

東海大學畜產與生物科技學系
Department of Animal Science and Biotechnology
Tunghai University

碩士論文
Master Thesis

指導教授：楊錫坤 博士
Advisor: Dr. Shyi-Kuen Yang

光照對鵝隻採食、生長性狀與代謝之影響
Effects of photoperiod on feeding, growth traits and metabolism in geese

研究生：朱宏鑫
Graduate student: Hung-Hsin Chu

中華民國 101 年 6 月

June, 2012

誌 謝

本論文承蒙指導教授 楊錫坤老師悉心指導與策勵，始克完成。
老師對學問的嚴謹更是我學習的典範，謹此致上誠摯敬意及感謝。

論文口試期間，承蒙弘光科技大學護理系 楊齊生老師，東海大學畜產與生物科技學系 陳珠亮老師詳細審閱，給予學生寶貴意見與指正，使本論文更加完備，受益匪淺。

求學期間，感謝學姊 馨誼在動物實驗上的鼎力相助及實驗分析上的傾囊相授，省去摸索的時間，順利完成學業；感謝加工實驗室諸位學長在試驗上的幫忙；感謝營養實驗室的學長、姊在試驗及分析上的幫助，使我能順利完成試驗。

最後，感謝我親愛的父親及母親，求學期間給予除學業外無虞的支持，祝福父母身體健康，生活順心平安。也感謝妹妹秀靈貼心的關懷，也祝福你生活與工作上能事事順心、平安。感謝我摯愛的可蓉，求學期間相互砥礪、彼此相互扶持及試驗上提供最多的幫助，一路相伴，一同完成學業。

謹將此論文獻給你們，謝謝你們給我的支持與鼓勵。

目 錄

	頁次
目錄	I
表次	IV
圖次	V
附錄	VI
壹、中文摘要	1
貳、前言	3
參、文獻檢討	5
一、生物節律之簡介	5
(一) 生物節律之種類	5
(二) 約日節律之簡介	7
二、代謝與行為之約日節律	8
(一) 活動之約日節律	8
(二) 採食之約日節律	9
(三) 能量代謝之約日節律	11
(四) 血中代謝物含量之約日節律	14
1. 血糖	14
2. BUN	15
3. 脂肪	16

(五) 體溫之約日節律 -----	17
三、代謝與行為之約年節律 -----	21
(一) 換毛 -----	21
(二) 體溫、能量代謝之季節性變化 -----	21
(三) 採食量、生長、體重、體組成之季節性變化 -----	23
(四) 其他越冬適應 -----	25
四、光照對代謝與行為之影響 -----	26
(一) 光照對約日節律之影響 -----	26
(二) 光照對換毛之影響 -----	27
(三) 活動、能量代謝與體溫之季節性變化 -----	28
(四) 光照對採食量、生長、體重之影響 -----	29
(五) 其他越冬適應 -----	32
五、餵飼與絕食對代謝之影響 -----	33
肆、材料與方法 -----	35
一、試驗設計 -----	35
(一) 試驗一 -----	35
(二) 試驗二 -----	36
(三) 試驗三 -----	38

二、採食記錄系統	41
三、血漿代謝物之測定	43
四、一般成分分析	43
五、屠體分析	44
六、統計分析	44
伍、結果	46
一、試驗一	46
二、試驗二	54
三、試驗三	60
陸、討論	63
柒、結論	70
捌、參考文獻	71
玖、英文摘要	80
拾、小傳	82
拾壹、附錄	83

表次

頁次

表 1	常見生物學節律之周期範圍 -----	6
表 2	飼料成分分析 -----	44
表 3	日夜顛倒處理對鵝之平均日增重、採食量和飼料效率之影響 -----	47
表 4	日夜顛倒及禁食對鵝之血漿代謝物含量之影響 -----	51
表 5	日夜顛倒處理與光暗期間對鵝之每小時採食量 (g/hr) -----	53
表 6	光照期對鵝之血漿代謝物濃度之影響 -----	56
表 7	光照期對鵝之平均日增重、飼料效率及每日採食量之影響 -----	56
表 8	光照期對鵝屠體性狀之影響 -----	57
表 9	光照期對鵝胸肉組成之影響 -----	57
表 10	光照期對鵝採食量之影響 -----	58
表 11	不同光照處理對鵝之二氧化碳產生量之影響 -----	62

圖次

	頁次
圖 1 試驗一之試驗設計 -----	36
圖 2 試驗二之試驗設計 -----	37
圖 3 試驗三之試驗設計 -----	39
圖 4 本研究所使用之代謝置。A 為實物照片，B 為示意圖 -----	40
圖 5 採食記錄系統 -----	42
圖 6 光照處理對鵝血漿中葡萄糖濃度之影響 -----	48
圖 7 光照處理對鵝血漿中三酸甘油脂濃度之影響 -----	49
圖 8 光照處理對鵝血漿中尿酸濃度之影響 -----	50
圖 9 日夜顛倒後第 8 日之密集鵝集採食量記錄 -----	52
圖 10 在短光照期與骨幹長光照期中鵝隻之一日內採食量變化--	59
圖 11 日夜正常與日夜顛倒中鵝隻二氧化碳產生速率之一日變化 -----	61

附錄

頁次

附錄 1 試驗一個別鵝隻第 1 日至第 7 日之密集採食量記錄	83
附錄 2 試驗二第 1 日之密集採食量記錄	84
附錄 3 試驗二第 2 日之密集採食量記錄	84
附錄 4 試驗二第 3 日之密集採食量記錄	85
附錄 5 試驗二第 4 日之密集採食量記錄	85
附錄 6 試驗二第 5 日之密集採食量記錄	86
附錄 7 試驗二第 6 日之密集採食量記錄	86
附錄 8 試驗二第 7 日之密集採食量記錄	87
附錄 9 試驗二第 2 週之密集採食量記錄	87
附錄 10 試驗二第 3 週之密集採食量記錄	88
附錄 11 試驗二第 4 週之密集採食量記錄	88

壹、中文摘要

本研究共分三試驗，其目的乃在探討光照對鵝之採食、生長、代謝與血漿代謝物含量之影響。在試驗一，將 16 隻 9 週齡白羅曼鵝逢機分成晝夜顛倒組 (R 組；18:00-08:00 開燈) 與對照組 (C 組；06:00-20:00 開燈)。每組各有 4 隻被個別飼養，以密集記錄採食量。在二週之試驗期結束時，個飼之鵝隻絕食後每隔 4 hr 被採集血液一次，連續 24 hr。每組另有 4 隻群飼之鵝隻亦被連續採血，但不絕食。結果顯示兩組在日間之每小時採食量 (HFI) 均顯著較在夜間者為多 ($P<0.05$)。每日增重 (DG)、每日採食量 (DFI)、飼料效率 (FE) 與每個時間點之血漿葡萄糖 (Glu)、三酸甘油酯 (TG) 與尿酸 (UA) 等濃度，在兩組之間皆無顯著差異 ($P>0.05$)。絕食鵝隻之 Glu、TG 與 UA 則顯著較未絕食者為低 ($P<0.05$)。在試驗二，16 隻 11 週齡鵝隻被逢機分組，分別暴露於 8L/16D 之短光照期 (SD 組) 或 8L/7D/1L/8D 之骨幹長光照期 (SL 組)，並被密集記錄採食量。鵝隻於 15 週齡時採集血液後，犧牲之，分析屠體性狀及胸肉之一般成分。結果顯示 SL 組之 DG、DFI、FE 與 UA 皆顯著低於 SD 者 ($P<0.05$)，而 TG 及 Glu 則無組間差異。SL 組之內臟旁脂肪重量顯著少於 SD 者 ($P<0.05$)，其餘屠體性狀與胸肉之一般成分在組間皆無差異。SD 組之 HFI，在日夜之間幾無差異 ($P>0.05$)。SL 組在光照

期之 HFI，顯著高於在黑暗期者 ($P<0.05$)。SL 組在黑暗期之 HFI 顯著低於 SD 組者 ($P<0.05$)，但在光照期之 HFI 則無組間差異。在試驗三，16 週齡以上體成熟白羅曼鵝 6 隻先後暴露於正常 14L/10D 光照 (C 處理) 與日夜顛倒之 10D/14L 光照 (R 處理) 後，在絕食 24 hr 後，於 25°C 之代謝箱中，密集記錄二氧化碳之產生速率 24 hr。結果顯示，C 處理之二氧化碳產生速率，其全日平均與日間平均皆顯著高於 R 處理者 ($P<0.05$)，而夜間平均則無處理間之差異。不管在 C 處理或 R 處理，二氧化碳產生之平均速率或最低速率，在日夜之間皆無顯著差異；然而，不管是日間或夜間之二氧化碳最低速率，C 處理者皆顯著高於 R 處理者 ($P<0.05$)。總結而言：日夜顛倒可降低鵝全日及白晝之絕食熱產生速率與最低熱產生速率，但並不影響每日增重、每日採食量與飼料效率；鵝之最低熱產量速率在日間與在夜間並無差異；短光照可提高鵝每日採食量、每日增重與飼料效率；骨幹長光照則降低內臟脂肪之堆積；光照可影響鵝之採食行為。

關鍵詞：日夜顛倒、採食、鵝、代謝、光照、骨幹光照

貳、前言

地球的生物置身於天體運轉所造成的氣候變動，例如一日之晝夜交替，一年之四季之變化。為了適應環境的變遷，生物體的生理也會呈現變化。有規則的變化就稱之為生物學節律 (biological rhythm)。有些生物反應需時較久，生物即演化出許多內在時鐘以事先預測環境的變化，再由外在環境的變化訊號予以校正成準確的節律周期。

動物的採食行為具有節律性變化：一般而言，日行性動物在白晝之採食活動與數量較多；夜行性動物則在夜間採食較多 (Bellier *et al.*, 1995; Villalobos *et al.*, 2008; Roberto *et al.*, 2010; Weinert *et al.*, 2005; Brinkhof *et al.*, 1998; Rashotte *et al.*, 1995)。然而，採食量在日夜間之比例，在不同種之間與同種不同報告之間皆有相當大差異。

本研究室曾發現在 07:00 或 17:00 限時 1 小時餵飼，鵝隻之採食量在下午者較多，在上午者較少，但在肥育期之日增重及飼料效率，則上午餵飼者顯著較下午餵飼者為佳 (Lui *et al.*, 2010)。當上午餵飼蛋白質量較低之飼料而下午餵飼蛋白質含量較高之飼料，則其飼料效率顯著較上、下午皆餵飼平均蛋白質飼料者為高 (Ho *et al.*, 2010)。此顯示鵝隻之採食與營養分利用具有一日內之變異。本研究之目的之一即在進一步瞭解鵝隻採食量與絕食熱產生速率在一日之內之變化，並探討光照所扮演之角色。

光照期影響許多種動物 (包括鵝) 之生殖已無庸置疑，對於採食

量、生長速率、體重、體組成等季節性差異及其所涉之可能機制，亦有許多綜論可供參考 (Adam and Mercer, 2004; Boon *et al.*, 1997; Ebling and Barrett, 2008; Morgan *et al.*, 2003; Tucker *et al.*, 1984)。大致而言，長光照期可促進採食量及蛋白質積聚，短光照期則有利於脂肪積聚，而對增重之影響則各研究並不一致。本研究室曾發現 2-8 週齡鵝隻給予長光照者，其日增重稍較短光照者為高，但每日採食量則與短光照者無異。自 8 週齡開始，將鵝再分為長光照與短光照組，結果顯示雖然採食量在組間無顯著差異，但 S-L 組 (生長期短光照，肥育期長光照) 之生長性狀最差，而 L-S 組 (生長期長光照，肥育期短光照) 較佳，而且光照對屠體性狀也有顯著影響，S-L 組之內臟脂肪、腹脂等重量最輕 (洪等，2009)。此等結果暗示，短光照有助於鵝之脂肪堆積，而長光照則不利於其脂肪堆積。本研究室曾在 6-15 週齡鵝隻在日出後 17 小時起補充光照 1 小時，發現其採食量在各週齡皆與自然光照組者無顯著差異，但其腹脂重量與胸肉粗脂肪含量則顯著較自然光照組者為少 (林等，2007)。此等資料顯示，骨幹長光照期，一如長光照期一般，可以減少鵝之脂肪堆積。本研究擬以骨幹長光照期與短光照期作比較，進一步探討光照影響採食量之細節，並再探討光照期對鵝隻肥育性狀之影響。

參、文獻檢討

一、生物節律之簡介

地球的自轉與公轉，以及其他天體的運轉，造成了潮起潮落、日出日落、月圓月缺、春去春來等規則的變化，也造成了日暖夜涼、冬冷夏熱等氣候變遷。生物的行為與生理功能也伴隨天體運轉而節律地變化。這些行為與生理功能的節律性變化有的是受天體運行與氣候變化直接控制或間接控制，有的則是生物自行演化出的內在節律受外在環境規則性變化一再校正所產生。

(一) 生物節律之種類

在生物體，許多諸如行為與生理功能之生物學變數，並非永恆不變，而是處於變動之中。如果這些變動以規則的時距重複發生，則稱之為生物學節律 (biological rhythm) 或生物節律 (biorhythm)，而此時間距離則稱為週期長度 (period)。週期長度接近 24 小時者稱為約日節律 (circadian rhythm)；週期長度少於約日節律者稱為日內節律 (ultradian rhythm)；週期長度較約日節律為長者稱為超日節律 (infradian rhythm)，包括週期約一週之約週節律 (circaseptan rhythm)、週期約 30 日之約月節律 (circatrigintan rhythm)、週期約一年之約年節律 (circannual rhythm) 等。各種節律及其週期如表 1 所列。這些節律之中，被瞭解較多者為約日節律與約年節律，本論文

之討論將著重於此二種節律。

表 1. 常見生物學節律之周期範圍

Table 1 The period ranges of usual biorhythms

節律 Rhythm	週期範圍 Range of period
日內 (ultradian)	$t < 20 \text{ h}$
約日 (circadian)	$20 \text{ h} < t < 28 \text{ h}$
超日 (infradian)	$t > 28 \text{ h}$
約週 (circaseptan)	$t = 7 \pm 3 \text{ d}$
約雙週 (circadiseptan)	$t = 14 \pm 3 \text{ d}$
約二旬 (circavigintan)	$t = 21 \pm 3 \text{ d}$
約月 (circatrugintan)	$t = 30 \pm 3 \text{ d}$
約年 (circannual)	$t = 1 \text{ yr} \pm 3 \text{ mon}$

t = period (from Piccione and Caola, 2003)

生物節律須與環境之變化相配合，生物才能健康與存活。在動物內部各生理功能之整合以及與環境變動之整合中，其中心樞紐為一內在時鐘 (clock)。此時鐘可經由神經徑路或內分泌徑路促使外周組織發生節律性之功能變化或使之同期化。此時鐘也受外在環境規則出現之訊號 (如光照、溫度、食物) 校正，而使其驅策之生物節律具有準確之一日或一年節律。此等外在環境訊號即被稱為授時者

(Zeitgeber)。

(二) 約日節律之簡介

約日節律廣泛存在於生物體中。這些約日節律乃是藉著一種在無環境訊號情況下自立、可被溫度調節、可被環境同期化的系統而產生 (Dunlap, 1999; Bell-Pederson *et al.*, 2005)。從原核單細胞之藍菌到較高等的哺乳類動物，已經有很多種生物被確認出約日時鐘所調節之生物節律 (Yerushalmi and Green, 2009)。更有甚者，許多生物體使用約日系統測量光照期以調節一年之變化 (Imaizumi and Kay, 2006)。產生約日節律之振盪器 (Oscillators) 包含了節拍器 (Pacemaker) 元素的正/負迴饋迴路 (Bell-Pederson *et al.*, 2005)。來自環境之訊號 (如光照或溫度的一日變化) 經由輸入路徑可以設定或同期化這些振盪器 (Roenneberg *et al.*, 2003)。動物在外圍組織中也具有外周振盪器 (例如肝臟)。這些外周振盪器可被一小群下視丘視叉上核 (suprachiasmatic nucleus) 的神經元所同期化 (Green *et al.*, 2008)。

在哺乳類動物，視網膜光感受器是光照之同期化作用所必需 (Okano and Fukada, 2003)。在鳥類，約日系統至少包含三套約日節拍器 (pacemaker) 和一些特化的光感受器。這些成分的交互作用對於節律之精確度及幅度極為重要 (Cassone and Menaker, 1984; Gwinner and Brandstatter, 2001)。此三套約日節拍器 (或生理時鐘) 分別位於視

網膜、松果腺及下視丘。一日節律之授時者中，最重要者為光暗週期。在哺乳類動物光源訊號傳到視網膜上之感光神經細胞後，再傳達到視交叉上核（也就是中樞時鐘）。藉此，生物體之生理即與外在之日夜周期同期化 (Golombek and Rosenstein, 2010)。然而，在鳥類則視網膜、松果腺與視交叉上核各具有感光細胞，而顯現出更為複雜之節拍器系統。

採食也是一種一日節律之授時者。採食有能力改變一日之節律，因餵飼之時間點之不同，會使生理節律產生相移，例如活動、代謝、血漿中代謝物質之濃度與血漿中與代謝相關內分泌素之變化 (Challent *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 1998; Kalsbeek *et al.*, 1998)。然而，採食行為除受食物存在與否影響之外，也受光暗週期調節（如後所述）。因此，不同之外在授時者之間也有交互作用，而共同調節內在時鐘。上述亦已提及生物體具有多元振盪器，而不同振盪器之間也具有交互作用。因此，某一生理節律現象是其內在時鐘與外在授時者交互作用之結果。

二、代謝與行為之約日節律

（一）活動之約日節律

在日行性動物（如人類），活動之巔峰時間發生在日間，而夜行性動物（如鼠與倉鼠）者則發生在夜間 (Benataali *et al.*, 2001)。維持

於 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 任飼於 8L/16D 之光照期，小鼠具有典型之活動節律：在夜間多，而在白晝少。若將黑暗期以弱光 (20 lux) 取代，小鼠仍保持典型之活動節律，但若整日皆暴露於亮光之下，則活動變成沒有節律 (Fonken *et al.*, 2010)。當鼠長期暴露於整日光照之情況下，則活動之一日節律即行消失；但當光照改變成整日黑暗後，鼠之活動恢復節律 (Deprés-Brummer *et al.*, 1995)。此顯示在任飼情況下，黑暗期是維持小鼠與鼠活動之約日節律所必需。

西伯利亞倉鼠 (Siberian hamster) 維持於 $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、任飼於 16L/8D 之情況下，活動具有明顯之節律：在夜間多，白晝少。然而，當光照改變成 8L/16D 以後，活動之節律性逐漸消失，而再恢復為 16L/8D 後，活動之約日節律又再發生 (Warner *et al.*, 2010)。此結果顯示光照期可影響活動之約日節律。

母馬在牧草地上，其活動顯現出日內節律，而在白晝與夜間具有相等之活動分佈，但任飼在氣溫 $16-18^{\circ}\text{C}$ 、14L/10D 之光控室內，雖然維持日內節律，但具有明顯之一日節律：白晝活動多，黑夜活動少。在轉變成連續黑夜後二日內，活動之一日節律仍然存在 (Martin *et al.*, 2010)。此等結果顯示，母馬在人工控制之環境下，其活動具有內在之約日節律，但在室外環境可能尚有影響活動之其他因素。

(二) 採食之約日節律

在紐西蘭白兔 (New Zealand White Rabbit), 每日 07:00-19:00 給予光照之條件下給予任飼, 其採食量於 08:00-14:00 時為一日中最低之時段, 而 04:00-06:00 時則為一日最高之時段 (Bellier *et al.*, 1995)。另一研究發現, 在 08:00-19:00 之光照環境下, 給予兔 (New Zealand White Rabbit) 任飼, 其採食量於 24:00 時為一日之最高, 然後下降, 至 12:00 時降至一日之最低, 爾後再上升 (Villalobos *et al.*, 2008)。

在鼠 (Wistar rat), 暴露於 12L: 12D 之光照條件下, 給予任飼, 則入夜後, 採食量達一日之高峰, 之後漸減並在夜間維持波動, 進入光照期後降至最低, 日間與夜間之總採食量比為 19.7% : 80.3% (Roberto *et al.*, 2010)。

在離乳豬, 分別暴露於 23L:1D 及 8L:16D 之不同光照條件下, 給予任飼, 結果 23L:1D 組者, 在試驗第一週時, 其一日之採食量於入夜前達高峰, 而後下降, 開始光照後又達一採食之高峰, 隨後下降, 而試驗第二週時, 僅於入夜前達一日採食量之高峰。光照期間, 每隔一段時間便會有採食之行為發生。8L:16D 組者, 在試驗第一週時, 於開燈時達一採食高峰, 而入夜後達一日採食量之高峰; 在試驗第二週時, 開燈時有採食行為, 入夜時達一日採食之高峰。光照與黑暗期間每隔一段時間便有採食行為之發生 (Bruininx *et al.*, 2002)。

在小鼠，分別暴露於 12L:12D 及 6L:18D 之不同光照條件下，結果在 12L:12D 組，在入夜後採食量開始上升，一段時間後達一日之高峰，光照開始後一段時間亦有一採食之高峰，而 6L:18D 組在入夜後採食量開始上升，一段時間後達一日之高峰，之後下降，並有一採食波動，光照期間之採食量則較少 (Weinert *et al.*, 2005)。

在大鼠，暴露於 12L:12D 之光照條件下，其一日之採食量大多集中於夜間，光照期間之採食量則較夜間為少 (Brinkhof *et al.*, 1998)。

本研究室曾發現在 07:00 或 17:00 限時餵飼 1 小時者，鵝隻之採食量在上午者較少，但在肥育期之日增重與飼料效率卻較好 (Lui *et al.*, 2010)。

(三) 能量代謝之約日節律

將 24 週齡之正常鼠 (夜間活動之動物) 任飼於 21°C 之環境溫度、12L/12D 之光暗週期下 (光照從 08:00 至 20:00)，則其總能量消耗呈現約日節律。能量消耗在開燈前不久 (05:00 至 08:00) 與關燈後不久 (20:00 至 22:00) 各出現一次高峰，而在光照期中央 (12:00 至 14:00)，能量消耗最低，此時鼠通常呈現睡眠狀態。以餘弦函數回歸，其最高點時間約位於黑夜之中央。由呼吸商 (respiratory quotient, RQ) 推測，來自碳水化合物之能量消耗有明顯的約日節律，而來自脂肪之能量消耗則無明顯之約日節律 (Ichikawa *et al.*, 2000; Miyasaka

et al., 2004)。

有時心跳速率也被當作能量消耗之指標。雄性米格魯獵犬 (Beagle) 維持於 12L/12D (8:00 開燈) 之光照期與 $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之氣溫下，每日在 10:00 餵飼一次，則其心跳速率呈現明顯之一日節律，在餵飼之前即已開始增加，而其最高點約在光照期間之中央，此種節律在絕食 60 小時內仍然維持不變 (Piccione *et al.*, 2005)。由於心跳速率在餵飼之前即已增加，且在絕食期間仍保持一日節律，故餵飼所引起之活動與心跳節律 (或進一步推測為能量消耗之節律) 顯然與之無關。

西伯利亞倉鼠 (Siberian hamster) 任飼於 $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、16L/8D 之情況下，氧氣消耗速率、二氧化碳產生速率與熱產生速率，皆呈現明顯之一日節律：在入夜前開始上升，在入夜時分達到高峰，隨即下降，約在光照開始時達到最低。當光照改變成 8L/16D 以後，此等能量代謝之節律性逐漸消失，而再恢復為 16L/8D 後，活動之約日節律又再發生 (Warner *et al.*, 2010)。此結果顯示光照期可影響能量代謝之約日節律。

生長豬被飼養於 12L/12D、 22°C 、每日於 11:30 充分餵飼一次之條件下，熱產生具有明顯之一日節律，在餵飼後之時段最高，然後逐漸下降，而在餵飼前達到最低。然而，在絕食 4 日之內，此種節

律持續進行，唯整個曲線向下移 (Chwalibog *et al.*, 2004)。

成熟母雞任飼於 18-22°C、16L/8D 情況下，代謝速率自日落之前開始下降，在日出之後開始上升，而顯現出明顯之一日節律。在母雞置於連續光照或連續黑暗之情況下，代謝速率仍然具有節律，但個體之間變得較不同期化 (Berman and Meltzer, 1978)。此顯示代謝速率具有內在節律，而此節律可被光照同期化。

將麻雀 (house sparrow; *Passer domesticus*) 飼養於 21±1°C、12L/12D 之光暗週期下，能量消耗速率自天亮後開始增加，而在黑夜期間能量消耗速率低，且顯現出一個典型的約日節律模式，當光照為 8L/3D/1L/12D 之骨幹長光照 (週期為 24 hr) 或 10.5 L/10.5D、13.5L/13.5D 之非 24 小時 (adhemeral) 光暗週期，麻雀亦顯現出被光暗週期同期化之能量消耗節律 (Wikelski *et al.*, 2008)。此顯示，光照可使麻雀之能量消耗節律同期化。

成年鴿子 (*Columba livia*) 任飼於 19-22°C、12L/12D 之環境下，其氧氣消耗速率在開燈後迅速上升，在關燈後迅速下降，而在夜間維持低水平，此種節律在剝奪食物後 8 日仍然存在 (Rashotte *et al.*, 1995)，顯示能量消耗之節律並不依賴採食行為之節律。

蒙古沙鼠 (Mongolian gerbils; *Meriones unguiculatus*) 為一日行性動物，其血漿中瘦體素 (leptin) 含量具有一日節律之變化：瘦體素之

濃度在中午時較午夜時為高 (Karakas *et al.*, 2005)。瘦體素是脂肪所分泌之內分泌素，具有增加代謝速率之作用 (Gaetke *et al.*, 2002)。此或許即為能量消耗一日節律之調控因子之一。

(四) 血中代謝物含量之約日節律

1. 血糖

在飽食狀態下，葡萄糖由飼糧中提供，在小腸中被吸收後，進入血液中，會刺激胰島素分泌。胰島素抑制肝糖分解成葡萄糖，並促進在肝臟與肌肉之肝糖合成。胰島素刺激葡萄糖之儲存，並促進葡萄糖進行糖解作用與磷酸五碳糖氧化路徑。胰島素亦抑制葡萄糖自肝釋入血流，但卻促進葡萄糖進入肌肉。因此，胰島素降低血液中血糖之濃度，或抑制血中葡萄糖之上升。(姜，2009)。

在飢餓狀態下，肝臟首先水解肝糖，然後才增加葡萄糖新生成作用，以維持正常血糖，提供腦及其他組織所需之葡萄糖(姜，2009)。

血漿中葡萄糖濃度之一日節律在試驗動物較在人類更為明顯。在鼠，血漿中葡萄糖濃度於清醒後開始上升 (Kalsbeek *et al.*, 2010)。

在鼠，以每日平均餵飼 6 餐與任飼比較其血漿中葡萄糖濃度是否發生改變，結果發現胰島素、升糖素節律受到改變，而血漿中葡萄糖濃度之節律則維持與任飼時相同 (Kalsbeek *et al.*, 2010)。

在反芻作用發育前的小牛(約 14 日齡)，每日餵飼兩餐者，其血

漿中葡萄糖濃度會在採食後立即上升，並維持高濃度達 4 至 5 小時，而於餐後 6 小時下降，再進食後便會再出現此相同之濃度變化 (Ortigue *et al.*, 1996)。

在豬，每日餵飼兩餐 (06:00、18:00) 之情況下，其血漿中葡萄糖濃度在餐後 1 小時後達到高峰，之後再下降一些，並維持一小幅度之波動，下一餐餵飼之後血糖濃度又再出現相同之變化 (Koopmans *et al.*, 2005)。

2. BUN

在飽食狀態下，飼糧中的蛋白質經過蛋白酶之水解後，會釋出小分子之胜肽及胺基酸，會被小腸吸收，經肝門靜脈被送至肝臟，再送至全身。胺基酸之胺基在哺乳動物體內最終代謝產物主要為尿素，但亦包括少量的胺、肌酸酐、尿酸及其他含氮化合物，藉由尿液排出體外。尿素由肝臟藉尿素環生成，釋入血液至腎臟，藉由尿液排出體外。在鳥類，胺基酸之胺基最終形成尿酸 (姜，2009)。

在飢餓狀態下，肌肉為體內胺基酸之主要提供者。肌肉釋出之胺基酸大部分到達肝臟，以葡萄糖 - 丙胺酸環中的葡萄糖新生成作用及尿素環分別形成葡萄糖及尿素，分別提供血糖及排出含氮代謝產物。含氮代謝產物則由肝臟經由尿素環，最後排出體外 (姜，2009)。

人類之血漿中尿酸濃度在 05:00 時為一日之最高，之後開始下

降，在 17:00 時為一日之最低，然後再開始上升 (Kanabrocki *et al.*, 2000)。

血漿中尿素濃度在反芻作用發育前的小牛 (約 14 日齡)，其一日之變化與餐後濃度之變化皆不明顯，且尿素之濃度在一日之中皆相當低 (Ortigue *et al.*, 1996)。

在豬，每日餵飼兩餐 (06:00、18:00) 之情況下，其血漿中之尿素濃度在餵飼之後，會漸漸上升，餵飼後之三小時達到高峰，下次再餵飼時亦有此濃度之變化出現 (Koopmans *et al.*, 2005)。

3. 脂肪

在飽食狀態下，食物中脂肪酸被吸收後，在腸細胞中酯化為三酸甘油酯，以乳糜球形式進入血液中，被位於脂肪細胞周邊微血管內皮細胞上的脂蛋白質解脂酶水解，釋放脂肪酸進入脂肪細胞中。在脂肪細胞中與甘油-3-磷酸酯化形成三酸甘油酯後儲存之。血液中高含量的胰島素可促進葡萄糖進入脂肪細胞中，轉換成較多的甘油-3-磷酸，並促進所有的脂質合成及酯化作用相關酵素之活性，加速脂質合成及酯化作用。在飢餓狀態下，血液中胰島素含量下降及腎上腺素及正腎上腺素含量上升，可促進位於脂肪細胞內油滴上之內泌素敏感解脂酶活性，使油滴中三酸甘油酯水解釋出游離脂肪酸，進入血液中，被運送至其他組織，如肝臟及肌肉，作為能量來源 (姜，2009)。

在反芻作用發育前的小牛 (約 14 日齡)，每日餵飼兩餐者，其血漿中三酸甘油酯濃度在餐後立即升高 37% 至 64%，並維持高濃度 3 小時後才下降，且在餐後 4 至 6 小時，其濃度會再次提高，直至下一餐餵飼時達到與前一餐之相同之高峰，並在維持一段時間之後下降 (Ortigue *et al.*, 1996)。

在鼠，暴露於 12L:12D 之光照條件下，給予任飼，則血漿中三酸甘油酯濃度在餵飼後之半小時達到高峰，之後再下降 (Mantha *et al.*, 1999)。

(五) 體溫之約日節律

動物體溫決定於散熱、產熱與自外界吸熱之熱平衡。然而，恆溫動物可經由散熱與產熱之調節而維持體溫於一狹窄範圍。在身體不同部位之體溫並不相同，一般而言，體心溫度最高，越靠近體表越低。在正常情況下，體心溫度與平均皮膚溫度之間具有 4°C 之梯差，在寒冷時，兩者之梯差更大。一般而言，即使環境情況改變，體心溫度仍然維持相對穩定，而體表溫度則較易受環境影響 (Piccione and Caola, 2003)。在家畜，經常以直腸溫度當作體心溫度。

日行性動物，(如：馬、綿羊及人類)，之體溫在一日內之變化有如一駝峰，在 18:00-20:00 時為一日之最高，而 04:00-06:00 時則為一日之最低 (Leproult *et al.*, 2005; Piccinoe *et al.*, 2005)。

山羊在 12L/12D 光照及 26-32 °C 自然氣溫下，每日於光照開始時餵飼一次，則山羊直腸溫度在一日之中呈現規則之變化：自光照開始時開始上升，而在關燈後 2-3 hr 達到高峰，隨即逐漸下降，約在開燈時達到最低點。此種規則性體溫變化，在絕食 4 日之內仍然存在 (Piccione *et al.*, 2003)。此顯示規則之餵飼或採食並非體溫規則性一日變化所必需。在固定時間餵飼下，不管是整日光照 (LL) 或在 12L/12D 光照之不同時間餵飼等情況下，山羊之體溫亦維持規則性一日變化，且其最高點皆在餵飼後 9-12 小時 (Piccione *et al.*, 2003)。此顯示餵飼或採食是山羊體溫約日節律之重要授時者 (Zeitgeber)，而光照則非直接授時者。上述結果顯示山羊體溫之變化具有內在之約日節律，並可被餵飼時間同期化。

雄性米格魯獵犬 (Beagle) 維持於 12L/12D (8:00 開燈) 之光照期與 21±2°C 之氣溫下，每日在 10:00 餵飼一次，則其體溫呈現明顯之一日節律。約在開燈時最低，在開燈後上升，而在關燈時達到最高峰，之後，在夜間逐漸下降。在絕食 60 小時內，此一節律亦維持不變 (Piccione *et al.*, 2005)。此等結果顯示規則之餵飼並非獵犬體溫節律性變化所必需。

成年公鼠 (夜行性動物) 在 23°C、12L/12D (0700-1900 光照) 之環境下，其體溫在進入光照前開始迅速下降至最低點，之後稍微上

升，在進入夜晚時繼續升高，並在 24 時達到高峰 (Deprés-Brummer *et al.*, 1995)。

在 15°C、8L/16D、任飼之環境下，倉鼠 (Djungarian hamster) 每 2 日就發生一次活動遲緩的現象。在非遲緩期之夜間，倉鼠之體溫可維持在 36.4°C，而在光照期間下降至 35.5°C；當遲緩期發生，在夜晚，倉鼠體溫同樣可維持在 36.4°C，但在進入光照期後，開始逐漸下降，並在光照中期 (14:50) 時達到最低 (20.9°C)，在進入夜晚後體溫迅速上升，並在進入夜間 1 hr 後達到正常的體溫 (Heldmaier *et al.*, 1999)。此等結果顯示在溫度不變之情況下，體溫在一日之內仍有節律性變化，且此節律性變化與光暗週期一致。

由於活動將產生熱，因此活動之在一日內之變化可能與體溫之變化相符合。事實上，Befinetti (1999) 分析四種夜行性動物與四種日行性動物之體溫與活動之節律，發現體溫與活動之節律性變化皆十分一致。然而，當鼠長期暴露於整日光照之情況下，則體溫與活動之一日節律即行消失，而轉變成日內節律，且體溫與活動之節律發生短暫之不一致；當光照改變成整日黑暗後，鼠之體溫與活動皆恢復節律，且兩者同期化 (Deprés-Brummer *et al.*, 1995)。此等結果顯示光照週期對於體溫與活動之一日節律之存在與兩者之同期化極為重要，也暗示控制體溫與活動之振動器並不相同。

維持於 24°C、14L/10D、任飼之金色倉鼠 (golden hamster；*Mesocricetus auratus*) 雖然在夜間之活動較多，熱產生與體溫也在夜間較高，但在對活動作矯正後發現，夜間具有與活動無關之熱產生與體溫上升 (Brown and Refinetti, 1996)，再次顯示體溫之節律並不完全受制於活動之節律。

將成年鴿子 (*Columba livia*) 飼養在 19-22°C、12L/12D、任飼之環境下，可以觀察到鴿子在進入黑夜 (此時鴿子處於休息的狀態) 之前，體溫就開始逐漸下降，而在夜晚正中央時達到最低點，之後在天亮前 2 小時開始迅速上升，並在天亮後逐漸增加體溫，而達到最高點。在絕食狀態下之鴿子，體溫不但仍然具有一日節律，同樣在進入夜晚前降低，天亮前升高，而且其變化幅度甚至較在任飼情況者更大 (Rashotte *et al.*, 1995; 1998)。

日行性品系之鼠 (*Arvicanthis ansorgei*) 於 23°C、12L:12D 的光照條件下，其體溫在進入光照後開始下降，入夜前達到高峰，入夜後再次下降至最低點；夜行性品系之鼠 (*Rattus norvegicus*)，則體溫在進入光照期後下降至最低點，入夜後開始升高至最高點 (Cuesta *et al.*, 2009)。

日行性動物與夜行性動物活動之時間點不同，從上述之情形可推論，兩不同種動物在開始活動後，不論日間或夜間，體溫便會開始上

升，一段時間後會到達最高點，之後便會下降，直至休息之後。

三、代謝與行為之約年節律

(一) 換毛

換毛為鳥類一年週期中之重要階段，換毛之主要目的在於保護鳥類，使其維持其體溫並幫助飛行。羽毛佔鳥類總脫水體重 (total body dry weight) 超過 20% (Dawson, 2006)。因此換毛之能量需求十分巨大。哺乳類動物之毛皮在冬季或夏季之絕緣值並不相同，故也會進行季節性換毛，以利體溫之維持及節省能量。

三線賈卡利亞倉鼠 (Djungarian hamster; *Phodopus sungorus*) 在進入冬季前之短光照環境下，會促使其開始換毛，而進入夏季前之長光照，亦會促使其開始換毛 (Hoffmann, 1978)。

在英國愛可堡之索厄綿羊 (Soay)，每年在春季時，便會開始出現明顯之換毛 (Lincoln, 1990)。

在墨西哥之麻雀 (*Zonotrichia capensis*)，每年於 10-12 月間進行換毛，夏季 5 月時還會再進行一次換毛 (Davis, 1971)。

目前已知光照長短之變化與換羽之發生有關。

(二) 體溫、能量代謝之季節性變化

土撥鼠 (Woodchucks; *Marmota monax*) 在環境溫度 20-23°C 下，其體溫在秋季 (光照約 12 小時) 時最低，全年範圍自 20-34°C，

全年平均在 26.8°C。血清中之瘦體素 (leptin) 在夏季過後達一年之最高，然後隨光照時間之減少而降低，在冬季期間達到一年之最低點，再隨光照時間之增長而升高 (Concannon *et al.*, 2001)。

紅腹濱鵝 (Knot; *Calidris canutus*) 在夏季 (6-7 月) 時之基底代謝速率 (Basal metabolic rate; BMR) 為一年之最高，之後一個月快速下降，在入冬前 (9-10 月) 開始上升，12 月後又再次降低，於 3 月再開始上升，到夏季再達高峰 (Piersma *et al.*, 1995)。

在白尾鹿 (white-tailed deer; *Odocoileus virginianus*)、麋鹿 (moose; *Alces alces*)、麇 (roe deer; *Capreolus capreolus*)、與 wapiti (*Cervus elaphus nelsoni*) 之研究指出：這些動物在冬季期間降低代謝速率，但亦有其他報告發現基底代謝率在夏季與冬季之間並無差異，而認為代謝速率季節性變異之原因為：活動力在季節之不同，以及不能在動物之中溫帶 (thermoneutral zone) 或吸收後狀態測定 (Loudon, 1994)。事實上，紅鹿每日之總活動時間在四月與五月增加，在六月至十月維持高水平，然後在情慾季節 (rutting season) 之後持續下降至一月與二月之最低水平 (Arnold *et al.*, 2004)。

Arnold *et al.* (2004) 發現紅鹿之代謝速率 (以心跳速率為指標) 具有甚大幅度之季節性變化，在冬季低谷時僅為在夏季高峰時之 40%，而冬季能量消耗下降則可歸諸於夜間之代謝過低 (nocturnal

hypometabolism)。

紅鹿每日平均與最高皮膚溫度，在一整年具有明顯之小幅度變異，但每日之最低皮膚溫度卻有相當大之變異：二月與三月份有 16–17°C 之最低值，而在 11 月份有 35°C 之最高值 (Arnold *et al.*, 2004)。瘤胃溫度 (可被視為體心溫度) 雖然一年之變異僅約 0.5°C (39.1–38.6°C)，但仍然具有明顯之季節性，在冬季最低，而在春季最高 (Turbill *et al.*, 2011)。

舍飼之 barnacle geese (*Branta leucopsis*) 其休息代謝速率 (resting metabolism) 在一年之中具有變異，在換毛期間者顯著較在換毛前與換毛後者為高 (Portugal *et al.*, 2007)。

(三) 採食量、生長、體重、體組成之季節性變化

對野生動物而言，食物之供給來源受季節性之變化影響甚大，因此，觀察動物之採食量及體重之變化通常為一重點 (Loudon, 1994)。哺乳動物之採食量及體組成也受季節性及光照影響 (Mrosovsky and Sherry, 1980)。

在 42°N，一年最長光照時間約 15 小時，最短約 9 小時，土撥鼠 (*Marmota monax*) 之體重約在最長光照期後之一個月會達到一年中之最高點，而在最短光照期後之一個月會達到一年中之最低點，且在兩年之試驗期間內，同時段之體重變化具有重複性 (Concannon *et*

al., 2001)。

與體重之變化相平行者，土撥鼠之採食量在一年之最長光照期時達到最高，然後隨光照時間之減少而減少，並在最短光照期到達前約三個月時，採食量達到最低，之後再隨光照時間之增長而再增加，在試驗之兩年期間內皆有相同之變化 (Concannon *et al.*, 2001)。

紅腹濱鷸 (Knot; *Calidris canutus*) 在夏季 (6-7 月) 時體重達一年之最高，隨後體重下降，於入冬前小幅上升 (Piersma *et al.*, 1995)。

在溫帶與寒帶鹿隻，自願採食量與體況都呈現季節性周期 (Loudon, 1994)。以紅鹿為例，在自然情況下，自願採食量之年之巔峰發生在仲夏，而低谷發生在仲冬 (Loudon *et al.*, 1989)。

在自然光照下，於四、五、六、七、九與十一月，密集測定飼料重，得知一歲齡母紅鹿之每日乾物質採食量 ($\text{g/Kg}^{0.6}$) 在 4-6 月間上升，在 9-11 月間下降；日間之每小時採食量在月份間無差異，但夜間之每小時採食量則 11 月份者明顯較少 (Sibbald, 1994)。顯然紅鹿之採食量與採食行為具有明顯之季節性變化。

成年紅鹿 (red deer; *Cervus elaphus*) 與麁 (Père David's deer; *Elaphurus davidianus*) 之體重與自願採食量皆具有一年之季節性變化，但麁之變化曲線較紅鹿者提前 (Loudon *et al.*, 1989)。作者認為紅鹿體重之變化可能歸諸於採食量之變化，而非利用效率之不同，但麁

體重之變化顯示則為能量利用效率季節性變化之反映。

利用遙測技術得知紅鹿靜止時之心跳速率具有明顯之季節性變化，其最高點皆在早春。每日平均靜止時之心跳速率在三月底與四月急劇增加，在五月達到高峰 (65-75 次/分)，在夏季與秋季月份維持一中間數值 (50-60 次/分)，然後在 11 月底開始下降，在整個冬季月份下降至約 40 次/分 (Turbill *et al.*, 2011)。

舍飼之 barnacle geese (*Branta leucopsis*) 即使未被限制食物，其體重亦呈現一年性之變化：一月與七月初各有一高峰，而在八、九月份之換羽期間，體重迅速下降至最低點，而後開始上升 (Portugal *et al.*, 2007)。換羽期間之體重下降除了與上述休息代謝速率之增加有關之外，可能亦與採食行為有關，因在換毛期間花費於採食之時間顯著較在換毛前或換毛後者為少 (Portugal *et al.*, 2007)。

(四) 其他越冬適應

地松鼠 (Ground Squirrels; *Spermophilus lateralis*) 每年於 10 月至 1 月間進入冬眠。體重在冬眠前達到一年中之最高，在進入冬眠後開始下降，直至冬眠結束為止，體重才因開始採食，而體重漸漸上升 (Barnes and York, 1990)。

庭院林鶯 (Garden warblers; *Sylvia borin*) 每年於 7 月夏季 (短光照) 開始換羽，換羽結束後，於 9 月開始遷徙，至 12 月後，為了

夏季時能再次返回繁殖地，會在 3 月春天時（長光照）遷徙回原棲息地，準備繁殖 (Gwinner, 1996)。

極北柳鶯 (Willow warbler ; *Phylloscopus trochilus*) 於每年 7 月（長光照）時開始換羽，並於 9 月遷徙前完成換羽，11 月到達過冬地，於 1 月時再次換羽，並於 3 月遷徙前完成換羽，開始遷徙回原棲息地，於 5 月時回到原棲息地後，準備開始繁殖 (Gwinner, 1977)。

一般認為除了冬眠以外，遷徙也是適應環境變化之重要機制。

四、光照對代謝與行為之影響

(一) 光照對約日節律之影響

在鼠，改變光暗環境會造成其體溫之節律發生相移 (Krieger and Hauser, 1978)。另外，在三種不同之光照環境下(恆亮、亮光與微光交替與光暗交替)，小鼠在 24 小時內之活動次數，在三者之間並無顯著之差異(Fonken *et al.*, 2010)，但在光暗交替的光照環境下，鼠之活動高峰於入夜之前達到 (Refinetti, 2006)。此顯示光暗交替可同期化鼠活動之一日節律。

日行性品系之鼠在 12L:12D 的光照條件下給予任飼，則其在光照期間之採食量較在黑暗期者為多；而夜行性品系之鼠，於相同環境下，則在黑暗期之採食量較多 (Cuesta *et al.*, 2009)。

然而，將鼠放置於日夜顛倒的環境中，與對照組之血漿中皮質固

醇作比較，並未發現其濃度之一日起伏變化在兩者之間有何不同 (Krieger and Huaser, 1978)。

(二) 光照對換毛之影響

許多溫帶之鳥類在經過性腺退化後，長時間暴露在長光照的環境下或光照期增長的情況下，很快會發生換羽的情形 (Dawson *et al.*, 2001)。一般而言，鳥類會利用光照期之變化來控制其繁殖及換羽之發生 (Dawson, 2007)。

鳥類身體之成長與初次換羽需在光照變化與高能量之下，分別於一年之不同時間進行 (Dixit and Singh, 2011)。雄樹雀 (Tree Sparrow)，分別暴露於 9L:15D、12L:12D 及 14L:10D 等三種不同之光照處理，測定其換羽之速度及羽毛之品質，結果發現在 12L:12D 與 14L:10D 兩組別之樹雀，其換羽速度與換羽之羽毛品質較在 9L:15D 之組者為佳 (Dixit and Singh, 2011)。

歐掠鳥 (Starling) 分別暴露於 18L、13L、8L、由 13 轉變為 18L 與由 13 轉變為 8L 等五種不同光照處理，結果 18L 者於第 59 日開始換羽，13L 者於第 87 日開始換羽，由 13 轉變為 18L 者於第 79 日時開始換羽，而 8L 及 13 轉變為 8L 兩組則無產生換羽 (Dawson, 2006)。

三種分別居住於非洲、歐洲及哈薩克之野鵲 (stonechat)，其換羽

之期間分別為 4 個月 (光照在 11 小時)、4 個月 (光照由 18 小時減少至 11 小時) 及 1 個月 (光照由 18 小時減少至 16 小時) (Gwinner, 2003)。表示光照長度較長，其換羽所需期間愈短。

(三) 光照對活動、能量代謝與體溫之影響

倭狐猴 (Gray mouse lemur; *Microcebus murinus*) 從長光照 (14L) 移至短光照 (10L) 後，其採食量在最初一週上升，但之後即隨短光照週數之增加而開始下降，體重隨之上升，血漿中三酸甘油酯濃度也隨之上升，但基底代謝沒有明顯變化。反過來，從短光照移至長光照後，其採食量上升，體重下降，三酸甘油酯濃度上升，而基底代謝也沒有明顯變化 (Genin and Perret, 2000)。

鼠 (Wistar rat) 在長光照 (18L) 或短光照 (6L) 之情況下，移動活動皆有明顯節律，但活動之一日形式具有差異：18L 者，夜間之活動約在開燈前 1-2 hr 即開始活躍，持續至黑夜結束；而 6L 者，黑夜開始時有一短暫之活動活躍期，隨後即有一 5-6 hr 之偶而活動期，之後有一 10-12 hr 之活動旺盛期持續至開燈前 1 hr。就日間活動而言，18L 者較 6L 者為多，而就夜間之活動而言，18L 者較 6L 者為少，故一日之總活動量在兩光照組之間無顯著差異 (Boon *et al.*, 1997)。然而，任飼於 18L 之鼠，其每日能量消耗與休息代謝速率皆較任飼於 6L 者為高，而且，不管在光照期或黑夜期，18L 組之能量

消耗亦皆較 6L 組者為高 (Boon *et al.*, 1997)。

西伯利亞倉鼠在長光照期中能量之攝取量 (86.5 ± 6.96 kJ/d) 維持地很穩定，但在改變成短光照期後，能量攝取逐漸減少，到第 61 日達到最低量 (73.0 ± 6.77 kJ/d)，能量消耗亦在改變成短光照期之後下降，但較能量攝取者延遲約 2 週 (Knopper and Boily, 2000)。

(四) 光照對採食量、生長、體重之影響

生長中之鼠 (Wistar rat) 任飼於 18L 或 6L，則前者之生長速率與前 80 日之飼料效率，皆較後者為高。總能攝取量不受光照影響，但採食之時間分佈則有明顯不同：18L 組在光照期之攝食量占 46.1%，而 6L 組僅占 1.5%。試驗結束後之體組成分析顯示，18L 組具有較高之瘦肉體重，而脂肪重、脂肪百分率與瘦肉體重百分率則無組間差異 (Boon *et al.*, 1997)。此等結果顯示，光照長度雖不影響總採食量，但影響採食之時間分佈、生長速率與飼料效率。

肥胖型 Zucker rat 自 1 週齡離乳開始暴露於 14L 或 10L 之光照下，則前者之增重較多，但兩組之採食量無差異；然而，在瘦型 Zucker rat，光照期並不影響生長 (Larkin *et al.*, 1991)。此顯示光照效果亦受遺傳影響。

雄性西伯利亞倉鼠維持於 16L 之光照期時，體重維持地十分穩定，但當將光照期改變成 8L 後，則體重逐漸下降 (Mercer *et al.*,

2001)。此一體重之下降，與採食量之下降有關 (Knopper and Boily, 2000; Mercer *et al.*, 2001)。有趣者，當倉鼠維持於長光照期但被限飼以模擬暴露於短光照期者之體重下降，則其弓狀核 (arcuate nucleus) 中與食慾相關基因 (NPY、AGRP、CART、POMC) 之表現變化，與短光照組者並不相同 (Mercer *et al.*, 2001)。當倉鼠由長光照改變成短光照之後，在體重逐漸下降之中限飼，則體重如同預期一般地加速下降，但當恢復任飼，則體重迅速上升，但僅能達到未限飼者當時之體重水平 (Mercer *et al.*, 2001)。此顯示，光照期可以調節體重之設定點。

小鼠在恆亮、光亮與微光交替與光暗交替組等三種不同之光照條件下，其每日之飼料消耗量，在組間並無顯著差異。然而，在光暗交替與其他兩組作比較時發現在光照期之採食量顯著較其他兩組同時段之採食量為少，體重亦復如此，而恆亮組及光亮與微光交替組，體重之增加也反應在白色脂肪組織之增加 (Fonken *et al.*, 2010)。

在離乳豬，延長光照期可促進採食量。離乳豬暴露於 8L:16D 之光照下，與暴露於 23L:1D 者作比較，在第一週，兩組之間無顯著差異；在第二週，23L:1D 組之採食量則顯著高於 8L:16D 組；兩週之平均採食量，23L:1D 組者亦顯著高於 8L:16D 組者 (Bruininx *et al.*, 2002)。此顯示長光照可促進仔豬之採食量。

將雄性與雌性西伯利亞倉鼠 (Siberian hamster)，分為短光照組

(8L:16D) 與長光照組 (16L:8D) 兩種光照處理，結果不管在雄性或雌性，長光照組之採食量及體重皆顯著高於短光照組者 (Wade and Bartness, 1984)。

在綿羊，暴露於長光照期 (16L:8D, 07:00-23:00 開燈) 或短光照期 (8L:16D, 07:00-15:00 開燈)，則前者在 9 週之平均採食量顯著高於短光照組者，而飼料換肉率則無顯著差異。就每日採食量之分佈而言，07:00-15:00 光照期間，短光照組之採食量較長光照組者為多；15:00-23:00 期間，長光照組採食量較短光照組多；23:00-07:00 無光照期間，短光照組採食量則較長光照組者為多 (Eisemann *et al.*, 1984)。

在雄性仔山羊，以短光照 (8L:16D)、長光照 (16L:8D) 及骨幹長光照 (7L:9D:1L:7D) 處理，結果長光照與骨幹長光照處理兩組之採食量與平均日增重皆顯著高於短光照組者 (Schanbacher and Crouse, 1981)。

在女牛，長光照 (16L:8D) 處理與全光照處理下，女牛採食量在長光照處理下顯著高於全光照處理組者 (Peter *et al.*, 1980)。

在魚 (red sea bream)，分別以 6L:6D、12L:12D、16L:8D 及 24L:0D 之四種不同光照處理，結果 24L:0D 之採食量顯著高於 16L:8D 顯著高於 6L:6D 及 12L:12D ($P < 0.05$) (Biswas *et al.*, 2005)。

在蛋雞，於產蛋前 (17-20 週齡) 與產蛋前期 (21-24 週齡) 以全暗及全光照之不同處理，結果蛋雞在產蛋前與產蛋前期於全暗環境 (DD) 下，其採食量皆顯著高於連續光照處理 (LL) 者 (Hartini *et al.*, 2002)。

在肉雞，以 16L:8D 及 23L:1D 之兩不同光照處理，結果在 23L:1D 組之採食量顯著高於 16L:8D 組者 ($P < 0.05$) (Sirri *et al.*, 2007)。

鵝隻分別暴露在短光照 (10 小時) 與長光照 (18 小時) 之不同光照處理下，結果顯示生長期間長光照可促進每日增重，唯未達顯著水準，但在肥育期間，長光照似乎抑制日增重 (洪，2009)。

在紅鹿與綿羊，自願採食量之季節性變化顯然與光照期之變化有關，因以人工光照將光照期之變化周期改變成 6 個月，則採食量之變化周期亦改變成 6 個月，高峰時間約在「夏至」之後不久 (Kay, 1979)。未被皮下埋植褪黑素 (melatonin) 之紅鹿，自願採食量與心跳速率在夏季最高，在冬季最低，而在春季被皮下埋植褪黑素 63 日者，則將曲線平移約 6 個月 (Domingue *et al.*, 1992)。此結果顯示長光照可以促進採食量與代謝速率，而短光照可經由褪黑素而抑制採食量與代謝速率。

(五) 其他越冬適應

庭院林鶯 (*Sylvia borin*) 在 10L:14D、10L:12D 及 16L:8D 三種不同的光照環境下，其處於 16L:8D 的光照下者，兩棲息地所需的遷徙所需時間較其它兩不同光照之處理組者為長，換羽時間也可能與遷徙時間會有部分之重疊，而在 10L:14D 之處理組，兩棲息地所需的遷徙時間則通常在換羽完成後進行，每次遷徙所需之時間也較短 (Gwinner, 1977)。

五、餵飼與絕食對代謝之影響

豬於 22°C、12L:12D 的環境下，絕食 4 天，則其產熱下降，在恢復餵飼後，產熱才上升至絕食前之水準，其中碳水化合物之氧化作用，在絕食後開始下降，一日後降至為 0，而脂肪氧化作用，在絕食後開始上升，而取代了碳水化合物的氧化作用。恢復餵食後，碳水化合物之氧化開始上升，一段時間後逐漸回復至絕食前之水平，而脂肪氧化作用則開始下降至 0，也就是在絕食前之水平 (Chwalibog *et al.*, 2004b)。

在 22°C 的環境下，分別給予豬隻餵飼，再進行絕食，最後又復食，結果呼吸商 (RQ) 在絕食期間由 1 降至 0.68-0.75；在復食後上升至 0.88。產熱量在絕食期間下降，復食後上升至絕食前之水平 (Chwalibog *et al.*, 2004a)。

豬與鼠分別於 22°C 及 28°C 之環境下，給予餵飼後絕食再復

食，比較其呼吸商、產熱、碳水化合物氧化作用、脂肪氧化作用及推算之蛋白質氧化作用之一日之變化，顯示此兩種動物在絕食期間，呼吸商降至約 0.7，產熱量也下降，並皆在復食後回復至絕食前之水平。碳水化合物之氧化作用在絕食後下降至 0，脂肪氧化作用則取代碳水化合物而成為產熱的來源，在復食後，碳水化合物氧化與脂肪氧化的相對比例回復至絕食前之水平。蛋白質之氧化作用則在此絕食-復食過程中沒有明顯變化 (Chwalibog *et al.*, 2005)。

在恆亮之環境下，鼠在任飼情況下，體溫變化維持一日之節律，而限時餵飼之鼠，其體溫則在採食後到高峰，隨後體溫隨時間之進行而遞減，直至下次採食後才再上升至高峰 (Krieger and Hauser, 1978)。此顯示餵飼時間可以校準鼠體溫之一日節律。鼠在具有週期性或不規則的光照環境下，餵飼具有部分校準生理時鐘之功能 (Krieger and Hauser, 1978)。

絕食之鼠，其體溫較對照組(任飼)之鼠為低，當恢復給予餵飼之後，體溫則又回復至絕食前之體溫 (Severinsen and Munch, 1999)。

山羊於 12L:12D 之環境下進行絕食，絕食後 3 天，其尿素之節律漸漸消失，而體溫及皮質固醇之一日節律變化則不受絕食影響 (Piccione *et al.*, 2003)。

肆、材料與方法

一、試驗設計

本研究共分三個試驗進行，分述如下：

(一) 試驗一

九週齡白羅曼鵝，雌雄各 8 隻，將之逢機分成 R 與 C 二組，每組雌雄各 4 隻，其中 2 雄 2 雌個別飼養，其餘 2 雄 2 雌則分飼於一欄。每欄之面積為 $1.8\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 。

試驗環境為一光線密閉之場所，故於試驗場所內設有一組對流風扇，以供試驗動物通風，試驗場所內之溫度與外在環境之溫度經測量無異，無隔音設備。

兩組皆暴露於 14L/10D 之人工光照期。光照期以日光燈提供 $>120\text{ Lux}$ 之照明強度(在離地 66 cm 高之處)，黑暗期則提供 $<1\text{ Lux}$ 之紅色燈光。C 組之光照時間為每日 06:00 至 20:00，而 R 組之光照時間為 18:00 至 08:00。八週齡鵝隻於試驗前一週購入，並且兩處理組之鵝隻皆飼養於 12L/12D 之光照期，於試驗第一日再進行光照調整。

每日 07:00 與 19:00 供給足量飼料(肉鴨後期飼料，福壽)任由鵝隻自由採食，並在個別欄以電子天秤，每隔 5 分鐘，自動記錄個別鵝隻之採食量一次。於十一週齡時，秤量體重，並在前晚 18:00

時，將 R、C 兩組之個別欄予以禁食，混飼欄則不禁食。所有鵝隻在隔日 06:00 起開始採血，每隔 4 小時一次，直至隔日 06:00 止，共計 7 次。所得血液以肝素抗凝，以便分析血漿之葡萄糖、三酸甘油酯及尿酸等濃度。試驗一之試驗設計簡化如圖 1 所示。

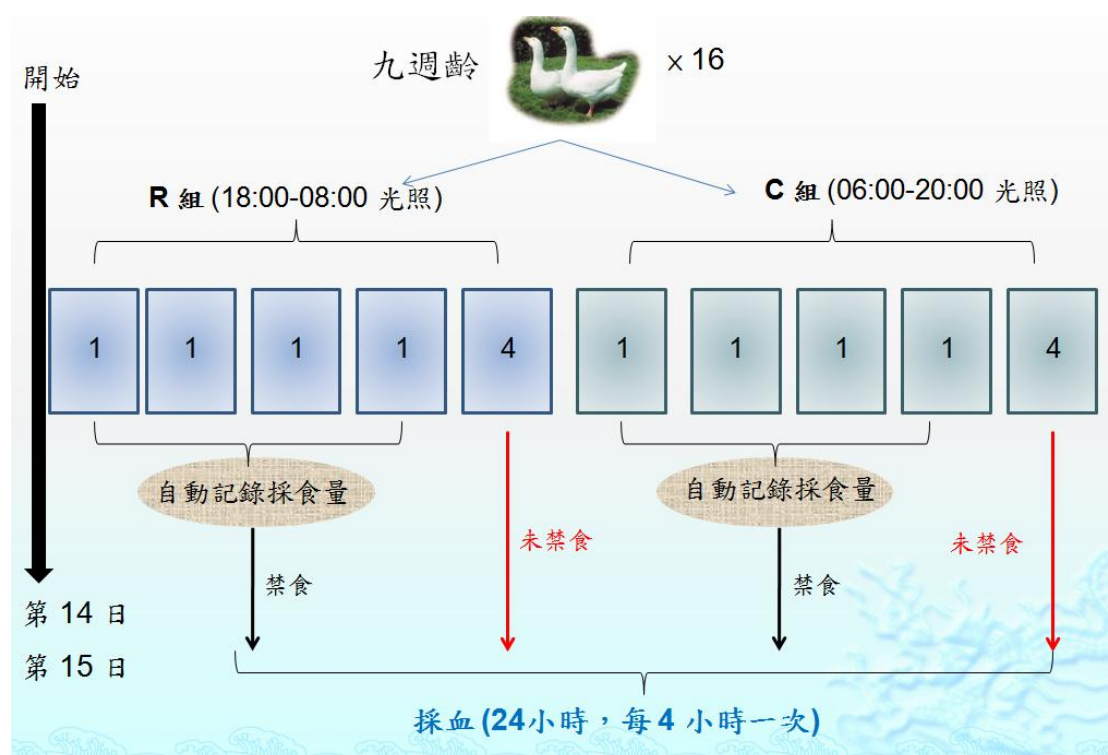


圖 1 試驗一之試驗設計

(二) 試驗二

將試驗一各組之十一週齡白羅曼鵝選取 16 隻，依體重及性別分成短光照組 (SD 組) 及骨幹長光照組 (SL 組) 二組。每組 8 隻 (4 雄 4 雌)，分飼於 4 欄 (每欄 2 雄或 2 雌)。

SD 組為短光照組，每日光照期為 8 hr (光照時間為 06:00 至

14:00)。SL 組為骨幹長光照組，每日光照時間除自 06:00 至 14:00 之外，並在 21:00 至 22:00 給予 1 小時人工光照。黑暗期間兩組皆給予 <1 Lux 之紅色光照。試驗二為接續試驗一進行之，故兩組皆於試驗第一日起調整光照。

每日於 07:00 時供給充分飼料（肉鴨後期飼料，福壽）任由鵝隻自由採食，並以電子天秤，每隔 1 分鐘，自動記錄各欄之採食量一次。於 15 週齡時秤量體重及採血一次，並犧牲所有鵝隻。鵝隻放血、脫毛後，將肝臟、消化道及脂肪分離後秤重，以屠體重除以活體重計算屠宰率，並取其胸肉作一般成分之分析。試驗二之試驗設計簡化如圖 2 所示。

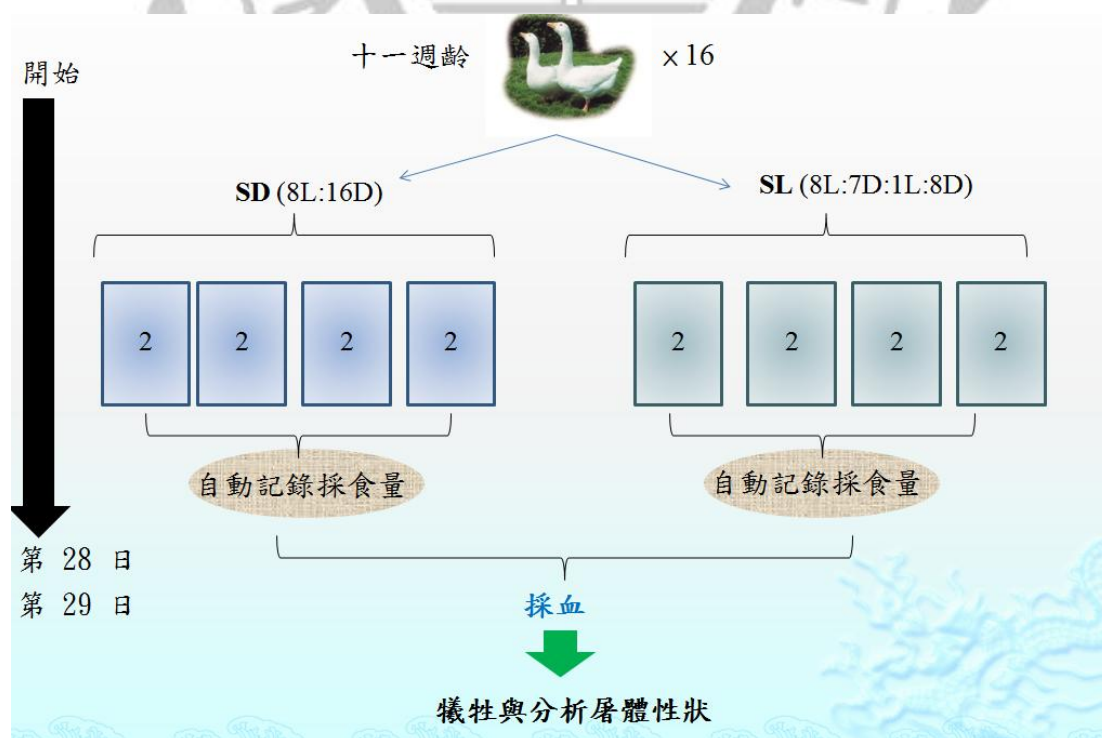


圖 2 試驗二之試驗設計

(三) 試驗三

十五週齡以上體成熟白羅曼鵝 6 隻，雌雄各半，依序分別暴露於日夜正常與日夜顛倒之光照處理。日夜正常之處理為自 05:00 至 19:00 之 14 hr 光照。日夜顛倒處理之光照時間為 17:00 至翌日 07:00，每日光照時間亦為 14 hr。水及飼料（肉鴨後期飼料，福壽）任由鵝隻自由採食。清潔、供水及供飼料之工作皆在入夜前一小時進行。鵝隻在暴露於試驗光照期一週以上才依序進行代謝試驗。在進行代謝試驗前，鵝隻先行絕食 24 hr。進行試驗時，鵝隻置於 25°C 之代謝裝置內 24 hr 以上，記錄其二氧化碳濃度、溫度、風速及活動情形。試驗三之試驗設計簡化如圖 3 所示。

試驗用之代謝箱大小為 72×72×82 cm，內置一不銹鋼籠大小為 50×54×70 cm (如圖 4 所示)。二氧化碳感應器之最大測定範圍為 2000 ppm、精確度為 $\pm 3\%$ F.S. 或 $\pm 2\%$ Reading。風速計之精確度為 ± 0.05 m/s。

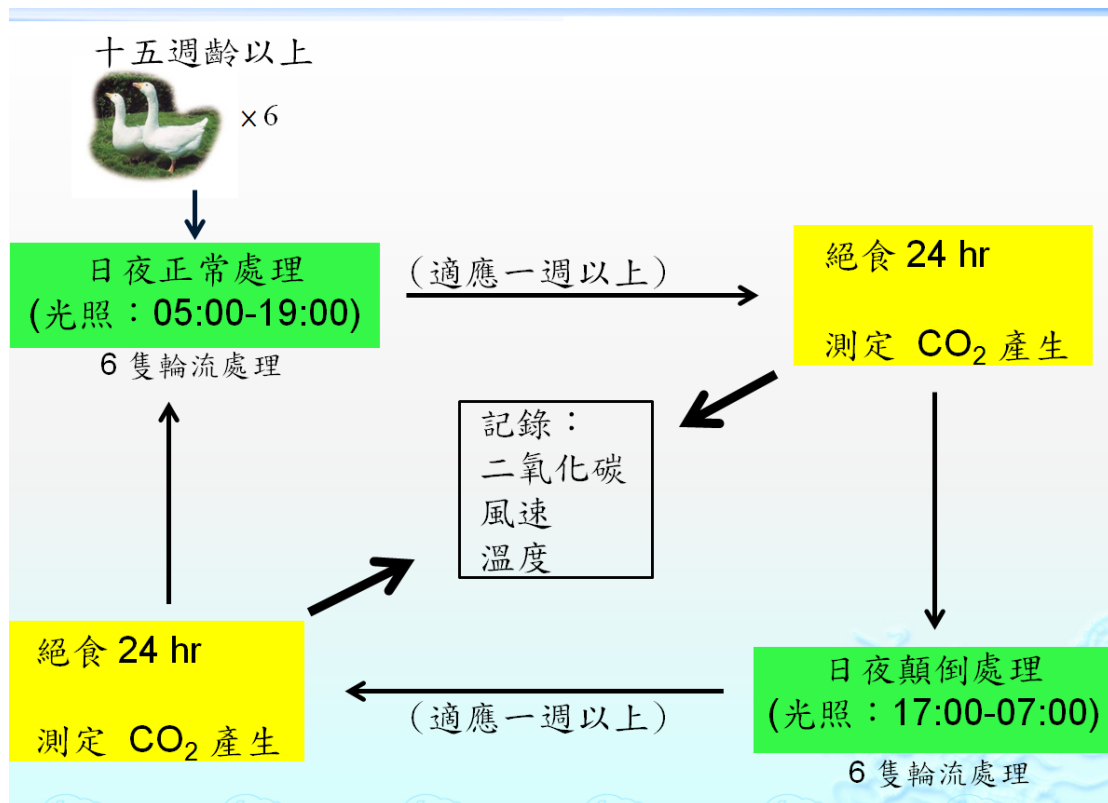


圖 3 試驗三之試驗設計

A



B

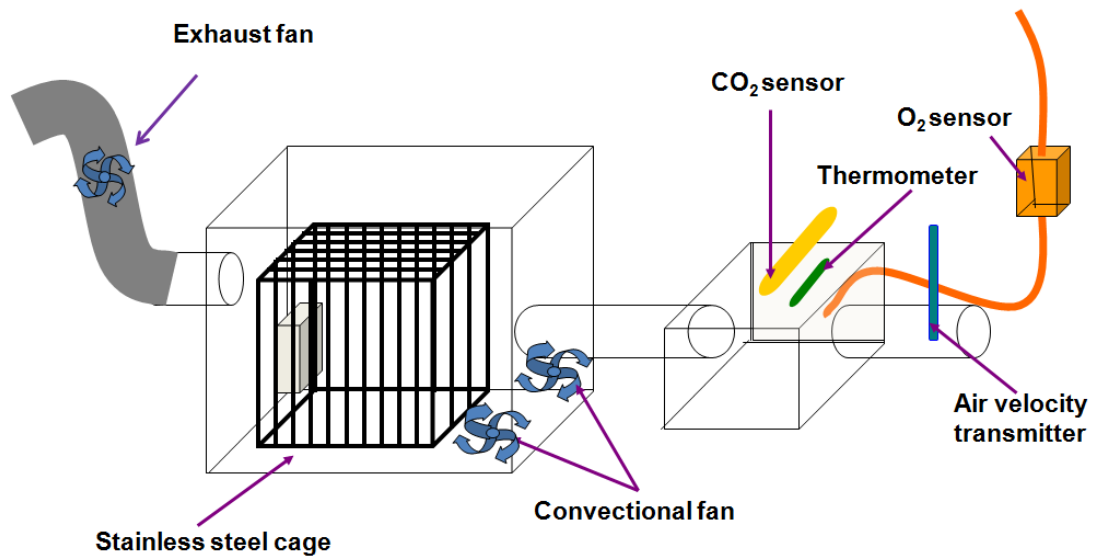


Fig. 4 The metabolism equipment used in this study. (A) The photograph, (B) The drawing.

圖 4 本研究所使用之代謝裝置。A 為實物照片，B 為示意圖。

二、採食記錄系統

試驗一及試驗二利用設計應用套裝軟體 (JY 9807, 順昱, 台灣) 進行資料擷取, 試驗期間將飼料置於電子天秤上, 依預定時距傳遞訊號一次, 並傳回電腦擷取訊號, 連續記錄。電子天秤上之飼料盆與電子天秤以一雙面膠帶固定之, 以防止鵝隻採食時, 造成測量上之干擾。(上述說明請參考圖 5)。



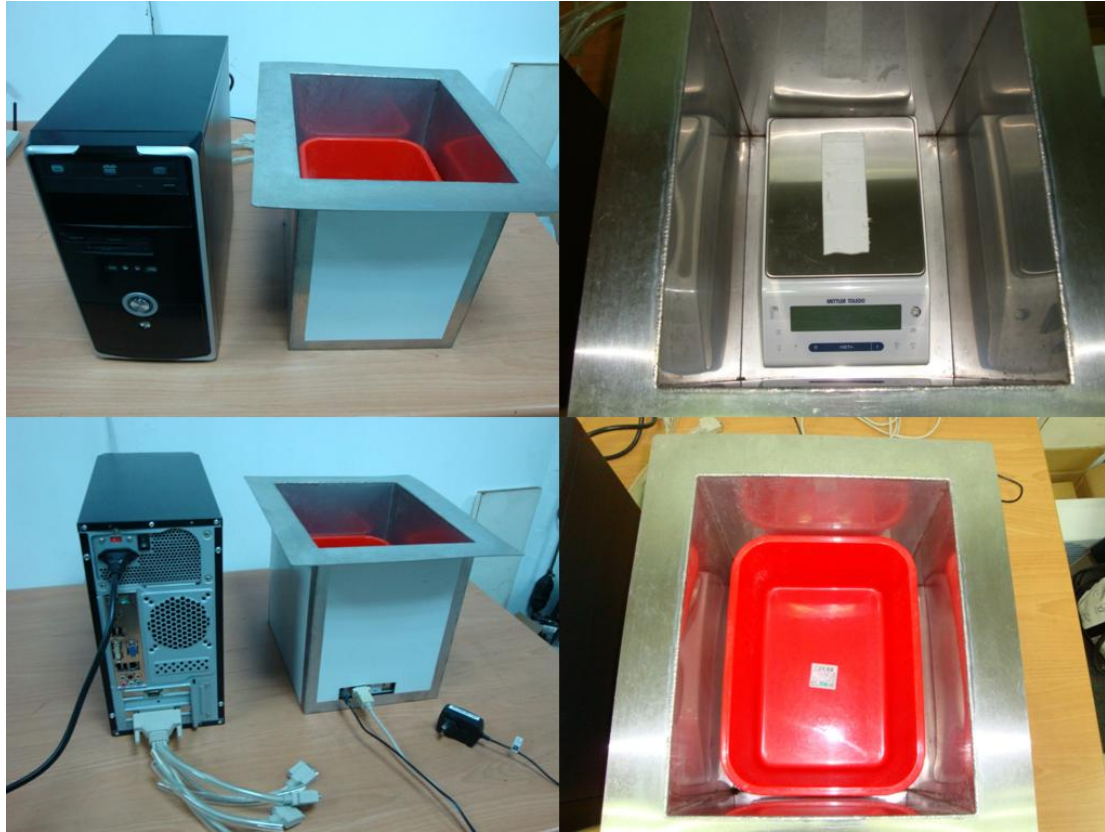


圖 5 採食記錄系統 (每一電腦主機可與四台採食記錄器連結)

左上角：電腦主機與置於不銹鋼盆內之電子天秤。

右上角：電子天秤光用雙面膠帶貼上。

左下角：盆內之電子天秤 (後面觀)。

右下角：飼料盆被雙面膠固定，且其邊緣與不銹鋼盆之距離小於 0.5 cm，以減少飼料掉出料盆。

三、血漿代謝物之測定

將血液樣本加入含有肝素之離心管中，以防止凝血，再於 4°C、5080 × g (3000 rpm) 下離心 15 分鐘，取其上清液保存於 -20°C 中，以備血漿代謝物之分析。所得血漿以血液生化分析儀及其分析套組 (VITROS® DT60 II Chemistry System, Johnson & Johnson Ortho Clinical Diagnostics) 測定血漿中之葡萄糖、三酸甘油酯及尿酸之濃度。

四、一般成分分析

試驗一及試驗二所用之飼料樣本採樣後進行乾物質、灰分、粗蛋白、粗脂肪及能量之一般成分之分析。試驗二之胸肉亦採樣測定乾物質、灰分、粗蛋白、粗脂肪及能量。乾物質、灰分、粗蛋白及粗脂肪之分析方法如 AOAC (1984) 所述。飼料之總能則委請行政院農業委會畜產試驗所飼料化驗中心測定。本研究所使用之飼料，其一般成分如表 2 所示。

表 2 飼料成分分析

Table 2 The composition of experimental diet (dry basis)

Composition	Content
Dry matter (%)	90.0
Ash (%)	4.3
Crude protein (%)	18.9
Crude fat (%)	7.8
Crude fiber (%)	2.8
Gross energy (Kcal/kg)	4639

五、屠體分析

在試驗二，鵝隻於試驗結束時放血犧牲，記錄其活體重、屠體重 (放血、脫毛與去除內臟後之重量)、肝臟、消化道、腹脂與內臟脂肪之重量，並計算屠宰率、肝臟、消化道、腹部脂肪及內臟脂肪佔活體重之百分率。

六、統計分析

試驗所得之資料，利用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS 8.1) 套裝軟體，進行分析。試驗一以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行變方分析，對生長性狀、血漿代謝物作比較，如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以 Duncan 比較兩處理之間之差異。採食量則以交叉試驗設計模式 (Cross-over design) 進行

分析比較。試驗二所得之資料，以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行變方分析，對生長性狀、血漿代謝物作及屠體性狀比較，如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以 Duncan 比較兩處理之間之差異。試驗三以交叉試驗設計模式 (Cross-over design) 進行分析，對二氧化碳產生量作比較，如處理效應顯著 ($P < 0.05$)，則以 Duncan 比較兩處理之間之差異。



伍、結果

一、試驗一

本試驗顯示在 9-11 週齡中，日夜顛倒對於白羅曼鵝之平均日增重、平均每日採食量與飼料效率皆無顯著影響 ($P>0.05$ ；見表 3)。血漿中葡萄糖、三酸甘油酯與尿酸等濃度之變化分別示於圖 6、圖 7 與圖 8。絕食後任何時間點之血漿中葡萄糖濃度在 R 組 C 組之間皆無顯著差異 ($P>0.05$)，但整體平均顯著較未禁食者之濃度為低 ($P<0.05$ ；見表 4)。血漿之三酸甘油酯濃度，在不同光照處理組之間無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 4)，但未禁食者較食者之濃度為高 ($P<0.05$ ；見表 4)，而各不同之採血時間點間則無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 4)。血漿尿酸濃度在禁食與未禁食之間具有顯著差異 ($P<0.05$ ；見表 4)，但 R 組與 C 組之血漿尿酸濃度則無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 4)，且不同採血時間點間則無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 4)。

日夜顛倒處理組與對照組於試驗第 8 日之個別鵝隻之一日採食量變化結果與兩不同處理組之平均一日採食量之變化則標示於圖 9 中。

在日夜顛倒之第一日，處理組在光照期間之平均每小時採食量與對照組者相近 (12.3 V.S. 13.9 g/hr)，但在黑暗期則較對照組者為高 (14.7 V.S. 7.4 g/hr)，而顯現出光照處理與日夜之交感作用 ($P<0.05$ ；

見表 5)。在光照處理組之第七日，在日間與夜間兩不同光照處理組之間無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 5)，但兩組在日間之平均採食量皆明顯多於在夜間者 ($P<0.05$ ；見表 5)，而未顯現光照處理與日夜之交感作用 ($P>0.05$ ；見表 5)。在第十四日之採食量比較，兩不同光照處理組之間無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 5)，而日間採食量顯著多於夜間採食量 ($P<0.05$ ；見表 5)，日夜顛倒與日夜兩因子之間有交感作用 ($P<0.05$ ；見表 5)。14 日試驗期間之平均採食量，R 組者顯著高於 C 組者 ($P<0.01$ ；見表 5)，日間採食量顯著多於夜間者 ($P<0.01$ ；見表 5)，兩者之間具有交感作用 ($P<0.01$ ；見表 5)。

表 3 日夜顛倒處理對鵝之平均日增重、採食量和飼料效率之影響

Table 3 Effect of day reversing on the daily gain, feed intake and feed efficiency in geese

Item	Group		P value
	R (Day reversing)	C (control)	
Initial weight (kg)	3.85±0.44	3.79±0.56	0.6947
End weight (kg)	4.10±0.55	4.05±0.51	0.7019
Daily gain (g/d)	17.59±9.93	18.48±7.49	0.8872
Feed intake (g/d)	208.43±36.69	192.92±24.08	0.5239
Feed efficiency	0.083±0.045	0.094±0.031	0.7111

Group R: lighting from 18:00 to 08:00

Group C: lighting from 06:00 to 20:00

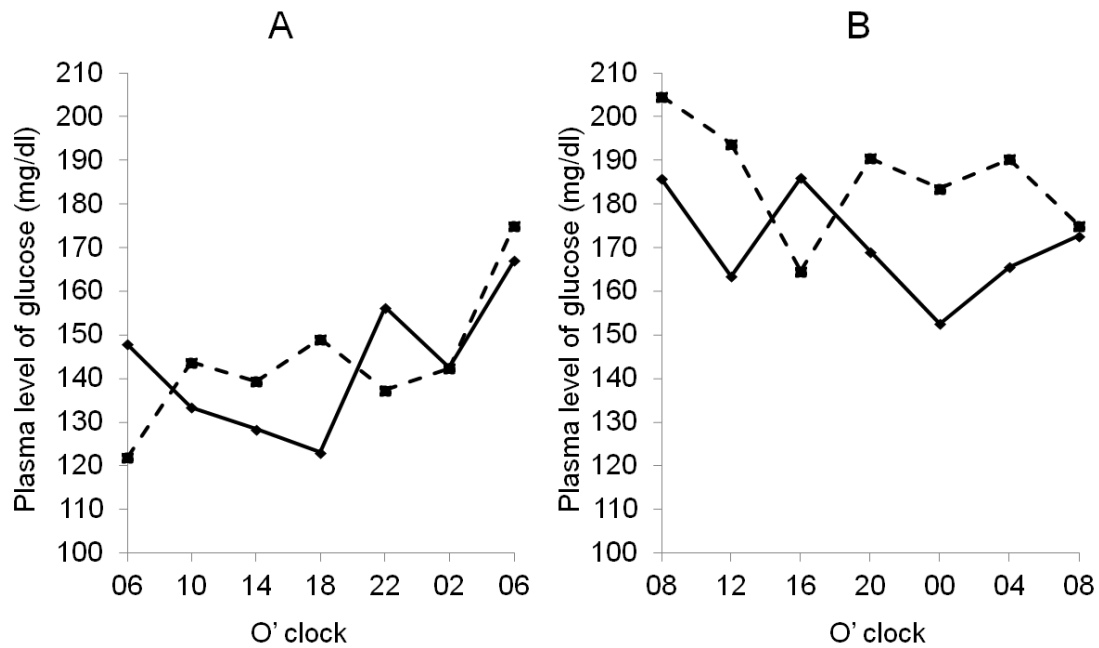


圖 6 光照處理對鵝血漿中葡萄糖濃度之影響。A 圖為個別欄鵝隻在禁食 12 小時後之血漿中葡萄糖含量之變化。B 圖為混飼之鵝於任飼下之血漿中葡萄糖含量變化。連續線：日夜顛倒組 (18:00-08:00 開燈)；不連續線：對照組 (06:00-20:00 開燈)。

Fig. 6 Effect of light regimen on the plasma glucose level in geese. Panel A shows the means from geese penned individually and deprived of feed 12 hr before blood collection. Panel B shows the means from geese penned in group and fed *ad libitum* during blood collection. Continuous lines: Group R, lighting from 18:00 to 08:00; Broken lines: Group C, lighting from 06:00 to 20:00.

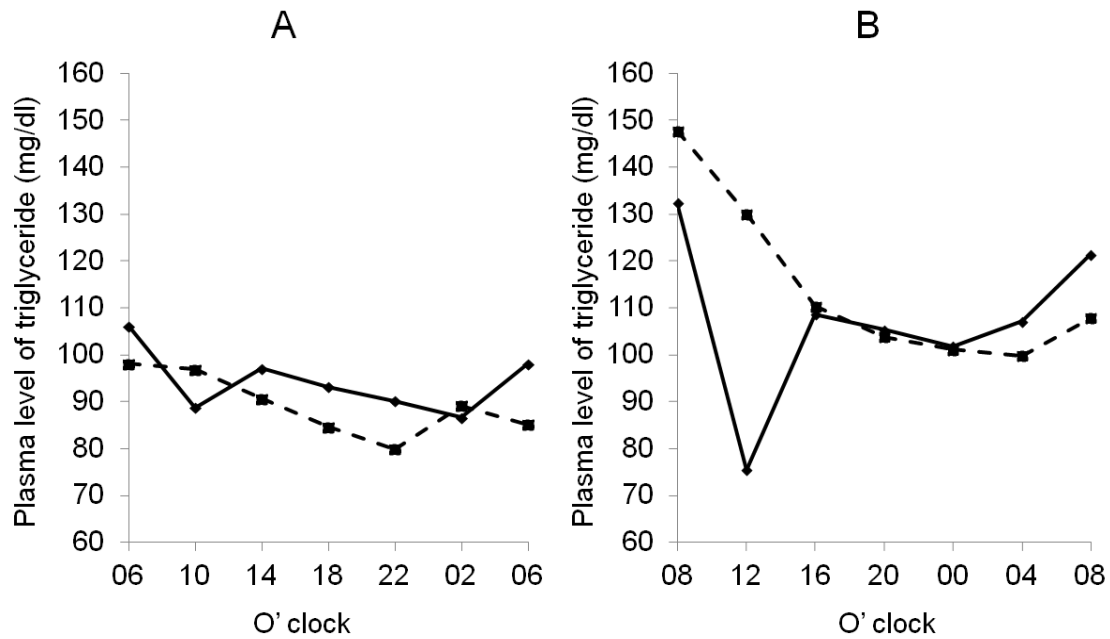


圖 7 光照處理對鵝血漿中三酸甘油脂濃度之影響。A 圖為個別欄鵝隻在禁食 12 小時後之血漿中三酸甘油脂含量之變化。B 圖為混飼之鵝於任飼下之血漿中三酸甘油脂含量變化。連續線：日夜顛倒組 (18:00-08:00 開燈)；不連續線：對照組 (06:00-20:00 開燈)。

Fig. 7 Effect of light regimen on the plasma triglyceride level in geese. Panel A shows the means from geese penned individually and deprived of feed 12 hr before blood collection. Panel B shows the means from geese penned in group and fed *ad libitum* during blood collection. Continuous lines: Group R, lighting from 18:00 to 08:00; Broken lines: Group C, lighting from 06:00 to 20:00.

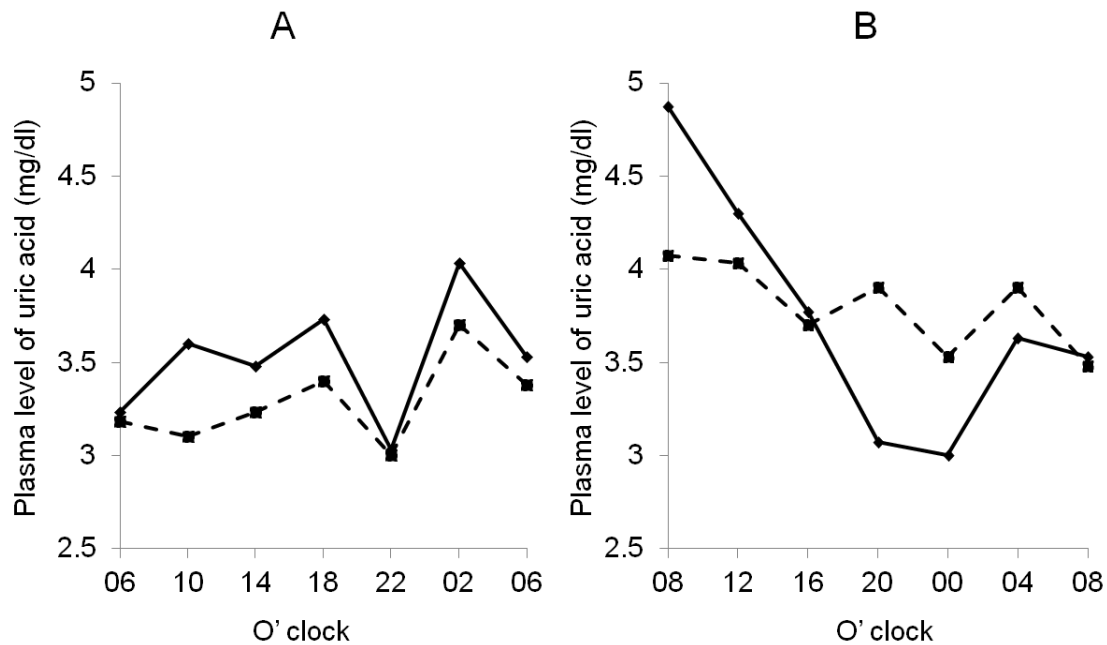


圖 8 光照處理對鵝血漿中尿酸濃度之影響。A 圖為個別欄鵝隻在禁食 12 小時後之血漿中尿酸含量之變化。B 圖為混飼之鵝於任飼下之血漿中尿酸含量變化。連續線：日夜顛倒組 (18:00-08:00 開燈)；不連續線：對照組 (06:00-20:00 開燈)。

Fig. 8 Effect of light regimen on the plasma uric acid level in geese. Panel A shows the means from geese penned individually and deprived of feed 12 hr before blood collection. Panel B shows the means from geese penned in group and fed *ad libitum* during blood collection. Continuous lines: Group R, lighting from 18:00 to 08:00; Broken lines: Group C, lighting from 06:00 to 20:00.

表 4 日夜顛倒及禁食對鵝之血漿代謝物含量之影響

Table 4 Effect of day reversing and fasting on the mean plasma levels of metabolites in geese

	Group R		Group C		P value		
	Fasting	Non-fasting	Fasting	Non-fasting	Day reversing	Fasting	Time
Glucose (mg/dl)	144.72±24.14	170.96±25.54	143.31±30.49	185.33±23.97	0.2002	<0.0001	0.7140
Triglyceride (mg/dl)	93.76±22.94	107.08±47.89	88.74±16.11	113.07±24.84	0.9310	0.0010	0.2032
Uric acid (mg/dl)	3.53±0.79	3.76±0.96	3.33±0.43	3.78±0.61	0.5417	0.0102	0.2856

Group R: lighting from 18:00 to 08:00

Group C: lighting from 06:00 to 20:00



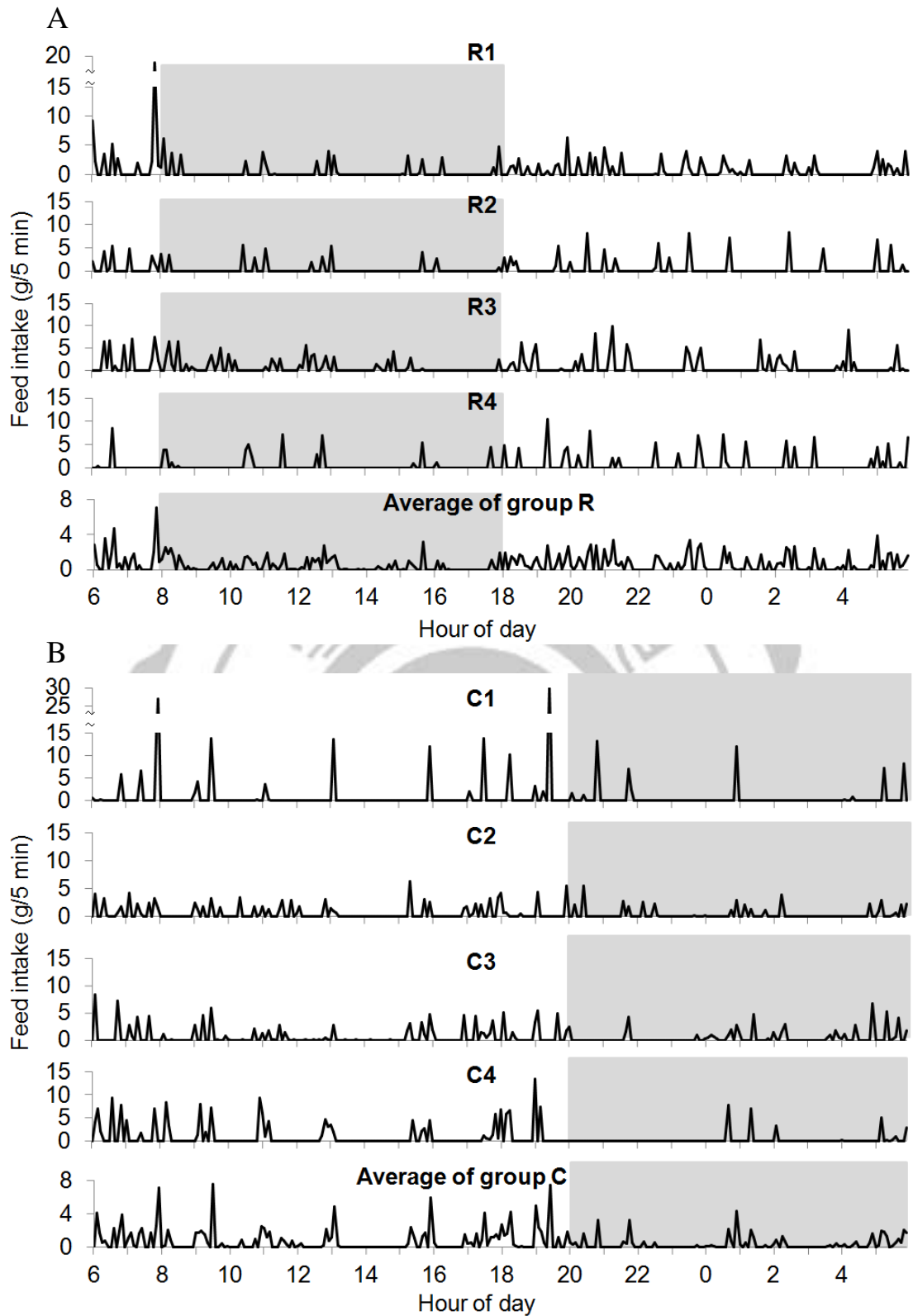


圖 9 日夜顛倒後第 8 日之密集鵝集採食量記錄。A. 日夜顛倒組之個別記錄與組平均。B. 日夜正常組之個別記錄與組平均。陰影表示黑夜期間。採食量每 5 分鐘記錄一次。

Fig. 9 The intensive feed intake records of geese on day 8 after day reversing. A. The individual records (R1-R4) and the mean of group day reversing. B. The individual records (C1-C4) and the mean of group normal day. The shading marks dark phase. The feed intake were recorded intervals of 5min.

表 5 日夜顛倒處理與光暗期間對鵝之每小時採食量 (g/hr)

occasion	Group R		Group C		P value		
	Light hours	Dark hours	Light hours	Dark hours	Day Reversing	Light-dark	Interaction
1 st day	12.28±2.06	14.66±2.66	13.85±2.04	7.40±2.93	0.0407	0.1239	0.0046
2 st day	11.59±2.05	11.05±3.89	13.09±2.05	7.45±1.50	0.4194	0.0327	0.0680
3 st day	10.84±2.38	9.70±2.35	11.72±0.27	6.33±0.80	0.1704	0.0031	0.0304
4 st day	9.82±1.75	8.70±4.08	11.28±1.04	6.84±1.17	0.8707	0.0452	0.2011
5 st day	10.24±2.19	8.73±4.12	10.86±1.86	7.08±2.56	0.7375	0.1078	0.4666
6 st day	10.46±1.76	6.60±1.61	9.12±2.43	6.27±1.26	0.3909	0.0048	0.6030
7 th day	9.69±0.86	7.05±3.03	8.95±1.95	6.70±1.15	0.6040	0.0368	0.8531
8 st day	8.98±1.56	5.63±2.07	9.58±2.89	4.56±1.42	0.8278	0.0022	0.4332
9 st day	9.02±1.27	6.98±3.37	8.44±2.30	4.71±1.34	0.2500	0.0330	0.4866
10 th day	8.82±1.26	4.58±0.03	7.74±2.56	3.98±2.99	0.4938	0.0170	0.8608
11 th day	8.06±0.89	4.02±2.32	7.22±2.74	3.89±2.14	0.6651	0.0071	0.7523
12 th day	7.30±0.57	6.40±2.18	8.68±4.38	5.51±2.01	0.8686	0.1883	0.4488
13 th day	8.69±0.96	5.65±1.96	8.99±2.45	4.13±2.30	0.5882	0.0047	0.4247
14 th day	7.80±1.45	7.67±2.27	9.24±1.23	4.27±1.69	0.2496	0.0098	0.0130
1 st -7 th Average	10.70±1.65	9.50±3.02	11.26±1.08	6.87±1.39	0.3209	0.0179	0.1379
8 st -14 th Average	8.37±0.72	6.02±2.22	8.55±2.55	4.44±1.77	0.5112	0.0102	0.4077
1 st -14 th Average	9.55±1.98	7.73±3.65	9.91±2.80	5.65±2.19	0.0035	<0.0001	<0.0001

Group R: lighting from 18:00 to 08:00

Group C: lighting from 06:00 to 20:00



二、試驗二

在血漿中之葡萄糖與三酸甘油酯之濃度，在短光照組 (SD) 與骨幹長光照組 (SL) 之間皆無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 6)。SD 組之血漿中尿酸濃度則顯著高於 SL 組者 ($P<0.05$ ；見表 6)。

平均日增重及每日採食量在 SD 組者顯著高於在 SL 組者 ($P<0.01$ ；見表 7)，而飼料效率則在組間無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 7)。鵝隻屠宰後之分析資料顯示 SD 組之內臟脂肪重量及肝臟重百分比顯著高於 SL 組者 ($P<0.05$ ；見表 8)，而活體重、脂肪重、肝臟重、胃腸消化道、屠體重、腹脂百分比、內臟脂肪百分比、骨腸消化道百分比及屠宰率則在組間皆無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 8)。胸肉之一般成分分析顯示乾物質含量在 SD 組者顯著高於在 SL 組者 ($P<0.05$ ；見表 9)，而灰分、粗蛋白及粗脂肪等含量則在組間皆無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 9)。

分析各時段之採食量發現，日間之採食量在兩組之間無顯著差異 ($P>0.05$ ；見表 10)，但在夜間之總採食量則 SD 組者顯著高於 SL 組者 ($P<0.05$ ；見表 10)。就在平均每小時採食量而言，SD 組與 SL 組在日間亦無顯著差異，而在夜間，SD 組即顯著高於 SL 組在連續黑暗之時段 ($P<0.05$ ；見表 10)。SL 組在插入之一小時額外光照期中，其採食量明顯較其他時段之平均採食量為高，亦較 SD 組之二

個時段者及整日平均為高 ($P < 0.05$; 見表 10)。就平均每小時採食量而言,SD 組在日與夜之間並無顯著差異;在 SL 組則是脈衝光照期之每小時採食量最高,其次為在日間者,再其次為在夜間者,兩兩之間皆有顯著差異 ($P < 0.05$; 見表 10)。

圖 10 顯示 SD 與 SL 兩處理組之 28 日平均採食量在一日內之變化。由圖 10 可以發現,短光照組鵝隻在光照開始與結束時各有一次採食量波峰,尤其在光照結束時(見圖 10)。骨幹長光照組鵝隻之採食量在光照開始後不久亦有一波峰,在第一段黑夜開始時分則僅有一小波峰,但在夜間之 1 小時光照插曲快結束時則有一幅度極高之波峰。在相近時間,也就是短光照組之半夜,短光照組鵝隻亦有一明顯而高幅度之採食量波峰。

表 6 光照期對鵝之血漿代謝物濃度之影響

Table 6 Effect of photoperiod on plasma levels of metabolites in geese

Item	Group		P value
	SD	SL	
Glucose (mg/dl)	198.00±18.72	184.63±13.59	0.1293
Triglyceride (mg/dl)	224.75±81.93	142.83±32.57	0.0609
Uric acid (mg/dl)	6.36±1.43	4.51±1.13	0.0247

SD: short day (8L:16D)

SL: skeleton long photoperiod (8L:7D:1L:8D)

表 7 光照期對鵝之平均日增重、飼料效率及每日採食量之影響

Table 7 Effect of photoperiod on ADG, FE and feed intake per day in geese

Group	SD	SL	P value
Initial weight (kg)	4.19±0.76	4.31±0.59	0.6342
End weight (kg)	4.52±0.68	4.29±0.69	0.3348
ADG (g/d)	11.83±10.56	-0.848±7.51	0.0461
Daily feed intake (g/d)	189.32±45.59	162.56±43.38	<0.0001
FE	0.064±0.031	-0.009±0.029	0.0455

SD: short day (8L:16D)

SL: skeleton long photoperiod (8L:7D:1L:8D)

表 8 光照期對鵝屠體性狀之影響

Table 8 Effect of photoperiod on carcass traits in geese

Group	SD	SL	P value
Live weight (kg)	4.52±0.68	4.29±0.69	0.3348
Abdominal fat (g)	116.88±59.04	146.25±52.63	0.2903
Visceral fat (g)	198.13±73.29	130.63±50.53	0.0473
Liver (g)	116.25±26.56	92.50±20.70	0.0640
GI tract (g)	349.38±40.48	320.00±45.36	0.0995
Carcass weight (kg)	3.15±0.46	3.09±0.53	0.7210
Abdominal fat (%)	2.63±0.99	3.38±1.01	0.1679
Visceral fat (%)	4.38±1.26	3.00±0.88	0.0805
Liver (%)	2.63±0.43	2.00±0.20	0.0150
GI tract (%)	7.50±0.71	7.50±0.95	1.0000
Dressing percentage (%)	69.63±2.55	72.00±2.18	0.0616

SD: short day (8L:16D)

SL: skeleton long photoperiod (8L:7D:1L:8D)

表 9 光照期對鵝胸肉組成之影響

Table 9 Effect of photoperiod on the composition of breast meat in geese

Group	SD	SL	P value
Dry matter (%)	26.69±0.99	24.68±1.06	0.0058
Ash (%)	1.29±0.16	1.23±0.14	0.4273
Crude protein (%)	21.65±0.01	21.36±0.01	0.3302
Crude fat (%)	2.67±0.78	1.97±0.93	0.1422

SD: short day (8L:16D)

SL: skeleton long photoperiod (8L:7D:1L:8D)

表 10 光照期對鵝採食量之影響

Table 10 Effect of photoperiod on hourly feed intake in geese

Group and periods	Short Days (SD)	Skeleton long days (SL)	P value
Whole-day	7.86±1.69	6.77±1.93	<0.0001
06:00~14:00	7.80±2.48 ^b	7.74±2.81 ^b	0.8565
14:00~21:00	7.39±2.19 ^b	5.98±2.40 ^c	<0.0001
21:00~22:00	13.22±6.63 ^a	13.32±5.81 ^a	0.8909
22:00~06:00	7.52±2.12 ^b	5.76±2.96 ^c	<0.0001
Light phase	7.80±2.48	8.37±2.72	0.0661
Dark phase	7.95±1.74	5.90±2.29	<0.0001
P value	0.5403	<0.0001	<0.0001

a, b, c,d Means with different superscripts differ significantly in the same group (P<0.05).



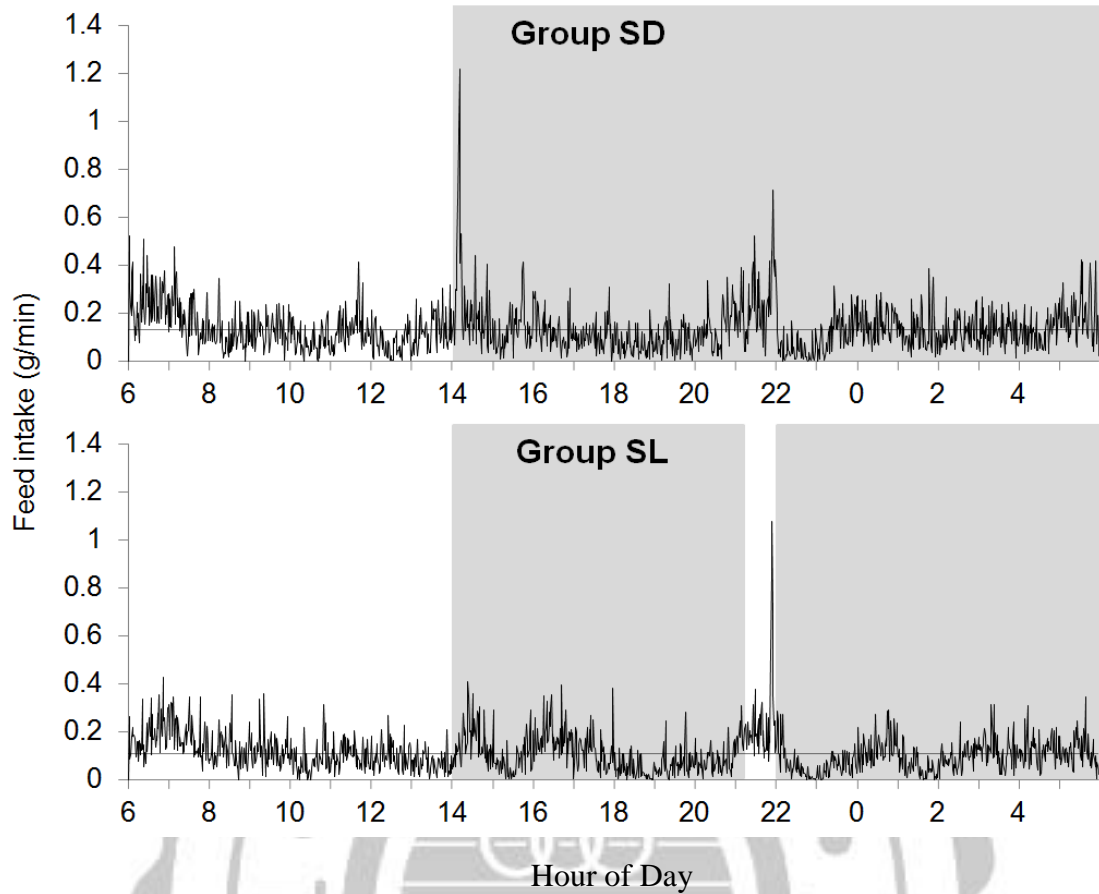


圖 10 在短光照期與骨幹長光照期中鵝隻之一日內採食量變化。

Fig. 10 The diurnal changes in feed intake of geese under the short photoperiod and skeleton long photoperiod regimens. The curves are means of pen records during whole experiment period (28 days). The feed intake were recorded intervals of 1 min. Shading marks dark phase.

三、試驗三

鵝隻在日夜正常處理下與日夜顛倒處理下之一日內二氧化碳產量如圖 7 所示。從圖 7 中可發現個別之鵝隻之二氧化碳產生速率在一日之內具有波動，而非恆定不變。

在比較兩不同光照處理組之二氧化碳產量一日之變化，發現基礎之二氧化碳產量在正常光照處理組者略高於日夜顛倒處理組者（見圖 7）。兩不同處理組之二氧化碳產量之一日高峰皆發生於一日開始光照之後不久（見圖 7C）。

由圖 7 與表 11 可以得知鵝隻在正常日夜中白晝之 CO₂ 產生速率有較夜間者為高之趨勢（表 11； $P=0.085$ ），整日平均則顯著較日夜顛倒者為高（表 11； $P<0.05$ ）。鵝隻在日夜顛倒中之 CO₂ 產生速率在日夜之間幾無差異（表 11； $P>0.05$ ）。不管日夜正常或日夜顛倒，鵝隻最低 CO₂ 產生速率在日夜之間皆無差異（ $P>0.05$ ），但日夜顛倒者顯然皆較日夜正常者為少（ $P<0.05$ ），其差值幾乎與整日平均之差值相等。

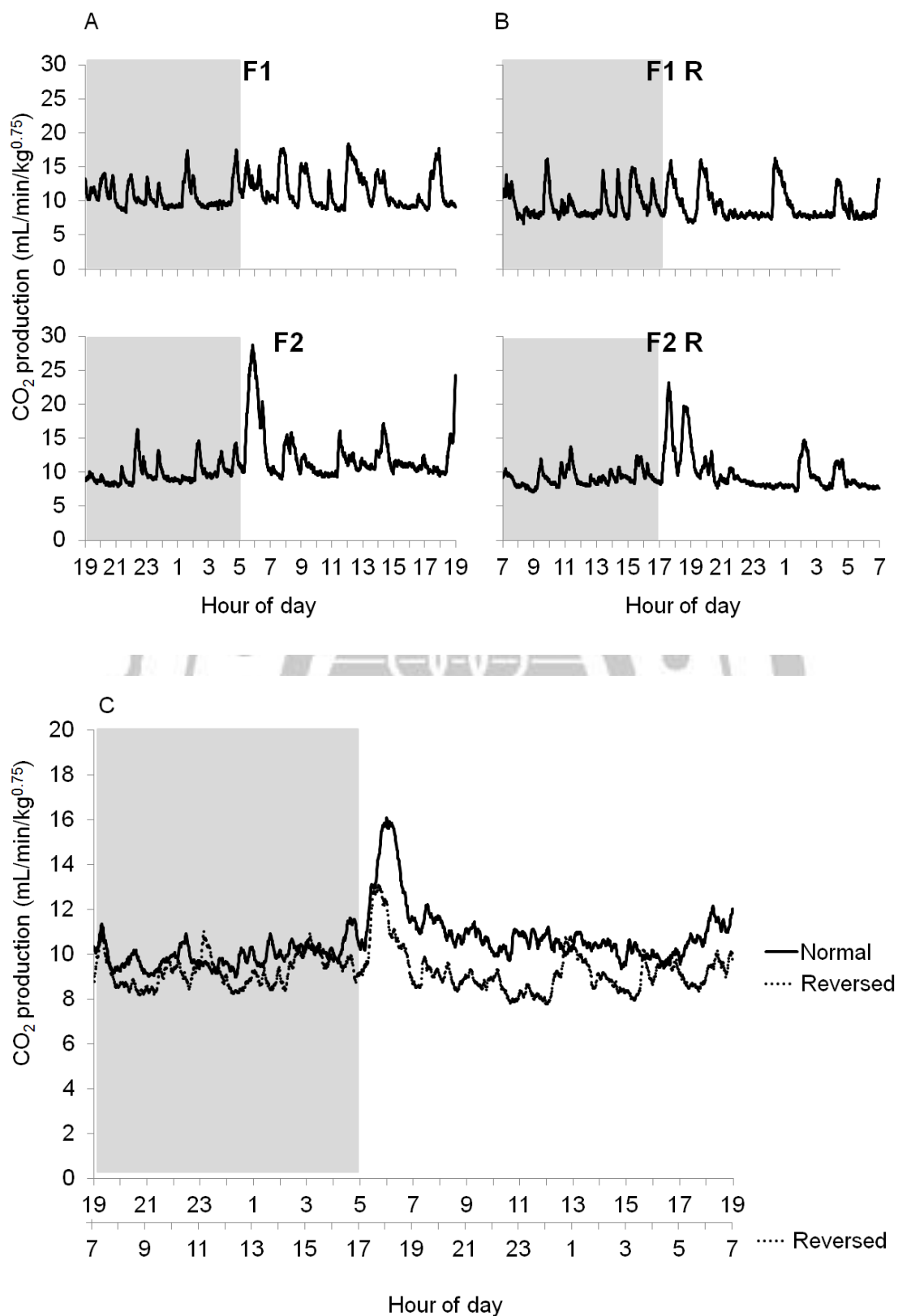


圖 11 日夜正常與日夜顛倒中鵝隻二氧化碳產生速率之一日變化。

A 與 B 分別呈現日夜正常組與日夜顛倒組各 2 隻代表性個體之一日變

化。C 圖示各組平均之一日變化。

Fig. 11 The diurnal changes in carbon dioxide production rates in treatments normal day and reverse day. A and B shows the diurnal changes of 2 representative individual in normal day and reversed day, respectively. C shows diurnal changes of group means. Shading marks dark phase.

表 11 不同光照處理對鵝之二氧化碳產生量之影響

Table 11 Effect of photoperiod on CO₂ production (mL/min/kg^{0.75}) in geese

Item	Normal day	Day reversing	P value
Whole day	10.54±0.90	9.37±0.82	0.0276
Light	10.66±0.92	9.35±0.64	0.0226
Dark	9.92±1.22	9.40±1.11	0.3434
P value	0.0850	0.9249	0.1557
Maximal			
Whole day	20.83±2.74	20.49±4.62	0.8620
Light	20.75±1.54	18.67±2.93	0.2339
Dark	14.29±1.08	16.01±1.07	0.3406
P value	0.0021	0.2320	0.1073
Minimal			
Whole day	7.85±0.90	6.50±0.82	0.0046
Light	7.98±0.79	6.83±0.44	0.0096
Dark	8.11±1.08	6.74±1.07	0.0032
P value	0.6974	0.7758	0.3179

Normal day: lighting from 05:00 to 19:00

Day reversing: lighting from 17:00 to 07:00

陸、討論

試驗一之圖 9 顯示在試驗開始後第 8 日，兩組個別鵝隻在一日內之採食記錄與其組平均。不管日夜正常或日夜顛倒，由圖可以瞭解個別鵝隻之採食模式具有甚大變異：有些鵝隻每次採食量甚少，但間斷斷持續甚久；有些則表現出明顯的一餐一餐；有些則介於上述兩者之間。由個別記錄與組平均觀之，幾乎所有鵝隻在光照開始與結束時皆有採食行為。相似之情形亦見之於試驗二之短光照組：在光照開始與結束各有一次採食量波峰（見圖 10）。因此，開燈與關燈似乎是調節鵝隻採食一日節律之重要訊號。此等情形在豬也有存在。離乳豬暴露於 23L/1D 或 8L/16D，亦在光照開始與結束時各有一採食高峰 (Bruininx *et al.*, 2002)。

在日夜顛倒之第一日，黑夜之平均每小時採食量甚高，幾與同組同一日之日間者及對照組之日間者相等。日夜顛倒第一日之後，夜間之採食量逐漸下降，至第七日，幾乎僅為第一天夜間者之一半。有趣者，日夜顛倒組在日間之平均每小時採食量大致隨時間之進行而減少。就第 1-14 日之平均而言，日夜顛倒組之鵝隻在整個試驗期間，日間之平均每小時採食量均較夜間者為多：前者約為後者之 1.24 倍（見表 5）。在正常日夜對照組中，日間與夜間之平均每小時採食量亦逐漸下降，而在整個試驗期間之平均值，日間之採食量為夜間者之

1.75 倍 (見表 5)。日夜顛倒組之日夜差距顯然不如正常日夜組者，因而在統計分析中顯現出顯著之交感作用 ($P < 0.05$)。此一資訊透漏出鵝隻採食量在日夜之間具有差異，一部分是受光暗變化調節，一部分是受其他環境訊號調節。由於在本試驗中，餵飼及清潔工作在兩組皆固定於開燈後一小時內及關燈前一小時內進行，故此兩項環境訊號可被排除在外。

在試驗二之短光照處理組中，每小時之採食量在日夜之間幾無差異 (分別為 7.80 與 7.95 g/hr；表 10)，因而在黑夜期之總採食量幾乎為日間總量之 2 倍 (分別為 62 g 與 127 g；表 10)。此種日夜間之比例，無論是總量或每小時採食量皆與試驗一具有極大歧異。此或許與光照長度不同有關：試驗一之光照期為 14 hr，而試驗二之短光照期之光照期為 8 hr。事實上，試驗二之骨幹長光照組在光照期之每小時採食量為 8.4 g/hr，在黑暗期為 5.9 g/hr (見表 10)，前者顯著多於後者。因此，光照期之長度可能影響每小時採食量在日夜之間之差異程度。生長中之鼠暴露於 18L 或 6L，雖然每日採食量無顯著不同，但採食量在時間之分佈卻明顯不同：18L 者在光照期之採食量占 46.1%，而 6L 者僅占 1.5% (Boon *et al.*, 1997)。由此可證：光照期之長度可影響日夜採食量之比例。

在試驗一為期二週之試驗期間，日增重、每日採食量與飼料效率

在日夜顛倒與日夜正常兩組之間皆無差異可言（見表 3）。由於日增重與飼料效率之巨大變異係數，而且試驗期間僅有 2 週，結論仍須保守。

絕食與自由採食鵝隻之血漿葡萄糖、三酸甘油酯與尿酸等濃度，日夜顛倒與時間皆無顯著效應 ($P > 0.05$) (見圖 6-8；表 4)。然而，絕食之鵝隻其平均血漿葡萄糖、三酸甘油酯與尿酸等濃度則顯著較未絕食者為低 ($P < 0.05$) (見圖 6-8；表 4)。此等結果顯示此三項血漿中代謝物濃度受採食影響較大，而較不受一日節律節制。

本研究顯示骨幹長光照期之鵝隻每日採食量顯著較短光照者為少（見表 7）。此結果略不同於本實驗室先前所見者：不管長光照期與短光照期之比較（洪等，2009）或骨幹長光照期與自然光照之比較（林等，2007），鵝之每日採食量皆無組間差異。造成此等結果分歧之原因不明。

如先前所述，短光照組鵝隻在光照開始與結束時各有一次採食量波峰，尤其在光照結束時（見圖 10）。骨幹長光照組鵝隻之採食量在光照開始後不久亦有一波峰，在第一段黑夜開始時分則僅有一小波峰，但在夜間之 1 小時光照插曲快結束時則有一幅度極高之波峰。在相近時間，也就是短光照組之半夜，短光照組鵝隻亦有一明顯而高幅度之採食量波峰。此一波峰究為其本身之節律或受骨幹光照組之影

響，則未有所知。將各時段之採食量作一統計，發現短光照組之每小時採食量在日夜之間幾無差異，骨幹長光照組鵝隻則夜間之採食量顯著少於日間者，也顯著少於短光照組之夜間採食量（見表 10）。另一方面，日間之每小時採食量在組間無顯著差異（見表 10）。因此，本研究見骨幹長光照期之每日採食量較短光照期者為少，乃是夜間平均每小時採食量較少所致。

在本研究可見骨幹長光照期組鵝隻在試驗期間平均體重不但未增加，反而略有下降，因而具有一負飼料效率。反觀短光照組鵝隻，在試驗期間略有增重，因而具有一正飼料效率。骨幹長光照組之每日增重與飼料效率皆顯著低於短光照組者（見表 7）。本研究室先前已發現鵝隻在肥育期間暴露於長光照者之每日增重較暴露於短光者為少（洪等，2009）。因此，骨幹長光照可能不利於日增重。此結果似乎與許多文獻在其他動物之結果不相符。然而，未馴化之野生鵝為跨緯度季節性長程遷徙之物種，其光照反應可能有所不同。事實上，大部分鳥類為長日生殖者 (long day breeder)，而鵝隻卻為短日生殖者 (short day breeder)(王等，1998；陳等，1999)。舍飼之 barnacle geese (*Branta leucopsis*) 即使未被限制食物，其體重亦在一年之中呈現變化：一月與七月初各有一高峰，而在八、九月份之換羽期間，體重迅速下降至最低點，而後開始上升 (Portugal *et al.*, 2007)。此顯示鵝隻

體重或生長對光照反應之特殊。

即使在短光照組，肥育期間之日增重仍然極少，飼料效率亦極低。此即為鵝隻之生長特性：在 0-8 週齡生長快速，飼料效率高；在 8 週齡之後增重極慢，飼料效率極低 (陳等，2003)。以本研究而言，短光照組鵝隻在 11-15 週齡之飼料效率僅為 0.064，飼養極為不經濟。然而，鵝農仍然必須飼養至 12-15 週齡才能出售，其重要考量之一為羽毛生長狀況。因此，在肥育階段節省飼料應為有利措施。

本研究中骨幹長光照組之屠體內臟脂肪重量顯著較短光照組者為少 (見表 8)。此一結果與本實驗室先前所見相似：長光照期或骨幹長光照期減少脂肪堆積 (林等，2007；洪等，2009)。

有趣者，骨幹長光照期之鵝隻血漿尿酸濃度顯著較短光照期者為低，血漿三酸甘油酯濃度亦有較低之趨勢 (見表 6)。此或許即為蛋白質分解減少與脂肪合成減少之表現。許多報告即發現：長光照期可促進蛋白質積聚，而短光照期促進脂肪積聚 (reviewed by Tucker *et al.*, 1984)。

在試驗三中，密集記錄 CO₂ 之產量，發現不管是日夜顛倒或日夜正常之處理，鵝隻之 CO₂ 產生速率皆呈不規則起伏。然而，各鵝隻幾乎十分一致地在光照開始後約一小時達到一高峰 (見圖 11)。二氧化碳產生速率之起伏可能與活動有關。但本研究亦發現，鵝隻躺臥

與站立時之 CO₂ 產生速率並無不同 (資料未列出)。

由圖 11 與表 11 可以得知鵝隻在正常日夜中白晝之 CO₂ 產生速率有較夜間者為高之趨勢 ($P = 0.085$; 表 11)，整日平均則顯著較日夜顛倒者為高 ($P < 0.05$; 表 11)。鵝隻在日夜顛倒中其 CO₂ 產生速率在日夜之間幾無差異 ($P > 0.05$; 表 11)。在鴿子之研究顯示，氧氣消耗速率在日夜之間具有大幅度差異：在白晝高，在夜間低，不管絕食與否 (Rashotte *et al.*, 1995)。顯然地，熱產生速率日夜間之差異程度具有種別差異，可能也受光照以外的因素影響。

不管日夜正常或日夜顛倒，鵝隻最低 CO₂ 產生速率在日夜之間皆無差異 ($P > 0.05$)，但日夜顛倒者顯然皆較日夜正常者為少 ($P < 0.05$)，其差值幾乎與整日平均之差值相等。若將最低 CO₂ 產生速率視為基底代謝速率 (basal metabolic rate; BMR) 之指標，則一日平均 CO₂ 產生速率在兩處理之差異主要即為基底代謝速率差異所致，而非活動量不同之故。由於兩組之基底代謝速率在日夜之間皆無差異，故日夜正常者日夜間之微少差距乃活動量之不同所致。兩處理在最低 CO₂ 產生速率之差異，暗示光暗週期與其他環境變化之不一致可能可降低基底代謝速率。

在鳥類，脂肪與蛋白質之呼吸商 (respiratory quotient; RQ) 分別為 0.71 與 0.72，碳水化合物則為 1.00，CO₂ 之產熱當量分別為

6.694、6.597 與 5.047 kcal/L (Robbins, 1993)。由於在絕食狀態中，身體產熱之來源為脂肪與蛋白質，若以每公升 CO₂ 產熱 6.65 kcal 估計之，則鵝隻之絕食熱產生在日夜正常者為 100.9 kcal/d/kg^{0.75}，在日夜顛倒者為 89.7 kcal/d/kg^{0.75}。如果將最低二氧化碳產生速率視為基底代謝速率，則日夜正常者在日間與夜間之 BMR 分別為 76.4 與 77.7 kcal/d/kg^{0.75}；日夜顛倒者在日間與夜間之 BMR 分別為 65.4 與 64.5 kcal/d/kg^{0.75}。



柒、結論

綜合本研究之資料，可總結如下結論：

1. 日夜顛倒可降低鵝全日及白晝之絕食熱產生速率與最低熱產生速率，但並不影響每日增重、每日採食量與飼料效率。
2. 鵝之最低熱產生速率在日間與在夜間並無差異。
3. 短光照可提高鵝隻肥育期之每日採食量、每日增重與飼料效率。
4. 骨幹長光照可降低肥育期鵝隻之內臟脂肪之堆積。
5. 光照可影響鵝採食之一日變化，但不是唯一因素。



捌、參考文獻

王勝德、葉力子與楊錫坤。1998。長光照與短光照對母鵝生殖之影響。

中畜會誌 27 (Suppl.):64。

陳建良、陳品錡、陳俊吉、顏福勇與楊錫坤，1999。維持於冬至光照

期對白羅曼鵝生殖性能之影響。中畜會誌 28 (Suppl.):155。

陳盈豪、許振忠、施柏齡、劉登城與陳明造。2003。肉鵝適當上市週

齡之研究。中畜會誌 32：111-121。

林冠宏、林原佑、黃馨誼、朱天罡、潘彥江、潘鈺臻、張復淳、吳勇

初與楊錫坤。2007。骨幹光照對鵝生長與屠體性狀之影響。中畜

會誌 36 (suppl.):219。

洪元泰，呂振嘉、陳怡彤、何思穎、張復淳、張景婷、吳勇初與楊錫

坤。2009。光照期對鵝隻生長性狀與血漿代謝物含量之影響。中

畜會誌 38(Suppl.):203。

姜樹興。2009。動物營養學原理。華香園出版社，台北。

Adam, C. L., and J. G. Mercer. 2004. Appetite regulation and seasonality: implication for obesity. *Proc. Nutr. Soc.* 63:413-419.

Arnold, W., T. Ruf, S. Reimoser, F. Tataruch, K. Onderscheka, and F. Schober. 2004. Nocturnal hypometabolism as an overwintering strategy of red deer (*Cervus elaphus*). *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 286: R174-R181.

Barnes, B. M., and A. D. York. 1990. Effect of winter high temperatures on reproduction and circannual rhythms in hibernating ground squirrels. *J. Biol. Rhythms* 5:119-130.

- Bell-Pedersen, D., V. M. Cassone, D. J. Earnest, S. S. Golden, P. E. Hardin, T. L. Thomas. 2005. Circadian rhythms from multiple oscillators: lessons from diverse organisms. *Nat. Rev. Genet.* 6:544–556.
- Bellier, R., T. Gidenne, M. Vernay, and M. Colin. 1995. In vivo study of circadian variations of the cecal fermentation pattern in postweaned and adult rabbits. *J. Anim. Sci.* 73:128-135.
- Benataali, C., A. Mailloux, A. Bogdan, A. Auzeby, and Y. Touitou. 2001. Circadian rhythms of body temperature and motor activity in rodents: their relationships with the light-dark cycle. *Life Sci.* 68:2645-2656.
- Berman, A., and A. Meltzer. 1978. Metabolic rate: its circadian rhythmicity in the female domestic fowl. *J. Physiol.* 282:419-427.
- Biswas, A. K., M. Seoka, Y. Inoue, K. Takii, and H. Kumai. 2005. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). *Aquaculture.* 250:666-673.
- Boon, P., H. Visser, and S. Daan. 1997. Effect of photoperiod on body mass, and daily energy intake and energy expenditure in young rats. *Physiol. Behav.* 62:913-919.
- Brinkhof, M. W. G., S. Daan, and J. H. Strubbe. 1998. Forced dissociation of food and light entrainable circadian rhythms of rats in a skeleton photoperiod. *Physio. Behav.* 65:225-231.
- Brown, C. M., and R. Refinetti. 1996. Daily rhythms of metabolic heat production, body temperature, and locomotor activity in golden hamsters. *J. Therm. Biol.* 21:227-230.
- Bruininx, E. M. A. M., M. J. W. Heetkamp, D. V. D. Bogaart, C. M. C. V. D. Peet-Schwering, A. C. Beynen, H. Everts, L. A. D. Hartog, and J. W. Schrama. 2002. A prolonged photoperiod improves feed intake and energy metabolism of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 80:1736-1745.
- Cassone, V. M., and M. Menaker. 1984. Is the avian circadian system a neuroendocrine loop? *J. Exp. Zool.* 232:539-549.
- Challet, E., P. Pevet, B. V. Roels, and A. Malan. 1997. Phase-advanced daily rhythms of melatonin, body temperature and locomotor activity in food-restricted rats fed during daytime. *J. Biol. Rhythms.* 12:65-79.
- Choi, S., L. S. Wong, C. Yamat, and M. F. Dallman. 1998. Hypothalamic ventromedial nuclei amplify circadian rhythms: do they contain a

- food-entrained endogenous oscillator? *J. Neurosci.* 18:3843-3852.
- Chwalibog, A., A. H. Tauson, and G. Thorbek. 2004a. Energy metabolism and substrate oxidation in pigs during feeding, starvation and re-feeding. *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.* 88:101-112.
- Chwalibog, A., A. H. Tauson, and G. Thorbek. 2004b. Diurnal rhythm in heat production and oxidation of carbohydrate and fat in pigs during feeding, starvation and re-feeding. *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.* 88:266-274.
- Chwalibog, A., K. Jakobsen, A. H. Tauson, and G. Thorbek. 2005. Energy metabolism and nutrient oxidation in young pigs and rats during feeding, starvation and re-feeding. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 140:299-307.
- Concannon, P., K. Levac, R. Rawson, B. Ennant, and A. Bensadoun. 2001. Seasonal changes in serum leptin, food intake and body weight in photoentrained wood chucks. *Am. J. Physiol. Reg. Integr. Comp. Physiol.* 281:951-959.
- Cuesta, M., D. Clesse, P. Pevet, and E. Challet. 2009. From daily behavior to hormonal and neurotransmitters rhythms: Comparison between diurnal and nocturnal. *Horm. Behav.* 55:338-347.
- Davis, J. 1971. Breeding and molt schedules of the rufous-collared sparrow in coastal peru. *The condor.* 73:127-146.
- Dawson, A., V. M. King, G. E. Bentley, and G. F. Ball. 2001. Photoperiodic control of seasonality in birds. *J. Biol. Rhythms.* 16:366-381.
- Dawson, A. 2006. Control of molt in birds: Association with prolactin and gonadal regression in starlings. *Gen. Comp. Endocrinol.* 147:341-322.
- Dawson, A. 2007. Seasonality in a temperate zone bird can be entrained by near equatorial photoperiods. *Proc. R. Soc. B.* 274:721-725.
- Deprés-Brummer, P., F. Lévi, G. Metzger, and Y. Touitou. 1995. Light-induced suppression of the rat circadian system. *Am. J. Physiol.* 268 (Pt 2):R1111-1116.
- Dixit, A. S., and N. S. Singh. 2011. Photoperiod as a proximate factor in control of seasonality in the subtropical male Tree Sparrow, *Passer montanus*. *Front. Zool.* 8:1-12.
- Domingue, B. M., P. R. Wilson, D. W. Dellow, and T. N. E. Barry. 1992. Effects of subcutaneous melatonin implants during long daylength

- on voluntary feed intake, rumen capacity and heart rate of red deer (*Cervus elaphus*) fed on a forage diet. *Br. J. Nutr.* 68:77-88.
- Dunlap, J. C. 1999. Molecular Bases for Circadian Clocks. *Cell.* 96:271-290.
- Ebling, F. J., and Barrett. 2008. The regulation of seasonal changes in food intake and body weight. *J. Neuroendocrinol.* 20:827-833.
- Eisemann, J. H., D. E. Bauman, D. E. Hogue, and H. F. Travis. 1984. Evaluation of a role for prolactin in growth and the photoperiod induced growth response in sheep. *J. Anim. Sci.* 59:86-94.
- Fonken, L. K., J. L. Workman, J. C. Walton, Z. M. Weil, J. S. Morris, A. Haim, and R. J. Nelson. 2010. Light at night increases body mass by shifting the time of food intake. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107:18664-18669.
- Gaetke, L. M., R. C. Frederich, H. S. Oz, and C. J. McClain. 2002. Decreased food intake rather than zinc deficiency is associated with changes in plasma leptin, metabolic rate, and activity levels in zinc deficient rats. *J. Nutr. Biochem.* 13:237-244.
- Genin, F., and M. Perret. 2000. Photoperiod-induced changes in energy balance in gray mouse lemurs. *Physi. Behav.* 71:315-321.
- Golombek, D. A., and R. E. Rosenstein. 2010. Physiology of circadian entrainment. *Physiol. Rev.* 90:1063-1102.
- Green, C.B., J. S. Takahashi, and J. Bass. 2008. The meter of metabolism. *Cell*, 134:728-742.
- Gwinner, E. 1977. Circannual rhythms in bird migration. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 8:381-405.
- Gwinner, E. 1996. Circannual clocks in avian reproduction and migration. *Ibis.* 138:41-63.
- Gwinner, E. 1996. Circadian and circannual programmes in avian migration. *J. Experimental Biology* 199:39-48.
- Gwinner, E., and R. Brandstatter. 2001. Complex bird clocks. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 356:1801-1810.
- Gwinner, E. 2003. Circannual rhythms in birds. *Cur. Opinion neurobiol.* 13:770-778.
- Hartini, S. M. Choct, G. Hinch, A. Kocher, and J. V. Nolan. 2002. Effects of light intensity during rearing and beak trimming and dietary fiber sources on mortality, egg production and performance of ISA brown laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 11:104-110.
- Heldmaier, G., M. Klingenspor, M. Werneyer, B. J. Lampi, S. P. Brooks,

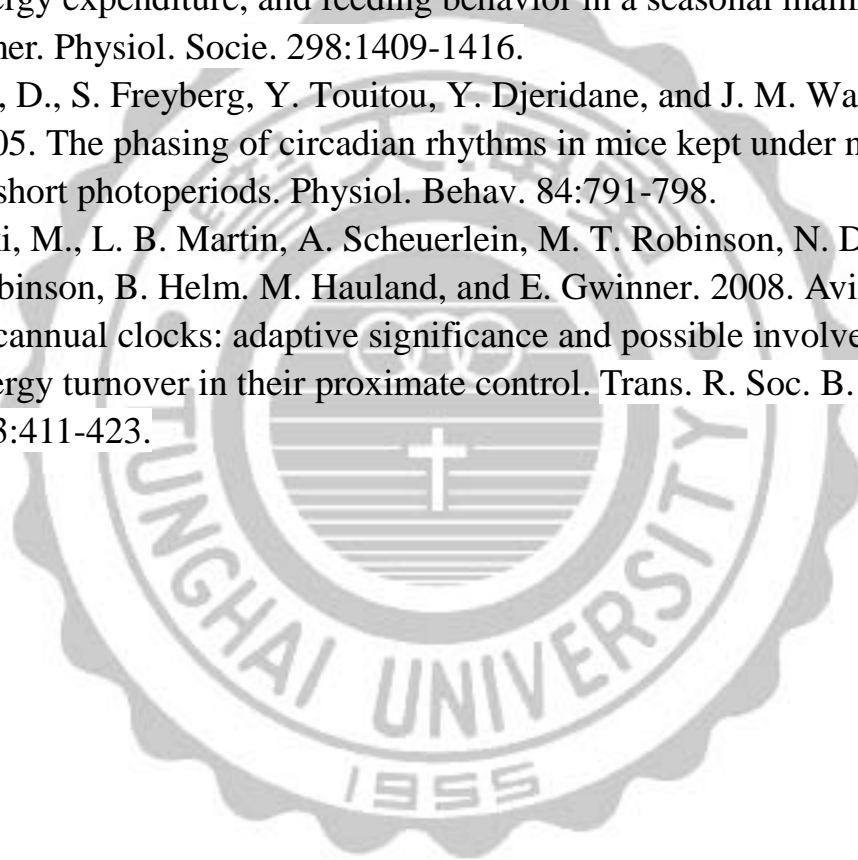
- and K. B. Storey. 1999. Metabolic adjustments during daily torpor in the Djungarian hamster. *Am. J. Physiol.* 276 (Pt 1):E896-906.
- Ho, S. Y., Z. J. Lui, Y. T. Chan, F. C. Chang, C. T. Chang, Y. C. Wu, Y. H. Chen, and S. K. Yang. 2010. Effect of rational protein distribution on the growth performances in geese. The 14th AAAP Animal Science Congress, Proceedings Vol. 2 (Abstr.):380. Pintung, Taiwan, ROC.
- Hoffmann, K. 1978. Effects of short photoperiods on puberty, growth and moult in the Djungarian hamster (*Phodopus sungorus*). *J. Reprod. Fert.* 54:29-35.
- Ichikawa, M., S. Kanai, Y. Ichimaru, A. Funakosh, and K. Miyasaka. 2000. The diurnal rhythm of energy expenditure differs between obese and glucose-intolerant rats and streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Nutr.* 130:2562-2567.
- Imaizumi, T., and S. A. Kay. 2006. Photoperiodic control of flowering: not only by coincidence. *Trends Plant Sci.*, 11:550-558.
- Johnsson, A. 2008. Light, circadian and circannual rhythms. *The Norwegian Acad. Sci. and Lett.* 57-75.
- Kanabrocki, E. I., J. L. H. C. Third, M. D. Ryan, B. A. Nemchausky, P. Shirazi, L. E. Scheving, and J. B. McCormick. 2000. Circadian relationship of serum uric acid and nitric oxide. *JAMA.* 283:2240-2241.
- Kalsbeek, A., J. J. V. Heerikhuize, J. Wortel, and R. M. Buijs. 1998. Restricted daytime feeding modifies suprachiasmatic nucleus vasopressin release in rats. *J. Biol. Rhythms.* 13:18-29.
- Kalsbeek, A., C. X. Yi, S. E. L. Fleur, and E. Fliers. 2010. The hypothalamic clock and its control of glucose homeostasis. *Trends Endocrinol. Metab.* 21:402-410.
- Karakas, A., C. Camsari, E. Serin, and B. Gunduz. 2005. Effects of photoperiods and food availability on growth, leptin, sexual maturation and maintenance in the Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Zool. Sci.* 22:665-670.
- Knopper, L. D., and P.Boily. 2000. The energy budget of captive Siberian hamsters, *Phodopus sungorus*, exposed to photoperiod changes: mass loss is caused by a voluntary decrease in food Intake. *Physiol. Biochem. Zool.* 73:517-522.
- Krieger, D. T., and H. Hauser. 1978. Comparison of synchronization of circadian corticosteroid rhythms by photoperiod and food. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 75:1577-1581.

- Koopmans, S. J., J. V. D. Meulen, R. Dekker, H. Corbijn, and Z. Mroz. 2005. Diurnal rhythms in plasma cortisol, insulin, glucose, lactate and urea in pigs fed identical meals at 12-hourly intervals. *Physiol. Behav.* 84:497-503.
- Larkin, L. M., B. J. Moore, J. S. Stern, and B. A. Horwitz. 1991. Effect of photoperiod on body weight and food intake of obese and lean Zucker rats. *Life Sci.* 49:735-45.
- Leproult, R., A. V. Onderbergen, M. L. H. Baleriaux, E. V. Cauter, and G. Copinschi. 2005. Phase-shifts of 24-h rhythms of hormonal release and body temperature following early evening administration of the melatonin agonist agomelatine in healthy older men. *Clin. Endocrinol.* 63:298-304.
- Lincoln, G. A. 1990. Correlation with changes in horns and pelage, but not reproduction, of seasonal cycles in the secretion of prolactin in rams of wild, feral and domesticated breeds of sheep. *J. Reprod. Fert.* 90:285-296.
- Loudon, A. S. I. 1994. Photoperiod and the regulation of annual and circannual cycles of food intake. *Proc. Nutr. Soc.* 53:495-507.
- Loudon, A. S. , J. A. Milne , J. D. Curlewis, and A. S. McNeilly. 1989. A comparison of the seasonal hormone changes and patterns of growth, voluntary food intake and reproduction in juvenile and adult red deer (*Cervus elaphus*) and Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) hinds. *J. Endocrinol.* 122:733-745.
- Lui, Z. J., Y. T. Chan, S. Y. Ho, H. H. Chu, F. C. Chang, C. T. Chang, Y. C. Wu, Y. H. Chen, and S. K. Yang. 2010. Effect of restricted feeding on the fattening performances in geese. The 14th AAAP Animal Science Congress, Proceedings Vol. 2 (Abstr.):381. Pintung, Taiwan, ROC.
- Marie, M., P. A. Findlay, L. Thomas, and C. L. Adam. 2001. Daily patterns of plasma leptin in sheep: effects of photoperiod and food intake. *J. Endo.* 170:277-286.
- Martin, A.-M., J. A. Elliott, P. Duffy, C. M. Blake, S. B. Attia, L. M. Katz, J. A. Browne, V. Gath, B. A. McGivney, E. W. Hill, and B. A. Murphy. 2010. Circadian regulation of locomotor activity and skeletal muscle gene expression in the horse. *J. Appl. Physiol.* 109:1328-1336.
- Mantha, L., E. Palacios, and Y. Deshaies. 1999. Modulation of triglyceride metabolism by glucocorticoids in diet-induced obesity. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 277:455-464.

- Mercer, J. G., K. M. Moar, T. J. Logie, P. A. Findlay, C. L. Adam, and P. J. Morgan. 2001. Seasonally inappropriate body weight induced by food restriction: effect on hypothalamic gene expression in male Siberian hamsters. *Endocrinology* 142:4173-4181.
- Miyasaka, K., M. Ichikawa, K. Momose, A. Araki, M. Kobayashi, Y. Ichimaru, and A. Funakoshi. 2004. Physiological and pathological age-associated changes in diurnal rhythm of energy expenditure in rat. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 39:83-91.
- Morgan, P. J., A. W. Ross, J. G. Mercer, and P. Barrett. 2003. Photoperiodic programming of body weight through the neuroendocrine hypothalamus. *J. Endocrinol.* 177:27-34.
- Mrosovsky, N. and D. F. Shry. 1980. Animal anorexias. *Science* 207:837-842.
- Okano, T., and Y. Fukada. 2003. Chicktacking pineal clock. *J. Biochem.* 134:791-797.
- Ortigue, I., C. Martin, and D. Durand. 1996. Circadian change in net nutrient fluxes across the portal-drained viscera, the liver and the hindquarters in preruminant calves. *J. Anim. Sci.* 74:895-907.
- Peter, R. R., L. T. Chapin, and R. S. Emery, and H. A. Tucker. 1980. Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *J. Anim. Sci.* 51:1148-1153.
- Piccione, G., G. Caola, R. Refinetti. 2003. Circadian rhythms of body temperature and liver function in fed and food-deprived goats. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* 134: 563-572.
- Piccione, G., G. Caola, and R. Refinetti. 2005. Daily rhythms of blood pressure, heart rate, and body temperature in fed and fasted male dogs. *J. Vet. Med.* 52:377-381.
- Piccione, G., G. Caola, R. Refinetti. 2005. Temporal relationships of 21 physiological variables in horse and sheep. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* 142:389-396.
- Piersma, T., N. Cadee, and S. Daan. 1995. Seasonality in basal metabolic rate and thermal conductance in a long-distance migrant shorebird, the knot (*Calidris canutus*). *J. Comp. Physiol. B.* 165:37-45.
- Portugal, S. J., J. A. Green, and P. J. Butler. 2007. Annual changes in body mass and resting metabolism in captive barnacle geese (*Branta leucopsis*): the importance of wing moult. *J. Exp. Biol.* 210:1391-1397.
- Rashotte, M. E., P. S. Basco, and R. P. Henderson. 1995. Daily cycles in

- body temperature, metabolic rate, and substrate utilization in pigeons: influence of amount and timing of food consumption. *Physiol. Behav.* 57:731-746.
- Rashotte, M.E., I. F. Pastukhov, E. L. Poliakov, R. P. Henderson. 1998. Vigilance states and body temperature during the circadian cycle in fed and fasted pigeons (*Columba livia*). *Am. J. Physiol.* 275 (Pt 2):R1690-702.
- Refinetti, R. 2006. Variability of diurnality in laboratory rodents. *J. Comp. Physiol. A. Neuroethol. Sens. Neural Behav. Physiol.* 192:701-714.
- Robbins, C. T. 1993. *Wildlife Feeding and Nutrition*. Academic Press, San Diego. p352.
- Roberto, S. D., A. C. Manuel, S. Nadia. M. B. Ruud, and E. Carolina. 2010. Food intake during the normal activity phase prevents obesity and circadian desynchrony in a rat model of night work. *Endocrinology* 151:1019-1029.
- Roenneberg, T., S. Daan, and M. Merrow. 2003. The art of entrainment. *J. Biol. Rhythms.* 18:183-194.
- Roenneberg, T., and M. Merrow. 2005. Circadian clocks-the fall and rise of physiology. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 6:965-971.
- Rusak, B., and I. Zucker. 1975. *Annu. Rev. Psychol.* 26:137-170.
- Schanbacher, B. D., and J. D. Crouse. 1981. Photoperiodic regulation of growth: a photosensitive phase during light-dark cycle. *Endo.* 241:E1-E5.
- Severinsen, T., and I. C. munch. 1999. Body core temperature during food restriction in rats. *Acta. Physiol. Scand.* 165:299-305.
- Sibbald, A. M. 1994. Effect of changing daylength on the diurnal pattern of intake and feeding behaviour in penned red deer (*Cervus elaphus*). *Appetite* 22:197-203.
- Sirri, F., G. Minelli, E. Folegatti, S. Lolli, and A. Meluzzi. 2007. Foot dermatitis and productive traits in broiler chickens kept with different stocking densities, litter types and light regimen. *Ital. J. Anim. Sci.* 6:734-736.
- Tucker, H. A., D. Petitclerc, and S. A. Zinn. 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake and hormone secretion. *J. Anim. Sci.* 59:1610-1620.
- Turbill, C., T. Ruf, T. Mang, and W. Arnold. 2011. Regulation of heart rate and rumen temperature in red deer: effects of season and food intake. *J. Exp. Biol.* 214:963-970.

- Villalobos, O., O. Guillen, and J. Garcia. 2008. Effect of cage density on growth and carcass performance of fattening rabbits under tropical heat stress conditions. *Manag. and Econ.* 9:1625:1629.
- Yerushalmi, S., and R. M. Green. 2009. Evidence for adaptive significance of circadian rhythms. *Ecol. Lett.* 12:970-981.
- Wade, G. N., and T. J. Bartness. 1984. Effects of photoperiod and gonadectomy on food intake, body weight, and body composition in Siberian hamsters. *Am. Physiol. Soc.* 84:26-30.
- Warner, A., P. H. Jethwa, C. A. Wyse, H. I. Anson, J. M. Brameld, and F. J. P. Ebling. 2010. Effects of photoperiod on daily locomotor activity, energy expenditure, and feeding behavior in a seasonal mammal. *Amer. Physiol. Socie.* 298:1409-1416.
- Weinert, D., S. Freyberg, Y. Touitou, Y. Djeridane, and J. M. Waterhouse. 2005. The phasing of circadian rhythms in mice kept under normal or short photoperiods. *Physiol. Behav.* 84:791-798.
- Wikelski, M., L. B. Martin, A. Scheuerlein, M. T. Robinson, N. D. Robinson, B. Helm. M. Hauland, and E. Gwinner. 2008. Avian circannual clocks: adaptive significance and possible involvement of energy turnover in their proximate control. *Trans. R. Soc. B.* 363:411-423.



玖、英文摘要

Effects of photoperiod on feeding, growth traits and metabolism in geese

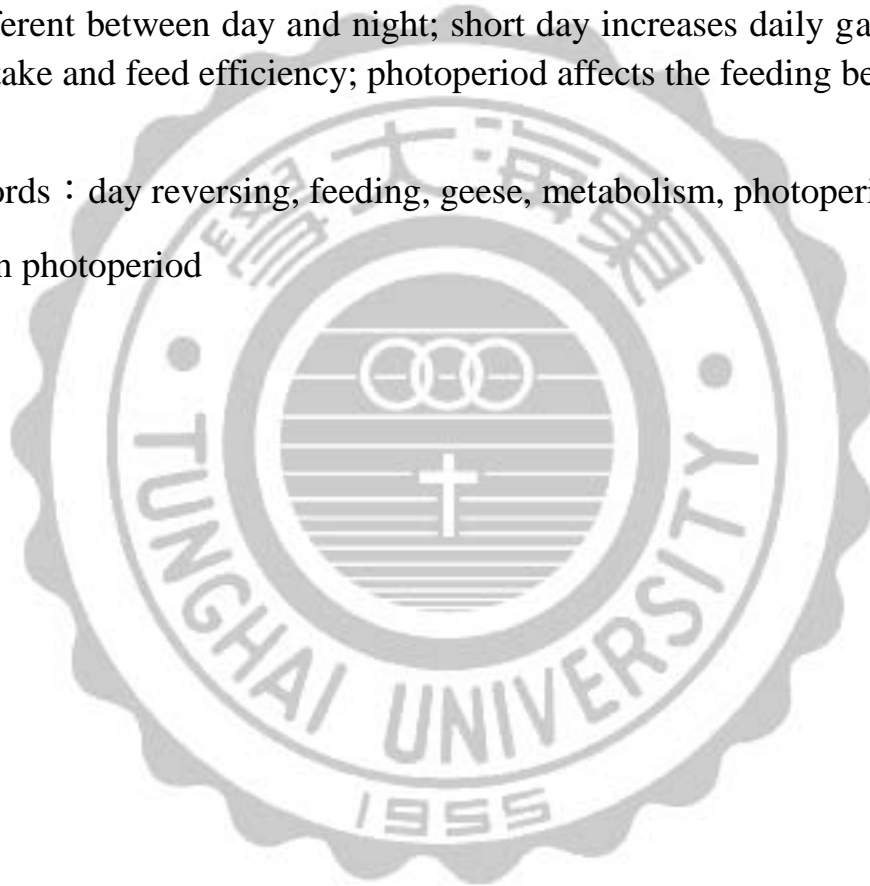
Hung-Hsin Chu

ABSTRACT

Three trials were conducted to investigate the effects of photoperiod on the feed intake, growth, metabolism and plasma levels of metabolites in geese. In trial I, 16 9-wk White Roman goslings were subjected to the regimen of either day reversing (group R; lighting from 18:00 to 08:00) or normal day (group C; lighting from 06:00 to 20:00). Four geese in each group were fed individually for intensive feed intake recording. At the end of 2-wk of experimental period, geese which were fed individually were fasted for 12 hr followed by blood sampling at intervals of 4 hr for 24 hr. In each group, four geese fed in group were collected blood also, but allowed to access feed freely. Results showed that the hourly feed intake (HFI) during lighting phase was significantly higher than during dark phase in both groups ($P < 0.05$). Daily gain (DG), daily feed intake (DFI), feed efficiency (FE) and the levels of plasma glucose (Glu), triglycerides (TG) and uric acid (UA) at each time point were not different between groups ($P > 0.05$). Glu, TG and UA in fasting geese were significantly lower than in non-fasting geese ($P < 0.05$). In trial II, 16 11-wk goslings were randomly subjected to either 8L/16D (group SD) or 8L/7D/1L/8D skeleton long days (group SL). Feed intake was recorded intensively. At 15 wk of age, geese were sacrificed for the analysis of carcass traits and proximate composition of breast meat. Results showed that DG, DFI, FE, and UA in group SL were significantly lower than in group SD ($P < 0.05$). TG and Glu were not different between groups. The visceral fat in group SL was significantly lighter than in group SD ($P < 0.05$). HFI was not different between lighting phase and dark phase in SD group; however, HFI during lighting phase was significantly higher than during dark phase in group SL ($P < 0.05$). HFI during dark phase in group SL was significantly lower than in group SD ($P < 0.05$); however, HFI during lighting phase was not different between groups. In trial III, 6 somatic mature geese were sequentially exposed to normal long days (14L/10D, treatment C) and reversing long days (10D/14L, treatment R) for the determination of carbon dioxide production rate. Results showed

that the carbon dioxide production rates both during whole day and during lighting phase in treatment C were significantly higher than in treatment R ($P < 0.05$), but those during dark phase was not different between treatments. In spite of treatments, both mean and minimal carbon dioxide production rates were not different between day and night; however, in spite of day and night, the minimal carbon dioxide production rate in treatment C was significantly higher than in treatment R ($P < 0.05$). In conclusion, day reversing lowers the rates of fasting heat production during whole day and day time, but does not affect daily gain, daily feed intake and feed efficiency; the minimal heat production rate is not different between day and night; short day increases daily gain, daily feed intake and feed efficiency; photoperiod affects the feeding behavior.

Key words : day reversing, feeding, geese, metabolism, photoperiod, skeleton photoperiod

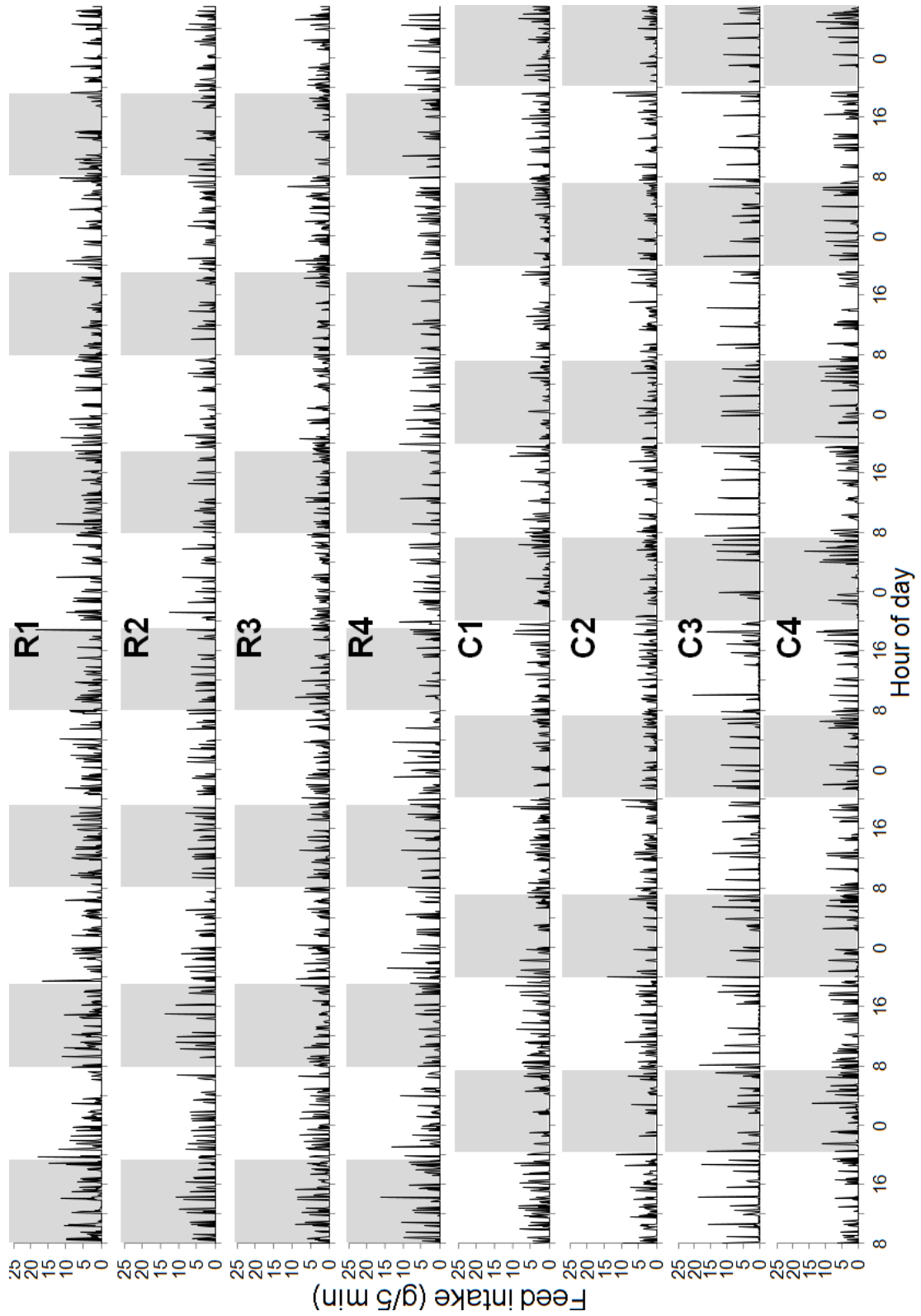


拾、小傳

作者於民國七十五年十二月一日出生，桃園縣人。先後畢業於桃園縣中壢市新明國小，新明國中，國立內壢高中。民國九十四年考入東海大學畜產與生物科技學系，民國九十八年畢業獲得學士學位，並考取東海大學畜產與生物科技研究所，師從 楊錫坤博士研習解剖生理學，迄今完成本論文。

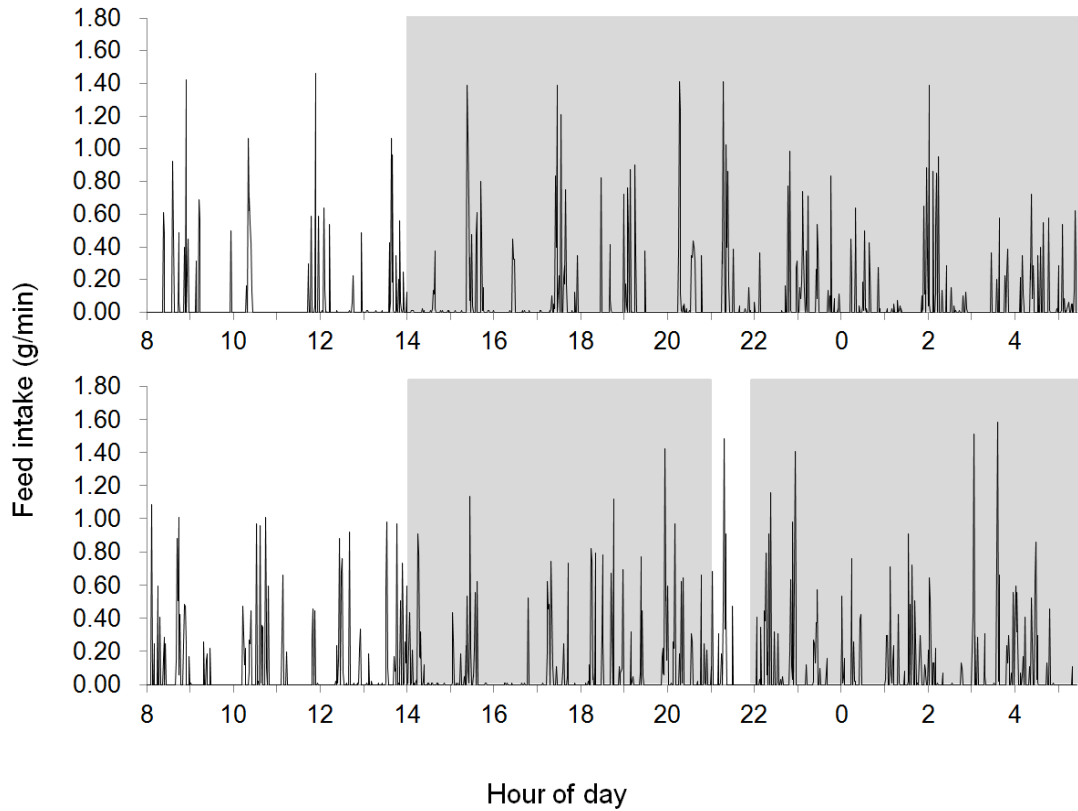


拾壹、附錄

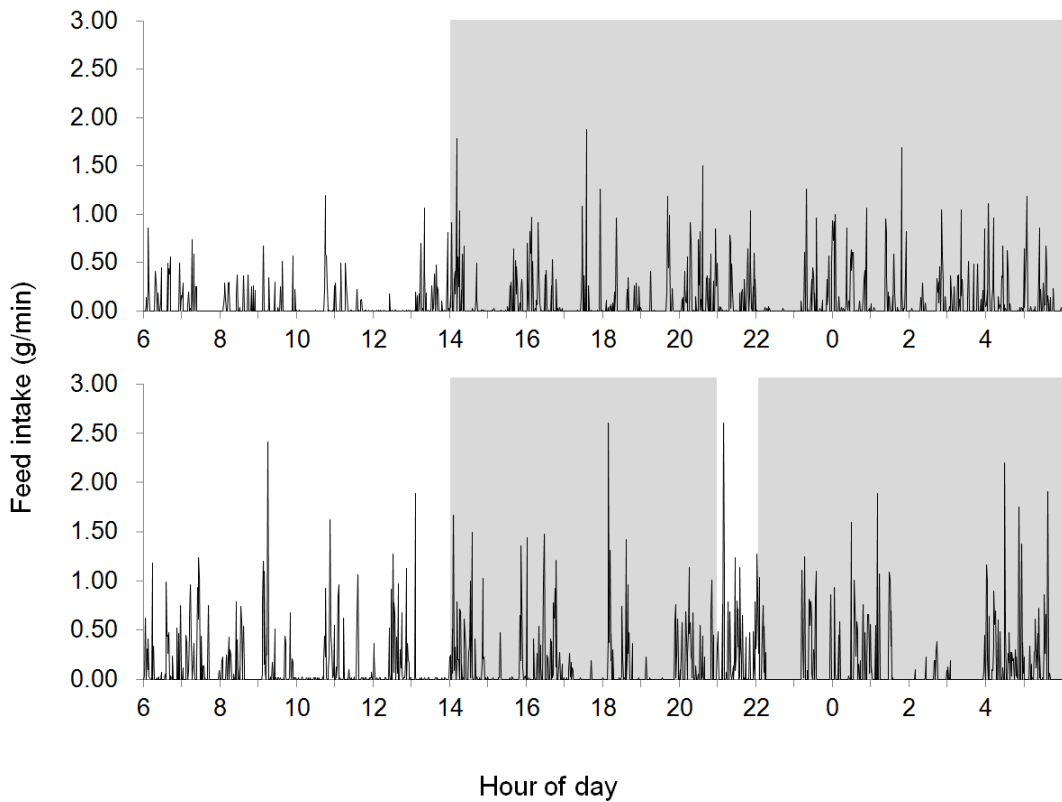


附錄 1 試驗一個別鵝隻第 1 日至第 7 日之密集採食量記錄。R 日

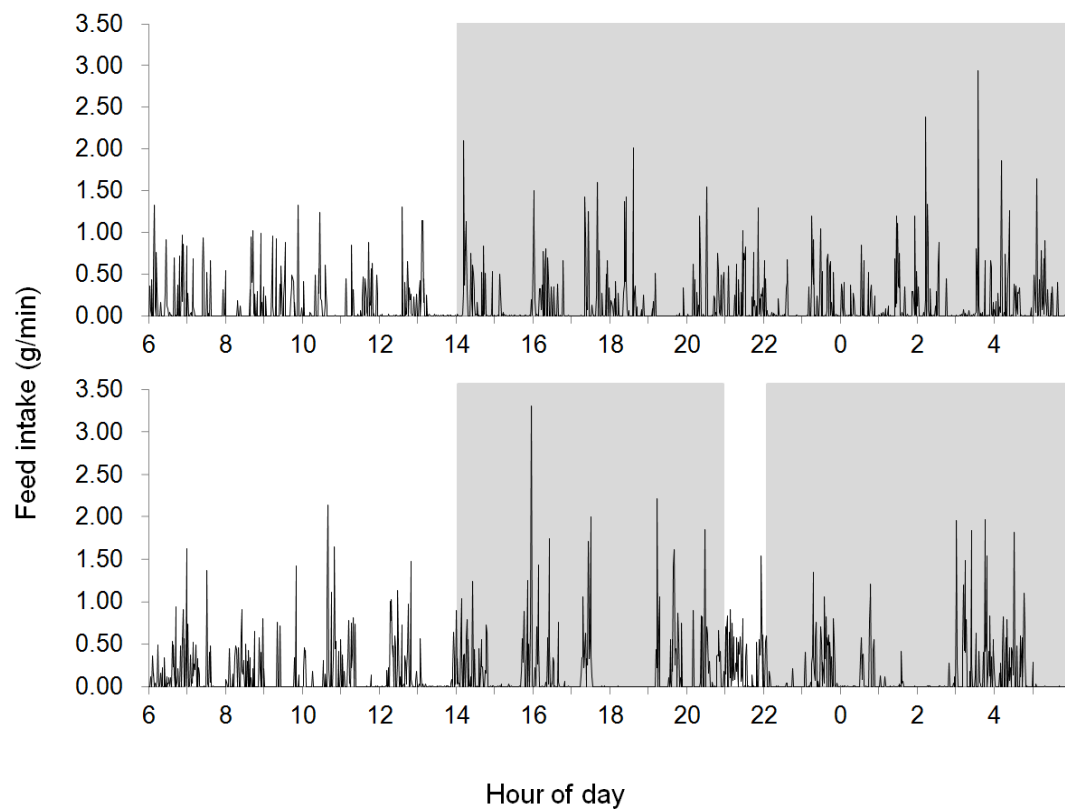
夜顛倒組；C 日夜正常組。陰影表示黑夜期間。



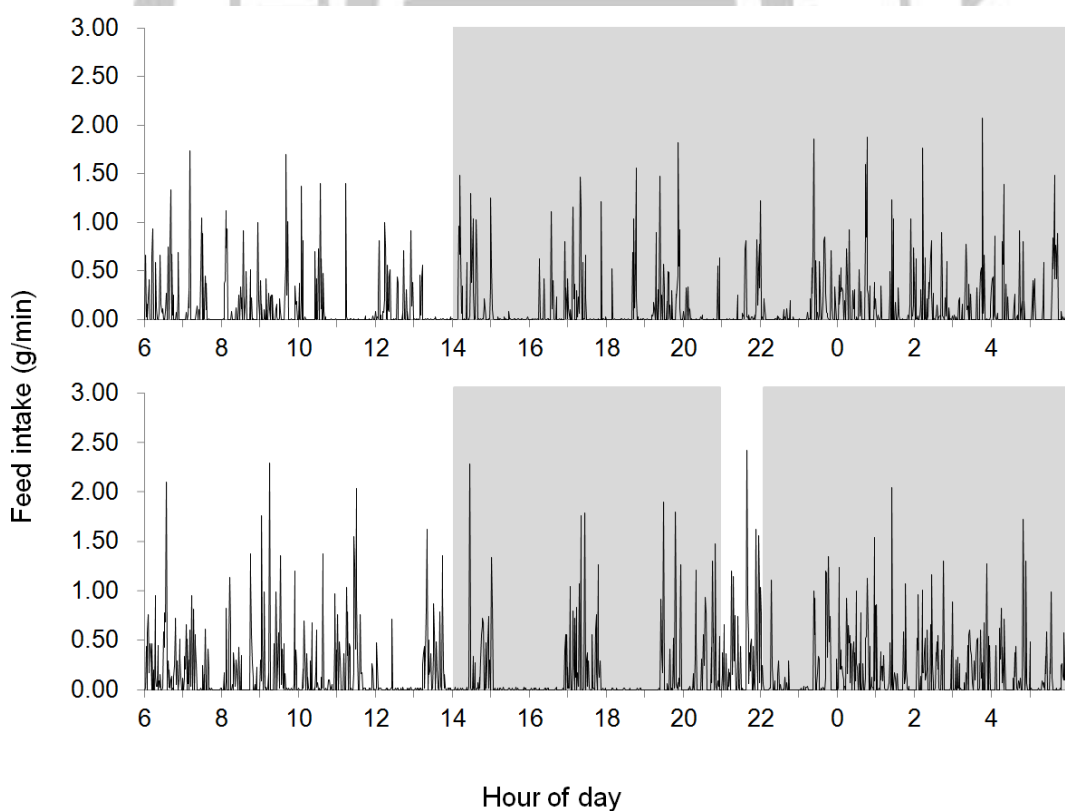
附錄 2 試驗二第 1 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



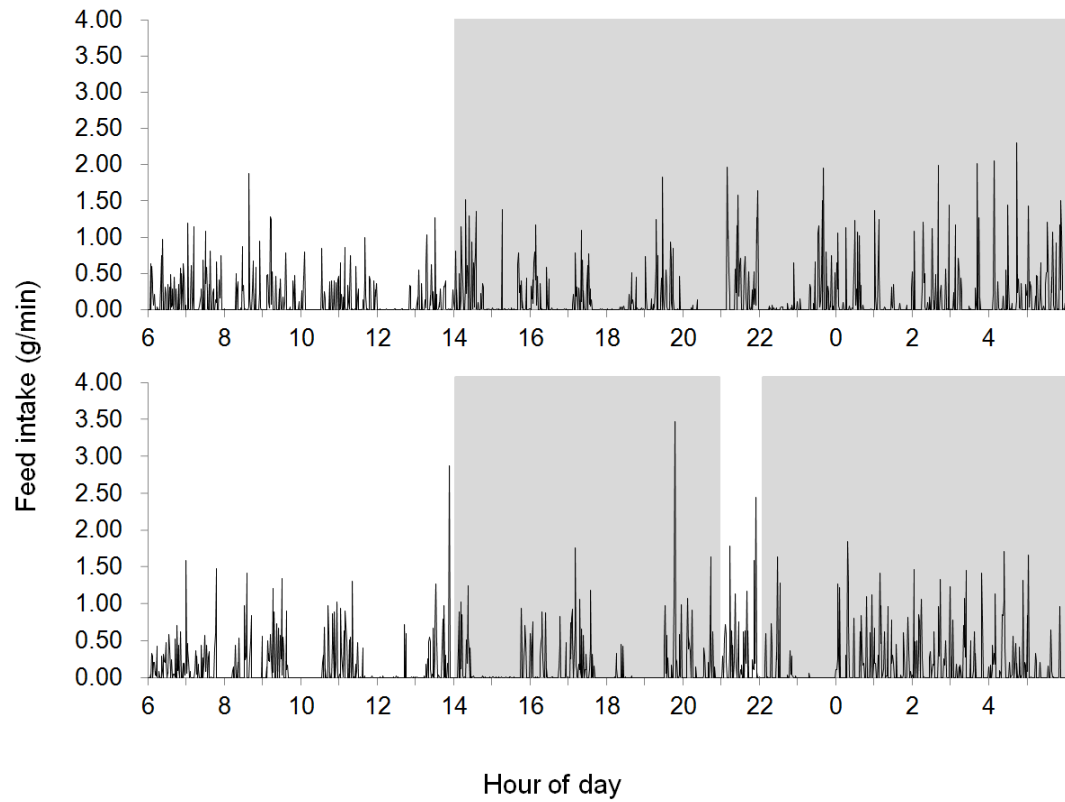
附錄 3 試驗二第 2 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



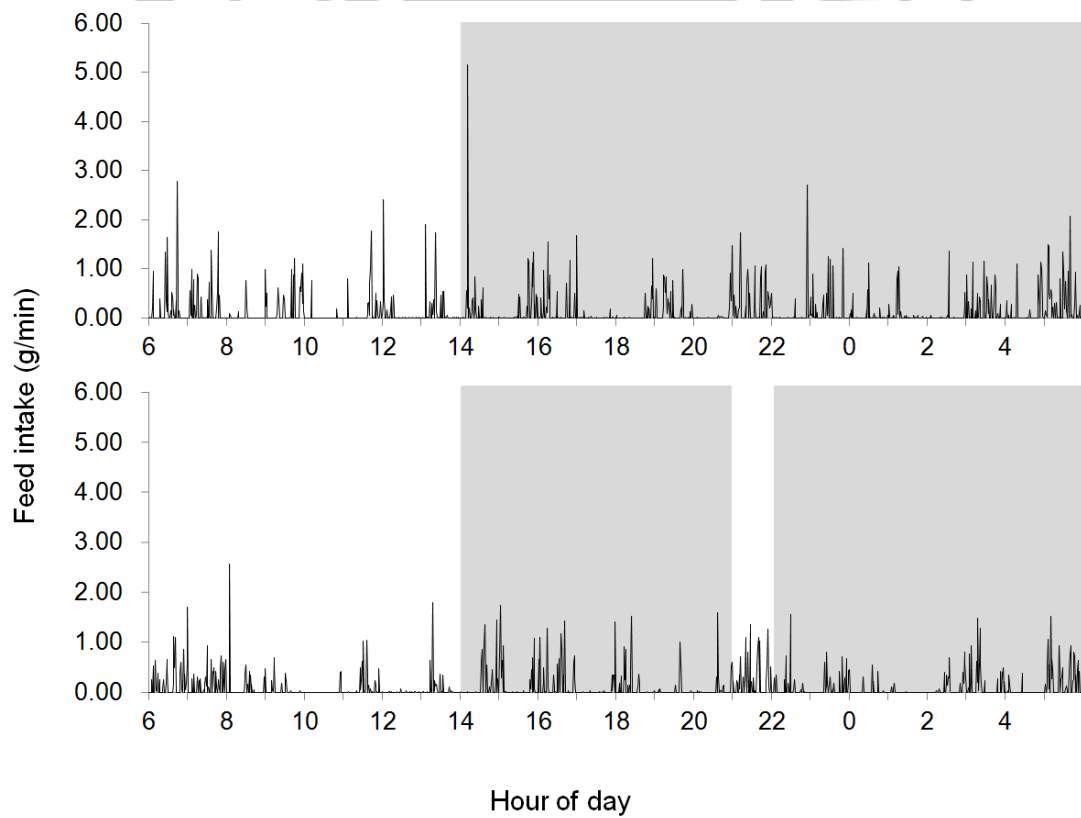
附錄 4 試驗二第 3 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



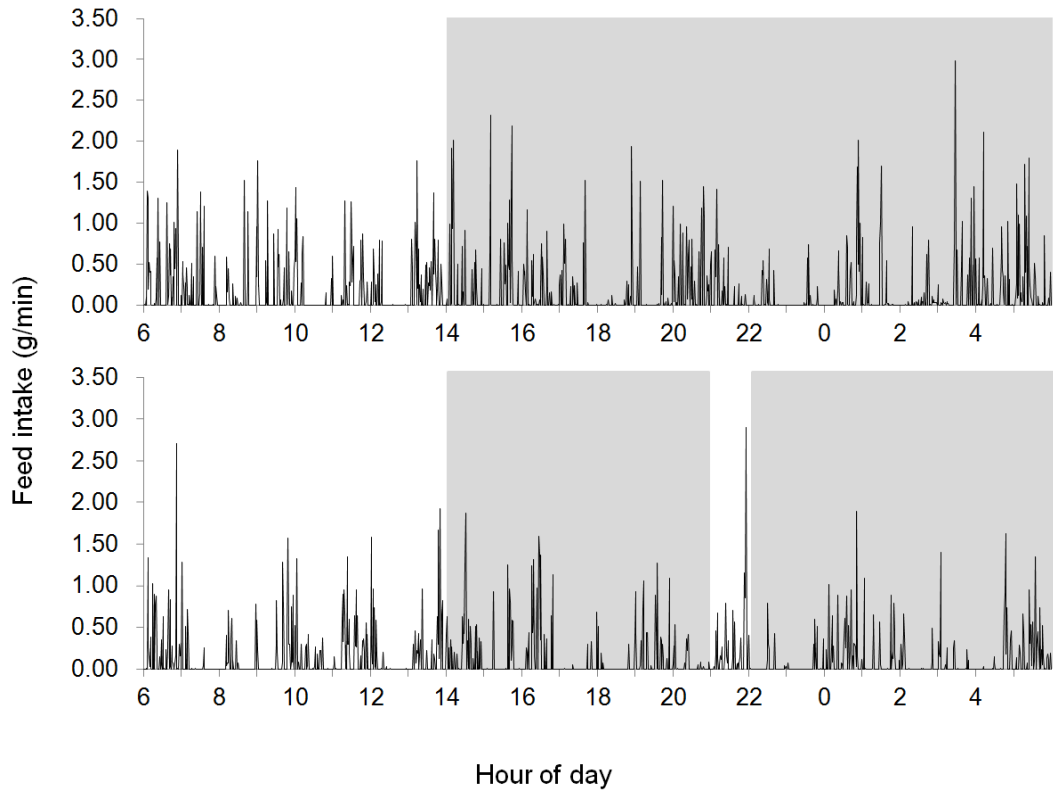
附錄 5 試驗二第 4 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



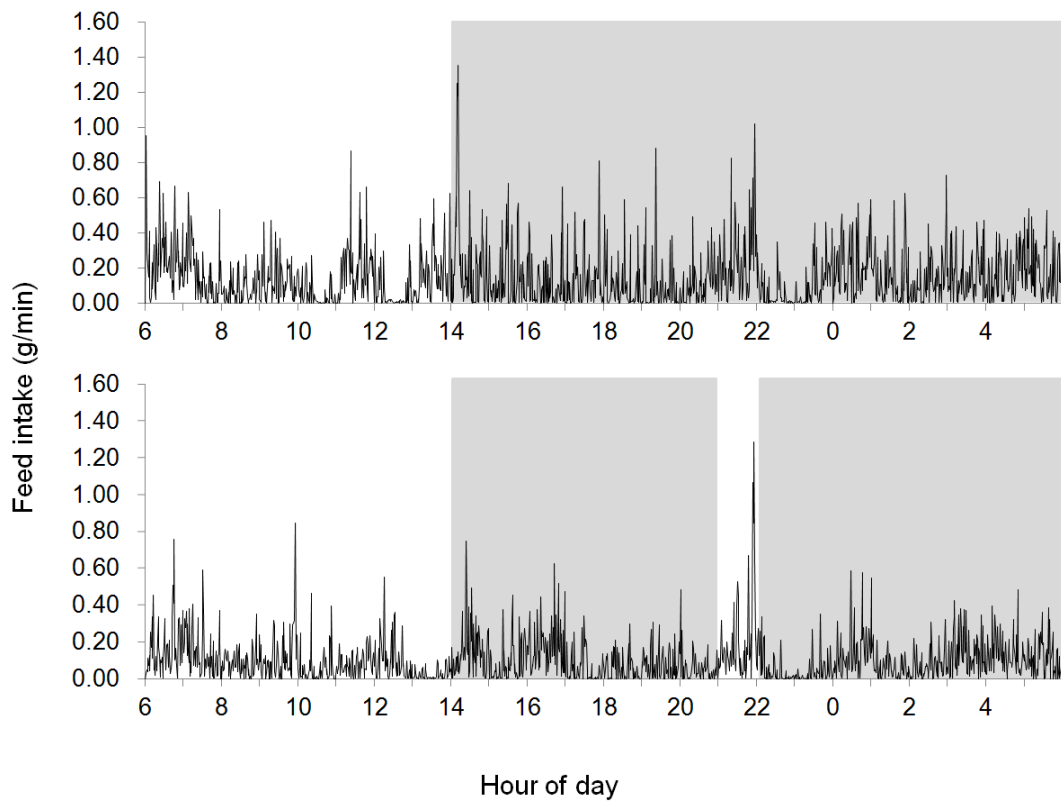
附錄 6 試驗二第 5 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



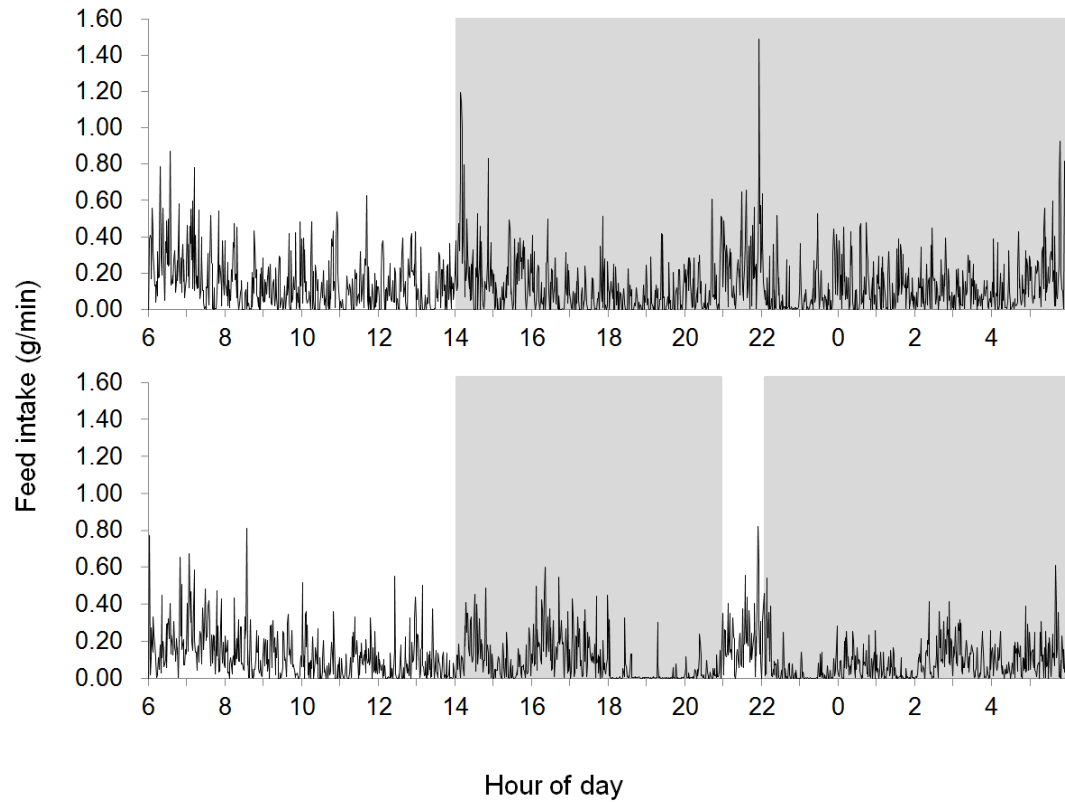
附錄 7 試驗二第 6 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



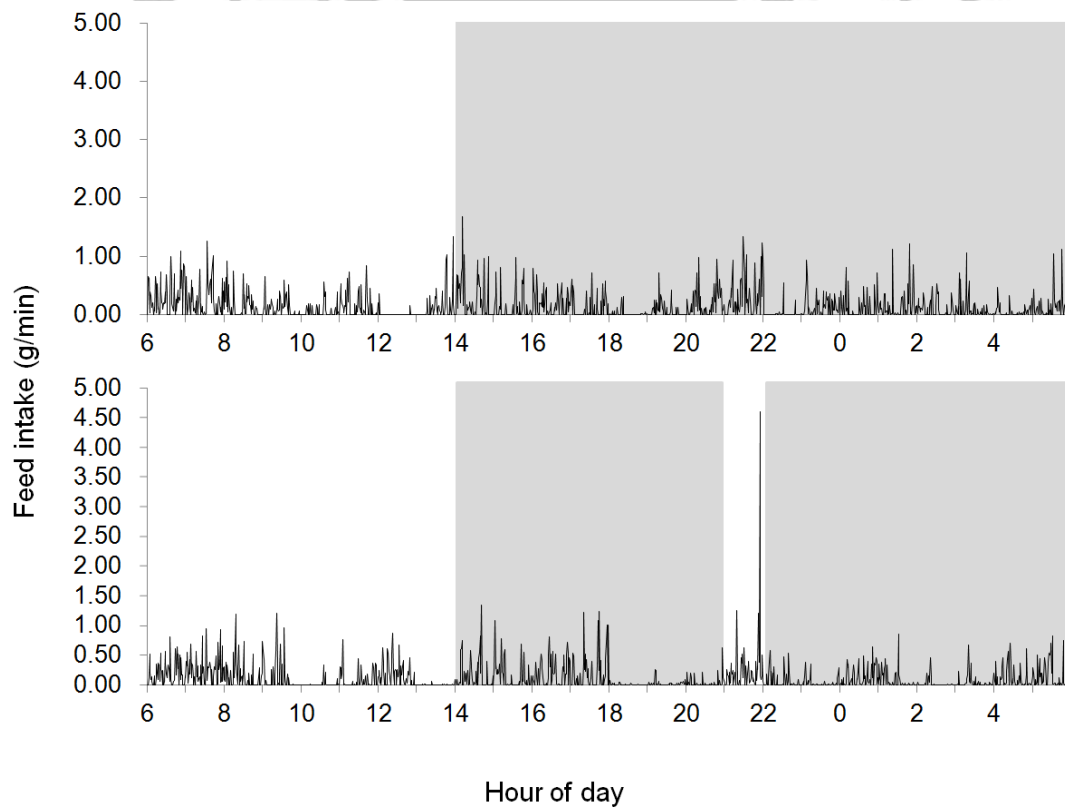
附錄 8 試驗二第 7 日之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



附錄 9 試驗二第 2 週之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



附錄 10 試驗二第 3 週之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。



附錄 11 試驗二第 4 週之密集採食量記錄。上半為 SD，下半為 SL。