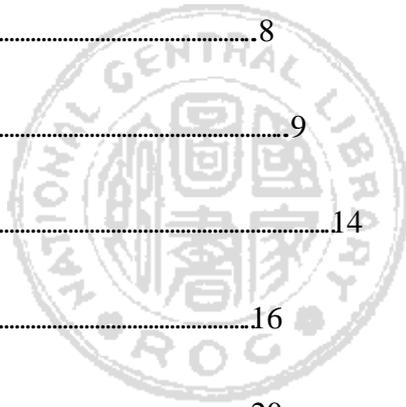


目錄

謝誌.....	4
中文摘要.....	5
英文摘要.....	6
壹、前言.....	8
貳、文獻回顧.....	9
參、研究地點與方法.....	14
肆、結果.....	16
伍、討論.....	20
陸、參考文獻.....	29
圖.....	36
表.....	41



圖目錄

- 圖一 濱鶉可能的遷徙路線.....36
- 圖二 在不同體脂肪累積率情況下，圖解最佳體脂肪累積時間.....36
- 圖三 不同體脂肪累積率情況下，最佳體脂肪累積量、最佳停留時間與
尋找時間之關係.....37
- 圖四 尋找時體脂肪損失與最佳體脂肪累積、最佳飛行距離關係.....37
- 圖五 2000年9月至2001年3月大肚溪口南岸濱鶉族群體脂肪百分比
變化.....38
- 圖六 2001年9月至2002年4月大肚溪口南岸濱鶉族群體脂肪百分比
變化.....38
- 圖七 不同季節、不同族群之最大可能飛行距離.....39
- 圖八 圖解2000年以及2001年秋季過境的能量損失.....40
- 圖九 圖解2002年春季過境族群之最佳停留時間.....40

表目錄

表一 體脂肪累積率與 k 值.....	41
表二 各時期不同月份之換羽比例.....	42
表三 最大可能飛行距離估算.....	43

謝誌

“上帝就賜福給他們，又對他們說，要生養眾多，遍滿地面，治理這地。也要管理海裡的魚，空中的鳥，和地上各樣行動的活物。”感謝上帝的帶領，讓我得以順利完成本篇的論文。

非常感謝指導老師陳炳煌老師在論文進行中給予充分的支持與鼓勵，感謝中山大學生物科學系張學文老師對於論文的寶貴建議與修正，感謝東海大學生物系林惠真老師對於論文撰寫的指導與鼓勵。

此外，要感謝生態實驗室的夥伴們，嘉揚學長、忠祐學長、照國學長、威廷學長、志豪學長、宜玲學姊、婉琪學姊以及曉音、一帆、嘉棋、彥鋒、懿資、陳宏等學弟妹，謝謝你們在論文方向以及繫放等野外工作上的大力相助。

最後，獻上誠摯的感謝給我的父母和弟弟，謝謝你們無數的代禱以及讓我無後顧之憂的完成論文，謝謝中台青契，你們在我最難過的時候陪伴我，謝謝一切曾經為我代禱的人。

摘要

濱鶉 (*Calidris alpina*) 是普遍分布北半球的小型鶉。年春季，在台灣西海岸地區過境或度冬的族群龐大，是海岸灘地鳥類族群的主要優勢種。有關遷徙性水鳥的保育工作，目前迫切需要的是確知其遷徙的路線，並保護其中途停棲點，然而台灣在遷徙性水鳥的遷徙策略，如可能遷徙路線，以及影響不著陸遷徙距離的體脂肪含量方面的研究，仍然缺乏，本文乃針對自 2000 年 9 月至 2001 年 3 月，以及 2001 年 9 月至 2002 年 4 月，兩個冬季期間，利用大肚溪口南岸灘地的濱鶉族群，以全身電導度測量儀 (Total Body Electric Conductivity, TOBEC) 測量秋季過境族群、度冬族群以及春季過境族群其體脂肪隨時間變化的情形，並且預測不同族群可能採取的遷徙策略，以及在可能已知的遷徙路線上的可能中途停棲點。

在體脂肪含量的變化方面，秋季過境族群離開前最大的體脂肪累積量前後兩年分別為 $42.42 \pm 10.75\%$ ($n = 8$) 以及 $34.86 \pm 12.37\%$ ($n = 13$)；度冬族群遷徙前體脂肪最大累積量分別為 $40.78 \pm 17.57\%$ ($n = 4$) 以及 $23.38 \pm 4.26\%$ ($n = 14$)；春季過境族群僅有第二個春季過境期間有實驗數據，離開前最大體脂肪累積量為 $28.58 \pm 7.68\%$ ($n = 11$)。秋季過境族群抵達大肚溪口後，脂肪量會持續下降，至預備離開前再度快速累積，造成體脂肪下降的原因，可能與飛羽換羽以及尋找適合的覓食及休息停棲地有關。度冬族群的體脂肪變化，初抵達時與秋季過境族群相同，也持續下降，第二個冬季的體脂肪含量較低，可能與降雨量少以及棲地干擾減少有關；度冬族群為遷徙累積體脂肪的時間為 20 ~ 30 天，開始累積遷徙之體脂肪前後，日照時間差異明顯 ($p < 0.01$)，但決定離開前後，氣溫、風向、風速之差異均不明顯。春季過境族群並不進行飛羽換羽，但會進行體羽的換羽，抵達後也沒有明顯的體脂肪含量下降。

在遷徙策略與可能的遷徙路線方面，秋季的族群 (包含度冬族群的南遷) 採用的是能量選擇的策略，但能量消耗之預測與實際情況有 50% 的差距；春季的族群 (包含度冬族群的北返) 採用的是時間選擇的策略，停留時間的預測與實驗數據相當吻合。依能量需求來估計，大肚溪口濱鶉於秋季南遷時可直達度冬地菲律賓，勉強可抵海南島，但可能中間有中途的停棲點。春季北返時，經由中國大陸東南沿海的族群，第一個中途停棲點可能為崇明島，往日本方向的族群，則必在琉球群島作第一次的中途停棲，再以跳島方式抵達日本本島。估計以庫頁島為繁殖地的族群，從台灣出發後需經 4 ~ 5 個中途停棲地才能抵達；以西伯利亞北方為繁殖地的族群需 6 ~ 7 次中途停棲，以勘察加半島為繁殖地的族群需 5 ~ 6 次的中途停棲，若要回到阿拉斯加則需 7 ~ 8 次的中途停棲。

Abstract

Dunlin (*Calidris alpina*) is a common migratory shorebird breeding in high latitude of Northern Hemisphere. Dunlins come to Taiwan as winter residents and fall and spring transit migrants. For conservation of shorebirds, it is important to understand their migratory route and to protect the possible stopover sites. Therefore the study about the migratory route, migratory strategy and fat load shift of migratory shorebirds is badly needed in Taiwan. During 2000 September ~ 2001 March and 2001 September ~ 2002 April recorded the fat load shift of autumn passing populations, wintering populations and spring passing populations of the dunlin populations at Ta-Tu Estuary with total body electric conductivity (TOBEC). These data were used to estimate the possible migratory strategy and stopover sites of different populations.

The maximum fat deposition rate of autumn passing population of two seasons are $42.42 \pm 10.75\%$ ($n = 8$) and $34.86 \pm 12.37\%$ ($n = 13$). The maximum fat deposition rate of wintering population of two seasons are $40.78 \pm 17.57\%$ ($n = 4$) and $23.38 \pm 4.26\%$ ($n = 14$). The maximum fat deposition rate of spring passing population that is only recorded during the second season is $28.58 \pm 7.68\%$ ($n = 11$). The fat load of autumn population declined when they just arrived Ta-Tu Estuary and accumulated rapidly when they are ready to depart. The possible reasons for the fat load decline are primary moult and to search and establish suitable habitat. The fat load of wintering population also declined when they just arrived Ta-Tu Estuary. At the second season, the average fat load of wintering population was lower than the average fat load of wintering population at first season. The possible reasons are that both rainfall and disturbance declined at the second season. 20~30 days before the wintering population departed to their breeding sites, Dunlin started to accumulate fat load. The difference of day light time is significant before and after started to accumulate fat load ($p < 0.01$). But the difference of temperature, wind speed and wind direction is not significant before and after the wintering population leaved Ta-Tu Estuary. The spring passing population didn't moult primaries at Ta-Tu Estuary and the fat load of them didn't decline when they just arrived Ta-Tu Estuary.

The possible migratory strategy of autumn populations is energy selected and which of spring populations is time selected. The estimated energy expense of autumn populations is 50% lower than the energy expense that recorded actually. The estimated and actually recorded time expense at Da-Du Estuary of spring populations meet closely. The passing populations migrated southern during autumn can arrive

Philippines directly but should need one more stopover to arrive Hai-Nan Island. The wintering and passing populations migrated northern during spring may use Chun-Min Island as first stopover site if their migratory route is along south east China coast line or may use Okinawa as first stopover site if their migratory route is along Japan islands. It is estimated that the population that breeding at Sakhalin Island need 4~5 stopover sites, that breeding at northern Siberia need 6~7 stopover sites and that breeding at Alaska need 7~8 stopover sites to complete migration after Taiwan.

壹、前言

台灣地區為水鳥在東亞-澳洲遷徙線上的一個重要休息地與度冬地，特別是在溪流出海口的海岸濕地，由於受到溪流攜帶養份累積，因此生產力特別旺盛，相當適合水鳥停棲利用。位於彰化縣之大肚溪口南岸海灘濕地，現在雖有彰濱工業區在該處大面積開發，但少數倖存的灘地與尚未設場的工業區開闢地，仍是台灣中部地區相當重要的水鳥棲地，並且明列 IUCN 亞洲台灣十二個重要溼地之一 (Scott 1989)。

根據東海大學環境科學研究所生態實驗室從 1995 年 4 月至 2000 年 4 月，在大肚溪口南岸彰濱工業區的鳥類監測結果顯示 (陳 2000)，利用大肚溪口的水鳥族群絕大部分屬於遷徙性的水鳥，其中大致上又可分為以台灣為度冬地點的族群，以及以台灣為遷徙中途休息站的族群；而在大肚溪口度冬的族群是以濱鵲、東方環頸、翻石鵲、大杓鵲、灰斑等為大量的族則有大量之濱鵲、蒙古、鐵嘴等之中途休息站。

針對遷徙性鳥類的能量利用，最關鍵的便是體脂肪的含量，由於在遷徙時，體脂肪為提供能量的主要來源，因此，想要了解遷徙性鳥類的能量利用，體脂肪的含量是不可缺少的研究項目 (Bensch and Nielsen 1999, Kaiser 1992, Schaub and Jenni 2001)；另外，體脂肪累積方式，也與水鳥所利用的遷徙策略有關，而遷徙策略在討論上面，常以最佳遷徙策略的觀點，檢視水鳥在遷徙時採用的是節省時間的時間選擇策略，或是節省能量支出的能量選擇策略 (Alerstam and Lindstrom 1990, Lindstrom and Alerstam 1992, O'Reilly and Wingfield 1995)；在國外對於遷徙策略或是體脂肪累積的研究已有多年，但國內則是付之闕如，以台灣如此重要的水鳥棲地來看，確實在這方面的研究工作需要再加強。

此外，對於遷徙性的鳥類的保育，除了繁殖地和度冬地點之外，對於位在遷徙路線上可以提供作為中途停棲地點，也需要相當重視，失去了部分的中途停棲地點，可能導致遷徙無法完成或是遷徙當中的死亡率大幅提高，因此研究了解其遷徙路徑中可能的中途停棲地點以及其在遷徙當中對於能量的利用狀況，對於遷徙性的鳥類保育均是相當重要的工作 (Butler et al. 1996, Iverson et al. 1996)。

本實驗便是選擇在過境和度冬期間，大肚溪口數量龐大的濱鵲族群，分成不同的季節，測量其體脂肪的含量，希望了解濱鵲族群在能量上的利用情況，以及了解其可能的遷徙策略，與在已知可能的遷徙路線上預測可能的中途停棲點，期望可以提供水鳥保育工作上更進一步之利用。

貳、文獻回顧

一、濱鷸在東亞的分布與可能的遷徙路線

濱鷸 (*Calidris alpina*) 屬於小型鷸科鳥類，主要度附近的苔原濱海溼地 (張 and 楊 1997)，並且於冬天時廣泛分布於北半球之海岸地區、河口、沙洲或是沼澤地帶，主要以端腳類和多毛類為食 (林等 1991, 蔡 1994)，但除了在非洲地區之外，鮮少族群分布在北緯 20 度以南的區域 (Hayman et al. 1986, 林等 1991)。

目前已經確定有十個亞種，均有不同的遷徙路線，在台灣及東亞遷徙線上可見的可能為 *arctica*, *sakhalina*, *pacifica*, *kistchinskii*, *actites* 五個亞種，繁殖地區分別位在西伯利亞東北部、阿拉斯加西部和加拿大東北部、阿拉斯加北部、勘察加半島、以及庫頁島 (Cramp 1983 et al., Hayman et al. 1986, Tomkovich 1986, Kashiwagi 2001)；根據腳環紀錄，各亞種對於繁殖地的忠誠度相當高 (Tomkovich 1986)，對於度冬地點的選擇，根據以往台灣大肚溪口的繫放回收紀錄，至少有 23 例在隔年或 2~3 年在原地回收，顯示在台灣大肚溪口之度冬族群也相當穩定 (張 and 楊 1997)。

濱鷸在東亞可能的遷徙路線如圖一所示 (Kashiwagi 2001)。大致上分成沿著西伯利亞、中國沿海的路線，以及沿著勘察加半島、日本列島的路線，這兩條主要的遷徙路線在大陸東南沿海以及台灣地區有著很高的重疊性。

二、度冬期間與遷徙前體脂肪之累積變化

對於許多的遷徙性動物，包括鳥類、昆蟲或是哺乳動物，體脂肪是在遷徙過程中最主要的能量來源 (Blem 1976, Hochachka et al. 1977, Dawson et al. 1983)。特別是對於鳥類而言，體脂肪是一種相當優質的能量來源，它相較於其他的能量來源，可以提供最大的能量密度 (energy dense) (Pond 1981, Newsholme and Leech 1983)，與等重量的碳水化合物或蛋白質相比較，體脂肪可以提供將近兩倍的能量來源。另一方面，由於體脂肪的疏水性和非極性的特點，體脂肪儲存時可以不含水分或蛋白質，因此儲存體脂肪作為遷徙時的能量來源會比以其他的方式儲存能量來得節省重量和體積 (Ramenofsky 1990)。此外，氧化體脂肪而獲得能量時，會產生少量的葡萄糖和肌肉蛋白 (muscle protein)，可以供給有關飛行的肌肉使用 (Dawson et al. 1983)。

對於遷徙性的水鳥而言，在遷徙旅程中快速地累積體脂肪被視為一個相當具有決定性的行為（Morrison 1984, Senner and Howe 1984）。許多的水鳥需要依賴“關鍵性的停棲地”（key staging area）來建立長距離遷徙時，所需要的體脂肪量（Myers et al. 1987, Pfister et al. 1998）。在文獻中提到（Alerstam and Lindstrom 1990, Gudmundur et al. 1991），鳥類在進行遷徙時，所累積的體脂肪量多介於 20% ~ 70% 之間，最高者甚至有到 90% ~ 100%。在體脂肪累積率方面，均介於 1% ~ 7% 之間，平均來說，雀鳥類的平均體脂肪累積率要高於水鳥的平均體脂肪累積率。但因為地理障礙，物種通常會被迫儲存多於完成遷徙飛行所需要的脂肪能量。

除了遷徙前的快速累積體脂肪外，一般季節中脂肪的累積，對於遷徙性鳥類或者是留鳥的能量利用之平衡也都是相當重要的一部份，這種累積脂肪的能力不僅對於遷徙的演化有相當顯著的影響，對於個體在複雜環境中的生存能力也有相當大的影響。對於這個重要性，甚至可以將脂肪累積視為身體狀況的檢測標準，意即某一個體的脂肪含量與其生存的可能性有直接的關係（Bailey 1979, Johnson et al. 1985, Dufour et al. 1993）。而不同鳥種在不同季節中會有不同的最佳的脂肪累積，因此某一個體在某一季節中可能是適量的脂肪累積，也許對該個體在另一個季節中是不足的或是過量的（Nisbet et al. 1963）。在同一個季節中，例如在度冬期間的遷徙性鳥類，不同的脂肪含量則可能表示其所在環境的優劣，大部分擁有好的棲地的度冬個體，相較於同一季節，同一種但是利用較差環境的個體，有較低的脂肪累積，並且兩者的存活率沒有差異（Rappole and Warner 1980, Winker 1989）。在一項對於三趾鷗分布於美洲不同緯度的度冬地點的研究中，體重和體脂肪含量會與長期的一月份的月平均溫呈反比，而針對單一個體的研究，則是指出決定能量儲存多寡的主要因素為氣溫（Castro et al. 1992）。

三、飛行距離的估算

由於體脂肪為鳥類飛越過長距離的地理障礙時，提供了主要的能量來源，因此一個很有趣的問題便是，一定重量的體脂肪，到底可以提供鳥類飛行多遠的潛力（Williams and Williams 1990）？許多的飛行距估算主要的目的是在了解環境條件是否足以支持不休息的遷徙飛行，更確定的了解鳥類遷徙的飛行距離，則是有助於遷徙性鳥類的策略研究與保育工作（Herbert 1996）。

近來有關於的模式主要都以能量輸入的限制為主要的探討因子，少部分涵蓋了鳥類形質上的差異，或以基礎代謝率為預測之機制（Greenewalt 1975, Pennycuick 1975, Summers and Waltner 1979, Davison 1984, Rayner 1990, Robbins 1990），但每個推測的公式之間仍有差異存在，風的影響、能否在遷徙

前相當準確的測的個體的體脂肪含量，是造成推估誤差的主要原因 (Davison 1984 , Biebach 1992)。

四、最佳遷徙策略

最佳化是一種將成本 (cost) 最小化，將利益 (benefit) 最大化，或是取兩者當中較有利的一種過程。對於遷徙性的鳥類而言，如何在適當的時間中抵達目的地的最佳化方法，決定於天擇作用在其身上的因素 (Alerstam and Lindstrom 1990 , Lindstrom and Alerstam 1992)，大致上分為兩種，一種為時間決定因素，遷徙的個體盡可能縮短完成遷徙旅程的時間，此策略可能帶來的優點，在於搶先抵達繁殖或度冬地點的個體，會佔有較大的優勢，或是縮短在不熟悉環境中的時間，減低死亡率 (von Haartman 1968 , Price 1981 , Carpenter et al. 1983)，另一種為能量決定因素，遷徙個體盡可能減少遷徙過程中能量的損失，確保完成遷徙時消耗掉最少的能量。 (Lindstrom and Alerstam 1992)。

在文獻中 (Alerstam and Lindstrom 1990) 有詳細提到這上述兩種不同決定因素最佳化的數學模式：

首先，最佳的飛行距離與體脂肪累積量的關係為：

$$Y(F) = CONST. \times [1 - (1+f)^{-0.5}] \quad \dots \text{方程式 (1)}$$

Y：飛行距離

CONST.：常數項，與鳥種和個體的大小、型態、飛行效能有關

f：累積體脂肪含量 (fat mass / lean mass)

1. 針對時間決定因素來看：

累積體脂肪含量與個體每日的體脂肪累積率有關，最佳的飛行距離也會變成時間的函數 Y (t) ，方程式 (1) 可以改寫成：

$$Y(t) = CONST. \times [1 - (1 + Kt)^{-0.5}] \quad \dots \text{方程式 (2)}$$

Y：飛行距離

CONST.：常數項，與鳥種和個體的大小、型態、飛行效能有關

K：個體每日的體脂肪累積率

t：累積體脂肪的天數

對於在遷徙途中休息補充體脂肪累積的個體，並不是一抵達休息地便馬上可進行能量補充，要花費 t_0 的時間尋找適合的覓食地點，要找出在時間選擇因素之下在每個地點的最佳的體脂肪累積時間，可以藉由解得下列方程式而得：

$$d[Y(t+t_0)^{-1}] / dt = 0 \quad \dots \text{方程式 (3)}$$

微分並整理可以得到：

$$dY / dt = Y / (t+t_0) \quad \dots \text{方程式 (4)}$$

要解出方程式 (4) 中的最佳體脂肪累積時間，可用圖解方式，在特定的尋找時間下，在方程式 (2) 在不同的脂肪累積率情況下，作切線，其切點便可以找出最佳的脂肪累積時間，且其切線之斜率，則是最大的遷徙速度，如圖二所示。

結合方程式 (2) 與方程式 (4)，最佳的體脂肪累積與最佳的停留時間，可以由圖三來得到。

2. 針對能量決定因素來看：

對於以能量為決定因素的個體來說，最佳的體脂肪累積量可以由下式決定：

$$dY / df = [Y - Y(f_0)] / f \quad \dots \text{方程式 (5)}$$

Y ：為方程式 (1)

f_0 ：為尋找時消耗的能量

可用圖解方式解出方程式 (5) 中最佳的體脂肪累積量，在特定的尋找消耗脂肪累積量下，堆對已知的體脂肪累積量與飛行距離關係圖作切線，可以得到最佳的體脂肪累積量，如圖四所示。

3. 不同遷徙策略的預測：

根據不同的 K 值 (increase fat mass / lean mass / day) 與其最佳體脂肪累積量的比較，可以預測該族群可能採用的最佳遷徙策略。比較一族群在同一遷徙

線、同一季節但不同的中途停棲地點，或是同一遷徙線、同一中途停棲地點但不同年份的 K 值與最佳體脂肪累積量，若兩者會呈現正比的關係，則可預測該族群是採用時間選擇策略；若是 K 值與最佳體脂肪累積量並沒有關係，則可以預測該族群是採用能量選擇策略。

五、TOBEC 測量體脂肪

TOBEC 為 1970 年代末期開始研發之技術，至 1980 年代中期以後逐漸成熟，現在已經成為非破壞性測量小型動物體脂肪的常用方法之一（Bear et al. 1993, Bellinger and Williams 1993, Caroline and Michel 1993-1996, Trocki et al. 1995, Danicke 2001）。其原理是藉由 Harker 的理論：一個震盪的磁場可以藉由在螺線形的抗電阻中偵測到的改變而測量導電度（conductivity）。由於鳥類身體中非脂肪部分（lean mass）和脂肪的導電度有極大的不同，因此可以藉由兩者的差異，測出鳥類身體中非脂肪部分的重量。

利用 TOBEC 所測得的體脂肪含量與傳統的測量體脂肪含量方法（包括以 3-methylhistidine 或是以 creatinine 萃取，或由全身鉀含量來推估體脂肪含量）做迴歸比較，均有相當高的 r^2 值，顯示 TOBEC 已是可以信賴的體脂肪測量工具（Horswill et al. 1989），特別是針對同一個鳥種間的研究，因其可以準確的測出個體的非脂肪部分和脂肪的組成比例，無疑的是提供一種簡單快速測量活體鳥類個體的好方法（Castro et al. 1990）。

參、研究地點和方法

一、研究地點

主要的研究對象為大肚溪口南岸的族群，選取的實驗範圍包括彰化縣伸港鄉沿海灘地、伸港鄉近海岸的放乾漁塭以及彰濱工業區線西區、崙尾區北面灘地。

二、研究方法

- 1、實驗對象之捕捉：於實驗地點的範圍內，自 2000 年 9 月初至 2001 年 3 月底，每星期進行一次繫放工作，以及 2001 年 8 月中至 2002 年 4 月中，每兩星期進行一次繫放工作，採用的方式為霧網；黃昏時架設 4 至 12 張的畫眉網，考量風向因素影響，鳥往架設方向為東西向。鳥網架設完成後，為避免上網個體掛網太久失溫並消耗過量體脂肪，每隔一小時巡網一次，將每次捕捉到的體放入單獨靜置的空間 20 分鐘，以避免過度之驚嚇。
- 2、體脂肪的測量：體脂肪之測量採用 TOBEC，其型號為 SA-3000，根據操作手冊之建議，選擇適合於濱鵲的測量箱，其內徑為 76mm，型號為 SA-3076；將完成靜置的個體，簡單的固定好，使其不至於在測量箱中移動，並依照下面步驟操作：
 - (1) 測量前至少暖機 60 分鐘。
 - (2) 放入標準品校正，並得讀數 a。
 - (3) 測量空載盤的讀數 b。
 - (4) 將個體放於可將之固定的載盤之上，輕輕送入測量箱中，得讀數 c。
 - (5) 該個體的測值則為：
$$E \text{ value} = (c-b) \times (a / \text{標準品值})$$
 - (6) 每一個體均重複測量三次，以其平均值為該個體之最後測量值。
 - (7) 個體體脂肪含量之計算公式如下：
$$FFM = 0.53 E + 21.4$$
(FFM：fat free mass，E：E value)
 - (8) 進行完 TOBEC 測量之濱鵲，為避免不必要之干擾造成體重或體脂肪之下降，馬上進行基本的形質測量。

3、基本形質測量：

- (1) 體重：將受測個體以放入恰可容納其身體的塑膠管中固定，以精確至小數點以下一位之電子秤測量。
- (2) 初級飛羽換羽：以右翅為主要觀察位置，若右翅初級飛羽有遭損壞之跡象，則紀錄左翅之初級飛羽情況；主要為判斷其有無換羽以及換羽的程度，換羽的程度分成五級，第一級為有羽鞘，但羽毛尚未生出，第二級為羽鞘有剛生出的羽毛，第三級為羽毛長度未達完整羽毛長度的三分之一，第四級為羽毛長度達完整羽毛長度三分之一，但未達三分之二，第五級為羽毛長度已經長成，但羽毛根部仍有羽鞘包覆。
- (3) 體羽換羽：用手或吹氣方式撥弄前胸部分之體羽，檢視其是否有換羽的情形，在換羽的多寡方面，完全沒有換羽紀錄為 0，有極少部分換羽紀錄為 1，有少量的換羽紀錄為 2，有相當大量的換羽則紀錄為 3。

4、氣象資料：2000 年 11 月至 2001 年 3 月，以及 2001 年 11 月至 2002 年 3 月的月均溫資料，由中央氣象局資訊服務網站之每月氣象資料中取得。

肆、結果

一、過境、度冬期間與遷徙前體脂肪之累積變化

自 2000 年 9 月至 2001 年 3 月底，以及 2001 年 9 月至 2002 年 4 月底，針對大肚溪口南岸濱鵲族群，分別進行體脂肪變化測量，結果如圖五及圖六。

2000 年 11 月中以前，可能為秋季過境之族群，以大肚溪口為中途休息站期間的體脂肪變化，這段時間中測得最大體脂肪累積為 11 月 10 日測得之 $42.42 \pm 10.75\%$ ，可能為離開繼續往南遷徙前最大的體脂肪累積；在 2001 年 10 月中以前的體脂肪變化結果相類似，其最大的體脂肪累積為 $34.86 \pm 12.37\%$ 。

2000 年 11 月中至 2001 年 3 月底以及 2001 年 11 月中至 2002 年 3 月中，這兩段時間之體脂肪變化模式也相當類似，可能為在大肚溪口度冬之濱鵲族群，初抵達時的模式與過境族群相類似，並未消耗體脂肪至最低量，在抵達後體脂肪累積率繼續下降，2000 年至 2001 年在度冬期間保持在 20 ~ 30 % 之間，平均值為 27.02 %，而 2001 年至 2002 年度冬期間則是保持在 15 ~ 25 % 之間，平均值為 19.93 %，兩者相差約 7 %。

兩年濱鵲族群的體脂肪均自 2 月底、3 月初開始增加，可能為度冬族群開始累積遷徙所需之體脂肪，預估遷徙前最大的體脂肪累積量在 2001 年 3 月底平均為 $40.78 \pm 17.57\%$ ，較 2002 年 3 月中平均 $23.38 \pm 4.26\%$ ，高出約 17 %。

2002 年 3 月底至 4 月中，體脂肪變化呈現另一個累積的趨勢，可能為春季遷徙的過境族群，利用大肚溪口作為短暫的能量補充地點，預估該族群的遷徙前最大的體脂肪累積量為 $28.58 \pm 7.68\%$ ，較 2002 年 3 月中之族群高出約 5 %。

體脂肪累積率與 k 值 ($\text{increase fat mass} / \text{lean mass} / \text{day}$) 部分，結果如表一所示。在兩年的秋季過境期間 (2000.10.9 ~ 2000.11.10 以及 2001.9.30 ~ 2001.10.6)，體脂肪累積率介於 1.11 ~ 1.75 % 之間，k 值介於 0.007 ~ 0.013 之間，兩者均較度冬族群 (2001.3.6 ~ 2001.3.26 以及 2002.2.26 ~ 2002.3.12) 的體脂肪累積率介於 0.23 ~ 0.88 % 之間，k 值介於 0.003 ~ 0.006 之間，以及春過境族群 (2002.3.28 ~ 2002.4.15) 的體脂肪累積率為 0.43 %，k 值為 0.004 來得高。

二、換羽情況

根據基本的形質測量結果，分別將二年的秋季過境、度冬以及春季過境期間，飛羽以及體羽換羽的比例整理，結果如表二。飛羽部分，在秋季過境期間均有相當的比例，而在度冬期間晚期與春季過境期間，則是沒有進行飛羽的換羽。體羽部分，則是在 12 月份以及 1 月份的比例最低，其他月份則是均有體羽換羽的情況。

三、氣象因子

根據中央氣象局針對 2000 年 11 月至 2001 年 3 月，以及 2001 年 11 月至 2002 年 3 月的平均氣溫兩者沒有顯著差異 ($p = 0.29$)，而與該二年 11 月至 3 月之體脂肪累積月平均值作相關係數分析，結果為 0.52，為正相關的情形；2000 年 11 月至 2001 年 3 月，以及 2001 年 11 月至 2002 年 3 月的平均降雨量差異顯著 ($p = 0.02$)，而與該二年 11 月至 3 月之體脂肪累積月平均值作相關係數分析，結果為 0.77，呈現明顯正相關的情形。

探討可能影響體脂肪累積的氣象因素，比較 2 月與 3 月的氣象因子，平均氣溫有上升（從平均攝氏 17.2 度上升至平均攝氏 20.5 度），但並沒有明顯的差異 ($p = 0.12$)，風向並未有改變，均以北風為主，最大風速有減小（從 15.9 m/s 減小為 14.4 m/s），但也沒有顯著的差異 ($p = 0.12$)，在日照時間方面，平均的日照時間則是有顯著的差異 ($p < 0.01$)。

探討可能影響體度冬族群開始啟程遷徙的氣象因素，2001、2002 年 3 月的平均氣溫與 4 月的平均氣溫由 3 月的攝氏 20.5 度增加到 4 月的攝氏 23.0 度，但沒有明顯的差異 ($p = 0.18$)，在風向上仍是 3 月以北風為主，但 4 月則始有南風，平均風速由 3 月的 14.4 m/s 降到 4 月的 12.4 m/s，但也沒有明顯差異 ($p = 0.3$)。

三、最大可能飛行距離

根據 2000 年 11 月中、2001 年 10 月中、2001 年 3 月底以及 2002 年 3 月底和 4 月中的最大體脂肪累積的數據，分別以 McNeil & Cadieux (1972), Greenwalt (1975), Summers & Waltner (1979), 以及 Davidson (1984) 的公式計算，可以得到

秋季過境族群、度冬族群，以及春季過境族群之最大可能飛行距離，結果如表三；其中，以 Greenewalt 的估計值和其他三種方法差異較大。在往後的論述中則是均採用 Davidson 公式的結果。

以台灣彰化大肚溪口為圓心，並以 Davidson 方法推之之預估飛行距離為半徑，可以畫出在大肚溪口所累積的體脂肪量所能供給的最大飛行範圍，結果如圖七所示。

四、最佳遷徙模式

1. 秋季過境族群

以 2000 年 9 月中至 2000 年 11 月中以及 2001 年至 2001 年 10 月中的過境族群來看，兩年的可能體脂肪累積量分別為 $42.42 \pm 10.75\%$ 以及 $34.86 \pm 12.37\%$ ，最大可能的飛行距離分別為 1154.06 km 以及 960.28 km，平均的 k 值分別為 0.007 以及 0.013。根據最佳遷徙模式的推論，由於體脂肪累積量並未隨著 k 值而改變，符合能量選擇的情況。

圖八為圖解在能量選擇的情況下，2000 年以及 2001 年秋季過境族群在尋找時可能損失的能量，分別約為 0.08 (8%) 以及 0.055 (5.5%)。實際的實驗數據顯示 2000 年秋季濱鵲過境族群停留的能量損失約為 16%。

2. 度冬族群

度冬族群可以分成兩部分來看，第一部份是在秋季時的遷徙，但是由於大肚溪口為度冬族群在秋季往南遷徙的最後一站，因此無法從體脂肪累積的情況來判斷其所選擇的是哪一種模式。

第二部分是春季的北返遷徙，以 2000 年 11 月中至 2001 年 3 月底以及 2001 年 10 月中至 2002 年 3 月度的度冬族群來看，兩年的最大體脂肪累積量分別為 $40.78 \pm 17.57\%$ 以及 $23.38 \pm 4.26\%$ ，最大可能的飛行距離分別為 1069.86 km 以及 677.43 km，平均的 k 值分別為 0.006 以及 0.003。根據最佳遷徙模式的推論，體脂肪累積量隨平均的 k 而影增減，符合時間選擇的情況。

3.春季過境族群

以 2002 年 3 月底至 2002 年 4 月中的過境族群來看，最大的體脂肪累積為 $28.58 \pm 7.68\%$ ，最大可能的飛行距離為 841.93 km，平均的 k 值為 0.004。由於並無兩年的資料可以比較，但春季過境族群可能與度冬族群相類似，也是時間選擇的情況。

圖九為根據 2002 年春季過境族群之體脂肪累積時間與最大可能飛行距離圖解可能的尋找時間，結果約為 2.6 天，則整體最佳停留時間為 19.6 天。實際的實驗數據顯示濱鵲過境族群停留的時間約為 18 天，兩者相當吻合。

伍、討論

一、體脂肪含量變化

1. 秋季過境族群之體脂肪含量變化

從 2000 年 9 月至 11 月初的秋季過境族群的體脂肪含量變化結果，可整理出其變化模式為抵達大肚溪口後便繼續消耗體脂肪至 10 月初，之後再開始累積脂肪至 11 月初離開為止。對於體脂肪含量下降，一個可能的原因在對於停棲地點不熟悉的狀態下，便需要消耗能量以尋找適合的覓食、休息等活動地點，這也是最佳化數學公式中所考量的地方，然而公式所預測的結果只有實際實驗結果的 50%，因此可能有其他的原因造成能量的損失。

一個可能的原因為該族群正在進行飛羽的換羽，進而影響了其體脂肪的累積情況與累積速率 (Holmgren et al. 1993, Serra et al. 1998)。將體脂肪變化的情形與相同時期的飛羽換羽情形相互比較，大量換羽的時間與體脂肪消耗下降的時間相符合，而換羽的情形在 9 月底 10 月初是以內側飛羽已經換完，而外側飛羽正在進行換羽的情況為主，但在 10 月中以後至 11 月初，正在換羽的比例減少，但外側飛羽剛剛完成換羽不久，全部的飛羽呈現新羽的情況增加，因此可能此批秋季過境的族群，在遷徙開始前便開始進行飛羽換羽，或是在途中停棲地點開始進行飛羽換羽，在每一個停棲地點利用儲存的能量完成部分的飛羽換羽，並在預定離開停棲地點前開始累積可飛至下一停棲地點的能量；而在大肚溪口，則是可能是大部分個體均完成所有的飛羽換羽之後，再進行繼續往南遷徙飛行的準備。

但該族群於大肚溪口進行飛羽換羽的比例，約佔三分之一，應不足以影響全族群之體脂肪量的明顯下降，所以應有其他的原因造成體脂肪量的下降。另一個原因，可能為對於競爭覓食區與捕食等生存壓力的適應。此過境族群在大肚溪口的過境時間根據實驗結果推測約有 40 天之久，雖然開始累積能量的時間約有 25 ~ 30 天，且累積的體脂肪含量也相當高，但過境期間的前 10 ~ 15 天，若還未到繼續出發前開始累積體脂肪的時間，則過多的體脂肪在面對捕食壓力時，可能因為體重過重，而降低靈敏度，增加被捕食的機會，因此在這段時間中，期體脂肪的含量是持續下降的狀態。

這種在某一停棲點，特別可能是遷徙終點前最後一個停棲點長時間的停棲，與北美洲西濱鶉 (western snadpiper) 有相類似的情況；西濱鶉在遷徙時，會在抵達目的地的最後一個停棲點做較長時間的停留，目的是為了累積超額的能量，以利抵達目的地後有充足的能量競爭覓食區或繁殖區 (O'Reilly and

Wingfield 1995)；在麻州也有相類似的情形，以 Plymouth 以及 Duxbury 海灘為秋季遷徙中途停棲地的半蹼鶯 (semipalmated sandpiper)，不同的過境族群有不同停留時間與體脂肪累積，而其實驗結果顯示，在停留時間與體脂肪累積量與隔年該族群再度回到該海灣的數量成正比，推論原因應是在遷徙途中較高的體脂肪累積量會較能確保其生存的機率，因此隔年能再度回到海灣的族群數目也較多 (Pfister et al. 1998)。

而 2001 年 9 月中至 10 月中的秋季過境族群，則是沒有紀錄到體脂肪含量下降的部分，但整體而言，在時間分布上，推測其可能抵達與離開大肚溪口的時間，較前一年的秋季過境族群，提早了 15 ~ 20 天，而這年的度冬族群的抵達時間也較前一年提早了 15 ~ 20 天，將一併在後面討論。

2. 度冬族群度冬期間的體脂肪含量變化

2000 年 11 月初至 12 月底，以及 2001 年 10 月中至 11 月中的度冬期的前段，均有體脂肪含量下降的趨勢，其最可能的原因應該與秋季過境族群相同，為要進行換羽以及應付初面臨陌生棲地的拓殖、面對捕食者時可以佔有優勢，但這個時間飛羽換羽已經相當少，體羽換羽也漸漸減少，主要的原因應該集中在棲地建立上面。在整個度冬季節至遷徙前開始累積體脂肪為止，均保持在一相同的體脂肪累積量範圍之中。

雖然兩年度冬族群在度冬季節中期以後，體脂肪含量均維持在一穩定範圍內，但 2001 年 12 月至 2002 年 2 月底的平均體脂肪量較 2000 年 12 月至 2001 年 2 月的體脂肪低了約 7 %；在文獻中 (Castro et al. 1992) 提到月平均氣溫會影響鳥類非遷徙時的體脂肪含量，且較低的月均溫之下，應該有較多的體脂肪累積，但實驗結果卻與其相反，月均溫與體脂肪含量並未呈現反比的關係。一個可能的原因是兩個度冬季中 11 月至隔年 3 月的月平均氣溫相差不大 ($p = 0.29$)，因此月平均氣溫並非影響其度冬期間體脂肪含量的關鍵因素，反而在降雨量方面，因為 2001 年 11 月至 2002 年 3 月的降雨情況明顯偏少 ($p = 0.02$)，體脂肪含量與降雨量呈現明顯的正相關性；降雨少的情況，對於度冬的濱鶯族群而言，可能是較有利的環境因素，因為水鳥在面對較不佳的天候狀況如下雨等情形，並不如其他鳥類可以有躲避的地點，多為直接讓雨水澆淋，較多的雨量，可能意味著較高的失溫機會，因此需要累積較多的體脂肪來預防可能的危險。

另一個解釋 2001 年 11 月至 2002 年 3 月體脂肪含量較低的原因，可能為棲地的改變。自 2001 年起，在大肚溪口南岸離岸約 600 公尺地區，漸漸淤積出一片除非在潮高高於 5.2 公尺，否則不會被淹沒的沙洲，由於在滿潮時期該沙洲並

不相連於岸邊，人為干擾甚少，絕大部分的大肚溪口南岸度冬族群在滿潮時期，不像以往需要往內陸地區找尋乾漁塢或是礫石地，只要在沙洲上便可以安全並且在很少干擾的情況下度過滿潮時刻；並且觀察到沙洲邊緣有相當密集的覓食行為，應該是相當好的覓食區域；綜合上面兩項因素，鮮少人為干擾的躲避滿潮的休息地，以及不錯的覓食區域，共同構成較佳的度冬棲地環境，因此會有較低的體脂肪含量。

3.度冬族群遷徙前的體脂肪含量變化

在遷徙前體脂肪含量變化方面，兩個度冬季節晚期，開始累積體脂肪的時間相差不多，都是從3月初開始，整個累積體脂肪的時間約為一個月，且從2001年3月的結果可以看出，在累積體脂肪的前期，累積的速度較慢（0.56 % body fat load per day），到了後期更接近北返離開的時刻時，則累積的速度加快（0.88 body fat load per day），整體累積體脂肪的時間與到接近北返時刻加速累積體脂肪的情況，與文獻（Pienkowski et al. 1979, Johnson 1989, Totzke and Bairlein 1998）相類似。

針對度冬濱鵲族群對於開始累積體脂肪的時機掌握，可能是由於外在環境因子或是內在生理時鐘的影響；根據實驗結果，二年的春天度冬族群開始累積體脂肪的可能時間均為2月底，在2月與3月較有可能產生影響的環境因子中，平均氣溫有上升（從平均攝氏17.2度上升至平均攝氏20.5度），但並沒有明顯的差異（t-test, $p = 0.12$ ），風向並未有改變，均以北風為主，最大風速有減小（從15.9 m/s 減小為14.4 m/s），但也沒有顯著的差異（t-test, $p = 0.12$ ），在日照時間方面，平均的日照時間則是有顯著的差異（t-test, $p < 0.01$ ），因此，可能影響其開始累積體脂肪的因素是日照時間的長短，當日照時間漸漸變長，可能促使濱鵲體內的內分泌系統開始為了遷徙而準備而開始累積體脂肪，至於其他因素，雖然沒有顯著的差異，但濱鵲也有可能可以辨別出當中的差異，而成為影響體脂肪累積的因素，或是在綜合各種條件的影響之下，度冬族群才開始決定累積體脂肪準備遷徙。

另一方面，決定離開度冬地的時機，一般而言，氣象條件是最常被談論到的決定因素，在所有氣象條件中，可能以氣溫和風向、風速被認為是較有影響的因子（Richardson 1990），其中，氣溫方面，平均氣溫的增加可能決定遷徙的開始（Gauthreaux 1982, Rees 1982），風向風速方面，則多認為在開始有順風的情況下，會決定開始遷徙（Crawford 1980）。在本實驗中，以體脂肪累積的情況推論，度冬族群離開大肚溪口的時間可能為3月底，2001、2002年3月的平均氣溫與4月的平均氣溫沒有明顯的差異（t-test, $p = 0.18$ ），在風向上仍是3月以北

風為主，但 4 月則始有南風，平均風速則沒有明顯差異（t-test, $p = 0.3$ ）；因此，對於大肚溪口度冬的濱鵲族群來說，可能的決定因素為風向；雖然氣溫以及風速在統計上沒有差異，但平均氣溫由 3 月的攝氏 20.5 度增加到 4 月的攝氏 23.0 度，平均氣溫增加，平均風速由 3 月的 14.4 m/s 降到 4 月的 12.4 m/s，減少逆風的情況，也與已知可能影響的條件有相符合的結果。

實驗的結果顯示度冬族群於 2001 年春天北返時體脂肪累積量較 2002 年春天時高出約 17%，一個可能的原因為 2002 年春天度冬族群的最後一筆實驗結果，為 2002 年 3 月 12 日，與 2001 年春天度冬族群的最後一筆實驗結果為 2001 年 3 月 26 日，尚有 14 天的差距，假設兩年其北返離開大肚溪口的時間相類似，則 2002 年春天的結果並不能代表北返前最高的體脂肪累積量；若根據 2001 年春天的結果，其後期的體脂肪累積速度也有 0.88 % body fat load per day，並以此累積速度累積不足的 14 天，則推估度冬族群在 2002 年春天的最大體脂肪累積量可以達到 35.70%，較 2001 年春天的最大體脂肪累積量低約 5%。

但也有可能 2002 年度冬族群出發離開時，確實帶著較 2001 年度冬族群出發離開時低的體脂肪含量，則有可能影響到最大可能的飛行距離，不過由於累積超過飛行距離所需的體脂肪，對於遷徙性水鳥而言，是相當普遍的情況，所以可能飛抵下一個中途停棲點，對於遷徙路線可能並沒有影響，關於可能的遷徙路線，在後面有更多的討論，但較低的體脂肪累積，可能導致能安全完成遷徙的個體比例降低，不過也許是 2002 年天氣狀況較 2001 年穩定，所以度冬族群北返時便不需累積過多量的體脂肪，也能安全完成遷徙。

4. 春季過境族群之體脂肪含量變化

本實驗僅有在 2002 年 3 月底、4 月初有紀錄到春季過境族群的體脂肪含量變化，在理論上該族群抵達後，應該與其他期間相同，或多或少應該消耗能量在中途停棲地的棲地建立上，但結果卻顯示與他期間不相同，並沒有紀錄到抵達後體脂肪量下降的情形，最有可能的原因是其尋找建立棲地的時間很短，所以無法在兩次的繫放結果中看出體脂肪含量下降的情形。

至於影響此春季過境族群在短時間內便可以建立好適合棲地的因素，一個可能與其遷徙模式有關，由於根據實驗結果，春季過境族群是採用時間選擇的模式，在遷徙所花費的時間上盡可能的縮短，因此會使得族群在體脂肪含量的管理上，盡可能不浪費太多時間，只要棲地品質尚可進行能量的補充，便不再花費時間和能量建立更好的棲地，有關於遷徙模式的探討，在下面的部分有更詳細的討論。

先前討論到的近岸沙洲，則是另一個可能使得春季過境族群在很短時間內變建立好過境棲地的因素，假設此一春過境族群於去年秋天時也有過境大肚溪口，便可能記得此一較於附近地區相對質優的棲地，並且由於環境穩定，無人為的干擾，此一春季過境族群便能很快速的建立棲地並進行能量的補充。

5. 秋季過境與度冬族群抵達時間的差異

一般而言，遷徙性水鳥在遷徙時間的掌握上，若環境的變異不大，每年之間啟程離開的時間的差異不大，約在一星期之內（Gudmundsson 1993），但根據二年相互比較的結果顯示，2001年秋季的過境族群與秋末抵達的度冬族群，在時間上，均較2000年的族群提早15~20天，當然有可能15~20天的誤差仍在合理的範圍之中，但是提早離開繁殖地，或是遷徙途中有某些因素使其遷徙速度加快也都是可能的原因。

假設提早到達的原因是因為提早離開繁殖地，則天氣因素應該還是最有可能的影響因子。若繁殖地區的冬天較早來臨，氣溫下降的較快，便很有可能造成族群提早進行往南遷徙的準備，並且提早離開繁殖地，而根據中央氣象局的資料顯示，2001年冬季相較於2000年冬季，較為寒冷，有可能造成繁殖族群較早離開繁殖地。

若為遷徙途中加快了遷徙的速度，則有相當多可能的因素，在文獻中有討論到候鳥對於遷徙上的改變，一般而言，最大可能造成遷徙上的改變的原因是環境上的變化，特別是棲地的改變，近年來大陸、韓國、日本、台灣等位在可能為遷徙路徑上的沿海地區，不乏有大規模的人為開發，因此可能產生諸多的影響，但對於亞洲地區大規模的海岸開發，對於遷徙性水鳥的影響，則是需要更多的研究，才能有更確切的了解。

二、遷徙策略與遷徙路線上可能的中途停棲地點

根據結果顯示，可以確定的是秋季在大肚溪口過境的族群是採用能量選擇的模式，而度冬族群在北返時，採用的是時間選擇的模式，由於同一鳥種，在相同的季節與遷徙線上，應該是採用相同的遷徙模式，因此推論度冬族群在秋季遷徙抵達大肚溪口所採用的應該為能量選擇的模式，而春季過境的族群則應該採用的是時間選擇的模式。因此對於最佳遷徙模式與可能的遷徙路線，將根據季節上

的差異，分成秋季與春季來討論。

1. 秋季遷徙策略與遷徙線上可能的中途停棲地點

在秋季時採用能量選擇的模式，與大部分對於遷徙性的水鳥研究的結果是相符合的 (Holmgren et al. 1993, O' Reilly and Wingfield 1995)；在水鳥度冬時，個體之間的領域行為相較於繁殖季節，要來得小，並且對於棲地的利用，主要以覓食與滿潮時的休息地為主，這兩類的棲地利用對於言，幾乎可以說是能與其他個體共同分享的，此外，由於南方的氣候溫暖，相較於氣候漸漸惡劣的北方繁殖地而言，度冬地區的食物來源是相當豐富，不虞匱乏，因此對於個體而言，並無明顯的需要與其他個體在抵達目的地的先後方面競爭，凡而若能在遷徙途中，減少能量的消耗，則可能有助於保存累積的體脂肪應付突發的狀況，更增加本身存活的機率，或是將多餘能量分配應用於換羽的過程，則既可在遷徙途中完成換羽，以新羽來增加遷徙時的飛行效率，並兼顧遷徙時的安全性。

秋季的遷徙路線與春季遷徙路線比較，雖然在飛行的路徑上可能大致是相同的，但是，在中途停棲休息地點方面，就最佳遷徙模式的觀點來看，因為為能量選擇的模式，基於要盡量減少能量的損失，所以比較可能的情況是在遷徙時個體身上所攜帶的體脂肪並不會過多，所以最大可能的飛行距離會減小，有可能造成中途停棲地點的增加；或者，因為在遷徙途中進行飛羽換羽，消耗部分能量，也有可能因換羽增加飛行上的困難，所以在秋季遷徙的時候，可能會有較多的中途休息的地點。

對於推論台灣的過境和度冬族群，其上一個中途休息站可能是哪一個地方，是利用可能消耗掉的體脂肪量來推估其可能的飛行距離，以 2000 年秋季的過境、度冬以及 2001 年秋季的度冬族群來看，假設其上一個中途停棲地點累積的體重以及能量，與實驗的數據相同，則推估其可能消耗的體脂肪平均為 10 %，以 Davidson 的公式換算最大可能飛行距離只有 353.79 公里，若只根據此一距離推估，最有可能的上一個中途停棲點是在大陸的福建省與浙江省交界附近，但是由於並不能確定上一個中途停棲地點所真正累積的體脂肪到底是多少，此一推估的誤差可能相當大，且由於中國大陸東南沿海的調查資料多只集中在崇明島和香港米埔，並不能確定其他東南沿海地區的濱鶯族群的真正分布情況，若假設崇明島才是其上一個中途休息站，則距離的估計約有 2 倍的誤差；若以能從崇明島飛抵大肚溪口的距離來看，從日本方面來的族群的可能性將提高，雖然此一距離仍不足以飛抵日本本島，但濱鶯族群仍可以藉由跳島的方式，從琉球群島飛抵台灣。

在過境族群繼續往南飛行的路線上的中途停棲點推測方面，用最大可能飛行距離來涵蓋其可能的飛行路線，根據結果顯示，其範圍涵蓋了菲律賓中部以北，以及部分廣西省，但根據目前的紀錄，濱鵲在東南亞的最南分布菲律賓北部、海南島、以及極少部分的中南半島北部；若往海南島或中南半島遷徙的族群，應該無法一次飛抵中南半島北部，要抵達海南島也是相當勉強，因此需要再有一個中途停棲的地點，香港的米埔是可能的地點之一。若是往菲律賓北部的族群，則應該不需要再經過中途停棲便可以抵達度冬的目的地。

2. 春季遷徙策略與遷徙線上可能的中途停棲地點

春季時採用時間選擇模式，也與大部分水鳥研究結果相類似（Jams and Susan 1995, Pettay 1995, Andres and Browne 1998），由於春季的北返遷徙，其目的地是繁殖地，一但抵達目的地後最重要的任務便是要進行繁殖，而水鳥在繁殖時的行為模式與度冬其有相明顯的不同，在繁殖時，個體對於適合繁殖的空間、食物，都有較強烈的競爭，因此，早抵達目的地的個體，在可選擇的築巢地點、交配對象、或是食物資源的利用，均會佔有優勢，並且，若能較早開始繁殖，則在秋季遷徙前可以有較充裕的時間讓幼鳥成長，應該相對提高繁殖的成功率，因此結合各種的因素，天擇選擇了在春季遷徙時採取時間選擇的個體。

在時間選擇的遷徙模式中，遷徙個體對於中途休息地的品質有較高的要求，因為要在遷徙途中盡可能的節省時間，因此對於不能提供較高的體脂肪累積率的棲地，有可能選擇性的掠過，或是只有短暫的停留，因此相較於秋季遷徙，可能會有較少中途停棲地，從預估春季遷徙的尋找與最佳的停留時間來看，如果濱鵲族群在 k 值較低的環境，其停留的天數較低，即可能因為在不能提供足夠體脂肪累積的情況下，濱鵲族群會選擇累積較少的體脂肪，以可能較冒險但不至於影響遷徙速度的方式往下一個可能的中途停棲點遷徙，若此一地點能提供的體脂肪累積率較高，則有可能利用此一地點累積較多的脂肪，以預防下一個可能的中途停棲地點的品質不良，可以選擇掠過或是短暫停留。

但與文獻中棲地所能提供的體脂肪累積率（Alerstam and Lindstrom 1990, Gudmundur et al. 1991）以及秋季時的體脂肪累積率比較，春季時大肚溪口南岸的棲地似乎所能提供的體脂肪累積率較低，甚至不及秋季時的二分之一，但是仍可吸引濱鵲前來利用，除了濱鵲族群可能循著固定的路線遷徙外，大陸福建省、浙江省沿海地區沒有更優良的棲地是另一個可能的原因，雖然大肚溪口無法提供高的體脂肪累積率，但是卻剛好位於濱鵲族群遷徙時必須停留休息的地點，且附近其他的可能可作為棲地的品質更不佳，因此選擇了大肚溪口作為在時間上要極力簡短的春季遷徙的中途停棲地點之一。

至於在春季遷徙時是否有換飛羽的可能性，單從大肚溪口的結果來看，有可能濱鶮族群進行春季遷徙時並不進行飛羽的換羽，可能抵達繁殖地之後，再進行飛羽的換羽，此與秋季遷徙時有相當大的差異，但春季遷徙模式重視減少花費時間，因此不浪費任何遷徙飛行可用的資源，應該是相當合理的狀況；不過，在體羽方面，從結果顯示，在 3、4 月份，大部分的度冬或過境個體都有進行體羽的換羽，因此濱鶮族群可能在春季遷徙開始前或途中，便開始換上繁殖羽，可能在抵達繁殖地時，便已經完全換成繁殖羽色。

在遷徙路線上可能的中途停棲地點方面，選擇沿中國東南沿海北返這條路線的族群，從大肚溪口出發後，第一個可能的中途停棲地點便是崇明島，雖然 2002 年春天的度冬族群可能無法一次飛抵崇明島，但可能可以藉由在浙江省沿海地區的短暫停留，再飛抵崇明島，假設濱鶮族群於崇明島可累積的體脂肪量與大肚溪口相同，則自崇明島出發後，下一個可能的中途停棲地點為渤海灣或是韓國的西部沿海，若是在庫頁島繁殖的族群，自渤海灣出發，需再經過一次的中途停棲，可能的地點為西伯利亞東南方日本海沿岸，之後可以勉強抵達繁殖地，若是在西伯利亞北方北極海沿岸、勘察加半島、阿拉斯加或是加拿大北部繁殖的族群，則可能以庫頁島或是鄰近庫頁島的西伯利亞海岸為中途停棲的地點，以西伯利亞北方繁殖的族群，可能再經歷一次的中途停棲後，可以抵達繁殖地，以西伯利亞東北方為繁殖地的族群，需在西伯利亞鄂霍次克海沿岸、勘察加半島北部進行兩次的中途停棲，然後可以抵達繁殖地，以阿拉斯加為繁殖地的族群，則可能於西伯利亞東部白令海峽沿岸做最後一次的中途停棲，但以加拿大北部為繁殖地的族群，則可能需再多一次沿北極海海岸的中途停棲，方可抵達。

選擇沿日本列島進行遷徙的族群，自大肚溪口出發後，第一個可能的中途停棲點為琉球群島，之後可以抵達日本的九洲，在九洲根據已知的遷徙路線，有部分族群可能飛往韓國西部沿海或是渤海灣，加入沿著海岸遷徙的族群，其餘的族群下一個可能的中途停棲地點為東京灣或附近地區，之後可飛抵北海道的東南部，在庫頁島繁殖的族群則可從北海道東南部飛抵繁殖地，部分族群也可以在庫頁島休息，之後可以加入沿海岸遷徙的族群。若是選擇從北海道直接跨過鄂霍次克抵達勘察加半島的族群，則需在勘察加半島南部休息，以勘察加半島北部為繁殖地的族群，應該無法自北海道直接抵達繁殖地，仍需在勘察加半島南部休息，往阿拉斯加和加拿大方面的族群，自勘察加半島出發後，路線和中途停棲的地點，應該與沿海岸飛行的族群大致相同。

三、誤差的討論

1.儀器誤差

由於 TOBEC 所直接測得的讀數並不是體脂肪或是非脂肪部分的重量，要取得真實的重量或比例的結果，需要經過公式的換算，公式的推導方式是經由 TOBEC 測值與該受測個體經過萃取脂肪後得到的脂肪重量，進行迴歸公式的推導而得，不同的鳥種應該有不同的公式，雖然在本次實驗中，所採用的公式針對濱鶉所使用，但是有可能不同的亞種或是不同的地區可能有差異存在；此外，在遷徙過程中，身體的含水量等組成可能會與非遷徙時不同，也有可能造成在公式推算結果的差異。

2.不同亞種、年齡、性別的誤差

由於不同的亞種會有不同的遷徙模式、路線或時間，即使是同一亞種，第一齡鳥與成鳥之間、公鳥與母鳥之間，也可能有差異存在（Figuerola and Bertolero 1998），或者有些第一齡鳥的度冬地點與成鳥不同，根據以往的繫放回紀錄，大肚溪口可以確定至少有三個亞種，應隨著近年來確定分立的亞種增多，在大肚溪口的亞種應該不只三種，但亞種間的辨識，在冬羽時幾乎不能分別，而不同性別、年齡，由於在台灣繫放工作經驗仍不足，其判斷仍無法十分確定，因此本實驗中各個不同季節的族群，有可能混有各種不同遷徙模式的個體而造成誤差。

3.風與地形的影響

在推估最大可能飛行距離方面，風可能佔有極大的影響，在本實驗的推估中，並未考慮風向的影響，但若在順風的條件下，可能飛行的距離可以增加最大甚至一倍以上（Davidson 1984），因此假設濱鶉的遷徙會盡量在順風的條件下進行，則有可能大大減少中途停棲的數目。在地形影響方面，可能沿海岸遷徙的族群，因為可能在面對不良氣候條件時，可以馬上落地躲避，因此有時會有比預期還要遠的飛行距離（Gudmundur 1991, Farmer and Parent 1997），沿大陸東南沿海遷徙的濱鶉族群，也可能有相同的現象，則可能的飛行距離要再增加，而可能的中途停棲地點會再減少。

陸、參考文獻

- Alerstam, T. & A. Lindstrom **1990**. Optimal bird migration : The relative importance of time , energy , and safty. Bird migration : Physiology and Ecophysiology. G. E. Berlin, Springer - Verlag: 331-351.
- Andres, B. A. & B. T. Browne **1998**. Spring migration of shorebirds on the Yakutat Forelands, Alaska. Wilson Bull. **110**(3): 326-331.
- Baer, D. J., W. V. Rumpler, R. E. Barnes, L. L. Kressler, J. C. Howe & T. E. Haines **1993**. Measurement of body coposition of live rats by electromagnetic conductance. Physiology & Behavior **53**: 1195-1199.
- Bailey, R. O. **1979**. Methods of estimating total lipid content in the Redhead duck (*Aythya americana*) and an evaluation of condition indices. Canadian Journal of Zoology **57**: 1830-1833.
- Bellinger, L. L. & F. E. Walliams **1993**. Validation study of total body electrical conductive (TOBEC) instrument that measures fat-free body mass. Physiology & Behavior **53**: 1189-1194.
- Bensch, S. & B. Nielsen **1999**. Autumn migration speed of juvenile Reed and Sedge Warblers in relation to date and fat loads. Condor **101**: 153-156.
- Biebach, H. **1992**. Flight - range estimates for small trans - Sahara migrants. Ibis **134 (S1)**: 47-54.
- Blem, C. R. **1976**. Pattern of lipid storage and utilization in birds. Animal Zoology **16**: 671-684.
- Blem, C. R. **1980**. The energetics of migration. Animal migration , orientation , and navigation. G. S.A. London, Academic Press: 175-224.
- Butler, R. W., F. S. Delgado, H. d. I. Cueva, V. Pulido & B. K. Sandercock **1996**. Migration routes of the Western Sandpiper. Wilson Bull. **108**(4): 662-672.
- Caroline, G. & C. Michel **1993**. Adrenalectomy lowers the body weight set-point in rats. Physiology & Behavior **63 (3)**: 519-523.

- Caroline, G. & C. Michel **1996**. Ever higher : Constant rise of body weight set-point in growing Zucker Rats. Physiology & Behavior **60 (3)**: 817-821.
- Castro, G., J. P. Myers & R. E. Ricklefs **1992**. Ecology and energetics of Sanderings migrating to four latitudes. Ecology **73 (3)**: 833-844.
- Castro, G., B. A. Wunder & F. L. Knopf **1990**. Total body electrical conductivity (TOBEC) to estimate total body fat of free-living birds. The Condor **92**: 496-499.
- Cramp, S., K. E. L. Simmon, D. J. Brooks, N. J. Collar, E. Dunn, R. Gillmor, P. A. D. Holloin, R. Hudson, E. M. Nicholson, M. A. Ogilvie, P. J. S. Olney, C. S. Roselaar, K. H. Voous, D. I. M. Wallace, J. Wattle & M. G. Wilson, Eds. **1983**. Handbook of the birds of Eurpo , the middle east and north Africa. New York, Oxford University Press.
- Crawford, R. L. **1980**. Wind direction and the species compisition of autumn TV tower kills in northwest Florida. Auk **97**: 892-895.
- Danicke, S., I. Halle, E. Strobel, E. Franke & H. Jeroch **2001**. Effect of energy source and xylanase addition on energy metabolism, performance, chemical body composition and total body electrical conductivity (TOBEC) of broilers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition **85**: 301-313.
- Davison, N. C. **1984**. How valid are flight range estimates for waders. Ringng & Migration **5**: 49-64.
- Dawson, W. R., R. L. Marsh & M.E.Yacoe **1983**. Metabolic adjustments of small passerine birds for migration and cold. American Journal of Physiology **245**: 755-767.
- Dufour, K. W., C. D. Ankney & P. J. Weatherhead **1993**. Condition and vulnerability to hunting among mallards staging at Lake St. Clair , Ontairo. Journal of Wildlife management **57**: 209-215.
- Farmer, A. H. & A. H. Parent **1997**. Effects of the landscape on shorebird movements at spring migration stopovers. Condor **99**: 698-707.

- Figuerola, J. & A. Bertolero **1998**. Sex differences in the stopover ecology of Curlew Sandpipers *Calidris ferruginea* at a refuelling area during autumn migration. Bird Study **45**: 313-319.
- Gautheraux, S. A. J. **1982**. The ecology and evolution of avian migration system. Avian biology. London, Academic Press. **6**: 93-168.
- Greenewalt, C. H. **1975**. The flight of birds. Transition of American Philosophy Society **65**: 1-67.
- Gudmundsson, G. A. **1993**. The spring migration pattern of arctic birds in southwest Iceland, as recorded by radar. IBIS **135**: 166-176.
- Gudmundur, A., Gudmundsson, A. Lindstrom & T. Alerstam **1991**. Optimal fat loads and long-distance flights by migrating Knots *Calidris canutus*, Sanderlings *C. alba* and Turnstones *Arenaria interpres*. Ibis **133**: 140-152.
- Haartman, L. v. **1968**. The evolution of resident versus migratory habitat in birds. Some considerations. Ornis Fennica **45**: 1-7.
- Hayman, P., J. Marchant & T. Prater, Eds. **1986**. Shorebirds : An identification guide to the wader of the world. London, Christopher Helm Ltd.
- Herbert, B. **1996**. Energetics of winter and migratory fattening. Avian energetics and nutritional ecology. C. C. New York, Chapman & Hall: 299-301.
- Hochachka, P. W., J. R. Neely & W. R. Driedzic **1977**. Integration of lipid utilization with Krebs cycle activity in muscle. Fed Proceedings **36**: 2009-2014.
- Holmgren, N., H. Ellegren & J. Pettersson **1993**. Stopover length, body mass and fuel deposition rate in autumn migrating adult Dunlins *Calidris alpina*: evaluating the effects of moulting status and age. Ardea **81**: 9-20.

- Horswill, C. A., R. Geeseman, R. A. Boileau, B. T. Williams, D. K. Layman & B. H. Massey **1989**. Total-body electrical conductivity (TOBEC): relationship to estimates of muscle mass, fat-free weight, and lean body mass. Am. J. Clin. Nutr. **49**: 593-8.
- Iverson, G. C., S. E. Warnock, R. W. Butler, M. A. Bishop & N. Warnock **1996**. Spring migration of western sandpipers along the Pacific coast of north America: a telemetry study. Condor **98**: 10-21.
- James, E. L. & M. H. Susan **1995**. Fat content and stopover ecology of spring migrant Semipalmated Sandpipers in south Carolina. Condor **97**: 427-437.
- Johnson, N. K., G. L. Krapu, K. H. Reinecke & D. G. Jorde **1985**. An evaluation of condition indices for birds. Journal of Wildlife management **49**: 569-575.
- Johnson, O. W., M. L. Morton, P. L. Bruner & P. M. Johnson **1989**. Fat cyclicity, predicted migratory flight ranges, and features of wintering behavior in Pacific Golden-Plovers. Condor **91**: 156-177.
- Kaiser, A. **1992**. Fat deposition and theoretical flight range of small autumn migrants in southern Germany. Bird Study **39**: 96-110.
- Kashiwagi M. **2001**. Shorebird leg flagging. Tokyo, Japan Wetland Action Network.
- Lindstrom, A. & T. Alerstam **1992**. Optimal fat load in migrating birds : A test of the time minimization hypothesis. The American Naturalist **140**: 477-491.
- Morrison, R. G. I. **1984**. Migration system of some New World Shorebirds. Shorebirds:Migration and foraging behavior. J. Burger & B. L. Olla. New York, Plenum Press: 125-202.
- Myers, J. P., R. I. G. Morrison, P. Z. Antas, B. A. Harrington, T. E. Lovejoy, M. Sallaberry, S. E. Senner & A. Tarak **1987**. Conservation strategy for migratory species. American Scientist **75**: 19-26.
- Newsholme, E. A. & A. R. Leech **1983**. Biochemistry for the medical science. New York, Wiley.

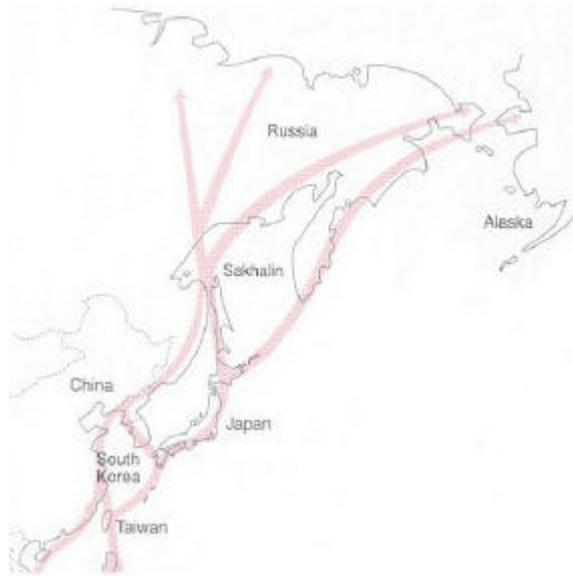
- Nisbet, I. C. T., W. H. Drury & J. Baird **1963**. Weight loss during migration. Part one. Deposition and consumption of fat by the Blackpoll Warbler (*Dendroica striata*). Bird - banding **34**: 107-138.
- O'Reilly, K. M. & J. C. Wingfield **1995**. Spring and autumn migration in Arctic shorebirds: same distance, different strategies. Amer. Zool. **35**: 222-233.
- Pennyquick, C. J. **1975**. Mechanics of flight. Avian biology. K. J. R. Farner D.S. . New York, Academic Press. **5**: 1-75.
- Pettay, T. **1995**. Spring migration of the Knot *Calidris canutus* in southern Finland. Ornis Fennica **72**: 43-47.
- Pfister, C., M. J. Kasprzyk & B. A. Harrington **1998**. Body-fat level and annual return in migrating Semipalmated Sandpipers. The Auk **115 (4)**: 904-915.
- Pienkowski, M. W., C. S. Lloyd & C. D. T. Minton **1979**. Seasonal and migrational weight changes in Dunlins. Bird Study **26**: 134-148.
- Pond, C. M. **1981**. Storage. Physiological ecology. C. P. Townsend C.R. . Massachusetts, Sinauer: 190-219.
- Ramenofsky, M. **1990**. Fat storage and fat metabolism in relation to migration. Bird migration : Physiology and ecophysiology. G. W. Berlin, Springer - Verlag: 215.
- Rappole, J. H. & D. W. Warner **1980**. Ecological aspect of migrant bird behavior in Veracruz , Mexico. Migrant birds in Neotropics : Ecology , behavior , distribution , and conservation. M. E. S. Keast A. . Washington , D.C., Smithsonian Institution Press: 353-393.
- Rees, E. C. **1982**. The effect of photoperiod of timing of spring migration in Bewick's swan. Wildfowl **33**: 119-132.
- Richardson, W. J. **1990**. Timing of bird migration in relation to weather : Updated review. Bird migration. G. E. Berlin, Springer - Verlag: 78-101.

- Robbins, C. T. **1990**. Energy requirement for maintenance. Wildlife feeding and nutrition. R. C.T. New York, Academic Press: 114-174.
- Schaub, M. & L. Jenni **2001**. Variation of fuelling rates among sites, days and individuals in migrating passerine birds. Functional Ecology **15**: 584-594.
- Scoot, D. A. **1989**. A directory of Asia wetland, IUCN.
- Serra, L., N. Baccetti, G. Cherubini & M. Zenatello **1998**. Migration and moult of Dunlin *Calidris alpina* wintering in the central Mediterranean. Bird Study **45**: 205-218.
- Summers, R. W. & M. Waltner **1979**. Seasonal variation in the mass of waders in southern Africa , with special reference to migration. Ostrich **50**: 21-37.
- Sunner, S. & M. A. Howe **1984**. Conservation of Nearctic shorebirds. Shorebirds:Migration and foraging behavior. J. Burger & B. L. Olla. New York, Plenum Press: 397-421.
- Tomkovich, P. S. **1986**. Geographical variation of dunlin of the Far East. Moscow society , protection of nature , biology section **91 (6)**: 3-15.
- Totzke, U. & F. Bairlein **1998**. The body mass cycle of the migratory garden warbler (*Sylvia borin*) is associated with changes of basal plasma metabolite levels. Comparative Biochemistry and Physiology **121**: 127-133.
- Trocki, O., D. J. Baer & T. W. Castonguay **1995**. An evaluation of the use of total body electrical conductivity for the estimation of body composition in adult rats: effect of dietary obesity and adrenalectomy. Physiology & Behavior **57**(4): 765-772.
- Williams, T. C. & J. M. Williams **1990**. The orientation of transoceanic migrants. Bird migration. G. E. Berlin, Springer - Verlag: 7-21.
- 林曜松、陳炳煌、蔡航椰、劉小如 & 顏重威 **1991** 台灣野鳥圖鑑 台北 亞舍圖書有限公司

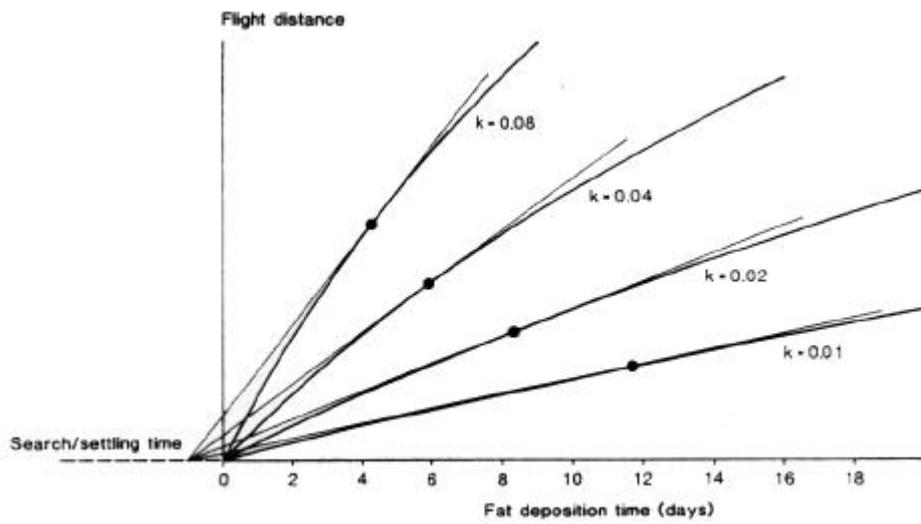
張允孚 & 揚若莉 1994 中國鳥類遷徙研究 北京 中國林業出版社

陳炳煌 2000 彰濱工業區環境監測計劃 東海大學環境科學研究所

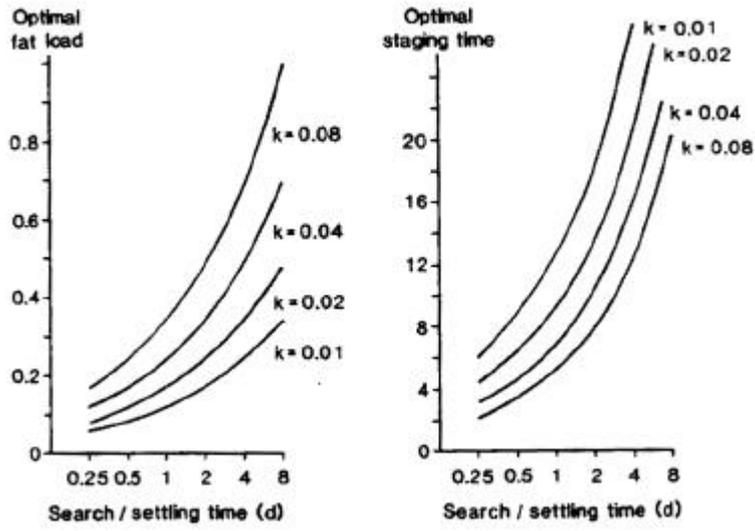
蔡嘉揚 1994 大肚溪口濱鵲數量季節和空間的變化與其主食端腳類之相關 台中
東海大學環境科學研究所碩士論文



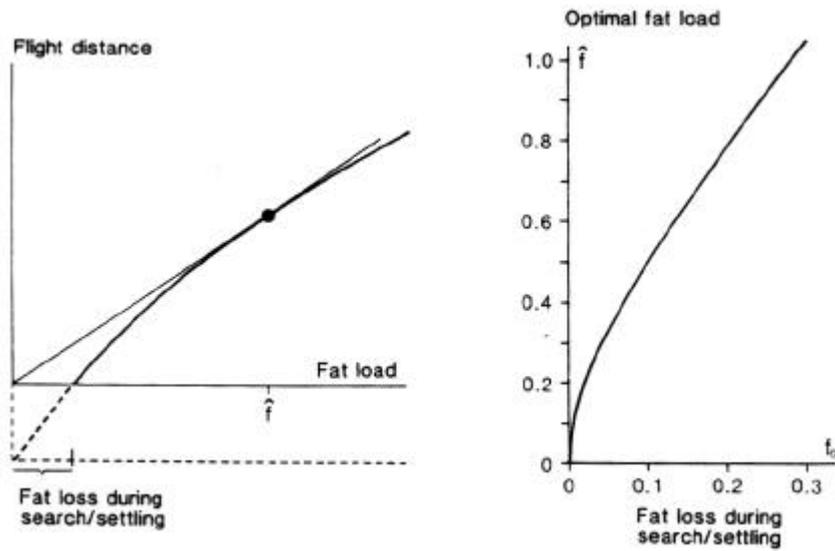
圖一、濱鷗可能的遷徙路線



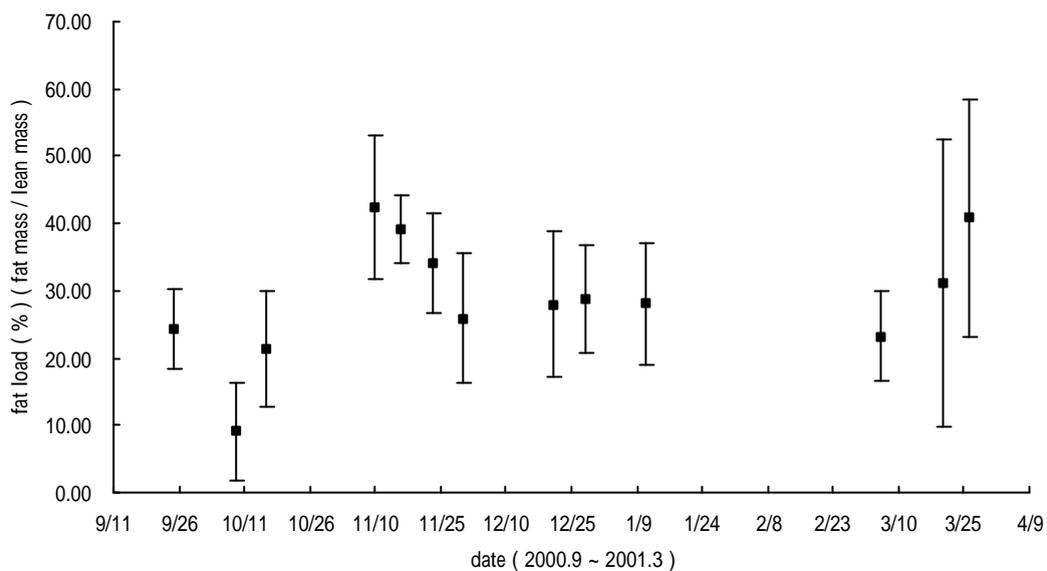
圖二、在不同體脂肪累積率情況下，圖解最佳體脂肪累積時間



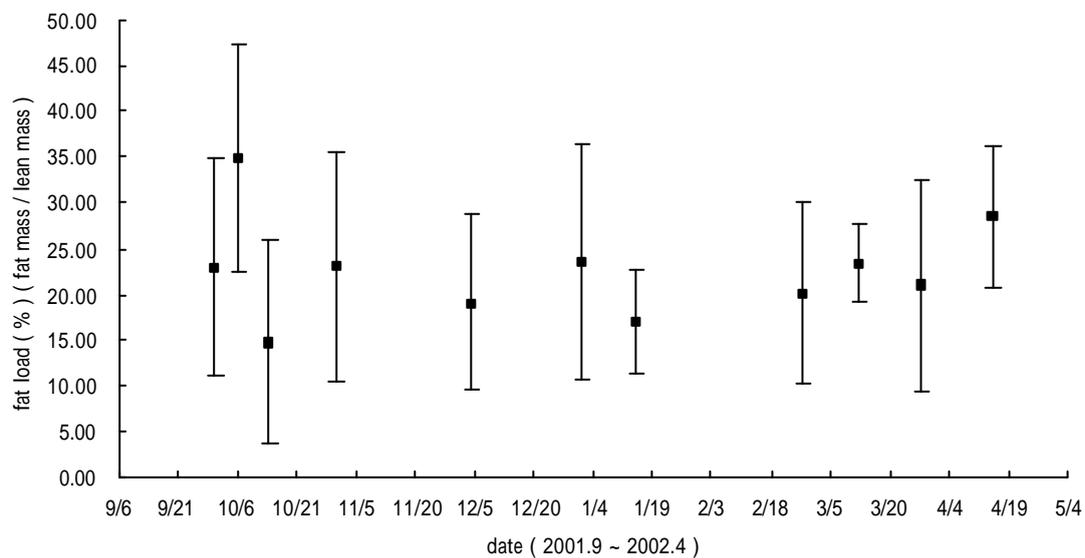
圖三、不同體脂肪累積率情況下，最佳體脂肪累積量、最佳停留時間與尋找時間之關係



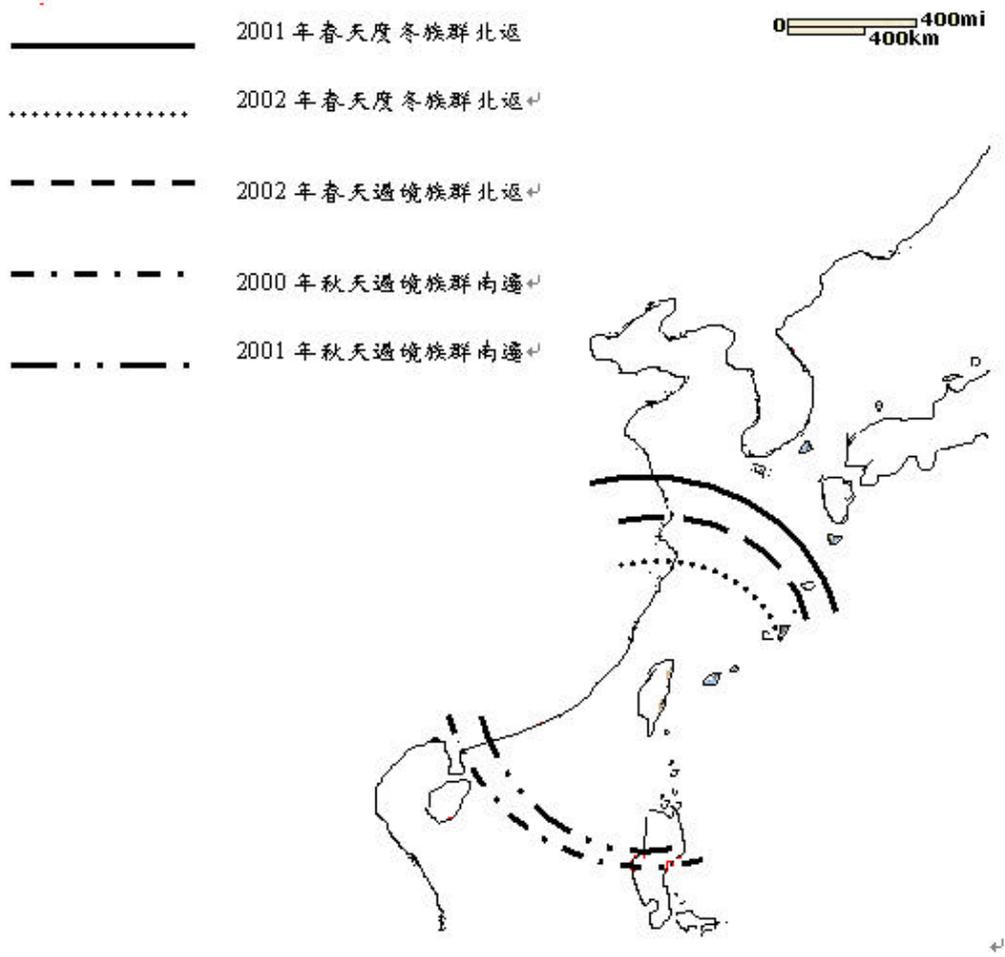
圖四、尋找時體脂肪損失與最佳體脂肪累積、最佳飛行距離關係



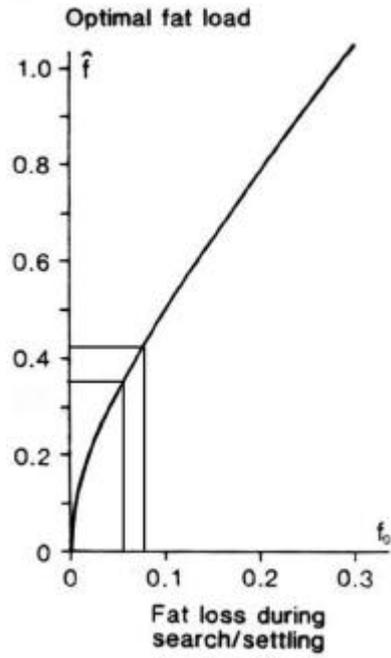
圖五、2000年9月至2001年3月大肚溪口南岸濱鸕族群體脂肪百分比變化



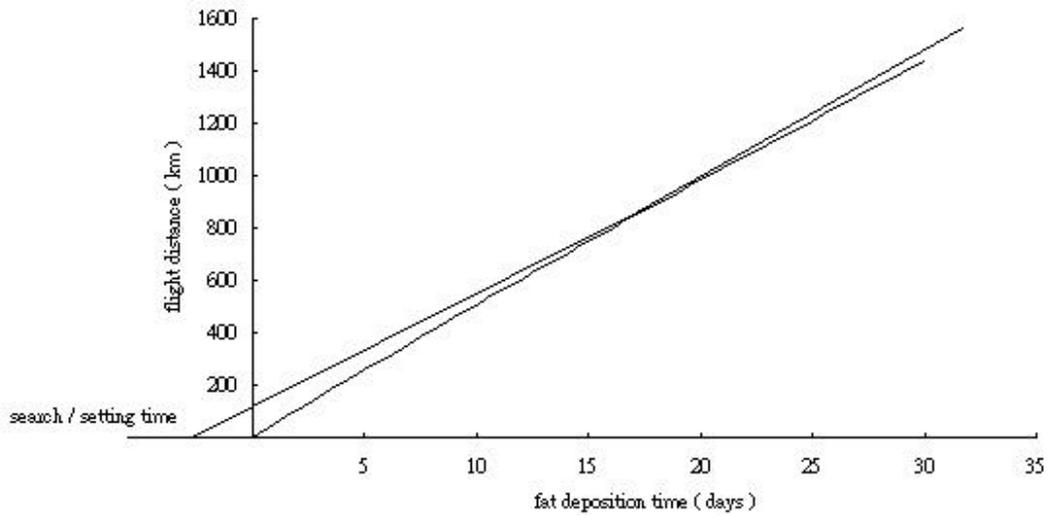
圖六、2001年9月至2002年4月大肚溪口南岸濱鸕族群體脂肪百分比變化



圖七、不同季節、不同族群之最大可能飛行距離



圖八、圖解 2000 年以及 2001 年秋季過境的能量損失



圖九、圖解 2002 年春季過境族群之最佳停留時間

