

毒鼠藥對壽山地區台灣獼猴(*Macaca cyclopis*)之危害

Threats of Anticoagulant Rodenticides to Free-range Taiwanese Macaques (*Macaca cyclopis*) in Shoushan

陳貞志^{1,*} 章愛梅² 裴家騏^{1,3}

Chen-Chih Chen^{1,*}, Ai-Mei Chang², Kurtis Jai-Chyi Pei^{1,3}

¹ 國立屏東科技大學獸醫學院野生動物保育研究所

² 國立屏東科技大學獸醫學院獸醫學系

³ 國立東華大學環境學院自然資源與環境學系

¹ Wildlife Conservation Institute, College of Veterinary Medicine, National Pingtung University of Science and Technology.

² Department of Veterinary Medicine, College of Veterinary Medicine, National Pingtung University of Science and Technology.

³ Also being a faculty of Department of Natural Resources and Environmental Studies, College of Environmental Studies, National Dong Hwa University

*通訊作者：ychih0502@gmail.com

* Corresponding author: ychih0502@gmail.com

摘 要

2014年12月至隔年4月間,研究團隊接獲來自壽山國家自然公園之台灣獼猴傷亡案例共5例,於接獲案例中,部份個體(2/5)被民眾發現身體虛弱倒臥在地並出現抽搐以及顫抖等臨床症狀,後即死亡。經病理解剖,肉眼病變可見許多臟器之多發局部出血,根據臨床症狀以及肉眼病變懷疑為毒鼠藥中毒所導致。採集肝臟以及胃內容物,並以液相串聯式質譜儀(LC-MS/MS)進行毒物檢測,檢測結果共發現四種抗凝血型毒鼠藥(anticoagulant rodenticides, ARs),肝臟所檢出之ARs及個體檢出比例分別為: Brodifacoum(5/5)、Coumafuryl(2/5)、Difenacoum(1/5)以及 Flocoumafen(3/5);胃內容

物檢出 Brodifacoum(2/5)、Coumafuryl(2/5)、Difenacoum(1/5)以及 Flocoumafen(1/5)。ARs 殘留量以 Brodifacoum 為最高，其濃度最高達 10,390 ng/g。值得注意的是，本研究檢測出 Coumafuryl 殘留於死亡獼猴體內，此類 AR 對生物具有強毒性，在化學特性上具有水溶性且對河川環境、水生動物具毒性，於美國、歐盟以及台灣均禁止使用。本研究於野生獼猴檢驗出多種 ARs，也顯示毒物使用對於野生動物及共域環境中的人類或家畜動物之威脅，因此相關類型毒物之使用應謹慎並進行適當之管理及非目標物種之曝露防護。

Abstract

From December 2014 to May 2015, we received five Taiwanese macaques (*Macaca cyclopis*) found dead in Shoushan National Nature Park. The clinical signs were observed on two out of five individuals with weakness, unconsciousness, seizure and finally death. Necropsy was conducted and the gross lesions showed severe hemorrhage on multiple organs. Anticoagulant rodenticide poisoning was primarily suspected to induce the lesions and death. Liver and stomach contents were then collected from the affected animals for screening residues of anticoagulant rodenticides (ARs) using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrophotometry (LC-MS/MS). We found all five individuals with detectable residues of ARs. Four different ARs, including Brodifacoum, Coumafuryl, Difenacoum and Flocoumafen with the proportion of 5/5, 2/5, 1/5 and 3/5, were detected in the liver of the affected animals, respectively. The four ARs were also detected in the stomach contents with the proportion of 2/5, 2/5, 1/5 and 1/5, respectively. In addition, we detected multiple ARs exposure in three out of five individuals. The highest concentration of ARs residues was the Brodifacoum with concentration of 10,390 ng/g from the individual with severe gross lesions. It is also notable that Coumafuryl, found in the Taiwanese macaques, is prohibited in the European Union, United State, and Taiwan due to its water soluble character and high toxicity to aquatic species. In conclusion, our study revealed the impact of ARs on free-range Taiwanese macaques. Sympatric wildlife, domestic animals and humans might also be exposed to ARs in the habitat. It is critical to have extensive management on the use of ARs and proper protection on non-target species against such harmful exposures.

關鍵詞：抗凝血劑型毒鼠藥、保育醫學、台灣獼猴

Key words: anticoagulant rodenticide, conservation medicine, taiwanese macaques

收件日期：2016 年 03 月 28 日 接受日期：2016 年 06 月 13 日

Received: March 28, 2016

Accepted: June 13, 2016

緒 言

毒物危害為衝擊野生動物族群之因子之一(Wobeser 2013)，隨著農業的發展，各式農藥、毒鼠藥、除草劑的使用劇增，造成棲地環境中的野生動物、家畜動物及人曝露於環境毒物當中。在全球各地，許多環境監測單位應用傷亡的野生動物屍體進行環境的毒物監測，如美國加州地區利用海獺的屍體來監測湖泊內「微囊藻毒素」的汙染，並發現汙染範圍擴及至一般民眾食用的海鮮(Miller *et al.* 2010)。由此可知，藉由監測野生動物體內之毒物殘留，可以做為一個環境是否健康的生態指標。

毒鼠藥使用為另一項重要的環境毒害議題。鼠害造成多方面的影響，包含農作物損失、流行疾病傳播及環境衛生汙染(Shore *et al.* 2006; Vidal *et al.* 2009)，而毒鼠藥最常應用於解決上述鼠害問題。台灣系統性使用毒鼠藥可以追溯至 1926 年台灣糖業株氏會社使用磷劑對啃食甘蔗使得採收量降低的老鼠進行毒殺(盧 2004)。

抗凝血型毒鼠藥的主要作用機制為干擾維生素 K 和其環氧化物的循環代謝。維生素 K 在生理代謝上是協助凝血因子合成的主要因子，所以當維生素 K 不能被還原時，會造成體內的維生素 K 依賴性因子 II、VII、IX、X 無法被活化而產生凝血不全的狀況，並導致血管內皮細胞的功能減弱且呈現多孔化及造成大範圍的出血產生(Stone *et al.* 1999; Hoare and Hare 2006; Ishizuka *et al.* 2008)。

第一代抗凝血型毒鼠藥發展於 1950 年代(first generation anticoagulant rodenticides-FGARs)，此類藥物如殺鼠靈(Warfarin)、Pindone、Diphacinone 等，但 FGARs 在實際運用上有藥效短、毒性不強等缺點，且由於抗藥

性的產生，於是在 1970 年代發展了毒性更強且效果更持久的第二代毒鼠藥(second generation anticoagulant rodenticides-SGARs)(Ishizuka *et al.* 2008)。在澳洲以及紐西蘭，SGARs 廣為使用在移除外來鼠類和倉鼠的數量控制，然而，SGARs 的使用對野生動物的族群衝擊極大，因為此藥物的殘存時間較長且不容易代謝(Eason *et al.* 2002; Erickson and Urban 2004)，在目標物種死亡後高濃度之 SGARs 仍會殘存在體內，極容易引發次級毒害(secondary poison)問題。文獻紀錄顯示受到影響的物種包含有多種的鳥類以及哺乳類動物(Eason and Spurr 1995; Eason *et al.* 2002)。

2013 年 11 月於屏東一隻死亡之黑鳶(*Milvus migrans*)體內檢出高劑量的可滅鼠(Brodifacoum)以及後續所檢測的八隻猛禽個體中，五隻檢出毒鼠藥的殘留，且最高殘留量為 33.4ng/g(洪等 2015)。推論黑鳶中毒死亡的原因，為食入因吃到毒鼠藥毒發而虛弱的老鼠或鳥類。

本研究針對於 2014 年底至 2015 年 4 月間，於壽山國家自然公園發現疑似毒鼠藥中毒而導致台灣獼猴死亡之個體進行解剖及毒鼠藥分析，以了解該區域毒鼠藥使用對野生台灣獼猴所造成之病害，相關資訊可做為野生動物保育以及棲地環境管理之重要科學參考資訊。

材料與方法

一、死亡台灣獼猴

研究團隊於 2014 年 12 月至 2015 年 4 月間收到來自壽山國家自然公園通報之獼猴屍體，死亡個體的發現位置如圖 1。根據發

現民眾敘述，部份傷病獼猴死亡前呈現全身抽搐、口中吐出分泌物以及四肢癱軟等臨床症狀(表 1)。

二、病理解剖和毒鼠藥檢測

通報之獼猴屍體放置於冰桶內迅速帶回屏東科技大學進行解剖及診斷。並採集組織器官以 10% 中性福馬林浸泡固定組織，依序進行脫水、石蠟包埋、切片、脫蠟及蘇木素-伊紅染色(hematoxylin and eosin stain)等程序後，以光學顯微鏡進行組織病理判讀。

另外，採集肝臟以及胃內容物分別置於玻璃採樣瓶後於-20°C 保存，以液相串聯式質譜儀(LC-ESI/MS/MS)(Middleberg and Homan 2012；衛生福利部食品藥物管理署 2014)進行 8 項毒鼠藥殘留之檢測，所檢測的毒鼠藥物包含：Brodifacoum(中文名：可滅鼠)、Bromadiolone(撲滅鼠)、Coumafuryl、Coumatetralyl(剋滅鼠)、Difenacoum(雙滅鼠)、Flocoumafen(伏滅鼠)、VACOR(必滅鼠)、Warfarin(殺鼠靈)。



圖 1. 死亡獼猴個體的發現位置。

Fig. 1. Distribution of Formosan macaque carcasses found in Shoushan National Nature Park.

表 1. 死亡後進行解剖及毒鼠藥檢測之台灣獼猴個體資料

Table 1. Information of individual dead Taiwanese macaques from necropsy and rodenticides screening

編號	發現地點	日期	性別	年齡
1	良友亭	2014/12/09	雄性	成體
2	台泥礦區道路旁	2015/01/29	雌性	成體
3	鼓山高中停車場	2015/02/07	雄性	亞成體
4	西海岸	2015/04/11	雄性	亞成體
5	龍皇亭登山口附近	2015/04/14	雌性	成體

結果

1. 病理解剖

死亡獼猴個體的主要肉眼病變以出血為主(圖 2、3)，出血部位包含皮下，其中 5 隻個體中有 3 隻個體具皮下出血病灶(3/5)、心(1/5)、肺(3/5)、腸繫膜(2/5)、大腸黏膜層及漿膜層。組織病理學切片之判讀結果符合肉眼病變結果，於顯微鏡下各見上述各臟器之出血病變。獼猴的體態皆為發育良好之個體，編號 1 與 2 獼猴個體於剖檢時發現頰囊內含有未吞食的食物殘渣，判定為急性死亡過程。

2. 毒鼠藥物殘留檢測

5 隻獼猴個體之檢測結果共發現 4 種抗凝血型毒鼠藥(anticoagulant rodenticides, ARs)，其中肝臟內殘留之 ARs 及個體檢出比例分別為：Brodifacoum(5/5)、Coumafuryl(2/5)、Difenacoum(1/5)以及 Flocoumafen(3/5)；胃內容物的檢出結果為 Brodifacoum(2/5)、Coumafuryl(2/5)、Difenacoum(1/5)以及 Flocoumafen(1/5)。檢測出一種以上 ARs 之個體為 3 隻、僅檢測出單一 ARs 之個體 2 隻。ARs 殘留量以 Brodifacoum 殘留量 10,390 ng/g 最高(表 2)。



圖 2 獼猴體表上出現大範圍的出血。a: 出血區域分布於四肢腹側以及軀幹(黑色箭頭)；b: 口腔牙齦之出血斑(黑色箭頭)。

Fig. 2. Extensive hemorrhage was observed on the surface of the carcass of Taiwanese macaque. a. Hemorrhage was found around the ventral side of limbs and trunk (arrow); b. Hemorrhage in the oral mucosa (arrow).

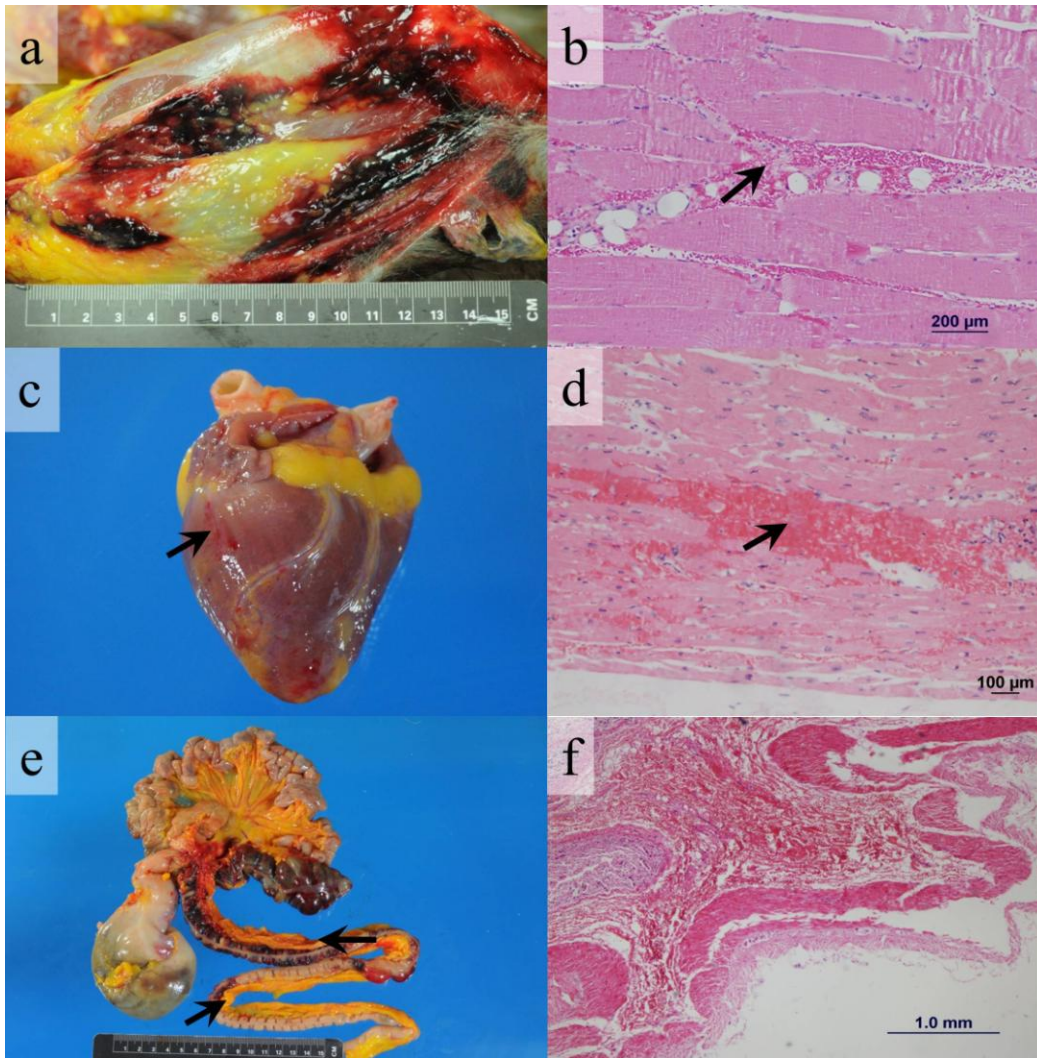


圖 3. 毒鼠藥中毒獼猴個體之內眼解剖及組織病理學病變。a：皮下及肌肉組織可見大量出血；b：肌肉組織之顯微病變，可見大量紅毛球(箭頭)蓄積於肌束間(蘇木紫-伊紅染色)；c：心肌具多發局部出血斑(箭頭)；d：心肌之組織病理切片顯示大量紅血球蓄積於心肌肌束間之出血病灶(蘇木紫-伊紅染色)；e：大腸漿膜面可見廣泛性的出血灶；f：顯微鏡下可見出血瀰漫性散布於大腸組織之黏膜層、黏膜下層及肌肉層(蘇木紫-伊紅染色)。

Fig. 3. Gross and histopathological lesions of suspected rodenticide intoxication of Taiwanese macaque individuals. a: massive and diffused hemorrhages of the muscle and subcutaneous tissue; b: the histopathological lesion of the skeletal muscle with hemorrhage (arrow) between muscle fibers (hematoxylin and eosin stain); c: multiple hemorrhage areas of heart muscle (arrow); d: Histopathological lesion of the heart muscle with hemorrhage between the space of heart muscle fiber (hematoxylin and eosin stain); e: gross lesion of hemorrhages in the large intestine; f: diffused hemorrhage in the large intestine in the mucosal, sub-mucosal and muscle layer (hematoxylin and eosin stain).

表 2. 5 隻死亡台灣獼猴個體之胃內容物及肝臟檢出毒鼠藥種類及殘留濃度。

Table 2. The detected anticoagulant rodenticides and its concentration of residues in stomach content and liver of five Taiwanese macaques.

編號	胃內容物毒鼠藥殘留量 ng/g									肝毒鼠藥殘留量 ng/g							
	BF ¹	BO	CF	CT	DC	FM	V	W		BF	BO	CF	CT	DC	FM	V	W
1	- ²	-	-	-	-	-	-	-	-	111	-	-	-	-	4.7	-	-
2	855	-	26.1	-	2.3	5.2	-	-	-	10,390	-	34.4	-	34.5	720	-	-
3	-	-	3.6	-	-	-	-	-	-	106	-	233	-	-	4.0	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3	-	-	-	-	-	-	-
5	88	-	-	-	-	-	-	-	-	111	-	-	-	-	-	-	-

¹BF: Brodifacoum ; BO: Bromadiolone ; CF: Coumafuryl ; CT: Coumatetralyl ; DC: Difenacoum ; FM: Flocoumafen ; V: VACOR ; W: Warfarin

²non-detected: the limitations of detectable concentration were 2ng/g

討論

本研究首次證實野外台灣獼猴因毒鼠藥中毒而導致凝血功能不全並致死，此外，並發現於壽山國家自然公園環境之台灣獼猴族群曝露於多種毒鼠藥物之威脅之下。

環境毒物危害為衝擊野生動物族群的重要因子，野生動物可能藉由受到污染的食物或是飲水而曝露於毒物的風險之下，如重金屬(鉛、鎘、汞)、殺蟲劑(有機磷)以及毒鼠藥(Wobeser 2013)。

毒鼠藥毒害的影響主要可以分為三部分：1. 主要毒害(primary poisoning) 2. 次級毒害(secondary poison) 以及 3. 非致死性汙染(sub-lethal contamination)。主要毒害(primary poisoning)是指動物直接食用到含有毒鼠藥的餌料而導致死亡；次級毒害(secondary poison)則是指間接食用體內含有毒鼠藥的獵物而導致死亡，如猛禽類常捕食因毒鼠藥中毒的老鼠而使得毒素在體內累積進而導致間接的死

亡；食肉目動物如郊狼(coyote)、猓獾(bobcat)於近年的研究顯示次級毒害也是造成他們在野外死亡的主因(Riley *et al.* 2007)。次級毒害的影響對野生動物影響甚鉅，案例遍及世界各地(Eason and Wickstrom 2001; Hoare and Hare 2006; Riley *et al.* 2007)；而非致死性汙染(sub-lethal contamination)是指非致死性的影響使得個體對環境的適應力降低、生育力下降等問題(Hoare and Hare 2006)，例如綿羊攝入非致死劑量之 Brodifacoum 可導致跛行以及繁殖障礙(Eason and Wickstrom 2001)。

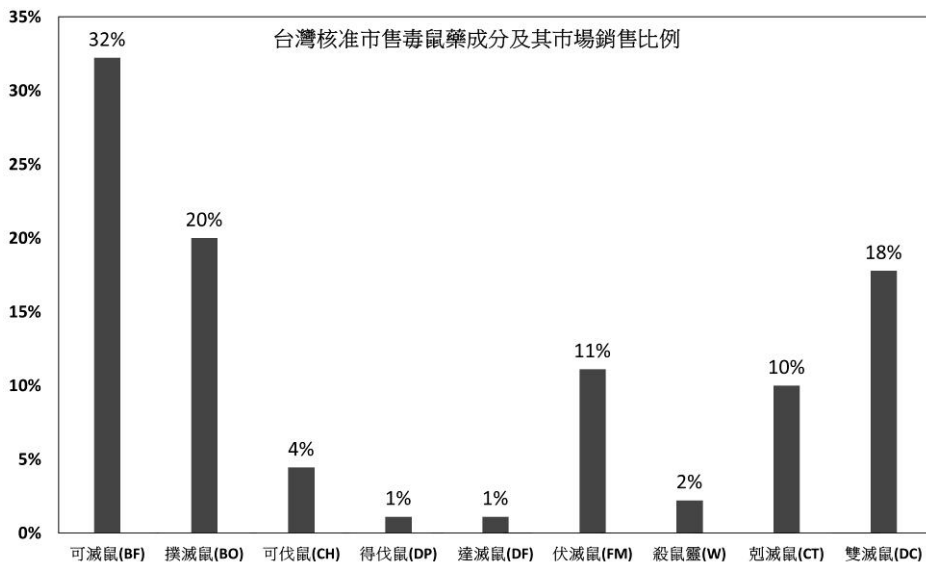
毒鼠藥在分類上可以區分為急性型毒鼠藥(acute poisons)、抗凝血型毒鼠藥(anticoagulant poisons)以及其他類型的毒鼠藥(Eason and Wickstrom 2001)，全球毒鼠藥的使用以抗凝血型毒鼠藥為主，台灣市售核可使用的毒鼠藥則全部皆為抗凝血型的毒鼠藥(圖 4)。

本研究於獼猴體內發現了 4 種抗凝血型毒鼠藥殘留分別為 Brodifacoum(可滅鼠)、Coumafuryl(克滅鼠)、Difenacoum(雙滅鼠)以及

Flocoumafen(伏滅鼠)，其中以 Brodifacoum 殘留量最高，其中一病變最嚴重個體之胃內含物殘留量高達 855 ng/g，顯示死亡前剛食入毒鼠藥劑並造成凝血功能抑制並導致死亡。Brodifacoum 之劑型多樣，因此使用方便，且不須核可認證及登記管制，因此為台灣市佔率最高的毒鼠藥成分(32%)，在全世界毒鼠藥的使用上也最為廣泛使用。由於使用廣泛，此藥物對野生動物族群的影響更是巨大，根據 2006 年於紐西蘭進行的調查發現，當地受到 Brodifacoum 影響的非目標性野生動物物種十分多樣，包含鳥類、魚類、水棲性無脊椎動物和陸棲性的無脊椎動物、蝙蝠以及食肉目動物

(Hoare and Hare 2006)。影響包含造成個體死亡、體內過量殘留等，而兩棲爬蟲類之凝血機制與哺乳類不同，因此毒鼠藥對兩棲爬蟲類動物之影響仍需進一步研究(Hoare and Hare 2006)。

Brodifacoum 可以長時間累積於身體組織中，於肝臟和腎臟可殘存將近一年以上(Eason and Wickstrom 2001; Eason *et al.* 2008)，此藥物不溶於水，因此會殘留於土壤內，並移轉至食物鏈中並造成後續的危害。於表 3 中比較各個毒鼠藥於組織和血液內殘留的時間，可發現 Brodifacoum 的代謝時間較長，其污染整個食物鏈生態系統的風險也因而增高。



BF: Brodifacoum ; BO: Bromadiolone ; CH: Chlorophacinone ; DP: Diphacinone ; DF: Difenithalione ; FM: Flocoumafen ; W: Warfarin ; CT: Coumatetralyl ; DC: Difenacoum

圖 4. 台灣核准市售毒鼠藥市售比例。以可滅鼠(Brodifacoum)佔市售比例之 32% 為最高。

(資料來源：行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 2016，行政院環境保護署 2016)

Fig 4. The market occupancy of approved rodenticides in Taiwan. Brodifacoum has the highest market occupancy ratio in Taiwan. (Data source: Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan 2016 ; Environmental Protection Administration, Executive Yuan 2016)

表 3. 比較不同毒鼠藥之半衰期，及亞致死劑量曝露下殘留於體內之時間 (自 Eason *et al.* 2008)。Table 3. Comparing the half-life values and persistence of residues in the body under sub-lethal exposure (adapted from Eason *et al.* 2008).

毒鼠藥類別	半衰期	亞致死劑量之殘留時間
Cyanide	+	12-24 小時
Zinc phosphide	+	12-24 小時
1080	<11 小時	7 天
Pindone	2.1 天	4 週
Diphacinone	3 天	6 週
Cholecalciferol	10-68 天	12 週
Coumatetralyl	50-70 天	12-16 週
Brodifacoum	130-300 天	24 月 或 更久
Bromodiolone	170 天	24 月 或 更久
Flocoumafen	220 天	24 月 或 更久

+: 表示殘存時間沒有文獻紀錄，但應該少於 12 小時 (+: indicated no data available, but should be less than 12 hours)

Coumafuryl 為第一代毒鼠藥，目前為台灣、歐盟以及美國禁止使用之毒鼠藥物，在台灣從來未開放使用過。此藥物為強毒性，對水生動物以及河川湖泊有毒害。此禁止使用之毒鼠藥為何殘留於檢測之台灣獼猴體內，仍待進一步釐清此藥物在台灣坊間的使用情形以及和獼猴體內的關聯性。

Difenacoum 與 Flocoumafen 於台灣的市占率分別為 18% 及 11%，於台灣為合法使用之毒鼠藥，此兩種藥物和 Brodifacoum 一樣為第二代抗凝血型的毒鼠藥，因此在化學結構、生物活性、藥物作用以及殘留特性上皆極為相似，且對野生動物族群都存在著次級毒害的風險(Eason and Wickstrom 2001)。於本研究的檢驗結果中更發現 5 起中毒事件中有 3 起為多種毒鼠藥混和殘留於獼猴體內，目前市面所售的毒鼠藥經調查皆為單一劑型的包裝，並無混和毒鼠藥販售的劑型，至於獼猴是藉由何種方式

攝入多種毒鼠藥無法得知，但由胃內容物之檢測結果顯示，編號 2 號個體應為同時攝入的多種毒鼠藥，且可能經由人為混合多種毒鼠藥物至毒餌中；另外，由於 SGARs 之半衰期長達數個月之時間，因此肝臟之檢測結果顯示所檢測之獼猴個體會曝露於多種毒鼠藥物殘留的環境中。

於檢測之獼猴個體中，代號 3 以及代號 4 之獼猴個體同時亦發現具嚴重物理性撞擊所導致之病灶，但兩隻獼猴個體的肝臟或胃內容物均分別檢出 ARs 的殘留。過去許多研究已證實野生動物體內之低劑量毒鼠藥殘留會對野生動物適應力(fitness)產生嚴重影響。Quinn 等人(2012)於美國加州的研究中發現美洲獾(*Taxidea taxus*)路死個體中亦檢出 Brodifacoum 以及 Bromadiolone 兩種毒鼠藥的殘留，並懷疑是低劑量毒鼠藥對其造成身體適應力的影響。Fournier-Chambrillon *et al.* (2004) 等人，亦

認為接觸低致死劑量毒鼠藥的暴露可能使歐洲水鼬(*Mustela lutreola*)反應力遲緩而增加毒鼠藥曝露個體被路殺、天敵捕捉以及誤觸陷阱的機會增加。

毒鼠藥除了造成急性的毒害導致動物死亡之外，長期的接觸以及曝露於毒鼠藥環境的操作者亦可能產生慢性毒害反應。皮膚長期接觸低劑量的毒鼠藥可引發皮膚的免疫毒性反應，使得患者出現紅疹、皮膚搔癢等症狀出現(Popov *et al.* 2011)。另外，流行病學研究發現，曝露於毒鼠藥可能對胎兒造成先天性完全大動脈轉位(Loffredo *et al.* 2001; Rady *et al.* 2013)，亦有研究指出長期操作毒鼠藥、農藥等化學毒物的操作者，會增加罹患胰臟癌風險(Jaga and Dharmani 2005)。

結 論

本研究確認野生台灣獼猴個體因毒鼠藥中毒而導致死亡，並且於檢出台灣獼猴體內殘存 4 種抗凝血型毒鼠藥，分別為 Brodifacoum、Coumafuryl、Difenacoum 以及 Flocoumafen。其中，Brodifacoum 為全球廣泛使用的毒鼠藥但在使用上對野生動物影響甚劇，Coumafuryl 為禁用之毒鼠藥。

本研究結果顯示毒鼠藥對於野生哺乳動物之衝擊，而發生的地點皆在於遊客聚集之處，台灣獼猴體內之毒鼠藥殘留亦表示人類及於當地活動之家畜動物可能曝露於毒鼠藥的風險之下。野生動物為棲地環境毒物曝露的重要指標，針對野生動物所進行之環境毒物監測更是為擬訂棲地及物種保育策略之重要資訊。相關研究可做為政府機關政策擬定之參考以提升整體生態系統的健康品質。

致謝

本研究感謝壽山國家自然公園管理處於研究經費上的支持，計畫執行期間工作人員協助保存獼猴屍體；感謝國立屏東科技大學野生動物保育研究所疾病生態實驗室裡面的成員，在研究調查中協助樣本的採集以及運送；感謝國立屏東科技大學獸醫學系病理室張志堅醫師、薛丞舜同學、楊絮安同學、沈芷萱同學、曾宇靚同學、黃昱翎同學於屍體解剖以及病理診斷上的協助，僅此一併致謝。

引用文獻

- 洪孝宇、林惠珊、孫元勳。2015。殺鼠劑究竟毒死誰?從一隻黑鳶的墜落談起。自然保育季刊 90(2)：4-13。
- 衛生福利部食品藥物管理署。2014。食品中殘留農藥檢驗方法—多重殘留分析方法(五)。2016年1月25日，下載自衛生福利部官方網站(<http://www.fda.gov.tw>)。
- 盧高宏。2004。鼠害防治技術與展望。鼠類危害及防除技術研討會專刊。中華植物保護協會。25-38頁。
- 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2016。農藥資訊服務網。2016年1月29日，下載自行政院農業委員會動植物防疫檢疫局官方網站(http://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_3.aspx)。
- 行政院環境保護署。2016。環境用藥許可證及病媒防治業網路查詢系統。2016年1月29日，下載自行政院環境保護署官方網站(<http://mdc.epa.gov.tw/PublicInfo>)。
- Eason, C. T., and E. B. Spurr. 1995. Review of

- the toxicity and impacts of brodifacoum on non-target wildlife in New Zealand. *New Zealand journal of zoology* 22: 371-379.
- Eason, C. T. and M. Wickstrom. 2001. Vertebrate pesticide toxicology manual (poisons): information on poisons used in New Zealand as vertebrate pesticides. Department of Conservation Technical Series 23. Department of Conservation, Wellington, New Zealand.
- Eason, C. T., E. C. Murphy, G. R. Wright and E. B. Spurr. 2002. Assessment of risks of brodifacoum to non-target birds and mammals in New Zealand. *Ecotoxicology* 11: 35-48.
- Eason, C. T., S. Ogilvie, A. Miller, R. Henderson, L. Shapiro, S. Hix, D. MacMorran and E. Murphy. 2008. Smarter pest control tools with low-residue and humane toxins. *In* Proceedings of the 23rd Vertebrate Pest Conference. San Diego, California, USA. University of California, Davis, pp. 148-153.
- Erickson, W. A., and D. J. Urban. 2004. Potential risks of nine rodenticides to birds and nontarget mammals: a comparative approach. US Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA, pp. 225.
- Fournier-Chambillon, C., P. J. Berny, O. Coiffier, P. Barbedienne, B. Dassé, G. Delas, H. Galineau, A. Mazet, P. Pouzenc, and R. Rosoux. 2004. Evidence of secondary poisoning of free-ranging riparian mustelids by anticoagulant rodenticides in France: implications for conservation of European mink (*Mustela lutreola*). *Journal of Wildlife Diseases* 40: 688-695.
- Hoare, J. M., and K. M. Hare. 2006. The impact of brodifacoum on non-target wildlife: gaps in knowledge. *New Zealand Journal of Ecology* 30: 157-167.
- Ishizuka, M., T. Tanikawa, K. D. Tanaka, M. Heewon, F. Okajima, K. Q. Sakamoto, and S. Fujita. 2008. Pesticide resistance in wild mammals-Mechanisms of anticoagulant resistance in wild rodents. *The Journal of Toxicological Sciences* 33: 283-291.
- Jaga, K., and C. Dharmani. 2005. The epidemiology of pesticide exposure and cancer: a review. *Reviews on Environmental Health* 20: 15-38.
- Loffredo, C. A., E. K. Silbergeld, C. Ferencz, and J. Zhang. 2001. Association of transposition of the great arteries in infants with maternal exposures to herbicides and rodenticides. *American Journal of Epidemiology* 153: 529-536.
- Middleberg, R. A., and J. Homan. 2012. Qualitative identification of rodenticide anticoagulants by LC-MS/MS. *LC-MS in Drug Analysis: Methods and Protocols* 902: 139-148.
- Miller, M. A., R. M. Kudela, A. Mekebri, D. Crane, S. C. Oates, M. T. Tinker, M. Staedler, W. A. Miller, S. Toy-Choutka, and C. Dominik. 2010. Evidence for a novel marine harmful algal bloom: cyanotoxin (microcystin) transfer from land to sea otters. *PLoS ONE* 5: e12576.
- Popov, A., I. Mirkov, L. Zolotarevski, M. Jovic,

- S. Belij, D. Kataranovski, and M. Kataranovski. 2011. Local proinflammatory effects of repeated skin exposure to warfarin, an anticoagulant rodenticide in rats. *Biomedical and Environmental Sciences* 24: 180-189.
- Quinn, J. H., Y. A. Girard, K. Gilardi, Y. Hernandez, R. Poppenga, B. B. Chomel, J. E. Foley, and C. K. Johnson. 2012. Pathogen and rodenticide exposure in American badgers (*Taxidea taxus*) in California. *Journal of Wildlife Diseases* 48: 467-472.
- Rady, G. H., F. S. El-Mahrouky, H. M. Abdelnabby, and H. A. Ahmed. 2013. Sub-Lethal and Teratogenicity Action of Bromadiolone and Chlorophacinone Anticoagulant Rodenticides on Albino Rats. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences* 5: 7-14.
- Riley, S. P., C. Bromley, R. H. Poppenga, F. A. Uzal, L. Whited, and R. M. Sauvajot. 2007. Anticoagulant exposure and notoedric mange in bobcats and mountain lions in urban southern California. *Journal of Wildlife Management* 71: 1874-1884.
- Shore, R. F., H. M. Malcolm, D. McLennan, A. Turk, L. A. Walker, C. L. Wienburg, and A. J. Burn. 2006. Did foot-and-mouth disease-control operations affect rodenticide exposure in raptors? *Journal of Wildlife Management* 70: 588-593.
- Stone, W. B., J. C. Okoniewski, and J. R. Stedelin. 1999. Poisoning of wildlife with anticoagulant rodenticides in New York. *Journal of Wildlife Diseases* 35: 187-193.
- Vidal, D., V. Alzaga, J. Luque-Larena, R. Mateo, L. Arroyo, and J. Viñuela. 2009. Possible interaction between a rodenticide treatment and a pathogen in common vole (*Microtus arvalis*) during a population peak. *Science of the Total Environment* 408: 267-271.
- Wobeser, G. A. 2013. *Essentials of disease in wild animals*. John Wiley & Sons, Ames, Iowa, USA.