

利用穩定同位素分析台灣黑 熊食性

Use of Stable Isotope to Determine Diets of Formosan Black Bears
(*Ursus thibetanus formosanus*)

研究生：葉烱章

指導教授：黃美秀 博士

張原謀 博士

摘要

食物資源往往是影響生存與限制族群成長的因素，食性遂為研究研究野生動物生態習性的重要一環，也是管理單位經營管理及保育的必要資訊。台灣黑熊(*Ursus thibetanus formosanus*)數量稀少且習性隱密，排遺食性分析法常受限取樣於時空上的偏差。毛髮具有記錄過去環境同位素訊號的特色，故本研究以毛髮的穩定碳、氮同位素訊號來瞭解台灣黑熊的食性。為了解穩定同位素吸收轉換率與毛髮的生長速度，以圈養個體黑熊為試驗對象，做為反映野外季節性（如代表青剛櫟結果季與非結果季）毛髮片段的參考。圈養黑熊毛髮穩定同位素吸收轉換率為 20.0 天(n=3)，毛髮在 5-11 月每月平均生長長度為 1.45 公分(n=3)。野外黑熊毛髮樣本收集自 1998 (n=6)、2000 年 (n=7) 野外捕獲的個體，以及 2008 年玉山國家公園內架設的熊毛陷阱(n=14)。此三年在青剛櫟結果季(10 月至次年 2 月)的 $\delta^{13}\text{C}$ 分別為 $-22.75\pm 1.33\%$ 、 $-22.42\pm 0.95\%$ 、 $-22.42\pm 0.95\%$ ，非青剛櫟結果季為 $-23.02\pm 1.27\%$ 、 $-23.10\pm 0.59\%$ 、 $-22.76\pm 1.26\%$ ， $\delta^{15}\text{N}$ 結果季為 $4.81\pm 0.38\%$ 、 $4.36\pm 0.62\%$ 、 $5.37\pm 1.31\%$ ，非結果季為 $4.25\pm 0.93\%$ 、 $3.79\pm 0.23\%$ 、 $5.37\pm 1.31\%$ 。同一個體毛髮樣本於結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 明顯高於非結果季($df=13$ $t=4.466$ ， $p=0.001$)。但個體間毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季及非結果季則無顯著差異($df=13$ ， $t=-0.535$ ， $p=0.602$)。綜合三時期的資料進行年間的比較，發現 $\delta^{13}\text{C}$ 與 $\delta^{15}\text{N}$ 皆無顯著差異($\delta^{13}\text{C}$: $F=0.198$ ， $df_1=2$ ， $df_2=20$ ， $p=0.306$ ； $\delta^{15}\text{N}$: $F=1.258$ ， $df_1=2$ ， $df_2=20$ ， $p=0.822$)。在樣區內採集到的各項食物類別呈現 C4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}=-12.08\%$ ， $n=1$) 高於 C3 植物 ($\delta^{13}\text{C}=-29.46\pm 2.24\%$ ， $n=18$)，而動物性食物的 $\delta^{15}\text{N}$ 為高於植物性食物。以蒙地卡羅模擬法估算各項食物類別在黑熊食性中的貢獻度，C3 植物為黑熊貢獻度最高的食物種類，而食物的比例中，除了 1998 年非結果季與 2008 年結果季外，植物性食物皆高於動物性食物。相較於傳統的排遺分析法，動物性食物的比例較高，且穩定同位素分析法可反應更大的時間與空間尺度。

Abstract

Food resources affect bear survival and limit bear population growth. Diet is an important part for conducting in habit of wild animal research, and it also provides the necessary key information for conservation and management. Out of a small number of Formosan black bear (*Ursus thibetanus formosanus*) and difficulties to tracking, fecal pellets analysis was limited by space and temporal sampling bias. Stable isotopes analysis had been used as a powerful tool on diet studies by analyze animal's hair as a diet recorder. I used carbon and nitrogen stable isotopes to determine diets of Formosan black bears. I conducted a feeding trail controlling study on captive bear to understand the turnover rate and hair growth rate and to refer dietary seasonal shift (acorn season and non-acorn season). I found the half-life time of the hair metabolic pool is 20.0 days, and the average hair's growth rate is 1.45 cm per month. Wild Formosan black bear hairs were collected in Yushan National Park from 1998 (n=6), 2000 (n=7), and 2008 (n=14). The $\delta^{13}\text{C}$ values of the three years in acorn season were -22.75 ± 1.33 , $-22.42 \pm 0.95\text{‰}$, $-22.42 \pm 0.95\text{‰}$. In non-acorn season were $-23.02 \pm 1.27\text{‰}$, $-23.10 \pm 0.59\text{‰}$, $-22.76 \pm 1.26\text{‰}$. The $\delta^{15}\text{N}$ values of the three years in acorn season were $4.81 \pm 0.38\text{‰}$, $4.36 \pm 0.62\text{‰}$, $5.37 \pm 1.31\text{‰}$. In non-acorn season were $4.25 \pm 0.93\text{‰}$, $3.79 \pm 0.23\text{‰}$, $5.37 \pm 1.31\text{‰}$. The $\delta^{15}\text{N}$ values in acorn season were significantly heavier than non-acorn season ($df=13$, $t=4.466$, $p=0.001$), but no significantly different in the $\delta^{13}\text{C}$ values ($df=13$, $t=-0.535$, $p=6.02$). Comparing the three years data, neither $\delta^{15}\text{N}$ nor $\delta^{13}\text{C}$ values were significantly different. The $\delta^{13}\text{C}$ values in C4 plants ($\delta^{13}\text{C}=-29.46\text{‰}$, $n=18$) were heavier than C3 plants ($\delta^{13}\text{C}=-12.08\text{‰}$, $n=1$), and the $\delta^{15}\text{N}$ values in animal category were heavier than plant category. Using of Monte Carlo simulation to estimate the diet of Formosan black bear, C3 plant category was the highest contribution of food types. The plant category ratio was higher than the animal category, in addition to non-acorn season of 1998 and acorn season of 2008. Stable

isotope analysis results showed the higher proportion of animal category in Formosan black bear diet than the results of fecal pellets analysis and can reflect longer-term of time and larger space scales either.

目錄

摘要.....	I
Abstract	II
圖表目錄.....	VI
壹、前言.....	1
一、食性研究.....	1
二、穩定同位素分析法.....	2
三、台灣黑熊食性.....	3
四、研究目的.....	5
貳、材料與方法.....	6
一、圈養實驗.....	6
(一) 毛髮吸收轉換率.....	7
(二) 毛髮生長速度.....	9
二、野外黑熊食性.....	10
(一) 黑熊食物樣本.....	10
(二) 黑熊毛髮樣本.....	12
(三) 測量食性的季節變化.....	12
(四) 食性估算.....	13
參、結果.....	14
一、圈養研究.....	14
(一) 毛髮吸收轉換率.....	14
(二) 毛髮生長速度.....	14
二、野外黑熊食性研究.....	15
(一) 黑熊食物樣本.....	15
(二) 黑熊毛髮樣本.....	15
(三) 食性估算.....	16
肆、討論.....	18

一、圈養研究	18
(一) 毛髮吸收轉換率	18
(二) 毛髮生長情況：月生長速度及落毛情況	18
二、穩定同位素分析	19
三、野外黑熊食性	20
四、研究限制	21
陸、參考文獻	23

圖表目錄

圖 1、特有生物保育研究中心低海拔試驗站黑熊飼養環境示意圖 ...	27
圖 2、(1)在黑熊餵食螢光標記物後，於螢光顯微鏡(5X)下所拍攝到的台灣黑熊毛髮螢光片段。(2)毛髮生長速度測量示意圖	28
圖 3、2008 年 12 月的黑熊毛髮樣本取樣於分布在玉山國家公園大分地區的 8 個毛髮陷阱，上圖為各毛髮陷阱的相對位置。	29
圖 4、第一階段餵食試驗中 A 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化。	30
圖 5、第一階段餵食試驗中 B 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化。	31
圖 6、第一階段餵食試驗中 C 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化。	32
圖 7、第二階段餵食試驗中三隻熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化，由於三隻黑熊的結果皆呈現相反的現象，故第二階段的餵食試驗，未納入穩定同位素吸收轉換率的計算。	33
圖 8、三隻試驗個體在各月的毛髮生長速度圖。	34
圖 9、各食物類別的穩定碳、氮同位素訊號相對位置圖。	35
圖 10、分析 1998 年玉山國家公園捕獲到黑熊所採集的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。	36
圖 11、分析 2000 年玉山國家公園捕獲到黑熊所採集的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。	37
圖 12、分析 2008 年玉山國家公園採集到的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。	38
圖 13、圈養個體與野外黑熊毛髮之毛髮長度比較。	39
表 1、低海拔試驗站管理單位針對站內體重 100 公斤左右隻黑熊個體平日餵食之各項食物及餵食重量。	40
表 2、低海拔試驗站亞洲黑熊個體資料。	41

表 3、進行台灣黑熊吸收轉換率試驗之餵食清單。	42
表 4、台灣黑熊野外所食用的季節性食物的穩定碳、氮同位素值(‰)。	43
表 5、1998 年，Hwang(2003)於玉山國家公園東側所捕捉到的 6 隻黑 熊個體，青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季的穩定碳、氮同位素 訊號。	44
表 6、2000 年，Hwang(2003)於玉山國家公園東側所捕捉到的 7 隻黑 熊個體，青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季的穩定碳、氮同位素 訊號。	45
表 7、2008 年 12 月，共取得的 14 個黑熊毛髮樣本，在青剛櫟結果季 與非青剛櫟結果季及全年的穩定碳、氮同位素訊號。	46
表 8、1998、2000 年間與 2008 年的黑熊毛髮樣本，在各年間的穩定 碳氮同位素值。	47
表 9、植物性食物與動物性食物在三時期青剛櫟結果季與非青剛櫟結 果季，所佔的貢獻度(%)。	48
表 10、日本黑熊、棕熊、美洲黑熊與台灣黑熊之穩定碳、氮同位素 訊號。	49
表 11、本研究台灣黑熊食物與其他文獻中日本黑熊食物同位素訊號 之比較。	50

壹、前言

一、食性研究

食物資源往往是影響生存與限制族群成長的因素，食性遂為研究研究野生動物生態習性的重要一環，了解動物的食性可做為管理單位經營管理及保育的參考 (Rogers, 1976)。傳統研究野外大型哺乳動物食性所使用的方法，為使用排遺分析 (facal pellets)、消化道內含物分析 (stomach contents)、直接觀察法 (direct observation)、間接觀察法 (feeding site surveys)、訪查法 (interviews with indigenous people) 等 (Braun, 2005)。排遺分析法是利用分析糞便中食物碎片

(Microhistological analyses) 推估可能的食物種類及可能食用的量，進而了解食物組成的比例 (Davitt and Nelson, 1980)，排遺分析法花費成本低，且易於收集到大量的樣本，加上非侵入性的取樣方式，故排遺分析法是陸域脊椎動物的食性研究中，最常被應用的技術之一。不過排遺無法區分出年齡與性別，且會受到不同食物類別消化率的影響，在使用上仍有所限制 (Litvaitis, 2000)。消化道內含物分析則需解剖動物，屬於侵入性的方法，對於許多族群量小的動物，並不適用。直接觀察法往往只能觀察一些不易懼怕人類或是習慣與人類接觸的動物，對於一些不易觀察的野生動物要採用直接觀察法相當不容易，常用的是在野放後，研究者跟隨著野放的動物做近距離的觀察，如所謂的「與熊同行」(walking-with-bear)，此方法已應用在馬來熊

(Fredriksson, 2005) 及美洲黑熊 (Kilham and Gray, 2002)，由於野放涉及到的議題很廣，實際要執行有一定的困難度，加上適用的物種有限，如移動力很強的物種，要尾隨做觀察也不容易。間接觀察法通常為觀察動物的食痕，以判斷動物的食性 (Hwang *et al.*, 2002)，但是如果某些不易留下痕跡的食物，就無法利用此方法判斷。訪查法則是常藉由當地居民的生態智慧，了解動物的食性 (Hwang *et al.*, 2002)。

二、穩定同位素分析法

穩定同位素是具有相同質子數與電子數，但不同中子數且不具放射性的元素，由於不同同位素間的原子量不同，導致物理性質（如在氣相中的傳導率、分子鍵能、生化合成和分解速率等）會有些微的差異，導致反應前後同位素會有顯著差異（林光輝和柯淵，1995）。藉由此特性，近年來穩定同位素分析法已廣泛應用於動物的食性研究。

光合作用機制不同的 C3 植物和 C4 植物的穩定碳同位素值有顯著差異。一般而言，C3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 介於-25‰~-34‰，平均約-27‰；C4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 介於-11‰~-17‰，平均約-13‰（Smith and Epstein 1971）。故藉由分析動物體內組織的 $\delta^{13}\text{C}$ ，可以得知動物對不同光合作用型植物的利用情形。動物在消化吸收的過程中會產生同位素分餾（isotope fractionation），較輕的同位素（如 ^{14}N ）由於分子量較小，較容易被消化系統所吸收；反之較重的同位素（如 ^{15}N ）則會隨著排遺排出體外，但在同化作用（assimilation）時，往往留住較重的同位素（如 ^{15}N ），並排出較輕的同位素（如 ^{14}N ），由於同化作用產生的同位素分餾影響較大，使得動物組織的同位素訊號會較來源食物來的高，穩定同位素在物種間富集的特性便為研究複雜的食物網結構提供了有力的工具（Ehleringer *et al.*, 1986）。一般而言，在食物鏈中每升高一營養階層， $\delta^{13}\text{C}$ 增加約 1‰（Peterson and Fry, 1987），穩 $\delta^{15}\text{N}$ 值增加約 3.4‰（Minagawa, 1984）。所以， $\delta^{13}\text{C}$ 通常用於推估物種利用 C3、C4 植物所佔的食性組成比例， $\delta^{15}\text{N}$ 則用於推估物種在生態系中的營養階層。

雖然食物會因同位素分餾，使得同位素訊號相較於動物組織有些微的差異，但整體而言，動物組織的同位素訊號是由所攝取的食物決定的，而不同種類食物的同位素訊號有所差異，故動物攝取不同比例的食物類別，該動物組織的同位素訊號亦有所差異，更可進一步推測各食物類別所佔的比例（Cormie *et al.*, 1994）。

動物的毛髮是最常被應用於食性研究的組織（Hilderbrand *et al.*, 1999 ;Ben, *et al.*, 2004 ;Mizukami *et al.*, 2005a ;Mizukami *et al.*, 2005b ;

Jones *et al.*, 2006 ;Nakashita, 2006 ;Narita andTakayanagiet *al.*, 2006b ; Mowat and Heard, 2006, Fortin *et al.*, 2007)。這是因為毛髮組織相較於其他組織（如血液、肌肉）具有以下優點。(1) 一旦毛髮形成，毛髮組織的代謝即停止，所以不同段位的毛髮，不會與其他部位的成分進行交換，因此每段毛髮的同位素訊息即記錄了當時的食性資訊 (Nakashita, 2006)。(2) 毛髮樣本取得與保存較於其他組織容易，野外族群的採樣可藉由毛髮陷阱 (hair-trap) 取得野生動物的毛髮 (Kendall and McKelvey, 2008)。(3) 非侵入性 (noninvasive) 取樣，此法一般是指採集動物個體如毛髮等皮膚以外的組織，可降低對野生動物的影響與干擾。

三、台灣黑熊食性

台灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 為亞洲黑熊的亞種，過去由排遺研究發現台灣黑熊的食性是以植物性食物為主的雜食性動物。在春季以植物的嫩草、幼芽、嫩葉為主，夏季以各類植物的果實和漿果為主食，秋、冬季以富含脂肪的堅果類為主。台灣黑熊亦會覓食昆蟲及腐肉，在堅果產量不豐富的時候，哺乳類中的有蹄類動物佔食性中的比例會增加；在台灣黑熊食物組成中，有蹄類動物在食性中的比例高於其他地區的亞洲黑熊 (Hwang *et al.*, 2002)。

過去關於台灣黑熊食性的研究主要是採用排遺分析法 (Hwang *et al.*, 2002 ; 吳煜慧, 2004)。由研究經驗發現，台灣黑熊的排遺於秋冬季較易收集，而春夏季較不易。以 2008 年玉山國家公園東側園區的黑熊排遺收集狀況為例，該年青剛櫟結果季收集到 306 堆排遺，而非青剛櫟結果季僅收集到 2 堆排遺 (黃等, 2009)。故非青剛櫟結果季的排遺分析相較於結果季則可能會因取樣不均有很大的誤差。原因可能包括在夏季黑熊繁殖季時，公熊活動範圍較大 (Hwang and Garshelis, 2007)，另外會受到季節性食物的分布狀況影響。例如黑熊會在秋、冬季為了覓食青剛櫟果實，而聚集在青剛櫟密度高的地區，則導致高估櫟實的情況。台灣春、夏季的氣候較秋、冬季高溫潮濕，

使得春、夏季的排遺在野外不易保存，亦會增加在春、夏季排遺收集的困難度，故野外排遺在春、夏季對較於秋、冬季往往僅有少數的樣本。所以，若以秋、冬季的食性代表台灣黑熊食性，可能無法反應野外台灣黑熊的實際狀況。

另外排遺多在殼斗科為優勢的森林中取得，而過去研究發現食物通過黑熊消化道的時間約為兩天（陳亞萱，2009），在無線電追蹤的研究發現台灣黑熊會在殼斗科結果季時停留在殼斗科森林中（Hwang and Garshelis, 2007），由排遺分析的結果亦呈現殼斗科果實為主的食性，可能會有高估植物性食物的可能。排遺分析亦會受到不同食物類別消化率的影響，導致結果產生誤差，例如消化率較高的食物類別（如動物性食物）可能會被低估。雖然已有研究者利用圈養的個體建立台灣黑熊的校正係數（陳亞萱，2009），但以圈養的個體及餵食人工的食物所建立的校正係數應用於野外族群，則可能存在著某種程度的差異。

相較於排遺分析法僅能反應動物最近的取食情形，穩定同位素分析可呈現長時間的縱合食性資訊。雖然野外黑熊毛髮的收集狀況與排遺類似，樣本皆集中在秋、冬季，但毛髮較排遺容易保存，且具有記錄過去同位素訊號的特色。因此相較於排遺分析，使用毛髮穩定同位素分析可反應更長的時間尺度。藉由此特性便可利用秋、冬季時所採集到的毛髮，切下可代表春、夏季與秋、冬季食性的毛髮片段，可推測出春、夏季與秋、冬季的食性資訊。

然在以穩定同位素分析進行野外台灣黑熊食性研究前，需先建立一些基礎資訊，包含毛髮的穩定同位素吸收轉換率（turnover rate）與生長情形及生長速度。而野外個體不易控制與操作，故必需先以圈養個體進行試驗，以建立進行野外研究所需的基礎資訊。

四、研究目的

本研究藉由改變圈養台灣黑熊的食物中 C3 植物與 C4 植物的組成比例，測量台灣黑熊穩定同位素的吸收轉換率半衰期。本研究亦運用生物標記法，以了解圈養的黑熊毛髮的生長速度。另外，分析 1998、2000 與 2008 年於玉山國家公園內所收集到的黑熊毛髮與已知黑熊會取食的食物類別 (Hwang *et al.*, 2002)，進行穩定碳、氮同位素分析，以了解台灣黑熊的食性是否有年間及季節上的變化。同時利用搭配圈養試驗所得到的資訊，使用生長片段分析法 (growth section analysis, GSA) (Nakashita, 2003)，藉著同一根毛髮不同的片段，反應出動物食性在時間上的連續變化。生長片段分析法是藉由不同毛髮片段提供不同時間上的食性組成，配合毛髮的生長週期及毛髮生長速度，及利用毛髮的吸收轉換率推估該毛髮片段可反應的時間，便可進一步推估動物於不同時間點上的食性組成，包括不同季節的食性變化 (Mizukami *et al.*, 2005b)。

貳、材料與方法

本研究分為圈養實驗與野外實驗兩大部分，圈養研究分別為測量台灣黑熊毛髮的吸收轉換率及生長速度，目的是作為野外黑熊毛髮進行生長片段分析法所需的基礎資訊。野外實驗則是為了測量台灣黑熊的食性組成。

部分的熊科動物會冬眠（如棕熊 *Ursus arctos*、亞洲黑熊、美洲黑熊 *Ursus americanus*），但除了冬眠之外的期間，體毛（guard hair）是呈現不變的生長速度（Jacoby *et al.*, 1999）。日本亞洲黑熊的研究也有相似的結果，冬眠時期毛髮會停止生長（Mizukami *et al.*, 2005a, Nakashita 2006），但在非冬眠的時候，毛髮的生長速度為每天 0.5 mm（Nakashita, 2006）。由於台灣黑熊沒有冬眠的現象（Hwang and Garshelis, 2007），經由筆者訪查四位具有五年以上飼養台灣黑熊經驗者（台北市立動物園楊鏘嵐先生、特生低海拔試驗站黃博裕先生、高雄壽山動物園邱石柱先生、屏東長治李藤正先生），初步得知台灣黑熊似乎沒有明顯的換毛時期，毛髮亦沒有固定的生長季節，因此有關台灣黑熊的毛髮生長情形，包括每月毛髮的生長長度，以及不同的季節生長速率是否一致，仍須進一步釐清，方能利用野外毛髮樣本進行生長片段分析法。

一、圈養實驗

圈養實驗所使用的黑熊個體為特有生物保育研究中心烏石坑低海拔試驗站所飼養之黑熊。目前管理單位針對試驗站內圈養之黑熊平日餵食之食物包括蘋果、番石榴、木瓜、柳橙、紅蘿蔔、地瓜、玉米、饅頭、狗飼料、雞蛋、豬肉、排骨。每日每隻個體之餵食量主要是依據體重來決定，每種食物的供應量為 200-1700 克不等，總重約 5~6 公斤，平日餵食時間為上午九點至十二點，星期一到星期六為一日一飼，每週六供應一次肉類食物，每週日禁食一天（表 1）；試驗食譜的設計參考以往餵食的食譜，並以衛生署所公佈台灣地區食品營養成

分資料庫 (<http://www.doh.gov.tw/FoodAnalysis/ingredients.htm>)，計算出過去每日約給予 3,834 kcal 的食物量，因此本實驗以每日提供 3834kcal 的熱量為原則設計食譜，實驗期間每週三、六供應肉類食物，週日禁食一天。

由於部分黑熊有挑食的行為，故以三隻沒有挑食行為的雌性成體進行實驗 (表 2)，體重各約 100 公斤左右，其中有一隻確定由台灣山區野外捕獲，另兩隻來源不確定，以這三隻黑熊進行測量毛髮吸收轉換率與毛髮生長速度。

圈養實驗自 2009 年 3 月 27 日至隔年 2 月 26 日。吸收轉換率的測量共進行 120 天，由 2009 年 3 月 27 日至 7 月 26 日；毛髮生長速度的測量由 2009 年 3 月 27 日至隔年 2 月 26 日，吸收轉換率測量的研究每 10 日取樣一次，而毛髮生長速度則每 30 天取樣一次，若與吸收轉換率重疊的時間，則僅選擇每 30 天的毛髮進行分析。

(一) 毛髮吸收轉換率

(1) 餵食實驗

本實驗利用餵食不同比例的 C4 植物和 C3 植物 觀察毛髮中 $\delta^{13}\text{C}$ 的變化，計算出毛髮的吸收轉換率。過去研究中心餵給這些黑熊的食物中，地瓜為量最多的 C3 植物，而玉米為唯一的 C4 植物 (表 1)。由於黑熊不取食包覆玉米外層的玉米穗，故中心在餵食前先將玉米穗剝除，再給予含梗的整根玉米。每周並搭配些許動物性食物，以補充動物性蛋白質及其他微量元素。

基於日本黑熊的毛髮的吸收轉換率半衰期為 19.5 日 (Nakashita, 2006)，台灣黑熊與日本黑熊皆屬亞洲黑熊，故推測台灣黑熊應有相似的半衰期。因此本研究之餵食試驗每次持續進行兩個月 (60 天)，每隔 10 日取樣一次。由於實驗樣本僅三隻黑熊個體，為了增加樣本數，將每隻個體進行兩次改變餵食實驗，每階段持續兩個月，餵食實驗共進行四個月。

每階段的餵食試驗給予不同比例的量（表 3）。第一階段將餵食的食物成分調整為 C4 植物（玉米）占食物乾重比例 89%，C3 植物（地瓜）占食物乾重比例 9%，動物性食物（豬肉與肉骨）2%。第二階段將 C4 植物（玉米）與 C3 植物（地瓜）調整為各占食物乾重比例 48%，動物性食物 4%。第二階段考量黑熊的健康狀況，為了增加黑熊食物中的鈣、磷等微量元素，將動物性食物的比例從 2%提高為 4%。

（2）毛髮取樣

取樣前先至室外籠舍角落拉一條倒鉤刺的鐵絲，仿照熊毛陷阱（hair traps, Kendall and McKelvey, 2008）的裝置。陷阱與籠舍角落夾角呈三角形，此三角形面積以可容納黑熊個體進入為原則，待食物放置三角形內，吸引台灣黑熊通過帶刺鐵絲，以毛髮陷阱勾取黑熊背部的毛髮。取樣期間以食物引誘台灣黑熊來回通過帶刺鐵絲，以收集毛髮（圖 1）。

由於穩定碳同位素分析需要約 1-2 毫克的樣本（約 0.5 公分長的毛髮 7 根），加上毛髮生長速度（詳見圈養實驗第二部份）的觀察需要 10 根毛髮，因此本次實驗在兩個圈養研究中，若同時需要為兩次實驗進行採集（每隔 30 天），則至少需要熊毛 17 根。為避免有些熊毛品質不良，如長度過短或是斷裂導致無毛囊，使毛髮頭尾無法分辨，故每次至少拔取熊毛 20 根。收集的熊毛皆暫時置於信封中保存。以供同位素分析或供評估毛髮生長速度之用。

（3）穩定同位素分析

由於毛髮上的雜質與油漬會影響到穩定同位素的測量，故在進行穩定同位素分析前會先將毛髮清洗乾淨。毛髮樣本的清洗過程參考 Chang 等(2008)。清洗時分兩階段，先將待測樣本置於水中超音波震盪 30 分鐘，再置於石油醚（petroleum ether）中超音波震盪 30 分鐘去除油污，最後至於抽風櫃中乾燥。

待樣本乾燥後，將毛囊切除，由於毛髮每 10 日收集一次，故切下該 10 日黑熊所生長的毛髮長度。此長度的計算方法是利用圈養研究第二部分所測得的黑熊毛髮每月生長長度除以 3。例如測出黑熊於該月生長出 X 公分的毛髮，分析時便將距離毛囊 X/3 公分的片段剪下，穩定碳同位素測量需要約 0.1mg，然後將剪下的毛髮片段以錫囊 (tin capsules) 包覆，送至國立成功大學穩定同位素實驗室 (NCKU Stable Isotope Laboratory)，利用質譜儀 (Isotope Ratio Mass Spectrometer, 簡稱 IRMS) 進行穩定同位素分析。該儀器誤差小於 0.3‰。同位素值以 δ 表示， $\delta (\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 1000$ (Peterson and Fry, 1987)。

(4) 半衰期(half-life)計算

Tieszen et al. (1983) 指出同位素值在組織上的變化呈指數曲線 (exponential curve)，因此使用 SigmaPlot (version 10.0) 軟體進行半衰期計算，先以 $Y = a + be^{-ct}$ 方程式進行迴歸分析 (Bosley et al., 2002; Voigt et al., 2003; Nakashita, 2006)。在此方程式中 Y 為在 t 時間的 $\delta^{13}\text{C}$ ，a 與 b 為同位素值的常數，c 為穩定碳同位素在組織中的吸收轉換率，t 為自實驗開始所經過的時間。本實驗每 10 日收集一次樣本，故 t 以 10 日為單位。半衰期計算方式為 $\ln(0.5)/c$ (Bosley et al., 2002; Voigt et al., 2003; Nakashita, 2006)。

(二) 毛髮生長速度

黑熊毛髮生長速度的測量是利用經由餵食生物標記物 (biomarker) 後，在毛髮產生的螢光片段進行標記，觀察毛髮上螢光片段移動的長度，來推算毛髮的生長長度及生長周期。生物標記物為獨特用於識別生物的指標，通常透過餵食、注射等間接的方式標記在生物體特定的組織上 (Fry and Dunbar, 2007)，常用於毛髮的生物標記物為鹽基桃紅精 (Rhodamine B)，並已被應用於許多食肉目動物，包括獾 (*Meles meles*; Cagnacci et al., 2006)、鼬 (*Mustela erminea*;

Spurr, 2002)。鹽基桃紅精為一種天然的標記物，會隨著消化吸收後反應在其他組織上，再經由紫外光照射後，會產生橘色的螢光(Fry and Dunbar, 2007)。一般用量約每公斤的體重使用 11-12 毫克，動物口服後於獾身上的螢光可值續 24 周，且此生物標記物不會對動物有致癌 (carcinogenicity) 或有致突變性的風險 (mutagenicity) (Cagnacci *et al.*, 2006)。

實驗開始前，分別對圈養黑熊使用鹽基桃紅精對進行標記，實驗對象同測量吸收轉換率所試驗的三隻雌性成年黑熊，依照體重給予適當的劑量。以體重 100 公斤的個體來說，提供 1.2 克的鹽基桃紅精。將鹽基桃紅精加入飼糧碎肉中混合均勻，三隻黑熊在螢光標記後，每 30 天拔取黑熊背部接近中央區域的體毛 10 根，該部位為野外毛髮陷阱最容易勾取毛髮的地方。毛髮拔取方式與測量吸收轉換率的取樣方式相同，實驗期間共進行兩次螢光標記，第一次為 3 月 27 日，第二次為 6 月 25 日。故在 7 月之後的毛髮，可觀察到兩個螢光片段，此時以 6 月 25 日所標記的螢光片段為主，即距離毛囊較近的螢光片段，螢光片段會隨著毛髮生長漸漸遠離毛囊。

為測量毛髮的生長速度，將熊毛樣本置於電動型螢光 DIC 正立顯微鏡 (倍率 5X，光源波長 200-400 μ ，型號：Leica DM LB2) 下進行觀察，記錄毛髮中鹽基桃紅精標記 (橘色螢光) 的片段 (Banding) 出現位置，以及測量螢光最亮的中間區域與毛囊的距離。將每相隔月份所測得的平均長度相減，即為得每個月毛髮生長的長度，例如 4 月的毛髮生長長度為 4 月底所測得的平均長度減去 3 月底所測得的平均長度 (圖 2)。

二、野外黑熊食性

(一) 黑熊食物樣本

食物中的穩定碳、氮同位素訊號會反應在動物的組織上，當食物中的碳、氮穩定同位素組成發生變化時，動物體內的碳、氮穩定同位素組成也會發生相對應的變化 (Fry *et al.*, 1998)。故本研究利用已知台灣黑熊取食的食物種類 (Hwang *et al.*, 2002) 進行穩定碳、氮同位素分析。依照各食物的同位素訊號，將黑熊食物種類區分為四大類：C3 植物、C4 植物、昆蟲及哺乳動物。

植物的部分包括 C3 植物與 C4 植物。C3 植物：青剛櫟 (*Cyclobalanopsis glauca*)、鬼櫟 (*Lithocarpus castanopsisifolius*)、狹葉櫟 (*Quercus stenophylloides*)、森氏櫟 (*Cyclobalanopsis morii*)、紅楠 (*Machilus thunbergii*)、台灣蘋果 (*Malus formosana*)、越橘 (*Vaccinium vitis-idaea*)、假長葉楠 (*Machilus japonica* Sieb. & Zucc.)、台灣赤楊 (*Alnus formosana*)、山枇杷 (*Eriobotrya deflexa*)、山櫻花 (*Prunus campanulata*)、呂宋英薔 (*Viburnum luzonicum*)、紅子英薔 (*Viburnum formosanum*)、鬼懸鉤子 (*Rubus wallichianus*)、台灣懸鉤子 (*Rubus formosensis*)、梨葉懸鉤子 (*Rubus pirifolius*)、山芋 (*Dioscorea bulbifera*)、刺萼寒梅 (*Viburnum formosanum*) 等 18 植物的果實或莖葉。C4 植物為五節芒 (*Miscanthus floridulus*)，植物樣本皆來自中央山脈東側有熊分布的山區。植物自野外採集後先以烘箱熱烘乾燥後，將待測的果實或莖葉組織磨成粉狀均勻混合後，每種分別取 2-5 毫克以錫囊包覆，分別進行穩定碳、氮同位素分析。

動物食物樣分為食性偏肉食性的昆蟲及草食性的哺乳動物。其中昆蟲為中華大虎頭蜂 (*Vespa manderinia*)、蓬萊家蟻 (*Myrmica margaritae*)，前者為人工飼養的個體 (屏東縣陳家蜂蜜提供)，後者採集自野外，並由國立彰化師範大學社會昆蟲實驗室協助昆蟲鑑定。哺乳動物包括山羌 (*Muntiacus reevesi*)、台灣野山羊 (*Naemorhedus swinhoei*)、台灣水鹿 (*Cervus unicolor*)，除台灣野山羊是 2003 年 11 月野外發現的死亡個體，其餘皆來自國立屏東科技大學保育類野生動物收容中心的圈養死亡個體。動物樣本除蟻類是以整隻個體進行穩定同位素分析，其餘物種皆採其肌肉組織，經由冷凍乾燥脫水後，磨碎並

混合均勻，進行穩定碳、氮同位素分析（詳見圈養研究的穩定同位素分析）。

（二）黑熊毛髮樣本

本研究所有野外毛髮樣本皆來自於玉山國家公園東側園區。分別來自三個年份；分別是 1998 及 2000 年，由黃美秀於玉山國家公園所捕獲的 12 隻黑熊個體（11 雄，1 雌）的背部毛髮，此區域的毛髮與毛髮陷阱所取樣到的部位相同；以及 2008 年 12 月，黃美秀等人進行「玉山國家公園台灣黑熊的生態習性」調查，於大分地區架設毛髮陷阱（圖 3），其中以 12 月分收集到的毛髮數量最多，因此本研究以本月份的毛髮樣本進行同位素分析。由於光從毛髮外觀無法辨識個體，因此毛髮陷阱中，同一邊、同一條倒鉤刺的鐵絲，最多僅選取一筆毛髮進行分析，以降低同一個體重複取樣的可能性。

（三）測量食性的季節變化

過去青剛櫟的物候觀察顯示，青剛櫟結果季為 10 月至隔年 2 月（林冠甫，2009），因此將野外收集到的黑熊毛髮進行切割，切出分別反應青剛櫟結果季（10 月 1 日以後）與非青剛櫟結果季（10 月 1 日以前）的片段。以 12 月 1 日所採集到的毛髮樣本為例，若在圈養研究中測得毛髮穩定同位素吸收轉換率為 a 日、毛髮每日生長速度為 b 公分，而 12 月 1 日至 10 月 1 日共 61 天，由於吸收轉換率為 a 日，故毛髮中能反應青剛櫟結果季的時間長度為 $(61-a)$ 日，再乘上每日毛髮生長長度即可算出可反應青剛櫟結果季的長度。本案例反應青剛櫟結果季的毛髮片段即為毛囊至距毛囊 $b \times (61-a)$ 公分，距毛囊 $b \times (61-a)$ 公分以後的部位即代表非結果季的食性。

由於同一筆毛髮會切割成代表青剛櫟結果季與非結果季的毛髮片段，在樣本進行同位素分析後，先以 Kolmogorov-Smirnov 符合性檢定是否符合常態分布。若資料皆呈現常態性分布，則以成對 t 值檢定（Paired- t test）分別檢定穩定碳與氮同位素訊號在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季是否有所差異。再以非成對 One-way ANOVA 檢定

1998、2000 及 2008 年取得毛髮樣本之差異，以了解同位素訊號是否會有年間變化。

(四) 食性估算

本研究採用蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo simulation)，亦稱統計模擬方法，是指使用隨機數來解決計算問題的方法 (Narita *et al.*, 2006b)，來估計各組食物來源可能的貢獻度，食物貢獻度先以隨機的方式產生，在隨機的數組貢獻度中，(在 Narita 等人(2006b)的研究中，以 1000 組可能的隨機貢獻度進行模擬)，符合以下公式的貢獻度視為可能的實際值： $\delta X_{\text{bears}} - SD[\delta X_{\text{bears}}] \leq \sum_{k=1}^n f_k \delta X_k \leq \delta X_{\text{bears}} + SD[\delta X_{\text{bears}}]$ ，其中 δX 為 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ ， δX_{bears} 為測得的黑熊穩定碳或氮同位素值， SD 為黑熊穩定碳或氮同位素值的標準差， n 為食物種類的數量， f_k 為第 k 種食物的貢獻度， δX_k 為第 k 種食物經同位素分餾後產生的穩定同位素值。參考其他熊類食性研究所使用的同位素分餾值 (Narita *et al.*, 2006b)，將四種食物類別的穩定氮同位素分餾定義如下：昆蟲類為 3‰、哺乳動物類為 4‰、C3 與 C4 植物類的同位素分餾值皆 5‰。四種食物類別的穩定碳同位素分餾值皆為 2‰。以本研究為例，將四類食物的穩定碳、氮同位素分別加上分餾值，在分別乘以這四類食物隨機產生的貢獻度，然後將四種食物加總，如果此 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 介於黑熊的 $\delta^{13}\text{C}$ 或 $\delta^{15}\text{N}$ 加減標準差即視可能的貢獻度，反之則將該組貢獻度剔除。

參、結果

一、圈養研究

(一) 毛髮吸收轉換率

第一階段的餵食試驗食物由原本以C3植物為主的食物，改變成以C4植物為主的食物後，發現三隻黑熊毛髮中的 $\delta^{13}\text{C}$ 皆隨著時間增加而增加（圖4、圖5、圖6）。A熊毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 由一開始-19.90‰，漸漸增加至第60天的-19.09‰($y=-19.96+0.01e^{0.07t}$, $r^2=0.68$)，半衰期為9.4天（圖4）；B熊由一開始-19.39‰漸漸增加至第60天的-18.13‰($y=-19.75+0.29e^{0.03t}$, $r^2=0.98$)，半衰期為24.5天（圖5）；C熊由一開始-20.09‰漸漸增至第60天的-19.28‰($y=-20.43+0.25e^{0.03t}$, $r^2=0.88$)（圖6），半衰期為26.0天。這三隻個體台灣黑熊的平均半衰期為 20.0 ± 9.2 天（mean \pm SD）。

第二階段的餵食試驗由較高比例的C4植物改為相同比例的C3與C4食物，原預期穩定碳同位素訊號會隨著時間而下降，但結果卻呈現隨著時間增加而增加（圖7），由於結果呈現與預期相反，無法進行半衰期的計算，故後續野外研究所使用的吸收轉換率半衰期以第一階段的結果為主，不將第二階段的餵食試驗納入。

(二) 毛髮生長速度

結果發現三隻黑熊的每月平均生長速率在個體間無顯著差異

（Friedman test, $df=2$, $\chi^2=5.46$, $p=0.065$ ），月份間有顯著差異（Friedman test, $df=10$, $\chi^2=26.36$, $p=0.003$ ）（圖8），若以生長速度最快的7個月份（5月-11月）進行比較，則無顯著差異（Friedman test, $df=6$, $\chi^2=10.14$, $p=0.119$ ），而生長速度較慢的月份（12月至隔年2月與4月）亦無顯著差異（Friedman test, $df=3$, $\chi^2=7.00$, $p=0.072$ ），三隻黑熊的毛髮在5月-11月平均每個月的生長速度為1.45公分（標準差為0.15），12月至隔年4月平均每個月的生長速度為0.23公分（標準差為0.13）。

二、野外黑熊食性研究

(一) 黑熊食物樣本

針對黑熊野外食物的穩定碳、氮同位素分析發現，18種C3植物的穩定碳同位素平均值為 $-29.47 \pm 2.28\text{‰}$ （範圍：-33.28至-25.57‰），穩定氮同位素為 $-1.85 \pm 1.54\text{‰}$ （範圍：-4.88至0.35‰）；唯一一種C4植物（五節芒）的穩定碳同位素為 -12.08‰ ，穩定氮同位素為 2.02‰ 。動物性食物中的3種哺乳動物的穩定碳同位素平均值為 $-25.64 \pm 2.37\text{‰}$ （範圍：-27.48至-22.97‰）， $\delta^{15}\text{N}$ 為 $2.19 \pm 1.54\text{‰}$ （範圍：1.11至3.95‰）；2種昆蟲的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值為 -25.54‰ ， $\delta^{15}\text{N}$ 為 3.81‰ （圖9、表4）。

(二) 黑熊毛髮樣本

在1998年所捕獲的6隻黑熊，毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在青剛櫟結果季為 $-22.75 \pm 1.33\text{‰}$ （範圍：-23.95至-20.14‰），非青剛櫟結果季為 $-23.02 \pm 1.27\text{‰}$ （範圍：-24.08至-20.53‰）； $\delta^{15}\text{N}$ 在結果季為 $4.81 \pm 0.38\text{‰}$ （範圍：4.30至5.35‰），非結果季為 $4.25 \pm 0.93\text{‰}$ （範圍：3.27至5.74‰）。同一個體毛髮樣本於結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 明顯高於非結果季（Paired-t test；df=5，t=2.914，p=0.033）。但個體間毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季及非結果季則無顯著差異（t=1.594，p=0.172）（表5）。

在2000年所捕獲的7隻黑熊，毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在青剛櫟結果季為 $-22.42 \pm 0.95\text{‰}$ （範圍：-23.76至-21.16‰），非青剛櫟結果季為 $-23.10 \pm 0.59\text{‰}$ （範圍：-23.69至-22.24‰）； $\delta^{15}\text{N}$ 在結果季為 $4.36 \pm 0.62\text{‰}$ （範圍：3.62至5.46‰），非結果季為 $3.79 \pm 0.23\text{‰}$ （範圍：3.45至4.16‰）。同一個體毛髮樣本於結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 明顯高於非結果季（Paired-t test；df=6，t=2.641，p=0.039）。但個體間毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季及非結果季則無顯著差異（t=1.813，p=0.120）（表6）。

2008年12月自玉山國家公園大分地區所採集到的黑熊毛髮樣本中， $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季為 $-22.84 \pm 1.06\text{‰}$ （範圍：-24.23至-20.95‰），非結果季為 $-22.76 \pm 1.26\text{‰}$ （範圍：-24.14至-20.42‰）； $\delta^{15}\text{N}$ 在結果季為 $5.37 \pm 1.31\text{‰}$ （範圍：3.18至7.87‰），非結果季為 $4.29 \pm 1.22\text{‰}$ （範圍：2.02至6.56‰）。同一個體毛髮樣本於結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 明顯高於非結果季（Paired-t test；df=13， $t=4.466$ ， $p=0.001$ ）。但個體間毛髮的 $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季及非結果季則無顯著差異（ $t=-0.535$ ， $p=0.602$ ）（表7）。上述三年皆呈現結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 明顯高於非結果季，而 $\delta^{13}\text{C}$ 在結果季及非結果季無顯著差異。

綜合三時期的資料進行年間的比較，發現 $\delta^{13}\text{C}$ 與 $\delta^{15}\text{N}$ 皆無顯著差異（One-way ANOVA， $\delta^{13}\text{C}$ ： $F=0.198$ ， $df_1=2$ ， $df_2=20$ ， $P=0.306$ ； $\delta^{15}\text{N}$ ： $F=1.258$ ， $df_1=2$ ， $df_2=20$ ， $P=0.822$ ）（表8）。

（三）食性估算

經由蒙地卡羅模擬法，以C3植物、C4植物、哺乳動物、昆蟲為食物來源，推測在不同年份青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季所佔的貢獻度（表9）。在1998年所捕獲的6隻黑熊在結果季以C3植物的貢獻度最高（ $48 \pm 6\%$ ），哺乳動物類次之（ $21 \pm 13\%$ ）其次分別為C4植物（ $17 \pm 6\%$ ）與昆蟲（ $14 \pm 10\%$ ）。在非結果季C3植物、昆蟲及哺乳動物類有相似的貢獻度（分別為 $29 \pm 13\%$ 、 $30 \pm 15\%$ 及 $29 \pm 16\%$ ），而C4植物所佔比例最低（ $12 \pm 4\%$ ）（表9、圖10）。

在2000年所捕獲的7隻黑熊，無論在結果季或非結果季，C3植物的貢獻度皆為最高（分別為 $54 \pm 5\%$ 、 $59 \pm 3\%$ ），C4植物次之（分別為 $25 \pm 5\%$ 、 $19 \pm 2\%$ ），哺乳動物再次之（分別為 $14 \pm 9\%$ 、 $13 \pm 7\%$ ），昆蟲類所佔的貢獻度最低（分別為 $7 \pm 6\%$ 、 $9 \pm 6\%$ ）（表9、圖11）。

在2008年的食性估算中，在青剛櫟結果季中，C3植物、哺乳動物與昆蟲有相似的比例（分別為 $29 \pm 12\%$ 、 $28 \pm 15\%$ 、 $29 \pm 15\%$ ），C4植物最低（ $14 \pm 5\%$ ）；在非青剛櫟結果季中，以C3植物貢獻度最高（ $40 \pm 8\%$ ），

其次為昆蟲 ($25\pm 13\%$)，C4植物與哺乳動物最低（分別為 $17\pm 6\%$ 、 $18\pm 11\%$ ）（表9、圖12）。

整體而言C3植物為黑熊貢獻度最高的食物種類，尤其是在非青剛櫟結果季，若將C4植物與C3植物合併代表植物性食物，昆蟲與哺乳動物合併代表動物性食物，進行李節間的比較，除了1998年非結果季與2008年結果季外，其餘年份無論在結果季或非結果季，植物性食物皆高於動物性食物（表9）。

肆、討論

一、圈養研究

(一) 毛髮吸收轉換率

本研究經由三隻圈養個體所觀察到的穩定同位素毛髮吸收轉換率半衰期平均為20.0天(n=3)，與同屬亞洲黑熊的日本黑熊(半衰期為19.5天)(*Ursus thibetanus japonicus*) 差異不大(Nakashita, 2006)。不過在第二階段的餵食試驗，穩定碳同位素的趨勢與預期相反，原因可能是受到消化率的影響。黑熊在取食玉米時，雖會將整根玉米咬斷咀嚼後食入，但從黑熊排遺的觀察中，仍可以發現大量完整的玉米粒，可能是受到玉米種皮的保護，而地瓜與豬肉皆可完整消化，此現象可能代表地瓜與豬肉的消化率高於玉米，進一步造成玉米在黑熊組織的穩定同位素影響程度降低，因此雖然第二階段的餵食減少玉米在食譜中的比例，但增加豬肉的比例對毛髮中的穩定同位素訊號影響更大，使得 $\delta^{13}\text{C}$ 在餵食改變後不降反升，故無法計算第二階段的吸收轉換率，建議可用較容易消化的食物進行餵食實驗(如以玉米粒代替整根玉米)，應可降低由消化率不同產生的誤差。

(二) 毛髮生長情況：月生長速度及落毛情形

在圈養研究的結果發現，毛髮生長速度於個體間無顯著差異，但月份間有所差異，其中5月至11月生長速度較12月至隔年4月快，若將毛髮生長情形分為快、慢兩時期，則不論在生長速度較快或較慢的時期，各月份間的毛髮月生長速度皆無顯著差異，毛髮月生長速度分別為1.45公分和0.23公分。日本黑熊的研究發現，日本黑熊在冬眠期間(約11月至隔年5月；Hashimoto, 2005)毛髮停止生長，非冬眠期間(約5月-11月)毛髮並沒有季節性的生長變化，每日生長速度為0.5mm，即每個月生長1.5公分(Nakashita, 2006)，在本實驗台灣黑熊毛髮生長

速度較快的月份（5月-11月），毛髮生長速度亦為1.45公分，與日本黑熊在非冬眠期間的生長速度相似，而台灣黑熊毛髮生長速度較慢的月份與日本黑熊冬眠月份相近，顯示雖然日本黑熊與台灣黑熊分屬不同亞種，但仍有相似的生理機制。

在實驗進行前所訪談四位具有五年以上飼養台灣黑熊經驗者，發現台灣黑熊無明顯的換毛時期。本研究以鹽基桃紅精為台灣黑熊進行毛髮螢光染色，於2009年6月25日進行的第二次標記，該次標記於毛髮中的螢光持續了8個月，至隔年2月28日的毛髮中，大部分（超過90%）的毛髮依然可以在螢光顯微鏡下觀察到螢光片段，顯示在6月至隔年2月間應無換毛的現象，加上現場觀察及訪問現場工作人員，未有記錄明顯落毛的情況，因此推測台灣黑熊毛髮掉落可能沒有明顯的高峰期，而是持續性的發生。然而，毛髮的壽命是否如同冬眠地區的黑熊為一年，則有待進一步確認。

二、穩定同位素分析

將本研究所測得的穩定碳、氮同位素訊號與其他熊科動物比較後發現，棕熊的穩定碳、氮同位素分別為-19.3‰、11.5‰，相較於台灣黑熊高出許多，其原因可能與棕熊食性較偏向肉食性有關，該研究發現由於該研究的棕熊會覓食大量的鮭魚。其次為美洲黑熊（ $\delta^{13}\text{C}=-21.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=6.0\text{‰}$ ），該研究中美洲黑熊雖然植物性食物的比例高達68.4%（表10；Fortin *et al.*, 2007）。

日本黑熊與台灣黑熊同屬於亞洲黑熊的亞種，日本黑熊是亞洲黑熊中最早利用穩定同位素分析進行食性研究，相關的資訊亦是亞洲黑熊中最豐富的物種，若以過去日本黑熊食物的同位素訊號，與本研究的食物類別進行比較後發現， $\delta^{15}\text{N}$ 在兩地區的差異，在四種食物類別中皆不超過2‰，而 $\delta^{13}\text{C}$ 的差異亦不超過3‰（表11），顯示日本黑熊與台灣黑熊雖生活在不同的生態系，卻可能有相似的同位素基線（isotopic baseline）。

將兩物種的同位素訊號進行比較後發現(表10)，日本黑熊的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均介於1.9-3.6‰，相較於台灣黑熊低，若以野生熊($\delta^{15}\text{N}=1.9\text{‰}$ ； $\delta^{13}\text{C}=-23.2$)與台灣黑熊比較，兩者的 $\delta^{15}\text{N}$ 與 $\delta^{13}\text{C}$ 差了將約2.47‰與0.35‰，由於食物在經由生物體吸收反應至組織後 $\delta^{13}\text{C}$ 與 $\delta^{15}\text{N}$ 會分別提高1與3‰(DeNiro and Epstein, 1987； McCutchan *et al.*, 2003； Peterson and Fry, 1987)，故穩定碳、氮同位素訊號越高者，可能代表該物種的食性越偏向肉食性。過去台灣黑熊的食性研究發現，若同以排遺中的相對重要性來看動物性食物在食性中的比例，台灣黑熊(relative volume：7.1-10.4%)高於日本黑熊(relative volume<2%)(Hwang *et al.*, 2003)，與本次研究的結果相符，皆呈現台灣黑熊的食性較偏向肉食。

三、野外黑熊食性

過去關於台灣黑熊食性的研究，主要是利用排遺分析法(Hwang *et al.*, 2002；黃美秀等, 2009)，由排遺分析的結果發現，在青剛櫟結果季，台灣黑熊的排遺內含物以堅果類為主，不論在出現頻度(FO)或相對重要性(RV)，堅果類所佔的比例都超過90%，原因可能是因為大部分的排遺樣本都在以殼斗科為優勢的森林中採集而來(黃美秀等, 2008)，台灣黑熊會在青剛櫟結果季時聚集在食物資源高的地方，並且停留在該區覓食一段時間後才離去(Hwang *et al.*, 2003)，大分地區即屬於在秋季食物殼斗科食物資源豐富且黑熊會停留的地點，而食物在通過台灣黑熊消化道的時間不超過48小時(陳亞萱, 2009)，故分析在青剛櫟為優勢的森林中取得的排遺，堅果類會佔絕大多數，亦代表排遺分析僅能反應台灣黑熊在大分地區的食性，而此地區僅佔台灣黑熊活動範圍的一小部分。而在非青剛櫟結果季時，排遺收集相較於青剛櫟結果季困難，以1999年-2000年的排遺收集情形為例，在青剛櫟結果季共收集到654堆排遺，不過在非青剛櫟結果季僅收集到39堆排遺，因此排遺分析法在非青剛櫟結果季所呈現的結果可能與實際情形有很大的誤差。相較於排遺分析法，本實驗由穩定同位素分析法所

測得的結果，植物性食物青剛櫟結果季所佔的比例介於43-79%，低於傳統的排遺分析法。

本實驗利用穩定同位素分析法分析在玉山國家公園所收集到的毛髮樣本，此三年的 $\delta^{15}\text{N}$ 皆呈現青剛櫟結果季大於非結果季，而 $\delta^{13}\text{C}$ 則無顯著差異，且無年間差異。綜合三年的資訊後發現台灣黑熊在青剛櫟結果季的 $\delta^{15}\text{N}$ 較非青剛櫟結果季高了約0.83‰，由於穩定氮同位素會隨著動物營養階層的提高而增加，每提高一個營養階層 $\delta^{15}\text{N}$ 會增加約3.4‰ (Minagawa, 1984)，從本結果中可看出台灣黑熊的營養階層在青剛櫟結果季較非青剛櫟結果季大約高了0.24個營養階層，雖然過去排遺分析的結果呈現台灣黑熊無論在青剛櫟結果季或非結果季，皆以植物性食物為主，無論在出現頻度與相對重要性皆超過90% (Hwang *et al.*, 2003)，但由本研究的結果可發現動物性食物亦是台灣黑熊重要的食物之一，在2008年的青剛櫟結果季甚至大於植物性食物，可達57%的比例。

四、研究限制

1998年及2000年所採集到的13個毛髮樣本為黃美秀博士於博士論文研究期間在大分地區所捕捉到個體 (Hwang, 2003)，而2008年所使用的毛髮樣本為大分地區的毛髮陷阱所採集到的黑熊毛髮樣本，以毛髮陷阱所採集到的樣本無法進行個體辨識，故2008年的樣本有可能假重複。不過本研究在取樣時，在同一條倒鈎刺的鐵絲中最多僅選取一筆毛髮進行分析，並經由在當時的黑熊痕跡觀察中發現 (黃美秀等, 2009)，該年12月為2008年最多黑熊痕跡的月份，故應可將假重複的問題降到最低，未來若經費許可，佐以分子鑑定的技術辨識個體，將可避免假重複。

本次實驗所採集到的毛髮樣本來自1998年、2000年與2008年，從過去的物候觀察中發現，此三年的青剛櫟結果狀況良好，皆屬豐年 (Hwang, 2003；黃美秀等, 2009)，在秋、冬季有大量的青剛櫟可供

動物食用，而結果季呈現三年的 $\delta^{13}\text{C}$ 與 $\delta^{15}\text{N}$ 無顯著差異，過去的研究指出 (Hwang et al., 2002)，台灣黑熊在青剛櫟結果不佳的年份，其他食物（包括有蹄類動物）在食性中所佔的比例會增加，而本實驗的樣本來皆來自於青剛櫟產量高的年份，故從研究的分析中無法得知台灣黑熊在青剛櫟結果產量較差時的食性，未來若增加青剛櫟結果不佳的年份，可更完整的反應出台灣黑熊的食性組成。

本研究是先以圈養研究為基礎，建立包括黑熊的毛髮生長速度及穩定同位素吸收轉換率，在套用到野外的黑熊族群，切出反應青剛櫟結果季與非結果季的毛髮片段，但圈養個體是否能真實的反應野外黑熊仍不得而知，初步由外觀觀察毛髮後發現，圈養個體的毛髮長度較野外所採集到的毛髮長，同樣以2008年12月所收集到的毛髮為例，三隻圈養個體平均的毛髮長度為10.56公分 (SD=2.10)，而自玉山國家公園毛髮陷阱所採集到的毛髮平均長度僅6.5公分 (SD=0.86) (圖13)，圈養個體的毛髮長度明顯較野外黑熊的毛髮長，推測可能是圈養環境中所能獲得的食物量及品質皆較野外環境高，故野外黑熊實際的毛髮生長速度可能較圈養個體短，而造成在剪取代表青剛櫟結果季的毛髮片段時，會有一部份是選取到反應非結果季的毛髮片段，故更進一步了解圈養與野外黑熊在生理上的差異，將可有助於更準確在毛髮上進行時間的推算。

陸、參考文獻

- 吳煜慧 (2004) 玉山國家公園台灣黑熊之生態學研究。國立東華大學自然資源管理研究所。70頁。
- 林光輝、柯淵 (1995) 穩定同位素技術與全球變化研究。取自李主編。現代生態學講座。科學出版社。北京。161-188。
- 黃美秀、林冠甫、張書德、何冠助、葉炯章 (2009) 玉山國家公園台灣黑熊之族群生態學及保育研究(4/4)。玉山國家公園管理處。133頁。
- 陳亞萱。2009。亞洲黑熊之表面消化率及校正係數。國立屏東科技大學野生動物保育研究所。碩士論文。75頁。
- Ben, F. M., K. Titus, and L. R. Beier (2004) Consumption of salmon by Alaskan brown bears: a trade-off between nutritional requirements and the risk of infanticide. *Oecologia*. 138:465-474.
- Bosley, K. L., D. A. Witting, R. C. Chambers, and S. C. Wainright (2002) Estimating turnover rates of carbon and nitrogen in recently metamorphosed winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* with stable isotopes. *Marine ecology-progress series*. 236:233-240.
- Braun, C. E (2005) Techniques for wildlife investigations and management. The Wildlife Society. Bethesda. Maryland. USA.
- Cagnacci, F., G. Massei, J. Coats, A. de Leeuw, and D. P. Cowan (2006) Long-lasting Systemic Bait Markers for Eurasian Badgers. *Journal of Wildlife Diseases*. 42:892-896.
- Chang, Y. M., K. A. Hatch, T. S. Ding, D. L. Eggett, H. W. Yuan, and B. L. Roeder (2008) Using stable isotopes to unravel and predict the origins of great cormorants (*Phalacrocorax carbo sinensis*) overwintering at Kinmen. *Rapid communications in mass spectrometry*. 22:1235-1244.
- Cormie, A. B., H. P. Schwartz, and J. Gray (1994) Determination of the hydrogen isotopic composition of bone collagen and correction for hydrogen exchange. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 58:365-375.

- Davitt, B. B., and J. R. Nelson (1980) A method analysis. Washington State Univ.. College Agric. Res. Center Cive., 0628:1-4.
- DeNiro, M. J., and S. Epstein (1987) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 42:341-351.
- Ehleringer, J. R., P. W. Rundel, and K. A. Nagy (1986) Stable isotopes in physiological ecology and food web research. *Tree*. 1:42-45.
- Fortin, J. K., S. D. Farley, K. D. Rode, and C. T. Robbin (2007) Dietary and spatial overlap between sympatric ursids relative to salmon use. *Ursus*. 18:19-29.
- Fredriksson, G. 2005. Human-sun bear conflicts in East Kalimantan, Indonesian Borneo. *Ursus*. 16:130-137.
- Fry, T. L., and M. R. Dunbar (2007) A review of biomarkers used for wildlife damage and disease management. Pages 217-222 in D. L. Nolte, W. M. Arjo, and D. H. Stalman, editors. Proceedings of the 12th Wildlife Damage Management Conference.
- Hilderbrand, G. V., T. A. Hanley, and C. T. Robbins (1999) Role of brown bears (*Ursus arctos*) in the flow of marine nitrogen into a terrestrial ecosystem. *Oecologia*. 121:546-550.
- Hwang, M. H., D. L. Garshelis, and Y. Wang (2002) Diets of Asiatic black bears in Taiwan, with methodological and geographical comparisons. *Ursus* 13:111-125.
- Hwang, M. H (2003) Ecology of Asiatic black bears and people-bear interactions in Yushan National Park. Ph. D. Dissertation, University of Minnesota, Twin cities, USA.
- Hwang, M. H. and D. L. Garshelis (2007) Activity partterns of Asiatic black bears in central mountains of Taiwan. *Journal of Zoology*. 271:203-209.
- Jacoby, M. E., G. V. Hilderbrand, C. Servheen, C. C. Schwartz, S. M. Arthur, T. A. Hanley, C. T. Robbins, and R. Michener (1999) Trophic relations of brown and black bears in several western North

- American Ecosystems. *Journal of Wildlife Management*.
63:921-929.
- Jones, E. S., D. C. Heard, and M. P. Gillingham (2006) Temporal variation in stable carbon and nitrogen isotopes of grizzly bear guard hair and under fur. *Wildlife Society Bulletin*. 34:1320-1325.
- Kendal, K. C., and K. S. McKelvey (2008) Chapter 6: Hair Collection. Pgs. 135-176 in: R. A. Long, P. Mackay, J. C. Ray, and W. J. Zielinsky, Editors. *Noninvasive Survey Methods for North American Carnivores*. Island Press, Washington D. C. USA.
- Kilham, B. and E. Gray (2002) *Among the bears: raising orphan cubs in the wild*. Henry Holt & Co. USA. 304pp.
- Litvaitis, J. A (2000) Investigating food habits of terrestrial vertebrates. Pages 21-34 in L.B. Boitani and T.K. Fuller, editors. *Research techniques in animal ecology*. Columbia University Press. New York, USA.
- Minagawa, M. and E. Wada (1984) Steewise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains : further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48:1135-1140.
- Mizukami, R. N., M. Goto, S. Izumiyama, H. Hayashi, and M. Yoh (2005a) Estimation of feeding history by measuring carbon and nitrogen stable isotope ratios in hair of Asiatic black bears. *Ursus*. 16:93-101.
- Mizukami, R. N., M. Goto., S. Izumiyama, M. Yoh, N. Ogura, and H. Hayashi (2005b) Temporal diet changes recorded by stable isotopes in Asiatic black bear (*Ursu thibetanus*) hair. *Isotopes in environmental and health studies*. 41:87-94.
- Mowat, G., and D. C. Heard (2006) Major components of grizzly bear diet across North America. *Canadian Journal of Zoology*. 84:473-489.

- Nakashita, R (2003) Feeding habits analysis of Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) using carbon and nitrogen stable isotope. Thesis. Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan.
- Nakashita, R (2006) Reconstruction of the feeding history of Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) by carbon and nitrogen stable isotopes. Ph. D. Dissertation. Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan.
- Narita, R., K. Sasaki, K. Goda, N. Maeda, and A. Takayanagi (2006a) Turnover of stable isotopes in Hokkaido brown bear (*Ursus arctos yesoyensis*). Mammal Study. 31:59-63.
- Narita, R., A. Sugimoto, and A. Takayanagi (2006b) Animal components in the diet of Japanese black bears *Ursus thibetanus japonicus* in the Kyoto area, Japan. Wildlife Biology. 12:375-384.
- Peterson, B. J., and B. Fry (1987) Stable Isotopes in Ecosystem Studies. Annual reviews in ecology and systematics. 18:293-320.
- Rogers, L. L. (1976) Effects of mast and berry crop failures on survival, growth, and reproductive success of black bears. 41:431-438.
- Smith, B. N., and S. Epstein (1971) Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. Plant Physiol. 47:298-301.
- Spurr, E. B (2002) Rhodamine B as a systemic hair marker for assessment of bait acceptance by stoats (*Mustela erminea*). New Zealand Journal of Zoology. 29:187-194.
- Tieszen, L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl, and N. A. Slade (1983) Fractionation and turnover of stable carbon isotope in animal tissues implication for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. Oecologia. 57:32-37.
- Voigt, C. C., F. Matt, R. Michener, and T. H. Kunz (2003) Low turnover rates of carbon isotopes in tissues of two nectar-feeding bat species. The journal of experimental biology. 206:1419-1427.

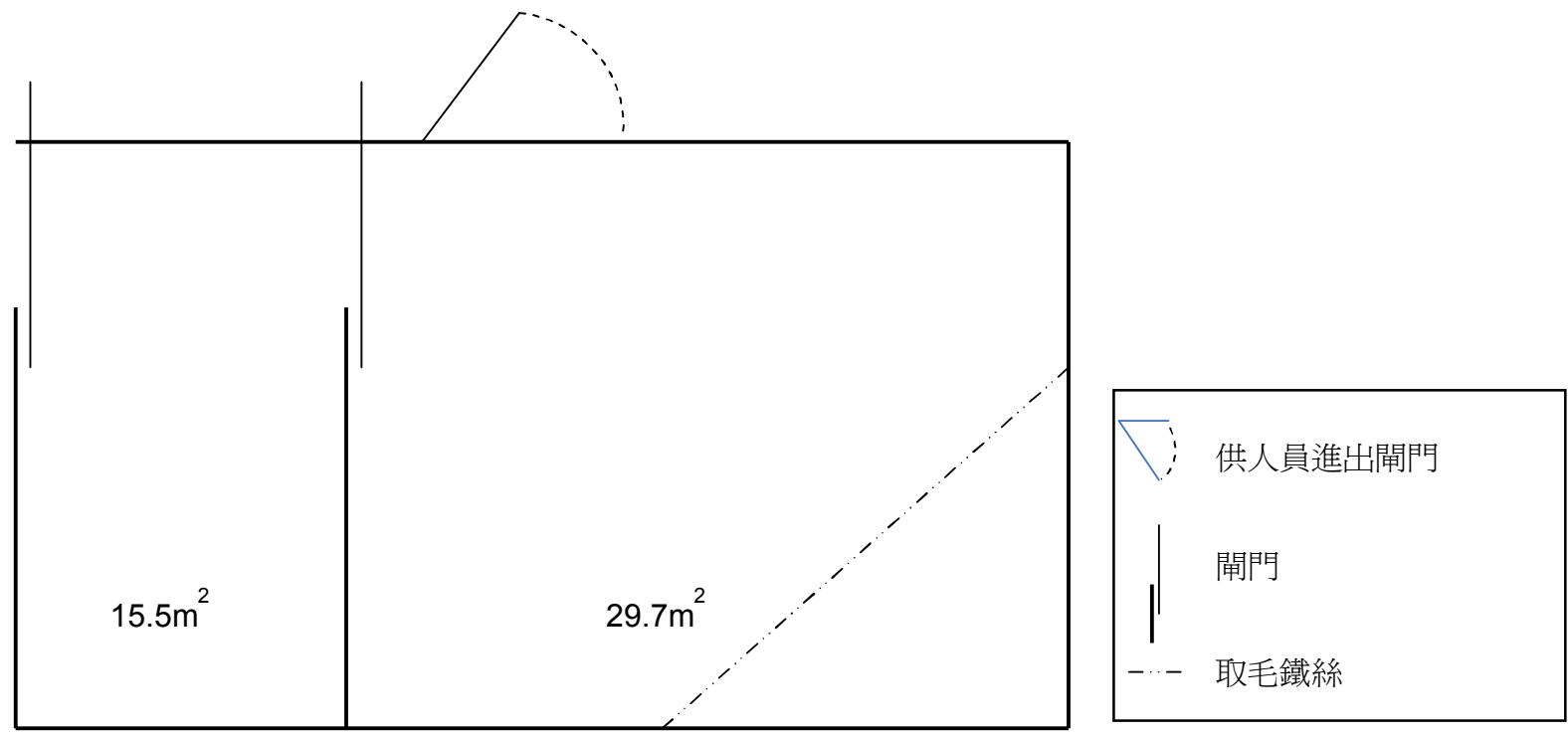
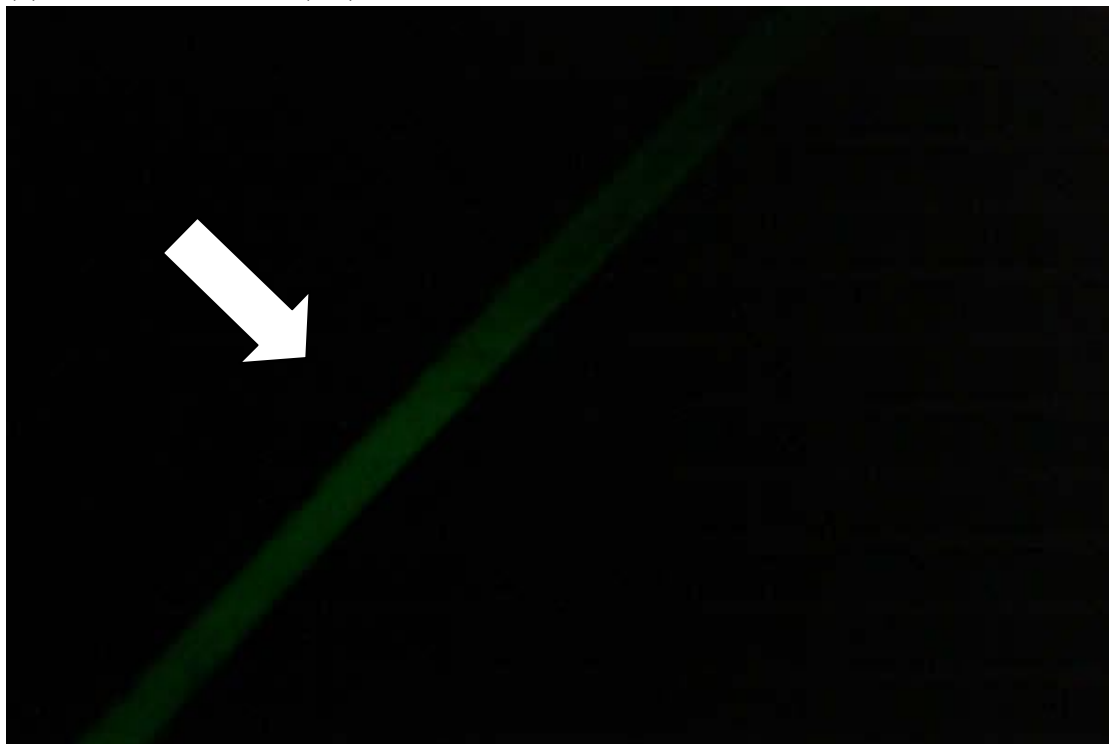


圖 1、特有生物保育研究中心低海拔試驗站黑熊飼養環境示意圖，較小的地區為室內環境(面積 15.5 平方公尺)；較大的地區為室外環境(面積 29.7 平方公尺)。每次毛髮取樣時，先將黑熊吸引至小籠舍，再進入大籠舍將取毛鐵絲固定於圖中的位置，帶取完毛髮再將取毛鐵絲移出籠舍。

(1)毛髮上的螢光片段(5X)



(2)毛髮生長速度測量示意圖

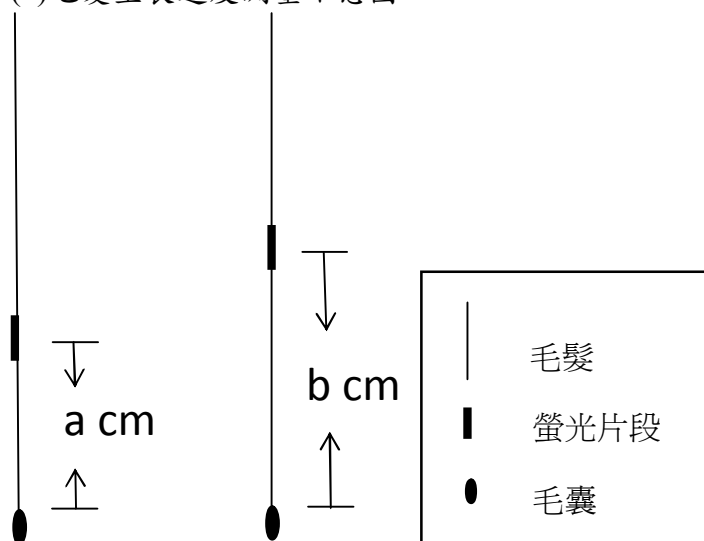


圖 2、(1)在黑熊餵食螢光標記物後，於螢光顯微鏡(5X)下所拍攝到的台灣黑熊毛髮螢光片段，測量螢光片段中最亮的部位(箭頭處)羽毛囊的距離。(2)毛髮生長速度測量示意圖，假設相鄰兩個月份的螢光距離毛囊分別為 a 與 b 公分，則該月的毛髮生長速度 = $b - a$ (公分)。

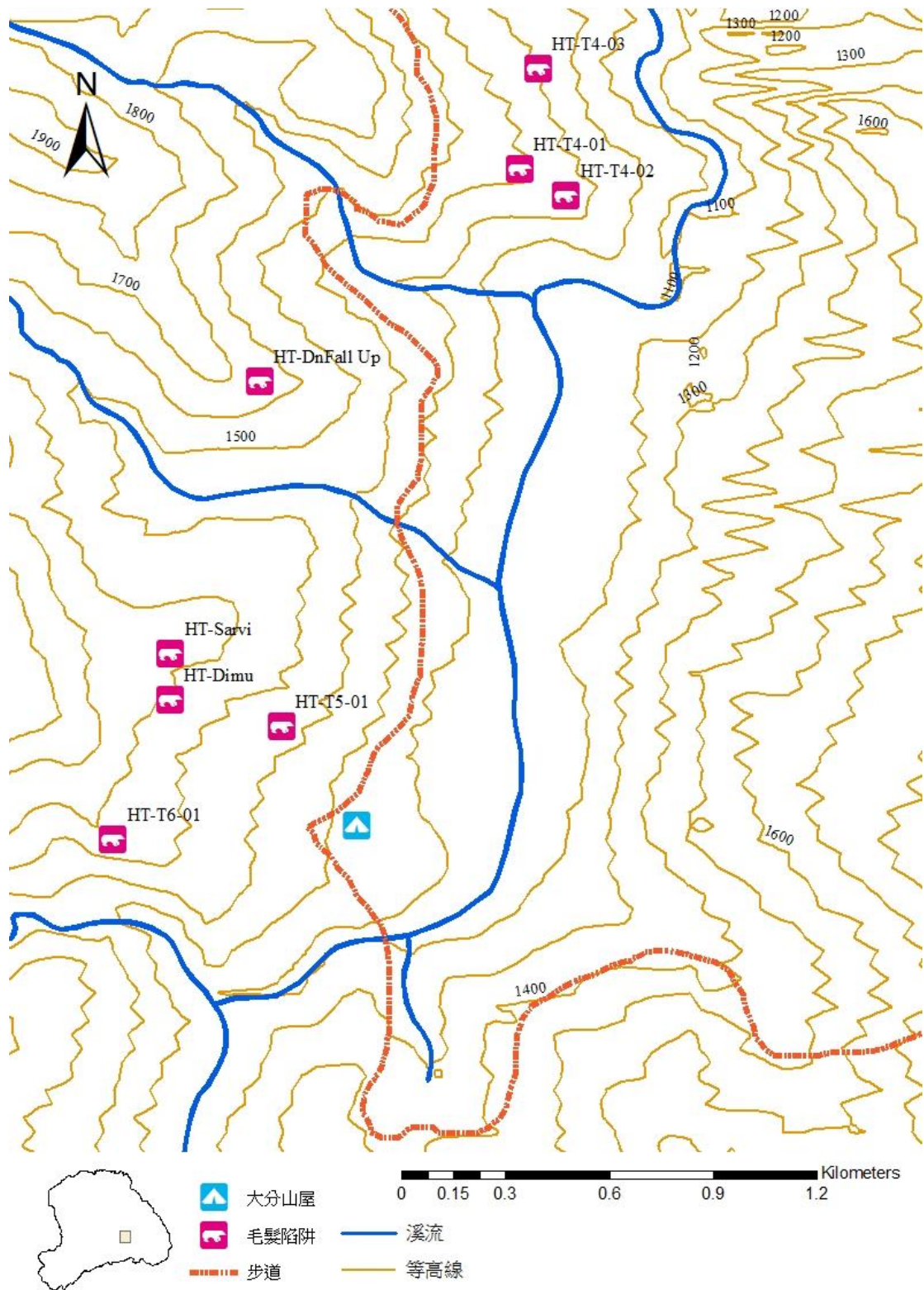


圖 3、2008 年 12 月的黑熊毛髮樣本取樣於分布在玉山國家公園大分地區的 8 個毛髮陷阱，上圖為各毛髮陷阱的相對位置。

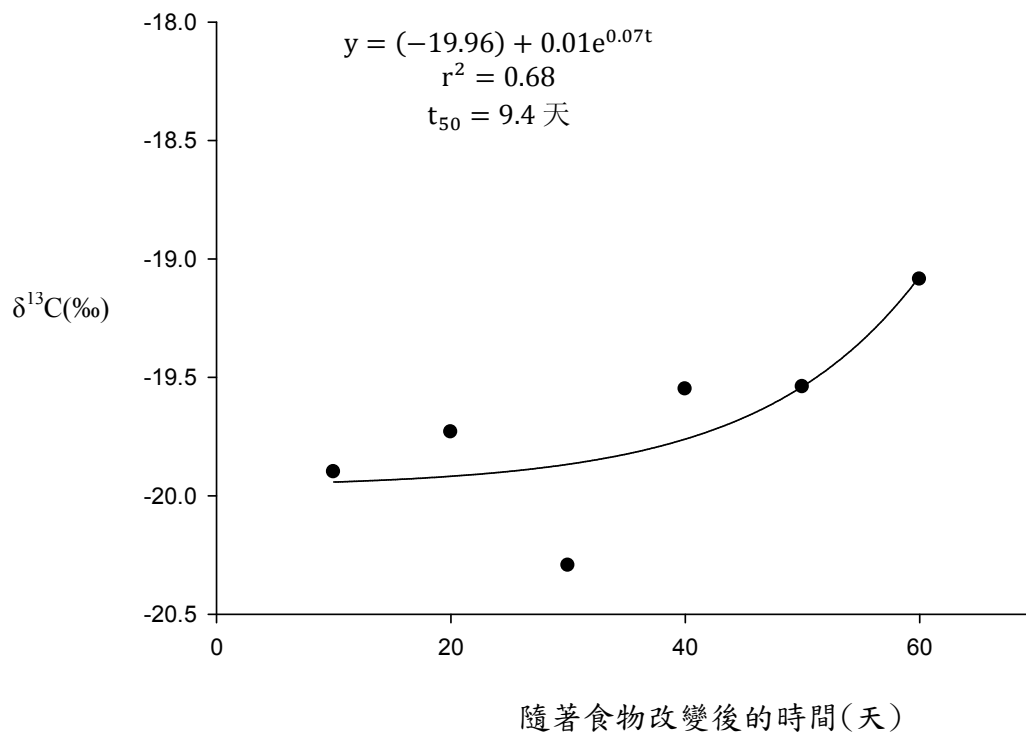


圖 4、第一階段餵食試驗中 A 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化，食物由原本 $\delta^{13}\text{C}$ 較輕的 C3 植物為主，在餵食試驗開始後改以 $\delta^{13}\text{C}$ 較重的 C4 植物為主，在每 10 日所採集到的毛髮中，穩定碳同位素訊號，亦有隨著時間的增加而增加，經計算後半衰期為 9.4 天。

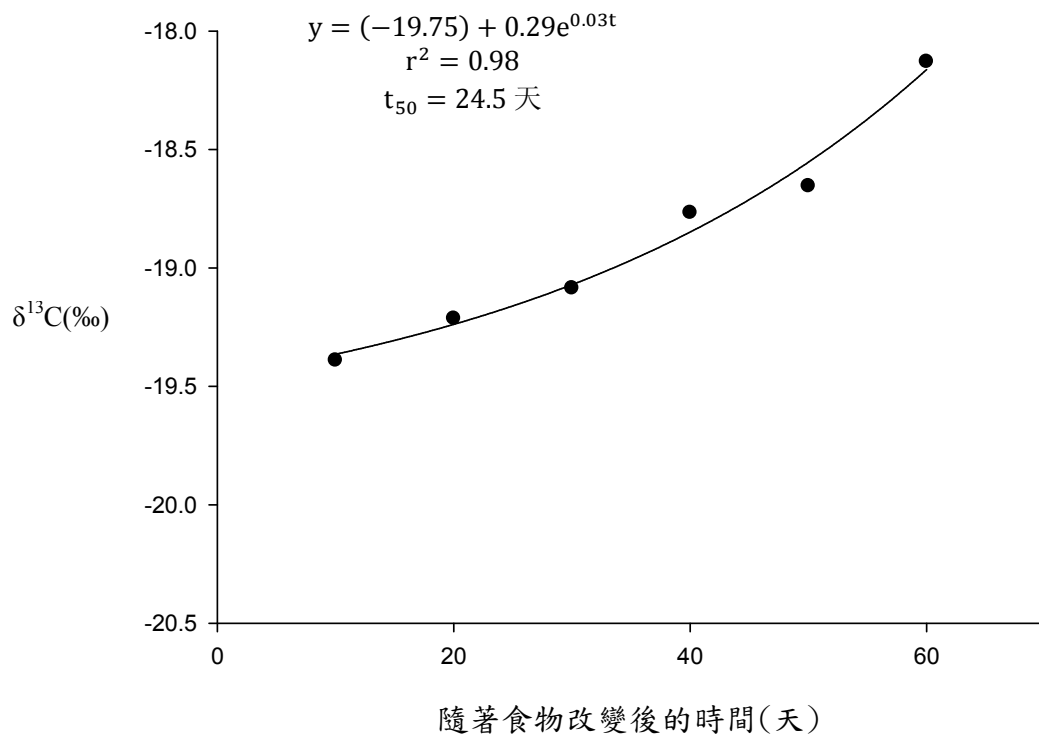


圖 5、第一階段餵食試驗中 B 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化，食物由原本 $\delta^{13}\text{C}$ 較輕的 C3 植物為主，在餵食試驗開始後改以 $\delta^{13}\text{C}$ 較重的 C4 植物為主，在每 10 日所採集到的毛髮中，穩定碳同位素訊號，亦有隨著時間的增加而增加，經計算後半衰期為 24.5 天。

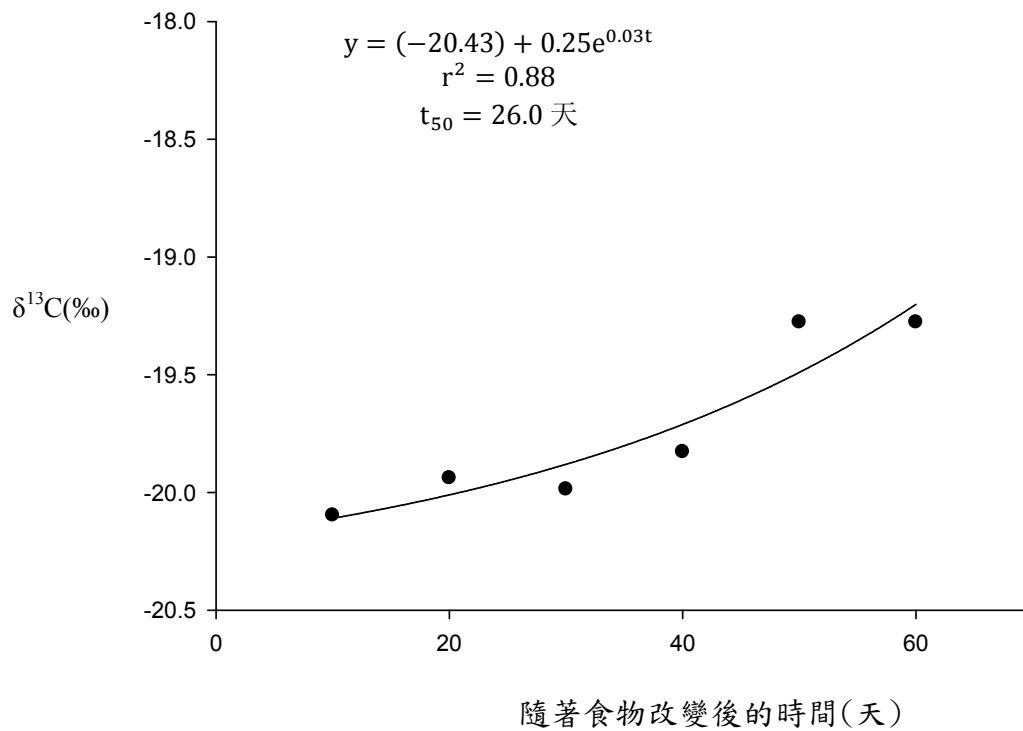


圖 6、第一階段餵食試驗中 C 熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化，食物由原本 $\delta^{13}\text{C}$ 較輕的 C3 植物為主，在餵食試驗開始後改以 $\delta^{13}\text{C}$ 較重的 C4 植物為主，在每 10 日所採集到的毛髮中，穩定碳同位素訊號，亦有隨著時間的增加而增加，經計算後半衰期為 26.0 天。

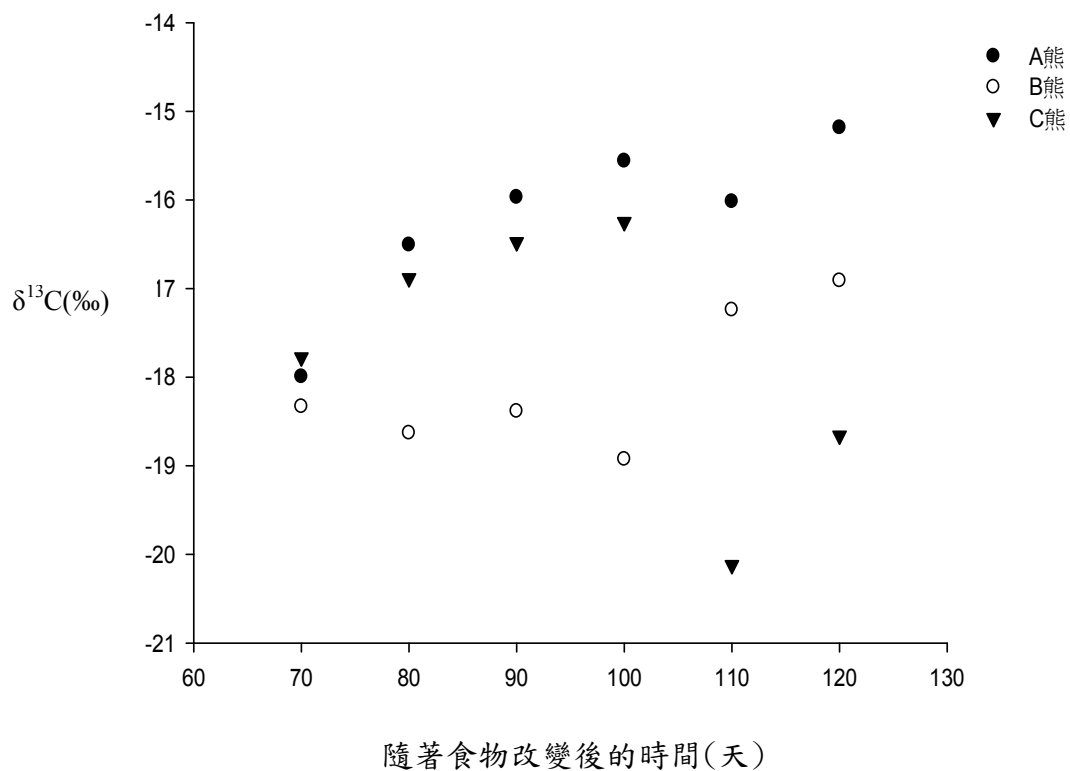


圖 7、第二階段餵食試驗中三隻熊毛髮穩定碳同位素隨著時間的變化，食物由原本 $\delta^{13}\text{C}$ 較重的 C4 植物為主，在餵食試驗開始後改以 C3 與 C4 植物各半，在每 10 日所採集到的毛髮中，原預期穩定碳同位素訊號會隨著時間而降低，但三隻黑熊的結果皆呈現相反的現象，故第二階段的餵食試驗，未納入穩定同位素吸收轉換率的計算。

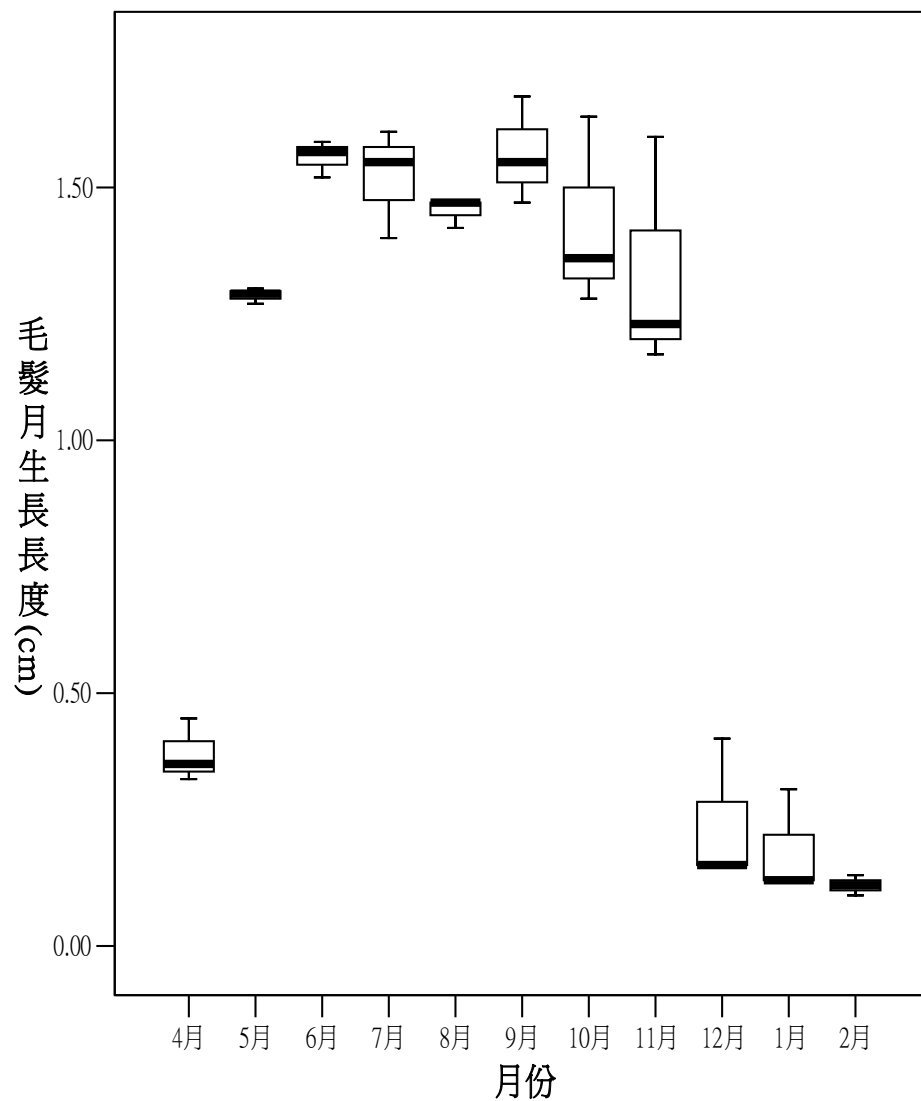


圖 8、三隻試驗個體在各月的毛髮生長速度圖，黑熊在 5 月至 11 月的毛髮生長速度顯著高於 12 月至隔年 4 月。

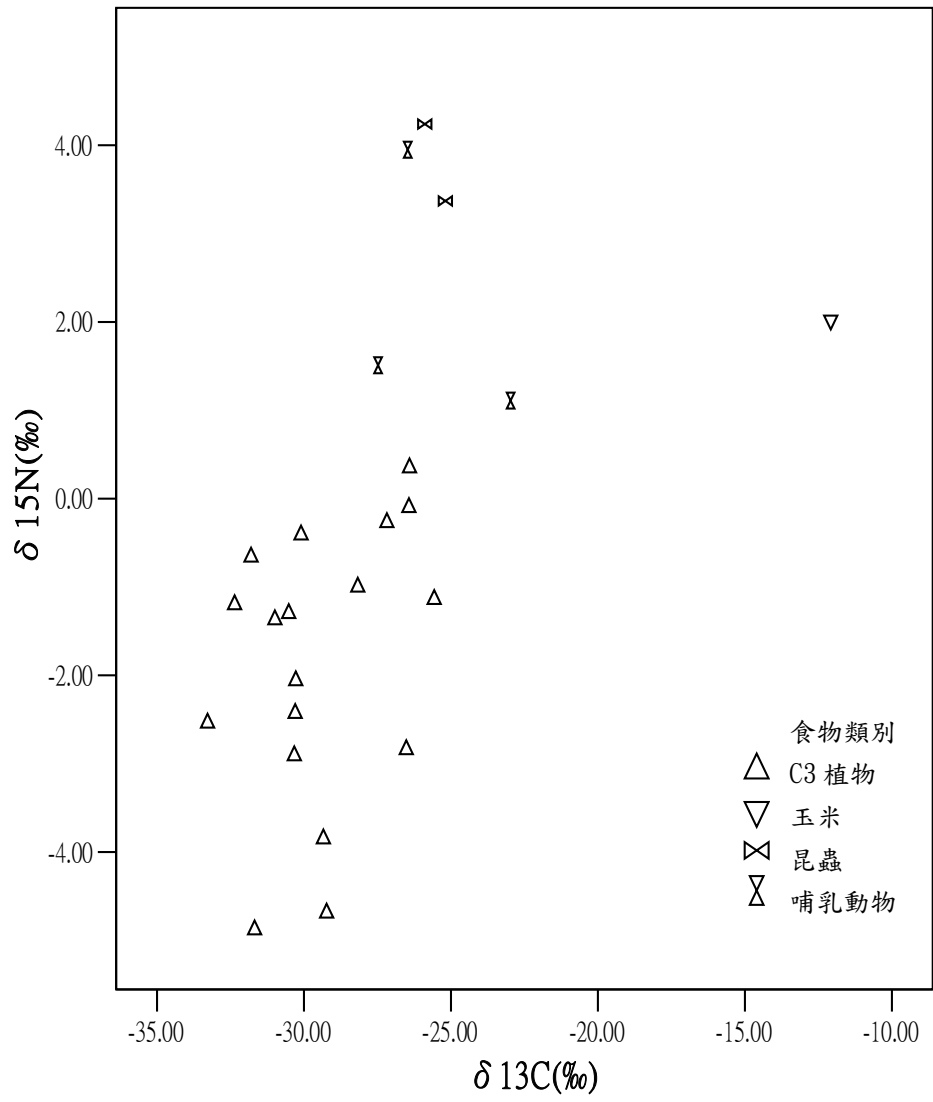


圖 9、各食物類別的穩定碳、氮同位素訊號相對位置圖。

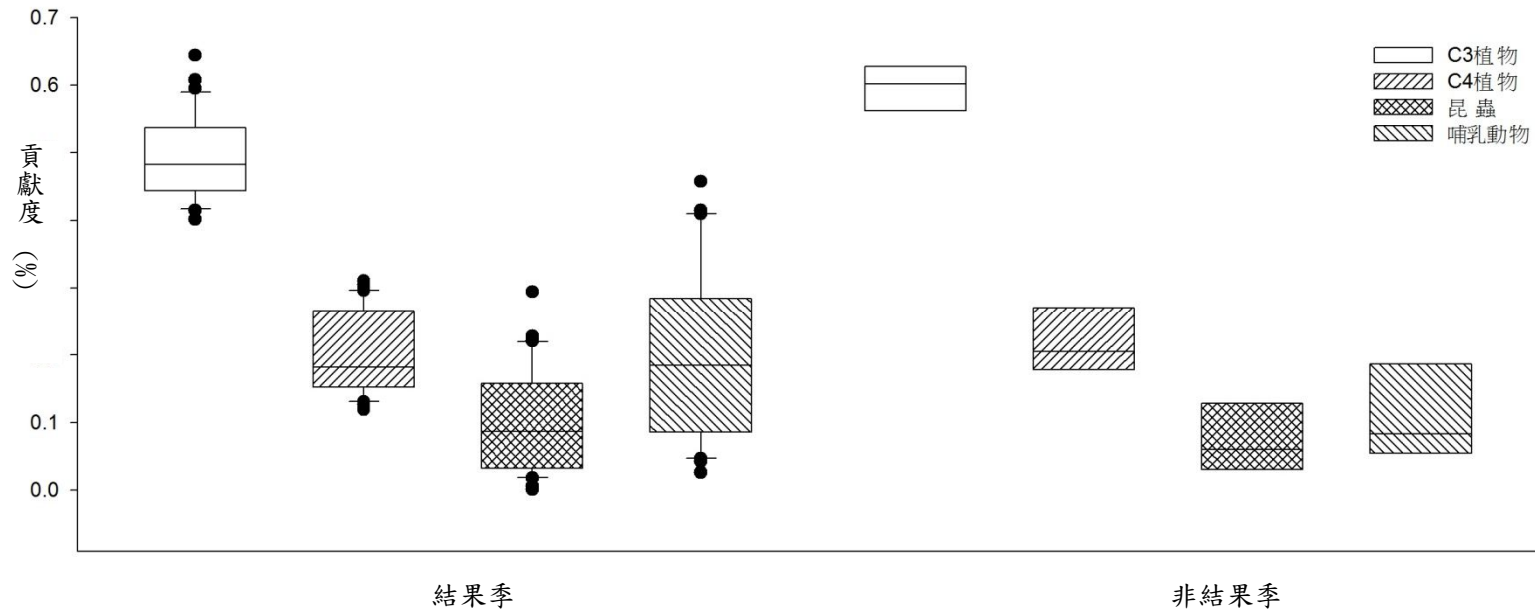


圖 10、分析 1998 年玉山國家公園捕獲到黑熊所採集的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。

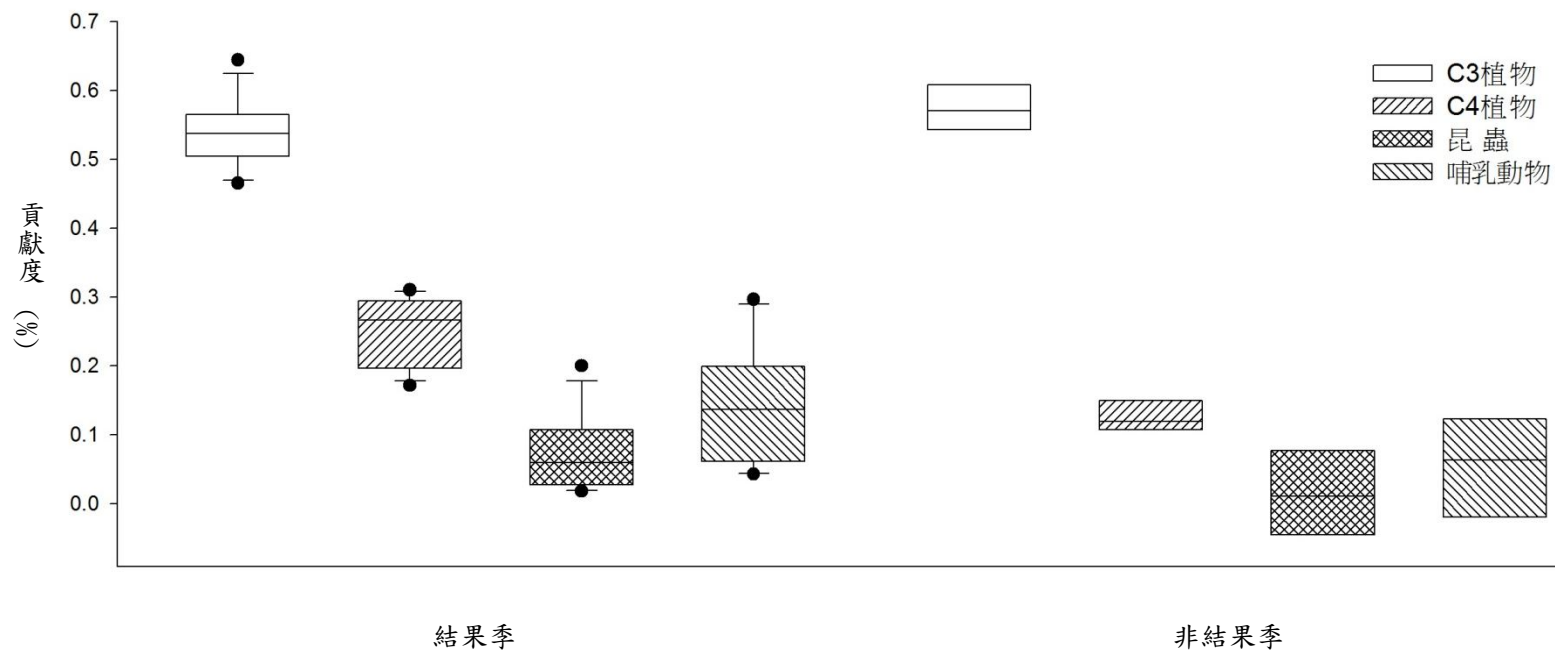


圖 11、分析 2000 年玉山國家公園捕獲到黑熊所採集的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。

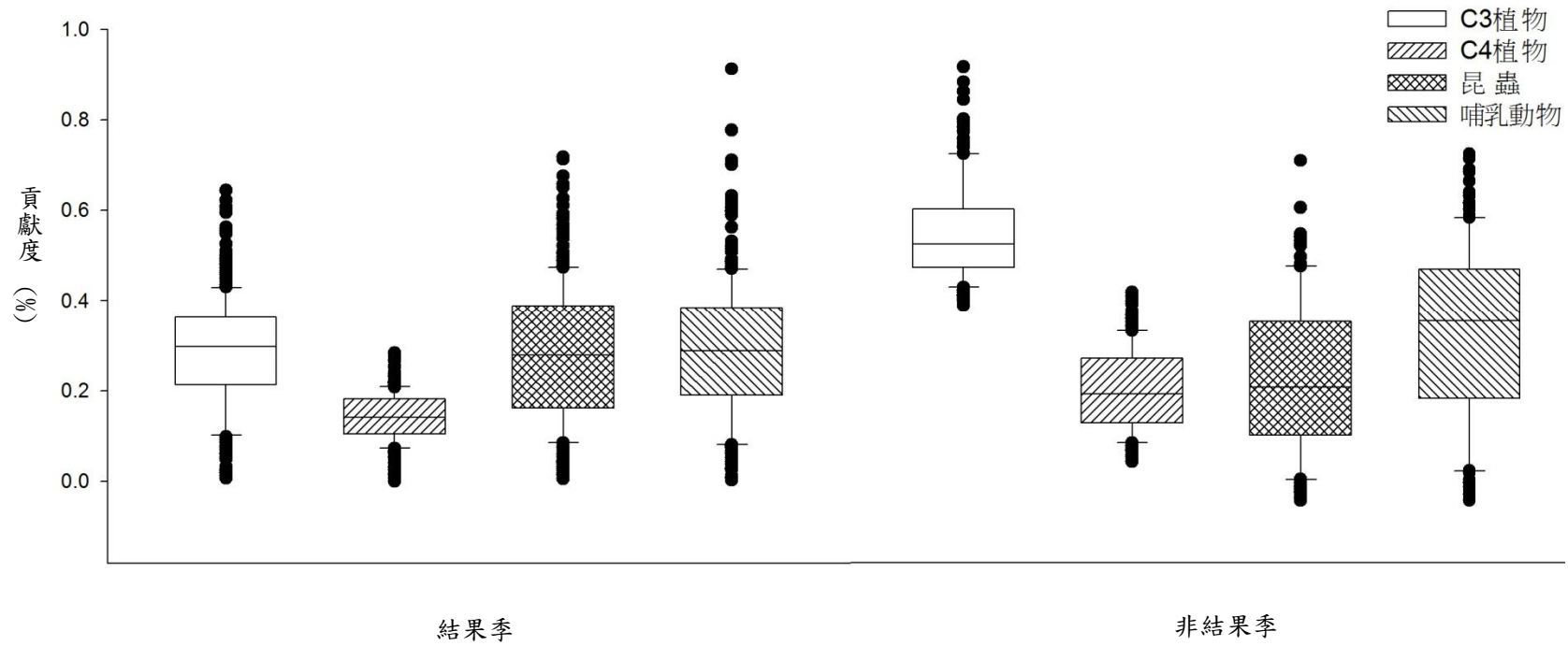


圖 12、分析 2008 年玉山國家公園採集到的毛髮樣本，估算四種食物類別在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，於黑熊食性中分別所佔的貢獻度。

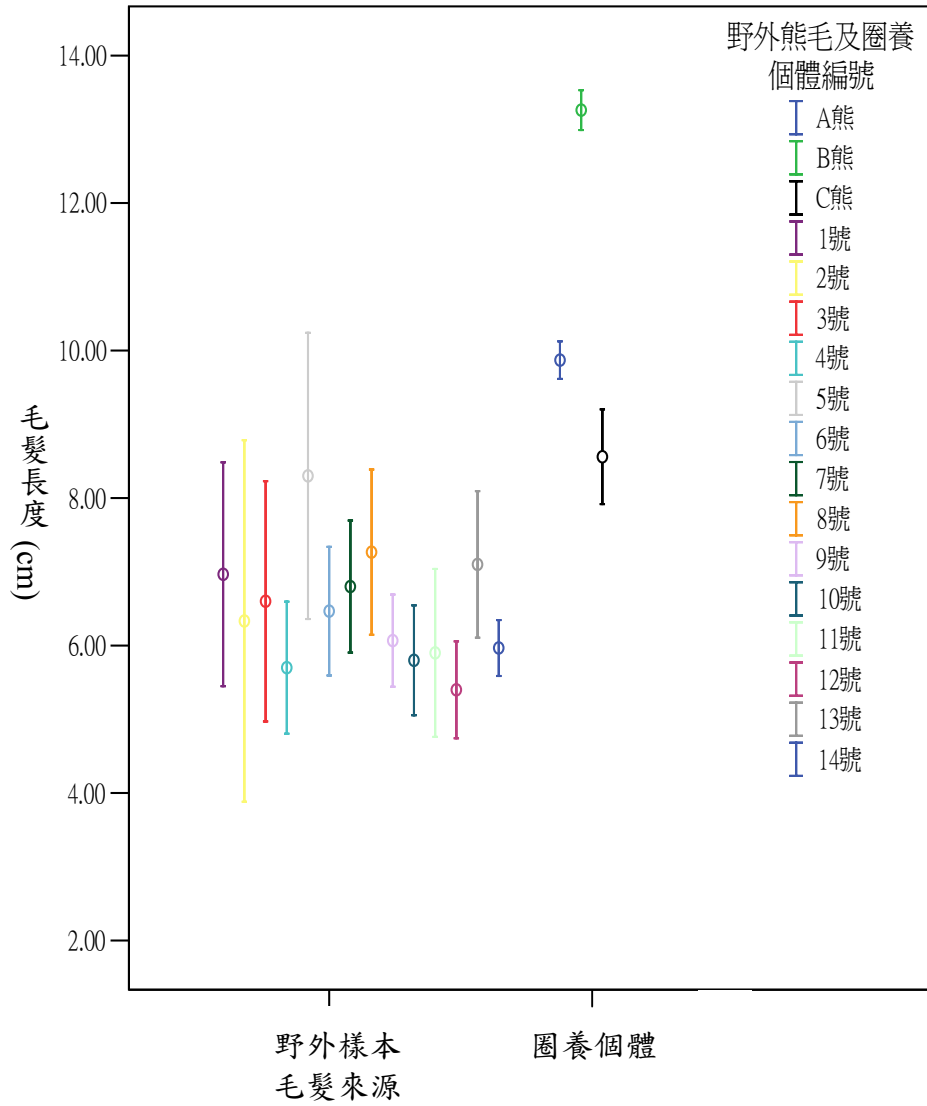


圖 13、圈養個體與野外黑熊毛髮之毛髮長度比較，時間同為 2008 年 12 月，取樣方式皆採用毛髮陷阱所使用的倒鉤刺的鐵絲（條形圖表示平均數的 95%信賴區間）。

表 1、低海拔試驗站管理單位針對站內體重 100 公斤左右隻黑熊個體平日餵食之各項食物及餵食重量，除豬肉及排骨為每周六供應一次，其餘各項食物每日供應，但星期日禁食一天。

食物類別	名稱	餵食濕重 (g)
C3 植物	番石榴	222.6
	蘋果	375.2
	柳丁	267.4
	紅蘿蔔	254.8
	木瓜	76.3
	地瓜	2035.6
	饅頭*	267.4
	玉米	267.4
C4 植物	玉米	267.4
人工食物	犬飼料	203
哺乳動物	豬肉(無骨頭)	378
	排骨	462

*饅頭為小麥加工製成的產物，小麥屬 C3 植物類，故將饅頭歸類於 C3 植物類。

表 2、低海拔試驗站亞洲黑熊個體資料。

熊名	代號	性別	年齡	體重 (kg)	來源	野外經歷
黑妞	A	雌	十多歲	90-110	六個月大之前都在野外。	是
元元	B	雌	十多歲	90-110	民間贈送。	不詳
Bingo	C	雌	四歲	90-110	試驗站內繁殖	否

表 3、進行台灣黑熊吸收轉換率試驗之餵食清單。第一階段為第 0-60 天，第二階段為第 61-120 天，玉米與地瓜為每日餵食的飼糧，豬肉與肉骨於每周三、六餵食（g，濕重）。

類別	食物名稱	第一階段餵食量(g)			第二階段餵食量(g)		
		濕重	無肉日 乾重%	有肉日 乾重%	濕重	無肉日 乾重%	有肉日 乾重%
C4 植物	玉米	3420	90	89	1900	50	48
C3 植物	地瓜	330	10	9	1580	50	48
動物性食物	豬肉	378	0	2	756	0	4
	排骨	462	0	0*	924	0	0*
總計 (%)			100	100		100	100

*黑熊再取食排骨時，通常僅舔食排骨，而不會將排骨吞入體內，故不列入乾重比例。

**表中動物性食物給予的量為一周的份量

表 4、台灣黑熊野外所食用的季節性食物的穩定碳、氮同位素值(‰)。

種類	俗名	種名	分析部位	δ15N	δ13C	
C3 植物	青剛櫟	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	果實	-0.27	-27.18	
	鬼櫟	<i>Lithocarpus castanopsisifolius</i>	果實	-0.10	-26.43	
	狹葉櫟	<i>Quercus stenophylloides</i>	果實	-1.14	-25.57	
	森氏櫟	<i>Cyclobalanopsis morii</i>	果實	-2.84	-26.52	
	紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	葉	-1.00	-28.17	
	台灣蘋果	<i>Malus formosana</i>	果實	-0.66	-31.80	
	越橘	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	果實	0.35	-26.41	
	假長葉楠	<i>Machilus japonica Sieb. a Zucc.</i>	葉	-2.54	-33.28	
	台灣赤楊	<i>Alnus formosana</i>	葉	-1.30	-30.52	
	山枇杷	<i>Eriobotrya deflexa</i>	果實	-3.85	-29.34	
	山櫻花	<i>Prnus campanulata</i>	葉	-2.06	-30.28	
	呂宋莢迷	<i>Viburnum luzonicum</i>	果實	-0.41	-30.10	
	紅子莢迷	<i>Viburnum formosanum</i>	果實	-2.43	-30.30	
	鬼懸鈎子	<i>Rubus wallichianus</i>	葉	-1.37	-30.99	
	台灣懸鈎子	<i>Rubus formosensis</i>	葉	-2.91	-30.33	
	梨葉懸鈎子	<i>Rubus pirifolius</i>	葉	-4.88	-31.68	
	山芋	<i>Dioscorea bulbifera</i>	葉	-4.69	-29.23	
	刺萼寒梅	<i>Rubus Pectineiius Maxim.</i>	葉	-1.20	-32.36	
	C4 植物	五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	葉	2.02	-12.08
	昆蟲	中華大虎頭蜂	<i>Vespa manderinia</i>	肌肉	3.37	-25.19
蓬萊家蟻		<i>Myrmica margaritae</i>	全部	4.24	-25.89	
哺乳動物	山羌	<i>Muntiacus reevesi</i>	肌肉	1.51	-27.48	
	台灣野山羊	<i>Naemorhedus swinhoei</i>	肌肉	3.95	-26.47	
	台灣水鹿	<i>Cervus unicolor swinhoei</i>	肌肉	1.11	-22.97	

表 5、1998 年，Hwang(2003)於玉山國家公園東側所捕捉到的 6 隻黑熊個體，青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季的穩定碳、氮同位素訊號。

編號	捕捉日期	性別年齡*	估計年齡 (上限)	體重	青剛櫟結果季		非青剛櫟結果季		全年	
					$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
1	10/25/98	FA	12-14(18)	65	4.50	-23.95	3.29	-24.08	3.59	-24.05
2	10/29/98	MA	4-5	98	4.79	-23.15	4.53	-23.41	4.60	-23.35
3	10/31/98	MA	4-5	99	5.35	-20.14	5.74	-20.53	5.64	-20.43
4	11/02/98	MA		88	4.30	-23.01	4.59	-23.57	4.52	-23.43
5	11/27/98	MSA	2-3	69	4.83	-23.27	4.05	-23.58	4.34	-23.46
6	11/27/98	MSA	2-3	51	5.08	-23.00	3.27	-22.92	3.95	-22.95

*FA 代表成年雌性，MA 代表成年雄性，MSA 代表亞成年雄性

表 6、2000 年，Hwang(2003)於玉山國家公園東側所捕捉到的 7 隻黑熊個體，青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季的穩定碳、氮同位素訊號。

編號	捕捉日期	性別年齡*	估計年齡 (上限)	體重	青剛櫟結果季		非青剛櫟結果季		全年	
					$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
1	11/06/00	MA	7(11)	70	4.82	-23.05	3.97	-23.28	4.18	-23.22
2	11/07/00	MA	6(9)	90	5.46	-21.41	4.16	-22.29	4.49	-22.07
3	11/08/00	MA	11(15)	93	3.62	-23.09	3.62	-23.23	3.62	-23.20
4	11/09/00	MA	5-6(10)	78	4.26	-21.97	3.86	-23.69	3.96	-23.26
5	11/13/00	MA	5-6	63	4.31	-22.50	3.72	-23.35	3.87	-23.14
6	11/13/00	MA	5-6	84	4.24	-21.16	3.45	-22.24	3.65	-21.97
7	12/10/00	MSA	1-2	33	3.83	-23.76	3.75	-23.60	3.78	-23.66

*FA 代表成年雌性，MA 代表成年雄性，MSA 代表亞成年雄性

表 7、2008 年 12 月，自 7 個毛髮陷阱中，以同一條倒鈎刺的鐵絲最多僅選取一筆毛髮為原則，共取得的 14 個黑熊毛髮樣本，在青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季及全年的穩定碳、氮同位素訊號。

編號	熊毛陷阱編號	青剛櫟結果季		非青剛櫟結果季		全年	
		$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
1	HT-T4-02	4.33	-22.28	2.98	-20.87	3.32	-21.22
2	HT-T4-02	6.17	-23.81	4.93	-23.39	5.24	-23.50
3	HT-T4-02	3.18	-23.69	2.86	-24.14	2.94	-24.03
4	HT-T4-01	4.65	-22.35	5.62	-23.34	5.38	-23.09
5	HT-T5-01	5.33	-21.47	4.78	-21.06	4.92	-21.16
6	HT-T4-03	6.70	-22.35	4.92	-22.44	5.37	-22.42
7	HT-Dimu	5.91	-24.23	4.34	-23.98	4.73	-24.04
8	HT-Dimu	4.40	-23.46	4.29	-23.62	4.32	-23.58
9	HT-T6-01	4.69	-23.98	2.02	-23.71	2.69	-23.78
10	HT-T6-01	5.05	-23.25	4.09	-23.27	4.33	-23.27
11	HT-T6-01	3.82	-23.94	2.96	-24.08	3.18	-24.05
12	HT-Sarvi	6.06	-21.56	4.86	-22.17	5.16	-22.02
13	HT-DnFall Up	6.97	-22.44	4.82	-22.11	5.36	-22.19
14	HT-DnFall Up	7.89	-20.95	6.56	-20.42	6.89	-20.55

表 8、1998、2000 年間與 2008 年的黑熊毛髮樣本，在各年間的穩定碳氮同位素值。

時間(年)	n	δ15N (‰)			δ13C (‰)		
		means	SD*	Range	means	SD*	Range
1998	6	4.44	0.70	3.59 to 5.64	-22.94	1.28	-20.43 to -24.05
2000	7	3.93	0.31	3.62 to 4.46	-22.93	0.65	-21.97 to -23.66
2008	14	4.56	1.18	3.18 to 6.89	-22.78	1.19	-20.55 to -24.05

*SD: standard deviation

表 9、植物性食物與動物性食物在三時期青剛櫟結果季與非青剛櫟結果季，所佔的貢獻度(%)。

食物類別	1998 年		2000 年		2008 年	
	結果季	非結果季	結果季	非結果季	結果季	非結果季
植物性食物	65	41	79	78	43	57
動物性食物	35	59	21	22	57	43

表 10、日本黑熊、棕熊、美洲黑熊與台灣黑熊之穩定碳、氮同位素訊號，其中問題熊相較於野生熊會在農村中覓食人為食物，而 Narita et al. (2006a)的研究中，有部分樣本也是取自於問題熊。

物種 (來源地點或時間)	n	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$			$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$			資料來源
		means	SD	Range	means	SD	Range	
日本黑熊 (野生熊)	21	1.9	1	0.4~4.1	-23.2	0.6	-21.9~-24.0	Nakashita, 2006
日本黑熊 (問題熊)	49	2.5	1.2	0.2~5.4	-22.6	1.3	-16.7~-24.1	Nakashita, 2006
日本黑熊 (early summer)	5	3.5	0.4		-22.7	0.4		Narita et al., 2006
日本黑熊 (late summer)	9	3.0	0.4		-22.8	0.3		Narita et al., 2006
日本黑熊 (autumn)	13	3.6	0.4		-22.7	0.7		Narita et al., 2006
棕熊	33	11.5	1.8		-19.3	0.8		Fortin et al., 2007
美洲黑熊	17	6.0	2.9		-21.6	1.4		Fortin et al., 2007
台灣黑熊	27	4.37	0.94	2.69~6.89	-22.85	1.06	-20.43~-24.05	本研究

表 11、本研究台灣黑熊食物與其他文獻中日本黑熊食物同位素訊號之比較。

食物類別	n	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$			$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$			資料來源
		means	SD	Range	means	SD	Range	
C3 植物	0				-27			Minagawa and Akazawa, 1998
	1.0				-26.5			Minagawa, 2001
		-3.2	2.2		-28	2.2		Miyama, 2005
	18	-1.0	2.5	-4.1~4.7	-28.6	2.1	-32~-24.2	Nakashita, 2006
	18	-1.85	1.54	-4.88~0.35	-29.47	2.28	-25.57~-33.28	本研究
C4 植物	4	3.2	0.7	2.6~4.2	-11.0	0.2	-11.1~-10.6	Fortin et al., 2007
		2.2			-12.08			本研究
昆蟲	4	2.92	1.84	0.9~4	-24.7	1.56	-22.7~-26.5	Nakashita, 2006
	2	3.81	0.62	3.37~4.24	-25.54	0.49	-25.19~-25.89	本研究
哺乳動物	4				-26			Minagawa and Akazawa, 1998
	5				-25			Minagawa, 2001
	2	3.35	0.07	3.3~3.4	-26.75	0.35	-26.5~-27	Nakashita, 2006
	3	2.19	1.54	1.11~3.95	-25.64	2.37	-22.97~-27.48	本研究

