮 2 種「間隔板類型」及 2 種「雄性競爭者體型差異」，分別計算這 4 種類別 (category) 下各次重複實驗所得數據的平均值。舉例來說，在間隔板封閉類別 (category) 中的平均值，是在 A 及 B 兩種情況 (situation) 下分別計算各次重複實驗所得數據的平均值 (即為 M_A 及 M_B)，再取 M_A 及 M_B 的平均值。

Q5 同一類別內的平均值

間隔板種類		雄性競爭者體型差異	
封閉	孔洞	不同	相同

屬於因子 x (間隔或體型) 所造成的變異，計算公式如下

$$V_x = n \cdot \sum_{i=1}^2 (M_{ABCD} - M_i)^2$$

其中 i 涵蓋了 2 個類別因子， n 是每一個類別下重複實驗的次數 (在本實驗為 12)， M_i 是同一類別下所得之各平均值， M_{ABCD} 則是前述第 4 題 (Q4) 計算所得之總平均。請分別計算由兩種因子所造成的變異，請你計算到小數點後第 1 位，並將計算結果填入下表中。

Q6 因子 x 所造成的變異 (V_x)

間隔板種類	雄性競爭者體型差異

如果某一因子 x 未造成任何變異，則 V_x 的期望值為 0。然而實際上，受限於實驗過程中所可能產生的自然變異，所得的變異通常不是 0。故你要進行檢測的是兩個因子所造成的變異 $V_{separation}$ 及 V_{size} 不止是要大於 0，且此差異須達一定程度，即達到統計上的顯著水準，才算因子 x 造成變異。為此，你須進行 F 檢定 (F-test)，計算 F_x ，其公式如下，亦即將因子 x (間隔或體型) 所造成的變異 V_x 除以前述第 3 題 (Q3) 計算所得的組內平均樣本變異 V_g

$$F_x = \frac{V_x}{V_g}$$

請分別計算 2 個因子的 F_x ，計算到小數點後第 1 位，並將所得結果填入下表。

Q7 檢定統計數值 (F_x)

間隔板種類	雄性競爭者體型差異

你現在可利用 F 分佈 (F-distribution) 的特性，將你計算所得數值 V_x (或是更極端的 V_x 值，顯示實驗的因子 x 與所得的變異毫無關連) 換算成相對的機率。此一機

率，一般以「p 值」(p-value) 表示。下表即顯示不同的 F 值所對應之廣大不同的 p 值。

F _x	p-value
0.47	0.5
2.96	0.1
4.32	0.05
8.02	0.01
14.59	10 ⁻³
22.89	10 ⁻⁴
33.28	10 ⁻⁵
46.27	10 ⁻⁶
62.46	10 ⁻⁷
82.65	10 ⁻⁸

請依據上表將計算所得 F 值轉換為 p 值，並選擇最小且可確定的 p 值（即依據所計算的 F 值查上表，查得最接近但比該 F 值還小的 F 值所對應的 p 值，就是最小 p 值），並填入下表。

		間隔板種類	雄性競爭者體型差異
Q8	p 值小於		

請於下表打勾 (✓)，以表示各因子是否造成 (p 值小於 0.05，達顯著水準) 整體變異內的部分變異。

		間隔板種類	雄性競爭者體型差異
Q9	能造成整體變異內的部分變異		
	不能造成整體變異內的部分變異		

請根據你的結果，以打勾 (✓) 表示下列敘述是否為有效結論。

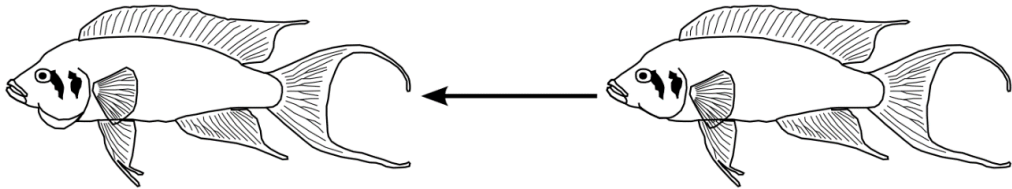
		有效	無效
Q10	雄口孵魚根據視覺線索來調整其對同種競爭者的攻擊程度		
	雄口孵魚根據嗅覺線索來調整其對同種競爭者的攻擊程度		

題項 2：喉部鼓脹的行為

在此題項中，你將針對第 2 類攻擊行為：喉部鼓脹行為進行量化觀察，以檢測其是否與你先前所觀察之衝撞或咬的行為所產生的結果是一致的。

2.1：口孵魚（*N. pulcher*）喉部鼓脹的行為

雄性口孵魚利用喉部鼓脹威嚇同類，可能是鼓脹會使其體型看來較大。當被觀察的雄魚擴張其鰓蓋及張口（打開下顎骨）朝向玻璃間隔板另一方的雄魚游去，即稱為喉部鼓脹行為。注意此種行為的表現，有時極為短暫，有時可長達數秒。每擴張其鰓蓋及張口 1 次，即計算 1 次。注意，有些雄魚在數秒內擴張其鰓蓋及張口多次，每次皆要計算。



2.2：喉部鼓脹行為的範例

請按壓及滑動你的手指來啟動平板電腦，並打開資料夾 E_2。在此資料夾中，你會發現 3 部影片。影片 I 的內容包含了一系列明顯的喉部鼓脹行為；請仔細觀察，以熟悉如何判斷此類行為。接著，請觀看影片 II 及 III，這些影片將教你如何計算喉部鼓脹行為。請仔細觀看。當你已經知道如何計算口孵魚（*N. pulcher*）的此類行為時，請立刻觀看考試的影片。

2.3：量化口孵魚（*N. pulcher*）喉部鼓脹的行為（21 分）

請觀看先前題項 1 已考的 12 部影片（A~D 四組，每組 3 次重複），計算水箱中右側雄魚的喉部鼓脹次數，將結果填入下表中。建議你在觀看影片的過程中，可先使用計算紙逐次劃記記錄。

情況		A	B	C	D
Q11	隔間板	封閉	封閉	孔洞	孔洞
	體型	不同	相同	不同	相同
	重複實驗 1				
	重複實驗 2				
	重複實驗 3				

2.4：對你的結果提出解釋（4 分）

請根據你的觀察，以打勾 (✓) 表示下列敘述是正確或錯誤。

		是	否
Q12	此結果顯示，口孵魚會利用視覺線索來察覺競爭者的行為表現，再藉以調整其對競爭者的攻擊程度。		
	此結果顯示，口孵魚利用喉部鼓脹行為來彰顯牠的體型，尤其是當競爭者體型與牠相同時，最為有效。		

題項 3：社群

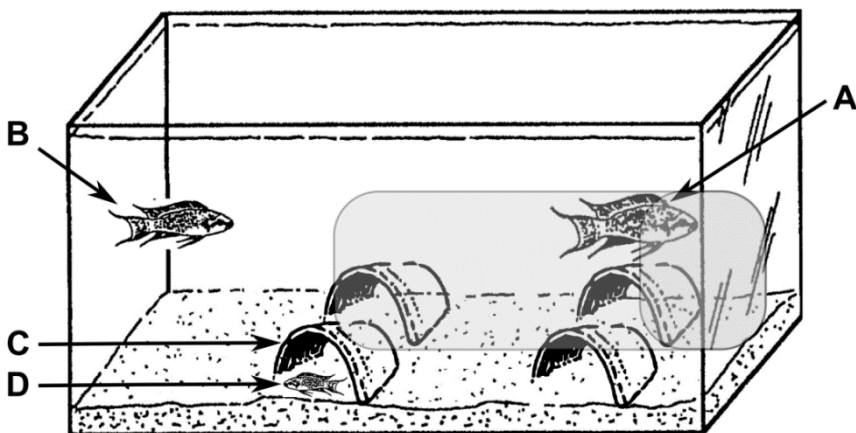
在自然界中的口孵魚絕大多數行群體生活，由一對繁殖的個體與 1 至 20 隻體型較小、位序（地位）低的個體稱為幫手（helper）所組成（每群個體數平均為 7 至 9 隻）。在每一社群中，繁殖的雄性一定是體型最大的個體（體長 5.6 至 7.0 公分），繁殖的雌性個體通常是此群體中體型次大者（4.8 至 6.0 公分）。而位序低的幫手一般較小（1.5 至 6.4 公分）。繁殖個體及幫手會表現下列 3 種主要的行為：

1. 領域防衛（抵抗天敵及同種或異種領域的競爭者）
2. 領域整理（挖掘及移除雜質）
3. 照顧子代（清潔魚卵、提供水流循環及保護小魚）

觀察此影片的目的是為了瞭解群體生活的分工，藉由觀察群體生活幾分鐘後，量化其行為。

3.1：量化口孵魚社群行為的分工（15 分）

請按壓及滑動你的手指來啟動平板電腦，並打開資料夾 X。在此資料夾中，有影片 X，內容包含了最簡單社群組成（繁殖雌雄個體及 1 小幫手）的兩種行為，一為領域整理，另一為照顧子代。你可由影片開始的影像中，很容易辨識出每一個體（如下圖所示），繁殖雄性個體（A）是停立於此圖右方背景中的陶製巢穴；繁殖雌性個體（B）則在左側開闊水域中游動。水箱中，唯一的卵塊是附著在陶製巢穴（C）內壁的上方，而幫手（D）亦躲在其內。



當你觀察此影片時，請專注下列 2 種典型行為：

- 挖掘行為屬於典型的領域整理行為。魚以口將沙移除，吐在其他地方。請計算此 3 隻個體挖掘行為的次數。
- 口孵魚個體進行卵的照顧，即清理附在卵上的小顆粒，如菌物或生物薄層（biofilms）。此一行為可由魚在卵前來回移動及同步的口腔動作來顯示。請估算每一個體進行此種行為總共花費的時間。

請將每一個體的挖掘行為次數填入下表。

		繁殖雄性	繁殖雌性	幫手
Q13	挖掘行為的總次數			

請以打勾（√）表示此 3 個體花費在照顧卵的時間。

		繁殖雄性	繁殖雌性	幫手
Q14	無照顧卵的行為，或照顧卵的行為小於 5 秒			
	照顧卵的行為在 5 至 30 秒間			
	照顧卵的行為大於 30 秒			

3.2：解釋你的觀察結果（4 分）

請以打勾（√）表示下列敘述是否正確。

		是	否
Q15	假設所觀察到的社群能代表在野外大多數的社群，我們可下結論如下		
	在一貧養環境，突然轉變為高度優養化的環境時，幫手可能對繁殖個體所產的卵塊其存活率產生較大的貢獻。		
	大型雄性個體所展示挖掘大量沙的行為，是維持繁殖巢穴的關鍵。		
	幫手的存在，使雌性繁殖個體可花費大多數的時間在領域的巡邏，而不必花在領域整理。		
	幫手跟隨雄性個體及整理雄性目前居住的巢穴，以提供大型雄性繁殖個體的住所。		

實作測驗結束

(待續)