

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

碩士學位論文

亞洲黑熊之表面消化率及校正係數

Apparent Digestibility and Correction Factors of Asiatic  
Black Bears (*Ursus thibetanus*)

指導教授：黃美秀 博士  
林美峰 博士

研究生：陳亞萱

中華民國九十八年七月十三日

## 摘要

學號：M9517015

論文名稱：亞洲黑熊之表面消化率及校正係數

總頁數：75

學校名稱：國立屏東科技大學 系(所)別：野生動物保育研究所

畢業時間及摘要別：97 學年度第 2 學期碩士學位論文摘要

研究生：陳亞萱

指導教授：黃美秀博士

論文摘要內容：

亞洲黑熊(*Ursus thibetanus*)為大型的食肉目動物，但其食性卻屬以植物為主的雜食性。本研究旨在探討此物種對於不同種類食物之消化及利用情形，並計算校正係數 (correction factor) 以作為利用排遺回推野外黑熊之進食量之參考依據。

試驗動物為特有生物中心低海拔試驗站所圈養之 4 隻亞洲黑熊(2 雄 2 雌)，試驗食物共 8 類，每次實驗期為 12 天，並由第 10 天開始連續採樣 3 天，每日記錄試驗個體之進食量、排糞時間，並收集排遺和測量其乾、濕重，以計算校正係數。食物中添加三氧化二鉻 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )，追蹤食物通過消化道及其停留時間。同時分析食物及排遺之營養含量，以測定各項營養成分之表面消化率(apparent digestibility)。

黑熊進食不同種類食物平均每日排糞坨數為 5-6 坨，排遺量變異很大，排遺總濕重為 904-2,984 g，總乾重為 217-391 g。各項食物通過消化道之時間 (passage time) 平均為  $6.4 \pm 3.7$  hr，停留時間則為  $34.4 \pm 9.5$  hr，總平均停留時間 (total mean retention time) 為  $22.0 \pm 3.1$  hr。食物通過時間與粗纖維含量顯著負相關，食物於消化道之表現似乎亦受到顆粒大小、攝食行為等影響。

黑熊對於動物性和植物性食物的表面消化率，不論在乾基 ( $83.2 \pm 10.6 > 62.6 \pm 24.6$ )、粗蛋白 ( $94.2 \pm 2.5 > 62.2 \pm 11.2$ )、粗脂肪 ( $94.1 \pm 5.8 > 61.8 \pm 30.4$ ) 及總能 ( $93.8 \pm 3.0 > 64.4 \pm 24.1$ )，皆顯示黑熊對於動物性食物具備較高表面消化率 ( $P < 0.001$ )。粗蛋白、無氮抽出物之表面消化率，分別與食物的粗蛋白、無氮抽出物含量呈顯著正相關 ( $r^2 = 0.70, 0.55$ ，

$P < 0.001$ )，然各項營養成分之表面消化率皆與粗纖維含量呈負相關。

黑熊排遺經篩網沖洗後之校正係數 (prey mass presented) 為未經沖洗 (prey mass consumed) 之 2-5 倍，前者為 7.1-32.7，後者為 1.9-22.4，兩種校正係數呈正相關 ( $r^2=0.643$ ,  $P < 0.001$ )。食物粗纖維含量與消化校正係數呈負相關 ( $r^2=0.212$ ,  $P=0.027$ )；黑熊之乾基、總能表面消化率亦分別與消化校正係數呈顯著正相關 ( $r^2=0.393$ ,  $r^2=0.287$ ,  $P \leq 0.002$ )。顯示食物纖維含量低或具高消化率，將導致排遺殘渣含量減少，校正係數遂提高。利用本研究所得之消化校正係數推估野外台灣黑熊之食性組成，發現無脊椎動物的百分比經校正後顯著提高 5 倍，相對重要性提高。

關鍵語：台灣黑熊、食性、消化、營養、通過時間、校正係數

## Abstract

Student ID: M9517015

Title of thesis: Apparent Digestibility and Correction Factors of Asiatic Black Bears (*Ursus thibetanus*)

Total page: 75

Name of Institute: Institute of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology

Graduate date: July, 2009

Degree Conferred: Master

Name of student: Ya-shuan Chen

Adviser: Mei-Hsiu Hwang

The contents of abstract in this thesis:

Asiatic black bears (*Ursus Thibetanus*) are one of the largest carnivores, but they are omnivorous, especially drawn to vegetation food. The objective of this study was to determine the digestion and utilization of different types of foods by Asiatic black bears. Four captive bears (2 males and 2 females) at the Low Altitude Experiment Station of the Endemic Species Research Institute of Taiwan were the study subjects and fed eight foods. With a specific food, each feeding trial lasted 12 days, but food intake and defecation was monitored by collecting and weighing all feeding and fecal residues for only the last 3 days.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  was added into the food to track the passage and retention time of ingested food. The apparent digestibility of various nutrition components was determined by nutrition analysis of test food, including dry matter, crude fat, crude protein, crude fiber, ash, nitrogen-free extractives and gross energy.

The daily defecation rate of bears averaged 5-6 scats, and the weight of fecal residues varied by foods, i.e., 904-2,984 g and 217-391 g for wet and dry scats, respectively. The average passage, retention, and total mean retention time were  $6.4 \pm 3.7$  hr,  $34.4 \pm 9.5$  hr, and  $22.0 \pm 3.1$  hr. The passage time was negatively correlated to crude fiber content, but it was likely influenced by other factors, such as particle size and feeding behavior.

For the vegetation and animal foods tested, the apparent digestibility of 4 nutrient components were significantly different ( $P < 0.001$ ). Bears had

a higher apparent digestibility for animal foods than for vegetation foods: 62.6% and 83.2% for dry matter, 62.2% and 94.2% for crude protein, 61.8% and 94.1% for crude fat, 64.4% and 93.8% for gross energy. The apparent digestibility of crude protein and nitrogen-free extractives were correlated to their nutrition content correspondingly ( $r^2=0.70, 0.55, P<0.001$ ). However, the apparent digestibility of all nutrition components was negatively correlated to the content of crude fiber.

The correction factor of prey mass presented (PMP), i.e., with fecal samples washed over 2 mm screens, was greatest for invertebrates (32.7) and lowest for *Machilus zuihonsis* (7.1). The PMP was 2-5 times that of the correction of the prey mass consumed, i.e., 1.9-22.4. These 2 correction factors correlated positively ( $r^2=0.643, P<0.001$ ). The correction factor of prey mass consumed was negatively correlated to the dietary fiber content ( $r^2=0.212, P=0.027$ ), but positively correlated to the digestibility of both the dry matter and the gross energy ( $r^2=0.393, r^2=0.287, P\leq 0.002$ ). The results indicated that the correction factor increased with lower fiber content or higher digestibility.

Keywords: Formosan black bear, diet, digestion, nutrition, passage time, correction factor

## 謝誌

進入野保所這3年時間，許多體驗都是我人生中最美的回憶。前往大分的路上，看到許多野生動物們和大自然美景，至今仍烙印在我腦海裏。一路走來，我體驗到堅持這條路並不好走，但所幸有許多貴人在我難過和無助時，毫不吝嗇的給予我協助和關懷。黃美秀老師是影響我最深遠的老師，她讓我了解到何謂堅持和付出，因為有她的督促和指導，讓我可以更有方向的朝著夢想邁進。林美峰老師則帶領我進入營養分析的世界，謝謝她耐心指導營養知識背景較弱的我，讓我在技術分析上無後顧之憂。感謝特有生物中心楊吉宗副主任及魏恒巍老師，耐心指導論文寫作方式及提供論文的寶貴建議。統計方面感謝翁國精老師及林宜靜老師在資料分析方面給予協助。謝謝蘇秀慧老師、孫元勳老師及裴家騏老師在我研究所求學過程中，開拓我的視野和見解。

資料收集部分要感謝許多人的協助，低海拔試驗站何健鎔主任及特有生物中心動物組鄭錫奇組長、楊育昌先生，在研究期間提供人力物力的支援。在低海拔試驗站的生活，要感謝黃柏諭大哥、胡景瀚大哥、程忠智大哥、淑慧大姊、敏慧姐、林壯威大哥、吳清明大哥及黃朝卿大哥，對於我萬般的照顧和幫忙，讓我至今仍很懷念在低海拔試驗站的日子。也謝謝陪伴我默默做實驗的熊熊們，謝謝你們的配合，讓我可以順利完成這篇論文，期待可以早日與你們相逢。

感謝陪伴我到烏石坑看熊熊的朋友們，羽珊、阿秀秀、佩瑜、小葉、冠甫、矜雅、彥齡、嘉修，因為有你們幫忙收集資料，試驗才得以順利完成。感謝願意在屏東的大太陽底下，揮汗如雨的協助採集香楠果實的朋友們，秀芬、小詩、翠涵、彥齡、大頭、怡君、可欣、祖揚、小馬、小波、菜鴨、阿輝等。在台北實驗室的生活，謝謝啟彥學長、拓寰學長、育審及阿姨的照顧，還有陪伴我沒日沒夜進行試驗分析的妹妹，我想沒有你的幫忙，我應該會累死在實驗室吧；以及提供我在台北住宿的外婆、阿姨、叔叔，謝謝你們的大餐和關心的問候，讓我總是可以精神飽滿去做實驗。

撰寫論文及口試期間，感謝給予我打氣和幫忙的熊窟夥伴們，昌宏

學長、依蓉學姐、雨岑學姐、阿仁學姐、阿德學長、冠甫、程帆、秀芬、菜鴨、小葉、郭熊、冠助、慧旻、怡如學姐。謝謝翠涵、佳芸幫我修改文章不順的論文，魏董給予口試報告的意見，小花幫我準備口試的點心，還有許多其他野保所的夥伴們和朋友們，因為有你們的鼓勵和關懷，我才可以順利完成研究。

當然最感謝的還是我的家人，阿公、阿嬤、阿爸、阿母、阿永及秀秀，雖然還是讓你們擔心了，但謝謝你們支持我的決定，始終相信我，在我難過時陪伴我，給予我無比的信心和勇氣，陪伴我走完研究所這條路，果然家人是最好的後盾，讓我毫無後顧之憂往前走。最後要謝謝阿寶、monkey、小 A 陪伴我，度過難熬的論文撰寫時間，因為有她們的存在，增添了許多不少生活樂趣。

屏東是個很熱情的地方，野保所就像個大家庭一樣，大家開開心心的編織著一段段美好的回憶，我很開心可以成為這裡的一份子。最後希望可以傳達我們愛護動物的理念，讓更多人知道動物也是很可愛的，希望大家的努力下，台灣的野生動物可以更自在、無慮的生存在台灣這塊土地上。

## 目錄

摘要 .....	I
Abstract .....	III
謝誌 .....	V
目錄 .....	VII
圖表目錄 .....	IX
壹、前言 .....	1
貳、研究方法 .....	10
一、研究地點及對象 .....	10
二、餵食試驗 .....	11
(一) 試驗食物之選擇及處理 .....	11
(二) 試驗流程 .....	13
(三) 試驗食物及排遺樣本分析 .....	15
(四) 校正係數 .....	18
三、資料分析 .....	19
參、結果 .....	22
一、黑熊覓食行為及取食狀況 .....	22
二、排糞行為 .....	23
三、表面消化率 .....	25
(一) 食物營養組成 .....	25
(二) 表面消化率 .....	26
四、食物停留時間 .....	29
五、校正係數 .....	31
肆、討論 .....	33
一、排糞行為 .....	33
二、食物停留時間 .....	33
三、表面消化率 .....	35
四、校正係數 .....	40
五、研究限制 .....	43
伍、結論 .....	45
參考文獻 .....	46

附錄、特有生物研究保育中心低海拔試驗站依圈養亞洲黑熊的重量及 性別，所提供的平日飼糧食物種類及餵食重量 .....	74
作者簡介.....	75

## 圖表目錄

圖 1、黑熊餵食試驗中進食重量與平均每日排遺總重量之關係 .....	52
圖 2、黑熊的平均每日排遺乾重與乾基消化率之關係.....	53
圖 3、食物中粗蛋白之乾基含量與黑熊之粗蛋白表面消化率之關係 .....	54
圖 4、植物性食物和基礎食物中，無氮抽出物之乾基含量與黑熊之無氮 抽出物表面消化率之關係 .....	55
圖 5、植物性和基礎食物乾基中粗纖維之含量與黑熊對於不同營養成分 之表面消化率之關係.....	56
圖 6、食物中粗纖維之乾基含量與食物通過時間之關係.....	57
圖 7、亞洲黑熊食物之沖洗校正（prey mass presented）係數和消化校 正（prey mass consumed）係數二者之關係 .....	58
圖 8、消化校正係數與食物粗纖維之乾基含量之關係.....	59
圖 9、消化校正係數與乾基消化率二者之關係.....	60
圖 10、消化校正係數及總能消化率二者之關係.....	61
表 1、特有生物研究保育中心所屬之低海拔試驗站飼養之亞洲黑熊試驗 對象之個體資料.....	62
表 2、餵食黑熊試驗之飼糧乾基組成種類及百分比例.....	63
表 3、試驗操作流程.....	64
表 4、黑熊餵食試驗之進食濕、乾重及排糞情況，包括平均每日排遺乾、 濕重及坨數.....	65
表 5、黑熊餵食試驗飼糧組成之乾基含量，以及乾基的營養含量（單位： 100 g DM） .....	66
表 6、四隻黑熊對 8 種試驗飼糧之平均表面消化率.....	67
表 7、食物中各項營養成分含量與表面消化率之相關係數.....	68
表 8、試驗飼糧於黑熊消化道之通過時間（passage time, $PT^1$ ）、停留時 間（retention time, $RT^1$ ）、總平均停留時間（total mean retention time, $TMRT^1$ ），以及 48 小時排遺累計坨數 .....	69
表 9、黑熊對取食 8 種試驗飼糧之兩種校正係數（correction factor）， 包括沖洗（prey mass presented, PMP）及消化（prey mass consumed, PMC） .....	70
表 10、5 種熊科動物取動物性食物和植物性食物之表面消化率 .....	71

表 11、棕熊與亞洲黑熊之排遺沖洗校正係數(pre y mass presented, PMP) 之比較.....	72
表 12、利用本研究所測得之消化校正係數 (pre y mass consumed, PMC)，參考野外黑熊秋冬季食性研究 (Hwang et al. 2002)，推 估野外台灣黑熊之進食情況 .....	73

## 壹、前言

台灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 為台灣陸地上食肉目中最大型且特有之生物亞種，分類屬哺乳綱、食肉目、熊科，為亞洲黑熊 (*Ursus thibetanus*) 於台灣的特有亞種。由於狩獵、人為干擾及棲地破壞等因素，其數量及分布逐日減少，因此 1989 年台灣黑熊被列入我國野生動物保育法中的「瀕臨絕種」動物。國際華盛頓公約 (CITES) 附錄將世界的八種熊科動物，列入為保育類動物，即除非在特殊狀況下，禁止國際間的貿易；2008 年國際保育聯盟 (IUCN) 紅皮書亦列為易受傷害的物種 (Vulnerable species)，顯示此物種保育的重要性及迫切性。

台灣黑熊成熟年齡約在 3-5 歲之間，體重約 50-200 kg，體長 120-180 cm，全身長滿黑色毛髮，體壯碩，四肢粗壯有力，前後均具有五趾，掌全部裸出，最大特徵為胸前的黃白色 V 字型 (Nowak, 1991)。黑熊為獨居性動物，活動範圍廣大，為 27-202 平方公里 (Hwang, 2003)。其活動模式於春夏季為日行性，但秋冬季當秋、冬季殼斗科果實盛產時，則日夜的活動機率皆大 (Hwang and Garshelis, 2007)。近年因棲地破壞，且於高海拔地段，食物資源的可及性較低且物候環境較嚴苛，故黑熊現今分布多集中於低中海拔地區 (吳尹仁, 2007)。

食性研究為各物種的自然史之基礎，在許多未知的資訊下，提供人對這物種的基礎認識 (Salas and Fuller, 1996)。因為營養提供動物維持生存、生長之所需，影響動物的存活和繁殖，而了解野生動物的食性如何隨著時間和棲息地的改變，則提供關於其族群動態、物種和環境的交互作用，以及其他生態學的重要知識。野外台灣黑熊的食性研究由 Hwang 等 (2002) 與吳煜慧 (2004) 得知，兩者藉由排遺分析及食痕辨識，得知野外黑熊食性有季節性變化，春季以新鮮的嫩草、植物的幼芽及嫩葉為主食；夏季以碳水化合物含量豐富的果實、漿果類為主，有香楠 (*Machilus zuihoensis*)、山枇杷 (*Eriobotrya deflexa*)、台灣蘋果 (*Malus formosana*)、獼猴桃 (*Actinidia chinensis*) 等；秋、冬季則以脂肪含量豐富的堅果為主，如台灣胡桃 (*Juglans cathayensis*)、青剛櫟 (*Cyclobalanopsis glauca*) 等。當植物性食物缺乏時，也會捕捉其他動物性食物，包括山羌 (*Muntiacus reevesi*)、台灣山羊 (*Naemorhedus swinhoei*)，昆蟲、膜翅目

之蜜蜂及螞蟻等(Hwang et al., 2002)。

雖然排遺分析廣泛應用於探索野生動物的食性，卻受到不同食物消化率的影響，造成詮釋食性上誤差(Hewitt and Robbins, 1996)。這種情況常發生在食肉目動物，因為牠們對於動物性及植物性食物之消化率不一致時，常會導致排遺分析上誤差。藉由排遺中之殘渣判斷食肉目動物食性，易消化的食物（如動物性食物），因為消化率較佳，故動物性食物於排遺殘渣中較少含量，導致低估食肉目動物對於動物性食物的採食量；反之不易消化的食物（如植物性食物），因為消化率較差，故植物性食物於排遺殘渣中較多含量，反而高估動物對於植物性食物的採食量。故針對排遺分析其方法學上的限制，本研究目標為透過排遺中的殘渣分析，推估兩種校正係數。比較彼此之差異，選擇消化的校正係數，以減少沖洗殘渣後的損失，配合不同食物消化率的差異，此可用於幫助回推野外黑熊進食量，以減少排遺分析之誤差，釐清黑熊對於食物資源利用之關係。

國內圈養黑熊的食性研究，仍集中於食物選擇和營養成分之影響。如楊吉宗等（2001）探討圈養黑熊嗜食性與食性營養分之關係，發現黑熊對食物的選擇順序非任意的，但受營養分含量的影響不大。邱昌宏（2007）探討圈養黑熊之食物選擇行為的影響因素，包括食物營養、顏色、大小、單寧酸等，發現圈養黑熊不論在任何季節，對試驗食物之偏好等級與食物營養含量之碳水化合物、總能成顯著正相關，而與食物中之水分、粗蛋白、灰分含量成負相關。然而對於黑熊的消化生理資訊等相關研究卻很缺乏。

黑熊為食肉目動物，就適應的角度來看，理論上熊吃動物性食物的消化率最高，但野外台灣黑熊的以植物性為主食，植物佔食性80%以上(Hwang et al., 2002)。為何野外黑熊吃下大量的植物，如何吃會最有效率，以維持黑熊每日的基礎代謝率，成為黑熊食性研究的重要議題。因此研究黑熊對於不同種類食物之表面消化率，可幫助了解其食物對黑熊的營養價值，黑熊取食的原因及黑熊對食物的適應性，以提供學者了解黑熊的消化資訊等。本研究另一項目的為利用圈養動物，依據野外黑熊覓食情況，挑選具有特殊代表性食物，透過餵食測驗，分析其表面消化率（apparent digestibility），得知黑熊對不同食物其營養的利用程度，進一

步了解營養和能量對黑熊的影響。

### 一、以圈養動物為試驗動物

野外熊類食性及營養代謝皆觀察不易，一則是因為牠們族群密度一般都很低，可觀察樣本數偏低；另外自然環境變化多端，無法控制或操弄環境因子，故往往無法釐清因果關係。因此，利用圈養動物試驗，透過實驗設計可提供較準確的資訊(Farley and Robbins, 1994)，發展新技術，如收集動物毛髮及血液，利用同位素追蹤棕熊 140 年的食性變化(Hilderbrand et al., 1996; Hilderbrand, 1998)。此操作也可提供野外不易測得的重要資訊，比如動物的消化生理，以及食物如何影響覓食行為等(Farley and Robbins, 1995)。

雖然圈養動物的缺點，除了花費金額高，研究的樣本數也易受限於個體因素影響，加上有些圈養動物已習慣平時飼養所提供的食物，通常較野外食物精緻，故在研究消化營養的情狀下，結果有時則會與野外動物有所差異(Litvaitis, 2000)。但這些限制則透過嚴謹的實驗設計，試驗前給予動物適應期等方式，減少試驗的誤差性。

### 二、熊科動物的消化道結構

熊科動物的消化系統，消化道由口腔、舌、食道、胃、十二指腸、空腸、回腸和直腸組成，及消化腺由肝臟、脾臟、胰臟等組成。熊的消化道較短，相較於草食性動物的消化道為體長的 25 倍，熊的消化道僅有體長的 5-8 倍，依靠強而有力的胃部肌肉和胃內低 pH 值(3.5)分解食物，沒有盲腸無法行發酵作用消化較大分子的食物，如纖維質等。熊科動物的腸道長度，相較於完全食肉的動物擁有較長的小腸，依序為北極熊 (*Ursus maritimus*)、棕熊 (*Ursus arctos*)、美洲黑熊 (*Ursus americanus*)、貓熊 (*Ailuropoda melanoleuca*)。消化道結構具有一般食肉動物適應性的特點，主要表現於消化道內的黏膜細胞較多、小腸絨毛較長、腸道黏膜肌層與肌肉層較厚等，藉此增加養分吸收的能力(Stevens and Hume, 1995)。

### 三、食物之消化率測定

食物可提供的營養分的潛在價值，可藉化學分析獲得，但動物真正能夠利用的營養分程度，則必須扣除消化吸收和代謝等不可避免的損失（顏宏達，1985）。故食物之消化試驗，包括營養成分之消化吸收和排遺內之無法被吸收利用的營養量。

#### （一）消化道通過時間、停留時間、總平均停留時間

不同的食物通過腸道時間亦不同(Best, 1985)，通過時間、停留時間及總平均停留時間這 3 種資訊，可幫助了解動物之腸道蠕動的生理機制，又與動物腸道結構、食物型態及消化率有關係(Warner, 1981)。食物經過動物食入消化到排出的時間，會影響到食物消化的狀況。一般分類，一為食物通過時間（passage time, PT），定義為食物從吃入到第一坨排遺出來的時間；二為食物停留時間（retention time, RT），定義為吃入食物後直到所有物都排遺完為止。另有學者指出因動物排遺時間會隨胃腸內食物減少而延長，故將排遺時間及排遺坨數相乘加權，推估總平均停留時間（total mean retention time, TMRT）(Holleman and White, 1989; Stevens and Hume, 1995)。

#### （二）表面消化率測定

食物消化率（digestibility）定義為相較於食入食物的潛在價值，食物成分沒有從糞便中排出之比例，即假設這些比例的食物成分已被動物消化且吸收；一般以乾物質比例或百分率表示（顏宏達，1985）。表面消化率（apparent digestibility）定義為取食的物質含量扣除糞便中殘留物質部份，即為動物所消化吸收之物質，但不考慮部份糞便中的物質並非來自食物，而是源自腸道微生物或動物，包含消化酵素、分泌物、消化道內脫落的表皮及微生物菌體等（顏宏達，1985）。但這些內源性物質隨糞便排出，亦會造成真正被吸收的食物比例被低估；但表面消化率可顯示食物的有效成分，確實表示採食食物的淨結果。

##### 1. 傳統法（conventional methods）

記錄個別動物的採食量及排遺量，並分析其化學成分，以求得在消

化道中被吸收之營養分比例，即為全糞收集法。消化試驗前 1 週，將試驗食物餵食試驗動物，目的在使動物適應擬測試的食物，並排除消化道內早先的殘餘物，謂之適應期。雜食性動物通常以 8 天之適應期作為新食物適應；消化試驗期的天數為 3 天，但適應期不收排遺，消化試驗期才收集排遺，直至試驗結束（謝清元等，1988）。而且餵食量、喝水量必須每天固定，避免排遺量之變異過大(Pond et al., 1995)。單一餵食之食物表面消化率計算公式：

$$\text{表面消化率 (\%)} = \frac{\text{採食總量} - \text{排遺總量}}{\text{採食總量}}$$

試驗開始後，紀錄餵食量及糞便排出量，適應期通常為 5-14 天，期間越長所得結果越精確（顏宏達，1985）。單胃動物（例如豬、黑熊等）實驗時，在試驗開始（第 1 餐）及結束（最後 1 餐）之食物中，可添加不可消化的有色物質，如氧化鐵（ferric oxide）、三氧化二鉻（Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）或長鏈烷類（C<sub>25</sub>-C<sub>35</sub>）等作為染料，將該次進食之食物染色，故該次排遺會呈現顏色，以方便當次排遺收集，作為動物排遺時間之指標。排遺之收集要等到有色物質（染料）在排遺中出現才開始收集，以消除之前進食的影響，並於下次染料出現時停止收集排遺。

## 2. 指示劑法 (indicator methods)

有時因為缺乏合適的設備，無法取得個別動物之採食量及排遺量，可在飼糧中添加完全不消化之物質（指示劑），如木質素（lignin）、三氧化二鉻（Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）或長鏈烷類（C<sub>25</sub>-C<sub>35</sub>）等，只需分別測定飼糧、排遺物中營養分與指示劑於乾基中之比例，即可求得消化率(McDonald et al., 2002)。指示劑法所估算之表面消化率公式如下：

營養分之表面消化率 (%) --- 指示劑法

$$= 100 - \left( 100 \times \frac{\text{marker / feed DM}}{\text{marker / feces DM}} \times \frac{\text{nutrient / feces DM}}{\text{nutrient / feed DM}} \right)$$

DM：乾物質 (dry matter)

因此，所有消化率試驗，每天餵食量應定時且定量，藉由研究動物每日的進食量及每日糞便中排出的殘餘養分，計算每日每種養分的消化量及消化率（謝青元等，1988）。

### （三）影響表面消化率之因素

#### 1. 食物的營養組成

食物本身化學組成之恆定為影響消化率因素之一，特別是食物中纖維含量多寡。難消化的纖維（fiber）包括植物細胞壁及幾丁質（chitin）。植物細胞壁由纖維素（cellulose）、半纖維素（hemicellulose）、膠質（pectin）、木質素（lignin）和少許鍵結的蛋白質組成。而幾丁質（chitin）的結構為類似纖維素的多醣類(Knorr, 1984)，廣泛存在於藻類、真菌等的細胞壁，以及軟體動物的內骨骼、節肢動物甲殼綱、昆蟲綱的外骨骼中。對於哺乳類動物來說，纖維素和幾丁質都是難以消化的成分。

#### 2. 食物組成

不同食物本身有個別之消化率，然而若將各種食物混合調配餵食，飼糧間會產生聯合效應（associative effect），整體飼糧消化率也會隨著有所改變（顏宏達，1985）。

#### 3. 食物處理方式

食物處理方式也會影響消化率之差異，如烹煮後的食物，有助於澱粉類之糊精化作用（dextrinization），可提高消化率。細切食物雖對食物消化率無直接之影響，但細切食物可避免動物挑食，阻止動物選擇較易消化的成分，故間接會減低其消化率（顏宏達，1985）。

#### 4. 動物因素

消化率雖受食物組成影響甚大，然而不同動物對於相同的食物的消化率亦隨著物種而異，如低纖維食物均能被反芻動物及非反芻動物消化，但高纖維者則只有反芻動物能較完全消化（顏宏達，1985）。對非反芻動物的豬而言，蛋白質之表面消化率比反芻動物來的高，因其代謝糞氮排出量較反芻動物者為低（顏宏達，1985）。

## 5. 飼糧採食量

飼糧採食量定義是以成年動物維持基本生理機能 (maintenance) 時所需的飼料量，此飼料量為促使成年動物體內熱能平衡 (energy equilibrium) 達一致的所需數量 (顏宏達, 1985)。採食量增加會導致食物在消化道停留時間縮短，因為消化道酵素作用時間少，造成消化不良，使消化道之有機物消化率及消化能降低。舉例來說，假若動物突然進食量增加，過多的食物量已超過平日動物所能消化之養分時，導致養分無法完全消化，造成動物腸胃不舒服使得排遺量增加，導致消化率下降。

## 四、校正係數 (correction factor, CF)

排遺分析常利用排遺內未消化的殘渣，推估食肉目的的食性，包括組成及相對重要性。食肉目動物對於植物性食物消化較差，故植物性食物於排遺含量佔較高比例；而動物性食物因消化率高，情況則剛好相反，殘渣於排遺含量佔較少比例。故若僅以排遺中的殘渣含量，回推動物之進食量，將於食肉目動物造成很大誤差(Hewitt and Robbins, 1996)。對食肉目動物而言，易消化的食物如動物性食物，因消化率較佳，故動物性食物於排遺殘渣中具有較少含量，而可能低估食肉目動物對於動物性食物的採食量；反之，不易消化的食物（如植物性食物），因消化率較差，故植物性食物於排遺殘渣中具有較多含量，則可能高估食肉目動物對於植物性食物的採食量。由於食物消化率差異，有學者建議應用校正係數評估食肉目動物的食性，比如狐狸 (*Vulpes vulpes*) (Lockie, 1959; Goszczynski, 1974)、狼 (*Canis lupus*) (Floyd, 1978)、美洲獅 (*Felis concolor*) (Stains, 1958; Robinette, 1959; Ackerman, 1984)、馴養家貓 (Liberg, 1982)、棕熊 (*Ursus arctos*) (Hewitt and Robbins, 1996)等，以反映動物真正的進食量。

校正係數起初僅利用於計算排遺內殘留的毛髮及毛皮比例，然有學者將此觀念擴大應用至植物性食物，使其應用更為廣大(Hewitt and Robbins, 1996)。校正係數透過餵食試驗，利用排遺中殘渣之乾基量轉換成原來所攝入的食物總量或濕重。有些學者將餵食的乾重量及排遺中的

殘渣乾重量，利用二者之線性關係，還原動物真正的消化比例(Floyd, 1978; Liberg, 1982; Ackerman, 1984)。Lockie (1959) 將校正係數定義為：動物的進食量 (g) 除以排遺物殘渣乾重量 (g)。例如，若動物食入乾重量為 1,729 公克，排遺內未消化之殘渣乾重為 75.2 公克，則校正係數為 23 (1729/75.2)。

校正係數分為2種類型：(1)經過沖洗的校正係數(pre y mass presented, PMP)(Lockie, 1959; Ruhe et al., 2008);(2)真正的消化量的校正係數(pre y mass consumed, PMC) (Artois et al., 1987; Stahl, 1990; Webbon et al., 2006)。前者應用於野外動物的食性分析，常利用篩網沖洗排遺，並將沖洗後的殘渣進行分類，以了解野外動物之食性；故沖洗的校正係數的公式為進食乾重量 (g) 除以排遺沖洗後殘留物質乾重 (g)。然而因為活動範圍較大之動物，不易觀察其進食狀況，且排遺不易收集，後者則直接觀察圈養動物的真正進食量，計算進食乾重量及排遺殘渣乾重量之線性關係，以正確推算校正係數，消化的校正係數公式為進食乾重量 (g) 除以排遺物乾重量 (g)。

Liberg (1982) 指出影響沖洗的校正係數之3點因素：(1) 排遺經過沖洗後，會遺漏部分的毛髮和排遺殘渣，導致沖洗損失的誤差。(2) 不同動物對於相同食物的校正係數，受到動物對於食物處理的方式，導致沖洗的校正係數隨之改變。(3) 動物對於食物消化率不一致，也會影響其沖洗校正係數。Ruhe等 (2008) 發現獵物利用 (prey use) 和校正係數密切有關，例如歐亞猞猁 (*Lynx lynx*) 具備爪子可支解較大型動物屍體，留下部分無法消化的東西 (如骨頭、毛髮等)，故獵物利用度少，促使高消化率，產生殘渣少，所得校正係數值大；反之獵物利用度高，吃入大量無法消化之物質，促使低消化率，產生殘渣多，所得校正係數值小。他同時發現其篩網孔徑越小 (0.5 mm、2.0 mm)，沖洗所得之殘渣就越多，即會產生較小數值的校正係數，故建議校正係數需針對動物對獵物的食物處理方式，及以相同篩網孔徑為基礎。棕熊研究指出熊科動物對於偶蹄動物之毛髮和毛皮取食情況不一致，導致2者消化率差異較大，故建議校正係數至少為2隻熊個體以上之數據取平均值，以減少其差異(Murie, 1948)。

因此為了解雜食性熊科動物對於野外環境食物資源之利用模式，除

了瞭解其表面消化率之外，也應探究校正係數，以利用排遺估計取食的食物生物量，以更加接近真正的營養組成(Dearden, 1975)。本研究目標為探討亞洲黑熊對於不同種類食物之消化及利用情形，協助了解黑熊食性選擇之可能因素，並應用於校正排遺分析之誤差，協助利用野外排遺分析以確實反映野外黑熊之食性。試驗目的為：(1) 了解黑熊對於動物性及植物性食物的消化情況。(2) 得知黑熊進食不同種類食物，其所對應之食物通過時間、停留時間、總平均停留時間。(3) 比較沖洗 (prey mass presented) 和消化 (prey mass consumed) 校正係數，並且釐清校正係數與表面消化率這二者的關係。

## 貳、研究方法

### 一、研究地點及對象

本研究進行餵食試驗的地點為行政院農業委員會特有生物研究保育中心所屬之低海拔試驗站，位於台中縣和平鄉自由村烏石坑地區。該試驗站用地共計 382 ha，海拔高度約 1,000 m，年平均氣溫約 18 °C，年雨量達 2,684 mm，相對溼度平均 85%，整年有霧天氣約 100 天，並有明顯之乾溼季（資料來源：行政院農業委員會特有生物研究保育中心低海拔試驗站）。

由於採食量易受到動物體重及健康差異而有所變化，試驗個體體重不可有太大之差異，以免影響實驗數據之有效性；故試驗個體的選擇需考量體重及年齡相近，以減少因生理差異導致的誤差。從試驗站內圈養的 10 隻黑熊中選擇 4 隻亞洲黑熊，包括 2 隻雄熊：卡特 C、阿財 D；2 隻雌熊：黑妞 A、元元 B，體重 100-150 kg 不等（表 1）。由於個體來源無法確定是否為原生的台灣黑熊，故在此皆通稱為亞洲黑熊。

4 隻黑熊個體的圈養環境，可分為大籠舍和小房間 2 大部分，小房間為方便工作人員清掃黑熊籠舍時，可暫時隔絕黑熊活動的地方，其小房間的圈養環境為水泥地。大籠舍又分為水泥地和泥土地，其中泥土地長了些許雜草，整個黑熊籠舍以泥土地和水泥地區分，4 隻黑熊個體的圈養面積為：黑熊個體 A 分別為 15.3 m<sup>2</sup>、29.7 m<sup>2</sup>，總面積為 45 m<sup>2</sup>；個體 B、D 分別為 15.6 m<sup>2</sup>、29.4 m<sup>2</sup>，總面積為 45 m<sup>2</sup>；個體 C 分別為 15.75 m<sup>2</sup>、31.5 m<sup>2</sup>，總面積為 47.25 m<sup>2</sup>。消化試驗期間並不限制黑熊的活動範圍，黑熊可自由活動於圈養的籠舍內。

這些圈養黑熊平日的飼糧包括蘋果、番石榴、木瓜、柳橙、紅蘿蔔、地瓜、玉米、饅頭、狗飼料、雞蛋、豬肉、肉骨，每日每隻個體各種食物的供應量為 200-1,700 g 不等，總重約 5-6 kg，依據體重來決定餵食量（附錄）。目前試驗站內圈養之亞洲黑熊，以體重 100 kg、120 kg、150 kg 評估 1 天所需的基本熱量，分別約為 3,834 kcal、4,485 kcal、5,751 kcal，以供應黑熊維持基本生理所需。平日餵食時間為上午 9 點至 10 點，星期 1 到星期 6 為 1 日 1 飼，每週 6 另再供應 1 次肉類食物，包括豬肉及肉骨（各約 350 g），並於每週日禁食 1 天。

## 二、餵食試驗

本實驗利用 4 隻圈養的亞洲黑熊，餵食 8 種不同的食物，每種食物試驗天數為 12 天，由第 10 天起連續採樣 3 次，分別進行表面消化率、停留時間及校正係數之研究。

### (一) 試驗食物之選擇及處理

亞洲黑熊為雜食性動物，野外食物包含偶蹄動物、昆蟲等動物性肉類，及果實、根、莖等植物性食物(Hwang et al., 2002)。研究指出黑熊對平日餵食的熟悉食物偏好度普遍較野外新奇食物為高(邱昌宏, 2007)，主因為圈養動物長期餵食精緻食物，提供的食物大多較甜、適口性佳，因此對食物的熟悉度會影響採食情況。因此試驗食物依據野外黑熊食性及食物熟悉度，盡量以平時低海拔試驗站餵食之食物為主，但挑選和野外食物屬性相似的食物代替。餵食試驗之食物來源分為天然及調配食物 2 種，此試驗提供唯一採集來自野外的天然食物為香楠 (*Machilus zuihoensis*)；其他食物則儘量選擇與野外食物屬性相似的常用食物取代，如堅果以板栗 (*Castanea mollissima*) 取代。

在顧及受試動物於試驗期間維持營養均衡的前提下，為了有效涵蓋野外黑熊所利用食物的多元性，並考量季節性利用的重要食物(Hwang et al., 2002)，以及這些食物的可獲得性，本研究試驗的食物選擇分為 8 種(表 2)。(1) 犬飼料 (寶多福，成犬飼料)：基於滿足動物基本營養需求，避免黑熊餵食植物性食物造成的營養不良，故加入犬飼料作為基礎配方，以搭配其他試驗的食物，包括水果、根莖葉、香楠、無脊椎動物 4 項食物，分析黑熊對不同食物組成的營養利用程度。因此需額外餵食單一犬飼料，作為還原其他混合餵食之單項試驗食物的消化率(參照第 18 頁 Gray 2001 的計算公式)。(2) 水果：野外黑熊覓食各種植物果實，選擇蘋果、木瓜、柳橙、奇異果 4 項水果混合。(3) 根莖葉：選擇地瓜為根莖類，空心菜為葉菜類兩項食物。(4) 香楠：樟科植物果實為野外黑熊夏季之重要食物，以此作為黑熊夏季食物之代表，野外採集成熟香楠果實餵食。(5) 板栗：野外黑熊在秋冬季會採食大量的殼斗科果實，然因

野外果實採集不便，以市場上購買的板栗 (*Castanea mollissima*) 取代。(6) 哺乳類動物：野外黑熊進食偶蹄類動物性食物，如山羌 (*Muntiacus reevesi*)、野山羊 (*Capricornis crispus swinhoei*) 等，本研究以豬肉之肉骨 (肋骨部位) 及少量豬皮代表。(7) 無脊椎動物：野外黑熊會採食昆蟲，如鞘翅目 (*Coleoptera*) 昆蟲幼蟲、同翅目 (*Hemiptera*) 蜂窩及蟻窩等，故以黃粉蟲 (*Tenebrio molitor*) 代表，即為麵包蟲。(8) 平日飼糧：低海拔試驗站平日給予黑熊的餵食食物，此提供圈養動物平時消化情況的基本參考數值。餵食食物包含蘋果、番石榴、木瓜、柳橙、紅蘿蔔、地瓜、玉米、饅頭、狗飼料 9 項食物。

就餵食食物種類而言，各項試驗食物組成及乾基比例 (%)，可分為單一及混合 2 種 (表 2)。單一餵食意指餵食的食物只有單一食物類別，如犬飼料、板栗或哺乳類動物。前兩者比例為 100%；哺乳類動物，包含豬肉骨 88.2% 及豬皮 11.8%。混合餵食指試驗食物混合不止 1 種食物類別。水果包含 5 項，蘋果 10.2%、柳丁 8.8%、木瓜 6.3%，奇異果 10.7% 和犬飼料 64.0%。根莖葉包含 3 項，地瓜 31.4%、空心菜 3.2% 和犬飼料 65.4%。香楠包含 2 項，香楠 17.9% 和犬飼料 82.1%。無脊椎動物包含 2 項，麵包蟲 46.9% 和犬飼料 53.1%。平日飼糧參照低海拔站例行性餵食之比例，9 項食物為蘋果 3.7%、柳丁 2.2%、木瓜 4.6%、番石榴 1.5%、地瓜 59.8%、紅蘿蔔 1.8%、玉米 3.3%、饅頭 10.6% 及犬飼料 12.5%。

香楠果實以徒手或高枝剪於屏科大校區採集，選擇大顆青色及黑色果實，餵食部位包括果實和果蒂。試驗食物儲存方式，植物性食物以冷藏為主，香楠在試驗前 1 個禮拜採集，包裹報紙後冷藏；哺乳類動物以冷凍為主，直至餵食試驗時才解凍。實驗不分季節進行，試驗期間僅餵食特定的試驗食物。

食物重量一律以溼重為主，每次餵食屬性相同的數種混合食物。試驗期間黑熊的每天餵食熱量標準，以試驗站平日餵食黑熊的能量為主，黑熊體重為 100 kg，其每日所需的能量為 38.34 kcal/day；體重為 120 kg，其每日所需的能量為 37.38 kcal/day；體重為 150 kg，其每日所需的能量為 38.34 kcal/day。因動物在空腹、禁食及清醒的狀態下，最低的熱量消耗量，即為基礎代謝率 (basal metabolic rate, BMR)，公式為  $BMR = 70 \times \text{body weight}^{0.75}$  (Kleiber, 1947)。維持 (maintenance) 成年動物的活動，且動物

的體重可長時間穩定的所需能量，約為2倍的 BMR，即為 $2 \times$  (BMR= $70 \times \text{body weight}^{0.75}$ ) (Golley et al., 1965; Moors, 1977)。以此熱量換算，黑熊體重為100 kg、120 kg、150 kg，即黑熊基礎代謝能為2,214 kcal、2,538 kcal、3,000 kcal；維持所需能量為4,428 kcal、5,076 kcal、6,000 kcal。考量試驗站平日餵食黑熊的能量，剛好介於成年動物的基礎代謝率和維持能量之間，因試驗站圈養黑熊已有10多年經驗，動物亦能維持基礎體重，故以原本的實際餵食的能量為主（附錄）。

## （二）試驗流程

研究雜食性動物的消化須提供擬試驗 8 天之適應期，以作為新食物適應（謝青元等，1988）。配合平時的餵食時間（星期 1 到星期 6），以及考量試驗的食物多為平日餵食之食物，故試驗操作流程共 12 天分為兩大部分，第 1-9 天為「食物適應期」，第 10-12 天則為「消化試驗期」。其中於第 6-7 天時進行食物通過腸道時間（passage time, PT）、停留時間（retention time, RT）及總平均停留時間（total mean retention time, TMRT）試驗，並計數 48 小時排遺的累計坨數；第 10-12 天則進行表面消化率（apparent digestibility, AD）及校正係數（correction factor, CF）試驗（表 3）。

試驗期間僅餵食試驗食物，1 天僅餵食 1 次。餵食時間為上午 9 點半至 10 點半，次日同一時刻進行餵食前，先取出前日剩下食物之殘餘，記錄食物剩餘量以計算該前日之進食重量。餵食試驗前，測試黑熊個體對餵食食物的接受度，紀錄其採食情況，避免黑熊不願採食，而影響其食物消化率。

### 1. 食物通過腸道、停留時間及總平均停留時間

每隻黑熊個體於每次餵食試驗時，食物通過腸道、停留時間及總平均停留時間僅作 1 次紀錄，因受限於黑熊入睡後不易觀察排遺情況，故觀察時間訂為 9:00-17:00。

在食物適應期的第 6 天，將試驗食物切成小塊狀後，添加試驗食物

之乾基重量 1-1.5%三氧化二鉻 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) 粉末 (顏宏達, 1985), 作為排遺顏色標記 (綠色), 於餵食盆內將食物和三氧化二鉻粉末混合均勻後餵食。為方便觀察黑熊的排遺狀況, 這 2 天將黑熊的活動限制於大籠舍內, 每隔 1 hr 於籠舍外觀察黑熊排遺的顏色變化狀況, 每隔 3 hr 會給予黑熊些許試驗食物 (約 50 g) 引誘入小房間, 以便進入大籠舍內確實觀察排遺顏色之變化, 並紀錄收集時間及坨數。2 天的觀察期大約額外餵食未加入三氧化二鉻的試驗食物 (200-300 g), 故不影響黑熊的排遺顏色辨識。有時黑熊的第一坨排遺時間 (即通過時間) 超過 17:00, 故會持續追蹤第一坨排遺時間至 23:00。

食物試驗期第 7 天為禁食日, 不餵食繼續觀察黑熊排遺情況, 直到所有試驗食物確定排出, 排遺中最後出現綠色的時間, 即為黑熊的食物停留時間。發現黑熊進食一次食物會在 48 hr 內, 即可將該次食物全部排洩完畢, 因此以 48 hr 的排遺累計坨數作為黑熊進食該次食物後產生的排糞坨數代表; 且以 48 hr 排遺累計總乾重, 代表黑熊進食該次食物後產生的排遺總乾重。

黑熊的排遺時間多集中於 24 hr 內, 24 hr 後排遺顏色逐漸減少, 甚至需要翻動排遺以觀察  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的殘留情況。因為腸道中的剩餘食物不多, 故會有短暫無排遺的間隔期, 排遺時間的間隔因此拉長為 2-4 小時。這 2 天觀察排遺時間皆為 9:00-17:00, 並未記錄 17:00 至次日 9:00 黑熊的排遺時間和坨數, 故將這時段累計的排遺坨數乘於 24 hr 或 48 hr, 加上其餘黑熊的排遺時間和排遺坨數相乘後, 除以總坨數, 即可得知此食物於動物腸道總平均停留時間 (total mean retention time, TMRT) (Holleman and White, 1989; Stevens and Hume, 1995)。

$$\text{TMRT} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i T_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$

$M_i$ : 排遺坨數,  $T_i$ : 距離進食時間的排遺時間間隔。

## 2. 食物營養及表面消化率分析

每次餵食試驗黑熊皆有 9 天新食物適應期, 以便將試驗前黑熊胃腸中

未消化食物全部排空。9 天適應期後，將黑熊個體每天的消化情況視為一致，以 24 hr 為基準，在第 10-12 日之消化試驗期間，採集 3 天內各種食物樣本及黑熊糞便樣品 3 次，進行營養成分分析與表面消化率計算。

在這 3 天內，紀錄 4 隻黑熊個體於每天各別採食的食物種類及總重量。排遺採樣則採用全糞收集法，秤重並記錄黑熊的每日排糞總重量及坨數，後將其 3 天數據取平均值±標準差。將每天收集的排遺均質混勻後將其濕重均分為 2 份，一半進行排遺內含物的營養分析，另一半進行排遺沖洗。

### (三) 試驗食物及排遺樣本分析

試驗食物及排遺內含物之營養份分析，乃收集第 10-12 天消化試驗期的餵食食物及黑熊排遺樣本。食物採樣 3 天，混合後烘乾；採樣食物之部位，以動物吃入的部位為主。若將整顆果實吞下，烘乾時則保持原樣，如香楠；倘若剝除外殼不吃，則食物烘乾時則需去除外殼，如板栗。將當天收集之排遺濕重均分為 2，一半進行表面消化率測定，另一半進行校正係數殘渣估算。

收集的排遺與試驗食物之樣本採集、秤重後，經 60 °C 烘乾 5 天後，置於室溫下回溫 1 天後再秤重（即風乾重）。烘乾之樣本以 Wiley mill 粉碎，使其通過 20 mesh 篩網（5.69 mm），統一營養分析樣本粉末之大小，以便進行營養分析試驗，置於塑膠封口袋中密封，再放入乾燥箱中保存，供日後進行分析使用。

營養成分分析項目包括乾物質（dry matter, DM）、粗脂肪（crude fat, CF）、粗蛋白（crude protein, CP）、粗纖維（crude fiber）、灰分（ash），而無氮抽出物（nitrogen-free extractives, NFE）是營養總百分比減去水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纖維之百分比值後求得（顏宏達，1985）。代謝能的估算為粗脂肪數值乘以 9 倍，加上粗蛋白及無氮抽出物數值各別乘以 4 倍的總值（顏宏達，1985）。總能的估算為粗脂肪數值乘以 9.45，加上粗蛋白數值乘以 5.65，及無氮抽出物數值加粗纖維數值乘以 4.15 的總值（顏宏達，1985）。

飼糧及排遺樣品之內含物營養分析，參考吳春利（1997）之方法進行，分析方法簡述如下：

### 1. 水分 (moisture)

樣品混合均勻後取 2 g 置於玻璃秤量瓶中，在烘箱中以 105 °C 烘乾 2 小時，放入乾燥器中冷卻 30 分鐘後秤重，再送回烘箱中以 105 °C 烘乾 30 分鐘後冷卻 30 分鐘再秤重，一直進行到重量穩定（恆重）才結束，所失去的重量即為含水量。達到恆重的標準有二：(1) 2 次稱重間，重量減輕在 3 mg 以下；(2) 秤重重量比前一次增加，表脂肪氧化增重，以前一次重量為準。

$$\text{水分 (\%)} = \left[ \left( \frac{\text{樣品重} - \text{烘乾後樣品重}}{\text{樣品重}} \times 100 \right) + (\text{新鮮樣品含水量}) \right]$$

樣品乾物質 (dry matter, DM) %

$$= 1 - \left[ \left( \frac{\text{樣品重} - \text{烘乾後樣品重}}{\text{樣品重}} \times 100 \right) + (\text{新鮮樣品含水量}) \right]$$

### 2. 粗蛋白 (crude protein, CP)

取 0.7-1 g 樣本，加入 12 ml 濃硫酸 (95-98%) 與 1 g 催化劑 ( $K_2SO_4$  與  $CuSO_4$  以 9:1 混合而成)，經加熱 4 小時左右 (樣品變綠色後再加熱 1 小時)，使含氮化合物轉變為硫酸銨  $(NH_4)_2SO_4$ 。冷卻後加入 20 ml 蒸餾水，再加入 30 ml 濃氫氧化鈉 (40%) 並加熱，使氮  $NH_3$  釋出。用已知濃度的 0.1 N  $H_2SO_4$  吸收氮氣，用已知濃度的 0.1 N NaOH 滴定中和，即可求得氮的含量，將氮量代入公式即可計算出含氮量，再乘 6.25 即求得粗蛋白量。

$$N\% = \frac{(\text{ml } H_2SO_4 \times N_{NH_2SO_4} - \text{ml } NaOH \times N_{NaOH}) \times 14.0067}{\text{樣品重(mg)}} \times 100$$

$$\text{粗蛋白質 (\%)} = N\% \times 6.25$$

### 3. 粗脂肪 (crude fat, CF)

利用測量過水分的樣品，採用脂肪抽除裝置 (goldfish fat extraction apparatus) 進行粗脂肪萃取。將 30-35 ml 乙醚放置於萃取瓶中，加熱、冷凝以萃取樣品中的脂肪，然後將乙醚揮發回收，剩下殘留物即為粗脂肪。因為乙醚萃取物除脂肪外，尚含有少量非脂肪物 (如蠟、色素、脂

溶性維生素等)，故稱為粗脂肪。

$$\text{粗脂肪 (\%)} = \frac{\text{含脂肪的脂肪抽取杯重} - \text{脂肪抽取杯重}}{\text{樣品重}} \times 100$$

#### 4. 粗纖維 (crude fiber)

樣品經乙醚萃取後，再進行粗纖維分析。取 2 g 樣本於無緣燒杯中，加入 1.25% 之  $\text{H}_2\text{SO}_4$  200 ml 煮沸 30 分鐘，去酸液後；加入 1.25% 之  $\text{NaOH}$  200 ml 煮沸 30 分鐘，不溶解的殘餘液體利用古氏坩鍋抽氣過濾，經  $130^\circ\text{C}$  烘乾後，經冷卻後秤重得 A。再移入  $600^\circ\text{C}$  灰化爐中至少 30 分鐘，降溫後秤重得 B，即是粗纖維。

$$\text{粗纖維 (\%)} = \frac{\text{烘乾重量(A)} - \text{灰化重量(B)}}{\text{樣品重}} \times 100$$

#### 5. 灰分 (ash)

將樣本秤重 2.5 g 後置入坩堝中，放進灰化爐，於  $600^\circ\text{C}$  灰化 4 小時以上，燒掉所有有機物，待灰化爐溫度降至  $300^\circ\text{C}$  後取出坩堝，放入乾燥器冷卻 1 小時後秤重，即為灰分。

$$\text{灰分 (\%)} = \frac{\text{含灰分坩堝重} - \text{脂肪抽取杯重}}{\text{樣品重}} \times 100$$

#### 6. 無氮抽出物 (nitrogen-free extractives, NFE)

此數值為計算值，將分析出的 5 種營養成分數值，為水分、粗脂肪、粗蛋白、無氮抽出物、粗纖維及灰分，套用以下公式：

$$\begin{aligned} \text{無氮抽出物 (\%)} = \\ 100 - (\text{水分\%} + \text{粗脂肪\%} + \text{粗蛋白\%} + \text{粗纖維\%} + \text{灰分\%}) \end{aligned}$$

#### 7. 熱能

此數值為計算值，將分析出的 5 種營養成分數值，為乾基、粗脂肪、粗蛋白、無氮抽出物、粗纖維及灰分，套用以下公式：

$$\begin{aligned} \text{代謝能 (Metabolizable Energy, ME) (\%)} = & [(9 \times \text{粗脂肪\%}) \\ & + (4 \times \text{粗蛋白\%}) + (4 \times \text{無氮抽出物\%})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{總能 (Gross energy, GE) (\%)} = & [(9.45 \times \text{粗脂肪\%}) + \\ & (5.65 \times \text{粗蛋白\%}) + 4.15 \times (\text{無氮抽出物\%} + \text{粗纖維\%})] \end{aligned}$$

8. 其中混合餵食之表面消化率數據，為呈現單項食物類別之消化率，本研究以犬飼料做為基礎飼料 (basal diet)，混合 4 種供試飼糧包括水果、根莖葉、香楠及無脊椎動物，計算公式(Gray, 2001)如下所述：

$$\text{基礎飼料的消化率 (即犬飼料)} + \frac{\text{混合食物消化率} - \text{基礎食物消化率}}{\text{供試飼糧在混合飼糧的乾基比例}}$$

#### (四) 校正係數

##### 1. 沖洗校正 (prey mass presented, PMP) 係數

將當日每隻黑熊個體收集的所有排遺，分別稱重、標示清楚後，確實取出一半濕重之排遺量，稱重後利用 2.00 mm、1.19 mm 及 0.70 mm 三層由上至下置放的篩網，過濾、沖洗排遺，以冷水沖洗 3-5 分鐘，直至所有殘渣皆分明為止。而後將其殘渣烘乾並稱重，分別儲存保管，並計算校正係數(Hewitt and Robbins, 1996)。因當初只取一半重量之排遺進行試驗，故校正係數須回乘為 2 倍量，即為沖洗校正係數。

$$CF_{PMP} = \frac{\text{進食乾重量(g)}}{\text{排遺沖洗後殘留物質乾重(g)}}$$

##### 2. 消化校正 (prey mass consumed, PMC) 係數

將所有收集的排遺，一半濕重作營養分析，烘乾、稱重後，須回乘為 2 倍量，即為消化校正係數。利用黑熊進行單一犬飼料的餵食試驗時，得知黑熊進食多少犬飼量和產生的排遺乾重量之關係。搭配犬飼料混合餵食的 4 種食物 (水果、根莖葉、香楠和無脊椎)，以犬飼料在混和食物中所佔的比例，將混合餵食的排遺總重量扣除犬飼料造成的排遺量，即可推估這 4 種混合食物個別的排遺總量。因此需配合現場觀察該受試黑熊的實際進食量，即可推得黑熊排遺與所消耗生物量之間的關係。

$$CF_{PMC} = \frac{\text{進食乾重量(g)}}{\text{排遺物乾重量(g)}}$$

### 三、資料分析

試驗對象為 4 隻黑熊（2 雌 2 雄），餵食試驗共 8 種食物，為檢視雜食性的黑熊為對於動、植物性食物的利用差異，故將食物型態分類 3 項為植物性（水果、根莖葉、香楠及板栗 4 種）、動物性（無脊椎及哺乳類 2 種）、基礎食物（平日飼糧和犬飼料 2 種）。為探討黑熊對天然食物之表面消化率，另將平日飼糧扣除犬飼料部分，代表水果、根莖葉菜類及人為食物饅頭之總括表面消化率，就此稱為綜合植物性食物。所有資料使用 SPSS 12.0 中文版套裝軟體做為統計分析輔助工具。

#### 1. 進食及排糞行為

每種餵食試驗連續 3 天記錄每隻黑熊之進食濕重、乾重及 3 天的排糞率（坨數/日、排遺總濕重（g）/日、排遺總乾重（g）/日），不扣除混合食物中犬飼料進食和排糞的部分，但須扣除黑熊 C 未進行板栗試驗及 B、C 個體進食香楠時，第 3 天排遺量少於前 2 天 500 g，該試驗僅 2 重複，故樣本數為 91。黑熊於消化試驗期的排糞率以每日為計算單位，記錄 24 hr 內黑熊之排糞情況，包括每日坨數、每日排遺總濕重及總乾重。

受黑熊體重不一致影響，其進食量也隨之增加，故相對影響排糞率。因此將 3 種排糞率數據標準化，以黑熊的平均每日排遺總濕重除以進食之總濕重；平均每日排遺總乾重除以進食之總乾重；平均每日坨數分別除以進食之總乾重。再以 Two-way ANOVA 檢定 3 種排糞表現是否受到黑熊個體與食物種類 2 因子，以及其交互作用影響。

將黑熊之進食濕重、乾重及 3 種排糞率為每日坨數、平均每日排遺總濕重、平均每日排遺總乾重，這 5 種數據取其 3 天之平均值±標準差（Standard Deviation, 簡稱 SD）。以 Mann-Whitney U test(以下簡稱 U test) 檢定黑熊取食動物性、植物性食物後，此 3 種排糞率之差異情況；同一食物類別內，4 種植物性食物以 Kruskal-Wallis one-way analysis of variance（以下簡稱 K-W test）檢定這 4 種食物種類之差異，而 2 種動物性及 2 種基礎食物則以 U test 檢定食物種類之差異。以線性迴歸分析比較進食濕重與平均每日的排遺總濕重相關性，黑熊之進食乾重與平均每日的排遺總乾重相關性。

#### 2. 表面消化率

混合餵食之 4 項食物的表面消化率計算，皆已扣除犬飼料的部分。每次食物試驗包括 4 隻黑熊個體（2 雌 2 雄）進行 3 次重複試驗。除了板栗試驗，為 3 隻黑熊個體（A、B、D）；香楠試驗，其中 2 隻黑熊個體（B、C），因排遺量第 3 天比前 2 天收集總量少約 500 g 以上，為避免實驗誤差，將第三天數據剔除，數據僅採 2 重複，之後將所有數據取其 3 天之平均值±標準差（SD）進行比較。

以 U test 檢定黑熊取食動物性、植物性食物後，此 7 種營養成分之表面消化率之差異情況；同一食物類別內，4 種植物性及 3 種基礎食物食物，分別以 K-W test 檢定這食物種類之差異，而 2 種動物性則以 U test 檢定食物種類之差異。

以線性迴歸分析檢定乾基消化率與平均每日排遺乾重之相關性。利用 Pearson correlation 檢定，比較食物營養成分含量與表面消化率之關係，營養項目分別為乾基、粗蛋白、粗脂肪、粗纖維、無氮抽出物及總能，因黑熊排遺中的灰分含量，受限於圈養環境中黑熊排遺常沾取許多小石子影響，故灰分不納入討論。此分析目的為了解食物營養成分含量是否會影響其動物之消化率，其中有顯著差異者進一步以線性迴歸分析作圖表示。

### 3. 食物停留時間

食物之通過時間、食物停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坨數 4 種數據，每次試驗每隻個體僅收集 1 次資料。食物停留時間試驗的進食總濕重和乾重，僅標示第一次食物混合三氧化二銨的餵食量，並未加入額外的餵食量。48 hr 排遺累計坨數為計算黑熊進食一次食物的排糞坨數，因黑熊於觀察天數 2 天時間內即可將該次食物排洩完畢，故稱之為 48 hr 排遺累計坨數，意義不同於排糞率中的平均每日排糞坨數（24 hr）。利用 4 隻黑熊其 3 天之平均每日排遺總乾重和每日坨數，計算出每坨排遺之乾重量，而後乘於 48 hr 排遺累計坨數，即為 48 hr 排遺累計總乾重，以作為黑熊進食一次食物的排糞總乾重之依據。

以 U test 檢定黑熊取食動物性、植物性食物後，比較食物之通過時間、食物停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坨數之差異；同一食物類別內，4 種植物性食物以 K-W test 檢定這食物種類之差異，2 種動

物性和 2 種基礎食物則以 U test 檢定食物種類之差異。

以線性迴歸分析檢定進食濕、乾重，以及食物之粗纖維含量、乾基、總能表面消化率與這 4 種數值之相關性。

#### 4. 消化校正係數

黑熊取食不同食物之校正係數分別收集 3 天數據，計算每隻個體 3 天之平均沖洗校正係數 (prey mass presented) 和消化校正係數 (prey mass consumed)。4 種混和食物 (水果、根莖葉、香楠、無脊椎) 在消化校正係數上，為確實反映該項食物種類之校正係數，利用犬飼料於該項混和食物中所佔的比例，扣除犬飼料造成的排糞量。

試驗發現搭配犬飼料的混合食物，經過冷水沖洗後，犬飼料之殘渣幾乎全部流失，因此可忽略犬飼料，故僅計算其他 7 種試驗食物之沖洗校正係數之影響。消化校正係數則探討 8 種食物之差異。沖洗校正係數除以消化校正係數之比值，則可看出沖洗程序對於黑熊取食不同食物之校正係數的相對影響程度。

以 Wilcoxon signed rank test 檢定個體取食各種食物之沖洗和消化校正係數之差異性。以 Mann-Witney test 分別檢定沖洗和消化校正係數，對於動物性及植物性兩類食物之間是否有所差異。利用線性迴歸分析檢定沖洗和消化校正係數二者之相關性，以及食物粗纖維含量、乾基、總能表面消化率與消化校正係數之相關性。因消化校正係數與乾基、總能表面消化率之相關性，數據分佈呈曲線，故將消化校正係數數值取 log 後，再重新以線性迴歸分析檢定。

## 參、結果

### 一、黑熊覓食行為及取食狀況

試驗之黑熊個體，試驗餵食時間為9：00-11：00之間，並清除籠舍內所有當天排遺。實驗發現，黑熊進食時間很快速，針對不挑食之食物，除了板栗之外，其餘食物觀察發現約5-15 min即可吃完所有食物。板栗餵食總濕重為4,090-6,130 g，因需要黑熊自行剝除外殼，觀察發現黑熊進食板栗時間為10：30-15：00，故從餵食時間至完全吃完時間為4.5 hr。

黑熊對於特定食物有挑食，且取食部位不一致之現象。如餵食平日飼糧時黑熊皆會剝除柳丁外皮，而黑熊B、D會留下玉米外皮及梗，而A則會吃掉玉米梗，僅留下外皮，B則對紅蘿蔔及木瓜挑食，常留下全部的紅蘿蔔且不吃木瓜皮。根莖葉試驗偏食個體有3隻，偏食之食物種類為空心菜，雌性個體A、B，空心菜只吃一半，剩下較老熟的部位，黑熊A每天偏食量約空心菜給飼量的0.4倍（約261 g），黑熊B每天偏食量約空心菜給飼量的0.3倍（約230 g），黑熊D僅採食葉子、嫩莖的部位，偏食量約空心菜給飼量的0.5倍（約533 g）。水果試驗時，只有黑熊B不吃木瓜皮，會撥開木瓜僅吃木瓜肉的部分，情況與餵食平日飼糧一致。

對於不同果實類型，黑熊取食方式也不一致。香楠果實較小、不易咀嚼，故黑熊進食香楠果實採用舔拭方式，不多咀嚼果實即吞下肚，且從排遺樣本得知，所有香楠果實大多為完整無破損狀態，在黑熊D的排遺中發現部分香楠果實呈破碎形狀，顯示D會咬碎些許香楠果實後才吞入。針對果實較大之板栗，因黑熊C不會剝殼直接吞入整顆板栗，導致該黑熊2天無法正常排便，故暫停試驗。其他3隻黑熊進食板栗方式，皆為剝除外殼後咬碎板栗果實後才吞入，其中黑熊A吃的較乾淨，僅少部分留下果實殘渣；而黑熊B、D則常於板栗外殼內留下部分果實殘渣。4隻試驗黑熊進食屬核果的香楠後，其排遺呈現質地稀軟、不成形的狀態，且可於排遺中清楚看到完整香楠果實。此現象與餵食屬堅果的板栗相反，黑熊排遺質地較為堅硬、易成形，且板栗於排遺中是以碎片情況呈現。顯示黑熊對於果實較小之香楠（漿果）採用吞食方式，而果實較大之板栗（堅果）則會咀嚼會吞入。

餵食不同動物性食物時，黑熊進食方式也不一致。黑熊對於無脊椎

動物的進食方式，採用舔拭、偶爾咀嚼的方式，其排遺呈現部分被咬斷之麵包蟲外殼；對於哺乳類動物的食物，因包含肉骨及豬皮，故黑熊進食方式前者採用咀嚼、後者採用吞食，最後僅剩下無法吃入的骨頭。餵食犬飼料時，黑熊採用舔拭方式後吞入飼料。由此 8 種餵食試驗發現，黑熊的覓食行為因食物種類差異、根莖葉食物的成熟度、及果實大小而異。

## 二、排糞行為

黑熊於消化試驗期間平均每隻每日之進食總濕重（及總乾重），4 種植物性食物為 1,399-3,872 g (1,011-1,414 g)，動物性食物之無脊椎 1,572 g (1,349 g)，哺乳類為 3,625 g (1,192 g)，基礎食物之平日飼糧 4,453 g (1,500 g)，犬飼料為 1,075 g (980 g) (表 4, n=4)。

黑熊進食不同種類食物，其排遺量變異很大，黑熊的平均每日排遺總濕重（及總乾重）為 904-2,984 g (217-391 g)，植物性食物為 1,302-2,984 g (235-391 g)，動物性食物之無脊椎為 1,163 g (217 g)，哺乳類為 904 g (314 g)，基礎食物之平日飼量為 2,234 g (328 g)，犬飼料為 1,112 g (225 g)。但黑熊的平均每日排糞坨數則為 5-6 坨，植物性食物為 5-6 坨，動物性食物之無脊椎為 5 坨，哺乳類為 6 坨，基礎食物之平日飼量為 6 坨，犬飼料為 5 坨 (表 4)。

標準化的平均每日排遺總濕重因黑熊個體及食物種類而異 (Two-way ANOVA,  $F=89.996$ ,  $df_1=3$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ ;  $F=3.863$ ,  $df_1=7$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ ,  $n=91$ )，並與二者之交互作用影響 ( $F=26.813$ ,  $df_1=20$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ )。相同的情況，亦發生於標準化的平均每日排遺總乾重 (個體:  $F=72.969$ ,  $df_1=3$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ ; 食物種類:  $F=5.199$ ,  $df_1=7$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ ; 交互作用:  $F=10.864$ ,  $df_1=20$ ,  $df_2=60$ ,  $P<0.001$ )。在標準化的平均每日排遺總濕重中，4 隻黑熊個體皆有顯著性差異 ( $P<0.01$ )，標準化的數值依序為黑熊 B (0.868)、D (0.767)、A (0.590)、C (0.485)；8 種食物種類中板栗 (0.763) 分別與無脊椎 (0.623)，及飼糧 (0.552) 2 者達顯著性差異 ( $P<0.05$ )。在標準化的平均每日排遺總乾重中，4 隻黑熊個體中只有黑熊 B 達顯著性差異 ( $P<0.001$ )，依序為黑熊 B (0.310)、

A (0.228)、D (0.227)、C (0.209)；8 種食物種類中哺乳類 (0.272) 分別與水果 (0.235)、無脊椎 (0.234)、香楠 (0.224) 達顯著性差異 ( $P < 0.05$ )。

標準化的平均每日排糞坨數因食物種類而異 ( $F=12.793$ ,  $df_1=7$ ,  $df_2=60$ ,  $P < 0.001$ ,  $n=91$ )，但不受黑熊個體影響 ( $F=1.055$ ,  $df_1=3$ ,  $df_2=60$ ,  $P=0.375$ )，及個體與食物種類交互作用影響 ( $F=1.583$ ,  $df_1=20$ ,  $df_2=60$ ,  $P=0.088$ )。8 種食物種類中，以平日飼糧及香楠，分別與根莖葉、水果、板栗及哺乳類 4 種食物達顯著性差異 ( $P < 0.05$ )；此外平日飼糧又與犬飼料達顯著差異 ( $P=0.002$ )，標準化後的數值依序為：平日飼糧 (0.007)、香楠 (0.006)、根莖葉 (0.004)、哺乳類 (0.004)、板栗 (0.004)、犬飼料 (0.004)，及水果 (0.003)。

若單就植物性、動物性 2 類食物來看，扣除 C 未進行板栗試驗，4 種植物性食物和 2 種動物性食物的試驗，總計有植物食物樣本數為 15，動物性食物樣本數為 8。黑熊取食 2 種食物型態後，平均每日坨數無顯著差異 ( $U=53.0$ ,  $P=0.681$ )，分別為植物性 ( $5.2 \pm 1.7$  坨)、動物性 ( $5.4 \pm 1.4$  坨)。平均每日排遺總濕重有顯著差異 ( $U$  test,  $U=11.0$ ,  $P=0.001$ ,  $n=23$ )，植物性食物 ( $1826.9 \pm 742.7$  g) 高於動物性食物 ( $1033.6 \pm 336.4$  g)；但在平均每日排遺總乾重並無顯著差異 ( $U=44.0$ ,  $P=0.325$ )，分別為植物性 ( $301.3 \pm 82.0$  g)、動物性 ( $265.6 \pm 100.8$  g)。

就同一類食物而言，黑熊食用不同種類食物的排糞情況也有所差異。黑熊取食 4 種植物性食物 (根莖葉、水果、香楠或板栗)，在平均每日排遺總濕重有顯著差異 ( $K-W$  test,  $\chi^2=8.142$ ,  $df=3$ ,  $P=0.043$ )，其中只有板栗和香楠達到顯著差異 ( $P < 0.05$ )，板栗 ( $2984 \pm 726$  g) 顯著高於香楠 ( $1302.7 \pm 141.0$  g)，故表 6 以 a、b 註記板栗和香楠，表示 2 種食物於植物性食物型態中達顯著差異。但在平均每日排遺總乾重 ( $\chi^2=7.525$ ,  $df=3$ ,  $P=0.057$ ) 和平均每日坨數 ( $\chi^2=0.927$ ,  $df=3$ ,  $P=0.819$ ) 無顯著差異。

黑熊取食 2 種動物性食物 (無脊椎、哺乳類)，在 3 種排糞率皆無顯著差異 (平均每日排遺總濕重： $U=5.0$ ,  $P=0.486$ ；平均每日排遺總乾重： $U=4.0$ ,  $P=0.343$ ；平均每日坨數： $U=1.5$ ,  $P=0.057$ )。

黑熊取食 2 種基礎食物(平日飼糧、犬飼料)，在平均每日排遺總濕重有顯著差異 ( $U=0.0$ ,  $P=0.029$ )，平日飼糧 ( $2234\pm 489$  g) 顯著高於犬飼料 ( $1112\pm 229$  g)；但在平均每日排遺總乾重 ( $U=1.0$ ,  $P=0.057$ )，和平均每日坩數 ( $U=4.0$ ,  $P=0.343$ ) 皆無顯著差異。

黑熊之進食濕重與平均每日排遺總濕重有顯著正相關 ( $r^2=0.43$ ,  $P<0.001$ , 圖 1)，相同情況亦發生於黑熊之進食乾重與平均每日排遺總乾重有顯著正相關 ( $r^2=0.36$ ,  $P<0.001$ , 圖 1)。即不論乾濕重，進食量越多，排遺量就越多。

### 三、表面消化率

#### (一) 食物營養組成

將食物之營養組成分析後，得知餵食 8 種食物之營養差異 (表 5)。其中綜合植物為平日飼糧扣除犬飼料部分 (占總比例約 13%)，並非直接餵食該項食物，此項數據僅作為圈養環境該提供給黑熊養分之參考，只在表面消化率試驗中討論，不加入其他試驗項目之分析。

7 項營養成分依序說明如下：(1) 乾基：4 種植物性食物以水果最低為 13.3%，最高為根莖葉 40.4%，動物性食物之無脊椎為 80.5%、哺乳類為 34.9%，基礎食物之平日飼糧為 46.0%，綜合植物為 39.5%，犬飼料為 91.1%。(2) 粗蛋白：動物性食物提供較高的粗蛋白含量，2 種動物性食物為 50-51%，4 種植物性食物為 6.0-11.9%，基礎食物之平日飼糧為 9.4%，綜合植物為 7.1%，犬飼料為 25.7%。(3) 粗脂肪：動物性食物提供較高的粗脂肪含量，2 種動物性食物為 34-38%，4 種植物性食物為 1.9-26.0%，基礎食物之平日飼糧為 3.3%，綜合植物為 2.4%，犬飼料為 9.4%。(4) 粗纖維：含量最高為香楠 (8.9%)，其次為無脊椎 (8.5%)，其餘 3 種植物性食物為 1.8-4.7%，基礎食物之平日飼糧為 2.1%，綜合植物為 2.2%，犬飼料為 1.3%。(5) 灰分：4 種植物性食物為 2.4-5.4%，動物性食物之無脊椎為 3.9%、哺乳類含量最高為 14.2%，基礎食物之平日飼糧為 4.4%，綜合植物為 3.9%，犬飼料為 7.7%。(6) 無氮抽出物：植物性食物提供較高的無氮抽出物含量，4 種植物性食物為 50.3-84.2%，基礎食物之平日飼糧為 80.8%，綜合植物為 84.4%，犬飼料為 55.9%。代謝能：黑熊進食動物性食物的代

謝能最高，2種動物性食物之無脊椎為522.1 kcal/100 g DM，哺乳類為543.4 kcal/100 g DM。4種植物性食物為377.6-482.7 kcal/100 g DM，基礎食物之平日飼糧和綜合植物約為389.1 kcal/100 g DM，犬飼料為411.2 kcal/100 g DM。

從食物之營養組成得知，2種動物性食物之粗纖維和無氮抽出物含量非常少，甚至無含量，理論上動物性食物並不包含粗纖維和無氮抽出物，表5以缺值(-)表示，因食物無此營養含量，在表6中也不討論其表面消化率。因此後續數據只探討植物性和基礎食物中的粗纖維和無氮抽出物含量，總計有植物食物樣本數為15，基礎食物樣本數為8。

## (二) 表面消化率

1. 乾基：黑熊對各項食物的乾基表面消化率，除了香楠最低為25%，其他食物為71%-92%，3種植物性食物平均為75%；動物性食物之無脊椎為74%、哺乳類為92%；基礎食物的平日飼糧和綜合植物為78%，犬飼料為77%（表6）。表中數據以a、b註記，表示同一類型的食物種類達顯著性差異。

2. 粗蛋白：以動物性食物之粗蛋白消化率較植物性食物高。3種植物性食物為60-71%，以香楠最低為53%；2種動物性食物為94%；基礎食物的平日飼糧為60%，綜合植物為77%，犬飼料為82%。

3. 粗脂肪：以動物性食物之粗脂肪消化率較植物性食物高。3種植物性食物為70-87%，以香楠最低為15%；動物性食物之無脊椎為90%、哺乳類為98%；基礎食物的平日飼糧為79%，綜合植物為56%，犬飼料為94%。

4. 粗纖維：4種植物性食物為0-12%；基礎食物的平日飼糧和綜合植物為0%，犬飼料為9%。

5. 灰分：4種植物性食物為11-41%；動物性食物之無脊椎為68%、哺乳類為5%；基礎食物的平日飼糧和綜合植物為25%，犬飼料為29%。

6. 無氮抽出物：3種植物性食物為78-93%，以香楠最低為28%；基礎食物的平日飼糧和綜合植物為86%，犬飼料為80%。

7. 總能：3種植物性食物平均為77%，以香楠最低為28%；2種動物性食物平均為94%；基礎食物的平日飼糧和綜合植物為79%，犬飼料為85%。

此結果顯示黑熊對於動物性食物的粗脂肪、粗蛋白及總能表面消化率皆高於植物性食物，而4種植物性食物中又以香楠之表面消化率最低。

黑熊對於植物性和動物性食物的表面消化率，除了灰分無顯著差異（U test,  $U=54.5$ ,  $P=0.728$ ,  $n=23$ ）之外，其他各項營養分皆有顯著差異（乾基： $U=29.0$ ,  $P=0.047$ ；粗蛋白： $U=0.0$ ,  $P<0.001$ ；粗脂肪： $U=6.0$ ,  $P<0.001$ ；粗纖維： $U=0.0$ ,  $P<0.001$ ；無氮抽出物： $U=0.0$ ,  $P<0.001$ ；總能： $U=1.0$ ,  $P<0.001$ ）（表6）。其中動物性食物的表面消化率高於植物性食物者，包括乾基（ $83.2\pm 10.6 > 62.6\pm 24.6$ ）、粗蛋白（ $94.2\pm 2.5 > 62.2\pm 11.2$ ）、粗脂肪（ $94.1\pm 5.8 > 61.8\pm 30.4$ ）、總能（ $93.8\pm 3.0 > 64.4\pm 24.1$ ）。植物性食物的無氮抽出物表面消化率為 $72.6\pm 29.3$ ，然動物性食物則近乎0。

黑熊取食的4種植物性食物（水果、根莖葉、香楠或板栗），在乾基、粗脂肪、無氮抽出物及總能表面消化率皆有顯著差異（K-W test, 乾基： $\chi^2=9.379$ ,  $df=3$ ,  $P=0.025$ ；粗脂肪： $\chi^2=11.942$ ,  $P=0.008$ ；無氮抽出物： $\chi^2=11.550$ ,  $P=0.009$ ；總能： $\chi^2=8.829$ ,  $P=0.032$ ）；但在粗蛋白、粗纖維及灰分之表面消化率則無顯著差異（粗蛋白： $\chi^2=5.925$ ,  $P=0.115$ ；粗纖維： $\chi^2=4.566$ ,  $P=0.206$ ；灰分： $\chi^2=6.906$ ,  $P=0.075$ ）。其中各項食物達到顯著差異（ $P<0.05$ ）者包括：水果之乾基表面消化率（ $76.7\pm 3.7\%$ ）顯著高於香楠（ $25.2\pm 12.0\%$ ）；根莖葉之粗脂肪表面消化率（ $86.6\pm 5.7\%$ ）顯著高於香楠（ $14.8\pm 5.5\%$ ）；根莖葉和水果之無氮抽出物表面消化率，分別為 $92.5\pm 5.2\%$ 、 $92.9\pm 4.2\%$ ，皆顯著高於香楠（ $28.2\pm 13.8\%$ ）。

2種動物性食物（無脊椎、哺乳類），在乾基、粗脂肪、灰分表面消化率皆有顯著差異（乾基： $U=0.0$ ,  $P=0.029$ ；粗脂肪： $U=0.0$ ,  $P=0.029$ ；灰分： $U=0.0$ ,  $P=0.029$ ）；但在粗蛋白及總能表面消化率則無顯著差異（粗蛋白： $U=5.0$ ,  $P=0.486$ ；總能： $U=6.5$ ,  $P=0.686$ ）。其中乾基和灰分表面消化率皆是無脊椎食物明顯高於哺乳類食物（乾基： $92.1\pm 5.0 > 74.3\pm 5.3$ ；灰分： $68.1\pm 19.1 > 4.8\pm 9.6$ ）；而粗脂肪表面消化率則是哺乳類

食物明顯高於無脊椎食物 ( $98.4\pm 0.9 > 89.9\pm 5.4$ )。

黑熊取食的3種基礎食物(平日飼糧、綜合植物或犬飼料)，在粗蛋白、粗脂肪、粗纖維及無氮抽出物表面消化率有顯著差異(粗蛋白： $\chi^2=7.758$ ， $df=2$ ， $P=0.021$ ；粗脂肪： $\chi^2=8.0$ ， $P=0.018$ ；粗纖維： $\chi^2=10.455$ ， $P=0.005$ ；無氮抽出物： $\chi^2=8.0$ ， $P=0.018$ )；但在乾基、灰分、總能表面消化率則無顯著差異(乾基： $\chi^2=0.0$ ， $P=1.0$ ；灰分： $\chi^2=4.255$ ， $P=0.119$ ；總能： $\chi^2=2.923$ ， $P=0.232$ )。其中黑熊之粗蛋白表面消化率，依序為犬飼料( $82.1\pm 1.0\%$ )、綜合植物( $77.1\pm 5.4\%$ )及平日飼糧( $59.5\pm 5.8\%$ )；粗脂肪表面消化率，依序為犬飼料( $94.4\pm 0.6\%$ )、平日飼糧( $79.3\pm 4.6\%$ )及綜合植物( $56.1\pm 6.4\%$ )；粗纖維表面消化率，依序為犬飼料( $9.1\pm 8.8\%$ )、平日飼糧( $0\pm 0\%$ )和綜合植物( $0\pm 0\%$ )；無氮抽出物表面消化率，依序為綜合植物( $86.8\pm 4.1\%$ )、平日飼糧( $85.9\pm 3.6\%$ )及犬飼料( $80.2\pm 1.2\%$ )。

黑熊之乾基表面消化率與平均每日排遺乾重呈負相關( $r^2=0.20$ ， $P=0.011$ ，圖2)，顯示黑熊對乾基表面消化率越高，平均每日排遺總乾重越少。分析黑熊個體的表面消化率與該食物營養含量之關係顯示(表7)，有2種養分達顯著相關，分別為：食物中粗蛋白含量與黑熊之粗蛋白表面消化率有顯著正相關( $r^2=0.70$ ， $P<0.001$ ，圖3)，顯示食物含有較高之粗蛋白含量，相對提高黑熊對於蛋白質之消化。植物性食物和基礎食物中的無氮抽出物含量(%)與黑熊之無氮抽出物表面消化率有顯著正相關( $r^2=0.55$ ， $P<0.001$ ， $n=23$ ，圖4)，顯示食物含有較豐富之無氮抽出物，相對提高黑熊對於無氮抽出物之消化。但在乾基、粗脂肪、粗纖維、總能的含量，則皆與表面消化率無顯著正相關(乾基： $r^2=0.073$ ， $P=0.140$ ；粗脂肪： $r^2=0.003$ ， $P=0.772$ ；粗纖維： $r^2=0.002$ ， $P=0.851$ ；總能： $r^2=0.003$ ， $P=0.767$ )。

食物營養含量中又以粗纖維影響黑熊個體的表面消化率最大，食物粗纖維含量與5種表面消化率皆呈顯著負相關(圖5)，分別為乾基( $r^2=0.74$ ， $P<0.001$ )、粗蛋白( $r^2=0.21$ ， $P=0.026$ )、粗脂肪( $r^2=0.91$ ， $P<0.001$ )、無氮抽出物( $r^2=0.61$ ， $P<0.001$ )、總能( $r^2=0.78$ ， $P<0.001$ )。

其他養分含量與其他表面消化率之關係，本研究發現尚有顯著性差

異 ( $P < 0.05$ )，以食物中的營養含量依序說明 (表 7)：乾基含量與粗蛋白表面消化率呈正相關 ( $r=0.408$ )。粗蛋白含量與粗脂肪、粗纖維、總能表面消化率呈正相關 ( $r=0.443$ ； $r=0.928$ ； $r=0.495$ )，又與無氮抽出物表面消化率呈負相關 ( $r=-0.836$ )。粗脂肪含量與粗蛋白、粗纖維表面消化率呈正相關 ( $r=0.574$ ； $r=0.838$ )，又與無氮抽出物表面消化率呈負相關 ( $r=-0.977$ )。無氮抽出物含量與乾基、粗脂肪、總能呈正相關 ( $r=0.670$ ； $r=0.542$ ； $r=0.595$ )。總能含量與粗蛋白、粗纖維呈正相關 ( $r=0.581$ ； $r=0.849$ )，又與無氮抽出物表面消化率呈負相關 ( $r=-0.984$ )。

#### 四、食物停留時間

每隻黑熊個體於每次餵食試驗時僅作 1 次紀錄。黑熊的食物通過時間數據(即第一坨排遺時間)，共有 6 筆資料超過觀察排遺時間(9:00-17:00)，分別為：黑熊 A、C 餵食根莖葉之通過時間為 20:00。黑熊 B、D 餵食板栗之通過時間為 21:00。黑熊 C 餵食基礎食物之通過時間為 20:00。最後 1 筆數據是黑熊 C 餵食哺乳類試驗，在 23:00 尚無出現第一坨排遺，因此造成黑熊的食物通過時間數據有些許差異。

黑熊對不同食物之通過時間，取食 4 種植物性食物為 4-8 hr；動物性食物之無脊椎為 9 hr，哺乳類為 7 hr；基礎食物之平日飼糧和犬飼料皆為 5 hr(表 8)。顯示黑熊從進食到第一坨排遺出來的平均時間(即通過時間)為  $6.4 \pm 3.7$  hr。

黑熊對不同食物之停留時間，取食 4 種植物性食物為 26-48 hr，以根莖葉的時間最短為 26 hr，板栗時間最長為 48 hr。動物性食物之無脊椎為 28 hr，哺乳類為 35 hr。基礎食物之平日飼糧為 38 hr，犬飼料為 42 hr(表 8)。顯示黑熊從進食到所有排遺排遺完畢的平均時間(即停留時間)為  $34.4 \pm 9.5$  hr。

黑熊對不同食物之總平均停留時間，取食 4 種植物性食物為 19-25 hr；動物性食物之無脊椎為 22 hr，哺乳類為 24 hr；基礎食物之平日飼糧為 21 hr，犬飼料為 23 hr(表 8)。利用排遺時間乘於坨數顯示，其食物總平均停留時間為  $22.0 \pm 3.1$  hr，顯示大多數排遺會在 24 hr 排泄完畢。

黑熊對不同食物的 48 hr 排遺累計坵數，取食 4 種植物性為 6-9 坵；動物性之無脊椎為 8 坵，哺乳類為 11 坵；基礎食物之平日飼糧為 8 坵，犬飼料為 7 坵。顯示黑熊之平均 48 hr 排遺累計坵數為  $7.6 \pm 2.2$  坵。

黑熊對不同食物之 48 hr 排遺累計總乾重，取食 4 種植物性食物平均為  $456.4 \pm 192.6$  g；2 種動物性食物平均為  $434.6 \pm 188.7$  g；2 種基礎食物平均為  $402.2 \pm 147.5$  g，黑熊之平均 48 hr 排遺累計總乾重為  $446.2 \pm 175.1$  g（表 8）。

就食物之通過時間、停留時間、總平均停留時間，以及 48 hr 排遺累計坵數而言，動物性和植物性 2 種食物皆無顯著差異（U test，通過時間：U=53.0， $P=0.681$ ，n=23；停留時間：U=46.5， $P=0.392$ ；總平均停留時間：U=43.0， $P=0.294$ ；48 hr 排遺累計坵數：U=40.0， $P=0.213$ ）。

黑熊取食的 4 種植物性食物（水果、根莖葉、香楠或板栗），在通過時間、停留時間皆有顯著差異（通過時間： $\chi^2=9.127$ ，df=3， $P=0.028$ ；停留時間： $\chi^2=7.995$ ， $P=0.046$ ）；但在總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坵數上，則皆無顯著差異（總平均停留時間： $\chi^2=4.884$ ， $P=0.181$ ；48 hr 排遺累計坵數： $\chi^2=3.602$ ， $P=0.308$ ）。其中各項食物達顯著差異（ $P < 0.05$ ）者包括：板栗之通過時間（ $8 \pm 3$  hr）顯著高於香楠（ $4 \pm 0$  hr）；板栗之停留時間（ $48 \pm 0$  hr）顯著高於根莖葉（ $26 \pm 1$  hr）。

黑熊取食的 2 種動物性食物，無脊椎和哺乳類在通過時間、停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坵數上皆無顯著差異（通過時間：U=3.5， $P=0.200$ ；停留時間：U=5.0， $P=0.486$ ；總平均停留時間：U=3.0， $P=0.200$ ；48 hr 排遺累計坵數：U=1.5， $P=0.057$ ）。

黑熊取食的 2 種基礎食物（平日飼糧、犬飼料），在通過時間、停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坵數皆無顯著差異（通過時間：U=7.0， $P=0.886$ ；停留時間：U=7.0， $P=0.886$ ；總平均停留時間：U=2.0， $P=0.114$ ；48 hr 排遺累計坵數：U=2.0， $P=0.114$ ）。

4 隻黑熊對於 8 種食物之總進食濕重，分別與食物通過時間、停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坵數皆無顯著相關（通過時間： $r^2=0.116$ ， $P=0.061$ ；停留時間： $r^2=0.003$ ， $P=0.760$ ；總平均停留時間： $r^2 < 0.001$ ， $P=0.935$ ；48 hr 排遺累計坵數： $r^2=0.035$ ， $P=0.312$ ，n 皆=31）。

相同情況亦發生於總進食乾重（通過時間： $r^2=0.031$ ， $P=0.344$ ；停留時間： $r^2<0.001$ ， $P=0.962$ ；總平均停留時間： $r^2=0.004$ ， $P=0.728$ ；48 hr 排遺累計坩數： $r^2=0.018$ ， $P=0.477$ ）。

植物性和基礎食物中的粗纖維含量與黑熊之食物通過時間有顯著負相關（ $r^2=0.213$ ， $P=0.027$ ， $n=23$ ，圖 6），但與停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坩數 3 項變因則皆無顯著相關（停留時間： $r^2=0.063$ ， $P=0.249$ ；總平均停留時間： $r^2=0.089$ ， $P=0.165$ ；48 hr 排遺累計坩數： $r^2=0.027$ ， $P=0.452$ ）。顯示食物的粗纖維含量越高，食物通過時間有縮短之趨勢。

黑熊個體對於不同食物的乾基表面消化率，與通過時間、停留時間、總平均停留時間及 48 hr 排遺累計坩數皆無顯著相關（通過時間： $r^2=0.017$ ， $P=0.484$ ；停留時間： $r^2=0.008$ ， $P=0.639$ ；總平均停留時間： $r^2<0.001$ ， $P=0.978$ ；48 hr 排遺累計坩數： $r^2=0.039$ ， $P=0.288$ ， $n$  皆=31）。無顯著相關的情況亦發生於黑熊的總能表面消化率（通過時間： $r^2=0.056$ ， $P=0.202$ ；停留時間： $r^2=0.002$ ， $P=0.820$ ；總平均停留時間： $r^2=0.017$ ， $P=0.490$ ；48 hr 排遺累計坩數： $r^2=0.006$ ， $P=0.670$ ）。

## 五、校正係數

黑熊消化食物之沖洗校正係數介於 7.1-32.7，8 種食物依序為最小的板栗（ $7.1\pm 1.9$ ），次之為香楠（ $9.2\pm 3.6$ ）、平日飼糧（ $9.4\pm 3.3$ ）、哺乳類（ $11.4\pm 5.0$ ）、水果（ $16.6\pm 4.7$ ）、根莖葉（ $20.3\pm 5.7$ ），數值最大為無脊椎（ $32.7\pm 18.5$ ）。黑熊的消化校正係數介於 1.9-22.4，除了無脊椎數值最大（ $22.4\pm 23.1$ ）之外，其餘食物皆小於數值 7，由小到大依序為香楠（ $1.9\pm 1.3$ ）、板栗（ $3.7\pm 0.9$ ）、哺乳類（ $4.1\pm 1.2$ ）、犬飼料（ $4.4\pm 0.6$ ）、平日飼糧（ $4.6\pm 0.8$ ）、水果（ $4.6\pm 1.4$ ）、根莖葉（ $6.2\pm 4.3$ ）（表 9）。

黑熊取食動物性和植物性 2 類食物後，利用排遺所估計之沖洗及消化校正係數皆無顯著差異（U test，沖洗： $U=41.0$ ， $P=0.238$ ；消化： $U=30.5$ ， $P=0.056$ ）。黑熊之沖洗校正係數，4 種植物性食物平均為  $13.7\pm 6.1$ （ $n=15$ ），2 種動物性食物平均為  $19.7\pm 10.1$ （ $n=8$ ）；而消化校正係數，4 種植物性食物平均為  $4.1\pm 2.6$ ，2 種動物性食物平均值為  $8.5\pm 6.0$ 。

黑熊之沖洗和消化校正係數二者有顯著正相關( $r^2=0.643$ ,  $P<0.001$ ,  $n_{\text{沖}}=27$ ,  $n_{\text{消}}=31$ , 圖 7), 故以消化校正係數為主, 減少沖洗校正係數之誤差。4 隻黑熊個體在取食各種食物之沖洗和消化校正係數有顯著差異 (Wilcoxon signed rank test,  $Z=-4.541$ ,  $P<0.001$ )。從黑熊的沖洗校正係數除以消化校正係數之比值亦得知 (表 10), 沖洗校正係數明顯大於消化校正係數, 為 1.9-5.4 倍不等。比值由小到大依序為板栗 ( $1.9\pm 0.2$ )、平日飼糧 ( $2.0\pm 0.4$ )、無脊椎 ( $2.2\pm 1.1$ )、哺乳類 ( $2.7\pm 0.5$ )、水果 ( $3.9\pm 1.5$ )、根莖葉 ( $4.2\pm 2.3$ ), 和比值相差最大的香楠 ( $5.4\pm 1.7$ ), 此結果與現場觀察黑熊進食香楠果實相符, 其排遺為拉稀狀且呈現大多數未消化之果實, 故排遺經過沖洗後會損失許多物質, 故黑熊取食香楠之 2 種校正係數比值差異最大。

植物性和基礎食物中的粗纖維含量與消化校正係數有顯著負相關 ( $r^2=0.212$ ,  $P=0.027$ ,  $n=23$ , 圖 8), 但在沖洗校正係數無顯著負相關 ( $r^2=0.018$ ,  $P=0.580$ ,  $n=19$ )。顯示食物的粗纖維吃入越多, 相對增加排遺的殘渣量, 因此黑熊之沖洗校正係數即會變小。

黑熊之乾基表面消化率與消化校正係數呈顯著正相關 ( $r^2=0.393$ ,  $P<0.001$ ,  $n=31$ , 圖 9), 總能表面消化率則與消化校正係數有顯著正相關 ( $r^2=0.287$ ,  $P=0.002$ , 圖 10), 顯示黑熊對於食物的乾基和總能表面消化率越高, 排遺殘渣越少, 故消化校正係數越大。

## 肆、討論

### 一、排糞行為

黑熊在標準化的平均每日排遺總濕重和乾重皆受到個體和食物種類之影響。體重一致 (120 kg) 的黑熊個體 B、C 也有顯著差異，觀察發現可能受到黑熊飲水有關，黑熊 C 是 4 隻試驗個體中喝水量最大，其排遺相較於其他 3 隻個體經常呈現拉稀狀或糊狀，且易黏著於水泥地或泥土地，造成部分排遺採樣損失。排遺中的水分易被地表吸收，或受氣溫蒸散至空氣中，因此黑熊 C 不論在平均排遺總濕重或乾重，標準化後的數值皆為 4 隻黑熊個體中最小值。發現黑熊進食同種食物的表面消化率，個體之間並無顯著差異，因此消化率可能不是影響黑熊個體的平均每日排遺總濕重和乾重的因素。動物年紀大，其消化功能會衰退，故年齡的差別也會影響黑熊的排糞情況。雖然本研究挑選的 4 隻黑熊皆為成體，但實際上不知道 4 隻黑熊確切的年齡，且本研究觀察之項目並不包括年齡對消化率及排糞的影響，無法在此進一步討論。

黑熊的平均每日排遺總乾重中，8 種食物種類中又以哺乳類和其他 3 種食物 (水果、無脊椎、香楠) 達顯著性差異。從表 5 中發現哺乳類食物的灰分含量為 14.2% (其他食物為 2.4-7.7%)，但黑熊進食哺乳類食物的灰分表面消化率僅有 4.8%，相較於其他食物的灰分消化率低 (10.9-68.1%)；且觀察黑熊進食豬肉骨及豬皮之排遺，發現常內含小塊的豬骨頭，顯示當黑熊吃哺乳類食物時的排遺，會受無法消化的骨頭影響，相較其他食物的排遺重量較重。

### 二、食物停留時間

試驗發現食物纖維含量和黑熊之食物通過時間呈顯著負相關 (圖 6)，顯示當食物粗纖維含量越高時，其食物的通過時間有縮短的趨勢。其他研究指出哺乳動物進食高纖維食物，受到高纖食物體積較大之故，促進動物的腸道蠕動，因此縮短食物通過消化道時間 (Warner, 1981)。其中黑熊進食香楠果實之通過時間最短 4 hr (其他食物 5-9 hr)，其原因為香楠果實內含許多種子，且果實較小、種子很硬，黑熊不易咀嚼情況下，其進食方式採取吞食，造成排遺幾乎呈現拉稀狀態，且佈滿許多未消化

之完整的香楠果實，顯示腸道來不及吸收養分和消化，香楠果實即快速排出。反觀堅果類的板栗，黑熊會加以咀嚼才吞入，因此於排遺中只看到板栗果實的小碎片，且3種腸道時間皆大於香楠果實。美洲黑熊研究，發現果實越多果肉包覆，如櫻桃果肉較多，因此需要較長的消化時間，相較於其他漿果其通過腸道時間較長；種子數越多，通過腸道時間則越短（Evan J. Cree, unpublished data）。其他研究發現較大顆粒的食物較難消化，且大顆粒的食物比起小顆粒食物會更快被排遺出體外(Hume and Sakaguchi, 1991; Clauss, 2004)。鐘雨岑（2008）進行亞洲黑熊果實攝食行為觀察，發現黑熊對於漿果類如香楠，常以整個吞食的方式攝食，而堅果類如板栗，則會加以咀嚼再行吞入。此結果與美洲黑熊相似，研究發現美洲黑熊食用松果及堅果常咀嚼咬碎，而在排遺中無完整形體存在的果實類型(Auger, 2002)。由此可知黑熊進食香楠果實的通過時間最短，受到香楠的果實特性、顆粒大小、種子數和黑熊的攝食行為等影響。

圈養亞洲黑熊體重為 100 kg，其平日活動範圍為 45 m<sup>2</sup>，而每日所需的能量為 38.34 kcal/day，觀察餵食後黑熊的活動並不頻繁。水獺研究指出其食物通過腸道時間與運動呈負相關，即動物運動時間越多，食物通過時間就越短(White et al., 2007)。因為圈養黑熊受限於圈養環境，不像水獺可進行游泳等活動，故此結果並不是本研究觀察之項目。但以玉山國家公園園區內的台灣黑熊為例，其活動範圍很廣泛為 27-202 km<sup>2</sup>，若以本研究圈養黑熊的食物通過時間結果，可能會高估野外活動量較大的台灣黑熊對不同食物的通過時間。

本研究黑熊進食地瓜和空心菜（即根莖葉食物）的食物通過時間為 8±2 hr，時間相似於貓熊進食竹筍為 7.9 hr，竹葉為 13.8 hr 及竹莖為 10 hr (Schaller et al., 1985)。貓熊相較於其他熊科動物擁有最短的腸道，其消化率只有進食量的 20-25%消化率(Stevens and Hume, 1995)。因此有學者認為貓熊會選擇性覓食，不同季節選擇營養價值高的竹子部位，和有效地咀嚼、大量攝食竹子（約 10-23 kg），吸收細胞內含物而丟棄細胞壁，加速其食物通過消化道時間，快速排出殘渣，目的為增加對低營養之食物其養分攝取量，以維持能量之所需(Dierenfeld, 1982; Schaller et al., 1985; Warnell et al., 1989; Stevens and Hume, 1995)。從本研究中黑熊進食香楠果實的通過時間（4±0 hr）最短，其消化率最差的情況下，快速的通過時間，

某種程度幫助野外黑熊消耗最小能量，攝取其他更多的食物和養分，以維持每日能量之所需。

黑熊進食 4 種植物性食物中，以板栗的停留時間最長為  $48 \pm 0$  hr，其餘 3 種植物性食物的停留時間介於 26-33 hr。該試驗提供的板栗為完整果實，黑熊進食前須自行剝除外殼，從開始餵食至全部進食完畢，時間會往後延長約 5 小時左右，故黑熊對於食物的停留時間也受到動物處理食物的時間影響。餵食哺乳類動物的食物停留時間為  $35 \pm 9$  hr，此結果相似於北極熊餵食海豹毛皮和油脂之停留時間為 38 hr (Best, 1985)。該研究指出當食物的脂肪含量很高 (84%)，其食物之停留時間會延長，因脂肪的分子較大導致食糜團較緊實，故動物需要較多時間消化和吸收養分。本試驗中餵食高脂肪含量食物為哺乳類食物 (38.1% DM) 和無脊椎動物 (34.3% DM)，黑熊進食無脊椎動物的停留時間 ( $28 \pm 3$  hr) 相較哺乳類食物短 ( $35 \pm 9$  hr)。因此除了食物脂肪含量影響之外，可能也受到餵食的食物種類不一致所影響，因肉骨含有較多動物無法消化的骨頭部分，單胃動物的後腸細菌對於毛髮和骨頭幾乎無法產生發酵作用，故延長豬皮和肉骨之停留時間，以增加對該項食物之養分吸收。

### 三、表面消化率

#### 1. 食物成分

本研究發現食物的粗纖維含量與黑熊之乾基、粗蛋白、粗脂肪、無氮抽出物、總能之表面消化率呈顯著負相關 (圖5)。大鼠的研究發現提高飼糧食物的纖維比例，會降低蛋白質之消化率及能量利用率 (Jorgensen et al., 2003)。西里伯斯野豬 (*Babirusa babirusa*) 研究也指出當飼糧的中洗纖維 (neutral detergent fiber) 含量過多，會導致野豬的採食量下降 (Van Wees et al., 2000)，就長期而言會導致動物營養不良。棕熊和美洲黑熊的餵食研究發現，食物的粗纖維含量和乾基之表面消化率呈反比關係，即纖維含量為 10%，乾基之表面消化率約為 90%；當纖維含量提高為 40%，乾基之表面消化率下降至 45% (Pritchard and Robbins, 1990)。顯示當食物中粗纖維含量越高，相對影響黑熊對於其他養分之吸收利用，使得黑熊對其他養分消化率降低。

本研究中餵食的無脊椎動物（麵包蟲），提供相較於其他食物較高含量的脂肪（34.3% DM）和蛋白質（50.8% DM），其粗纖維之乾基含量為8.5%，佔8種食物中含量第2高。幾丁質（chitin）廣泛存在於節肢動物甲殼綱、昆蟲綱的外骨骼等，並非為一般性的粗纖維，故實驗測得麵包蟲的纖維含量主要為幾丁質。世界上的8種熊除了北極熊之外，其餘所有的熊皆會覓食昆蟲，以補充平日蛋白質所需。其中馬來熊（*Helarctos malayanus*）雖然為食果性動物，但也覓食許多昆蟲如白蟻和蜜蜂，甚至為了覓食昆蟲，而有型態適應的改變，如鼻吻部突出、裸露無毛、舌頭很長、腳爪呈倒鉤型，以方便挖掘或取食白蟻(Joshi et al., 1997)。雖然亞洲黑熊似乎沒有為了覓食昆蟲而有其身體型態適應的改變，但觀察黑熊進食麵包蟲之行為，發現黑熊採用方法以舌頭舔拭，配合牙齒咀嚼、咬碎，藉此破壞麵包蟲的外殼，吸收其身體組織的養分。比對黑熊進食麵包蟲後的排遺狀況，發現排遺中剩下大部分的麵包蟲的外殼，故不受幾丁質含量而影響消化率。

食物中的營養成分也會影響其消化率。本研究發現動物性食物含有較豐富的蛋白質含量（約50%），其黑熊之蛋白質表面消化率也會隨之提高（表7，圖3）；而植物性和基礎食物中含有豐富的無氮抽出物（50-84%），相對提高黑熊對無氮抽出物的表面消化率（表7，圖4）。美洲黑熊、棕熊及熊貓研究發現，不管在植物性或動物性食物，其食物中的粗蛋白含量和這3種熊科動物之蛋白質消化率成正比關係（ $y=3.46+0.881x$ ,  $r^2=0.99$ ； $y=-9.77+1.01X$ ,  $r^2=0.88$ ）(Dierenfeld, 1982; Pritchard and Robbins, 1990)。一般來說當食物的蛋白質含量過高，造成動物的含氮廢物增加，增加排尿、排便之能量損失，使維持所需增加，間接造成動物的消化率降低。熊為食肉目動物，對蛋白質的消化較好，進食量可能仍在動物正常的採食量範圍之內，不影響動物的消化生理特性，故食物中的蛋白質和無氮抽出物含量，分別與其消化率仍呈現正相關。

為了在單位時間內獲得最大能量，黑熊的覓食策略應以提高對食物的總能消化率為目標。本研究發現在動物正常的採食量範圍之內，食物的粗蛋白含量，分別與粗蛋白、粗脂肪及總能消化率呈正相關。食物的無氮抽出物含量，分別與粗脂肪、無氮抽出物及總能消化率呈正相關（表7）。邱昌宏（2007）指出圈養的亞洲黑熊，對於碳水化合物較高含量

的蜂蜜及總能較高的麵包蟲偏好度較高，三個季節（春、夏及秋冬）的食物偏好等級皆與食物中的碳水化合物、總能含量呈顯著正相關。綜合其發現與本研究結果，亞洲黑熊對於粗蛋白和無氮抽出物含量高的食物，除了具相對較高的消化率之外，相對地間接能提對於食物中總能的利用程度。

## 2. 食物型態及種類

亞洲黑熊對於動物性食物之表面消化率皆明顯高過於植物性食物。相同情況亦發現於其他熊科動物，如北極熊、美洲黑熊、棕熊（表 10）。北極熊為食肉性的熊科動物，在餵食海豹肉和內臟時，其蛋白質表面消化率高達 93.3%；但餵食海豹肉、內臟、骨頭 3 種混和食物時，其蛋白質表面消化率會減少為 75.2%；餵食海豹的毛皮、油脂 2 種混和食物時，蛋白質表面消化率也減少為 72.1% (Best, 1985)。其他研究也指出動物進食骨頭和毛髮，會導致蛋白質表面消化率下降 (Johnson and Aldred, 1982)。相較於本實驗，亞洲黑熊餵食肉骨和豬皮，其蛋白質表面消化率為 93.6%，發現其蛋白質消化率並未受到骨頭的影響而減少，可能因為肉骨所含之骨頭量較少，並不及北極熊餵食海豹骨頭量（佔總食物之 20%）；餵食的豬皮並未含有黑熊無法消化之毛髮，故推測對蛋白質表面消化率影響力較小。

亞洲黑熊進食無脊椎食物（麵包蟲），對於蛋白質、粗脂肪及總能之表面消化率很高（94%、89%、94%），與進食哺乳類食物（肉骨和豬皮）之表面消化率相似（93%、98%、93%）。春季為熊科動物之營養缺乏季節，以美洲黑熊為例，春季的時候野外食物較稀少，僅以根莖葉食物為主，且美洲黑熊剛從冬眠甦醒過來，消化的生理機制尚未完全恢復，導致黑熊於春季時體重下降，此時昆蟲（尤其是螞蟻）可作為熊科動物的蛋白質和必需胺基酸養分之重要來源 (Poelker and Hartwell, 1973; Eagle and Pelton, 1983; Redford and Dorea, 1984)。邱昌宏（2007）發現圈養亞洲黑熊在三個季節中對麵包蟲之偏好等級均較其他食物高，或許可由本研究發現亞洲黑熊對麵包蟲之消化率偏高解釋之。

相較於其他熊科動物，亞洲黑熊對植物性食物的消化率並不差（表

10)。雜食性的亞洲黑熊進食根莖葉食物，和食竹性的貓熊比較，除了蛋白質表面消化率較貓熊低（60%），其餘皆明顯高於貓熊（79%以上）(Wei et al., 1999)。亞洲黑熊進食板栗，相似於同為雜食性的美洲黑熊進食白橡木果實的表面消化率，除了蛋白質表面消化率較低之外（亞洲黑熊：65.0%；美洲黑熊：46.6%），其餘的乾基、脂肪及總能表面消化率皆高於70%以上(Gray, 2001)。由上述結果發現，亞洲黑熊對於植物食物之消化率並不差，且植物獲得性高，相較於動物性食物不需消耗大量的體力追逐、捕捉獵物，故可解釋野外台灣黑熊80%採食植物性食物。但從熊科動物的總能表面消化率來說，牠們對於動物性食物的總能消化率（90%以上）依舊高於植物性食物。

黑熊進食不同屬性的果實，其總能消化率差異很大，水果為78.3%，堅果為74.5%，香楠為27.8%。雖然生理適應讓熊科動物可於短期內進食100%果實，但究長期而言因營養需求及最小能量消耗之故，通常黑熊會選擇混合進食，在短時間內獲得最低的生理需求(Rode and Robbins, 2000)。即使在夏季果實盛產時，棕熊和美洲黑熊不僅只採食果實，且會混合取食其他無脊椎動物或哺乳類動物，以避免必需的鈣、蛋白質或其他養分的缺乏。在鮭魚季節時，棕熊也不會只捕捉鮭魚進食，其覓食策略依舊採行雜食性，捕捉鮭魚的同時也會採食沿路之果實，以在最少的时间獲得最大之能量，即為最佳覓食策略(Optimal diet model hypothesis)(Rode and Robbins, 2000; Robbins et al., 2007)。

野外台灣黑熊為機會主義覓食者，食性隨著季節變化而改變，夏季時常以許多漿果及果實食物為主，如香楠(*Machilus zuihoensis*)、山枇杷(*Eriobotrya deflexa*)、台灣蘋果(*Malus formosana*)、獼猴桃(*Actinidia chinensis*)等。亞洲黑熊餵食香楠的消化率很差，其原因可能與果實的結構、特性及黑熊的攝食行為等有關，黑熊取食不易情況下，選擇大量吞食香楠果實，腸道來不及吸收養分和消化，其果肉和種子即快速排出體外，導致消化率較其他植物性食物差，故本研究黑熊餵食香楠的表面消化率結果，並無法代表所有的漿果。其他研究指出漿果的結果季較短，且整年皆有許多植物於不同季節輪替結果，其年產量大於堅果(45 % vs. 14 %, Beeman and Pelton, 1980)，故漿果可作為黑熊相對穩定的能量來源(Inman and Pelton, 2002; koike et al., 2009)。由此可知為了更有效率獲得最

大能量，野外黑熊遂採取雜食性，混合覓食許多種類的果實和其他食物。

食物的可得性也會影響黑熊的覓食策略，尤其當單一食物豐富時，食物的可得性高，讓黑熊採取大量進食的策略。以大分地點為例，當秋、冬季節時殼斗科植物青剛櫟會大量結果，使得許多黑熊會聚集至大分覓食(Hwang, 2003)。本研究以板栗代表堅果類食物，發現板栗相較於水果可提供黑熊較高含量的粗蛋白(9.2%)，碳水化合物(84.2%)，及代謝能(395.2 kcal/100 g DM)(表5)。而亞洲黑熊對板栗之蛋白質、脂肪、無氮抽出物及總能之表面消化率為65.0%、80.2%、78.4%、74.5%(表6)；高於美洲黑熊吃松果的蛋白質(57.2%)及總能(50.1%)表面消化率(表10, Pritchard and Robbins, 1990)；相似於美洲黑熊吃白橡木果實的總能表面消化率(71.9%，表10, Gray, 2001)。顯示許多熊科動物會取食堅果，而攝食不同種類的堅果，其消化率亦受果實特性、養分及黑熊的攝食方式影響。堅果類為高脂肪及高能量的食物，集中於秋、冬季結果，為熊科動物主要的冬季食物，促使熊科動物在秋、冬季快速累積脂肪(Eagle and Pelton, 1983; Hellgren et al., 1989)。因此野外台灣黑熊的覓食策略，除了受到食物的養分含量及消化率影響之外，也需考量食物的可得性，讓黑熊在最短的時間內獲得最大的能量。

### 3. 種間差異

不同的熊科動物依舊會有種間差異。本研究亞洲黑熊進食根莖葉食物，其蛋白質表面消化率為60.7%。美洲黑熊餵食塊莖食物，其蛋白質表面消化率為52.7%(Pritchard and Robbins, 1990)。兩者的蛋白質表面消化率皆低於貓熊進食竹葉和竹子根部(70%、83%)。貓熊研究發現少部分竹子的細胞壁，可以不需要共生菌群即可被消化；且較長的食物通過時間為5-13 hr，導致熊貓對竹子內的蛋白質消化率較高(Wei et al., 1999)。因此動物為適應較低消化率及高纖之食物，會物理性增加牠們腸道的面積，以貓熊為例即增加腸道中的絨毛和微絨毛長度(Savory and Gentle, 1976; Gross et al., 1985)；或者延長對食物之通過時間，以增加動物對此食物養分的吸收(Harlow, 1981; Ravindran et al., 1984)。貓熊為熊科動物中唯一以竹子為主食，為適應竹子之低養分，有許多生理適應上的改變，

依據季節選擇高蛋白含量的竹子部位進食，因此可提高對竹子的養分吸收，相較於其他雜食性的美洲黑熊及亞洲黑熊，其腸道的特性並非一致，且受食物種類、營養含量等影響，導致其蛋白質表面消化率之差異。

#### 四、校正係數

發現不論是消化校正 (prey mass consumed) 係數或沖洗校正 (prey mass presented) 係數，皆是無脊椎動物大於其他植物性食物 (表 9)。顯示原本的排遺分析會低估無脊椎動物，高估植物性食物，經由校正係數可回推野外黑熊的進食情況。

沖洗校正係數受到許多因素影響，如沖洗、篩網、食物選擇、消化率及食物纖維含量等影響，各項說明依序如下：

##### 1. 沖洗方式

比較本研究之 2 種校正係數 (沖洗、消化)，顯示沖洗校正係數大於消化校正係數，其沖洗校正係數為 2-5 倍的消化校正係數。由此可知沖洗排遺易造成殘渣流失，導致沖洗校正數值變大。本研究以消化校正係數，還原動物真正的進食量，故不會有沖洗過程的損失發生，亦不受篩網孔徑大小影響 (表 9)。有研究比較不同的篩網孔徑 (2.0 mm、0.5 mm)，發現  $CF_{0.5}=72-96\% CF_{2.0}$ ，顯示篩網孔徑越小，所得殘渣量就越多，導致校正係數變小 (Ruhe et al., 2008)。因此利用不同的篩網孔徑，所得到的殘渣含量也不一致，使得沖洗校正係數的變因增加，會讓相同物種的校正係數比較更為複雜。技術應用方面必需根據研究之目的，考慮動物的排遺是否要經過沖洗，若選擇沖洗排遺，應該盡量減少造成誤差的因素，以期還原野外熊科動物的進食量。

##### 2. 食物選擇及覓食行為

本研究餵食亞洲黑熊的哺乳類動物為豬肉骨和豬皮，非餵食整隻動物，因此黑熊吃下全部的肉骨和豬皮，包含無法消化之骨頭部分等，導致低消化率，排遺殘渣變多，校正係數變小，故無法完全反映野外黑熊取食整隻動物的情況。掠食者進食會因獵物本身的體型大小，進食方法

會有所調整，以獲得能量最大的效應(Sinclair et al., 2006)。比較狼 (*Canis lupus*)、歐亞猓獺 (*Lynx lynx*)、紅狐 (*Vulpes vulpes*) 這 3 種掠食者，取食獐鹿 (*Capreolus capreolus*)、歐洲野兔 (*Lepus europaeus*)、小鼠 (*Mus musculus*) 這 3 種獵物，發現狼和紅狐的校正係數非常相似 (50、23、34；52、25、33)，而歐亞猓獺的校正係數分別為 113、53、28(Ruhe et al., 2008)。猓獺取食獐鹿、歐洲野兔的校正係數數值較大於小鼠。因為猓獺有爪子可支解獵物，當獵物體型為大型動物，掠食者會選擇只吃可消化的部分，如內臟和肉等高營養部位，留下許多無法消化的部分如毛髮、骨頭等，故獵物利用度低，高消化率，排遺殘渣變少，校正係數大。反之當獵物體型為小型動物，掠食者會選擇全部都吃，包含許多無法消化的部分如毛髮、骨頭等，故獵物利用度高，低消化率，排遺殘渣變多，校正係數小。

比較各種熊科動物對食物的消化時 (表 10)，北極熊進食海豹肌肉和內臟的乾基消化率為 87.1%，但當餵食中再加入骨頭時，乾基消化率降低為 54.3%，顯示無法消化的骨頭可能導致乾基消化率大為降低(Best, 1985)。當美洲黑熊和棕熊餵食整隻的鹿和牛，由於可選擇高營養的內臟或肉進食，留下無法消化的骨頭和毛髮，故乾基消化率依仍可高達 90% 以上(Pritchard and Robbins, 1990)。可見同樣是取食肉類，由於熊取食不同的獵物或是不同的部位，因利用度或消化率不同，而可能導致校正係數有相當的變異。

若要探討亞洲黑熊之沖洗校正係數，考慮此數值受食物種類、篩網孔徑、動物利用度影響，建議日後研究可將食物種類劃分更詳細，考慮給予整隻動物個體或不同部位，以相同的篩網孔徑為基礎，提供黑熊對於動物性食物之校正係數數值，以期更準確的推測野外黑熊之進食情況。

### 3. 食物消化率

本研究發現消化校正係數與黑熊進食之乾基、總能表面消化率呈正相關 (圖 9、10)，顯示黑熊對於食物之乾基和總能消化率高，排遺殘渣較少，故校正係數較大。其他研究指出當動物對食物的消化率高，排遺殘渣變少，校正係數變大；反之當消化率低，排遺殘渣變多，則校正係

數變小(Liberg, 1982; Ruhe et al., 2008)。不同食物之消化校正係數介於 1.9-22.4，以香楠數值最小，無脊椎數值最大。黑熊對於香楠的乾基表面消化率很差 ( $25.2\pm 12.0\%$ )，排遺中含有許多未消化之果實，因此排遺乾重量相較於其他食物重，消化校正係數為最小；反之對於無脊椎（麵包蟲）之乾基表面消化率高 ( $92.1\pm 5.0\%$ )，排遺中僅剩麵包蟲外殼，故排遺乾重相較其他食物少，消化校正係數為最大。

#### 4. 食物粗纖維含量

消化校正係數與食物粗纖維之乾基含量呈顯著負相關（圖 8），其中以香楠果實含有最高的粗纖維含量為 8.9%，消化校正係數為最低值  $1.9\pm 1.3$ 。顯示當食物纖維含量越高，導致黑熊的排遺殘渣含量增加，其校正係數有變小的趨勢。

從本研究與棕熊試驗(Hewitt and Robbins, 1996)數據得知（表 11），兩者試驗之篩網孔徑並不一致，棕熊研究的篩網孔徑為 4 mm、2.36 mm、2 mm，本研究的篩網孔徑 2.00 mm、1.19 mm、0.7 mm，理論上本研究使用較小的篩網孔徑，所得的沖洗校正係數會較小。但受到兩者之沖洗校正係數公式並非一致影響，棕熊研究公式為進食乾重量（g）除以排遺中殘渣（ml），本研究為進食乾重量（g）除以排遺沖洗後殘留物質乾重（g）。故個別比較這兩種研究，本研究的沖洗校正係數，依序為：無脊椎（32.7）、根莖葉（20.3）、水果（16.6）、哺乳類（11.4）及堅果（7.1）。

黑熊吃堅果時，因採用咀嚼之關係，排遺中果實呈碎片形狀，且碎片容易堵住篩網的孔徑，導致沖洗損失較小，因此沖洗後的排遺殘渣較其他食物多，沖洗校正係數則為 5 項食物最小值；當黑熊取食無脊椎動物（麵包蟲），因沖洗後的排遺殘渣只剩下麵包蟲外殼，排遺殘渣量較其他食物少，導致沖洗的校正係數最大。棕熊研究的沖洗校正係數，依序為：哺乳類（3.5）、堅果（1.5）、水果（1.2）、無脊椎（1.1）、根莖葉（0.5）。顯示棕熊進食根莖葉時，排遺殘渣為所有食物中量最多，故沖洗的校正係數最小；而棕熊餵食哺乳類食物時，因為是給予整隻動物餵食，故棕熊選擇性吃高營養的部位，留下無法消化之物質，故排遺殘渣量即較少，導致沖洗校正係數為 5 種食物中最大。因此發現熊科動物對於食物消化

率高時，校正係數亦大，但須同時考量動物之利用度，以期許回推出野外黑熊之真正食性。

校正係數之目的為校正野外食肉目動物排遺分析之誤差，有鑒於沖洗之校正係數亦受許多變因影響，因此利用本研究所測得的消化校正係數，參考野外台灣黑熊食性研究(Hwang et al., 2002)，配合排遺分析中所佔的相對比例 (relative volume, RV)，重新校正野外黑熊的真正進食量 (表 12)。該研究收集的 654 坨排遺中，大多為秋冬季堅果盛產時收集，37 坨收集於漿果盛產的夏季，2 坨排遺收集於春天，此時黑熊主要覓食的對象為植物性食物，故相對比例多寡依序為堅果、脊椎動物、植物、漿果、無脊椎動物；然而經過消化校正係數重新校正後，發現無脊椎動物的百分比經校正後顯著提高 5 倍，相對重要性提高，顯示排遺分析會低估黑熊對於無脊椎動物的取食量。因此為了解野外台灣黑熊之食性，需搭配消化校正係數，協助野外調查者了解動物真正的食性狀況。

## 五、研究限制

圈養動物常有偏食現象，低海拔試驗站的圈樣黑熊亦不例外，對於採集自野外的綠色植物類食物的取食偏低 (邱昌宏, 2007)。雖然試驗食物的選擇大都為平日飼糧之食物項目，或其他研究者餵食試驗之食物，以減少圈養黑熊對於不熟悉食物，產生挑食之狀況。然而因食物不虞匱乏，在食物可獲得性的情況下，黑熊較容易產生食物選擇行為，偏食或挑選不同食物部位，導致個體表面消化率的結果之差異。此外試驗食物的品質，其果實成熟度、新鮮度及粗纖維含量等影響因子，如空心菜、香楠成熟度，讓黑熊在進食有選擇的行為產生，影響對食物的表面消化率。

黑熊的圈養環境為沙石地，排遺常會混雜些許泥土、雜草、小石子，導致黑熊的灰分表面消化率差異非常大。要避免這樣的情況發生，必須限制黑熊的活動空間，且配合現場觀察，才可減少消化率誤差。因此假若往後試驗須針對無機物、礦物質對黑熊的影響，即特別需要注意這項限制。

因黑熊為雜食性動物，粗纖維不具營養成分，理論上無法消化纖維。

其中動物性食物所含的外骨殼、骨頭等，無法被試驗中弱酸、弱鹼消化，且非一般認知的粗纖維，故具有偏差無法進行討論。無氮抽出物的表面消化率，理論上動物性食物其營養成分未含有無氮抽出物含量，或是含量極少，故無法利用公式推算其表面消化率，無法進行探討。

## 伍、結論

亞洲黑熊的表面消化率研究，為動物性大於植物性食物，且相較於其他熊科動物對植物性食物消化率並不差(約 70%)。食物中粗纖維含量與黑熊之乾基、脂肪、無氮抽出物、總能消化率呈顯著負相關。在適當的採食範圍內，動物性食物含有較豐富的蛋白質含量，其黑熊之蛋白質表面消化率會有提高之趨勢；而植物性和基礎食物中含有豐富的無氮抽出物，黑熊亦會提高對無氮抽出物之表面消化率。

食物通過時間、停留時間及總平均停留時間，幫助了解黑熊進食不同食物之消化情況。影響因素為纖維含量與食物通過消化道時間呈負相關；而黑熊的攝食行為和食物顆粒大小也會影響其結果，黑熊對於堅果採行咀嚼咬碎後吞入，而漿果則採行大量吞入，造成其排遺速度過快而來不及吸收養分，故可解釋為何黑熊採食香楠果實的消化率為所有植物性食物中最差。

沖洗校正係數為2-5倍的消化校正係數，其中沖洗校正係數受許多變因影響，建議以消化之校正係數為主，以準確推算野外黑熊之進食量。食物的乾基及總能消化率，分別與消化校正係數呈正相關，即食物的消化率高，黑熊的排遺殘渣變少，其校正係數變大；反之食物消化率低，黑熊的排遺殘渣變多，則校正係數變小。

亞洲黑熊的表面消化率研究，可協助了解黑熊食性之選擇，對於圈養環境的黑熊，建議餵食更多樣化之食物，適量餵食動物性食物，以補充蛋白質及能量之所需。野外台灣黑熊之食性，依據排遺處理的方式(沖洗或乾燥)，選擇不同的校正係數(沖洗、消化)，應用於校正排遺分析之誤差，以確實反映野外黑熊之食性。

## 參考文獻

- 吳尹仁，2007。台灣黑熊棲息地利用及分布預測模式。國立屏東科技大學野生動物保育研究所。100頁。
- 吳春利，1997。畜牧學實習(食物分析)。合記圖書出版社，台北。68頁。
- 吳煜慧，2004。玉山國家公園台灣黑熊之生態學研究。國立東華大學碩士論文。70頁。
- 邱昌宏，2007。圈養台灣黑熊之食物選擇行為。國立屏東科技大學碩士論文。44頁。
- 楊吉宗、廖光正、許富雄，2001。圈飼台灣黑熊嗜食性初探。特有生物研究 3:73-79。
- 謝青元、楊春泉、安志健，1988。野生動物飼養與繁殖。五洲出版社。台北。26頁。
- 顏宏達，1985。動物營養學。華香園出版社。台北。477頁。
- 鐘雨岑，2008。台灣黑熊取食果實對於種子萌芽之影響。國立屏東科技大學碩士論文。90頁。
- Ackerman, B. B. 1984. Cougar food habits in southern Utah. *Journal of Wildlife Management* 48:147-155.
- Artois, M., M., J. Lemaire, J. George, M. Demerson, and J. Jacquemet. 1987. Les fèces du renard (*Vulpes vulpes*) comme indice de consommation ou de préférence alimentaire et d'activité. *Cahiers d'Ethologie appliquée* 7:3275-3286.
- Auger, J. 2002. Are American Black Bears (*Ursus americanus*) Legitimate Seed Dispersers for Fleshy-fruited Shrubs? *American Midland Naturalist* 147:352-367.
- Best, R. C. 1985. Digestibility of ringed seals by the polar bear. *Canadian Journal of Zoology* 63:1033-1036.
- Clauss, M. 2004. The potential interplay of posture, digestive anatomy, density of ingesta and gravity in mammalian herbivores: why sloths do not rest upside down. *Mammal Review* 34:241-245.
- Dearden, B. L. 1975. Precision of microhistological estimates of ruminant food habits. *Journal of Wildlife Management* 39:402-407.

- Dierenfeld, E. S. 1982. Utilization of bamboo by the giant panda. *Journal of Nutrition* 112:636-641.
- Eagle, T. C., and M. R. Pelton. 1983. Seasonal nutrition of black bears in the Great Smoky Mountains National Park. *Bears: Their Biology and Management* 94-101.
- Farley, S. D., and C. T. Robbins. 1994. Development of two methods to estimate body composition of bears. *Canadian Journal of Zoology* 72:220-226.
- Farley, S. D., and C. T. Robbins. 1995. Lactation, hibernation, and mass dynamics of American black bears and grizzly bears. *Canadian Journal of Zoology* 73:2216-2222.
- Floyd, T. J. 1978. Relating wolf scat content to prey consumed. *Journal of Wildlife Management* 42:528-532.
- Golley, F. B., G. A. Petrides, E. L. Rauber, and J. H. Jenkins. 1965. Food Intake and assimilation by bobcats under laboratory conditions. *Journal of Wildlife Management* 29:442-447.
- Goszczyński, J. 1974. Studies on the food of foxes. *Acta theriol* 19:1-18.
- Gray, R. M. 2001. Digestibility of foods and anthropogenic feeding of black bears in virginia. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Gross, J. E., Z. Wang, and B. A. Wunder. 1985. Effects of food quality and energy needs: changes in gut morphology and capacity of *Microtus ochrogaster*. *Journal of Mammalogy* 66:661-667.
- Harlow, H. J. 1981. Effect of fasting on rate of food passage and assimilation efficiency in badgers. *Journal of Mammalogy* 62:173-177.
- Hellgren, E. C., M. R. Vaughan, and R. L. Kirkpatrick. 1989. Seasonal patterns in physiology and nutrition of black bears in Great Dismal Swamp, Virginia–North Carolina. *Canadian Journal of Zoology* 67:1837-1850.
- Hewitt, D. G., and C. T. Robbins. 1996. Estimating grizzly bear food habits from fecal analysis. *Wildlife Society Bulletin* 24:547-550.

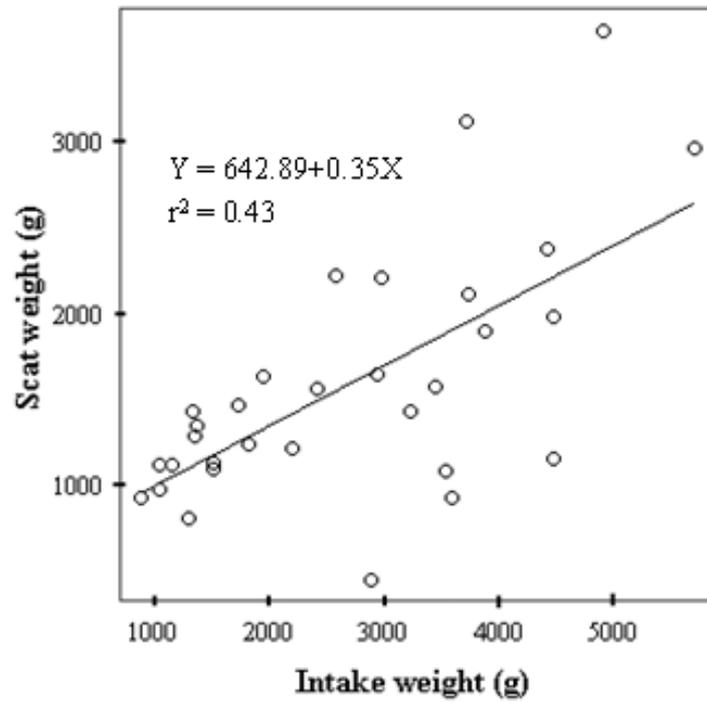
- Hilderbrand, G. V. 1998. Predicting body condition of bears via two field methods. *Journal of Wildlife Management* 62:406-409.
- Hilderbrand, G. V., S. D. Farley, C. T. Robbins, T. A. Hanley, K. Titus, and C. Servheen. 1996. Use of stable isotopes to determine diets of living and extinct bears. *Canadian Journal of Zoology* 74:2080-2088.
- Holleman, D. F., and R. G. White. 1989. Determination of digesta fill and passage rate from nonabsorbed particulate phase markers using the single dosing method. *Canadian Journal of Zoology* 67:488-494.
- Hume, I. D., and E. Sakaguchi. 1991. Patterns of digesta flow and digestion in foregut and hindgut fermenters. Pages 427-451 *in* T. Tsuda, Y. SaasKi, and R. Kawashima, eds. *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants*. Academic Press, San Diego, CA.
- Hwang, M.-H. 2003 Ecology of Asiatic black bears and people-bear interactions in Yushan National Park, Taiwan. PhD Thesis, University of Minnesota, Twin Cities, USA.
- Hwang, M. H., and D. L. Garshelis. 2007. Activity patterns of Asiatic black bears (*Ursus thibetanus*) in the central mountains of Taiwan. *Journal of Zoology* 271:203-209.
- 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.
- Inman, R. M., and M. R. Pelton. 2002. Energetic production by soft and hard mast foods of American black bears in the Smoky Mountains. *Ursus* 13:57-68.
- Johnson, M. K., and D. R. Aldred. 1982. Mammalian prey digestibility by bobcats. *The Journal of Wildlife Management* 46:530.
- Jorgensen, H., X. Q. Zhao, P. K. Theil, V. M. Gabert, and K. E. B. Knudsen. 2003. Energy metabolism and protein balance in growing rats fed different levels of dietary fiber and protein. *Archiv Fur Tierernahrung* 57:83-98.
- Joshi, A. R., D. L. Garshelis, and J. L. D. Smith. 1997. Seasonal and

- habitat-related diets of sloth bears in Nepal. *Journal of Mammalogy* 78:584-597.
- Kleiber, M. 1947. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews* 27:511-541.
- Knorr, D. 1984. Use of chitinous polymers in food. *Food Technology* 38:85-97.
- Liberg, O. 1982. Correction factors for important prey categories in the diet of domestic cats. *Acta Theriologica* 27:115-122.
- Litvaitis, J. A. 2000. Investigating food habits of terrestrial vertebrates. Pages 165-190 *in* L. Boitani and T. K. Fuller, eds. *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Columbia University Press, New York.
- Lockie, J. D. 1959. The estimation of the food of foxes. *Journal of Wildlife Management* 23:224-227.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 2002. *Animal nutrition*, 6th ed. Ashford Colour Press Ltd., Gosport, UK.
- Moors, P. J. 1977. Studies of the metabolism, food consumption and assimilation efficiency of a small carnivore, the weasel (*Mustela nivalis* L.). *Oecologia* 27:185-202.
- Murie, A. 1948. Cattle on grizzly bear range. *Journal of Wildlife Management* 12:57-72.
- Nowak, R. M. 1991. *Walker's mammals of the world*. The Johns Hopkins University Press, London, UK.
- Poelker, R. J., and H. D. Hartwell. 1973. Black bear of Washington. *Washington State Game Department Biological Bulletin* 14:180.
- Pond, W. G., D. C. Church, and K. R. Pond. 1995. *Basic animal nutrition and feeding*, 4th ed. John Wiley and Sons Press. New York.
- Pritchard, G. T., and C. T. Robbins. 1990. Digestive and metabolic efficiencies of grizzly and black bears. *Canadian Journal of Zoology* 68:1645-1651.
- Ravindran, V., E. T. Kornegay, and K. E. Webb Jr. 1984. Effects of fiber and virginiamycin on nutrient absorption, nutrient retention and rate of

- passage in growing swine. *Journal of Animal Science* 59:400-408.
- Redford, K. H., and J. G. Dorea. 1984. The nutritional value of invertebrates with emphasis on ants and termites as food for mammals. *Journal of zoology* 203:385-395.
- Robbins, C. T., J. K. Fortin, K. D. Rode, S. D. Farley, L. A. Shipley, and L. A. Felicetti. 2007. Optimizing protein intake as a foraging strategy to maximize mass gain in an omnivore. *Oikos* 116:1675-1682.
- Robinette, W. L. 1959. Food habits of the cougar in Utah and Nevada. *Journal of Wildlife Management* 23:261-273.
- Rode, K. D., and C. T. Robbins. 2000. Why bears consume mixed diets during fruit abundance. *Canadian Journal of Zoology* 78:1640-1645.
- Ruhe, F., M. Ksinsik, and C. Kiffner. 2008. Conversion factors in carnivore scat analysis: sources of bias. *Wildlife Biology* 14:500-506.
- Salas, L. A., and T. K. Fuller. 1996. Diet of the lowland tapir (*Tapirus terrestris* L.) in the Tabaro River valley, southern Venezuela. *Canadian Journal of Zoology* 74:1444-1451.
- Savory, C. J., and M. J. Gentle. 1976. Changes in food intake and gut size in Japanese quail in response to manipulation of dietary fibre content. *British Poultry Science* 17:571-580.
- Schaller, G. B., H. Jinchu, P. Wenshi, and Z. Jing. 1985. The giant pandas of Wolong. The University of Chicago Press, Chicago.
- Sinclair, A. R. E., J. M. Fryxell, and G. Caughley. 2006. Wildlife ecology, conservation, and management. Blackwell Publishing, Malden, MA.
- Stahl, P. 1990. Influence of age-related changes in prey consumption on correction factors established for important prey of the red fox (*Vulpes vulpes*). *Gibier Faune Sauvage* 7:107-125.
- Stains, H. J. 1958. Field key to guard hair of middle western furbearers. *Journal of Wildlife Management* 22:95-97.
- Stevens, C. E., and I. D. Hume. 1995. Comparative physiology of the vertebrate digestive system, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Van Wees, S., J. Nujboer, H. Everts, and A. C. Beynen. 2000. Apparent digestibility of macronutrients in captive babirusa (*Babyrussa babyrussa*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 31:508-511.
- Warnell, K. J., S. D. Crissey, and O. T. Oftedal. 1989. Utilization of bamboo and other fiber sources in red panda diets. Pages 51-56 in A. R. Glatston, ed. *Red panda biology*. SPB Academic Publishing, The Hague, NL.
- Warner, A. C. I. 1981. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. *Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)* 51:789-820.
- Webbon, C. C., P. J. Baker, N. C. Cole, and S. Harris. 2006. Macroscopic prey remains in the winter diet of foxes *Vulpes vulpes* in rural Britain. *Mammal Review* 36:185-197.
- Wei, F., Z. Feng, Z. Wang, A. Zhou, and J. Hu. 1999. Use of the nutrients in bamboo by the red panda (*Ailurus fulgens*). *Journal of Zoology* 248:535-541.
- White, S. C., D. W. Clark, C. D. Day, and R. S. Sikes. 2007. Variation in digestive efficiency of captive North American river otters (*Lontra canadensis*) on various diets. *Zoo Biology* 26:41-50.

(1) 濕重 ( $P < 0.001$ )



(2) 乾重 ( $P < 0.001$ )

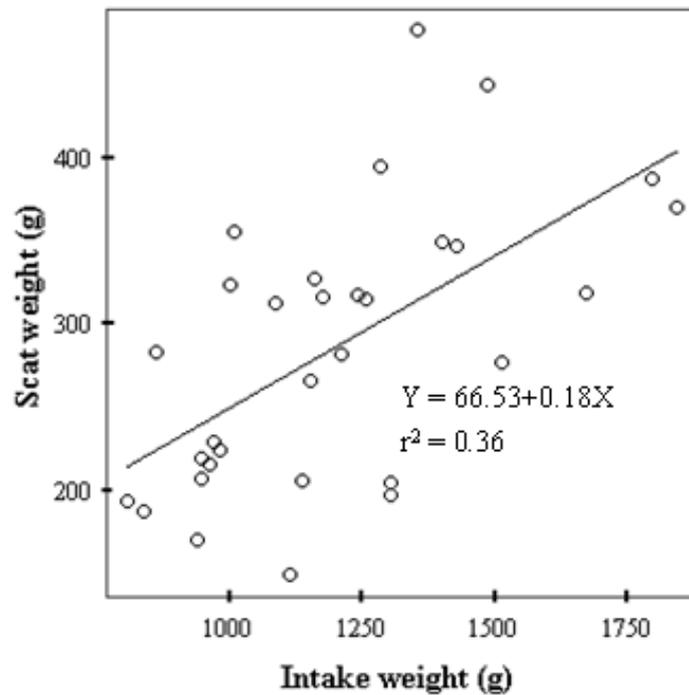


圖 1、黑熊餵食試驗中進食重量 (g) 與平均每日排遺總重量 (g) 之關係 (n=31)。

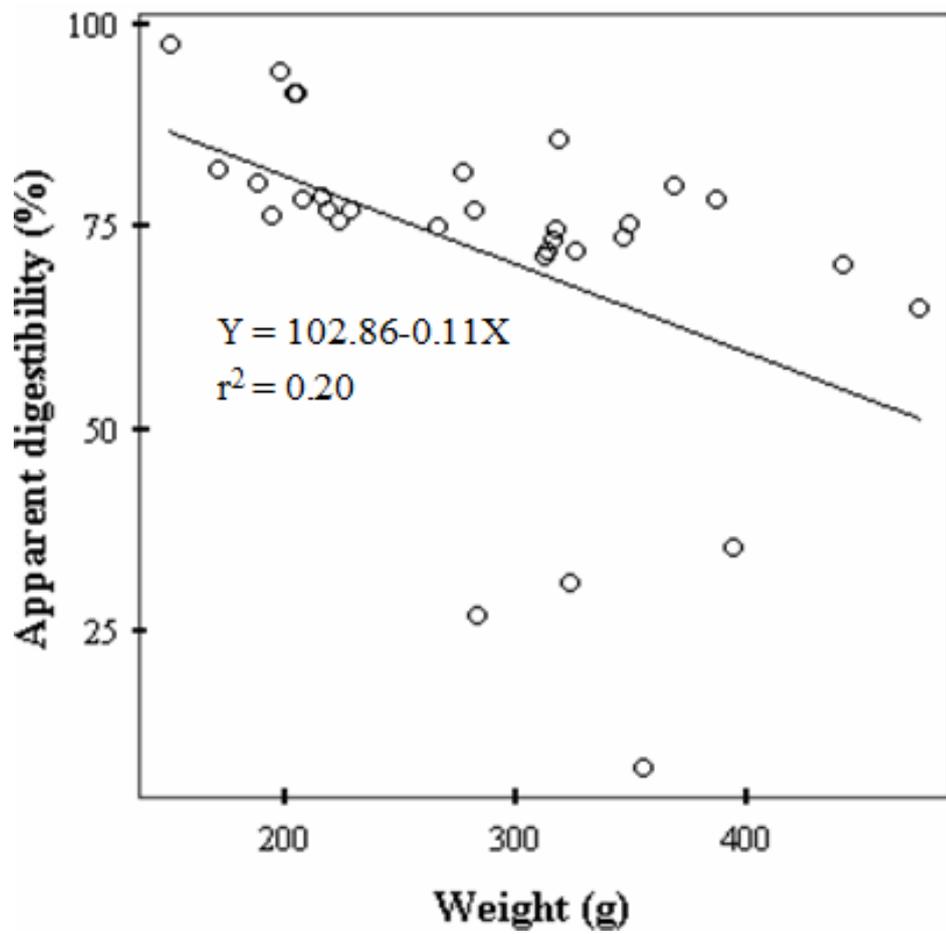


圖 2、黑熊的平均每日排遺乾重(g)與乾基消化率(%)之關係( $P=0.011$ ， $n=31$ )。

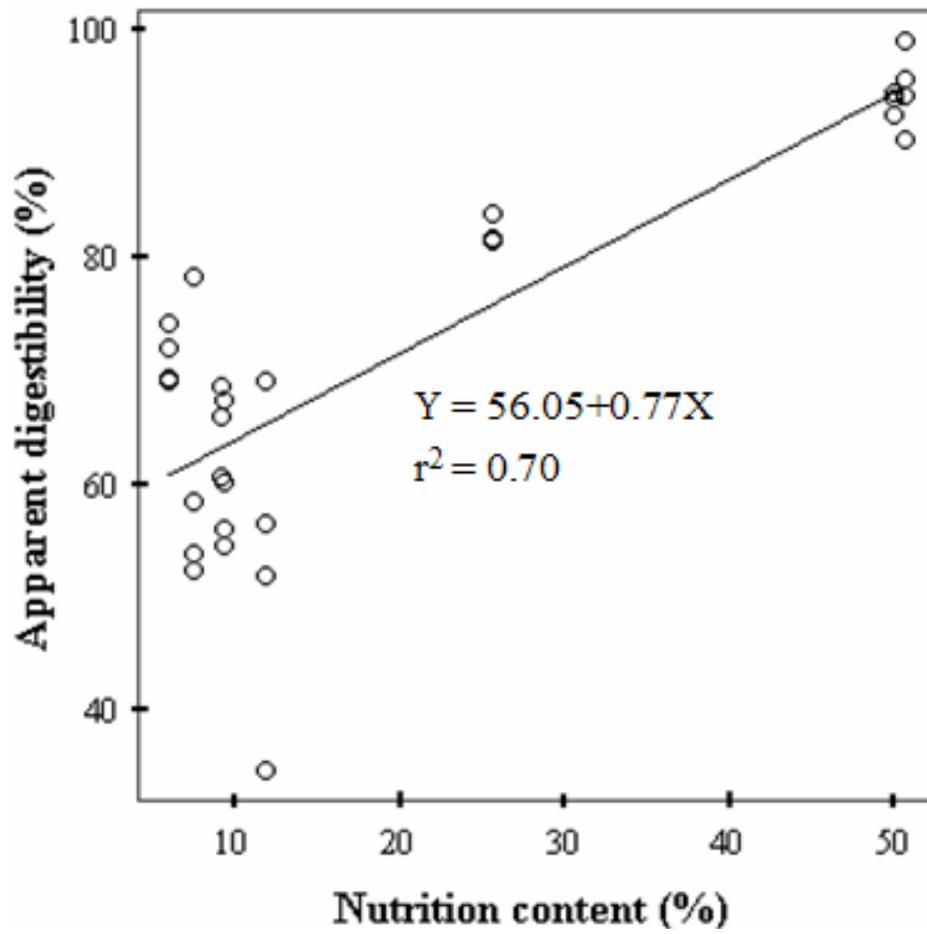


圖 3、食物中粗蛋白之乾基含量 (%) 與黑熊之粗蛋白表面消化率之關係 ( $P < 0.001$ ,  $n = 31$ )。

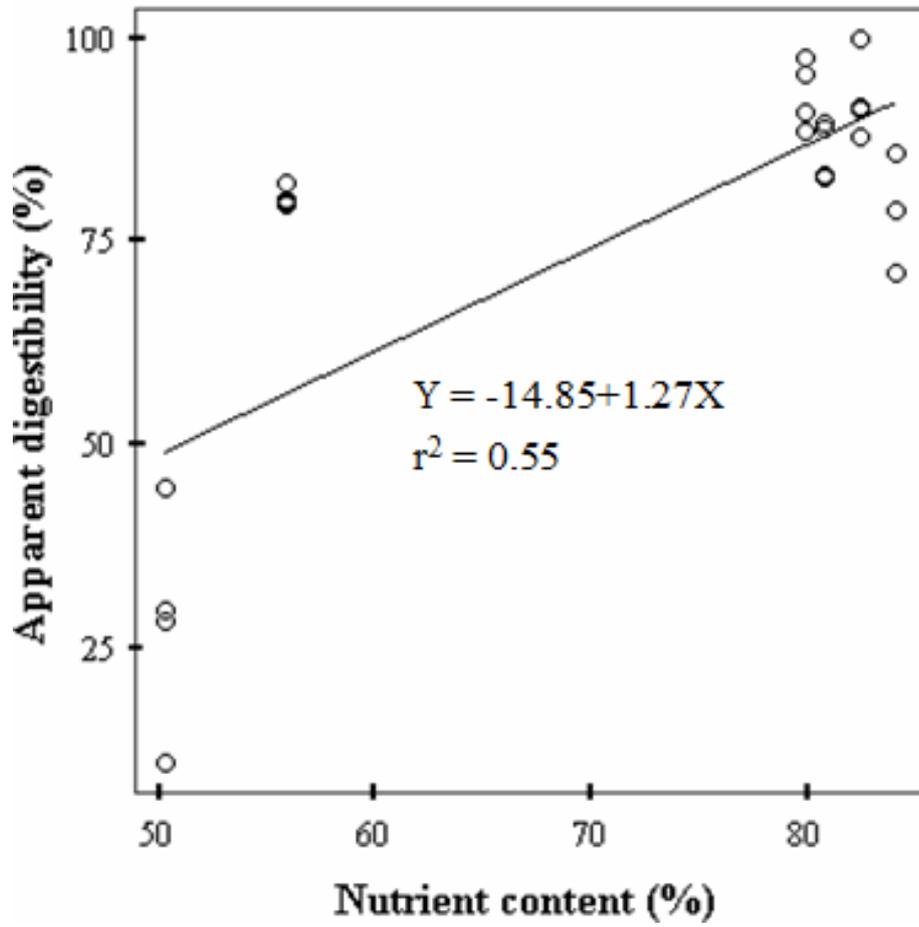
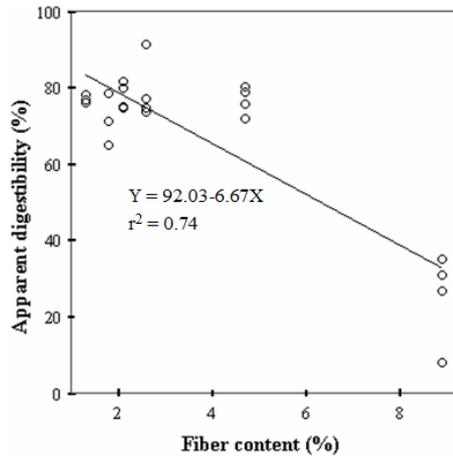
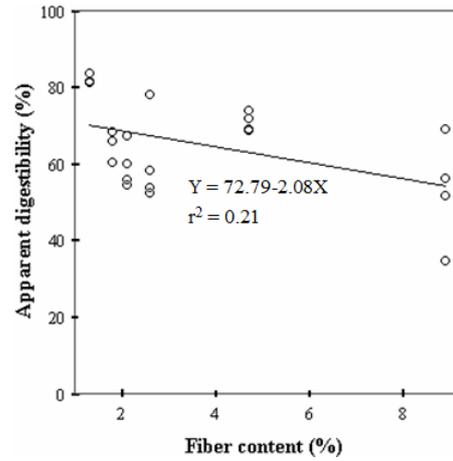


圖 4、植物性食物和基礎食物中的無氮抽出物之乾基含量 (%) 與黑熊之無氮抽出物表面消化率之關係 ( $P < 0.001$ ,  $n=23$ )。

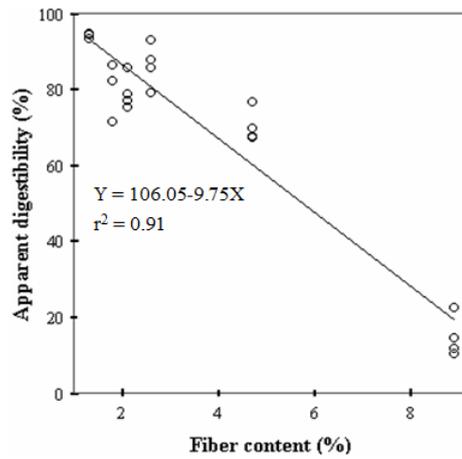
(1) 乾基 ( $P < 0.001$ )



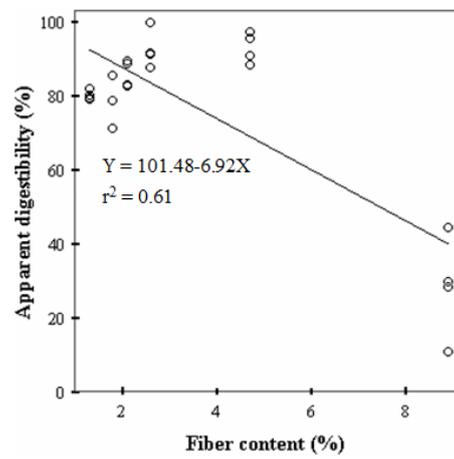
(2) 粗蛋白 ( $P = 0.026$ )



(3) 粗脂肪 ( $P < 0.001$ )



(4) 無氮抽出物 ( $P < 0.001$ )



(5) 總能 ( $P < 0.001$ )

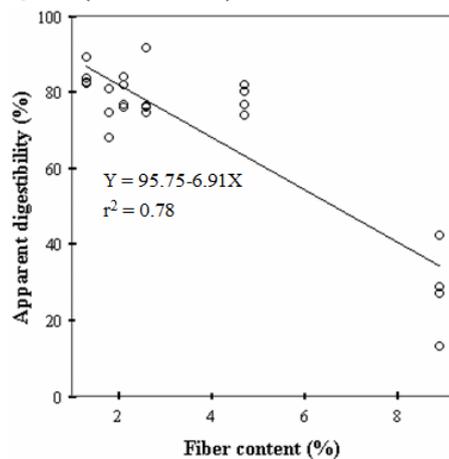


圖 5、植物性和基礎食物乾基中粗纖維之含量與黑熊對於不同營養成分之表面消化率之關係 (n 皆=23)。

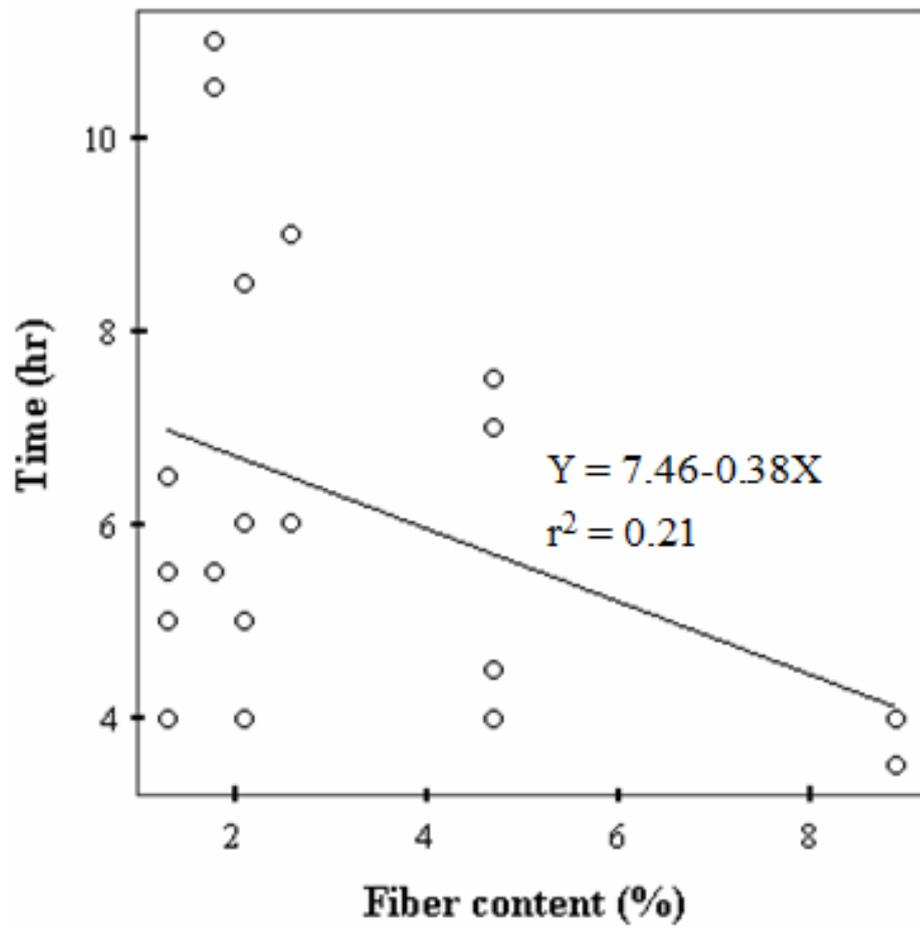


圖 6、食物中粗纖維之乾基含量(%)與食物通過黑熊消化道時間 (passage time, hr) 之關係 ( $P=0.027$ ,  $n=23$ )。

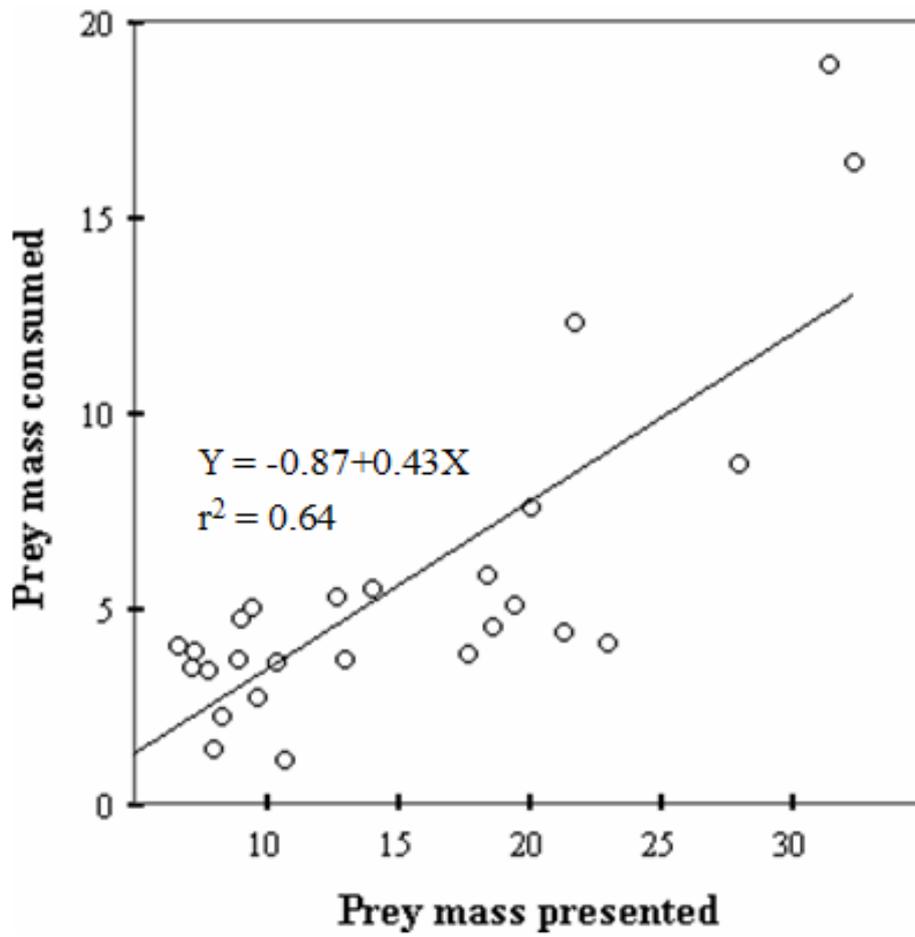


圖 7、亞洲黑熊消化食物之沖洗校正 (prey mass presented) 係數和消化校正 (prey mass consumed) 係數二者之關係 ( $P < 0.001$ ,  $n_{\text{沖}} = 27$ ,  $n_{\text{消}} = 31$ )。

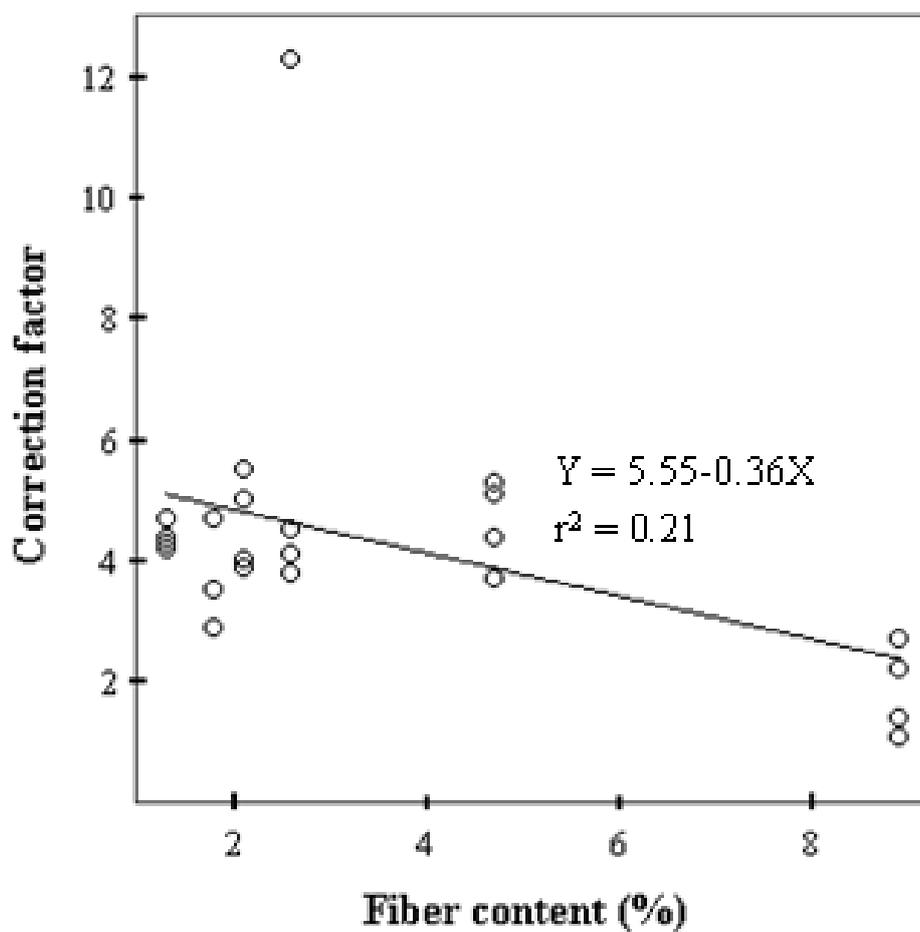


圖 8、亞洲黑熊之消化校正 (prey mass consumed) 係數與食物粗纖維之乾基含量 (%) 之關係 ( $P=0.027$ ,  $n=23$ )。

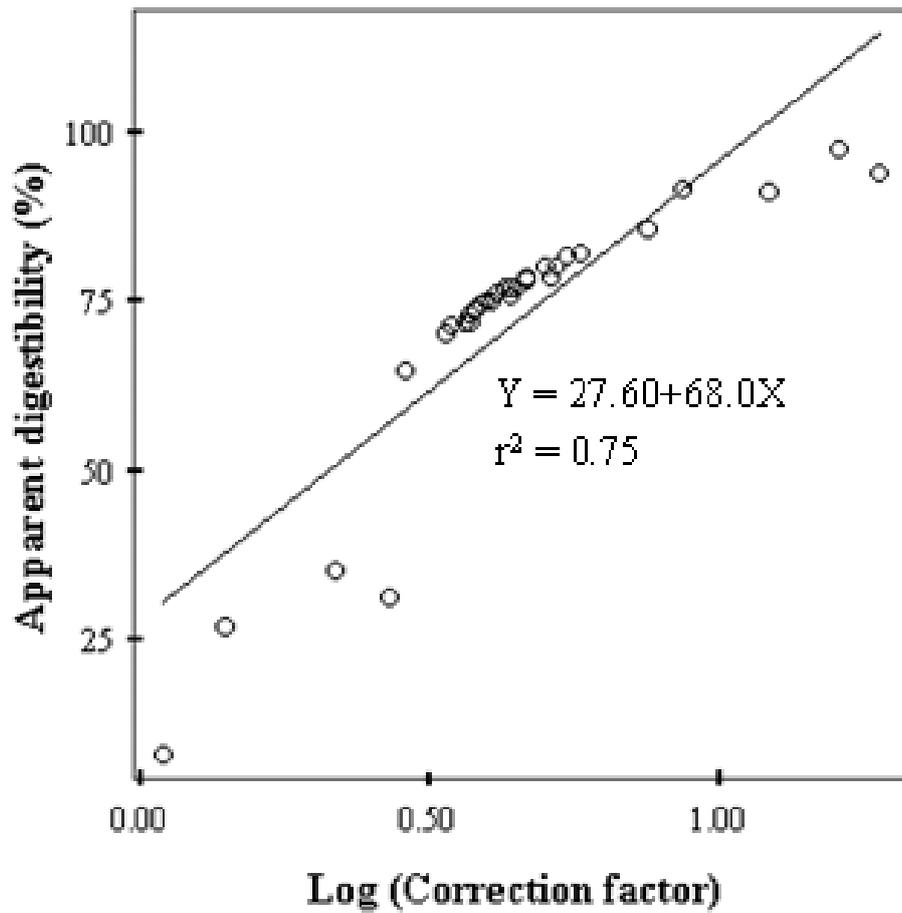


圖 9、亞洲黑熊之消化校正 (prey mass consumed) 係數與乾基消化率 (%) 二者之關係 ( $P < 0.001$ ,  $n=31$ )。

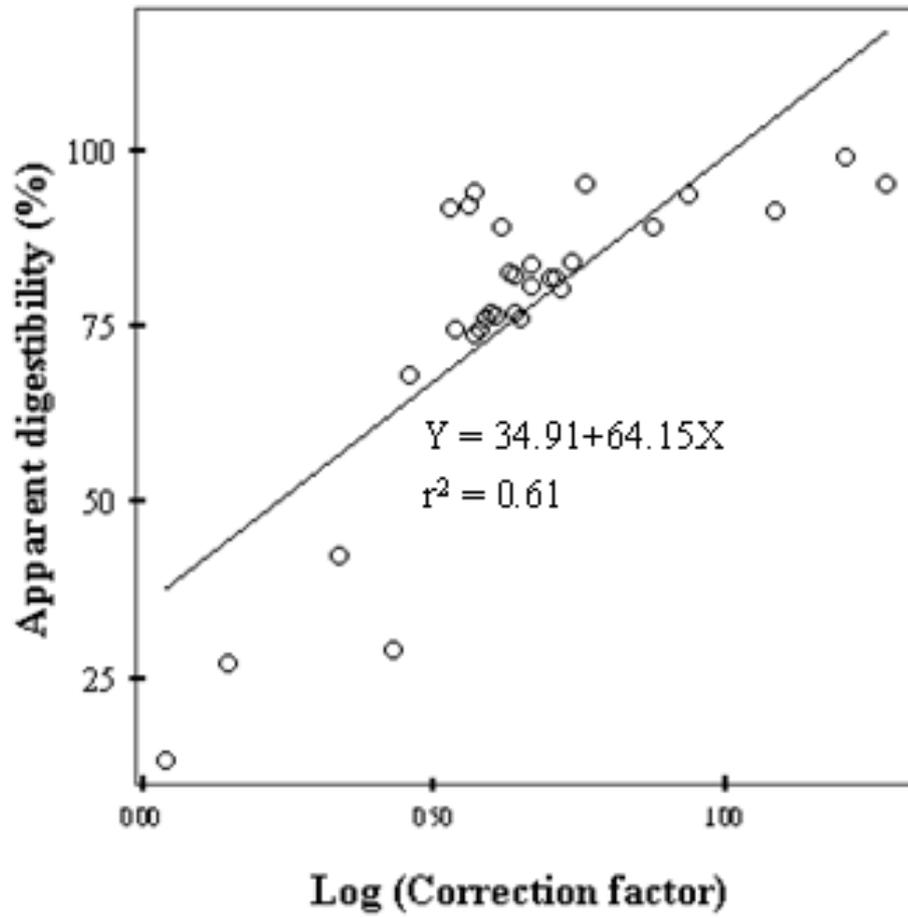


圖 10、亞洲黑熊之消化校正 (prey mass consumed) 係數及總能消化率 (%) 二者之關係 ( $P < 0.001$ ,  $n=31$ )。

表 1、特有生物研究保育中心所屬之低海拔試驗站飼養之亞洲黑熊試驗對象之個體資料<sup>1</sup>。

黑熊名稱	性別	代號	年齡	體重(kg)
黑妞	♀	A	成體	100
元元	♀	B	成體	120
卡特	♂	C	成體	120
阿財	♂	D	成體	150

<sup>1</sup> 個體是否曾在野外待過之經歷不詳。

表 2、餵食亞洲黑熊試驗之飼糧乾基組成種類及百分比 (100%)，植物性食物為水果、根莖葉、香楠及板栗；動物性食物為哺乳類及無脊椎；基礎食物為犬飼料及平日飼糧。

食物種類	單一餵食			混合餵食 <sup>1</sup>				
	板栗	哺乳類	犬飼料	水果	根莖葉	香楠	無脊椎	平日飼糧
犬飼料	-	-	100	64	65.4	82.1	53.1	12.5
板栗	100	-	-	-	-	-	-	-
豬肉骨	-	88.2	-	-	-	-	-	-
豬皮	-	11.8	-	-	-	-	-	-
香楠	-	-	-	-	-	17.9	-	-
麵包蟲	-	-	-	-	-	-	46.9	-
蘋果	-	-	-	10.2	-	-	-	3.7
柳丁	-	-	-	8.8	-	-	-	2.2
木瓜	-	-	-	6.3	-	-	-	4.6
奇異果	-	-	-	10.7	-	-	-	-
地瓜	-	-	-	-	31.4	-	-	59.8
空心菜	-	-	-	-	3.2	-	-	-
番石榴	-	-	-	-	-	-	-	1.5
紅蘿蔔	-	-	-	-	-	-	-	1.8
饅頭	-	-	-	-	-	-	-	10.6
玉米	-	-	-	-	-	-	-	3.3
進食總濕重(g/day)	3872±979	3625±657	1075±184	3516.2±693.6	2259.4±330.6	1399.2±242.0	1572.5±272.2	4453±893
進食總乾基重(g/day)	1414±357	1192±224	980±168	1011.7±177.4	1173.2±189.4	1041.5±175.9	1349.4±233.6	1500±255

<sup>1</sup>5 種混合餵食皆以犬飼料做搭配；平日飼糧為低海拔試驗站例行性提供之食物，作為黑熊平日消化率之參考。

表 3、試驗操作流程共 12 天分為兩大部分，第 1-9 天為「食物適應期」，第 10-12 天則為「消化試驗期」。其中於第 6-7 天時進行食物通過腸道時間 (passage time, PT)、停留時間 (retention time, RT) 及總平均停留時間 (total mean retention time, TMRT) 試驗，並計數 48 小時排遺的累計坨數。第 10-12 天則進行表面消化率 (apparent digestibility, AD) 及校正係數 (correction factor, CF) 試驗。

日期 (天數)	食物適應期						消化試驗期					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
餵食情況							禁食一天					
試驗項目							← PT、RT、TMRT <sup>1</sup> →				← AD、CF <sup>2</sup> →	

<sup>1</sup> 第 6-7 天利用 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作指示劑，觀察黑熊排遺情況，觀察排遺時間：9:00- 17:00，1 hr/籠外觀察；3 hr/籠內計算排遺，並紀錄黑熊排遺時間及坨數 (共 48hr)。

<sup>2</sup> 第 10-12 天：適應期長達 9 天，將個體每天消化情況視為一致，以 24 hr 為界限，收集黑熊一日的排糞坨數及總重量。

表 4、亞洲黑熊餵食試驗之進食濕、乾重 (g) 及排糞情況，包括平均每日排遺乾、濕重及坨數 (數值為 4 隻黑熊之平均值±標準差)。

		進食濕重(g)/日	進食乾重(g)/日	排遺濕重(g)/日	排遺乾重(g)/日	坨數/日
植物性	水果	3516.2±693.6	1011.7±177.4	1753.8±421.2	235.6±54.7	5±2
	根莖葉	2259.4±330.6	1173.2±189.4	1556.7±465.2	261.7±61.8	5±2
	香楠	1399.2±242.0	1041.5±175.9	1302.7±141.0 <sup>b</sup>	338.9±47.5	5±2
	板栗	3872±979	1414±357	2984±726 <sup>a</sup>	391±82	6±1
動物性	無脊椎	1572.5±272.2	1349.4±233.6	1163.4±344.8	217.5±71.7	5±1
	哺乳類	3625±657	1192±224	904±317	314±111	6±1
基礎食物	平日飼糧	4453±893	1500±255	2234±489 <sup>c</sup>	328±40	6±2
	犬飼料	1075±184	980±168	1112±229 <sup>d</sup>	225±39	5±2

<sup>ab cd</sup> 同行中字母不相同者，表示同一類型的食物種類具顯著性差異 ( $P<0.05$ )，植物性以 K-W test 檢定，動物性和基礎食物以 U test 檢定。

表 5、亞洲黑熊餵食試驗飼糧組成之乾基含量 (%), 以及乾基的營養含量 (單位: 100 g DM)。

	植物性				動物性		基礎食物		
	水果 <sup>4</sup>	根莖葉 <sup>4</sup>	香楠	板栗	無脊椎	哺乳類 <sup>4</sup>	平日飼糧 <sup>5</sup>	綜合植物	犬飼料
乾基	13.3	40.4	39.9	36.5	80.5	34.9	46.0	39.5	91.1
粗蛋白	6.0	7.6	11.9	9.2	50.8	50.1	9.4	7.1	25.7
粗脂肪	5.0	1.9	26.0	2.4	34.3	38.1	3.3	2.4	9.4
粗纖維 <sup>1</sup>	4.7	2.6	8.9	1.8	8.5	-	2.1	2.2	1.3
灰分	4.3	5.4	2.8	2.4	3.9	14.2	4.4	3.9	7.7
無氮抽出物 <sup>2</sup>	80.0	82.5	50.3	84.2	-	-	80.8	84.4	55.9
代謝能 (kcal/100g DM) <sup>3</sup>	389.0	377.6	482.7	395.2	522.1	543.4	390.5	387.6	411.2

<sup>1</sup> 動物性食物的粗纖維含量，為幾丁質、結締組織等，非一般性粗纖維，以缺值 (-) 表示。

<sup>2</sup> 無氮抽出物 (nitrogen free extract, NFE) % = [ 100 - (粗脂肪% + 粗蛋白% + 粗纖維% + 灰分%) ] ; 無脊椎食物 (即麵包蟲) 之計算值為 2.5, 但理論上未含無氮抽出物, 以缺值 (-) 表示。

<sup>3</sup> 代謝能 = [ (9 × 粗脂肪%) + (4 × 粗蛋白%) + (4 × 無氮抽出物%) ] 。

<sup>4</sup> 水果包含蘋果、木瓜、柳橙、奇異果四項; 根莖葉包含地瓜、空心菜二項; 哺乳類動物包含豬肉骨及皮二項。

<sup>5</sup> 平日飼糧即為植物和犬飼料二部分。

表 6、四隻亞洲黑熊對 8 種試驗飼糧之各項營養成分的平均表面消化率<sup>1</sup>(%)。

	植物性					動物性			基礎食物		
	水果	根莖葉	香楠	板栗	平均值(植物)	無脊椎	哺乳類	平均值(動物)	平日飼糧	綜合植物 <sup>4</sup>	犬飼料
乾基	76.7±3.7 <sup>a</sup>	79.2±8.1	25.2±12.0 <sup>b</sup>	71.5±6.8	62.6±24.6	92.1±5.0 <sup>a</sup>	74.3±5.3 <sup>b</sup>	83.2±10.6	77.8±3.6	77.9±4.0	77.0±0.8
粗蛋白	71.0±2.5	60.7±12.0	53.0±14.2	65.0±4.1	62.2±11.2	94.7±3.6	93.6±0.9	94.2±2.5	59.5±5.8	77.1±5.4	82.1±1.0
粗脂肪	70.5±4.4	86.6±5.7 <sup>a</sup>	14.8±5.5 <sup>b</sup>	80.2±7.6	61.8±30.4	89.9±5.4 <sup>b</sup>	98.4±0.9 <sup>a</sup>	94.1±5.8	79.3±4.6	56.1±6.4	94.4±0.6
粗纖維	11.9±14.1	0.2±0.4	2.6±2.2	0±0	3.9±8.3	75.7±1.6	-	75.7±1.6	0±0	0±0	9.1±8.8
灰分	25.9±6.6	41.5±17.5	25.3±21.0	10.9±3.6	26.9±17.0	68.1±19.1 <sup>a</sup>	4.8±9.6 <sup>b</sup>	36.5±36.6	24.1±1.5	26.8±6.1	28.5±1.5
無氮抽出物 <sup>2</sup>	92.9±4.2 <sup>a</sup>	92.5±5.2 <sup>a</sup>	28.2±13.8 <sup>b</sup>	78.4±7.3	72.6±29.3	-	-	-	85.9±3.6	86.8±4.1	80.2±1.2
總能 <sup>3</sup>	78.3±3.7	79.7±8.0	27.8±11.9	74.5±6.4	64.4±24.1	94.3±4.1	93.3±1.6	93.8±3.0	79.7±3.9	79.3±4.3	84.5±3.2

<sup>1</sup>表面消化率公式(%) = [(採食總量 - 排遺總重) / 採食總量] %。

<sup>2</sup>無氮抽出物(%) = 100 - (水分% + 粗脂肪% + 粗蛋白% + 粗纖維% + 灰分%)。

<sup>3</sup>總能(%) = [(9 × 粗脂肪%) + (5.65 × 粗蛋白%) + 4.15 × (無氮抽出物% + 粗纖維%) ]。

<sup>4</sup>綜合植物為平日飼糧扣除犬飼料部分。

<sup>5</sup>5 種營養成分為分析值(乾基、粗脂肪、粗蛋白、粗纖維及灰分)，2 種為計算值(無氮抽出物及總能)，共 7 種營養成分。將食物型態分為 3 種後，再比較單項食物型態中的食物種類差異。

<sup>ab</sup>同列中字母不相同者，表示同一類型的食物種類具顯著性差異 ( $P < 0.05$ )，植物性和基礎食物以 K-W test 檢定，動物性以 U test 檢定。

表 7、食物中各項營養成分含量 (%) 與亞洲黑熊的表面消化率 (%) 之相關係數<sup>1</sup>。

營養含量	表面消化率					
	乾基	粗蛋白	粗脂肪	粗纖維	無氮抽出物	總能
乾基	0.271	0.408*	0.316	0.192	-0.224	0.266
粗蛋白	0.328	0.836***	0.443*	0.928***	-0.836***	0.495**
粗脂肪	-0.140	0.574**	-0.054	0.838***	-0.977***	0.032
粗纖維	-0.861***	-0.462*	-0.956***	0.042	-0.780***	-0.884***
無氮抽出物	0.670***	-0.062	0.542**	-0.164	0.745***	0.595**
總能	-0.121	0.581**	-0.024	0.849***	-0.984***	0.055

<sup>1</sup>Pearson correlation: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ 。

<sup>2</sup>乾基、粗蛋白、粗脂肪、灰分、總能 (n=31)；植物性和基礎性食物的粗纖維、無氮抽出物 (n=23)。

表 8、試驗飼糧於黑熊消化道之通過時間 (passage time, PT<sup>1</sup>)、停留時間 (retention time, RT<sup>1</sup>)、總平均停留時間 (total mean retention time, TMRT<sup>1</sup>)，以及 48 小時排遺累計坨數。

	植物性				動物性		基礎食物	
	水果 <sup>2</sup>	根莖葉 <sup>2</sup>	香楠 <sup>2</sup>	板栗	無脊椎 <sup>2</sup>	哺乳類	平日飼糧	犬飼料
進食濕重 (g)	3516.2±693.6	2259.4±330.6	1399.2±242.0	3872±979	1572.5±272.2	3625±657	4453±893	1075±184
進食乾重 (g)	1011.7±177.4	1173.2±189.4	1041.5±175.9	1414±357	1349.4±233.6	1192±224	1500±255	980±168
通過時間	6±2	8±2	4±0 <sup>b</sup>	8±3 <sup>a</sup>	9±9	7±2	5±1	5±1
停留時間	29±3	26±1 <sup>b</sup>	33±10	48±0 <sup>a</sup>	28±3	35±9	38±11	42±11
總平均停留時間	19±3	21±1	21±2	25±3	22±3	24±5	21±2	23±2
排遺累計坨數	6±2	6±2	9±2	8±2	8±2	11±1	8±1	7±1
排遺累計總乾重 (g)	303.7±122.2	311.0±70.7	659.2±99.8	583.5±139.5	373.2±119.1	530.4±225.5	506.1±170.9	336.5±34.7

<sup>1</sup>PT 為食物從吃入到第一坨排遺出來的時間 (hr)；RT 為吃入食物後，直到所有排遺完畢為止的時間 (hr)。

$$TMRT = \frac{\sum_{i=1}^n MiTi}{\sum_{i=1}^n Mi} \quad Mi: \text{排遺坨數}, \quad Ti: \text{距離進食時間的排遺時間間隔 (hr)}。$$

<sup>2</sup>根莖葉、水果、香楠及無脊椎動物 4 種食物，數值為混合犬飼料表示。

<sup>a,b</sup> 同列中字母不相同者具顯著性差異 ( $P < 0.05$ )，以 K-W test 檢定。

表 9、亞洲黑熊對取食 8 種試驗飼糧之兩種校正係數 (correction factor)，包括沖洗 (prey mass presented, PMP) 及消化 (prey mass consumed, PMC) <sup>1</sup>。

食物類別	種類	沖洗校正係數 (PMP)	校正消化校正係數 (PMC)	PMP/PMC 比值
植物性	水果	16.6±4.7	4.6±1.4	3.9±1.5
	根莖葉	20.3±5.7	6.2±4.3	4.2±2.3
	香楠	9.2±3.6	1.9±1.3	5.4±1.7
	板栗	7.1±1.9	3.7±0.9	1.9±0.2
動物性	無脊椎	32.7±18.5	22.4±23.1	2.2±1.1
	哺乳類	11.4±5.0	4.1±1.2	2.7±0.5
基礎食物	平日飼糧	9.4±3.3	4.6±0.8	2.0±0.4
	犬飼料	-	4.4±0.6	-

<sup>1</sup>PMP=進食乾重量 (g) /排遺沖洗後殘留物質乾重 (g)，其中沖洗篩網孔徑為 2.00、1.19 及 0.7 mm。

PMC=進食乾重量 (g) /排遺物乾重量 (g)。

表 10、五種熊科動物對動物性食物和植物性食物之表面消化率 (%)。

食物型態	食物類型	種類	餵食部位	熊種	乾基	粗蛋白	脂肪	總能	文獻來源
動物性	海生哺乳類	海豹	肌肉、內臟	北極熊	87.1	93.3	95.7	91.6	Best 1984
			肌肉、內臟、骨頭		54.3	75.2	94.5	81.8	
			肌肉、內臟、骨頭、毛皮、油脂		82.4	83.2	97.9	91.8	
			毛皮、油脂		93.4	72.1	99.1	96.1	
	偶蹄類	鹿、牛	整隻動物	美洲黑熊	92.5	91	-	93.2	Pritchard and Robbins 1989
				棕熊	94.5	92.6	-	95.6	
		哺乳類	豬	肉骨和豬皮	亞洲黑熊	74.3	93.6	98.4	93.3
植物性	漿果	藍莓	整顆果實	美洲黑熊	64.7	17.1	-	63.7	Pritchard and Robbins 1989
				棕熊	63.8	18.9	-	62.7	
				亞洲黑熊	25.2	53.0	14.8	27.8	本研究
	堅果	松果	整顆果實	美洲黑熊	41.2	57.2	-	50.1	Pritchard and Robbins 1989
					70.1	46.6	94.5	71.9	Gray 2001
				亞洲黑熊	71.5	65.0	80.2	74.5	本研究
	根莖葉	塊莖		美洲黑熊	57.8	52.7	-	57.6	Pritchard and Robbins 1989
				竹子	葉子	貓熊	29.7	70.0	71.0
			筍		46.0	83.0	82.0	-	
		地瓜、空心菜	塊莖、整株植物	亞洲黑熊	79.2	60.7	86.6	79.7	本研究

表 11、棕熊與亞洲黑熊之排遺沖洗校正係數 (prey mass presented, PMP) 比較<sup>1</sup>。

食物類別	PMP 校正係數 <sup>2</sup>		餵食項目	
	本研究	棕熊	本研究	棕熊研究
水果	16.6	1.2	蘋果、木瓜、柳橙、奇異果	蘋果、藍莓、黑莓、漿果
根莖葉植物	20.3	0.5	地瓜和空心菜	草本植物、根及葉
堅果	7.1	1.5	板栗	松果
無脊椎動物	32.7	1.1	麵包蟲	蟋蟀和蛆
哺乳類動物	11.4	3.5	豬肉和肉骨	偶蹄類和嚙齒類

<sup>1</sup> 篩網孔徑：棕熊研究為 2 mm、2.36 mm、4 mm (Hewitt and Robbins 1996)；本研究為 2.00 mm、1.19 mm、0.7 mm。

<sup>2</sup> 沖洗校正係數公式，棕熊研究：進食乾重量 (g) / 排遺中殘渣 (ml)；本研究：進食乾重量 (g) / 排遺沖洗後殘留物質乾重 (g)。

表 12、利用本研究所測得之消化校正係數 (prey mass consumed, PMC)，參考野外台灣黑熊秋冬季之食性資料 (Hwang et al. 2002)，推估野外台灣黑熊之進食情況。

	RV(%) <sup>1</sup>	排序	消化校正係數	RV(%) * PMC	百分比例(%)	校正後之排序
1.植物	1.6	3	5.4	8.6	2.27	4
2.漿果	0.8	4	1.9	1.5	0.40	5
3.堅果	90.5	1	3.7	334.9	87.79	1
4.脊椎動物	6.7	2	4.1	27.5	7.20	2
5.無脊椎	0.4	5	22.4	9.0	2.35	3

<sup>1</sup> RV 為食物於排遺分析中所佔的相對比例 (relative volume)，即食物於排遺中佔的體積比例加總/排遺總數。

附錄、特有生物研究保育中心低海拔試驗站依圈養亞洲黑熊的重量及性別，所提供的平日飼糧食物種類及餵食重量 (g)<sup>1</sup>。

食物種類	體重 100kg (♀A)		體重 120kg (♀B)		體重 120kg (♂C)		體重 150kg (♂D)	
	週一~週五	週六	週一~週五	週六	週一~週五	週六	週一~週五	週六
番石榴	185.5	185.5	222.6	222.6	222.6	222.6	278.3	278.3
蘋果	312.7	312.7	375.2	375.2	375.2	375.2	469	469
柳丁	222.8	222.8	267.4	267.4	267.4	267.4	334.4	334.4
紅蘿蔔	212.3	212.3	254.8	254.8	254.8	254.8	318.5	318.5
木瓜	635.8	635.8	763	763	763	763	953.8	953.8
地瓜	1696.3	1696.3	2035.6	2035.6	2152.3	2152.3	2544.5	2544.5
犬飼料	169.2	169.2	203	203	233.3	233.3	253.8	253.8
饅頭	222.8	222.8	267.4	267.4	267.4	267.4	334.4	334.4
玉米	222.8	222.8	267.4	267.4	0	0	334.4	334.4
豬肉	0	315	0	378	0	378	0	472.5
肉骨	0	385	0	462	0	462	0	577.5
合計	3880.2	4580.2	4656.4	5496.4	4536	5376	5821.1	6871.1

<sup>1</sup> 每逢周日禁食。

## 作者簡介

作者姓名：陳亞萱

性別：女

出生年月日：1983 年 9 月 6 日

學歷：台中縣國立清水高中

私立大葉大學生物產業科技學系

國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士班

電子信箱：sblue631@yahoo.com.tw

永久地址：苗栗縣苑裡鎮上館里 2 鄰 32-1 號