

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

031717

未來的蜘蛛人--壁虎之研究

縣立六龜中學(附設國中)

作者姓名：

國一 姚維綱

指導老師：

高仲仁

## 壹、中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書摘要表

作品名稱：未來的蜘蛛人—壁虎之研究

### 研究動機：

常常在牆壁或天花板上看見壁虎四肢緊緊吸附著，可抵抗地心引力而不摔下，就如同電影情節蜘蛛人攀岩走壁一般敏捷。本學期自然課恰巧學習到神經系統以及一部分爬蟲類的特性，讓我們對壁虎吸附力與四肢的關係產生興趣；另外壁虎會斷尾求生，我們對尾巴再生能力以及中樞脊髓受損尾巴和後肢是否再生也非常好奇。於是，我們便開始著手收集資料並歸納、實驗，展開與壁虎做第一類接觸。

### 研究目的：

- (一) 認識壁虎，捕捉壁虎及飼養壁虎。
- (二) 以放大鏡和顯微鏡觀察壁虎前後肢腳趾的構造。
- (三) 以氯化亞鈷試紙用以證明壁虎腳趾是否會分泌含水成分的黏液。
- (四) 讓壁虎腳趾接觸沙拉油和細砂後，觀察腳趾的吸附能力。
- (五) 以放大鏡和顯微鏡觀察壁虎尾巴的構造，並將尾巴切斷後視其再生之情況。
- (六) 壁虎中樞脊髓腰段切斷後，觀察並以 HRP 神經追蹤劑證實尾巴及後肢是否可再生。

### 研究過程或方式：

- (一) 收集有關蜥蜴或壁虎的書籍或論文報導。
- (二) 以高倍顯微鏡觀察壁虎四肢腳趾皮瓣構造。
- (三) 以氯化亞鈷試紙證明壁虎腳趾可否分泌黏液。
- (四) 以沙拉油或細砂讓壁虎腳趾皮瓣接觸，觀察其吸附能力。
- (五) 以顯微鏡觀察壁虎尾巴構造，並以手術斷尾後觀察尾巴再生能力。
- (六) 將壁虎腰段脊髓切斷，觀察中樞再生能力。

### 研究結果：

- (一) 得以了解壁虎的特性，知道其活動時間以利採集及飼養，做好實驗的先期準備。
- (二) 發現蝮虎腳趾呈筍形，而無疣蝮虎則呈圓柱形，皮瓣有細毛排列緊密。
- (三) 壁虎腳趾皮瓣接觸氯化亞鈷試紙不會使試紙變為粉紅色，可能結果是其不會分泌黏液，另一可能則是會分泌類似口紅膠不含水成分的黏液。
- (四) 蝮虎腳趾皮瓣接觸沙拉油後，仍可做任何動作吸附能力極強，而無疣壁虎則做倒掛金勾時會摔下，證實蝮虎腳趾皮瓣吸附能力較無疣蝮虎為佳。壁虎腳趾第一步接觸細砂在顯微鏡下觀察其皮瓣全是細砂顆粒，在走了幾步後，細砂顆粒完全脫落，證實壁虎腳趾皮瓣細毛有除塵功能。
- (五) 尾巴呈環節排列，且其邊緣有細長毛構造，對吸附能力也有助益。尾巴遭切斷後壁虎會將斷尾吃下，尾巴在兩個月左右完全再生，再生的尾巴環節變得不明顯。
- (六) 壁虎腰段手術切斷後，尾巴和後肢都癱瘓萎縮，經四個月後尾巴可擺動，六個月後肢已稍可爬行，證實壁虎中樞後損後可再生。

### 參考資料：

- (一) 于名振(1984)：台灣脊椎動物誌。台北：台灣商務印書局。頁 26-35，72-81。
- (二) 鄭先祐(1987)：台灣產蜥蜴生態學與生態保育。台中：東海學報。28 卷，頁 763-790。
- (三) O'connor, A.(2005) The gecko: all grip, no grime. Science & Technology, 118: 73-74.
- (四) Stejneger, L. (1907) Herpetology of Japan and adjacent territory, U. S. Nat. Mus. Bull. 58: 1-409.

## 貳、研究動機：

常常在家中牆壁或紗窗上看見壁虎的蹤影，牠的四肢能緊緊地附著在牆壁上；不但能抵抗地心引力，而且能快速移動獵捕食物卻不摔下。如同電影情節中蜘蛛人攀岩走壁般靈敏，讓我們遐想壁虎的腳趾是否具有分泌超黏力物質或有其極為特殊的構造。另外也常常見到斷尾的壁虎，是否如同其他爬蟲類，如蛇類會斷尾求生，而斷尾後其尾巴是否可以再生。恰巧本學期自然科教到一些爬蟲類的特性和神經系統，但仍存有許多疑問讓我們充滿好奇。於是便開始著手收集資料並歸納、實驗、觀察與壁虎做第一類接觸。

## 參、研究目的：

- 一、 認識壁虎。
- 二、 捕捉壁虎。
- 三、 飼養壁虎。
- 四、 壁虎腳趾放大鏡和顯微鏡下的觀察其構造。
- 五、 以氯化亞鈷試紙證明壁虎腳趾是否會分泌黏液。
- 六、 以沙拉油塗在玻璃板上，觀察壁虎腳趾的吸附能力。
- 七、 製造細砂路面，壁虎爬過後觀察腳趾的吸附能力。
- 八、 將壁虎尾巴切斷，觀察其再生的能力。
- 九、 以過氧化氫？（Horseradish Peroxides, HRP）神經追蹤劑，探究壁虎支配尾巴在中樞（脊髓）的位置。
- 十、 中樞（脊髓）受損後是否可再生之研究。

## 肆、研究設備器材：

- 一、 設備：飼養盒、檯燈、放大鏡、複式顯微鏡、手術器材、切片機（外借）。
- 二、 器材：壁虎、捕捉器材、過氧化氫？（HRP）、福馬林（4%）、氯化亞鈷試紙、細砂、沙拉油、麻醉劑、生理食鹽水（0.9%）。

## 伍、研究過程及結果：

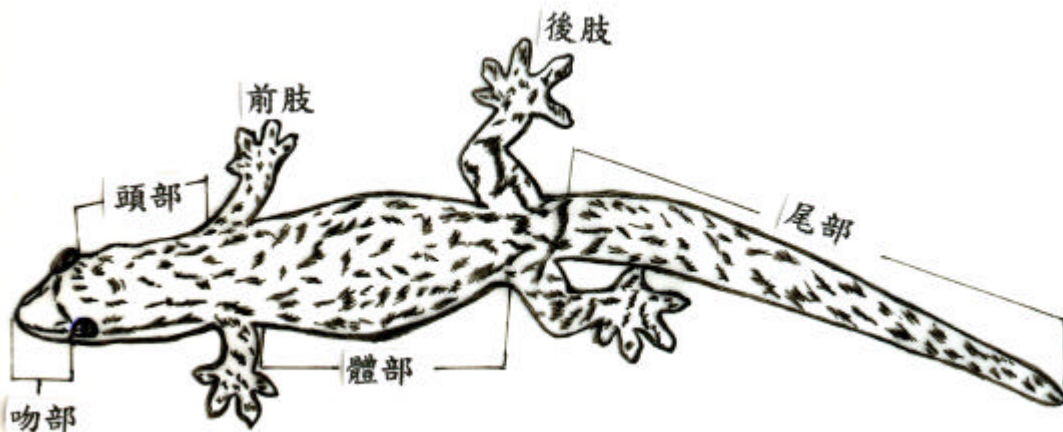
### 一、 認識壁虎

根據化石的紀錄，地球上最早的爬行動物大約是在 3 億 4 千萬年前就已出現；至今全世界已紀錄爬蟲類約有 7400 種（龜鱉類 250 種；蜥蜴類 4300 種；蛇類 2700 種；蚓蜥類 152 種；喙頭類 2 種；鱷類 23 種），其中蜥蜴跟蛇就佔了 95%，而相關之證據皆指出蛇及蚓蜥類也是較早期之蜥蜴

所演化來的，因此我們可以說現存的爬行動物多是「遠古蜥蜴之後裔」。

壁虎 (house-lizard or gecko) 實際上是屬於蜥蜴類的一種，回顧探究台灣地區蜥蜴種類的學者很少。然而，作有系統且完整研究報告者，當首推 Stejneger (1907)，其名著「日本及其鄰近地區之兩生類與爬蟲類」，共記載台灣蜥蜴類有 17 種，如包括離島 (澎湖群島、小琉球、蘭嶼、綠島) 的蜥蜴共計有 31 種，分隸屬 6 科 15 屬。

#### 壁虎科 (Gekkonidae) 蜥蜴之基本形體 (圖一)



圖一：壁虎形體之描繪圖。

壁虎外觀很像蛇，所以中國人習慣稱之為「四腳蛇」。蛇類一定沒有腳，而 99% 以上的蜥蜴是有較細短的一對前肢和一對較粗長的後肢，只有蛇蜥沒有腳，從外觀幾乎與蛇很難區別，不過所有的壁虎與蛇是很容易鑑別的 (蛇蜥不屬於壁虎)，壁虎的身體通常是扁平的，體長不超過 40 公分，外表有軟質的鱗片。眼睛通常很大，其瞳孔為垂直型與貓眼相似，沒有可動性的眼皮。壁虎的四肢，後肢比前肢粗且長，其腳趾大都強而有力，有些腳趾較寬扁，有些則窄而尖有倒勾，有些趾間有蹼。

本實驗所採用的壁虎，其棲息地於住家附近。在適應上，壁虎的皮膚不

像兩生類濕潤或含豐富的腺體及微血管，取而代之的則是一些角質的衍生物（鱗片），可用以防止水分的散失，所以牠們的身體表面很乾燥。另外為了適應陸地上的生活，已發育具有較發達的肺，相對心臟則很小，雖具有二心房二心室，則心房與心室是相通的，其表示供應身體的血管血氧濃度較低。雄性叫聲很大，雌性通常僅偶而發出小小的嘶嘶聲。雌性發聲可能是一種防禦性聲音，而雄性的叫聲可能與生殖活動有關。

壁虎行體內受精，雄性具一對交接器，屬卵生，一次平均產下兩個蛋。蛋已經具有卵殼，殼內並且有「羊膜」以及「尿囊」的胚膜，讓牠們的胚胎能夠受到較好的保護而能脫離水域在較乾燥的陸地環境下進行發育；卵通常產於隱蔽的牆壁裂縫處（圖二），約 7 週小壁虎即可誕生（圖三、圖四）。



圖二：牆壁裂縫中壁虎的蛋。



圖三：小壁虎誕生前數分鐘。



圖四：剛出生的小壁虎。

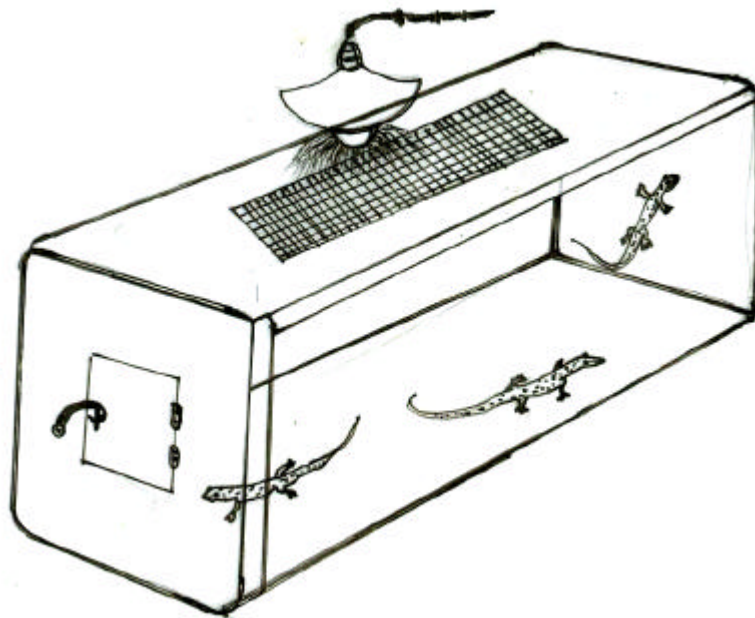
## 二、 捕捉壁虎

本實驗因科學研究的必要，必須捕捉壁虎，經摸索後採用四種方法。

- (一) 手撲法：當壁虎在較低的牆壁或紗窗上時，儘管壁虎行動迅速，大部分都可以撲捉得到，此法最簡便機動，成功率高。
- (二) 橫掃法：主要捕捉天花板上的壁虎。因位置較高，先以掃帚將壁虎掃下，在地面上用手捕捉。
- (三) 黏著法：用竹棍或蒼蠅拍頂端綁著厚紙板，厚紙板上塗上捕蠅膠，將壁虎黏住加以捕捉。
- (四) 彈打法：有時壁虎在高處凹陷處，以上三種方法皆不適用時，以大橡皮筋雙手瞄準壁虎，借橡皮筋強射力將其擊中昏倒或摔下再加以捕捉。

## 三、 飼養壁虎

有關壁虎的飼養方法幾乎沒有文獻專門報導作為依循。請教多所大學動物系後只知道不同種類的蜥蜴喜好的食物不同，絕大多數只吃活的「小蟲」。再觀察牆壁上的壁虎後，曾經看到進食小型蛾類和螞蟻，於是先行製作三個飼養容器。我們用的是市面上賣的透明塑膠盒，長 40 公分、寬 25 公分、高 20 公分，盒蓋處（頂部）用小電鑽去除約長 20 公分、寬 10 公分的缺口，再用細鐵絲作成網狀型將缺口補好。側面用木板作一道可開關的小門，便利將捕捉到的壁虎送進或移出，同時也可方便放置食物和供水。在頂端鐵絲網口用 20 瓦特的檯燈照光，一方面使壁虎保暖（尤其冬天寒流來襲時，特別重要），另一方面可誘捕一些飛蟲類以供進食，整個飼養盒請參酌圖五。



圖五：壁虎飼養盒之描繪圖。

我們嘗試了許多小動物餵食壁虎，發現壁虎喜歡吃活的白蟻、果蠅、小蚱蜢、菜蟲、飛蛾及甲蟲的幼蟲等。這些小動物可以由以下三種方法得到。

- (1) 採集：每天自野外採集。
- (2) 養殖：選用容易飼養的小動物，如白蟻、菜蟲及甲蟲的幼蟲等。
- (3) 誘捕：使用燈光誘集昆蟲，再將燈光誘捕器裝置在養殖箱上。此法最宜於養殖壁虎。

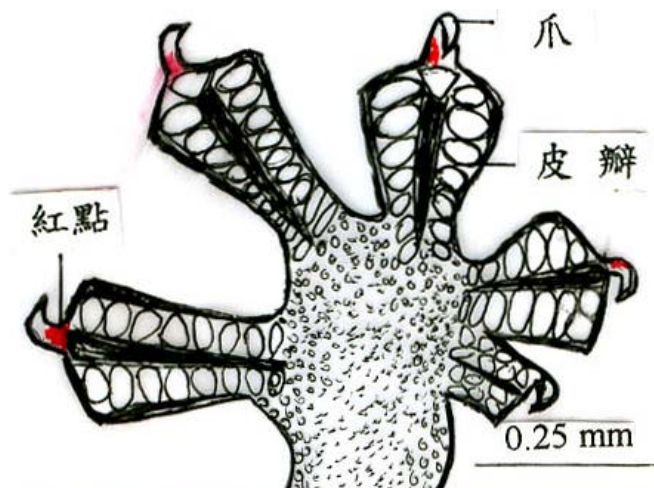
我們所捕捉的壁虎都是在住家內，壁虎是一種夜型性動物，白天較少看到其出沒。所以在飼養箱內放入一些碎石，碎石之間的縫隙壁虎較喜歡置身其中。另外較小的壁虎要與較大的壁虎分開置於不同的飼養盒內，以免大壁虎會傷害小壁虎。飼養盒要避免陽光的直射，儘可能放置通風或採光良好處，要定期清理盒內的排泄物並放置充足的食物和水。

#### 四、壁虎腳趾放大鏡和顯微鏡下的觀察其構造

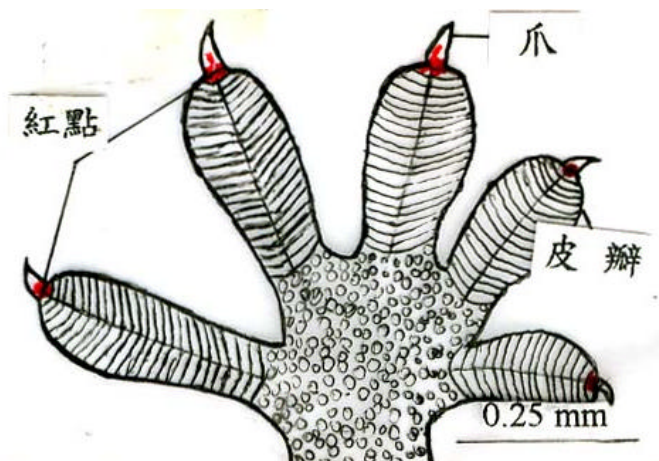
台灣壁虎類，有五屬，十種。其中八種較稀少，數量最多也最常見的是蝎虎和無疣蝎虎兩種，其主要分佈於台灣中南部，可能這兩種壁虎較喜歡低緯度溫度偏高地區。而本實驗所採集的壁虎正是蝎虎和無疣蝎虎兩種，從肉眼很容易區分；蝎虎皮膚很淡，且背部有一白色正中線。而無疣蝎虎皮膚顏色較深，背部也沒有明顯的白線。

壁虎能在各種地形爬行運動，不但不會摔落下來，而且可以輕易附著各種地形以抵抗地心引力；尤其在獵捕食物時動作迅速敏捷，甚至可以用跳躍方式而不摔落，可見其腳趾的構造一定有獨特的地方。蝎虎和無疣蝎虎都具有一對前肢和一對後肢，後肢明顯比前肢粗且長。類似的動物包括有兔子和蛙類都是後肢比前肢粗且長，牠們卻只能用跳的，而壁虎不但可以跳躍，絕大部分時候是用爬行的，使得壁虎動作遠比兔子和蛙類來得靈敏許多。

用放大鏡觀察蝎虎和無疣蝎虎腳趾，前肢與後肢都具有五個趾頭，趾頭之間並沒有如一般蜥蜴具有蹼。由腹面觀蝎虎前、後肢腳趾呈箏形，遠心端寬而近心端窄，具鋒利的爪。整個腳趾除爪之外，其餘部分稱為皮瓣，單獨看皮瓣和爪很像眼鏡蛇的頭部；另外在爪與皮瓣之間有紅色斑點，唯獨內側的小趾沒有此斑點（圖六）。無疣蝎虎前肢與後肢腳趾較蝎虎來得細且狀呈圓柱形，也是遠心端寬而近心端窄，爪與皮瓣之間所有趾頭皆有紅色斑點（圖七）。



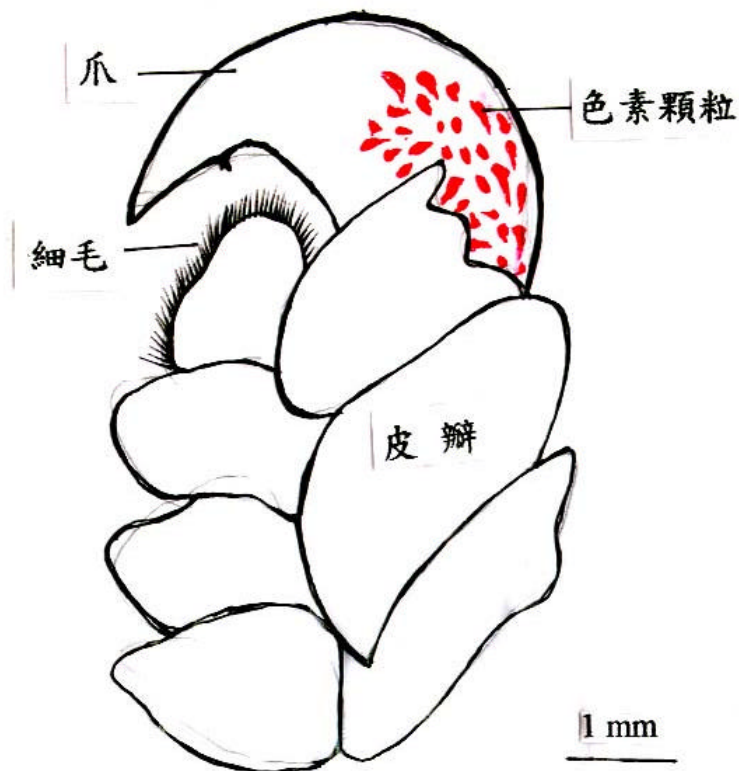
圖六：蝎虎後腳趾的構造。



圖七：無疣蝎虎後腳趾的構造。



在複式顯微鏡以 200 倍放大倍率觀察蜥虎和無疣蜥虎腳趾的構造。由蜥虎後肢腳趾腹面觀察，可見到爪的尖端都彎向內側，且爪靠外側與皮瓣交界處有明顯的紅色色素顆粒沉積（小趾例外）。皮瓣呈圓形球狀，球與球之間有部份重疊。最令人驚訝的是皮瓣上有許許多多的細毛，如果以立體球形估算細毛的數目，至少數十萬甚至數百萬根以上。無疣蜥虎在顯微鏡下與蜥虎相差不多，在內側爪也有紅色色素顆粒沉澱，皮瓣介於長方體與橢圓形之間，瓣上的細毛排列比蜥虎來得疏鬆（圖八）。

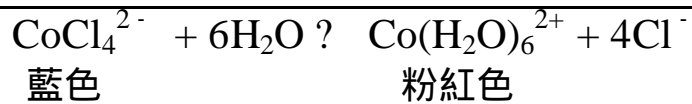


圖八：顯微鏡下觀察無疣蜥虎後腳趾的構造(200X)之描繪圖。

##### 五、以氯化亞鈷試紙測試壁虎腳趾是否會分泌黏液

壁虎之所以可以在各種地形，無論是垂直地面的粗糙面亦或是光滑面、倒掛平行地面都不會摔落，而且行動敏捷。有些學者推估其皮瓣可能在接觸不同地形及身體與地面成各種角度時，其腳趾皮瓣會分泌不同成分的黏液，而且此黏液在腳趾離開後瞬間即乾，絲毫不留痕跡。

氯化亞鈷試紙用吹風機吹乾呈藍色，其專門檢驗有無水分；當氯化亞鈷試紙碰到水後立刻變成粉紅色，換言之所測之物若不含水則維持藍色，其化學反應式參考（圖九）。



圖九：氯化亞鈷試紙加水之化學反應式。

本實驗無論用蜥虎和無疣蜥虎以小盒子或玻璃片以雙面膠將氯化亞鈷試紙黏著其上，先以吹風機吹乾呈藍色，讓壁虎做各種姿勢，氯化亞鈷試紙始終都是藍色（圖十之一至圖十之四）。



圖十之一：壁虎垂直地面，氯化亞鈷試紙呈藍色(小盒子)。



圖十之二：壁虎倒掛金勾，氯化亞鈷試紙呈藍色(小盒子)。



圖十之三：壁虎垂直地面，氯化亞鈷試紙呈藍色(玻璃片)。



圖十之四：壁虎倒掛金勾，氯化亞鈷試紙呈藍色(玻璃片)。

從氯化亞鈷試紙檢測壁虎腳趾並不會分泌水樣黏液，因為試紙沒有變成粉紅色。然而我們進一步考慮若分泌黏液，是否黏液成分一定含水分？於是將市面常用的三種黏著劑，包括口紅膠、快乾膠和膠水以氯化亞鈷試紙測試，發現快乾膠和膠水滴到試紙後立刻變為粉紅色；而口紅膠卻仍維持藍色試紙並不會變成粉紅色（圖十一）。在查過三種黏著劑的成分發現口紅膠並不含水，卻有黏性（表一）。



圖十一：氯化亞鈷試紙與口紅膠(A)、快乾膠(B)、膠水(C)之反應，(A)呈藍色，(B)(C)呈粉紅色。

表一：常用黏著劑之成分

種類	成分
膠水	PVC、水、防腐劑
快乾膠	Cyanoacrylate、水
口紅膠	聚氨酯、酯類

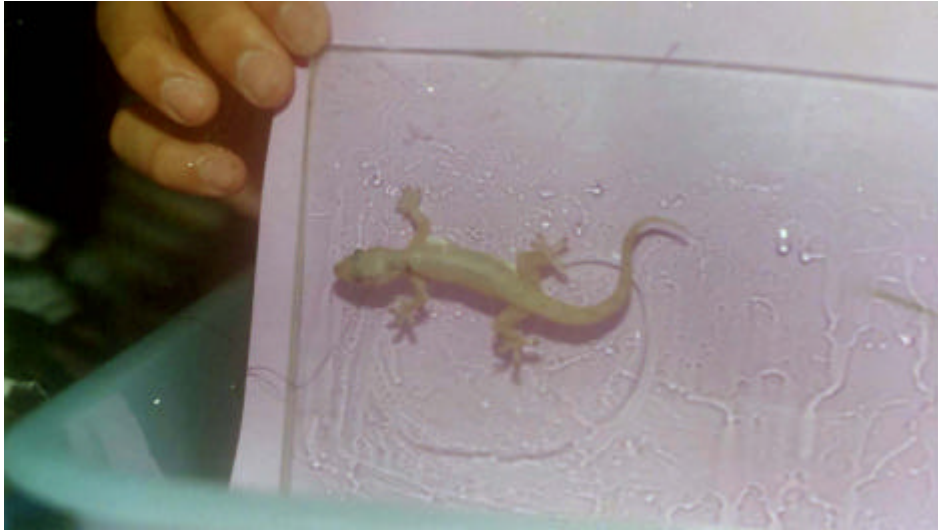
由上述實驗可能有兩種推測，一者為壁虎腳趾皮瓣並不會分泌黏液，另一者則壁虎腳趾皮瓣可以分泌黏液，而此黏液成分不含水，類似口紅膠成分原理。

#### 六、以沙拉油塗在玻璃板後，觀察壁虎腳趾的吸附能力

我們大概都有經驗騎車時若地面積水，輪子很滑，一不小心就容易摔跤；如在積雪的路面輪子必須加裝鐵鍊否則因太滑方向很難控制，何況路面有油漬更是寸步難行。本實驗用平滑玻璃板，壁虎做任何姿勢腳趾都輕易抓得牢牢的，當我們用沙拉油均勻塗抹在玻璃板上，以模擬三度空間方式觀察，其中蜥虎不論是在地面、垂直於地面或倒掛金勾都輕而易舉。然而無疣蜥虎則只能在地面和垂直地面可抓牢，至於倒掛金勾時則一定摔落下來（圖十二之一至圖十二之四）。



圖十二之一：無疣蜥虎輕易吸附於玻璃板上（模擬地面），並可爬行自如。



圖十二之二：蜆虎輕易吸附於玻璃板上（模擬垂直於地面），並可爬行自如。



圖十二之三：蜆虎輕易吸附於玻璃板上（模擬倒掛金勾），但爬行速度變慢。



圖十二之四：無疣蜆虎無法吸附於玻璃板上（模擬倒掛金勾），因此滑落摔下。

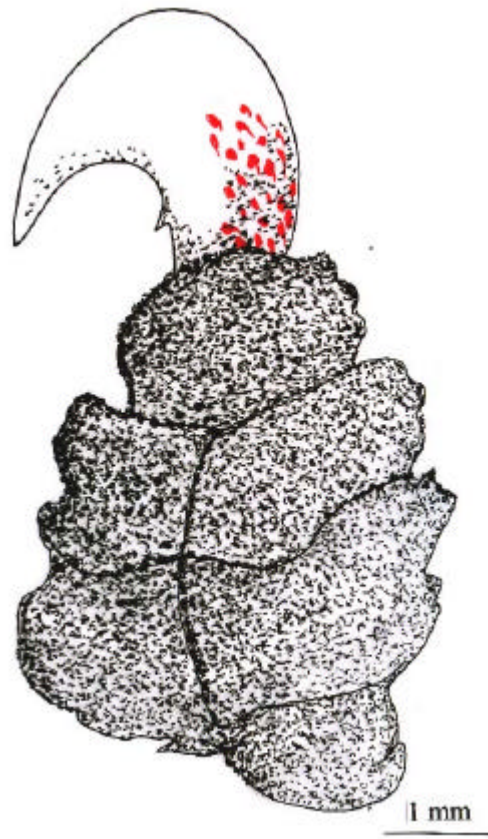
本實驗目的在測試壁虎腳趾吸附能力，蝎虎在玻璃板上有沙拉油情況下，其吸附能力還是如此得好；然而無疣蝎虎大致上吸附能力還算好，唯獨無法做到倒掛金勾動作。可從實驗四、壁虎腳趾顯微鏡下觀察蝎虎腳趾呈箏形表面積較無疣蝎虎呈圓柱形來得大，皮瓣細毛的總數應該較多，因而吸附能力較佳。蝎虎和無疣蝎虎在做倒掛金勾動作時，蝎虎的後肢腳趾仍能貼於油漬的玻璃板上（圖十二之三），而無疣蝎虎後肢腳趾皮瓣已脫離油漬，因而摔落下來（圖十二之四）。

#### 七、製造細砂路面，壁虎爬過後觀察腳趾的吸附能力

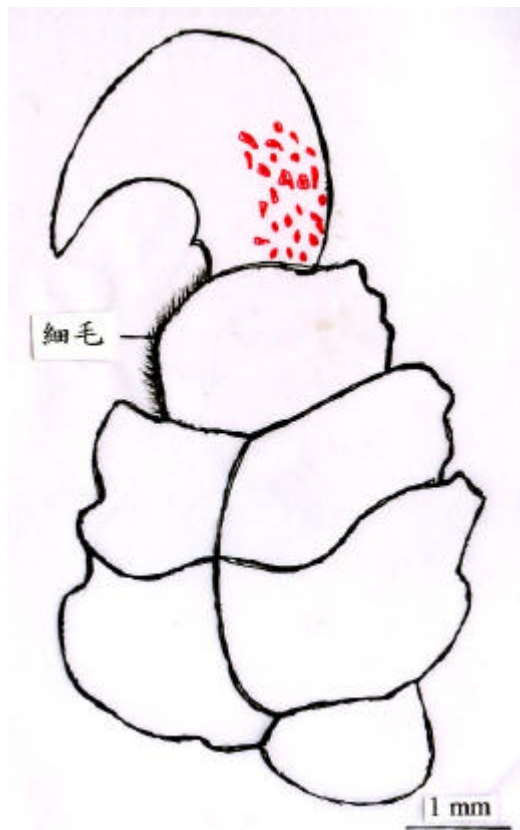
本實驗採用較濕的細砂先讓蝎虎和無疣蝎虎在砂中爬行一步（圖十三），隨即採用放大鏡和顯微鏡觀察其腳趾的情形。蝎虎和無疣蝎虎尤其在皮瓣上沾滿了細砂顆粒（圖十四），可是讓牠們在細砂上爬行幾步後，居然皮瓣上細砂顆粒幾乎再也看不見（圖十五）。似乎其皮瓣上的細毛有強力除塵效果，再讓其做任何姿勢爬行，吸附力皆很好。基於這種自動除塵的皮瓣細毛，不但使壁虎成為乾淨的小動物，同時也可增加其吸附能力。



圖十三：蝎虎（顏色較淡）和無疣蝎虎（顏色較深）置於細砂中爬行之情形



圖十四：在顯微鏡下觀察無疣蝮虎經爬行細砂一步後，後腳趾之情形(200X)，整個皮瓣皆是黑色一片砂粒，細毛幾乎看不出來。

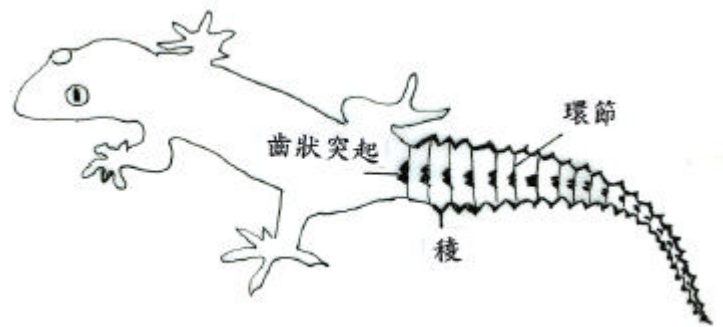


圖十五：在顯微鏡下觀察無疣蝮虎經爬行細砂數步後，後腳趾之情形(200X)，腳趾皮瓣非常乾淨，細毛也很清楚觀察到。

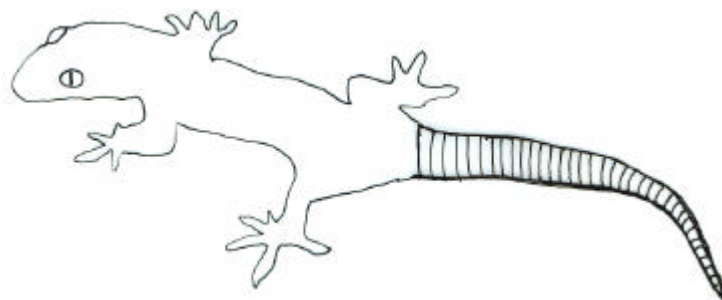
## 八、將壁虎尾巴切斷後，觀察其再生的能力

常常在牆壁上看到斷尾的壁虎，有一天在地面上終於目睹一隻中型蜈蚣攻擊一隻小壁虎，在小壁虎尚未受傷之前自行咬斷尾巴。蜈蚣頓時猶豫之際，小壁虎已迅速鑽進石縫中從容逃離。蜈蚣面對斷尾的尾巴還在跳動著，一會兒蜈蚣也離開現場。令人訝異的是不久之後，斷尾的小壁虎回到當時的現場，在確定沒有危險的情況下，很快地將自己斷尾的尾巴吃了進去。

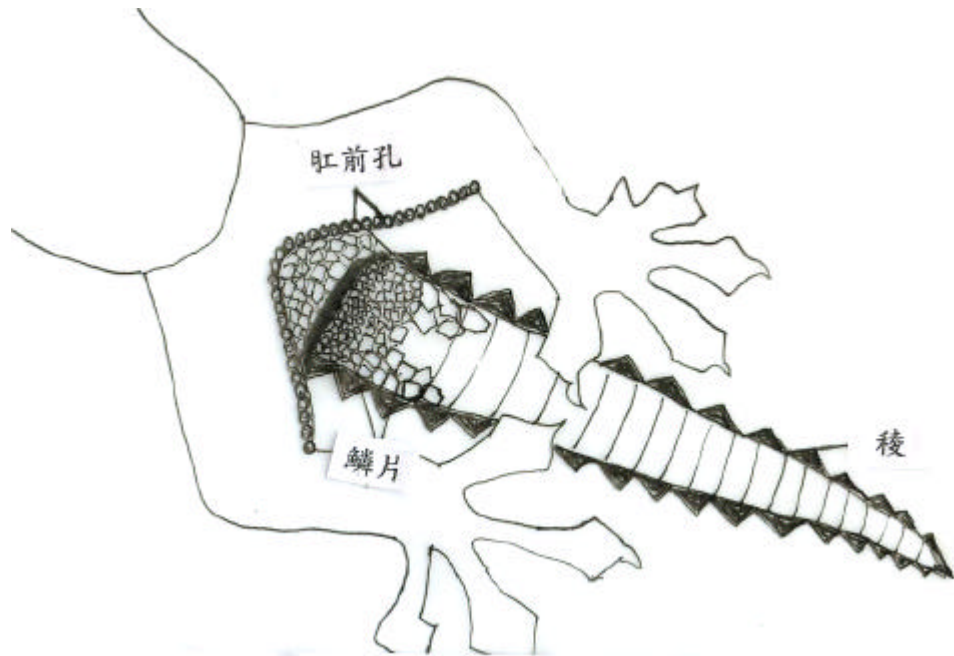
仔細觀察壁虎的尾巴，在放大鏡下可清晰見到蝎虎背側面尾巴邊緣有突起的稜，有明顯的環節，而且有齒狀突起（圖十六）；而無疣蝎虎背側尾巴平滑，邊緣無稜，有明顯的環節且環節數目比蝎虎多，但無齒狀突起，因而看起來平滑，尾巴寬度以蝎虎較寬，無疣蝎虎較細（圖十七）。在蝎虎腹側面以放大鏡觀察，蝎虎尾巴在接近肛門處有許多呈多角形大小不等的鱗片覆蓋，愈遠離肛門尾巴變得平滑且扁平，但仍清楚可見排列整齊的環節。肛門處的鱗片也呈多角形，但較稀疏。如果是雄性蝎虎在肛門前約 0.5 公分處有數目近 30 個左右的肛前孔（圖十八），而雌性蝎虎則沒有肛前孔。無疣蝎虎如同蝎虎一般，有肛前孔為雄性，無肛前孔則為雌性。至於尾巴靠近腹側緣有小的鱗片，而環節平行排列數目多於蝎虎（圖十九）。



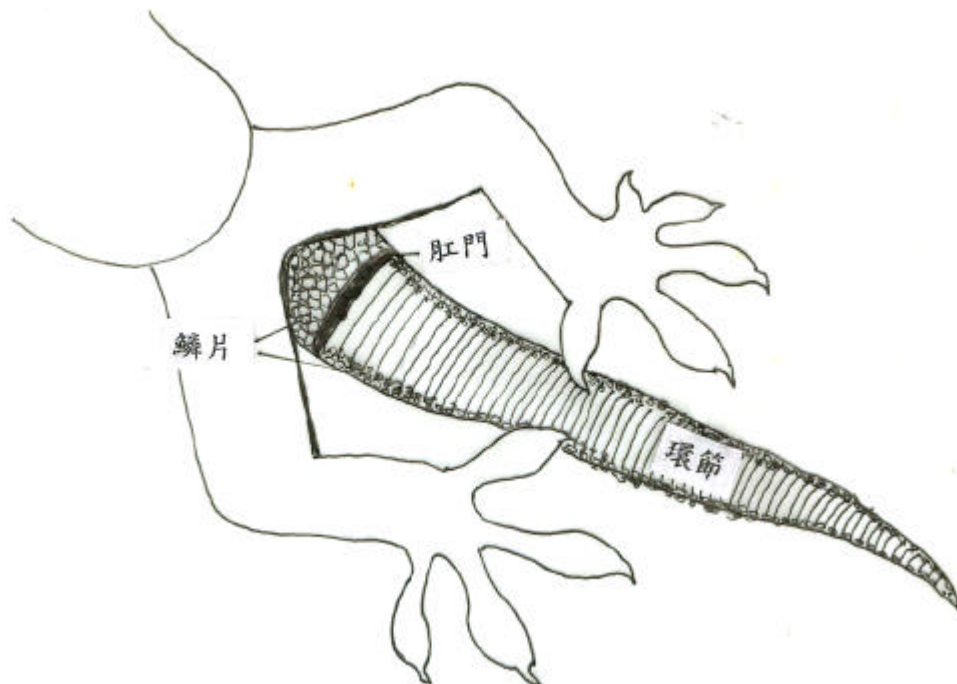
圖十六：蝎虎尾巴背側面之描繪圖，尾巴較粗，邊緣有稜、有環節，每個環節上有齒狀突起。



圖十七：無疣蝎虎尾巴背側面之描繪圖，尾巴較蝎虎細，環節較多，但無稜及齒狀突起。



圖十八：雄性蝮虎尾巴腹側面之描繪圖，邊緣有稜，有規律排列的環節，靠近肛門處有大小不等呈多角形排列的鱗片，在肛門前有一排數目約 30 個圓形肛前孔。

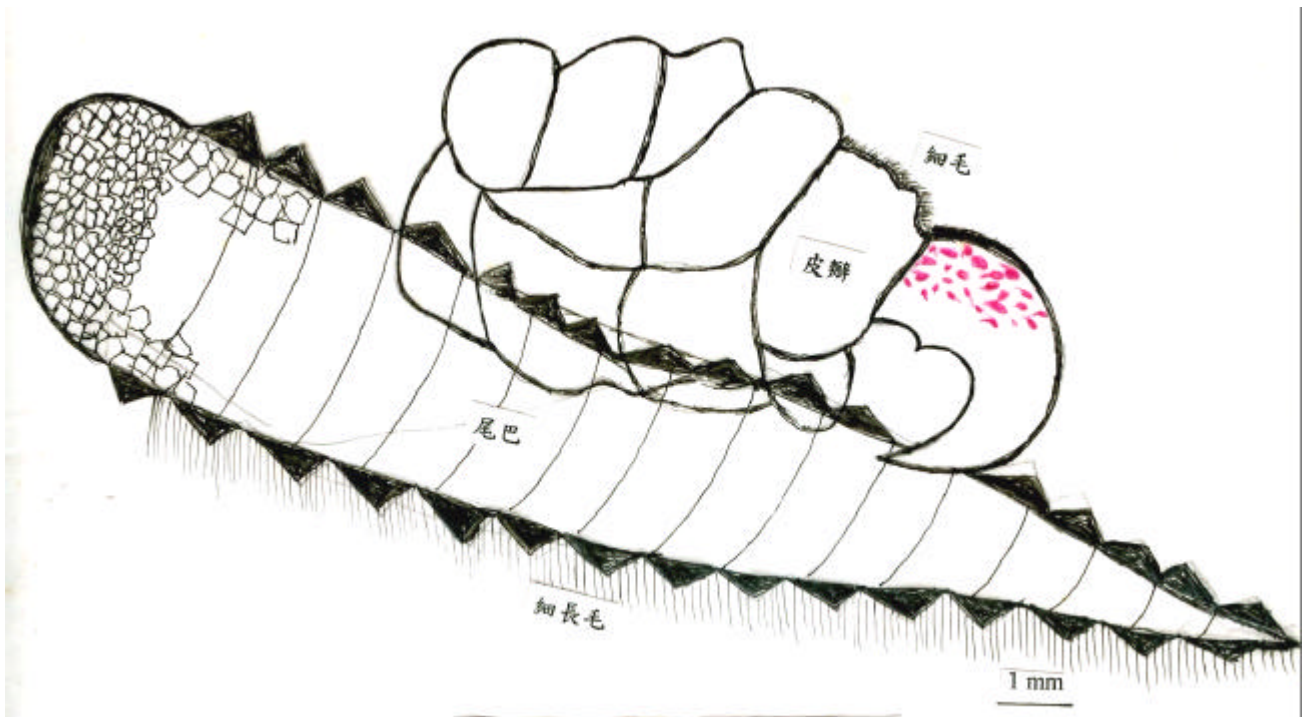


圖十九：雌性無疣蝮虎尾巴腹側面之描繪圖，尾巴邊緣有小的鱗片排列，環節平行多於蝮虎，無稜，雌性無肛前孔。

蝮虎和無疣蝮虎成體大約在 9 至 11 公分長之間，而尾巴大約等於體長或略長於體長，平均約在 5 6 公分之間。在顯微鏡下整個尾巴可見到許許多多的細毛，尾巴的細毛比腳趾皮瓣上的細毛長約 5 倍，排列相當整齊，但沒有皮瓣上的細毛那麼緻密（圖二十）。由此可以推測壁虎吸附能力超

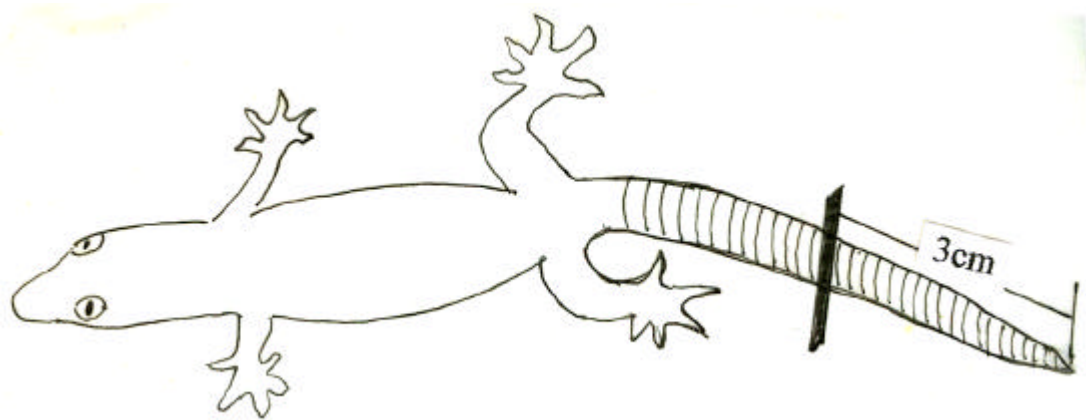


強，除了憑藉前後肢腳趾皮瓣細毛構造外，尾巴的長細毛應該也擔任相當的角色。



圖二十：蜥虎後肢腳趾皮瓣細毛及尾巴長細毛在顯微鏡下之構造。

既然常見到斷尾求生的壁虎，我們將蜥虎和無疣蜥虎由尾巴尖端算起三公分處切斷（圖二十一），再將壁虎連同切斷的尾巴置入飼養盒內，斷尾的壁虎一定會將自己的尾巴吃掉。平均約二個月可以完全再生恢復原貌，但再生後的尾巴環節變得不明顯，甚至有些再生的尾巴在尖端處變成分叉形（圖二十二）。



圖二十一：將無疣蜥虎在距尾巴尖端 3 公分處切斷之描繪圖



圖二十二：蜥虎和無疣蜥虎切斷尾巴後，經十週待其完全再生恢復後，其再生尾巴環節較不明顯，有些壁虎尾巴尖端呈分叉形。

進一步探討壁虎斷尾長度對爾後再生是否有差異？我們將壁虎尾巴由尖端算起 3 公分處與 4.5 公分處切斷（因成年壁虎尾巴最長約 5 公分，若斷處在 5 公分處會傷及肛門與尿道），術後連同斷尾放置到不同的飼養盒內，如同上述每隻實驗動物皆會將自己的斷尾吃掉。斷尾 3 公分組平均 8 週可以完全恢復原貌，計算平均再生長度為 3.17 公分；而斷尾 4.5 公分組平均 14 週可以完全恢復原貌，計算平均再生長度為 4.74 公分。兩組再生後尾巴長度皆較手術前長一些，但環節變得不明顯，部分再生後尾巴尖端有分叉現象（表二）。

表二：手術切斷尾巴 3 公分和 4.5 公分後，所有實驗動物皆吃掉其斷尾，觀察尾巴再生之差異。

組別 \ 差異	再生時間	再生尾巴長度	環節
尾巴切斷 3 公分	8 週	3.17 公分	不明顯
尾巴切斷 4.5 公分	14 週	4.74 公分	不明顯

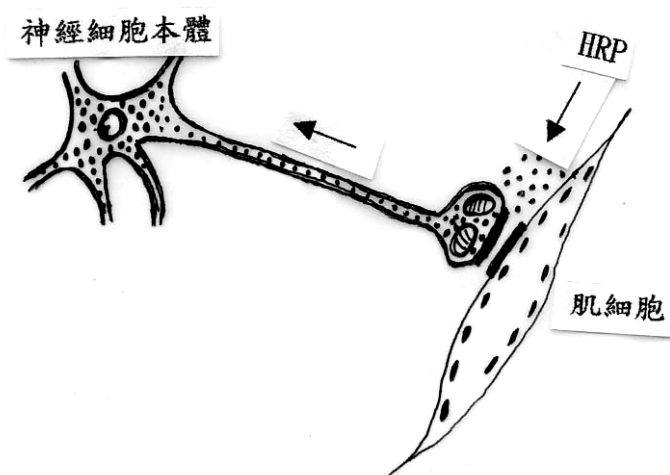
若將斷尾 3 公分壁虎分成兩組，A 組實驗動物讓其吃掉斷尾，B 組則不讓實驗動物吃其斷尾。兩組實驗動物在手術後一星期內行為上有明顯差異。A 組動物手術後完全不進食，活動力差幾乎都在休息狀態，而 B 組動物拼命進食，活動力強，約手術後一星期慢慢皆恢復正常活動與進食狀態。兩組尾巴完全再生時間平均相差 2 週，意即 A 組平均 8 週，而 B 組在 10 週左右。再生的尾巴長度 A 組平均為 3.17 公分，B 組為 3.14 公分，再生的尾巴環節皆不明顯，部分再生後的尾巴尖端有分叉現象（表三）。

表三：(A組)手術切斷尾巴3公分，吃掉其斷尾；(B組)手術切斷3公分不讓其吃掉斷尾，觀察動物行為及尾巴再生之差異。

組別 \ 差異	行為表現	再生時間	再生尾巴長度	環節
A組(尾巴切斷3公分，讓其吃掉斷尾)	術後一星期，活動力差，食慾差	8週	3.17公分	不明顯
B組(尾巴切斷3公分，不讓其吃掉斷尾)	術後一星期，活動力強，食慾佳	10週	3.14公分	不明顯

九、以過氧化氫？(Horseradish Peroxidase, HRP)神經追蹤劑，探究壁虎支配尾巴在中樞(脊髓)的位置

過氧化氫？(HRP)是由植物山葵中萃取出來，它的用途是追溯到神經細胞體(neuron)座落的位置。本實驗將30%(w/l) 20 $\mu$ l的HRP以漢米頓微量注射器(Hamilton microsyringe)注射到壁虎尾巴肌肉內，藉由HRP顆粒可由胞飲作用進入神經末梢，再由微小管將HRP顆粒傳送至細胞本體內，其原理如(圖二十三)。

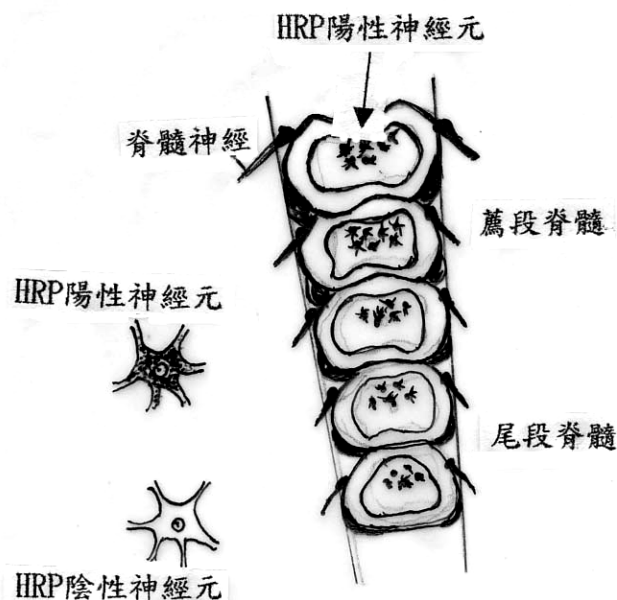


圖二十三：HRP注射至神經末梢，經胞飲作用將HRP顆粒逆向運送到細胞本體之描繪圖。

實驗動物尾巴注射HRP後，經24小時將動物犧牲，以2% chlorohydate或乙醚加以全身麻醉，用小剪刀片將胸腔打開，先將0.9%生理食鹽水50c.c

注入左心室，同時將下腔靜脈行靜脈放血乾淨後，再改用 50c.c 4% 福馬林（formaldehyde）待動物固定，隨即取下腰段及薦尾段脊髓，再放入原固定液置於 4℃ 冰箱過夜。第二天以冰凍切片機，厚度 30 $\mu$ ，切片好的標本加上雙氧水（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）加以起反應。30 分鐘後，將標本用小毛筆撈起貼於載玻片上，待完全乾後以中性紅（neutral red）染色並用蓋玻片將標本黏住，於複式顯微鏡觀察標本。

標本從腰段脊髓按順序往薦尾段脊髓切片染色，我們在薦段和尾段脊髓觀察到呈棕黑色 HRP 陽性神經元（圖二十六）。證實支配壁虎尾巴肌肉的神經元座落在中樞薦段脊髓和尾段脊髓。在實驗八中壁虎尾巴切斷後經兩個月左右皆可再生，從肉眼觀察到再生的尾巴運動自若。於再生段注入 20  $\mu$ l HRP，與前述步驟相同，也是在薦段和尾段脊髓標示到 HRP 陽性神經元。



圖二十四：右圖為 HRP 注射到壁虎尾巴，經與雙氧水反應可在薦段和尾段脊髓觀察到 HRP 陽性神經元；左上圖為 HRP 陽性神經元放大之描繪圖；左下圖為 HRP 陰性神經元放大之描繪圖。

#### 十、中樞（脊髓）受損後是否可再生之研究

電影超人男主角李維從馬上摔下致頸椎第六節骨折，連同椎孔內的頸脊髓也斷裂，使得頸部以下身體隨意肌全部麻痺癱瘓。人類屬高等動物，早已證實中樞（脊髓）若受損無法再生，至於較低等動物諸如狗、貓、老

鼠等中樞受損也無法再生。本實驗主要目的在選擇壁虎更低等動物以手術將中樞切斷，以肉眼及 HRP 雙重方法探討壁虎中樞能否再生。

本實驗以 2 % chlorhydrate 行全身麻醉，在無菌情況下進行手術。先以小刀片將壁虎背部循正中線切開皮膚及肌肉，在解剖顯微鏡放大 40 倍下用小骨剪和小剪刀將腰段脊椎骨掀開，看到腰段脊髓後做橫切切斷，隨即將肌肉層和皮膚縫合。為避免手術後感染，每日早晚以 Amoxillin 5 % 溶液消毒傷口兩次，連續一星期左右。將壁虎悉心照顧飼養，並將手術後壁虎分成六個月、四個月及二個月三組。所有動物在手術後後肢癱瘓，肌肉萎縮，尾巴萎縮也不能擺動。

三組壁虎初期食慾變差，約 2 至 3 週方利用前肢爬行尋找食物進食。第一組 3 隻動物皆存活，但後肢及尾巴仍變細無法運動，先行放生於頂樓牆腳處，讓其重返大自然。第二組中手術後初期，一隻傷口感染死亡，另兩隻飼養至四個月時，後肢肌肉變粗但不能爬行，而尾巴也逐漸變粗稍可擺動，也放生於頂樓牆腳處，讓其重返大自然。第三組中手術初期一隻傷口感染死亡，另兩隻照顧到六個月時後肢已可爬行，而尾巴擺動自如（表四）。此兩隻壁虎在尾巴處注射 30 % HRP 20  $\mu$ l，待 24 小時後犧牲固定切片等如前述步驟，結果在薦段和尾段脊髓皆發現有 HRP 陽性神經元。

表四：壁虎行腰脊髓切除術，分三組每組 3 隻，六個月後肉眼觀察各部位的變化。

部位\時間	二個月	四個月	六個月
後肢肌肉	3 隻皆萎縮	2 隻肌肉變粗， 一隻死亡	2 隻後肢可爬行， 1 隻死亡
尾巴肌肉	3 隻皆萎縮	2 隻肌肉變粗， 尾巴稍可擺動	2 隻尾巴擺動自如

從本實驗以低等動物壁虎為實驗模型，探討其中樞（脊髓）受損後無論以肉眼觀察或以 HRP 神經追蹤劑顯微觀察皆可證實受損後中樞可再生，且恢復功能。

## 陸、討論

- 一、壁虎是屬於蜥蜴類，而研究台灣壁虎除了在一百年前 Stejneger (1907) 出版的「日本及其鄰近地區之兩生類與爬蟲類」一書提及台灣及鄰近離島的蜥蜴科共計 31 種，分隸屬 6 科 15 屬外；國內學者僅有台灣大學的梁潤生教授和王慶讓教授、師範大學的劉慕昭教授和國防醫學院的毛壽先教授等針對一、二種蜥蜴做研究。故我們非常希望在將來的歲月裡，能找到志同道合者，一同將台灣地區壁虎的特性，做有系統的分類研究。
- 二、捕捉壁虎的方法應該有很多，我們採取捕捉壁虎的方法有四種，其中以手撲法和橫掃法成功率最高，同時對壁虎的傷害性最小。至於黏著法和彈打法成功率較低，同時對壁虎的傷害性較大。故在採集壁虎時要考慮如何減低壁虎的傷害性為首要考量，千萬不要為了捕捉而不擇手段，這是做研究應該具備的基本態度。
- 三、採集到的壁虎因實驗的需要，必須加以飼養。飼養盒的空間儘量大一點，養殖箱的設計必須能通風和採光良好，容易清理且要有適當的飼養門以便捉放壁虎及放置食物和水。養殖箱的擺設儘量和壁虎的生活環境相似。本實驗飼養盒放了些鬆土、礫石，就是儘可能模擬壁虎生長的自然環境。我們對餵食壁虎花了一段時間摸索，最後亦得到一些心得，壁虎只吃活的生物，其進食不能一層不變，否則壁虎會不進食，因而影響體力甚至生命力。最好是天天捕一些不同種類的小動物，比方小蟑螂、白蟻、果蠅、小蚱蜢、甲蟲之幼蟲交替餵食，才能將壁虎飼養得很健康。
- 四、壁虎之所以能在牆壁上做各種姿勢運動抵抗地心引力而不摔下，與其前後肢腳趾皮瓣上的細毛有關。根據最新的一篇美國科學雜誌報導，一隻壁虎腳趾皮瓣上的細毛有許多分叉，總數加起來超過數百萬根以上，故其吸附能力超強。此篇科學雜誌用電子顯微鏡觀察每根細毛還會有許多分叉，故一隻壁虎的細毛總數超過 1000 萬根，且推測細毛是靠「凡得瓦力」在近距離內由原子互動產生的一種吸引力。科學家計算一隻壁虎所有的細毛同時作用產生吸附總力足以吸住約 127 公斤重物，由此與本實驗交叉分析壁虎確實具超強的吸附力。
- 五、壁虎腳趾皮瓣有許多細毛，具有極強的吸附能力是無庸置疑的，我們

參考一些學者推測壁虎腳趾可能可分泌某些黏液。從氯化亞鈷試紙實驗中，壁虎腳趾皮瓣無法使氯化亞鈷試紙變為粉紅色。可能性有兩個，一是其皮瓣不會分泌黏液，另一可能性是皮瓣會分泌黏液，而黏液的成分不含水，故不能使氯化亞鈷試紙變成粉紅色。

- 六、在玻璃板上塗上沙拉油，蝟虎在如此滑的狀態下其腳趾皮瓣細毛仍能牢牢吸附在玻璃板上；而無疣蝟虎在倒掛金勾時則會由玻璃板上摔下。由此實驗可以推測蝟虎皮瓣細毛的數目比無疣蝟虎多，故吸附能力較強。
- 七、壁虎腳趾皮瓣因有許多細毛，如果讓其先在潮濕的細砂中爬行一步，在顯微鏡下觀察皮瓣沾滿的細砂顆粒而且細毛也觀察不到。但讓其繼續爬行數步之後，再用顯微鏡觀察居然發現所有的細砂顆粒皆脫落，且細毛明顯呈現。因此我們推測皮瓣上的細毛具有類似吸塵器除塵功能，故壁虎無論在任何污穢地方爬行不會影響其吸附能力外，且有強力除塵功能。
- 八、壁虎會遇攻擊而自行斷尾求生，而且我們發現若將其尾巴切斷，壁虎一定會將自己的尾巴吃掉，而別的壁虎一定不會來搶，之所以將自己尾巴吃掉可能是壁虎自行斷尾後需要能量來加速再生。我們觀察到壁虎尾巴有細長毛，其長度約是皮瓣細毛的 5 倍長，但比皮瓣細毛稀疏。如果以手術將壁虎尾巴切斷 3 公分長，平均約 2 個月左右可長出新的尾巴，粗細與原來差不多，只是再生尾巴的環節不明顯，這可以用來辨認壁虎是否曾經受傷，甚至可辨別尾巴何處是斷端以及斷過大約次數。

同樣切斷尾巴 3 公分長，讓其吃掉尾巴實驗動物組其再生速度比不讓其吃斷尾動物組尾巴完全再生平均快 2 週，且手術後一星期行為也有所差異，前者食慾差、活動力也差，可能是吃進斷尾補足能量在靜養待尾巴再生；而後者因沒吃掉斷尾，體內能量不足，所以活動力強、食慾佳，待第二星期開始兩組實驗動物行為漸恢復正常。另外斷尾長度不同，再生時間也與斷尾長度成正比，但無論斷尾長度如何，再生後的尾巴皆稍微變長。

- 九、壁虎再生後的尾巴由肉眼觀察其運動自若，我們用神經追蹤劑 HRP 注射到未受損及再生後的尾巴，HRP 陽性神經元皆在薦段和尾段脊髓灰質靠近中央管背側的位置標示到，如果以人相同脊髓位置是歸類到灰

質的第十層 ( lamina X )。

- 十、 人類脊髓因車禍、戰傷或長瘤而致受創，脊髓以下的隨意肌癱瘓萎縮，使許多中樞受傷的病人終生殘廢。高等動物中樞受傷無法再生已成定論，主要因神經纖維被大量增生的星狀膠細胞 ( Astroglia ) 阻擋，使得神經軸突無法穿過此屏障。雖然近年來用人類胚胎幹細胞 ( Stem cell ) 欲有所突破，但成效仍極有限。我們希望用壁虎較低等動物實驗，將其腰段脊髓切斷後其後肢與尾巴癱瘓萎縮，動物在細心照顧下，手術後四個月尾巴已可擺動，而手術後六個月後肢稍可爬行。至少從肉眼我們觀察到壁虎中樞受損後可以再生且恢復某些程度的功能，接下來我們感到有興趣的是為什麼壁虎中樞可再生，希望能有機會找到答案進而運用到人類中樞再生，幫助殘廢的患者有一天能站立起來是我們最大的期望。



## 柒、結論：

- 一、壁虎屬蜥蜴，我們實驗採用的是台灣中南部數量最多的蝟虎和無疣蝟虎。雄性具一對交接器且有肛前孔，雌性不具肛前孔，行體內受精，卵生，每次平均雌壁虎產 2 個蛋，孵卵約需七週左右。
- 二、捕捉採集壁虎儘量以不傷害壁虎為原則，其中以手撲法和橫掃法最佳。
- 三、飼養壁虎必須給予足夠的運動空間，所以飼養盒大一點較好，盒內的擺設儘量與壁虎生存環境相似。餵食壁虎必須要有耐心，最好天天換不同的小動物，如此才可飼養出健康的壁虎。
- 四、壁虎後肢比前肢粗且長，每一腳趾皆有爪及皮瓣，皮瓣上有許許多多的細毛，壁虎吸附能力與此細毛有密切關係。
- 五、壁虎除了腳趾皮瓣有許許多多的細毛使其吸附能力強，至於皮瓣會否分泌黏液，由氯化亞鈷試紙沒有變成粉紅色，可判斷即使能分泌黏液，此黏液的成分也不含水。
- 六、在玻璃板上均勻塗上沙拉油後，證實蝟虎的吸附能力比無疣蝟虎佳。
- 七、壁虎腳趾皮瓣細毛無論在多污穢的地面，只要爬行幾步，所有的灰塵顆粒變的一乾二淨，所以壁虎細毛不但具強的吸附能力之外，還具有除塵的功能。
- 八、壁虎尾巴通常等於或略長於身體，其也有細長毛，雖排列較稀疏，但較皮瓣上細毛長約 5 倍；故尾巴不但可加速壁虎爬行的速度外，也具有幫助吸附的能力。壁虎遭遇攻擊會採斷尾求生的方式逃離，只要情況許可，其會回到原處將斷尾吃掉。以手術將壁虎尾巴切斷，並將自己斷尾吃掉且百分之百在兩個月左右再生。
- 九、以 HRP 神經追蹤劑追溯控制壁虎尾巴的神經元源自中樞薦段和尾段脊髓。
- 十、將壁虎腰段脊髓切斷後，四個月尾巴會擺動，六個月後肢能慢慢爬行，證實較低等的壁虎中樞受損可再生，此與高等動物中樞無法再生完全不同。

## 捌、參考資料：

- 一、 于名振(1984)：台灣脊椎動物誌。台北：台灣商務印書局。頁 26-35 , 72-81。
- 二、 張豐緒(1985)：台灣地區具有被指定為自然文化景觀之調查研究報告。台北：行政院文化建設委員會與中華民國自然生態保育協會，頁 114。
- 三、 鄭先祐(1987)：台灣產蜥蜴生態學與生態保育。台中：東海學報。28卷，頁 763-790。
- 四、 O'connor, A.(2005) The gecko: all grip, no grime. *Science & Technology*, 118: 73-74.
- 五、 Stejneger, L. (1907) *Herpetology of Japan and adjacent territory*, U. S. Nat. Mus. Bull. 58: 1-409.
- 六、 <http://www.wetland.org.tw/about/hope/hope17/17-3.htm> 台灣缺蜴簡介。

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

國中組 生物及地球科學科

031717

未來的蜘蛛人--壁虎之研究

縣立六龜中學(附設國中)

評語：

本作品實驗結果推演出結論，略嫌主觀，實驗過程中對動物造成傷害應行避免，能獨自一人完成一份科展作品，實屬不易，壁虎的手繪圖十分生動。