

## 實驗二 捕食者與被捕食者的動態研究

### 前言

捕食者 (predator) 與被捕食者 (prey) 間的互動關係，一直被認為是影響族群動態 (population dynamic) 的一個重要因素。在本實驗中，你將被假設成為一個饑餓的捕食者，四處尋找最喜歡的獵物——隱藏在環境中的彩色珠子。當然，你 (捕食者) 與被捕食者的繁殖率都是假想的，但是你可以依照以下提供的公式，求出捕食者族群與被捕食者族群間變化的關係。

本實驗由三個互相連貫的實驗組成。在第一個實驗中，不同顏色的珠子代表不同獵物的種類，由此來探討顏色對獵物被捕食程度的影響。第二個實驗裡，因為我們已由第二個實驗得知，那一種顏色的珠子較容易被捕食，我們將探討被捕食者其不同繁殖率對族群變化是否有補償影響。第三個實驗，我們將只用一種顏色的珠子，由此試著做出捕食者與獵物間的族群動態關係。

### 實驗材料

珠子 皮尺

塑膠繩 計算機

### 實驗方法

這三個實驗都具有部份共同的步驟：

1. 每一組同學中輪流扮演捕食者、記錄者。
2. 捕食者的捕食範圍是一塊以繩子圈起來的1.5 x 1.5 公尺區域，至於被捕食者則是放入捕食區域內的珠子。

3.每次捕食完畢後，被捕食者都可以繁殖 (reproduction)，而繁殖就是把新的珠子加入捕食區域中。捕食者族群數量的變化，是以改變捕食者獵食的時間藉以影響捕食效率來達成。也就是說，每次只有一位同學擔任捕食者，而捕食時間的長短則由公式計算得來。每次捕食開始前，記錄者應把珠子隨機的灑在捕食區域，此時捕食者應轉過頭去不可偷看。一旦計時開始，捕食者應盡其所能的捕食，直到時間到為止。記錄的同學則必須仔細計算每次捕食者捕到的獵物(珠子)。

### Part 1.對於偽裝效應下的自然選擇

在這個實驗中，被捕食者是三個不同顏色的珠子。每種珠子開始時的數目都相同，而且具有相同的繁殖率。不過每種珠子因顏色不同，在草地上被捕食的機率也不同。此外，被捕食者的族群是以指數 (exponential) 生長的方式成長，但三個族群有一個共同的總負荷量 (carrying capacity, K)。本實驗中捕食者的族群並不繁殖，也不會餓死。經由這個實驗你應該可以觀察到，保護色對被捕食者族群動態的影響。

假設：

#### A.被捕食者

- 1.被捕食者是不連續的世代 (discrete generation)，也就是說親代繁殖後會全部死亡。
- 2.被捕食者的族群以指數生長模型 (exponential growth) 成長，但會受到捕食者捕食壓力的影響。其計算公式如下：

$$N_{j(t+1)} = r (N_{j(t)} - Y_j) = r L_j$$

- 3.被捕食者的繁殖率  $r$  全部相同。

4. 三個被捕食者的族群總和不能超過總負荷量 (total carrying capacity, K)。

## B. 捕食者

本實驗假設捕食者的族群沒有動態變化，捕食者捕捉獵物的能力也不因時間不同而改變。

### 實驗狀況：

1.  $N_{1(0)} = N_{2(0)} = N_{3(0)} = 15$  顆珠子。
2. 被捕食者的繁殖率  $r_1 = r_2 = r_3 = 2$ 。
3. 總負荷量  $K = 60$ 。
4. 捕食者數量 = 20 (一個人 20 秒)。

### 實驗步驟

開始時，將三種珠子 (共 45 顆) 隨機灑在捕食區域內，然後捕食者在 20 秒內盡量捕食獵物。捕食完畢後，計算未被捕食的被捕食者 (珠子)，並依此算出應有多少新的珠子加入下一輪 (依三者比例達總負荷量計算)。加入新珠子後，重新開始新的捕食與繁殖過程。繼續重複這個過程，直到被捕食者的族群數量不再有明顯的變化為止。被捕食者族群變化的計算方法如下：

$$L_j = N_{j(t)} - Y_j$$

$$M_j = r * L_j$$

$$T = M_1 + M_2 + M_3$$

$$N_{j(t+1)} = (K * M_j) / T, \text{ if } T \text{ greater than } K.$$

$$N_{j(t+1)} = M_j, \text{ if } T \text{ less than or equal to } K.$$

$$A_j = N_{j(t+1)} - L_j$$

## Part 2.不同繁殖速率與密度依變 (density-dependence) 對族群動態的影響

在本實驗中，我們加入兩項修改，使被捕食者的族群變化更符合實際。一個是各個族群將不再具有相同的繁殖率，我們將提高比較容易被吃掉種類的繁殖率，來看看繁殖率的增加是否對族群的動態有很大的影響。二是在計算被捕食者族群變化時，將密度依變因素加入考慮。

**假設：**

### A.被捕食者

- 1.只有兩種被捕食者，一種是 Part 1. 的勝利者(存活最多的)，另一種是顏色較明顯的。
- 2.被捕食者的族群依對數生長模型 (logistic growth) 成長。
- 3.較易被發現的種繁殖率較高，不易被發現的種繁殖率較低。
- 4.每種有自己的負荷量(K)。
- 5.重複世代 (overlapping generation)。

### B.捕食者

沒有族群變化，與 Part 1. 的假設相同。

**實驗狀況：**

1. $N_{1(0)} = N_{2(0)} = 15$
- 2.不易被發現的種類  $r_1 = 0.8$ 。  
較易被發現的種類  $r_2 = 1.2$  ( $r = 0.8 \sim 1.5$ )，各組應試用不同的  $r$  值。
- 3.負荷量  $K_1 = K_2 = 30$ 。
- 4.捕食者數量 = 20。

**實驗步驟**

與 Part 1. 相同，但被捕食者族群數量的計算方式不相同：

$$L_j = N_{j(t)} - Y_j$$

$$N_{j(t+1)} = L_j + r_j * L_j [(K_j - L_j) / K_j]$$

$$A_j = N_{j(t+1)} - L_j$$

### Part 3. 捕食者與被捕食者的關係

在這個實驗中，我們希望能看出捕食者與被捕食者之間的動態關係。許多模型都能夠解釋捕食者與被捕食者間的關係，在這裡我們用常用的 Lotka-Volterra model 來看看是否可以解釋捕食者與被捕食者間的關係。

**假設：**

A. 被捕食者

1. 只有一種顏色不是太明顯的珠子。
2. 與 Part 2. 相同，為對數生長模型 (logistic growth) 成長。

B. 捕食者

1. 不連續的世代 (discrete generation)。
2. 捕食者的繁殖數目，取決於吃下獵物的多寡，及捕食者將吃下的獵物轉換成下一代的效率 (b)。

**實驗狀況：**

1.  $N_{(0)} = 30$ 。

- 2.被捕食者的繁殖率  $r = 1$ ，各組應試不同的  $r$  值 ( $r = 1 \sim 1.5$ )。
- 3.負荷量  $K = 50$ 。
- 4.捕食者數量 = 20。
- 5.各組應試不同的  $b$  值 ( $b = 1.0 \sim 1.5$ )。

### 實驗步驟

除了計算捕食者繁殖率的方法不同外，其餘步驟大致與 Part 2. 相同。請進行十個世代以上，或直到  $N_{(t)}$  或  $P_{(t)}$  已不再大幅度變化為止。

$$L = N_{(t)} - Y$$

$$N_{(t+1)} = L + r * L[(K-L)/K]$$

$$A = N_{(t+1)} - L$$

$$P_{(t+1)} = Y * b$$

最後請畫出兩個圖：

1.  $N_{(t)}$  and  $P_{(t)}$  on the Y-axis versus  $t$  on the X axis.
2.  $P_{(t)}$  on the Y-axis versus  $N_{(t)}$  on the X-axis.

### 四、問題

- (一) 在 Part 1. 中，影響被捕食者族群存活率的主要因子為何？
- (二) 比較Part 2.各組  $r$  值不同所造成的影響？
- (三) 在實驗中我們假設每個世代都是分離而不重疊，但在自然環境下，除了極少數特例外，一般而言族群世代皆有重疊的情形。試以 Part 3. 的捕食者為例，你認為  $P_{(t+1)}=Y*b$  應該如何修正？
- (四) Part3. 中不同  $r$  值與  $b$  值是否會影響到捕食者及被捕食者族群的大小？

請解釋這些變化。

- (五) 請解釋 Part 3. 中所畫出的兩個圖各代表什麼意義？並比較課本中 Lotka-Volterra model，看看是否可以解釋捕食者與被捕食者間的關係。
- (六) 試從自然界中，舉例說明Part 1, Part 2, Part 3的實例？

### 參考文獻

- Kreb, C. J. 1994. Ecology: The Experimental Analysis of distribution and Abundance. pp. 230-261. Harper Collin, New York.
- Smith, R. L. 1990. Ecology and Field Biology. pp. 450-482. Harper Collins, New York.







### Part 3. 捕食者與被捕食者的關係

$$L = N_{(t)} - Y$$

$$N_{(t+1)} = L + r * L[(K-L)/K]$$

$$A = N_{(t+1)} - L$$

$$P_{(t+1)} = Y * b$$

Record the values you used for r and b: r=\_\_\_ b=

t	N <sub>(t)</sub>	P <sub>(t)</sub>	Y	L	M	A
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						