

一、前言

(一)、 研究目的

研究鳥類的遷徙行為，是目前世界上鳥類研究的主要方向之一；而研究的重點多著重於鳥類遷徙時的能量利用或飛行距離 (Castro and Myers 1989, Bolshakov *et al.* 2003, 李 2002, 蔣等 2003, 蔣等 2005)。其中決定鳥類能量利用的方式與飛行距離的遠近，與體脂肪的含量多寡有相當密切的關係 (Hayman *et al.* 1986)。

而早期研究體脂肪，大多是利用有機溶劑萃取或全身鉀含量來推估體脂肪 (Horswill *et al.* 1989)，但這些方法會傷害殺死鳥體，影響動物的生存權；所以近來研究者多採用非破壞性的測量方法如近紅外線輻射法 (Near Infrared Interactance, IRI) 和全身電導度法 (Total Body Electrical Conductivity, 以下簡稱 TOBEC) 來進行全身體脂肪測量 (Roby 1991)。而其中的全身電導度法因為其測得之體脂肪值與實際值具有良好的相關性 (Horswill *et al.* 1989)，所以較常被研究者所使用。

台灣位於亞洲的東亞 - 澳洲遷徙線上，是鳥類遷徙時的重要休息站；而中部台中彰化地區海岸位於台灣的中間地帶，其中的大肚溪口南岸至彰濱工業區一帶更是中台灣重要的水鳥棲地，每年均有大量的黑腹濱鷸、彎嘴濱鷸、紅胸濱鷸、蒙古鵝及鐵嘴鵝過境台灣 (Hayman *et al.* 1986, 陳 2000, 蔣等 2005)，在大肚溪口補充能量後繼續南遷或北返。

目前經由全身電導度法測量體脂肪，並無法直接得到其體脂肪含量，從測量所得之數值 (E-Value 值) 必須經由一個迴歸轉換公式計算後才能推估其體脂肪含量。而目前的相關研究均使用其他的遷徙線鳥種之轉換公式來估算其體脂肪含量 (Scott *et al.* 1991, 李 2002, 蔣等 2005)，有些鳥種甚至無轉換公式可用 (蔣等 2003, 蔣等 2005)，必須藉由同屬或體型相近物種來取代；但是目前並不清楚所估算出來的體脂肪含量與實際體脂肪之差距多寡。

因此本研究嘗試分別以台灣渡冬與過境期的代表性鳥種黑腹濱鵲及鐵嘴鵲，藉由一些鳥體樣本進行體脂肪萃取並配合全身電導度的資料，推導出這兩種鳥全身電導度的迴歸轉換公式，並與先前的相關研究（蔣等 2005）數據進行比較，討論不同的轉換公式間造成的體脂肪差異之多寡，進而瞭解候鳥在遷徙時能量的利用模式。期望此研究能建立黑腹濱鵲與鐵嘴鵲的東亞-澳洲遷徙線之基礎資訊與未來相關研究的參考資料。

(二)、文獻回顧

1. 黑腹濱鵲與鐵嘴鵲在東亞之分布及遷徙行為

(1) 黑腹濱鵲的基本介紹、分布、遷徙行為及路線

黑腹濱鵲體長約 19 至 22 公分，嘴為黑色較粗長且尖端略為向下彎曲；夏羽背部為紅棕色斑塊，具黑褐色斑和白色羽緣，頸部與胸部有黑褐色縱紋，身體下部為白色，腹部有一大面積之黑色斑塊，極易辨識；冬羽背部為灰色，有不明顯黑色軸紋，腰部為白色，頸部及胸側有灰褐色縱紋（王等 1991, 顏等 1996）。主要的繁殖區都在北緯 70 度附近的濱海溼地（張 and 楊 1994），而冬天則廣泛分布在北半球的河口、沙洲、湖泊岸邊淺水處與沼澤地區（顏等 1996）。在野外以軟體動物、昆蟲及昆蟲幼蟲為食物，其中以端腳類為其主要食物（蔡 1994）。大部分採群聚生活，偶爾有一些零星個體會單獨活動。為中國大陸長江以南地區、海南島以及台灣的普遍冬候鳥。

根據東海大學環境科學系於 1995 年四月至 2005 年六月在大肚溪口的彰濱工業區所做監測工作的資料顯示，黑腹濱鵲族群約在每年十月份抵達台灣中部，過境族群繼續往南遷移度冬，一部分度冬族群留在台灣，於次年一月底或二月初時開始北返，陸續離開台灣，北返的遷徙行為會持續到四月份（蔣等 2005），回到西伯利亞或阿拉斯加進行繁殖。黑腹濱鵲的遷徙路線是從西伯利亞或阿拉斯加的繁殖地往南遷徙，主要有兩條路徑：從西伯利亞沿著中國沿海地區南下；或是沿著勘察加半島、日本列島的路線（Kashiwagi 2001）。

(2) 鐵嘴? 的基本介紹、分布、遷徙行為及路線

鐵嘴? 體長約 22-25 公分，嘴粗長堅硬，夏羽時過眼線為黑色，背部為黑褐色，頸部與喉部為白色，上胸有栗紅色區塊，胸部與白色喉部相接處無黑色細邊，腹部為白色；冬羽背部為灰褐色，胸腹部為白色，並有明顯之白色眉線延伸至前額（王等 1991, 顏等 1996）。主要繁殖區在西伯利亞的阿爾泰山以南至蒙古的戈壁沙漠，西至新疆的天山山脈。冬天則分布於海南島及澳洲一帶濱海地區。主要以昆蟲及軟體動物為食（Marchant and Higgins 1993）。為台灣普遍過境鳥。

根據中華民國野鳥學會（2001）和彰濱工業區監測調查報告（中興工程顧問公司 2000-2002）的資料顯示，鐵嘴? 族群約在每年的六月底抵達台灣，在短暫的停留補充能量之後繼續往南遷移，大約於八月開始陸續離開台灣（蔣等 2005）。鐵嘴? 的遷徙路線是從中北亞的繁殖地往澳洲方向南遷，主要有兩條路徑：從中國內陸到南中國，從香港附近出海到澳洲；或是從中國東海一帶出海，經由台灣、琉球群島、菲律賓到澳洲（Marchant and Higgins 1993）。台灣是秋季過境重要的停棲點之一。

2. 鳥體之體脂肪累積與遷徙之關係

當水鳥遷徙時，是使用其體內儲存的脂肪作為其主要的能量來源（Hayman *et al.* 1986）。小型非遷移性鳥類之體脂肪佔身體正常體重的 3-5%，短距離遷移的鳥類則在 13-25% 之間，而長距離或洲際遷移的鳥類，體脂肪則可以達體重的 30-47%（Berthold *et al.* 1975）。所以可經由鳥體內的體脂肪含量來推估其遷徙飛行距離（李 2002, 蔣等 2003），了解其能量利用、遷徙模式與中途停棲地點，以提供水鳥保育工作上之利用。

3. 體脂肪萃取法之原理

脂肪為一種不溶於水的有機化合物，但可溶於醚類或苯等有機溶劑中，因此利用有機溶劑將脂肪從鳥體中溶解後再蒸發除去有機溶劑，其殘留物即為脂肪。一般所使用之有機溶劑有兩種：石油醚及乙醚。但石油醚僅分離動物可利用的油脂，而乙醚則是萃取總油脂。在本實驗中所探討之體脂肪應以總油脂較為符合研究目的，故選定以乙醚作為萃取體脂肪之有機溶劑。常用的萃取方法有瑞氏法、Soxhlet 及 Folch 萃取法。

(1). 瑞氏法 (A.O.A.C. 1984)

適用於萃取乳製品中的脂肪，其檢驗原理是先以氨水融解酪蛋白，並中和產品之酸度，降低黏稠度。其次加入酒精避免形成膠稠物。再加入乙醚萃取脂肪，以及加入石油醚融解無脂固形物，再經由離心分層，重複加入乙醚及石油醚離心分層，取上層離心液烘乾即可得到脂肪。

(2). Soxhlet 萃取法 (A.O.A.C. 1984)

適用於乾燥後脫水的樣品，其檢驗原理是以乙醚溶解脂肪，經由特別設計的 Soxhlet 萃取器迴流收集乙醚，再將乙醚蒸發回收，剩餘物烘乾即為脂肪。

(3). Folch 萃取法 (Folch *et al.* 1957)

適用於液狀的樣品。其檢驗原理是以氯仿與甲醇混合溶液 (2 : 1, V/V) 溶解脂肪，再以均質機均質，然後靜置 1 小時後以濾紙過濾，濾液以分液漏斗移去水層後，將下層溶液烘乾秤重即得到脂肪。

因為瑞氏萃取法只適用於乳製品，Folch 萃取法也只適用於液體樣品，上述兩種都不能用來萃取非液態的樣品，對於萃取鳥體中的脂肪並不合適，並且在推估 TOBEC 迴歸方程式需先烘乾鳥體，將鳥體中的水

分除去，減少誤差，故一般研究者多採用上述三種方法中的 Soxhlet 萃取法進行體脂肪萃取 (Mascher and Marcstrom 1976, Pienkowski *et al.* 1979, Summers and Waltner, 1979, McEwan and Whitehead, 1983, Krementz and Pendleton 1990)。

4. 全身電導度法測量體脂肪之理論與實際利用

全身電導度法 (TOBEC) 於 1970 年代開始使用 (Harker 1973)，是一種非破壞性、不會傷害動物的測量技術 (Walsberg 1988, Castro *et al.* 1990)。發展至 1980 年代之後使用技術逐漸成熟，開始被廣泛的應用於各方面關於體脂肪的研究包括：測量活體鼠類之身體組成 (Baer *et al.* 1993) 及胃含物的關係 (Voltura and Wunder 1998)、比較鼠類的副睪丸間的脂肪含量與全身體脂肪的關係 (Stenger and Bielajew 1995)、鼠類體脂肪累積與活動行為的研究 (Cabanac and Gosselin 1996)、成長期鼠類體重與非體脂肪部分增加率的研究 (Gosselin and Cabanac 1997)、以家兔及幼豬來探討身體組成對於全身電導度法的影響 (Fiorotto *et al.* 1987)、探討濱鵲度冬族群之體重與覓食行為間的關係 (Buchanan *et al.* 1985)、探討三趾鵲在不同非繁殖地其體脂肪累積的差異 (Castro and Myers 1990)、以全身電導度法來推估活體鳥類的體脂肪含量 (Castro *et al.* 1990)、以全身電導度法來推估北美鶉的體脂肪含量 (Frawley *et al.* 1999)、以全身電導度法來推估兩種鶉科水鳥的體脂肪及非體脂肪部分 (Skagen *et al.* 1993)、以全身電導度法來測量黑腹濱鵲、半蹼鵲及短嘴田鶉的體脂肪 (Lyons and Haig 1995 a)、測量春過境鶉科的體脂肪含量與停留時間的關係 (Lyons and Haig 1995 b)、測量北美紅雀的體脂肪與非體脂肪含量並探討其關係 (Burger 1997)、研究東南澳斑紋雀季節性的體重及體脂肪變化 (Rozman *et al.* 2003)、使用全身電導度法來推估四種野外活體鳥類的體脂肪含量 (Scott *et al.* 1991) 等研究。

全身電導度法的原理是依據 Harker (1973) 的理論：一個震盪中的磁場，可以藉由其螺形線圈的抗電阻中偵測到的改變來測量其線圈中之物體的導電度 (Presta *et al.* 1983)。由於鳥類身體中非體脂肪重量 (Fat Free Mass, 以下簡稱 FFM) 和脂肪的導電度有極大的不同，因此可以藉由兩者之間電導度的差異，測出鳥類身體中非體脂肪部分的含量 (Bellinger and Walliams 1993)。

全身電導度法的優點在於其測量快速、儀器體積輕小且組裝方便，非常適合在野外進行體脂肪測量工作；而且測量時對於鳥體無危險性、無破壞性，不會傷害鳥體且數據準確，是一種安全的測量體脂肪方式 (Roby 1991)。但使用全身電導度法時，測量物必須超過 chamber 的二分之一體積以上，才能準確的測量 (EM-SCAN, Inc., U.S.A., 1993)；且會因金屬腳環的大小 (Scott *et al.* 1991) 或是鳥體含水量過高 (Horswill *et al.* 1989) 而影響其測量結果。

5. 推估 TOBEC 轉換公式之方法

根據文獻 (Horswill *et al.* 1989, Castro *et al.* 1990, Skagen *et al.* 1993), TOBEC 所測量得到的 **E-Value** 值與鳥體中所含的非體脂肪重量 (**FFM**) 具有良好之相關性, 且會呈現一個線性函數的關係 (Scott *et al.* 1991, Lyons and Haig 1995 a)。

$$\text{即 } \mathbf{FFM} = \mathbf{A} \times \mathbf{E-value} + \mathbf{B} \quad (\mathbf{A}, \mathbf{B} \text{ 為常數})$$

所以，在萃取前先測量鳥體之體重 (**W**) 與 **E-Value** 值，再進行體脂肪萃取可得到體脂肪含量 (Fat Mass, 以下簡稱 **FM**)；將體重減去萃取出之體脂肪量即可反推出其 **FFM** 的重量 (Burger 1997)。

$$\text{即 } \mathbf{FFM} = \mathbf{W} - \mathbf{FM}$$

然後以 **FFM** 與 **E-value** 進行數據分析計算，即可求出 **E-Value** 值與 **FFM** 的線性迴歸方程式 (Scott *et al.* 1991, Lyons and Haig 1995 a, Frawley *et al.* 1999)。

如 **E-Value** 值與 **FFM** 並不具有良好之相關性，則考慮其他因子與 **FFM** 之相關性高低，以單因子或多因子方式推估出其迴歸方程式。

二、研究方法

(一)、 鳥體樣本的取得

於 2002 年 9 月初至 2005 年 6 月底，於大肚溪口至漢寶溼地，進行例行監測調查及鳥類繫放時取得死亡之黑腹濱鵝及鐵嘴？個體，以封口袋包裝起來，標示鳥種、日期和取得地點後，置入冷凍庫（-15℃）中保存。

(二)、 測量全身電導度 (TOBEC)

將鳥體以溫水解凍 3 小時後秤重為 W ，再進行全身電導度的測量。由於在野外進行 TOBEC 測量時會因為氣溫或濕度的變化而導致數據不穩定，因此也測量實驗時的氣溫與濕度。全身電導度儀主機型號為 SA-3000 (EM-SCAN, Inc., U.S.A., 1993)，所採用的 chamber 型號為 SA-3076 (EM-SCAN, Inc., U.S.A., 1993) 內徑為 7.6 公分。測量 TOBEC 之操作步驟主要依據李致安（李 2002）所使用修改自 EM-SCAN Inc. (EM-SCAN, Inc., U.S.A., 1993) 操作手冊上之標準步驟，操作步驟如下：

1. 組裝儀器後，先暖機 60 分鐘
 2. 放入標準品（讀數為 962.3）校正，得讀數 A
 3. 測量空載盤的讀數 B
 4. 將個體放於空載盤之上，放入 chamber 中測量，得讀數 C
 5. 該個體的測值則為：
$$\frac{A}{\text{標準品}} = \frac{C - B}{E}$$
- 即： $E = (C - B) \times (962.3 \div A)$ ， $E = E\text{-value}$
6. 每一個體均重複測量五次，以其平均值為該個體之測量值
 7. 以電子式溫濕度計測量操作時的氣溫、溼度，並記錄之。

(三)、 以 Soxhlet 萃取法萃取體脂肪

本萃取方法是依據三篇文獻中的實驗方法加以修改（Scott *et al.* 1991, Skagen *et al.* 1993, Lyons and Haig 1995 a）。先進行萃取鳥體體脂肪的前處理：以解剖剪刀打開鳥體，再以 50℃ 烘乾 72 小時至恆重。萃取之溶劑為試藥級乙醚（Ethyl Ether），在萃取體脂肪時，並將鳥體破碎化，使乙醚能夠

將鳥體內之脂肪完全溶解出來，實驗器材如圖一所示，並依以下實驗步驟進行體脂肪萃取：

1. 置接受器於烘箱中，經 105 恆重，秤其重量，為 W_1
2. 秤樣品乾重，為 L
3. 將樣品置入圓筒濾紙中
4. 將圓筒濾紙置入萃取管中，加入約 300ml 之乙醚
5. 以 50 恆溫水浴加熱萃取
6. 迴流 4 至 7 小時後，待乙醚由褐色轉變為無色後 2 小時，冷卻萃取管至室溫。取下圓筒濾紙，繼續迴流回收乙醚
7. 乙醚回收後，將接受器置入烘箱 50 恆重 3 小時
8. 取出接受器內冷卻後秤重，為 W_2
9. $W_2 - W_1$ 即為其體脂肪含量

(四)、分析數據

使用 SPSS 及 Microsoft Excel 軟體進行數據分析，以最小距離平方法推導其迴歸公式，並以文獻中（蔣等 2005）之野外資料進行重複試算，將黑腹濱鶇（10 月 2 月為度冬期，3 月 4 月為春過境期）與鐵嘴？（7 月 10 月為秋過境期，3 月 4 月為春過境期）分成兩個時期，比較不同公式間所產生的 FFM、脂肪量及飛行距離差異。依照文獻中（蔣等 2005）估計飛行距離有下列兩個估算公式：

$$\text{Davidson (1984) 飛行距離} \quad R = 95.447 \times S \times (M^{0.302} - F^{0.302})$$

$$\text{Castro and Myers (1989) 飛行距離} \quad R = 26.88 \times S \times L^{1.614} \times (M_1^{-0.464} - M_2^{-0.464})$$

R ：飛行距離（公里）

S ：飛行速度。公式中採用鳥類遷徙飛行時之平均值 75 公里/小時。

M ：鳥體重量（克）。 F ：非體脂肪重量（克）。

L ：翼長。黑腹濱鶇平均翼長為 13.23 公分，鐵嘴？為 14.36 公分

M_1 ：抵達目的地體重（克）。 M_2 ：出發前體重（克）。

因本實驗中所採用的野外資料無法得到其 M_1 及 M_2 ，故本文使用 Davidson (1984) 飛行距離公式來進行比較。

三、結果

於研究樣區內，從 2001 年 9 月初至 2005 年 6 月底，透過在繫放過程或於路上撿拾取得死亡之黑腹濱鷸 12 隻、鐵嘴？ 6 隻。

(一)、 黑腹濱鷸全身電導度測量與萃取體脂肪結果

黑腹濱鷸各項實驗資料結果如表一。其中實際萃取體脂肪量 (FM) 在 0.5 ~ 8.5 公克之間，平均為 4.73 ± 2.63 公克。體脂肪率 (%) 在 1.22 % ~ 13.16 % 之間，平均為 8.27 ± 4.03 %。非體脂肪重量 (FFM) 在 40.4 ~ 58.6 公克之間，平均為 50.04 ± 5.46 公克。瘦肉組織部分 (Lean Mass, 以下簡稱 LM) 在 21.1 ~ 33.6 公克之間，平均為 27.82 ± 4.13 公克。各數據間的相關性如表三所示，W 對 WM、FM、FFM 皆為高度正相關，而 W 對 LM 為無顯著相關；WM 對 FFM 為高度正相關。

(二)、 黑腹濱鷸之體脂肪迴歸公式推導

實驗的數據經由 SPSS 及 Microsoft Excel 軟體進行數據迴歸分析後，由於 FFM 與 E-value 間的相關性並不高 ($R^2 = 0.2402$)。為了得到更精確的推估迴歸方程式，因此利用多元？ 歸 (Multiple Regression) 來分析各數據與 FFM 的相關性，發現其相關性高低依序為體重、含水量及 E-value。由於在野外並無法直接得到含水量，因此僅以 FFM 與體重及 E-value 等雙因子，建立一個預測變數 (FFM) 與準則變數 (重量、E-value) 間的關係公式。此分析選取？ 歸模式的預測變數方法是逐步？ 歸，統計結果如表四，迴歸公式之圖形如圖二。此模式所推估的估計？ 歸函數為：

$$\text{FFM} = 0.06 \times \text{E-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447 \quad (N = 12, P < 0.005)$$

$$R^2 = 0.958, \text{ 調整後的 } R^2 = 0.948, S = 0.979$$

t 檢定結果推翻虛無假設。

(三)、 鐵嘴？ 全身電導度測量與萃取體脂肪結果

鐵嘴？ 各項實驗資料如表二。其中實際萃取體脂肪量 (FM) 在 4.9

33.3 公克之間，平均為 20.63 ± 11.40 公克。體脂肪率 (%) 在 6.21 % 35.45 % 之間，平均為 24.53 ± 12.33 %。非體脂肪部分 (FFM) 在 73.0 96.2 公克之間，平均為 82.50 ± 8.81 公克。瘦肉組織部分 (LM) 在 35.7 67.4 公克之間，平均為 54.00 ± 11.23 公克。各數據間的相關性如表五所示，W 對 E-value、FM 及 FFM 皆為高度正相關；而 E-value 對 FM 及 FFM 亦為高度正相關。

(四)、鐵嘴? 之體脂肪迴歸公式推導

實驗的數據經由 SPSS 及 Microsoft Excel 軟體以迴歸分析 FFM 與各因子間的相關性後，發現以 E-value 與 FFM 之相關性最高，因此僅以 E-value 為因子推估 FFM 之線性迴歸式，如圖三。FFM 推估迴歸公式如下。

$$\text{FFM} = 0.8150 \times \text{E-value} - 9.5004 \quad R^2 = 0.7941 \quad (N = 5, P = 0.042)$$

(五)、氣溫、溼度對測量 TOBEC 之影響

1. 氣溫所造成之影響

將溫度對 TOBEC 測量時之標準品所得之數值作圖，如圖四所示，氣溫與測量值呈現中度正相關 ($R^2 = 0.535$)。

2. 溼度所造成之影響

將溼度對 TOBEC 測量時之標準品所得之數值作圖，如圖五所示，溼度與測量值呈現無顯著相關性 ($R^2 = 0.018$)。

(六)、以不同公式試算野外收集資料

1. 估算非體脂肪重量及體脂肪含量

(1). 黑腹濱鵲之估算結果

將 2002 年 10 月中至 2003 年 4 月底 ($N = 81$) 及 2003 年 11 月中至 2004 年 4 月底 ($N = 82$) 之黑腹濱鵲度冬期及春過境野外資料代入由本研究所得之黑腹濱鵲迴歸公式：

$$\text{FFM} = 0.06 \times \text{E-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447 \quad (\text{N} = 12)$$

$$R^2 = 0.958, \text{ 調整後的 } R^2 = 0.948, S = 0.979$$

Scott (1991) 的黑腹濱鶉公式：

$$\text{FFM} = 0.53 \text{ E-value} + 21.4 \quad R^2 = 0.71 \quad (\text{N} = 11, \text{P} = 0.005)$$

以及 Lyons (1995 a) 的黑腹濱鶉公式：

$$\text{FFM} = 0.89 \text{ E-value} - 37.60 \quad R^2 = 0.79 \quad (\text{N} = 18)$$

另外與 Skagen (1993) 的白腰濱鶉 (*Calidris fuscicollis*, 體長 17-20 公分)：

$$\text{FFM} = (\text{E-value} + 46.823) / 2.554 \quad R^2 = 0.682 \quad (\text{N} = 22)$$

還有 Bachman (1999) 的流蘇鶉 (*Philomachus pugnax*, 體長 25-32 公分)：

$$\text{FFM} = 0.14 \text{ E-value} + 114.7 \quad R^2 = 0.97 \quad (\text{N} = 4)$$

得到體脂肪含量的資料如圖六所示。以本文之公式反推估所得之體脂肪含量為 3.89 - 12.41 克，平均體脂肪為 7.29 ± 1.78 克；以 Scott 之黑腹濱鶉公式反推估所得之體脂肪含量為 2.79 - 31.21 克，平均體脂肪為 14.29 ± 6.20 克；以 Lyons 之黑腹濱鶉公式反推所得之體脂肪含量為 39.34 - 82.40 克，平均為 59.17 ± 9.06 克；以 Skagen 之白腰濱鶉公式反推所得之體脂肪含量為 12.60 - 38.83 克，平均為 22.78 ± 5.52 克；而以 Bachman 之流蘇鶉公式反推所得之體脂肪含量為 -74.40 - -48.71 克，平均為 -63.72 ± 5.35 克。另外將本文所得黑腹濱鶉公式所推估出的個別體脂肪含量除以其體重轉換為體脂肪率，並將其資料分為度冬期及春過境期兩個時期，結果如圖七所示。度冬期的體脂肪率為 8.93 % - 15.33 %，平均體脂肪率為 $12.09 \% \pm 1.59 \%$ ；而春過境的體脂肪率則為 9.34 % - 17.51 %，平均體脂肪率為 $12.99 \% \pm 1.97 \%$ 。

(2). 鐵嘴? 之估算結果

將 2002 年 8 月初至 2003 年 4 月底 (N = 75) 及 2004 年 7 月中

至 2004 年 10 月底 (N = 114) 之鐵嘴? 秋過境及春過境野外資料代入由本研究中所得之鐵嘴? 迴歸公式 :

$$\text{FFM} = 0.815 \text{ E-value} - 9.5004 \quad R^2 = 0.7941 \quad (N = 5, P = 0.042)$$

由於在相關研究中並無鐵嘴? 之 FFM 迴歸公式, 而在相關文獻中 (蔣等 2003, 蔣等 2005) 是以 Scott (1991) 的環頸? (*Charadrius hiaticula* , 體長 18-20 公分) 迴歸公式來代替 :

$$\text{FFM} = 0.36 \text{ E-value} + 33.7 \quad R^2 = 0.93 \quad (N = 6, P = 0.96)$$

另外再代入 Skagen (1993) 的半蹼濱鶉 (*Calidris pusilla* , 體長 13-15 公分) 公式 :

$$\text{FFM} = (\text{E-value} + 17.226) / 1.680 \quad R^2 = 0.786 \quad (N = 22)$$

以及 Lyons (1995 a) 的半蹼濱鶉 (*Calidris pusilla* , 體長 13-15 公分) 公式 :

$$\text{FFM} = 0.59 \text{ E-value} - 6.30 \quad R^2 = 0.35 \quad (N = 20)$$

還有 Bachman (1999) 的流蘇鶉 (*Philomachus pugnax* , 體長 25-32 公分) :

$$\text{FFM} = 0.14 \text{ E-value} + 114.7 \quad R^2 = 0.97 \quad (N = 4)$$

得到體脂肪含量的資料如圖八所示。以本文之新公式反推估所得到之體脂肪為 17.94 90.24 克, 平均體脂肪為 50.06 ± 14.93 克; 以 Scott 之環頸? 公式反推估所得之體脂肪為 5.28 76.66 克, 平均體脂肪為 38.22 ± 15.33 克; 以 Skagen 之半蹼濱鶉公式反推估所得之體脂肪為 13.33 84.80 克, 平均體脂肪為 45.45 ± 14.78 克; 以 Lyons 之半蹼濱鶉公式反推估所得之體脂肪為 30.24 101.69 克, 平均體脂肪為 62.37 ± 14.78 克; 而以 Bachman 之流蘇鶉公式反推估所得之體脂肪為 -63.61 9.99 克, 平均體脂肪為 -27.61 ± 16.46 克。另外將本文所得鐵嘴? 公式所推估出的個別體脂肪含量除以其體重轉換為體脂肪率, 並將其資料分為度冬及春過境期兩個時期, 結果如圖九所示。度冬期的體脂肪率為 25.23 % 76.40 % , 平均體脂肪率為 $53.85 \% \pm 9.59 \%$; 而春過境的體脂肪率則為 22.54 % 54.12 % , 平均體脂肪率為 $39.93 \% \pm 7.72 \%$ 。

2. 估算最大飛行距離

Davidson (1984) 飛行距離公式 $R = 95.447 \times S \times (M^{0.302} - F^{0.302})$

R：飛行距離 (公里)

S：飛行速度。公式中採用鳥類遷徙飛行時之平均值 75 公里/小時。

M：鳥體重量 (克)。

F：非體脂肪重量 (克)。

(1). 黑腹濱鶇之估算結果

將體重及 **FFM** 的資料代入 Davidson 飛行距離估算公式後，因 Lyons 之黑腹濱鶇公式所求出之 **FFM** 多為負值，代入飛行公式求其飛行距離並無意義，故只以本文公式及 Scott 公式所求出的 **FFM** 代入飛行距離公式做一比較，結果如圖十所示，其最大飛行距離分別為 623.25 1463.85 公里 (平均為 979.78 ± 181.15 公里) 及 401.48 4536.33 公里 (平均為 2061.65 ± 914.02 公里)。將本文公式所得到的飛行距離分成兩個時期後，結果如圖十一所示，其度冬期最大飛行距離為 623.25 1234.18 公里，平均為 913.79 ± 146.68 公里；而春過境期最大飛行距離則為 664.69 1463.85 公里，平均為 1004.94 ± 187.17 公里。

(2). 鐵嘴? 之估算結果

將體重及 **FFM** 的資料代入 Davidson 飛行距離估算公式後，如圖十二所示，以本研究鐵嘴? 公式所得結果代入之最大飛行距離為 2119.76 9775.07 公里 (平均為 5685.64 ± 1634.47 公里)，而以 Scott 環頸? 公式所得結果代入之最大飛行距離為 686.83 7116.98 公里 (平均為 3933.15 ± 1325.26 公里)。將本文公式所得到的最大飛行距離分成兩個時期後，結果如圖十三所示，其秋過境最大飛行距離為 2323.34 9775.07 公里，平均為 6069.28 ± 1504.15 公里；而春過境期最大飛行距離則為 2119.76 5762.29 公里，平均為 3936.66 ± 904.57 公里。

四、討論

(一)、 萃取資料分析與體脂肪迴歸公式之比較

在比較體脂肪迴歸公式方面，已將本文中所提及的四篇相關研究 (Scott *et al.* 1991, Skagen *et al.* 1993, Lyons and Haig 1995 a, Bachman and Widemo 1999) 中所有關於水鳥之非體脂肪重量 (**FFM**) 迴歸公式以及本研究中所求得之迴歸公式整理在一起，如表六所示。另外還有利用其他因子 (體重、體長、翼長及跗趾長) 的迴歸公式也一併整理如表七所示。

1. 黑腹濱鵲之萃取資料分析

由於每個鳥體樣本均為獨立的個體，直接比較體脂肪多寡並不適合，因此改以體脂肪率來代表體脂肪做一比較。從實驗結果來看，體脂肪最高含量為 8.5 克 (編號 11)，約佔體重的 13.08%，其季節為北返繁殖地的時間，其他同樣屬於北返者體脂肪率也達到 12.14% (編號 10 號)，顯示其北返時的體脂肪率可能累積到超過 12% 左右才進行遷徙行為，相較於鐵嘴鵲的體脂率，推測黑腹濱鵲可能屬於短距離遷移的鳥類 (Berthold *et al.* 1975)，以跳島方式進行遷徙行為 (李 2002)。而在度冬時期初期的樣本中，體脂肪率也同樣達到 11.68% (編號 2) 及 11.23% (編號 3)，表示其中可能有欲繼續南遷的個體，同樣的在春過境初期的三月份，也有約 5-6% 體脂率的個體，顯示有部份族群是剛由南方遷移進來。實驗樣本中最低體脂肪含量為 0.5 克 (編號 4)，約佔體重的 1.2%，其季節為度冬的時間，其他同樣屬於度冬者體脂肪率也低達 4.33% (編號 5)，因此推估在度冬時期其體脂肪可能維持一個相對較低的比例。

由重量對瘦肉組織部分 (**LM**) 呈現無顯著相關而含水量對 **FFM** 為高度正相關來看，表示 **FFM** 增加可能與鳥體中含水量增加較有關係，而 **FFM** 減去含水量後即為瘦肉組織部份，因此對同一隻成鳥來說其瘦肉組織部份應佔身體中固定的比例，增加的體重應可視為體脂肪或含水量的累積。此結果可能與本實驗之黑腹濱鵲樣本皆為成鳥有關。所以當重複捕捉同一隻成鳥時，可以由其體重變化量大略推

估體脂肪之變化。

2. 黑腹濱鷸體脂肪迴歸公式之比較

由本研究中所得到之迴歸公式：

$$\text{FFM} = 0.06 \times \text{E-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447 \quad (\text{N} = 12)$$

$$R^2 = 0.958, \text{ 調整後的 } R^2 = 0.948, S = 0.979$$

Scott *et al.* (1991) 的黑腹濱鷸公式：

$$\text{FFM} = 0.53 \text{ E-value} + 21.4 \quad R^2 = 0.71 \quad (\text{N} = 11, \text{P} = 0.005)$$

Lyons and Haig (1995 a) 的黑腹濱鷸公式：

$$\text{FFM} = 0.89 \text{ E-value} - 37.60 \quad R^2 = 0.79 \quad (\text{N} = 18)$$

Skagen *et al.* (1993) 的白腰濱鷸 (*Calidris fuscicollis*) 公式：

$$\text{FFM} = (\text{E-value} + 46.823) / 2.554 \quad R^2 = 0.682 \quad (\text{N} = 22)$$

Bachman and Widemo (1999) 的流蘇鷸 (*Philomachus pugnax*) 公式：

$$\text{FFM} = 0.14 \text{ E-value} + 114.7 \quad R^2 = 0.97 \quad (\text{N} = 4)$$

前面三個黑腹濱鷸公式主要比較其相同鳥種但不同公式的差異，而白腰濱鷸與流蘇鷸兩個公式則是來對照體型是否對於推估體脂肪有影響。在三個黑腹濱鷸公式中，以 Lyons and Haig (1995 a) 之公式中 E-Value 所佔的比重最重，且常數項為負值，因此在代入 E-value 數據後所求得之 FFM 可能會得到負值，而 Scott *et al.* (1991) 之公式及本實驗所得之公式因為常數項為正值，因此並不會發生此現象。本實驗所得之公式是以重量為主要因子推估 FFM，再輔以 E-value 因子加以修正，其迴歸式的相關性較 Scott *et al.* (1991) 公式相關性為高；而且與 Scott *et al.* (1991) 公式在時間及空間背景上有所不同，再者本實驗以東亞-澳洲遷徙線上之黑腹濱鷸為實驗樣本，所推估出之迴歸公式應該適合本遷徙線上之黑腹濱鷸推估體脂肪使用。

造成實驗結果中 FFM 與 E-Value 兩者相關性低的原因可能有兩

個：第一個原因可能是在使用 TOBEC 測量時，有些黑腹濱鵲樣本的體積恰介於 chamber 內徑體積的二分之一上下（鳥體之體型較小），而造成測量時的誤差（EM-SCAN, Inc., U.S.A., 1993, Skagen *et al.* 1993, 蔣等 2005），如改用型號 SA-3057 的 chamber（內徑 5.7 公分），可能會降低其誤差。第二個原因則是因為部分樣本的含水量過高（如編號 9、10 及 12），在測量 E-value 值時可能會造成誤差（Horswill *et al.* 1989）。

3. 鐵嘴? 之萃取資料分析

由實驗結果來看，體脂肪最高含量出現在秋過境時期，為 33.3 克（編號 2），約佔體重的 34.62%，其餘兩個秋過境樣本體脂肪率也達到 34.64%（編號 1）及 35.45%（編號 3）顯示鐵嘴? 在秋過境時，體脂肪可能達到 34.62% 左右才進行遷徙；而最低體脂肪含量則出現在春過境，為 4.9 克（編號 5），約佔體重的 6.21%，其餘兩個春過境樣本體脂肪率分別為 15.04% 及 21.23%，都低於秋過境樣本的體脂肪率，這表示鐵嘴? 在春過境抵達台灣時，體脂肪含量最低可能低達 6.21% 上下，而其遷徙時的體脂肪也低於秋過境時的體脂肪。由其遷徙時體脂肪率高達 34% 左右，因此推測鐵嘴? 可能屬於長距離遷移的鳥類（Berthold *et al.* 1975），在南遷的過程中，在台灣進行大量體脂的累積後，可能直接飛抵達度冬地的方式來進行遷徙（蔣等 2003, 蔣等 2005）。

體重對脂肪量及 FFM 均為高度正相關；顯示體重增加時，脂肪量及 FFM 均會增加，這可能與鐵嘴? 樣本有成鳥也有亞成鳥有關。但其含水量與體重之相關性較低，顯示含水量並不會因為體重增加而產生較大的變化。因此當重複捕捉同一隻鐵嘴? 成鳥時，可以由其體重變化量大略推估其體脂肪變化。而其 E-value 與 FFM 呈現高度正相關，表示其迴歸公式以 E-value 推估應具有相當的可信度。

4. 鐵嘴? 體脂肪迴歸公式之比較

由本研究中所得到之迴歸公式：

$$\text{FFM} = 0.815 \text{ E-value} - 9.5004 \quad R^2 = 0.7941 \quad (N = 5, P = 0.042)$$

Scott *et al.* (1991) 的環頸? (*Charadrius hiaticula*) 迴歸公式：
FFM = 0.36 E-value + 33.7 R² = 0.93 (N = 6, P = 0.96)

Skagen *et al.* (1993) 的半蹼濱鶉 (*Calidris pusilla*) 公式：
FFM = (E-value + 17.226) / 1.680 R² = 0.786 (N = 22)

Lyons and Haig (1995 a) 的半蹼濱鶉 (*Calidris pusilla*) 公式：
FFM = 0.59 E-value - 6.30 R² = 0.35 (N = 20)

Bachman and Widemo (1999) 的流蘇鶉 (*Philomachus pugnax*)：
FFM = 0.14 E-value + 114.7 R² = 0.97 (N = 4)

此五個公式中，R² 最高者為 Bachman and Widemo (1999) 之流蘇鶉公式，R² 最低者為 Lyons and Haig (1995 a) 的半蹼濱鶉公式，公式結果可能會出現負值的只有本文鐵嘴? 公式及 Lyons and Haig (1995 a) 的半蹼濱鶉公式，但在正常操作情況下出現負值的可能性都很低。其中 Bachman and Widemo (1999) 的流蘇鶉公式由於其常數項過大，已經達到鐵嘴? 的正常體重範圍內，因此代入鐵嘴? TOBEC 的數據後，所得到的體脂肪數據可能呈現負值或極低。在樣本數方面，以 Skagen *et al.* (1993) 半蹼濱鶉公式的樣本數最多 (N = 22)，Bachman and Widemo (1999) 流蘇鶉公式的樣本數最少 (N = 4)，而本文鐵嘴? 公式的樣本數為 5 隻，與其他公式之樣本數相較之下樣本數雖少，但僅與 Scott *et al.* (1991) 的環頸? 公式及赤足鶉公式之樣本數相差 1 隻，且比 Bachman and Widemo (1999) 流蘇鶉公式的樣本多。另外在準確度方面，Scott *et al.* (1991) 環頸? 公式之 P = 0.96，代表未達顯著差異；而本文鐵嘴? 公式的 P = 0.042，具有顯著差異。顯示本文所求得之鐵嘴? 公式準確度較高。在目前並無相關研究的情況下，本實驗所得之鐵嘴? 迴歸公式應可適用於東亞-澳洲遷徙線上之鐵嘴? 推估體脂肪使用。

(二)、以野外資料代入新舊公式所得之體脂肪差異

1. 黑腹濱鶇之估算結果差異

將 2002 年 10 月中至 2003 年 4 月底 (N = 81) 及 2003 年 11 月中至 2004 年 4 月底 (N = 82) 之黑腹濱鶇度冬期及春過境野外資料代入各個公式後發現，由於 Lyons and Haig (1995 a) 之黑腹濱鶇公式所得到的 FFM 多為負值，所以推估出體脂肪後明顯偏高，表示 Lyons and Haig (1995 a) 之公式可能較不適合使用於東亞-澳洲遷徙線上；另外 Skagen *et al.* (1993) 的白腰濱鶇公式所得之體脂肪結果與 Scott *et al.* (1991) 黑腹濱鶇公式所得結果類似，但 Bachman and Widemo (1999) 之流蘇鶇公式所得結果則完全呈現負值的情況。這顯示體型大小相似的物種，其迴歸公式代入相同數據後所得之結果也會相似，因此如果某物種無迴歸公式，可考慮以體型大小相似物種之迴歸公式來暫時代替。

由本研所得之黑腹濱鶇公式所得結果較集中，而代入 Scott *et al.* (1991) 之公式所得的體脂肪較本文之公式所得之結果離散；在平均體脂肪上，本黑腹濱鶇公式較 Scott *et al.* (1991) 之公式低了 7 公克。由此可知本文中所推導之黑腹濱鶇迴歸公式與目前相關研究 (Scott *et al.* 1991) 中所推導之公式具有差異性，但兩個公式代入實際野外數據後，結果仍有些相近。另外在不同時期方面，在度冬時期的體脂肪率較低，幾乎都低於 14% (除了體脂肪率最高的個體之外)，可能是因為度冬時期並不需要進行長距離的遷徙行為，其鳥體中累積的體脂肪僅提供日常所需即可；而春過境時的體脂肪率則多數偏高，超過三分之一的個體皆超過 14%，這可能是因為春過境期間在大肚溪口停留的個體為了進行長距離的遷徙行為，因此需要累積較多的體脂肪以利於長途遷徙；因此區分春過境與其他時期個體，應可以由其體脂肪率是否超過 14% 來作為依據，如該個體的體脂肪率超過 14%，可以將其判定為春過境個體。由於本黑腹濱鶇公式是以體重為主要因子，於野外發生特殊狀況時 (無電源供應或 TOBEC 儀器無法使用)，E-Value 因子可以不需考慮，僅使用體重推估其體脂肪亦可，但要注意可能會增加其誤差。

在飛行距離方面，以 Davidson (1984) 飛行距離公式代入所得結果後，Scott *et al.* (1991) 所得之結果推估出之平均最大飛行距離較本文公式之推估之最大飛行距離遠，相差約 1100 公里。而在不同的時期當中，以春過境時的最大飛行距離為最遠，超過一半以上個體的最大飛行距離皆超過 1000 公里，而度冬時期的最大飛行距離也都超過 600 公里。由本文所得結果來看，大部分黑腹濱鵲春過境族群也許可以由中部地區直接飛抵浙江沿岸（約 1000 公里）或是琉球群島（約 600 公里）；部分黑腹濱鵲族群會在 10 月份前抵達台灣，可能為會繼續南遷的族群，但其南遷的路徑及地區目前仍不清楚，可能是經由廣東沿海（約 400 公里）飛抵海南島以及中南半島北部（李 2002, 劉等 2005）。目前可以證實此推論的證據就是依賴更多的繫放回籠資料，因此透過持續的水鳥繫放工作應該可以更了解其詳細的遷徙情形。

2. 鐵嘴鵲之估算結果差異

將 2002 年 8 月初至 2003 年 4 月底 (N = 75) 及 2004 年 7 月中至 2004 年 10 月底 (N = 114) 之鐵嘴鵲秋過境及春過境野外資料代入本文所得公式及其他四個公式後，所得到體脂肪結果的離散程度相似，只有 Bachman and Widemo (1999) 之流蘇鵲公式所得結果呈現負值，其餘四個公式所得結果均為正值且類似。其中 Skagen *et al.* (1993) 與 Lyons and Haig (1995 a) 的半蹼濱鵲公式，雖然為同一鳥種但兩者結果不盡相同，這可能與其研究區域及時間有差異所導致。

另外將本文之鐵嘴鵲公式與 Scott *et al.* (1991) 環頸鵲公式的結果相比較，發現平均體脂肪以本文之鐵嘴鵲公式所得較高，比 Scott *et al.* (1991) 的環頸鵲公式高出 11.82 公克，大約增加 30% 左右。因此在文獻中（蔣等 2003, 蔣等 2005）以 Scott *et al.* (1991) 環頸鵲公式所計算得到之鐵嘴鵲體脂肪含量，應該會出現低估的情況。另外在不同時期方面，以秋過境時的體脂肪率最高，超過一半的個體皆超過 53%，而秋過境時的體脂肪率則較低，幾乎都低於 54%；這顯示秋過境遷徙時所飛行的距離可能較遠，或是因為此時並

無繁殖的時間壓力，為了確保能平安抵達下一個停棲點或度冬地，所以必須累積較多的能量才能抵達目的地。

以 Davidson (1984) 飛行距離公式代入所得結果後, Scott *et al.* (1991) 環頸? 公式所得結果所推估出之平均最大飛行距離較短, 本文之鐵嘴? 公式所得結果所推估出之平均最大飛行距離較遠, 相差約 1780 公里。而在不同的時期當中, 以秋過境時的最大飛行距離為最遠, 超過一半以上個體的最大飛行距離皆超過 6000 公里, 而秋過境時的最大飛行距離也都超過 2000 公里。由本文所得結果來看大部分鐵嘴? 春過境族群可以由中部地區直接飛抵黃河口 (約 1500 公里) 或中國內陸; 秋過境族群則可以直接飛抵澳洲西北方 (約 4800 公里) 或澳洲昆士蘭 (約 5600 公里)。由於目前尚無鐵嘴? 迴歸公式的相關研究 (蔣等 2003, 蔣等 2005), 本文所推導之迴歸公式為目前唯一可利用的鐵嘴? 公式, 由 R^2 與 P 值皆顯示本公式為可接受之迴歸公式, 因此後續相關研究應可使用本公式推估鐵嘴? 之 FFM 及脂肪量, 進而更了解其遷徙模式及路徑。

(三)、實驗誤差

1. 使用全身電導度法測量體脂肪時所產生之誤差

(1) 環境因子所造成之測量誤差

a. 氣溫

由標準品測值對氣溫呈現中度正相關來看, 表示氣溫會對測量值產生影響。在兩篇文獻中 (Walsberg 1988, Scott *et al.* 1991) 皆指出氣溫對於測量值並沒有顯著差異, 但鳥體的體溫會對 E-Value 產生影響。由本實驗所得的結果顯示, 當鳥體死亡後, 其體溫會受到氣溫的影響產生改變, 因此氣溫對於測量值的影響也會增加, 但由於實驗時並未設定將溼度維持在一定值, 可能造成氣溫與溼度產生互相干擾, 因此無法明確量化溫度的影響多寡。

b. 溼度

由標準品測值對溼度呈現無顯著相關性來看，表示溼度不會對於測量值產生影響。但由實際的野外測量經驗得知，在濕度超過 95%（電子式溫溼度器顯示為 HI）時，測量值的跳動變化範圍會增加，導致數值極度不穩定，這表示溼度過高會對測量時的準確性產生影響。但目前無法將影響加以量化。

綜合以上氣溫與溼度的結果，僅能得知氣溫改變會對於鳥體的體溫產生影響，而溼度過高會造成測量數值的變動範圍增加，因此在野外進行全身電導度測量時，應注意環境的氣溫及溼度，避免直接將儀器直接暴露於空氣劇烈流動處，以非金屬製物品加以遮蔽阻隔，如氣溫或溼度變化太大，則在推估體脂肪時應考慮會高估 FFM 而低估了體脂肪。

(2) 繫上金屬環及足旗時所造成的測量誤差

在總計 18 個實驗樣本中，只有 1 隻濱鵲樣本是重複捕收後死亡的個體，身上還附有腳環及足旗，因此無法使用數據分析金屬環及足旗是否會影響測量結果。在文獻中（Scott *et al.* 1991）作者認為金屬環會影響測量結果，但在其他文獻中（Castro *et al.* 1990, Skagen *et al.* 1993）則顯示沒有影響。如果就本實驗的單一個體來看，在拆除金屬環及足旗前後分別測量鳥體之體重及全身電導度值，發現體重及全身電導度值在拆除前後並無明顯的差別，將測量值代入迴歸公式之後所得到之 FFM 也無明顯差別，但由於金屬環會被當成鳥體中 FFM 的一部分，因此會造成些微高估 FFM 的結果，而略為低估了實際的體脂肪含量。

(3) 樣本數所產生的誤差

增加樣本數或許可以有效降低誤差，但基於保障動物的生存權及遵守野生動物保育法的前提之下，本實驗如要增加樣本數可能必須以刻意殺害的方式來取得樣本，如此勢必會造成鳥體死亡，同時與其他文獻（見表六）中所使用的樣本數相比較之下，本研究樣

本數並不算太少，而且能以最少樣本數求出最接近實際體脂肪迴歸公式來達到本研究之目的。

2. 不同亞種、年齡及性別間所造成的誤差

目前已知黑腹濱鷸在東亞遷徙線上至少有三種以上不同之亞種（李 2002, 劉等 2006），而不同亞種間所存在的差異，可能會造成推估迴歸方程式上的誤差。但本實驗中因受限於樣本數過少，不適合再做進一步的分類，因此並未將黑腹濱鷸及鐵嘴？區分年齡及性別，也不考慮黑腹濱鷸亞種間的差異所造成誤差。本實驗所求出之迴歸公式僅針對單一鳥種所推導，希望適用於個別鳥種（黑腹濱鷸及鐵嘴？），有關於各亞種之體脂肪迴歸公式尚待後續的相關研究繼續努力。

(四)、總結

由本研究結果得知，以體重因子為主搭配 **E-value** 因子為輔的黑腹濱鷸迴歸公式，其 $R^2 = 0.958$ 且呈現良好的線性關係，代入實際野外資料後所得結果與 Scott (Scott *et al.* 1991) 之黑腹濱鷸公式略有不同，如改用內徑較小之 chamber 進行測量，也許可以得到更好的結果，此尚待後續相關研究加以驗證。鐵嘴？迴歸公式之 $R^2 = 0.79$ ，此公式應可適用於鐵嘴？或其他相近物種之體脂肪推估。實驗結果亦證實氣溫及濕度等環境因子會對測量值造成影響，野外測量時應注意氣溫與濕度變化過大會造成推估體脂肪之誤差。

五、參考文獻

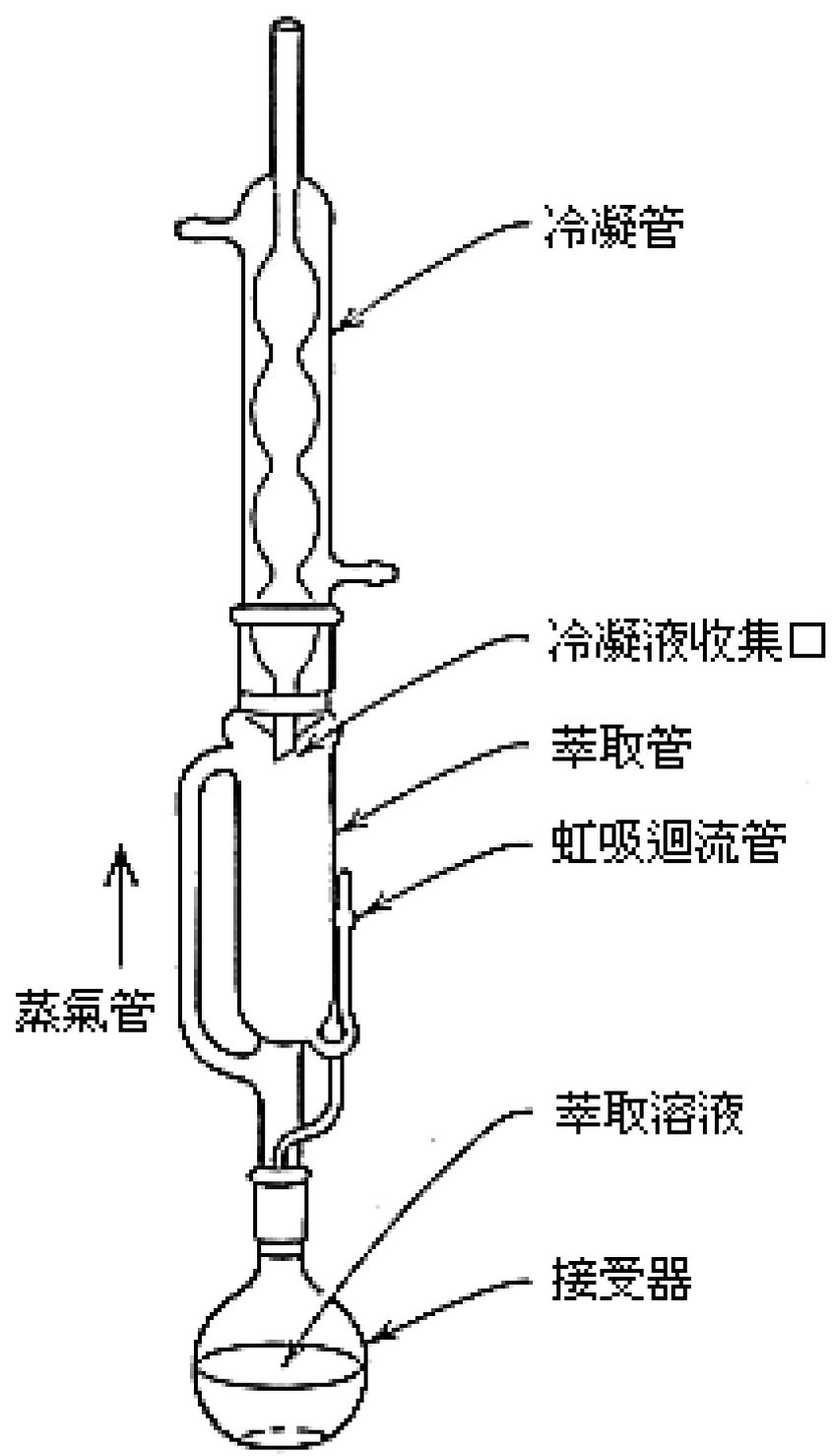
- A.O.A.C. 1984. *Official Methods of Analysis*, 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, U.S.A.
- Baer, D. J. , W. V. Rumpler, R. E. Barnes, L. L. Kressler, J. C. Howe & T. E. Haines, 1993. Measurement of body composition of live rats by electromagnetic conductance. *Physiol Behav.* 53 (6):1195-1199.
- Bellinger, L. L. and F. E. Walliams, 1993. Validation study of total body electrical conductive (TOBEC) instrument that measures fat-free body mass. *Physiol Behav.* 53 (6):1189-1194.
- Berthold, P., D. S. Farner, J. R. King and K. C. Parkes, 1975. Migration: control and metabolic physiology. *Avian Biology* Vol. 5, Eds. 77-128. Academic Press. New York.
- Bolshakov, C. V., V. N. Bulyuk, A. Mukhin and N. Chernetsov, 2003. Body mass & fat reserves of Sedge Warblers during vernal nocturnal migration: departure versus arrival. *J. Field Ornithol.* 74 (1):81-89.
- Buchanan, J. B., L. A. Brennan, C. T. Schick, M. A. Finger, T. M. Johnson, & S. G. Herman, 1985. Dunlin Weight Changes in Relation to Food Habits and Available Prey. *J. Field Ornithol.* 56 (3): 265-272.
- Bachman, G. and F. Widemo, 1999. Relationships between body composition, body size and alternative reproductive tactics in a lekking sandpiper, the Ruff (*Philomachus pugnax*). *Functional Ecology* 13: 411-416.
- Burger , M. F., 1997. Estimating lipid and lean masses in a wintering passerine: An evaluation of TOBEC. *Auk* 114 (4): 762-769.
- Cabanac, M. and C. Gosselin, 1996. Ponderostat : Hoarding Behavior Satisfies the Condition for a Lipostat in the Rat. *Appetite.* 27: 251-261.
- Castro, G. and J. P. Myers, 1989. Flight range estimates for shorebirds. *Auk* 106: 474-476.
- Castro, G. and J. P. Myers, 1990. Validity of Predictive Equations for Total Body Fat in Sanderlings from Different Nonbreeding Areas. *Condor* 92: 205-209.
- Castro, G., B. A. Wunder and F. L. Knopf, 1990. Total body electrical conductivity (TOBEC) to estimate total body fat of free-living birds. *Condor* 92: 496-499.

- Davidson, N. C., 1984, How valid are flight range estimates for waders? *Ringing & Migration* 5: 49-64.
- EM-SCAN / TOBEC® 1993, Model SA-3000 Multi-Detector, Small Animal Body Composition Analysis System Operator's Manual, EM-SCAN Inc. 3420 Constitution Drive Springfield, Illinois 62707, USA.
- Fiorotto, M. L., W. J. Cochran, R. C. Funk, H. P. Sheng and W. J. Klish, 1987. Total body electrical conductivity measurements: effects of body composition and geometry. *Am. J. Physiol.* 252: 794-800.
- Folch, J., M. Lees and C.H.S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509
- Frawley, B. J., D. A. Osborne, H. P. Weeks, Jr., L. W. Burger, Jr., T. V. Dailey, 1999. Use of Total Body Electrical Conductivity to Predict Northern Bobwhite Lipid Mass. *Journal of Wildlife Management* 63 (2): 695-704.
- Gosselin, C. and M. Cabanac, 1997. Adrenalectomy lowers the body weight set-point in rats. *Physiology & Behavior* 62 (3): 519-523.
- Harker, W. H., 1973. Method and apparatus for measuring fat content in animal tissue either *in vivo* or in slaughtered and prepared form. US Patent 3,735,247.
- Hayman, P., Marchant J., and Prater T., 1986. Shorebirds: an identification guide. First Edition. Houghton Mifflin, Boston, USA.
- Horswill, C. A., R. Geeseman, R. A. Boileau, B. T Williams, D. K. Layman and B. H. Massey, 1989. Total-body electrical conductivity (TOBEC): relationship to estimates of muscle mass, fat-free weight, and lean body mass. *American Journal of Clinical Nutrition* 49: 593-598.
- Kashiwagi M. 2001, Shorebird leg flagging. Tokyo, Japan Wetland Action Network.
- Krementz, D. G. and G. W. Pendleton, 1990. Fat Scoring: Sources of Variability. *Condor* 92: 500-507.
- Lyons, J. E. and S. M. Haig, 1995 a. Estimation of lean and lipid mass in shorebirds using total-body electrical conductivity. *Auk* 112 (3): 590-602.
- Lyons, J. E. and S. M. Haig, 1995 b. Fat Content and Stopover Ecology of Spring Migrant Semipalmated Sandpiper in South Carolina. *Condor* 97: 427-437.
- Marchant, S. and P. J. Higgins (Eds.), 1993. Handbook of Australia, New Zealand

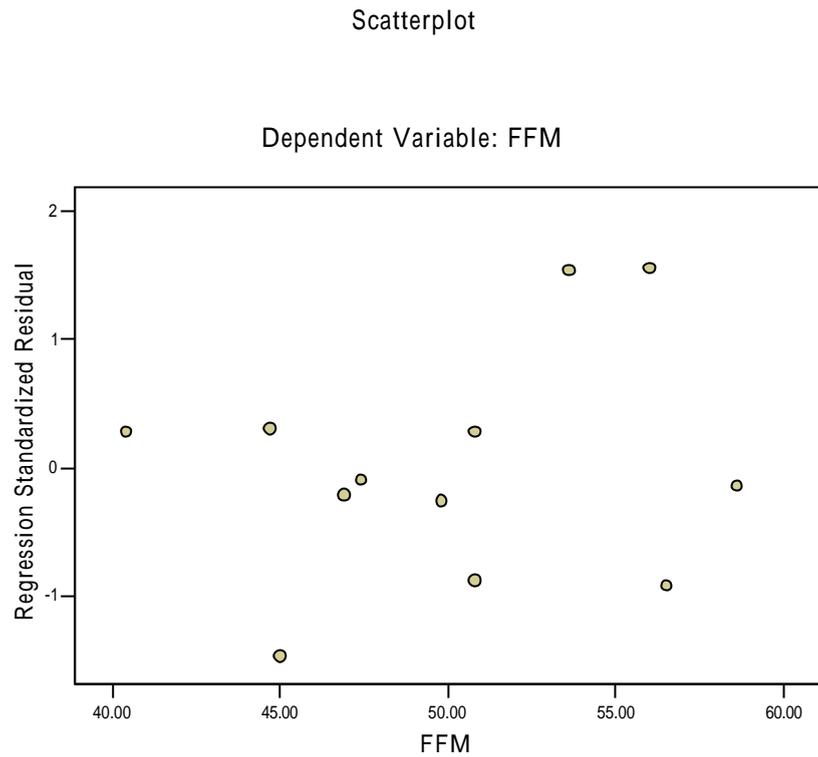
- and Antarctic birds. Volume 2: Raptors to lapwings. Oxford University Press, Melbourne.
- Mascher, J. W. and V. Marcstrom, 1976. Measures, weights, and lipid levels in migrating Dunlins *Calidris a. alpina* L. at the Ottenby Bird Observatory, South Sweden Ornis Scand. 7: 49-59.
- McEwan, E. H. and P. M. Whitehead, 1983. Seasonal changes in body weight & composition of dunlin (*Calidris alpina*). Can. J. Zool. 62: 154-156.
- Pienkowski, M. W., C. S. Lloyd and C. D. Minton, 1979. Seasonal and migrational weight changes in Dunlins. Bird Study 26: 134-148.
- Presta, E., J. Wang, G. G. Harrison, P. Bjorntop, W. H. Harker, and T. B. Vanitallie, 1983. Measurement of total body electrical conductivity: a new method for estimating body composition. Am. J. Clin. Nutr. 47:180-185.
- Roby, D. D., 1991. A comparison of two noninvasive techniques to measure total body lipid in live birds. Auk 108: 509-518.
- Rozman, J., D. Runciman, and R. A. Zann. 2003. Seasonal variation in body mass and fat of Zebra Finches in south-eastern Australia. EMU 103 (1): 11-19.
- Scott, I., M. Grant and P. R. Evans, 1991. Estimation of fat-free mass of live birds: use of total body electrical conductivity (TOBEC) measurements in studies of single species in the field. Functional Ecology 5: 314-320.
- Skagen, S. K., F. L. Knopf, B. S. Cade, 1993. Estimation of lipids and lean body mass of migrating Sandpipers. Condor 95: 944-956.
- Stenger, J. and C. Bielajew, 1995. Comparison of TOBEC-Derived Total Body Fat with Fat Pad Weights. Physiology & Behavior 57 (2): 319-323.
- Summers, R. W. and M. Waltner, 1979. Seasonal variations in the mass of waders in southern Africa, with special reference to migration. Ostrich 50: 21-37.
- Voltura, M. B. and B. A. Wunder, 1998. Electrical Conductivity to Predict Body Composition of Mammals and the Effect of Gastrointestinal Contents. Journal of Mammalogy 79 (1): 279-286.
- Walsberg, G. E., 1988. Evaluation of a nondestructive method for determining fat stores in small birds and mammals. Physiol. Zool. 61 (2): 153-159.

院環保署

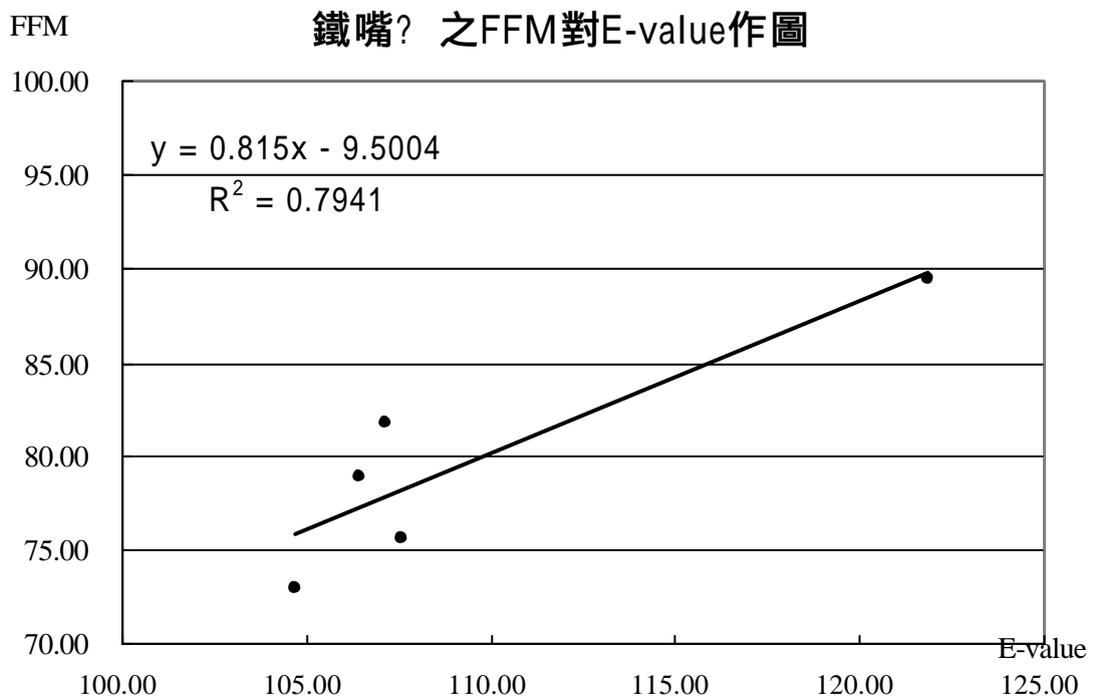
- 中興工程顧問公司 2000-2002 彰濱工業區開發工程施工期間環境監測調查報告 台北市 經濟部工程局
- 李致安 2002 大肚溪口南岸濱鷸族群之體脂肪變化與遷徙策略 台中東海大學環境科學研究所碩士論文
- 王嘉雄、吳森雄、黃光瀛、楊秀英、蔡仲晃、蔡牧起&蕭慶亮 1991 台灣野鳥圖鑑 台北 亞舍圖書有限公司
- 張允孚&楊若莉 1994 中國鳥類遷徙研究 北京 中國林業出版社
- 陳炳煌 2000 彰濱工業區環境監測計畫 台中東海大學環境科學研究所
- 蔣忠祐、陳炳煌、劉威廷&吳彥鋒 2003 台灣彰化地區秋過境不同年齡鐵嘴? 之遷徙模式 海峽兩岸鳥類學術研討會論文集：249-263
- 蔣忠祐、李致安、陳炳煌、劉威廷、曾文生&吳彥鋒 2005 利用 TOBEC 探討黑腹濱鷸與鐵嘴? 之遷徙模式 候鳥遷徙與繫放學術研討會論文集：15-24
- 劉威廷、蔣忠祐、陳炳煌、陳志豪&許詩涵 2005 台灣水鳥繫放回收成果 候鳥遷徙與繫放學術研討會論文集：73-84
- 劉威廷、蔣忠祐、胡文寅、曾文生、陳志豪&陳炳煌 2006 黑腹濱鷸在台灣的現況與相關研究 野生動物保育彙報及通訊 10 (1)：17-21
- 蔡嘉揚 1994 大肚溪口濱鷸數量季節和空間的變化與其主食端腳類之相關 台中東海大學環境科學研究所碩士論文
- 顏重威、趙正階、鄭光美、許維樞、譚耀匡、王玠瑩&程學義 1996 中國野鳥圖鑑 台北 翠鳥文化事業有限公司



圖一、索氏萃取器各部分名稱



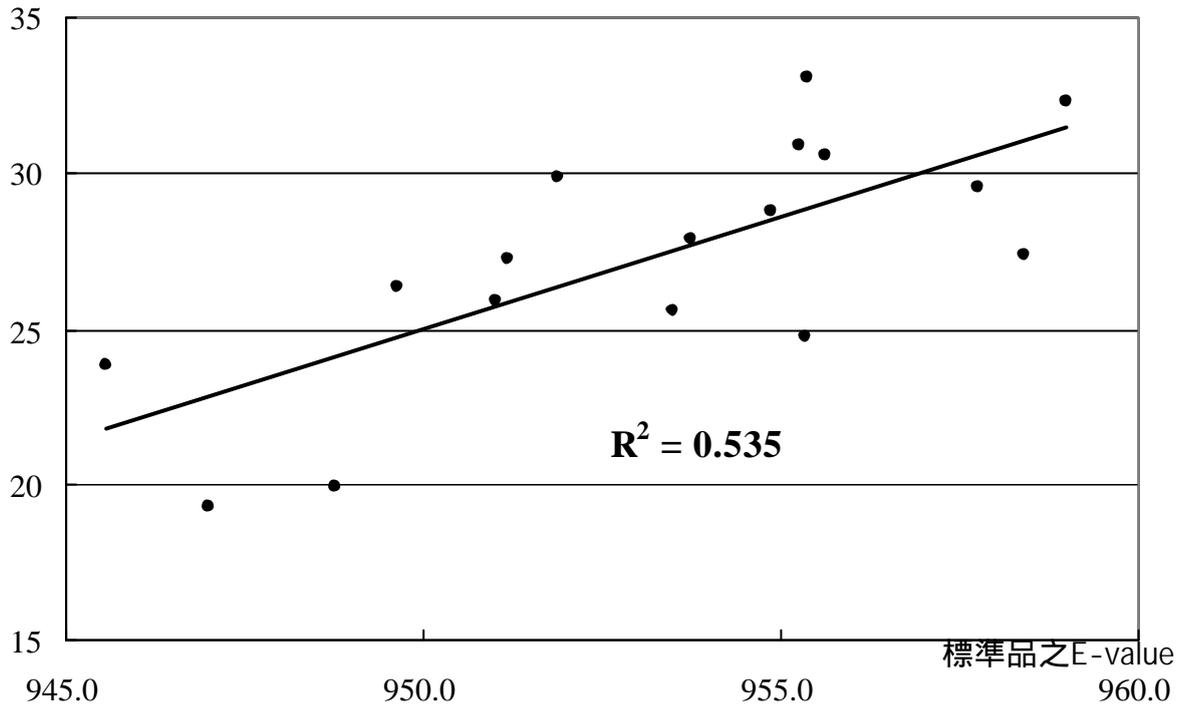
圖二、黑腹濱鵡實驗結果所求得之迴歸線 (N = 12, R² = 0.948)



圖三、鐵嘴? 實驗結果所求得之迴歸線 (N = 5, P = 0.042)

溫度()

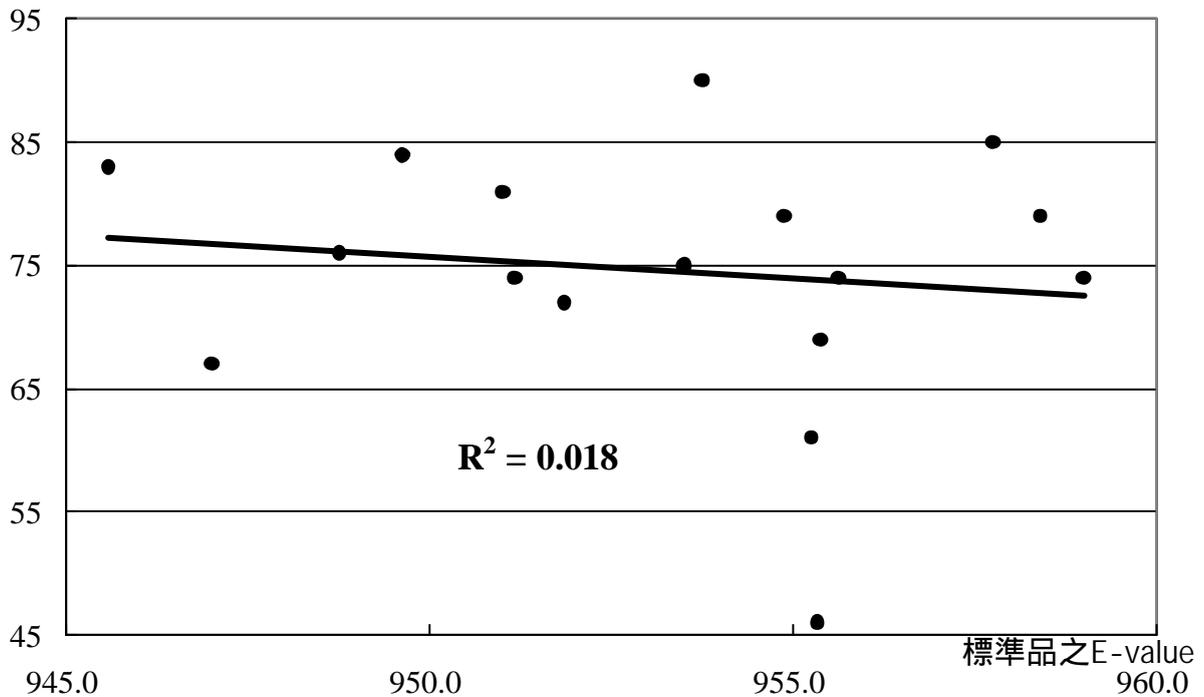
標準品之E-value對氣溫作圖



圖四、標準品之測量結果對氣溫作圖 (N = 17)

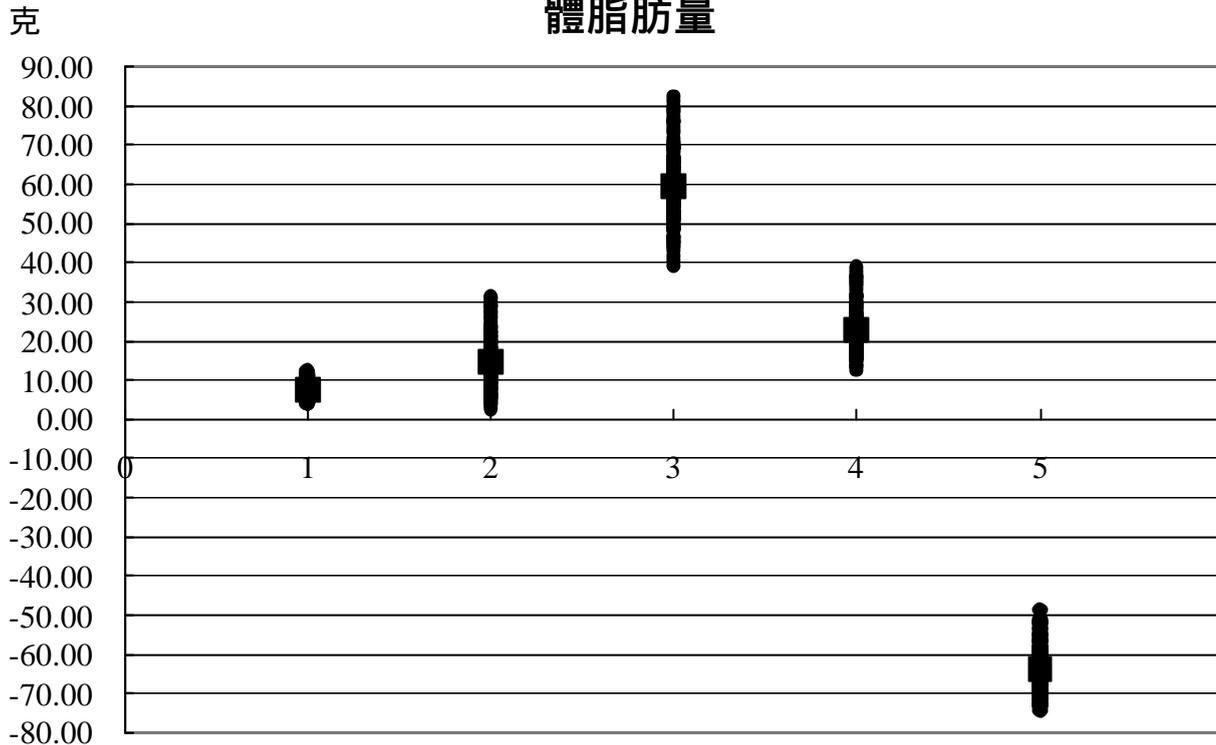
濕度(%)

標準品之E-value對濕度作圖



圖五、標準品之測量結果對溼度作圖 (N = 17)

以野外黑腹濱鷸資料代入不同公式所得之 體脂肪量

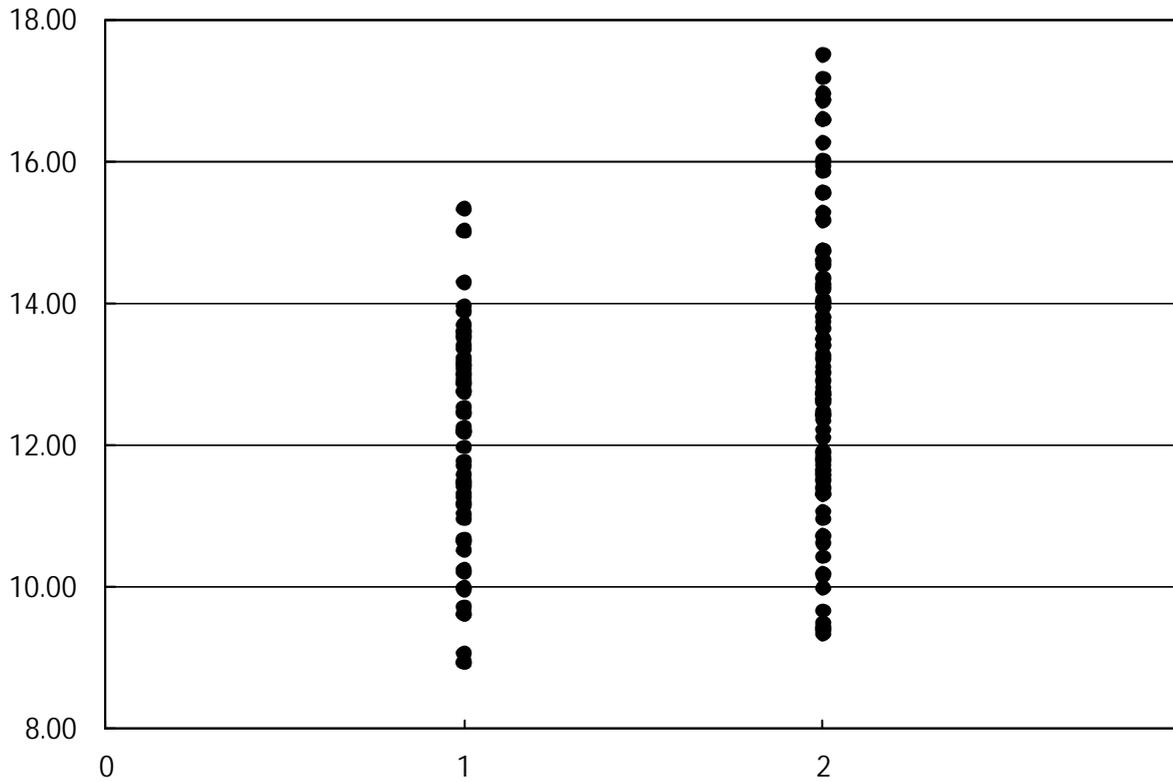


圖六、以 2002 年 10 月中至 2003 年 4 月底 (N = 81) 及
2003 年 11 月中至 2004 年 4 月底 (N = 82) 之
野外黑腹濱鷸資料代入不同公式之體脂肪差異

- 1 是以本實驗所得之 $FFM = 0.06 \times E\text{-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447$
計算出體脂肪部分，平均體脂肪為 7.29 ± 1.78 克。
- 2 是以 $FFM = 0.53 \times E + 21.4$ (Scott *et al.*, 1991) 公式反推估出之體脂肪，
平均體脂肪為 14.29 ± 6.20 克。
- 3 是以 $FFM = 0.89 \times E - 37.60$ (Lyons *et al.*, 1995) 公式反推估出體脂肪，
平均體脂肪為 59.17 ± 9.06 克。
- 4 是以 $FFM = (E\text{-value} + 46.823) / 2.554$ (Skagen *et al.*, 1993) 白腰濱鷸公式反
推估出體脂肪，平均體脂肪為 22.78 ± 5.52 克。
- 5 是以 $FFM = 0.14 E\text{-value} + 114.7$ (Bachman *et al.*, 1999) 流蘇鷸公式反推估
出體脂肪，平均體脂肪為 -63.72 ± 5.35 克。

體脂肪率

黑腹濱鵻不同時期之體脂肪率



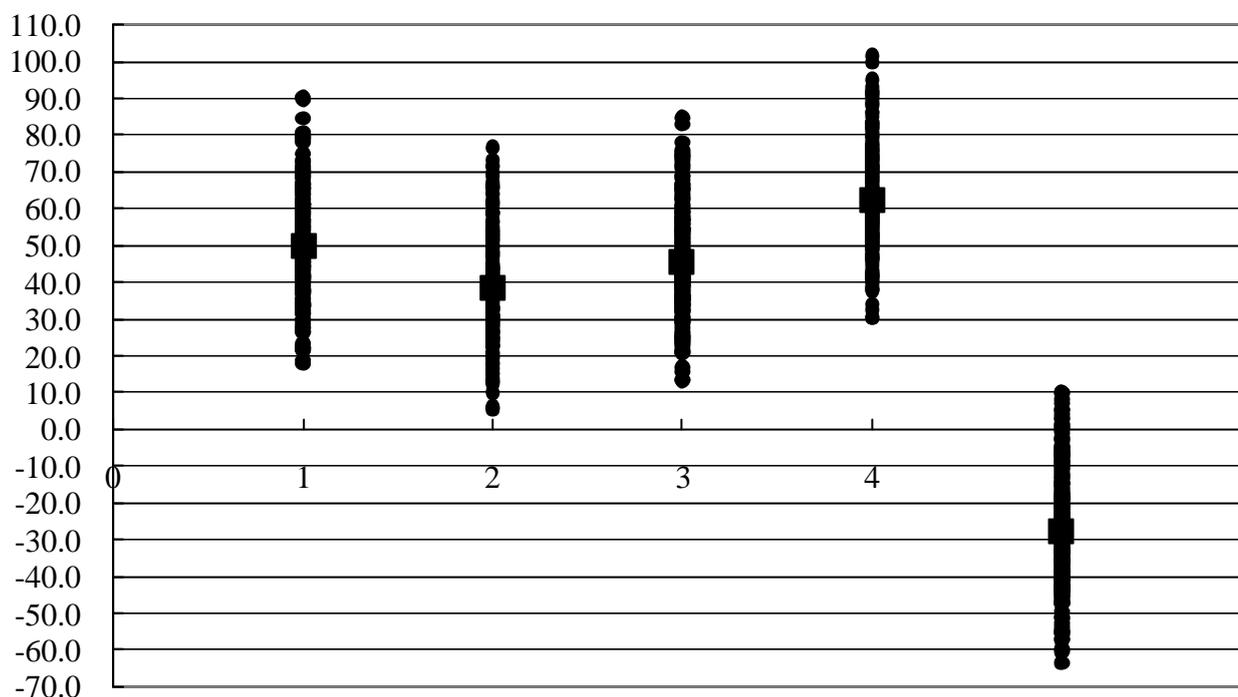
圖七、以 2002 年 10 月中至 2003 年 4 月底 (N = 81) 及
2003 年 11 月中至 2004 年 4 月底 (N = 82) 之
野外黑腹濱鵻資料代入所得不同時期之體脂肪率

1 為 2002 年及 2003 年度冬族群之體脂肪率，為 8.93 % 15.33 %。

2 則是 2002 年及 2003 年春過境族群之體脂肪率，為 9.34 % 17.51 %。

野外鐵嘴？資料代入不同公式所得之 體脂肪量

克

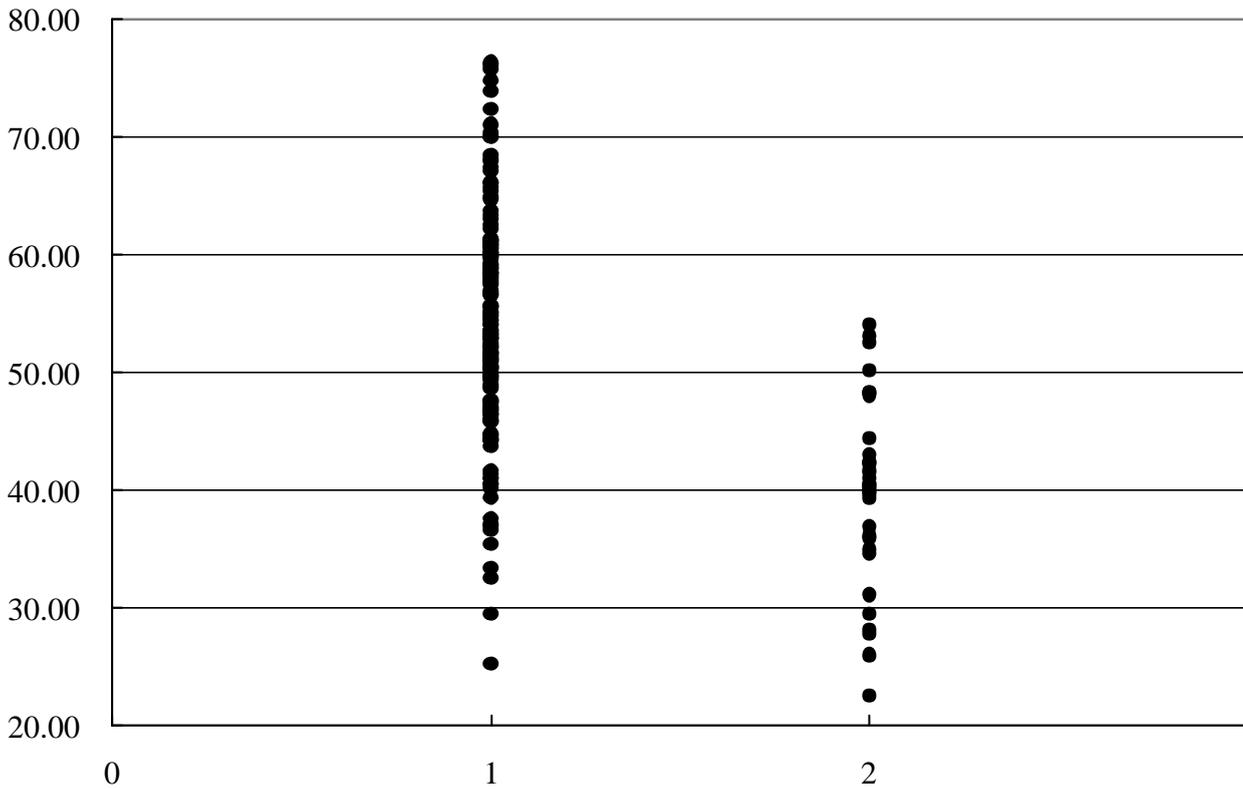


圖八、以 2002 年 8 月初至 2003 年 4 月底 (N = 75) 及
2004 年 7 月中至 2004 年 10 月底 (N = 114) 之
野外鐵嘴？資料代入不同公式之體脂肪差異

- 1 是以本實驗所得之 $FFM = 0.8150 E - 9.5004$ 反推估出體脂肪，
平均體脂肪為 50.03 ± 14.99 克。
- 2 則是以 $FFM = 0.36 E + 33.7$ (Scott *et al.*, 1991) 環頸？公式反推估出之體脂肪，
平均體脂肪為 38.21 ± 15.35 克。
- 3 是以 $FFM = (E\text{-value} + 17.226) / 1.680$ (Skagen *et al.*, 1993) 半蹼濱鶉公式反
推估出體脂肪，平均體脂肪為 45.43 ± 14.81 克。
- 4 是以 $FFM = 0.59 \times E - 6.30$ (Lyons *et al.*, 1995) 半蹼濱鶉公式反推估出體脂肪，
平均體脂肪為 62.34 ± 14.82 克。
- 5 是以 $FFM = 0.14 E\text{-value} + 114.7$ (Bachman *et al.*, 1999) 流蘇鶉公式反推估
出體脂肪，平均體脂肪為 -27.62 ± 16.47 克。

體脂肪率

鐵嘴？不同時期之體脂肪率

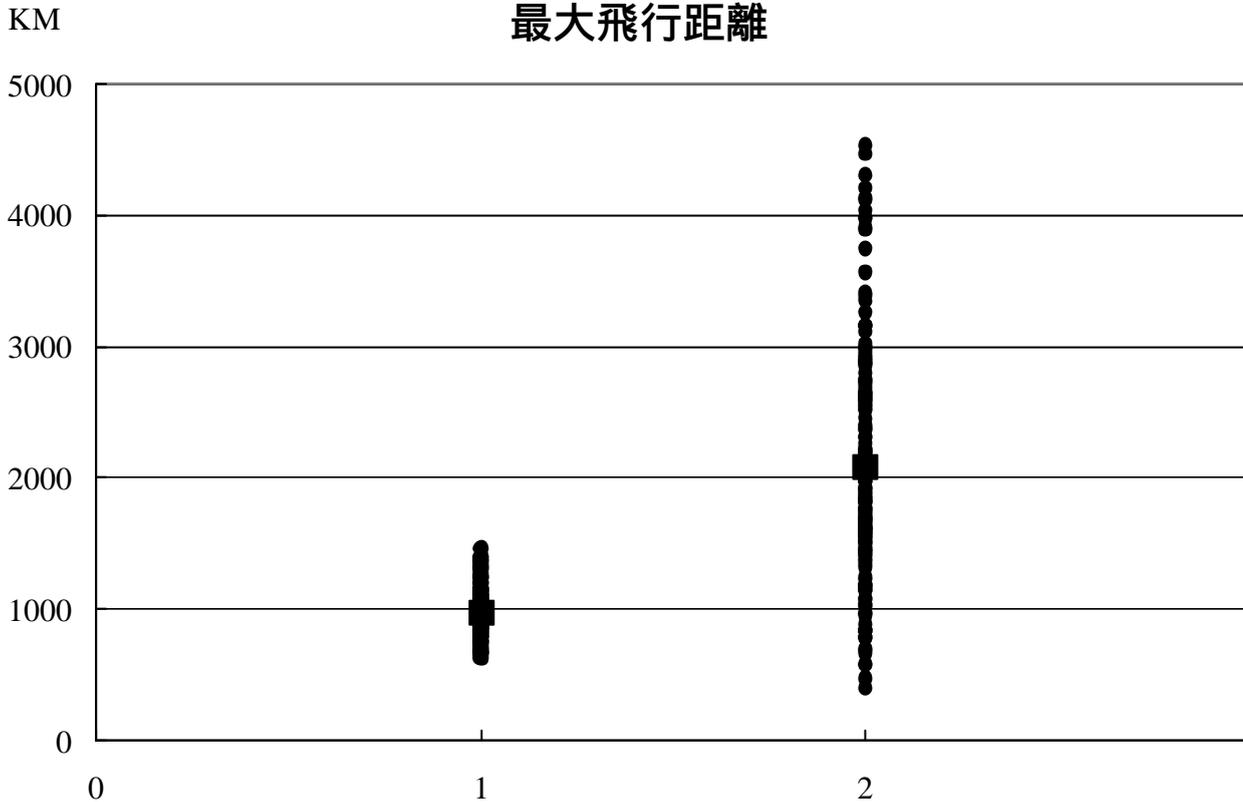


圖九、以 2002 年 8 月初至 2003 年 4 月底 (N = 75) 及
2004 年 7 月中至 2004 年 10 月底 (N = 114) 之
野外鐵嘴？資料代入所得不同時期之體脂肪率

1 為 2002 年及 2003 年秋過境族群之體脂肪率，為 25.23 % 76.40 %

2 則是 2003 年度春過境族群之體脂肪率，為 22.54 % 54.12 %。

野外黑腹濱鷸資料代入新舊公式所得之 最大飛行距離



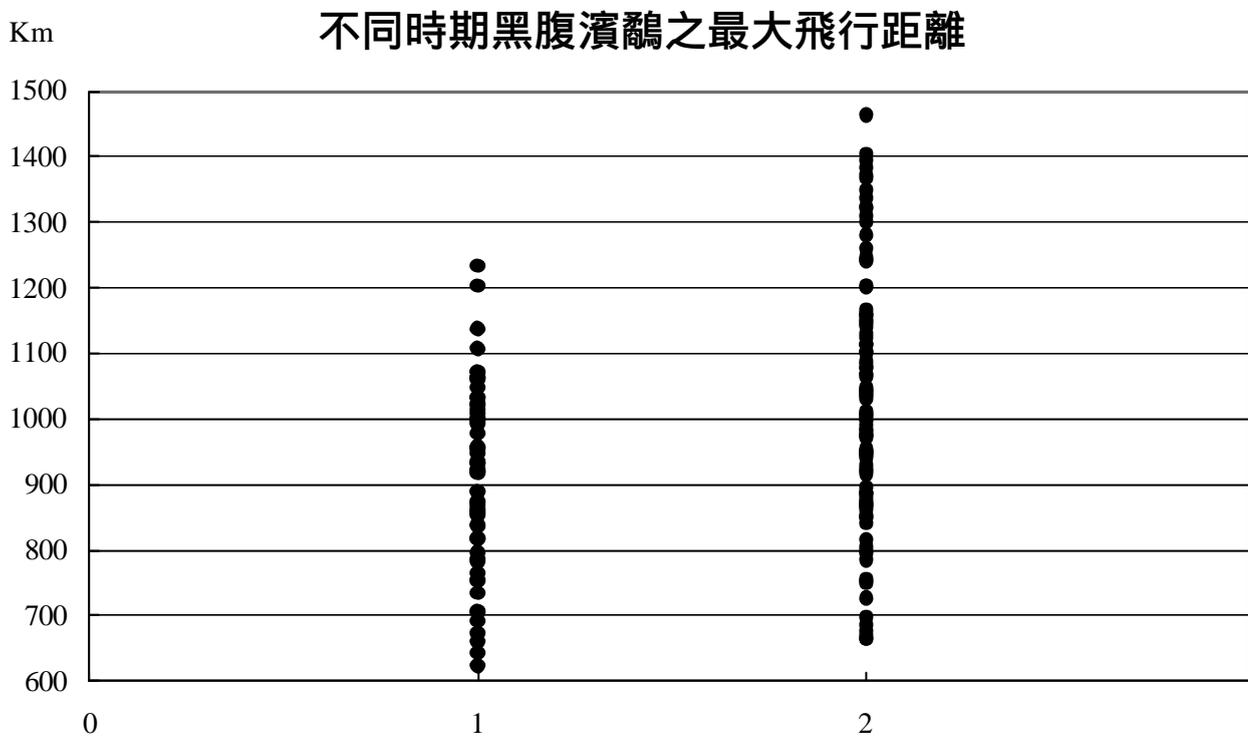
圖十、將野外黑腹濱鷸資料代入 Davidson 飛行距離公式所得最大飛行距離之差異

1 是以本實驗所得之公式 $FFM = 0.06 \times E\text{-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447$

計算出非體脂肪重量代入所得，平均最大飛行距離為 979.78 ± 181.15 公里。

2 則是以 $FFM = 0.53 E + 21.4$ (Scott *et al.*, 1991) 公式

計算出非體脂肪重量代入所得，平均最大飛行距離為 2061.65 ± 914.02 公里。

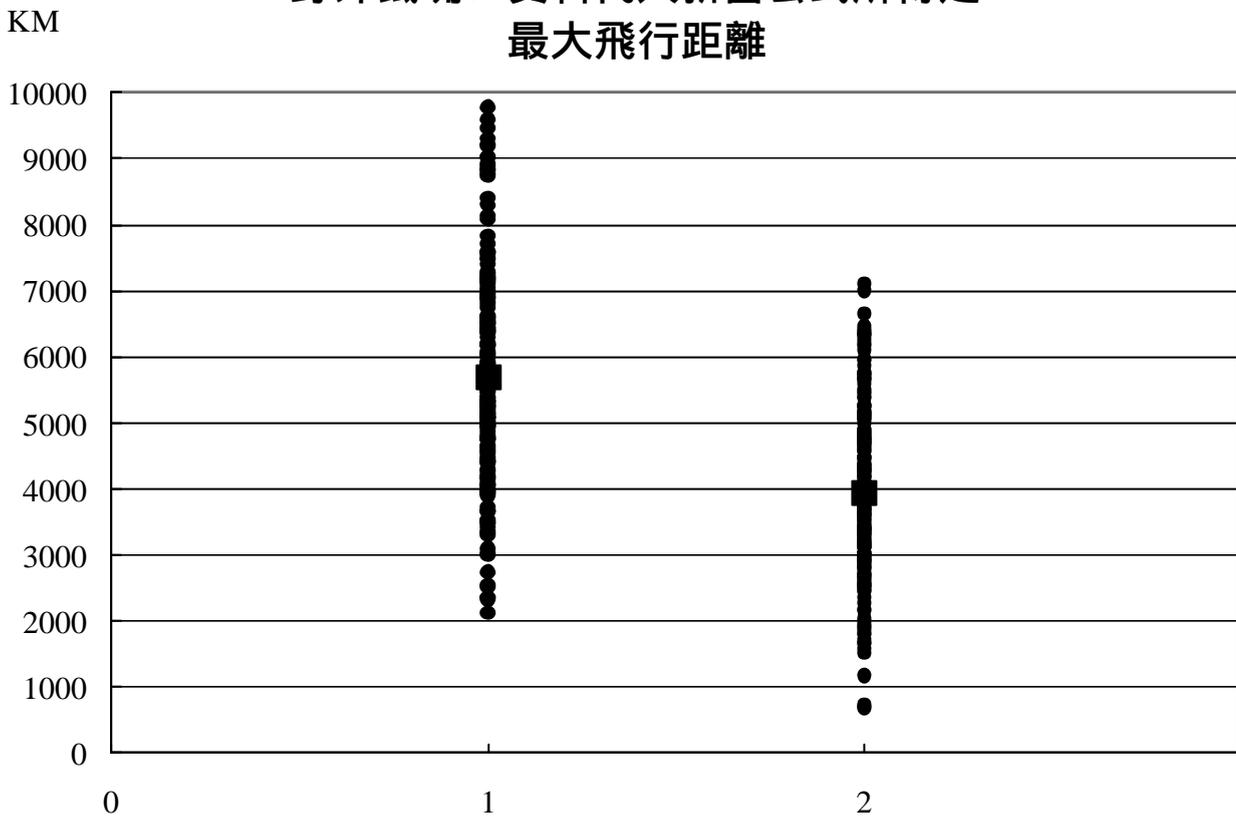


圖十一、以 2002 年 10 月中至 2003 年 4 月底 (N = 81) 及
 2003 年 11 月中至 2004 年 4 月底 (N = 82) 之
 野外黑腹濱鵲資料代入本文公式所得不同時期之最大飛行距離

1 為 2002 年及 2003 年度冬族群之最大飛行距離。

2 則是 2002 年及 2003 年春過境族群之最大飛行距離。

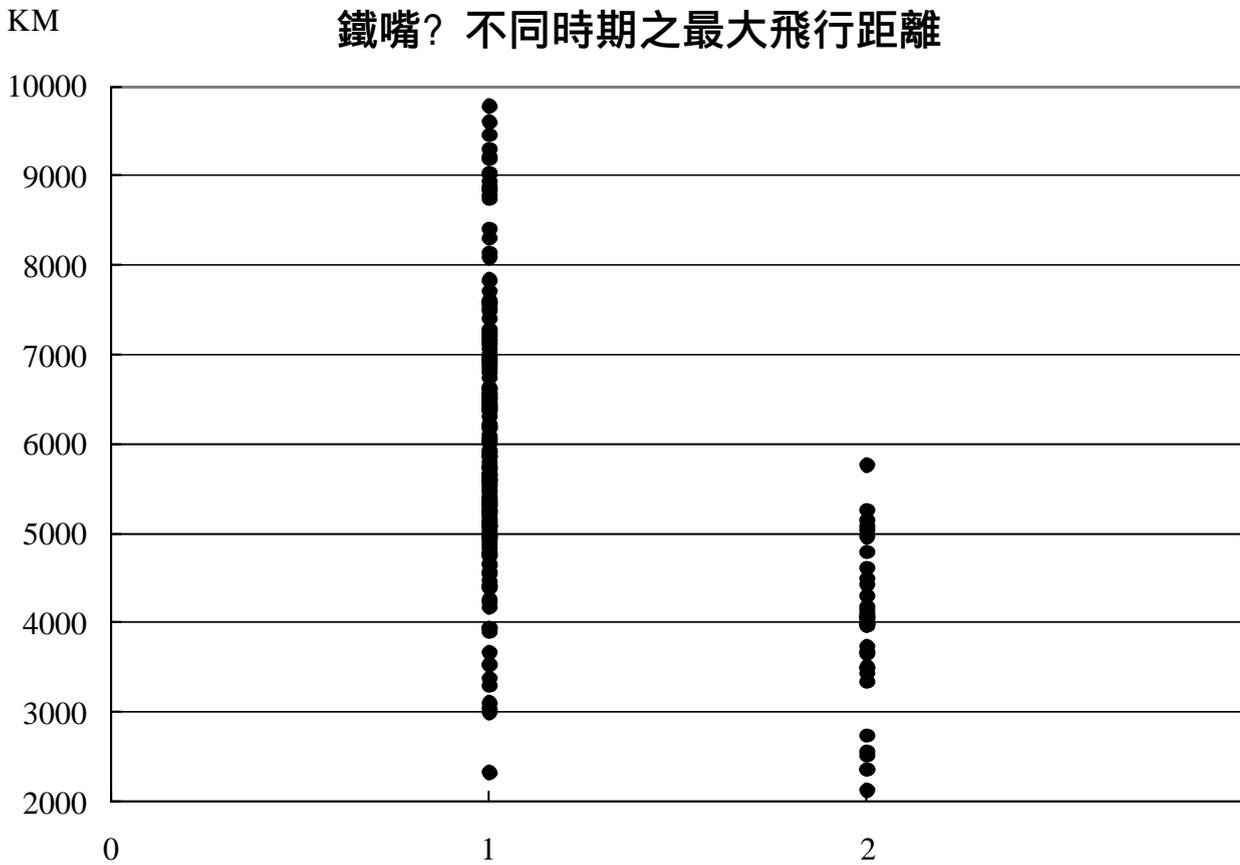
野外鐵嘴？資料代入新舊公式所得之 最大飛行距離



圖十二、將野外鐵嘴？資料代入 Davidson 飛行距離公式所得飛行距離之差異

1 是以本實驗所得之 $FFM = 0.8150 E - 9.5004$ 公式計算出非體脂肪重量代入所得，
平均飛行距離為 5720.27 ± 1732.65 公里。

2 則是以 $FFM = 0.36 E + 33.7$ (Scott *et al.*, 1991) 公式計算出之非體脂肪重量代入所得，
平均飛行距離為 3940.71 ± 1329.41 公里。



圖十三、以 2002 年 8 月初至 2003 年 4 月底 (N = 75) 及
 2004 年 7 月中至 2004 年 10 月底 (N = 114) 之
 野外鐵嘴？ 資料代入本文公式所得不同時期之最大飛行距離

1 為 2002 年及 2003 年秋過境族群之最大飛行距離。

2 則是 2003 年度春過境族群之最大飛行距離。

表一、黑腹濱鵲實驗所得數據 (N = 12)

編號	體重 (克)	E-value	FFM (克)	LM (克)	含水量 (克)	脂肪量 (克)	體脂率 (%)	取得 日期	季節
1	47.2	60.96±3.89	44.7	29.4	15.3	2.5	5.30	91/11/1	度冬
2	53.1	43.06±0.50	46.9	30.7	16.2	6.2	11.68	93/11/23	度冬
3	56.1	59.49±2.97	49.8	27.9	21.9	6.3	11.23	93/12/9	度冬
4	40.9	59.26±2.93	40.4	26.5	13.9	0.5	1.22	94/1/10	度冬
5	53.1	98.26±4.04	50.8	31.6	19.2	2.3	4.33	94/1/25	度冬
6	52.6	54.62±3.74	47.4	23.6	23.8	5.2	9.89	94/1/25	度冬
7	47.7	97.57±2.51	45.0	28.2	16.8	2.7	5.66	94/1/26	度冬
8	58.5	62.47±4.89	50.8	33.6	17.2	7.7	13.16	92/3/20	北返
9	59.5	87.68±4.56	56.0	23.4	32.6	3.5	5.88	94/3/31	北返
10	66.7	86.87±7.77	58.6	24.3	34.3	8.1	12.14	94/4/25	北返
11	65.0	86.70±7.55	56.5	33.5	23.0	8.5	13.08	92/4/28	北返
12	56.8	77.79±8.09	53.6	21.1	32.5	3.2	5.63	93/3/8	北返
平均	54.77		50.04	27.82	22.23	4.73			
標準差	7.38		5.46	4.13	7.26	2.63			

FFM 為 Fat Free Mass = 重量 - 脂肪量

LM 為 Lean Mass = 乾重 - 脂肪量

含水量 = 重量 - 乾重

直接以 E-value 對 FFM 所求得之迴歸方程式為

$$\text{FFM} = 0.1455\text{E} + 39.433 \quad (\text{N} = 12, \text{R}^2 = 0.2402)$$

以體重為主，E-value 為輔所求得的迴歸方程式為

$$\text{FFM} = 0.06 \times \text{E-value} + 0.662 \times \text{Weight} + 9.447 \quad (\text{N} = 12)$$

$$\text{R}^2 = 0.958, \text{調整後的 } \text{R}^2 = 0.948, \text{S} = 0.979$$

表二、鐵嘴? 實驗所得數據 (N = 6)

編號	重量 (克)	E-value	FFM (克)	LM (克)	含水量 (克)	脂肪量 (克)	體脂率 (%)	取得 時間	季 節
1	120.5	121.85±11.34	89.5	67.4	22.1	31.0	34.64	92/8/12	南遷
2	129.5	103.65±16.70	96.2	62.8	33.4	33.3	34.62	92/8/12	南遷
3	102.4	107.58±3.87	75.6	35.7	39.9	26.8	35.45	92/8/28	南遷
4	94.1	107.10±8.61	81.8	48.0	33.8	12.3	15.04	92/4/2	北返
5	83.8	106.42±9.11	78.9	54.6	24.3	4.9	6.21	93/4/20	北返
6	88.5	104.68±8.37	73.0	55.5	17.5	15.5	21.23	92/4/21	北返
平均	103.13		82.50	54.00	28.5	20.63			
標準差	18.26		8.81	11.23	8.5	11.40			

FFM 為 Fat Free Mass = 重量 - 脂肪量

LM 為 Lean Mass = 乾重 - 脂肪量

含水量 = 重量 - 乾重

刪除在實驗過程中 E-value 測量值跳動範圍離散度過高的數據 (5 號)

未刪除前之迴歸方程式為 $FFM = 0.3495E + 44.567$ (N = 6 , $R^2 = 0.0703$)

刪除 5 號後迴歸方程式為 $FFM = 0.815 E - 9.5004$ (N = 5 , $R^2 = 0.7941$)

表三、黑腹濱鵲各實驗數據之相關性 (N = 12)

	E-value	含水量 (克)	脂肪量 (克)	FFM (克)	LM (克)
重量 (克)	0.32	0.71	0.81	0.96	0.01
E-value		0.39	-0.11	0.49	-0.04
含水量 (克)			0.29	0.83	-0.67
脂肪量 (克)				0.62	0.31
FFM (克)					-0.13

FFM = Fat Free Mass ; LM = Lean Mass

表四、黑腹濱鵲預測變數 (FFM) 與準則變數 (重量與 E-value) 的分析結果

Model Summary			
S	R ²	修正後之R ²	預測值之標準偏差
0.979	0.958	0.948	1.24394

Coefficients					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t 檢定	Sig.
	B	標準偏差	Beta		
常數項	9.447	2.875		3.285	0.009
Weight	0.662	0.054	0.895	12.319	0.000
E-value	0.060	0.022	0.200	2.758	0.022

表五、鐵嘴? 各實驗數據之相關性 (N = 5)

	E-value	含水量 (克)	脂肪量 (克)	FFM (克)	LM (克)
重量 (克)	0.91	0.09	0.91	0.73	0.33
E-value		-0.19	0.70	0.89	0.64
含水量 (克)			0.18	-0.09	-0.84
脂肪量 (克)				0.39	0.07
FFM (克)					0.62

FFM = Fat Free Mass ; LM = Lean Mass

表六、相關研究之水鳥非體脂肪迴歸公式列表 (以 E-value 因子推估)

文獻標題	作者	年份	目標鳥種	轉換公式	R ²	N
Estimation of fat-free mass of live birds: use of total body electrical conductivity (TOBEC) measurements in studies of single species in the field	Scott <i>et al.</i>	1991	黑腹濱鶉 <i>Calidris alpina</i>	FFM = 0.53 E-value + 21.4	0.71	11
			環頸? <i>Charadrius hiaticula</i>	FFM = 0.36 E-value + 33.7	0.93	6
			赤足鶉 <i>Tringa totanus</i>	FFM = 0.07 E-value + 119	0.67	6
			歐掠鳥 <i>Sturnus vulgaris</i>	FFM = 0.30 E-value + 45.6	0.90	10
Estimation of lipids and lean body mass of migrating Sandpipers.	Skagen <i>et al.</i>	1993	半蹼濱鶉 <i>Calidris pusilla</i>	FFM = (E-value + 17.226) /1.680	0.786	22
			白腰濱鶉 <i>Calidris fuscicollis</i>	FFM = (E-value + 46.823) /2.554	0.682	22
Estimation of lean and lipid mass in shorebirds using total-body electrical conductivity	Lyons <i>et al.</i>	1995	短嘴半蹼鶉 <i>Limnodromus griseus</i>	FFM = 0.96 E-value - 60.55	0.92	20
			黑腹濱鶉 <i>Calidris alpina</i>	FFM = 0.89 E-value - 37.60	0.79	18
			半蹼濱鶉 <i>Calidris pusilla</i>	FFM = 0.59 E-value - 6.30	0.35	20
Relationships between body composition, body size and alternative reproductive tactics in a lekking sandpiper, the Ruff (<i>Philomachus pugnax</i>)	Bachman <i>et al.</i>	1999	流蘇鶉 <i>Philomachus pugnax</i>	FFM = 0.14 E-value + 114.7	0.97	4
本文		2006	黑腹濱鶉 <i>Calidris alpina</i>	FFM = 0.06 E-value + 0.662 Weight + 39.433	0.958	12
			鐵嘴? <i>Charadrius leschenaultii</i>	FFM = 0.815 E-value - 9.5004	0.79	5

表七、相關研究之水鳥體脂肪迴歸公式列表（以體重與其他因子推估）

文獻標題	作者	年份	目標鳥種	轉換公式	R ²	N
Estimation of fat-free mass of live birds: use of total body electrical conductivity (TOBEC) measurements in studies of single species in the field	Scott <i>et al.</i>	1991	黑腹濱鷸 <i>Calidris alpina</i>	FFM = 0.81Z + 3.25	0.79	11
			環頸? <i>Charadrius hiaticula</i>	FFM = 0.82Z + 7.29	0.90	6
			歐掠鳥 <i>Sturnus vulgaris</i>	FFM = 0.81Z + 6.78	0.66	10
Estimation of lipids and lean body mass of migrating Sandpipers.	Skagen <i>et al.</i>	1993	半蹼濱鷸 <i>Calidris pusilla</i>	FM = 0.823 W - 17.071	0.76	20
			白腰濱鷸 <i>Calidris fuscicollis</i>	FM = 0.700 W - 23.509	0.886	21
Estimation of lean and lipid mass in shorebirds using total-body electrical conductivity	Lyons <i>et al.</i>	1995	短嘴半蹼鷸 <i>Limnodromus griseus</i>	FM = 0.50 W - 0.37 C + 20.23	0.96	15
			黑腹濱鷸 <i>Calidris alpina</i>	FM = 25.98 - 15.41 ln E-value + 0.77 W - 0.01 X	0.92	14
			半蹼濱鷸 <i>Calidris pusilla</i>	FM = -5.65 - 3.53 ln E-value + 0.77W	0.96	15
Z = $\sqrt{E L}$	E = E-value	L = 體長				
FM = 脂肪量	W = 體重					
C = 翼長	X = 跗趾長					