

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 物理科

040113

模擬蟑螂腳的機械構造

學校名稱：臺北市立明倫高級中學

作者： 高二 張芷瑄	指導老師： 徐榮濱
-------------------	------------------

關鍵詞：蟑螂腳、攀附角度

作品名稱：模擬蟑螂腳的機械構造

摘要

本研究以探討蟑螂腳的攀附方式，研究蟑螂腳和接觸面不同角度對載重量的影響，結果發現以下現象：

- 一、蟑螂腳與接觸面角度不同，其載重量有明顯差異，其中又以地毯的載重量最重，因此推論蟑螂腳與接觸面角度和攀附能力有關。
- 二、實驗中，無論固定哪一腳，載重量最重者，皆為蟑螂實體攀爬時的原本角度，因此推論生物體攀爬時的原本角度為最佳攀爬狀態。

壹、研究動機

日常生活中會出現一些特別的動物，他們不只能行走於地面上，更可以攀附於垂直的牆面。而這些動物能攀附在牆壁上，反觀科技發達的人類都不能使自己爬到牆上行走自如，到底是什麼構造，使他們能攀附在牆上呢？

本文主要探討蟑螂腳上的刺與細毛如何輔助蟑螂攀爬？，利用顯微鏡觀察，分析**刺或細毛長度或直徑、每根刺與腳之間的夾角**，以及**腳與牆壁之間的夾角**，進一步自製相似的機械構造，模擬蟑螂腳的攀附能力，了解蟑螂腳在攀爬時與接觸面角度為何是特定的角度。蟑螂腳和接觸面之間的夾角若是不同角度，攀爬能力是否會因為角度的改變也有所受到影響？

貳、研究目的

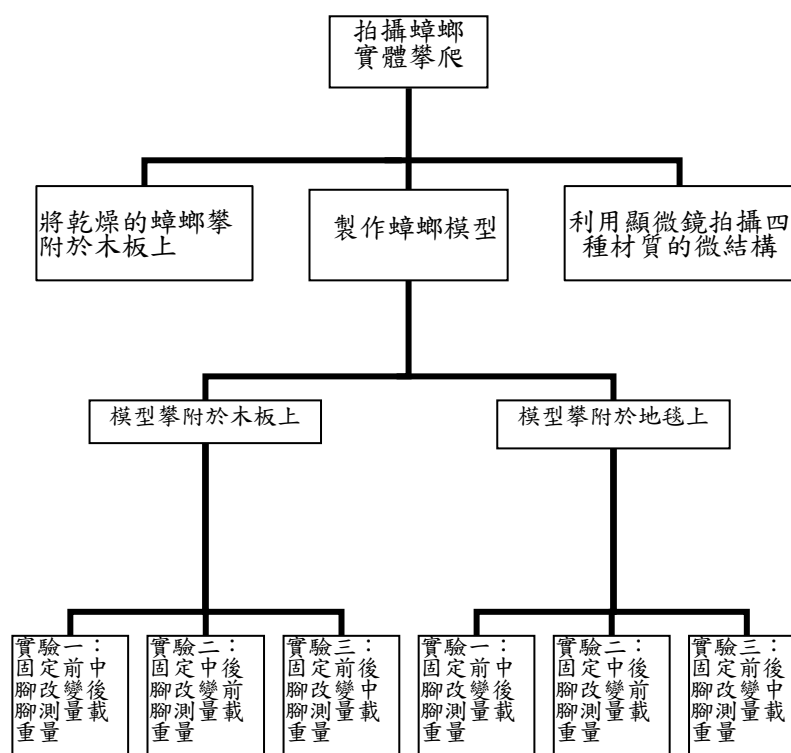
- 一、研究蟑螂在不同材質環境下對攀附能力的影響
- 二、研究蟑螂腳與接觸面之間角度是否影響攀附能力

叁、研究設備及器材

項目	器材名稱	數量	項目	器材名稱	數量
1	解剖顯微鏡	一台	6	地毯	一塊
2	保麗龍球	數個	7	魔鬼氈	一片
3	蟑螂	數隻	8	砝碼	數個
4	壓克力板	一片	9	木板	一塊
5	鐵絲	數支	10	飼育箱	四個

			
保麗龍球	鐵絲	地毯	木板

肆、研究過程或方法



一、研究原理

(一) 蟑螂

蟑螂的爪上就像有個吸盤，具有緊抓或黏住垂直面或光滑表面的功能。

(二) 透過肉眼觀察

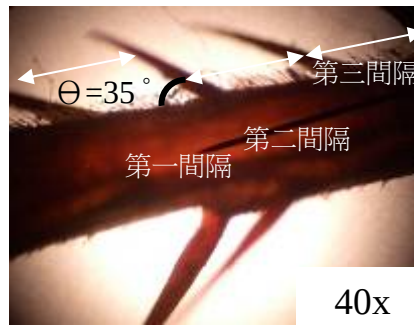
發現蟑螂腳上有著尖尖一根根的刺，如圖(一)



圖(一)

(三) 透過複式顯微鏡觀察

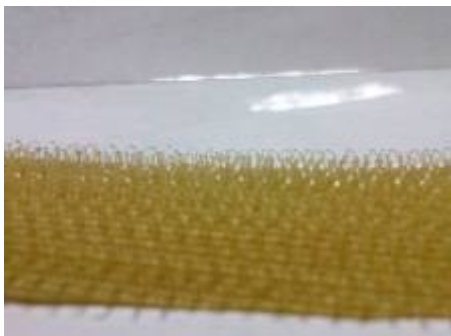
1. 蟑螂腳



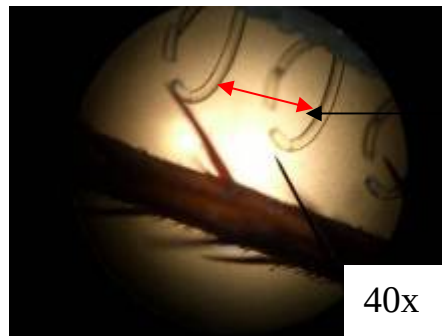
圖(二)

螳螂腳每根刺的角度以肉眼觀察似乎大致相同，刺與腳的夾角範圍大約是在 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 之間，似乎沒有固定的角度，螳螂能牢固的勾住牆壁，關鍵因素可能不是在刺與腳的夾角，而是在於刺與刺的間隔、腳與接觸面的夾角，而刺與刺之間的間距經測量可得平均為 0.106cm

二、利用魔鬼氈模擬螳螂腳



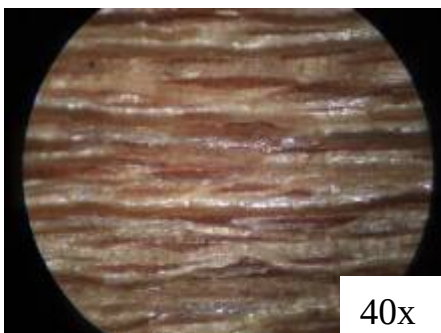
圖(三)工業用魔鬼氈



圖(四) 魔鬼氈與螳螂腳刺與刺之間隔比較

- 1.工業用魔鬼氈間隔 0.11cm 而螳螂腳上刺間隔 0.106cm。
- 2.工業用魔鬼氈間隔類似螳螂腳的間隔，因此以魔鬼氈模擬。

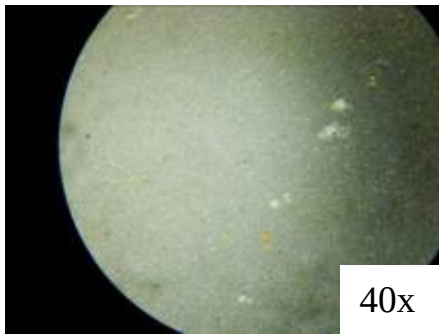
三、觀察四種材質(木板、地毯、壓克力板、磁磚)的微結構



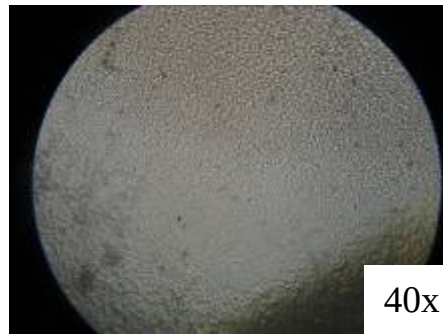
圖(五)解剖顯微鏡下的木板
可發現木板之間有凹槽可讓
螳螂腳上的刺卡在上面



圖(六) 解剖顯微鏡下的地毯
可發現地毯之間的縫隙可讓
螳螂腳上的刺卡在上面



圖(七)解剖顯微鏡下的壓克力板可發現壓克力板上無如同木板和地毯明顯的縫隙讓蟑螂攀爬



圖(八) 解剖顯微鏡下的磁磚可發現磁磚上無如同木板和地毯明顯的縫隙讓蟑螂攀爬

(一)、透過顯微鏡可發現木板與地毯上均有隙縫使蟑螂腳上的刺能夠卡在上面，而壓克力板及磁磚上卻不能觀察到明顯的隙縫。

(二)、我們利用工業用魔鬼氈模擬蟑螂腳上的刺，使模型能夠藉由魔鬼氈來卡在木板及地毯的隙縫中。

四、實驗器材製作與準備

(一)、蟑螂模型製作

- 1.將保麗龍球及保麗龍板切割成蟑螂的身體及外型
- 2.利用魔鬼氈與鐵絲縫合形成蟑螂的六隻腳
- 3.比例為 1:5



圖(九) 透過以上步驟做出之蟑螂模型

(二)、拍攝蟑螂實體攀爬過程

- 1.將蟑螂置於不同之飼育箱中(四個飼育箱分別放入木板、磁磚、地毯、壓克力板)長時間以攝影機拍攝



圖(十)蟑螂攀附於木板上



圖(十一) 蟑螂攀附於地毯上



圖(十二) 蟑螂攀附於磁磚上



圖(十三) 蟑螂攀附於壓克力板上

從上圖可以發現，蟑螂在光滑的磁磚或壓克力板上還是有一定的攀附能力，無法用機械構造加以解釋，可能是蟑螂的腳上有顯微鏡無法觀測的黏附蛋白輔助攀爬，超出本文的研究範圍，但仍然是一個有趣的發現。

(三)、乾燥蟑螂攀附情形



圖(十四)死掉的蟑螂攀附於木板上

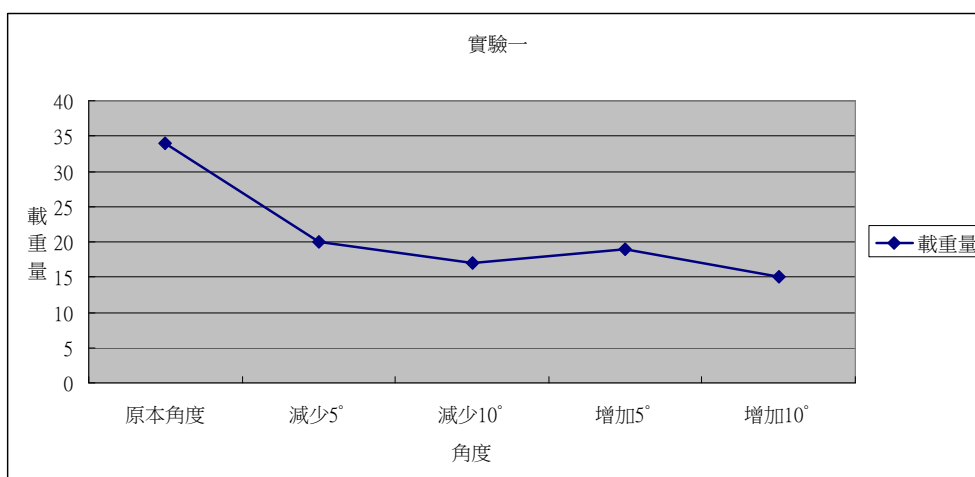
1. 藉由死掉的蟑螂可發現及使蟑螂腳不再有黏附蛋白，蟑螂仍能攀附於木板上，證明蟑螂攀附時有利用機械結構。
2. 因此，我們去除黏附蛋白的因素，製作出模型進行實驗。

伍、研究結果

一、木板

(一)、實驗一：固定前腳與中腳，改變蟑螂後腳與木板的角度的，再觀察其載重量

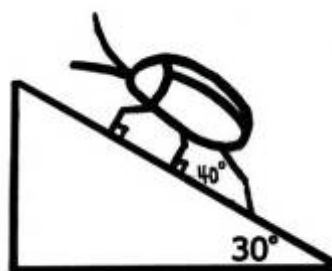
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	90°	45°	34g
減少 5°	90°	90°	40°	20g
減少 10°	90°	90°	35°	17g
增加 5°	90°	90°	50°	19g
增加 10°	90°	90°	55°	15g



1.減少 5°：



圖(十五)

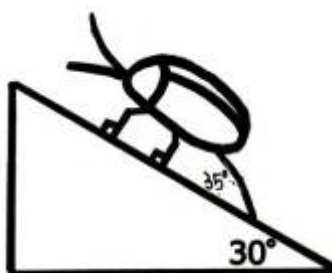


圖(十六)

2.減少 10°：



圖(十七)

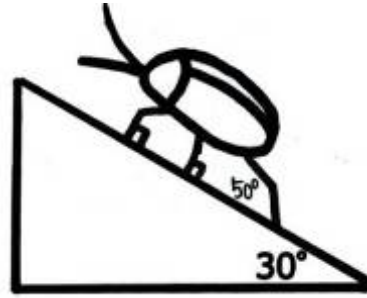


圖(十八)

3.增加 5° :



圖(十九)

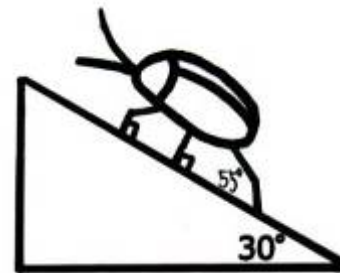


圖(二十)

4.增加 10° :



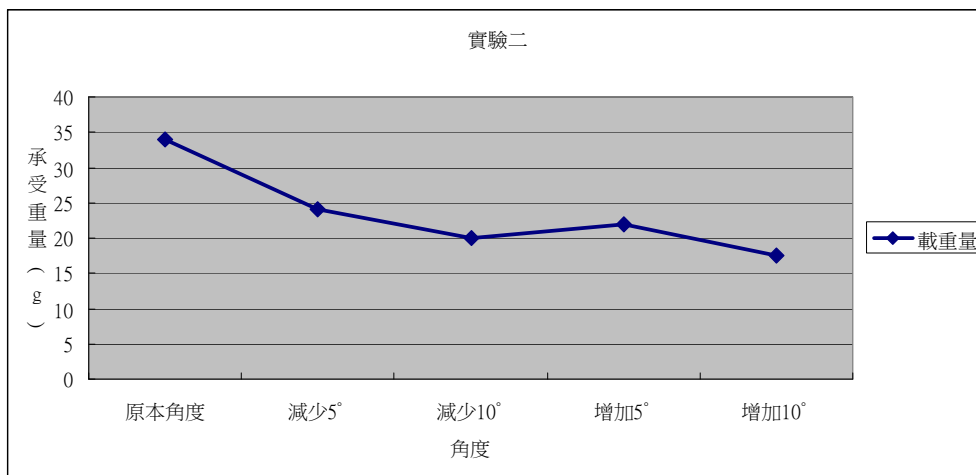
圖(二十一)



圖(二十二)

(二)、實驗二：固定中腳與後腳改變螳螂前腳與木板的的角度觀察其載重量

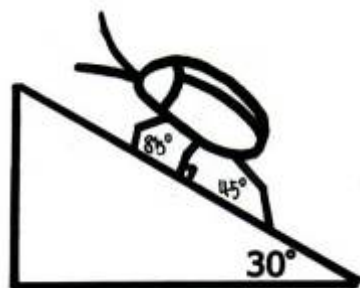
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	90°	45°	34g
減少 5°	85°	90°	45°	24g
減少 10°	80°	90°	45°	20g
增加 5°	95°	90°	45°	22g
增加 10°	100°	90°	45°	17.5g



1.減少 5° :



圖(二十三)

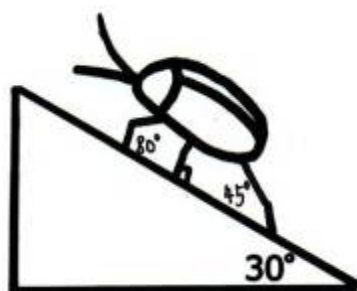


圖(二十四)

2.減少 10° :



圖(二十五)

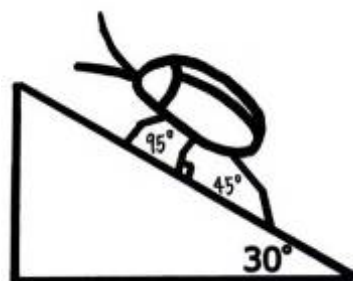


圖(二十六)

3.增加 5° :



圖(二十七)

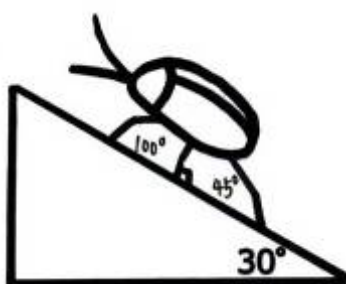


圖(二十八)

4.增加 10° :



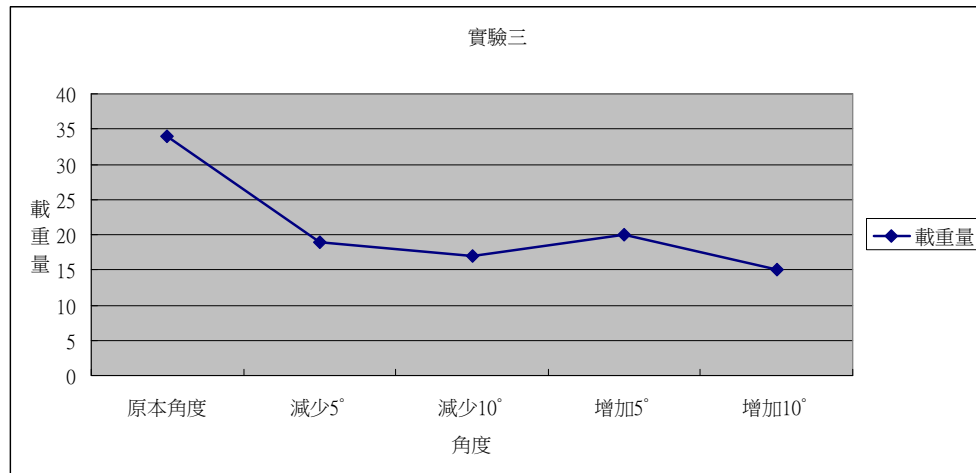
圖(二十九)



圖(三十)

(三)、實驗三：固定前腳與後腳改變螳螂中腳與木板的角度觀察其載重量

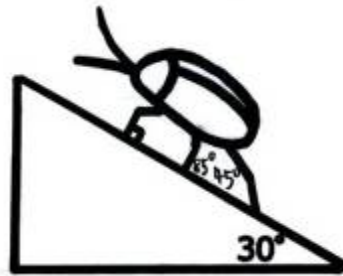
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	90°	45°	34g
減少 5°	90°	85°	45°	19g
減少 10°	90°	80°	45°	17g
增加 5°	90°	95°	45°	20g
增加 10°	90°	100°	45°	15g



1. 減少 5°：



圖(三十一)

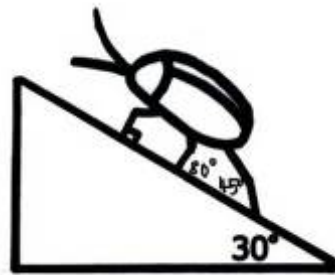


圖(三十二)

2. 減少 10°：



圖(三十三)

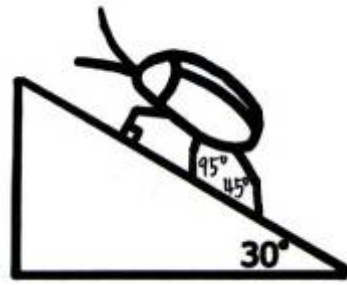


圖(三十四)

3.增加 5° :



圖(三十五)

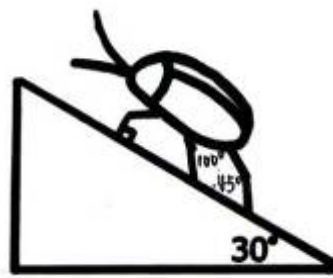


圖(三十六)

4.增加 10° :



圖(三十七)

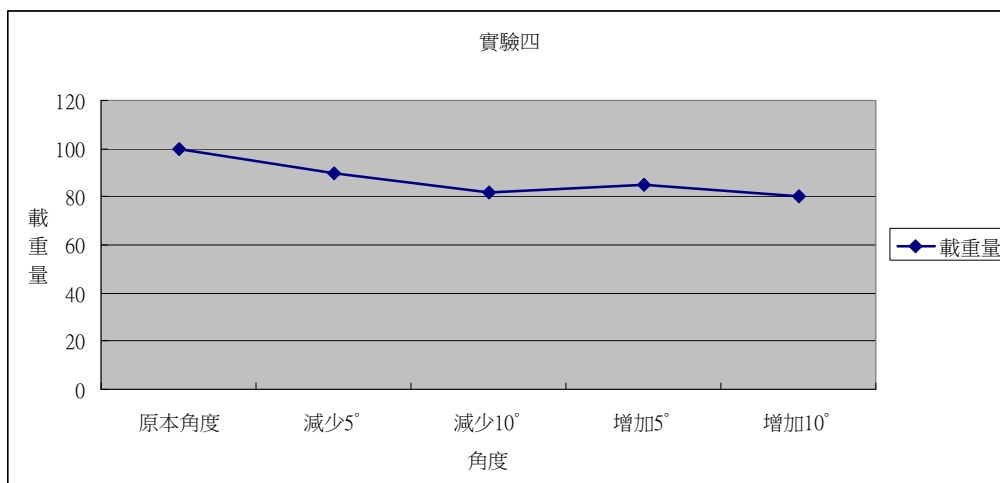


圖(三十八)

二、地毯

(一)、實驗四：固定前腳與中腳改變蟑螂後腳與地毯的角度觀察其載重量

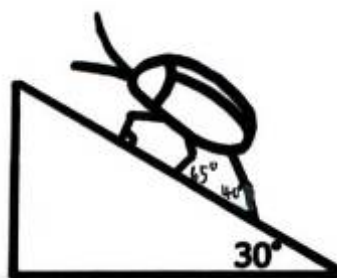
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	65°	45°	100g
減少 5°	90°	65°	40°	90g
減少 10°	90°	65°	35°	82g
增加 5°	90°	65°	50°	85g
增加 10°	90°	65°	55°	80g



1.減少 5° :



圖(三十九)

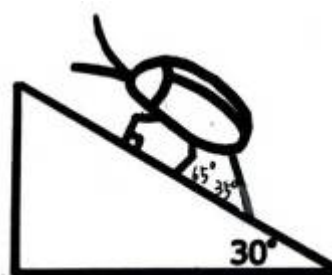


圖(四十)

2.減少 10° :



圖(四十一)

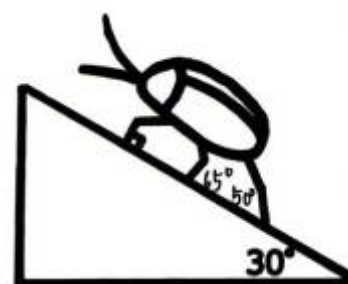


圖(四十二)

3.增加 5° :



圖(四十三)

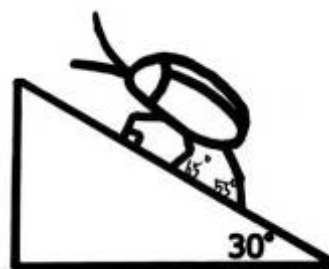


圖(四十四)

4.增加 10° :



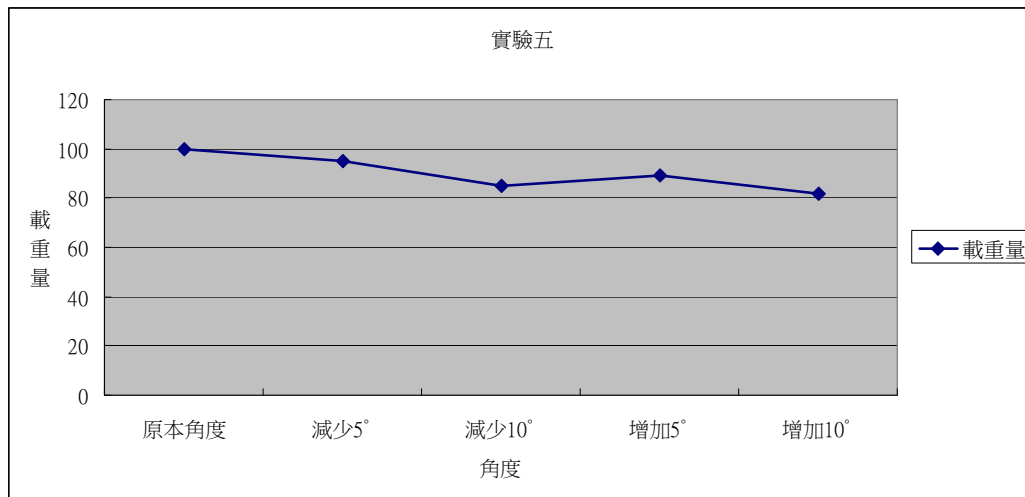
圖(四十五)



圖(四十六)

(二)、實驗五：固定中腳與後腳改變蟑螂前腳與地毯的角度觀察其載重量

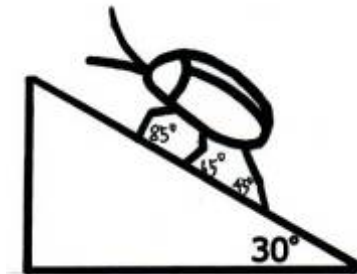
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	65°	45°	100g
減少 5°	85°	65°	45°	95g
減少 10°	80°	65°	45°	85g
增加 5°	95°	65°	45°	89g
增加 10°	100°	65°	45°	82g



1.減少 5°：



圖(四十七)

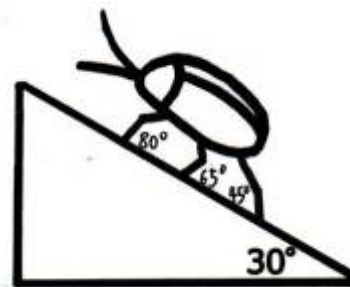


圖(四十八)

2.減少 10°：



圖(四十九)

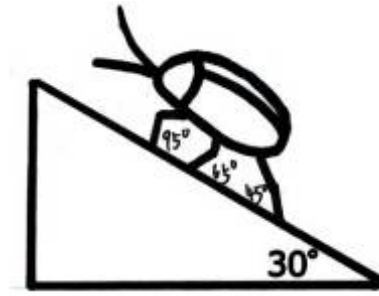


圖(五十)

3.增加 5° :



圖(五十一)

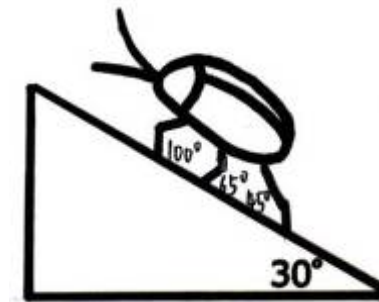


圖(五十二)

4.增加 10° :



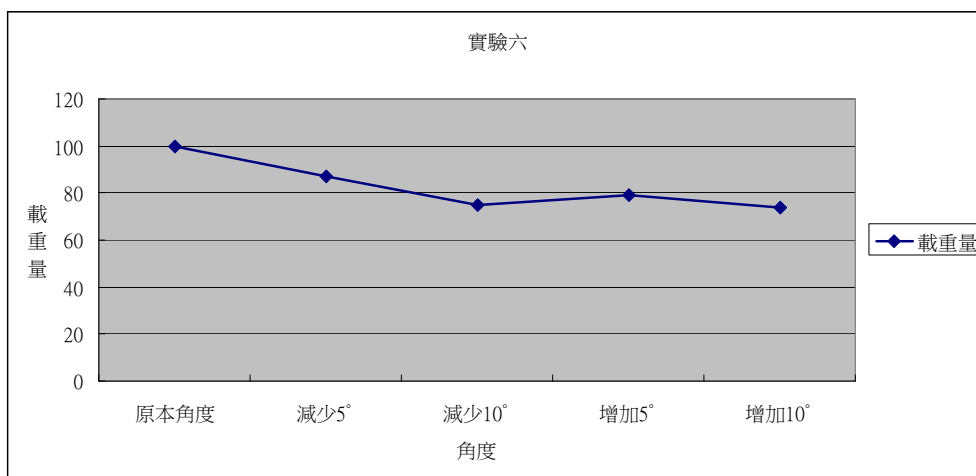
圖(五十三)



圖(五十四)

(三)、實驗六：固定前腳與後腳改變蟑螂中腳與地毯的角度觀察其載重量

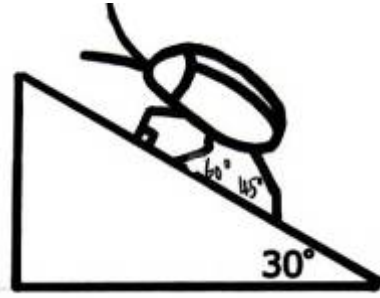
	前腳	中腳	後腳	載重量
原本角度	90°	65°	45°	100g
減少 5°	90°	60°	45°	87g
減少 10°	90°	55°	45°	75g
增加 5°	90°	70°	45°	79g
增加 10°	90°	75°	45°	74g



1.減少 5° :



圖(五十五)

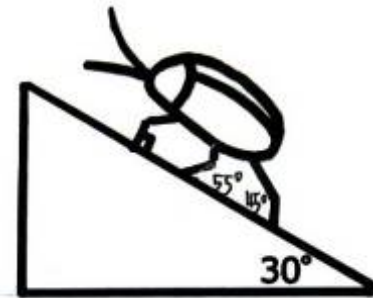


圖(五十六)

2.減少 10° :



圖(五十七)

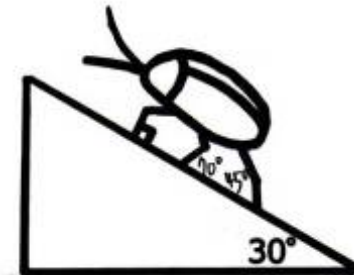


圖(五十八)

3.增加 5° :



圖(五十九)

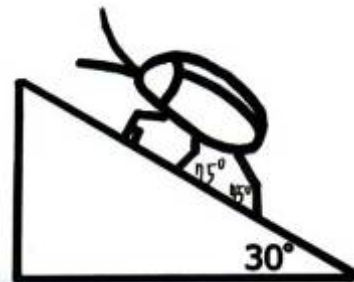


圖(六十)

4.增加 10° :



圖(六十一)



圖(六十二)

陸、結果與討論

一、結果說明

(一)、文獻探討

昆蟲類如蟑螂等的腳部，除了末端的爪之外，整隻腳並長滿腳毛，腳毛本身是硬式可潰的（collapsible），蟑螂在運動時，腳毛很容易卡進微小凹凸不平的表面，如同細針卡進小縫一般，因腳毛本身是硬的，因此當腳推進時，腳毛有辦法承受住外力使身體能有效前進。

(二)、透過蟑螂實體拍攝

蟑螂攀附於四種材質上(木板、地毯、壓克力板、磁磚)可發現蟑螂於地毯上爬行時較不費力，木板次之，其次為磁磚及壓克力板。觀察蟑螂實體攀爬時可發現，蟑螂仍可在壓克力板及磁磚上爬行，原因在於腳上含有分子間作用力，但受限於儀器而無法測得。

(三)、觀察四種材質的微結構

在解剖顯微鏡下，木板及地毯可看出明顯得細縫可讓蟑螂腳上的刺卡入隙縫中進而向前爬行。然而，在壓克力板及磁磚上則無法看到近似於木板及地毯上的隙縫。因此，我們利用工業用魔鬼氈模擬蟑螂腳上的刺，使模型能夠藉由魔鬼氈來卡在木板及地毯的隙縫中。

(四)、實驗探討

在利用木板所做的三個實驗中，可發現無論是固定哪兩腳，雖然所測得的載重量不同，但都有個相同點，任何角度的載重量皆小於原本角度的載重量。透過各實驗結果所製的圖表可觀察到，載重量隨著角度的增加與減少有所改變，當增加或減少的角度越多，載重量就越少，換言之，越接近原本角度的載重量就越多。

而在地毯上因表面較為粗糙，載重量也因此較其他材質增加許多，但唯一不變的是載重量與角度的變化；當改變的角度與原本角度之差越大時，載重量就越少，也可透過圖表得到與木板相同的結果，角度變化量越小，載重量就越大。

總體而言，由實驗的結果推論出，若排除蟑螂利用黏附蛋白輔助攀附的因素外，蟑螂腳與接觸面的角度是影響蟑螂爬行重要的原因。

柒、參考資料及其他

朱耀沂（2009）。蟑螂博物學。天下文化

林沛群助理教授、施文彬副教授。壁虎游牆功：仿生奈米黏著技術。國立臺灣大學機械工程學系。取自：www.stam.org.tw/files/newsletter/newsletterTopicReport/

晁烽科技。關於足式仿生機器人的一些想法雷力新科技。

<http://tw.myblog.yahoo.com/ptcft001/article?mid=2697&prev=-1&next=2696>

【評語】 040113

1. 以傾斜角度來探討類蟑螂腳結構的載重量，較少新意。所探討之物理量應可再延伸到摩擦係數及載重中心之討論。所報告之內容應可再充實，且所建構之類蟑螂腳模型與真實蟑螂腳的相似度似乎仍有改進空間。