

聚合性單寧酸對圈養台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)
消化生理之影響

Effects of Condensed Tannins on Digestive Physiology of the
Captive Taiwanese Macaques (*Macaca cyclopis*)

賴均銘¹ 林美峰² 張誌益³ 蘇秀慧^{1,*}

Chun-Ming Lai¹, Mei-Fong Lin², Chi-I Chang³, and Hsiu-hui Su^{1,*}

¹ 國立屏東科技大學野生動物保育研究所 屏東縣內埔鄉學府路 1 號

² 國立台灣大學動物科學技術學系 台北市基隆路三段 155 巷 50 號

³ 國立屏東科技大學生物科技研究所 屏東縣內埔鄉學府路 1 號

¹ Institute of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

² Department of Animal Science and Technology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³ Graduate Institute of Biotechnology, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

* 通訊作者: hhsu@mail.npust.edu.tw

* Corresponding author: hhsu@mail.npust.edu.tw

摘 要

植物之化學成分可能影響植食動物之消化生理，進而影響其取食模式及覓食策略，故了解動物消化生理反應與植物次級化合物(secondary compound)之相關性，是研究其覓食策略之重要基礎。本研究檢視聚合性單寧酸對台灣獼猴消化生理之影響，將有助於了解植物化學成分與其覓食策略之關係。利用在餵食食物中添加食物乾物質重 3% 及 6% 之白堅木(*Quebracho*)粉末(含聚合性單寧酸達 76.5 mg/g DM)，量測受試圈養台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)之進食量、腸道滯留時間、表面消化率等消化生理數值，以及聚合性單寧酸回收率。排遺分析所得聚合性單寧酸回收率均高於 90%，攝入較高濃度聚合性單寧酸顯著降低台灣獼猴之進食量，但對食物腸道滯留時間並無顯著影響，此外，食物之聚合性單寧酸含量對台灣獼猴之乾物質及蛋白質消化率有顯著影響。研究結

果顯示，台灣獼猴無法降解或分解聚合性單寧酸，而其消化生理受聚合性單寧酸之顯著影響，故植物所含聚合性單寧酸濃度是影響台灣獼猴覓食策略因素之一。

Abstract

Chemical components of plants may affect digestive physiology of herbivores, which in turn, set constraints on their feeding patterns and feeding strategies. Therefore, information on the effects may reveal the feeding strategies. This study was aimed to investigate the effects of condensed tannins on digestive physiology of the Taiwanese macaque (*Macaca cyclopis*) and to determine whether this secondary metabolite of plants affects its feeding strategy. Captive macaques were fed with food added with 3% and 6% Quebracho powder as the condensed tannin. We found that the recovery rate of the ingested condensed tannin was over 90%, and the ingestion significantly reduced the amount of the food intake and digestibility of its dry matter and protein. The results suggested that the digestive physiology of the Taiwanese macaque is compromised by condensed tannins in its food, and thus, this secondary compound of plants may constrain its feeding strategy.

關鍵詞：植食、單寧、消化生理、覓食策略、台灣獼猴

Key words: herbivory, tannin, digestive physiology, feeding strategy, *Macaca cyclopis*

收件日期：●年●月●日

接受日期：●年●月●日

Received: February ●, ●

Accepted: February ●, ●

緒 言

在自然界中，動植物互動關係是普遍存在的，而互動之一方可能在受另一方改變而決定自己本身演化路徑，在研究植食這項動植物互動關係中，植物次級化合物對植食性動物的營養及消化生理影響是一個重要領域(Schemske and Horvitz 1988)。根據植物最佳防禦策略指出，植物爲了避免植食性動物大量取食而受損甚至死亡，演化出保護及抵抗機制來干擾動物攝取(Coley et al. 1985)，其中次級化合物所形

成之化學防禦爲一項重要指標，植物次級化合物可以保護植物本身免於細菌及真菌感染外，並且深切影響植食性動物營養生理及覓食行爲(Robbins 1993)。

植食性動物因植物防禦特性而無法獲取營養及能量時，除了發展出適應這些防禦機制之生態行爲外，動物之消化系統結構與生理適應的差異，可從不同植物資源來滿足能量與營養的需求(Norberg 1977 ; Hanya et al. 2007)。植物性食物提供台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)所攝取營養與能量之大部分，所食用的植物種類超

過 300 種(吳等 2002)，亦取食多個植物部位，為研究動植物間植食之互動關係的好題材。本研究探討植物次級化合物中聚合性單寧酸對台灣獼猴消化生理之影響，以了解植物化學防禦與雜食者覓食策略之關聯。

單寧酸依照化學結構可分為水解性單寧(hydrolyzed tannin)和聚合性單寧(condensed tannin)，而聚合性單寧酸在植物防禦植食上扮演重要角色。聚合性單寧酸與唾液蛋白結合會降低食物的適口性(Robbins 1993)，此外，在動物消化道內部，聚合性單寧酸還可與植物蛋白質形成複合物，抑制腸道微生物發酵而降低食物中能量之可利用性。研究指出食物乾物質重含 3% 之聚合性單寧酸就會降低金昌鼠(*Mesocricetus auratus*)表面消化率及食物攝入量，同時影響消化器官及肝臟、腎臟功能，進而導致動物生長遲緩甚至死亡(Robbins 1993)。

動物因應植物防禦植食之機制反應在消化系統之構造及消化生理之適應。Lambert (1998) 將靈長類之消化系統分成二大類，包括具前胃發酵(forestomach fermentation)及盲—結腸發酵(caeco-colic fermentation)功能的消化系統，具有不同消化系統的動物對所食入的植物次級化合物的生理反應不盡相同，因而有不同的覓食模式及策略。前胃發酵動物具有較大的胃室及較多於瘤胃中共生的微生物，可將單寧酸進行降解作用，改變單寧酸結構及其結合消化酶的作用，使之成為水溶性且易排泄的物質；但對盲—結腸發酵者而言，單寧酸在尚未被動物盲腸及結腸之微生物降解前，就已對動物之消化有所影響，因先與小腸內消化酵素形成複合物而被排出體外。由於前胃中之微生物發酵可以降低植物次級化合物對植食者之消化作用之影響，因此前胃發酵動物比後腸發酵動物往往更能適應含次級化合物之植物(DaSilva 1992；Wrangham and Waterman 1981)。

植食性動物因應植物次級化合物也可反應於取食及選食行為上。例如北美的草原野鼠

(*Microtus pennsylvanicus*)在覓食針葉樹的枝條時，會先將枝條折斷，枝條因不再受光合作用，而減低次級化合物生成，過幾天後動物再進行取食(Roy and Bergeron 1990)。Morenoblack and Bent (1982)透過更進一步的食物化學成分分析，指出位於肯亞的安哥拉疣猴(*Colobus angolensis*)挑選食物時，會偏向單寧酸及植物鹼含量較少的植物。另一種因應植物次級化合物的覓食策略是提高食性範圍，同時攝食多種植物來降低單一植物毒素攝入的濃度，減少體內單一毒素的累積，避免因累積高濃度單一毒素而造成傷害(Baranga 1983；Burgess and Chapman 2005)。

過去研究發現，低海拔區域之台灣獼猴以果實為主要食物來源，佔全年進食之 52~67%，但亦取食葉片、嫩莖、嫩芽、種子及花等植物部位(Su and Lee 2001；張 1999；尤 2000；范 2004)。然而，研究人員亦於福山試驗林猴群研究中發現，台灣獼猴所取食的食物種類之聚合性單寧酸較未取食之植種低(未發表資料)，聚合性單寧酸對台灣獼猴消化生理之影響為何，為引發本研究之動機。因此，本研究以圈養台灣獼猴為對象，探討含不同濃度聚合性單寧酸食物對其消化生理之影響，由量測進食量、腸道滯留時間、食物表面消化率，及聚合性單寧酸之回收率，期盼了解植物次級化合物與台灣獼猴覓食策略之關聯。

材料與方法

一、研究對象

研究對象為屏東保育類野生動物收容中心 H₄ 區單獨圈養之成年雄性台灣獼猴(年齡 > 5 歲)，圈養籠舍大小為長 90 cm×寬 60 cm×高 80 cm。收容中心一天餵食猴隻二次，上午 8 點餵食多種蔬菜，下午 4 點餵食多種水果，每次餵食約 500 g 的食物，此外，每兩天提供額外補充營養之點心，如堅果、白煮蛋及獼猴專用乾

糧等，飲水為全日供應。

本實驗取樣 15 隻成年雄性個體，分為對照組、試驗組 A 及試驗組 B，每組 5 隻個體(圖 1)。預備試驗期間(2010 年 9 月 10 日至 9 月 15 日)發現台灣獼猴入睡後至隔日天亮前(5:30 AM)並不會排便，因此將觀察及收集排遺時間訂為一天中的清晨六點至傍晚六點，實驗總天數為

15 天，每日於下午兩點準備餵食所需的食物，一次處理兩餐的食物，用於當日下午 4 點及隔日上午 8 點。預備試驗期間亦測試研究個體對不同食物的接受度，記錄其對各種食物之取食情形，避免後續實驗因餵食動物不願取食的食物，而影響到實驗數據收集。



圖 1. 受試圈養台灣獼猴之籠舍及環境，以及食物殘渣與排遺樣本收集情形。

Fig. 1. Enclosures used in this study for Taiwanese macaques under which food residues and fecal samples were collected for chemical analysis.

二、試驗流程

於 2010 年 9 月 17 日至 10 月 1 日進行圈養台灣獼猴添加聚合性單寧酸食物餵食試驗與排遺樣本收集，共計 15 天。試驗流程分為以下三期：第 1-2 天為「食物適應期」，按照中心早晚各餵食一次的時間表，以當季蔬果(香蕉、香瓜、紅蘿蔔及豆薯)餵食，每次餵食量為 500 ± 25 g，並分析得各項食物之主要營養成分組成與總能(表 1)，及粗纖維含量。由於進行

腸道滯留時間及表面消化率測量試驗時，需要餵食試驗用含高聚合性單寧酸濃度之植物粉末，故先行於每餐將巧克力醬塗抹於半片吐司上餵食猴隻，讓猴隻熟悉該食物。完成餵食後約一小時，在每個籠舍撿拾掉落於地面上之食物殘餘物並稱重，以計算該日該籠舍內個體之進食量。為了避免食物因為較小塊不易拿取而掉落於地面上影響進食量數據，以較大且完整的塊狀食物餵食。

表 1. 餵食受試個體之各種食物的主要營養成分與總能

Table 1. Major nutritional contents and gross energy of food items provided to the captive Taiwanese macaques in the study

Food item	Dry matter (g/100g DM)	Crude fat (g/100g DM)	Crude protein (g/100g DM)	Carbohydrate (g/100g DM)	Gross energy (Kcal/g DM)
Banana	22.69	0.18	5.94	83.96	3.86
Melon	12.79	5.45	14.82	60.67	4.29
Carrot	6.15	1.83	15.81	53.77	3.89
Potato	8.56	0.23	7.73	74.02	3.79
Toast*	-	12.70	14.60	69.00	-
Chocolate sauce*	-	-	-	65.79	-

* Nutrition information obtained from labels of products.

- No data available.

試驗第 3-11 天為「消化生理適應期」，開始在試驗組 A 個體的食物中添加佔食物乾物質重 3% 含高濃度聚合性單寧酸(76.5 mg/g DM) 之白堅木(Quebracho)粉末(約 2 g，約含聚合性單寧酸 137.7 mg)，混於巧克力醬再塗抹於吐司，於試驗組 B 個體的食物中添加佔食物乾物質重 6% 的白堅木粉末(約 4 g，含聚合性單寧酸 275.4 mg)，每日收集排遺總量及食物殘渣，以量測進食量、排遺濕重及乾重，並紀錄排遺坨數。經餵食 6 天(本試驗進行之第 8 天)後，進行腸道滯留時間資料收集。另添加佔餵食食物乾物質重量 1-1.5% 的三氧化二鉻(Cr₂O₃)粉末作為標記(顏 1985)，以巧克力醬與三氧化二鉻粉末混合均勻後塗抹於吐司上餵食猴隻。餵食三氧化二鉻粉末後，於收集排遺總量時檢視排遺是否帶有綠色的顏色，排遺若呈現綠色則指示此排遺含三氧化二鉻粉末，實驗個體食入含三氧化二鉻粉末的食物至排遺中最後出現色(三氧化二鉻所致)的時間間隔，即為台灣獼猴之食物滯留於腸道的時間，收集排遺同時並

記錄每隻個體有染色排遺之數量。攝入含染色劑食物後至出現第一坨含有染色劑排遺排出的時間為食物通過時間；食物攝入後至最後一坨含有染色劑排遺排出的時間為食物在腸道滯留時間。

試驗第 12-15 天為「表面消化 試驗期」，如同「消化生理適應期」之餵食內容，依照實驗組別分別給予同前期劑量之白堅木粉末，先將吐司給予台灣獼猴完全食入後再給予其餘食物，以確保動物完全攝入所添加的實驗粉末劑量。每天收集排遺總量，為避免尿液沾染而影響排遺之氮含量，在每隻個體籠下置入波浪型板子，讓尿液沾染排遺降到最低。排遺總量採全糞收集法，秤重並記錄每隻個體的每日排糞總重量及坨數，連續取樣 3 天的排遺總量，將 3 天中所收集到的排遺混合後再取樣作為營養成分及次級化合物分析樣本(顏 1985)，並計算表面消化率及聚合性單寧酸回收率。表面消化率分別計算乾物質(dry matter)及蛋白質消化率，計算公式如下：

$$\text{乾物質消化率(\%)} = \frac{\text{取食乾物質總量} - \text{排遺乾物質總量}}{\text{取食乾物質總量}} \times 100\%$$

$$\text{粗蛋白質消化率(\%)} = \frac{\text{取食粗蛋白質總量} - \text{排遺粗蛋白質總量}}{\text{取食粗蛋白質總量}} \times 100\%$$

排遺中聚合性單寧酸之回收率計算方式如下：

$$\text{聚合性單寧酸回收率(\%)} = \frac{\text{排遺中聚合性單寧酸總量}}{\text{取食聚合性單寧酸總量}} \times 100\%$$

本實驗設計以能在最短時間達到必須資料量的收集為原則，盡可能縮短因食物改變對實驗個體造成干擾的時間，實驗中所使用之化學藥劑皆為野生動物消化生理試驗所用之標準品。三氧化二鉻(Cr_2O_3)粉末為指示劑，對動物無害且不影響動物消化生理(顏 1985)，含有聚合性單寧酸之白堅木(*Quebracho*)粉末已有很多研究使用，實驗劑量是參考國外研究設計所訂定(例如：紅腹袋鼠(*Thylogale billardierii*)：McArthur et al. 1993、綿羊(*Ovis aries*)和美洲黑熊(*Ursus americanus*)：Robbin et al. 1991、灰松鼠(*Sciurus carolinensis*)：Chung-MacCoubrey et al. 1997)，以避免過度影響動物為原則。

三、樣本處理與化學成分分析

所餵食蔬果及排遺樣本必須先稱溼重，切碎，放入烘箱以 55 °C 烘乾 2 天，烘乾後置於室溫下回溫一天再稱重(即風乾重)，以粉碎機(Wiley mill, 盈慶牌)進行磨細工作，樣本通過 20 網目篩網(網目為 5.69 mm)後，放置於塑膠封口袋密封，再置入 -20 °C 冰箱貯存。分析時將每份處理後之植物樣本及排遺樣本皆均分為兩份，各別進行營養成分及次級化合物分析。

營養成分分析項目包括乾物質(dry matter, DM)、粗蛋白質(crude protein, CP)、粗脂肪(crude fat, CF)、粗纖維(crude fiber, CF)及灰分(ash)，而無氮抽出物(Nitrogen-free extract, NFE)；主要為可快速利用之碳水化合物是由乾物質含量減去灰分、粗蛋白質、粗脂肪及粗纖維含量後求得。總能(Gross energy, GE) (單位 kcal/g DM)是粗脂肪含量乘以 9.45、粗蛋白質含量乘以 5.65，及碳水化合物含量與粗纖維含量相加後乘以 4.15 之加總求得(顏 1985)。營養成分分析方法及流程參照吳(1997)所使用分

析之方法；聚合性單寧酸萃取方式採用正丁醇鹽酸法(butanol-HCl)，以丁醇—鹽酸混合鐵(ferrous sulphate heptahydrate)試劑加熱後記錄其 540nm 的吸光值，此方法參照 Hagerman (2000)。

四、統計分析

利用單因子變異數分析(One-way ANOVA)分析食物中聚合性單寧酸濃度對進食量及排遺乾、濕重之影響。並利用克—瓦二氏檢定(Kruskal-Wallis test)分析食物中聚合性單寧酸濃度對食物通過腸道時間、腸道滯留時間、平均滯留時間及排遺累積坵數之影響。對照組其中一隻個體在實驗中發生腹瀉問題，因此在排遺養本資料分析中不列入計算。因每隻受試個體排遺樣本量不足以進行所有營養成分分析，因此僅進行乾物質及粗蛋白質分析，所得資料分別計算乾物質消化率及蛋白質消化率，每隻個體之數據是取其 3 天樣本所得消化率之平均值±標準差進行分析，利用克—瓦二氏檢定分析食物中聚合性單寧酸濃度對乾物質消化率及蛋白質消化率之影響。

結 果

餵食台灣獼猴實驗期間，發現台灣獼猴進食速度相當快速，全部吃完一餐的時間不超過一小時，有些個體食用紅蘿蔔時，會將其放置在籠中，等待一段時間才會吃完。餵食實驗所需具高含量聚合性單寧酸的白堅木粉末需要以特定食物混合，方能確保所餵食的粉末量完全被攝入。一開始利用蜂蜜混合白堅木粉末塗抹於吐司來餵食，但是蜂蜜味道似乎無法蓋過白堅木苦澀的味道，因此獼猴會先嗅聞吐司後，

刮除混合白堅木粉末的蜂蜜，再食入吐司。之後選換味道較重的巧克力醬來混合白堅木粉末，獼猴刮除粉末情形不再發生。

一、食物聚合性單寧酸含量對進食量及排遺量之影響

食物中聚合性單寧酸濃度對台灣獼猴之進食量有顯著影響($F_{(2,33)}=15.702, P<0.05$)，Tukey's HSD 事後檢定結果顯示，對照組與食用含食物乾物質重 6% 白堅木粉末食物組之進食量有顯著差異($P<0.01$)。對照組平均每日進食量最高，為 939.4 ± 68.2 g ($n=5$)，而食用含食物乾物質重 6% 白堅木粉實驗組之進食量為 895.8 ± 65.5 g ($n=5$)。聚合性單寧酸攝入量亦顯著影響排遺乾重($F_{(2,41)}=3.299, P<0.05$)，Sheffe 事後檢定結果顯示對照組個體與食用含食物乾物質重 6% 白堅木粉末個體之排遺乾重有顯著差異($P<0.05$)，對照組個體平均每日排遺乾重為 9.5 ± 2.4 g ($n=4$)，食用含食物乾物質重 6% 白堅木粉末者為 12.1 ± 3.3 g ($n=5$)。食物中聚合性單寧酸濃度對平均每日排遺濕重及排遺坩數則無顯著影響($F_{(2,41)}=0.889, P=0.419; \chi^2=0.546, df=2, P=0.761$) (表 2)。

二、食物腸道滯留時間

食物中聚合性單寧酸濃度對食物通過腸道時間無顯著影響($\chi^2=2.382, df=2, P=0.304$)，以攝食含食物乾物質重 6% 白堅木粉末之個體的食物通過腸道時間最長，為 30.8 ± 8.6 hrs ($n=5$)。攝食含食物乾物質重 6% 聚合性單寧酸食物之個體腸道滯留時間亦最長，為 50.0 ± 4.6 hrs ($n=5$)，食物中所含聚合性單寧酸濃度對腸道滯留時間無顯著影響($\chi^2=4.831, df=2, P=0.089$) (表 2)。

三、食物中聚合性單寧酸含量對表面消化率之影響

食物中聚合性單寧酸濃度對台灣獼猴之乾物質消化率有顯著影響($\chi^2=6.746, df=2, P<0.05$)。對照組之乾物質消化率最高，為 $92.1\pm 2.1\%$ ($n=4$)，攝食含食物乾物質重 6% 白堅木粉末之乾物質消化率最低，為 $89.5\pm 3.0\%$ ($n=5$)。聚合性單寧酸濃度對台灣獼猴之蛋白質消化率亦有顯著影響($\chi^2=9.035, df=2, P<0.05$)，對照組個體之蛋白質消化率最高，為 $77.3\pm 8.1\%$ ($n=4$)，攝食含食物乾物質重 6% 白堅木粉末個體之蛋白質消化率最低，為 $68.6\pm 8.8\%$ ($n=5$) (表 3)。

表 2. 攝入不同濃度聚合性單寧酸之受試台灣獼猴的進食量與排遺量，及食物腸道滯留時間

Table 2. Food intake, fecal excretion, and gut retention time of captive Taiwanese macaques fed with the diets containing different concentrations of condensed tannin (Quebracho powder)

	Control (n=5)	3% Quebracho (n=5)	6% Quebracho (n=5)
Food intake (g)	939.9±68.2 ^{a,1}	929.4±71.3 ^{a,b}	895.8±65.5 ^b
Wet fecal mass (g)	40.3±13.4	42.1±10.6	46.8±16.6
Dry fecal mass (g)	9.4±2.4 ^a	11.2±2.6 ^{a,b}	12.1±3.3 ^b
Number of feces	4.5±1.7	4.4±1.9	4.0±1.4
Passage time (hr)	25.2±4.1	24.0±3.9	30.8±8.6
Retention time (hr)	45.8±1.0	48.6±3.6	50.0±4.6

^{ab} Items with different superscript letters in the same row indicating the significance in the difference at $P<0.05$ (ANOVA with Tukey's post-hoc analysis).

¹ 平均值±標準差(Mean±SD).

表 3. 攝入不同濃度聚合性單寧酸之受試台灣獼猴的表面營養分消化率

Table 3. Digestibility of dry matter and crude protein in the diets containing different concentrations of condensed tannin (Quebracho powder) for the captive Taiwanese macaques

Digestibility (%)	Control (n=5)	3% Quebracho (n=5)	6% Quebracho (n=5)	X ²
Dry matter	92.1±2.1 ¹	90.8±2.0	89.5±3.0	6.75*
Crude protein	77.3±8.1	73.5±5.8	68.9±8.8	9.04*

* Significant difference at $P < 0.05$ (Kruskal-Wallis test).

¹ 平均值±標準差(Mean±SD)

四、聚合性單寧酸之回收率

受試獼猴個體之排遺分析可獲得聚合性單寧酸回收率，大部分所攝入的聚合性單寧酸由排遺排出，聚合性單寧酸之回收率高於 90%。攝食含食物乾物質重 3% 白堅木粉末個體之聚合性單寧酸回收率為 90.0±1.7% (n=5)，而食入 6% 白堅木粉末之回收率為 92.6±8.0% (n=5)。

討 論

由本試驗獲得資料顯示，台灣獼猴之取食與消化生理受到食物中植物次級化合物單寧之影響，對攝入之聚合性單寧無法進行降解或改變其結構，來排除其對消化之影響。攝入含食物乾物質重 6% 白堅木粉末(約 4 克，含 275.4 mg 聚合性單寧酸)個體之進食量顯著下降，攝入聚合性單寧酸亦影響台灣獼猴之乾物質及蛋白質消化率。台灣獼猴近似日本獼猴(*Macaca fuscata*) (Chu et al. 2007)，可能與日本獼猴一致為具盲一結腸發酵消化系統之靈長類(Lambert 1998)，其對所攝入之植物次級化合物之分解有限，故對植物所含營養之消化與吸收會受伴隨攝入之次級化合物的影響，因而植物所含之次級化合物，例如聚合性單寧酸，應是影響台灣獼猴取食模式及覓食策略的重要因素。

一、進食量及腸道滯留時間

Brett et al. (1994)將聚合性單寧酸加入草

甸田鼠(*Microtus pennsylvanicus*)食糧中，發現聚合性單寧對草甸田鼠食物攝入量是有抑制作用。本研究發現台灣獼猴也有相似情形，食物中聚合性單寧酸濃度對進食量有顯著影響，攝入含食物乾物質重 6% 白堅木粉末之受試獼猴，其進食量顯著較對照組的低。然而，食物蛋白質含量不同時，聚合性單寧酸對攝食量影響可能不一致，李等(2003)以根田鼠(*M. oeconomus*)為對象，分別給予含 10% 及 20% 蛋白質之食物，發現攝食含乾物質重 10% 蛋白質食物之受試個體在實驗進行至第 7 天時，其進食量顯著降低，但聚合性單寧酸對攝食 20% 蛋白質食物實驗個體之進食量則無顯著影響，因此，說明了根田鼠進食量是會受到食物中聚合性單寧酸及蛋白質含量交互作用之影響。本研究所給予之食物蛋白質含量約為 10%，蛋白質含量提高是否改變台灣獼猴對聚合性單寧酸之適應能力仍需進一步探討。可透過操作食物蛋白質含量之實驗設計，檢視當食物蛋白質含量變化時是否也同時影響聚合性單寧酸對取食之影響，探討台灣獼猴在野外環境中是否可利用最大量的蛋白質攝取，來降低聚合性單寧酸對消化生理之負面影響，因而對聚合性單寧酸攝入之容許量有所變化。

根據日本獼猴研究顯示，當食物攝入量降低，其腸道滯留時間較長，排遺的坩數也較少，主要是因為食糜或殘渣較小，對腸道刺激小而使滯留時間延長(Sawada et al. 2011)。本

研究顯示台灣獼猴取食食物乾物質重 6% 白堅木粉末時，其腸道通過時間及滯留時間均較對照組有較長的現象，唯可能因為樣本數較少，個體差異大導致結果差異不顯著。但也有可能反應台灣獼猴對聚合性單寧酸的處理能力較差，影響食物乾物質的消化吸收，導致排遺物質顯著高於對照組，其對腸道的刺激效應抵消掉聚合性單寧酸的作用。

二、表面消化率

在攝食添加聚合性單寧酸食物的餵食狀況下，台灣獼猴之乾物質及蛋白質消化率顯著降低。聚合性單寧酸可能與蛋白酶結合，形成不溶性的複合物，從而降低消化道中蛋白酶之活性，進而影響蛋白質之分解，使動物排遺中的含氮量增加，導致動物之蛋白質消化率下降 (Freeland and Janzen 1974)。研究結果顯示，台灣獼猴之消化生理無法有效避免聚合性單寧酸降低蛋白質消化效率的作用，但不同聚合性單寧酸濃度對消化率之影響程度是否有差異則尚未釐清，因此，未能由此實驗結果判斷，對台灣獼猴而言，避免累積單一次級化合物濃度是否是一種適應植物化學防禦之策略，有待增加試驗樣本數以作進一步分析。在植物所含次級化合物中，單寧酸並不是影響腸道消化及進食量的唯一次級化合物，已有研究指出酚酸及萜類化合物也會抑制微生物活性而降低消化率 (Lowry et al. 1993)，這些次級化合物對台灣獼猴消化生理之影響未來值得進一步探討。

三、聚合性單寧酸回收率

由檢測動物排遺聚合性單寧酸之回收率亦可了解該動物是否對攝入之聚合性單寧酸進行分解，而得以降低其對消化之負作用。台灣獼猴對聚合性單寧酸回收率高達 90% 以上，顯示沒有辦法對聚合性單寧酸作有效處理。動物不同消化結構與生理與其處理聚合性單寧酸的方式有關，美洲黑熊研究顯示其聚合性單寧酸回

收率高達 90% 以上，而具前胃發酵消化系統物種綿羊之聚合性單寧酸回收率比台灣獼猴低，攝入含食物乾物質重 3% 及 6% 白堅木粉末試驗組之聚合性單寧酸回收率分別為 $70 \pm 9\%$ 及 $77 \pm 3\%$ (Robbin et al. 1991)。前胃發酵動物瘤胃中的微生物可以把單寧酸降解，使成水溶性而易排泄的物質，且適當的聚合性單寧酸可減少瘤胃中微生物對攝入蛋白質之利用；而單胃及盲一結腸發酵動物則是透過小腸酶結合單寧酸以複合物形式並排出體外，因此，前胃發酵動物較不受植物所含單寧酸影響而降低蛋白質利用效率。

謝 誌

本研究承蒙屏東保育類野生動物收容中心及其獼猴組飼養員提供便利的研究環境與協助，以及屏東科技大學野生動物保育研究所翁國精博士在統計分析上之協助，在此一併感謝。

引用文獻

- 尤仲妮。2000。恆春熱帶植物園台灣獼猴食性及活動模式之研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 李俊年、劉季科、陶雙倫。2003。單寧酸對根田鼠食物攝入量和蛋白質消化率的效應。獸類學報 23: 51-57。
- 吳海音、楊子欣、尤仲妮、范孟雯、陳淑梅、林曜松。2002。由野生台灣獼猴的食性看餵食與危害問題。台灣獼猴保育與經營管理研討會成果報告。行政院農委會。49-55 頁。
- 吳春利。1997。畜牧學實習—飼料分析。國立編譯館。68 頁。
- 范孟雯。2004。恆春熱帶植物園區台灣獼猴選果行為之研究。國立台灣大學生態學與演化生物學研究所碩士論文。

- 張可揚。1999。福山試驗林台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)之覓食策略。國立台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 顏宏達。1985。動物營養學。華香園出版社。477 頁。
- Baranga, D. 1983. Changes in chemical composition of food parts in the diet of colobus monkeys. *Ecology* 64: 668-673.
- Brett, A. D., A. E. Hagerman and W. Barrett 1994. Role of condensed tannin on salivary tannin-binding proteins, bioenergetics and nitrogen digestibility in *Microtus pennsylvanicus*. *Journal of Mammalogy* 72: 480-486.
- Burgess, M. A. and C. A. Chapman 2005. Tree leaf chemical characters: selective pressures by folivorous primates and invertebrates. *African Journal of Ecology* 43: 242-250.
- Chu J. H., H. Y. Wu, Y. J. Yang, O. Takenaka and Y. S. Lin 1999. Polymorphic microsatellite loci and low-invasive DNA sampling in *Macaca cyclopis*. *Primates* 40: 573-580.
- Chung-MacCoubrey A. L., A. E. Hagerman and R. L. Kirkpatrick 1997. Effects of tannins on digestion and detoxification activity in gray squirrels (*Sciurus carolinensis*). *Physiological Zoology* 70: 270-277.
- Coley P. D., J. P. Bryant and F. S. Chapin 1985. Resource availability and plant anti-herbivore defense. *Science* 230: 895-899.
- DaSilva, G. L. 1992. The western black-and white colobus as a low energy strategist-activity budgets, energy expenditure and energy intake. *Journal of Chemical Ecology* 61: 79-91.
- Freeland, W. J. and D. H. Janzen 1974. Strategies in herbivory by mammals: the role of plant secondary compounds. *American Naturalist* 108: 269-289.
- Hagerman, A. E., I. Mueller-Harvey and H. P. Makkar 2000. Quantification of tannins in tree foliage: a laboratory manual for the FAO/IAEA co-ordinated research project on "Use of nuclear and related techniques to develop simple tannin assays for predicting and improving the safety and efficiency of feeding ruminants on tanniferous tree foliage". Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, from the World Wide Web: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/aph/public/pubd31022manual-tannin.pdf>
- Hanya, G., M. Kiyono, H. Takafumi, R. Tsujino and N. Agetsuma 2007. Mature leaf selection of Japanese macaque: effects of availability and chemical content. *Journal of Zoology* 273: 140-147.
- Isbell, L. A. and T. P. Young 1993. Social and ecological influences on activity budgets of vervet monkeys, and their implications for group living. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 32: 377-385.
- Lambert, J. E. 1998. Primate digestion: interactions among anatomy, physiology, and feeding ecology. *Evolutionary Anthropology* 7: 8-20.
- Lowry, J. B., E. A. Sumpter, C. S. McSweeney, A. C. Schlink and B. Bowden 1993 Phenolic acids in the fibre of some tropical grasses: effect on feed quality and their metabolism by sheep. *Australian Journal of Agriculture Reserch* 44: 1123-1133.
- McArthur, C. and G. D. Sanson 1993 Nutritional effects and costs of a tannin in two marsupial arboreal folivores. *Functional Ecology* 7: 697-703.
- McSweeney, C. S., B. Palmer, D. M. McNeill, and D. O. Krause 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 91: 83-93.

- Moreno-Black, G. S. and E. F. Bent 1982. Secondary compounds in the diet of *Colobus angolensis*. *African Journal of Ecology* 20: 29-36.
- Norberg, E. A. 1977. An ecological theory on foraging time and energetics and choice of optimal food searching method. *Journal of Animal Ecology* 46: 511-529.
- Robbins, C. T. 1993. *Wildlife feeding and nutrition*, 2nd ed. New York: Academic Press, p. 251-255.
- Robbins, C. T., A. E. Hagerman, P. J. Austin, C. McArthur and T. A. Hanley 1991. Variation in mammalian physiological responses to a condensed tannin, and its ecological implications. *Journal of Mammalogy* 72: 480-486.
- Roy, J. R. and J. M. Bergeron 1990. Branch-cutting behavior by the vole. *Journal of Chemical Ecology* 16: 735-741.
- Salminen, J. P., T. Roslin, M. Karonen, J. Sinkkonen, K. Pihlaja and P. Pulkkinen 2004. Seasonal variation in the content of hydrolyzable tannins, flavonoid glycosids, and proanthocyanidins in oak leaves. *Journal of Chemical Ecology* 30: 1693-1711.
- Sawada, A., E. Sakaguchi and G. Hanya 2011. Digesta passage time, digestibility, and total gut fill in captive Japanese macaques (*Macaca fuscata*): effects of food type and food intake level. *International Journal of Primatology* 32: 390-405.
- Schemske, D. W. and C. C. Horvitz 1988. Plant-animal interactions and fruit production in a neotropical herb: A path analysis. *Ecology* 69: 1128-1137.
- Su, H. H. and L. L. Lee 2001. Food habits of Formosan Rock Macaques (*Macaca cyclopis*) in Jentse, Northeastern Taiwan, assessed by fecal analysis and behavior observation. *International Journal of Primatology* 22: 359-377.
- Wrangham, R. W. and P. G. Waterman 1983. Condensed tannins in fruits eaten by chimpanzees. *Biotropica* 15: 217-222.

