

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第一名

最佳創意獎

080310

精密的建築師—蠶

學校名稱：臺北市大安區龍安國民小學

作者：	指導老師：
小五 黃以寧	陳瑩雯
小五 丁容	陳淑苾

關鍵詞：蠶、繭、結繭能力

摘要

本研究旨在了解蠶於結繭時對於「角度」、「大小」、及「形狀」等空間因素的反應與掌握。我們用西卡紙製造 90°到 180°的角度及不同大小的正方體、角錐、圓錐、圓柱、長方體等相異的結繭空間讓蠶結繭，結果發現：結繭空間大於繭體時，角度因素會有決定性的影響，空間越平緩越難結出形狀正常的繭，特別是空間角度大於 145°時，蠶都無法正常結繭，蛹會裸露於平面繭上的開放空間；而結繭空間小於正常繭體時，繭的形狀則會和結繭空間緊密相合，所以就可以結出我們想要的形狀。當多隻蠶共處於同一個空間：空間大時，蠶會各自結繭，但如果空間小且蠶隻結繭速度相同，蠶就會選擇共結一繭。這些實驗讓我們發現蠶好似一位精密的建築師，具有精準掌握角度、空間大小及形狀的能力。

壹、研究動機

四年級時，老師讓我們養蠶，在養蠶過程中，我們回想起三年級時飼養蝴蝶的種種趣事，然後驚訝地發現：蝴蝶不會結繭，直接化蛹，蠶則會吐絲結繭，然後在繭中化蛹。蠶為什麼會結繭？這個問題令我們好奇，也令我們對蠶的結繭產生濃厚的興趣，故到苗栗一家蠶業生態教育農場參觀，農場中，表面光滑的平面繭深深引發我們的思考：為什麼除了橢圓形的繭外，蠶會結出平面繭？它還可以結出什麼樣的繭？有什麼樣的能力？我們想：在一般性的觀察外，也許可以改變結繭環境，研究其結繭情況與所結出的繭，來探討蠶寶寶神祕的結繭能力。

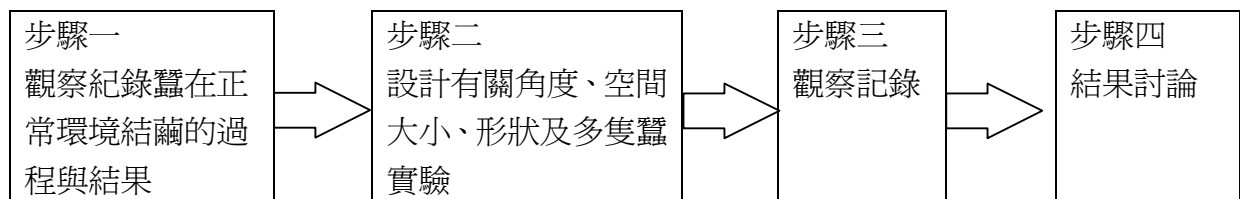
貳、研究目的

- 一、觀察蠶的正常結繭情況。
- 二、探討不同角度的空間變化條件對蠶結繭的影響及限制。
- 三、了解空間條件對蠶結繭的影響。
- 四、了解多隻蠶共處同一空間對結繭的影響。

參、研究設備及器材

蠶、桑葉、實體顯微鏡、剪刀、吸管、西卡紙、保麗龍、塑膠瓦楞紙、塑膠網、電腦、照相機、筆記本

肆、研究過程或方法



一、觀察蠶在正常環境結繭的過程

(一) 先用肉眼觀察蠶如何結繭，包括蠶繭形狀。

(二) 再用實體顯微鏡觀察幫助蠶結繭的身體構造及各階段所吐出來的絲。

二、進行角度及空間限制實驗

(一) 角度實驗：以一系列的變化實驗，觀察「角度」因素對蠶結繭的影響。將西卡紙折成不同角度： 90° 、 100° 、 110° 、 120° 、 130° 、 140° 、 145° 、 150° 、 160° 、 180° 並固定，再觀察蠶在不同角度西卡紙上結繭的情況。為了確保蠶會依我們的實驗設計留在西卡紙上結繭，將西卡紙以塑膠吸管墊高防止蠶中途逃跑（如圖 1）。

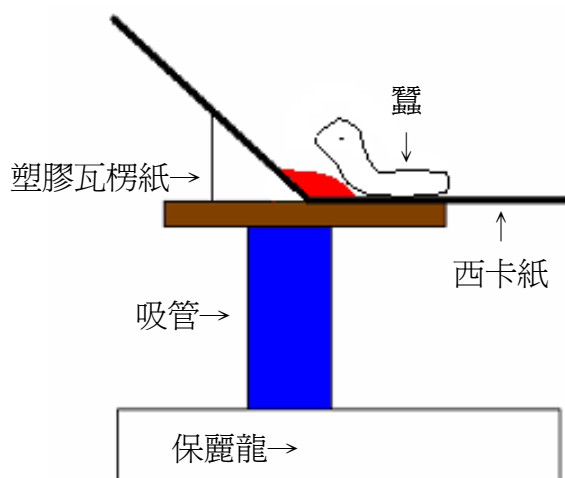


圖 1、角度實驗的設計

(二) 空間限制實驗：設計實驗限制蠶結繭空間，瞭解「大小」及「形狀」等因素對蠶結繭的影響。將西卡紙及塑膠網做成正方體、金字塔、圓柱、長方體、三角柱、圓錐等不同形狀，觀察蠶在不同形狀大小下結繭的過程。圖 2、圖 3、及圖 4 分別為三角形底金字塔及正方形底金字塔和圓柱體的空間設計圖。

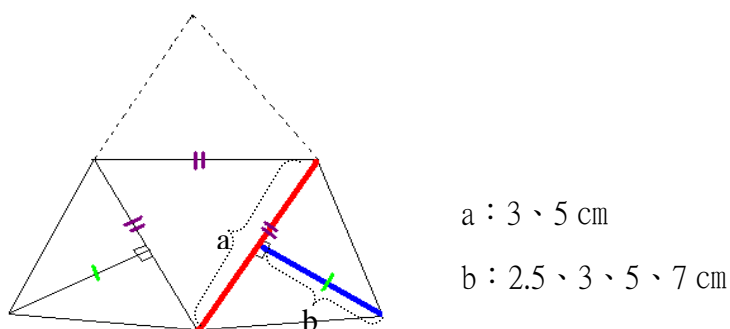


圖 2、三角形底金字塔展開圖（虛線部分為透明片，實線部份為西卡紙）

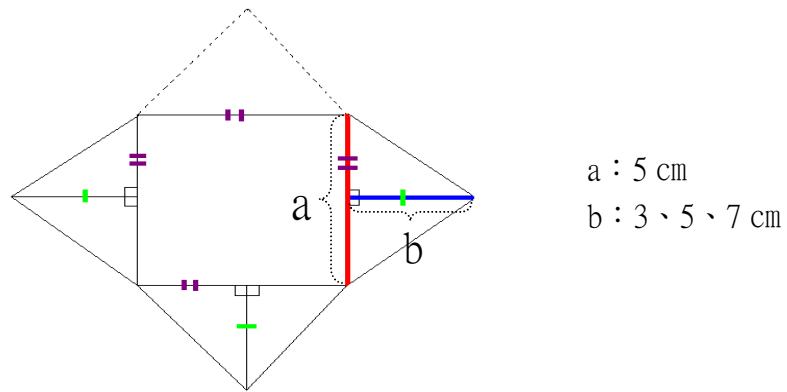
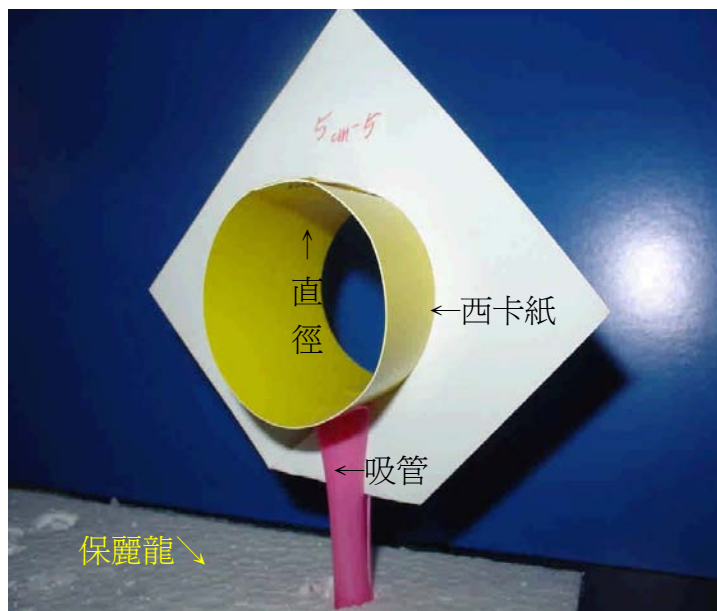


圖 3、正方形底金字塔展開圖(虛線部分為透明片，實線部份為西卡紙)



直徑：1、2、3、4、5、
6、7、8、9 cm

圖 4、圓柱實驗設計
將西卡紙固定成圓形並改變其直徑達到不同空間大小的要求。

三、觀察紀錄

觀察蠶繭的外形以及蠶絲的結構，並記錄觀察結果。

四、結果討論

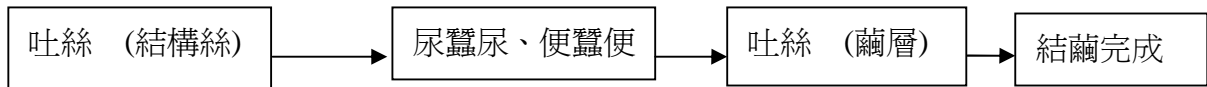
比較蠶繭在不同條件下有何差異並討論其原因。

伍、研究結果

一、正常環境下的結繭過程

(一) 肉眼觀察

1. 結繭流程



2. 流程觀察

(1) 吐絲（結構絲）

五齡蠶在脫皮不久後蠶便會由黑轉綠，接著開始吐結構絲做繭衣，繭衣即固定繭本身外圍絲的總合名稱。吐結構絲時，蠶的前半身會規律的左右擺動，形成倒8字形的軌跡，以便將絲從角落的一頭拉到另一頭，完成一個可容下繭的空間。

(2) 尿蠶尿、便蠶便

吐完結構絲，蠶會排出淡褐色的蠶便，並尿蠶尿，然後開始結繭層。

(3) 吐絲（繭層）

繭層即繭體本身，十分緊密堅韌，與結構絲的關係如下：

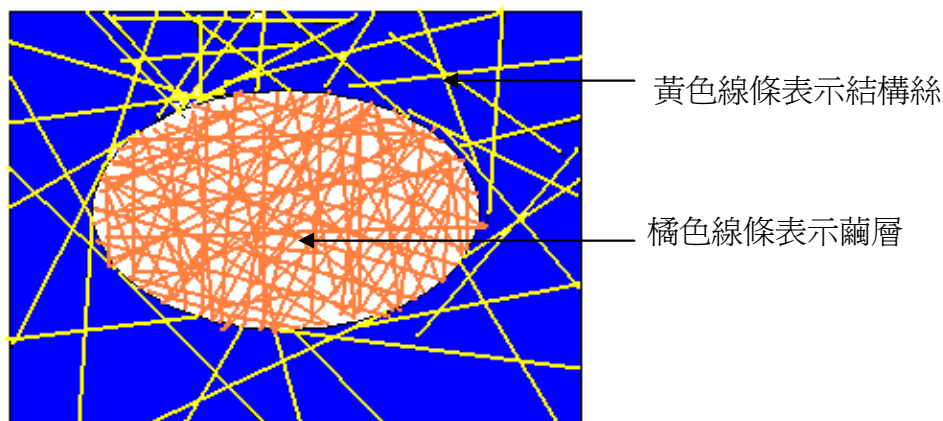


圖 5、正常繭體情況示意圖

從吐結構絲開始，蠶的身體便慢慢變小，但在結繭層時，身體縮小得特別明顯，顏色亦變成淡橘色。

(4) 結繭完成

從吐絲開始至結繭結束約 4 天，再經 1~2 天後化蛹，化蛹後再經約 12 天羽化出繭。

(二) 顯微鏡觀察

利用實體顯微鏡觀察幫助蠶結繭的身體構造，和它吐出的絲，以增加瞭解。

1. 吐絲器與肉足

蠶的頭部有一吐絲器，絲從吐絲器中吐出。蠶的腹足上則有許多硬毛，幫助蠶站在繭絲上結繭。



圖 6、吐絲器放大圖（倍數：10×4）



圖 7、腹足與硬毛（倍數：20×5）

2. 結構絲與繭絲

結構絲與繭絲在實體顯微鏡下看起來不太一樣。結構絲比較直且疏，相較之下繭絲比較柔軟也比較密。



圖 8、實體顯微鏡下的結構絲（倍數：10×5）

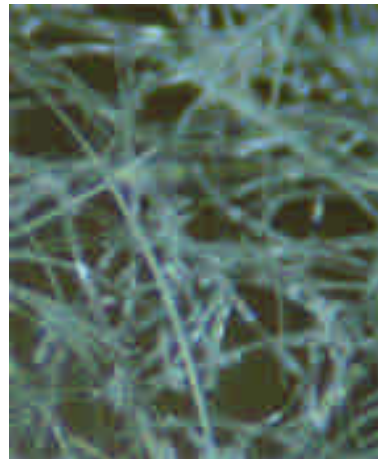











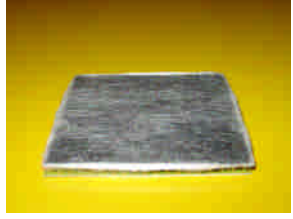
圖 9、繭絲（倍數：20×5）

二、角度實驗

表一、為角度實驗紀錄表（√為結成圓形繭，X為沒有結出圓形繭）

角 度 \ 重複	一	二	三
(1) 90°	√	√	√
(2) 100°	√	√	√
(3) 110°	√	√	√
(4) 120°	√	√	√
(5) 130°	√	√	√
(6) 140°	√	√	√
(7) 145°	X	X	X
(8) 150°	X	X	X
(9) 160°	X	X	X
(10) 180°	X	X	X

實驗說明：實驗角度是從直角開始，之後實驗皆增加 10°，直至 180°，但是為了更仔細的觀察蠶對角度掌握的精細度，又在 140°與 150°間增加了 145°，以下為詳細圖說：

 <p>圖 10、夾角 90°時，蠶在四天內，繭已然成形，結繭順利。</p>	 <p>圖 11、夾角 100°時，蠶結出了一個很完整的橢圓形繭。</p>	 <p>圖 12、夾角 110°時，結出了正常的橢圓形繭。隨著角度變大，結繭時間也相對的變長了。</p>
 <p>圖 13、夾角 120°時，結繭順利。我們發現當角度大於直角時，其角度越大，蠶找角落的時間也越長，其所吐的結構絲也增加了。</p>	 <p>圖 14、夾角 130°時，結繭過程仍算順利，能結出一個橢圓形的繭。</p>	 <p>圖 15、夾角 140°時，仍能結出正常的橢圓形繭，但吐結構絲的時間比較久。</p>
 <p>圖 16、夾角 145°時，無法結出橢圓形的繭，略有漩渦狀。</p>	 <p>圖 17、夾角 150°時，三重複都結出有漩渦狀的，且表面光滑的繭。</p>	 <p>圖 18、夾角 160°時，都無法結出橢圓形繭，且成漩渦狀。證明了蠶結繭時，通常以腹足、尾足為中心，來吐絲之事件。</p>
 <p>圖 19、夾角 180°時，無法結出橢圓形繭。成平面。</p>		

三、空間限制實驗

(一) 結繭空間為正方體

表二、結繭空間為正方體的實驗紀錄表 (✓為結繭成功，⊕為結出正方體繭，--為沒有做)

重復 邊長	一	二	三	四	五	六	七	八
(1) 1.5 cm	✓⊕	✓⊕	逃走	逃走	--	--	--	--
(2) 2 cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

1. 正方體邊長 1.5 cm：兩個實驗結出似正方體的繭，其餘的逃走了。



圖 20、近似正方體的繭

2. 正方體邊長 2 cm：蠶以正方體的斜對角(此空間內最長的直線距離)結繭。

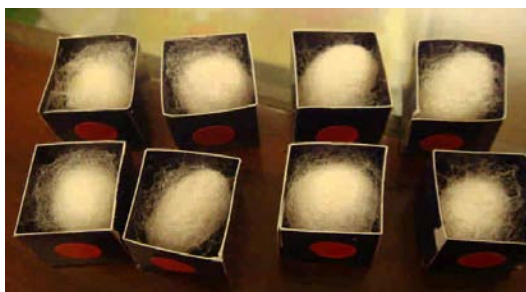


圖 21、為邊長 2cm 正方體的實驗結果



圖 22、為邊長 2cm 正方體一個實驗的放大

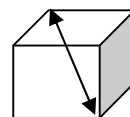
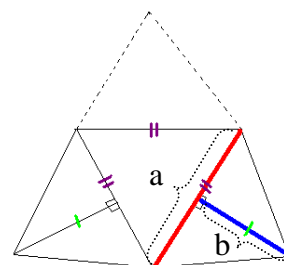


圖 23、為正方體斜對角示意圖

(二) 結繭空間為底是三角形的金字塔

表三、底是三角形的金字塔實驗紀錄表：(✓結繭成功，金為金字塔形繭，--為沒有做)

重 複 a、b 長度	一	二	三	四
(1) a = 3 cm, b = 2.5 cm	✓金	逃走	逃走	--
(2) a = 3 cm, b = 3 cm	✓金	✓金	✓	✓
(3) a = 5 cm, b = 3 cm	✓	✓	✓	--
(4) a = 5 cm, b = 5 cm	✓	✓	✓	--
(5) a = 5 cm, b = 7 cm	✓	✓	✓	✓



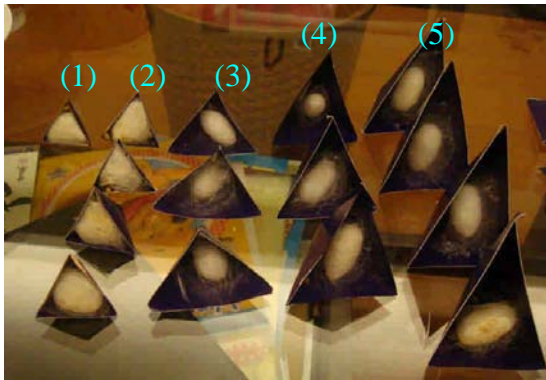


圖 24、所有三角形底的金字塔實驗結果

說明：

- (1)三隻中兩隻逃出來在別的地方結繭了。
- (2)其中兩隻結出了似金字塔形的繭。
- (3)兩個繭是橫(與底平行)的，一個是往上斜的。
- (4)三個繭的方向不同。
- (5)三個繭是直立的，一個是斜的

(三) 結繭空間為底是正方形金字塔

表四、底是正方形的金字塔實驗紀錄表：(✓為結繭成功)

重複 a、b 長度	一	二	三	四
(1) $a = 5\text{ cm}$, $b = 3\text{ cm}$	✓	✓	✓	✓
(2) $a = 5\text{ cm}$, $b = 5\text{ cm}$	✓	✓	✓	✓
(3) $a = 5\text{ cm}$, $b = 7\text{ cm}$	✓	✓	✓	✓

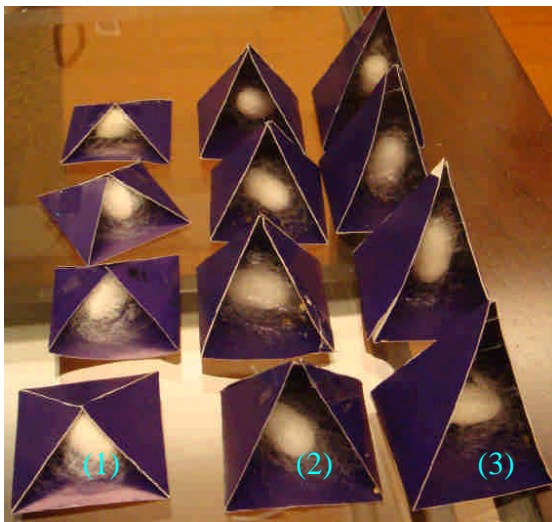
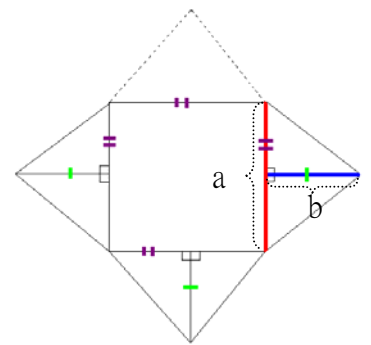


圖 25、所有正方形底的金字塔實驗結果

說明：

- (1) 四個繭都是橫(與底平行)的。
- (2) 兩個繭是斜的，兩個是橫的。
- (3) 三個繭是直的，一個橫的。

(四) 結繭空間為圓柱

表五、圓柱實驗紀錄表（見實驗設計圖 4；打✓為結繭成功，--為沒有做）

重 複 直徑長度	一	二	三
(1) 1 cm	✓	--	--
(2) 2 cm	✓	✓	✓
(3) 3 cm	✓	✓	✓
(4) 4 cm	✓	✓	✓
(5) 5 cm	✓	✓	✓
(6) 6 cm	✓	✓	✓
(7) 7 cm	✓	✓	✓
(8) 8 cm	✓	✓	✓
(9) 9 cm	✓	✓	✓

1. 直徑 1cm 的圓柱實驗中，由於空間十分擁擠，因此蠶只能貼著牆面吐絲，結出與模型形狀相同的繭。



圖 26、圓柱實驗中(1)直徑 1cm 的結果

- 2.直徑 2~9cm 的圓柱實驗照片

<p>圖 27、直徑 2cm 時，結出了橢圓形繭。</p>	<p>圖 28、直徑 3cm 時，結出橢圓形繭。蠶結出的繭是懸空的，並位於正中央。</p>



圖 29、直徑 4cm 時，圓柱直徑大於 4 公分，隨直徑的增大，繭便逐漸偏離正中。



圖 30、直徑 5cm 時，結出了橢圓形繭。繭身傾斜，逐漸靠近壁面。



圖 31、直徑 6cm 時，繭由橫轉直，圓柱愈大，愈貼近壁面。



圖 32、直徑 7cm 時，結出了橢圓形繭，且繭緊靠壁面。



圖 33、直徑 8cm 時，弧度愈平，愈難結繭。



圖 34、直徑 9cm 時，雖然最後結成圓形繭，但剛開始時一直沒有尋找到適合的角落。

(五) 其他形狀的結繭空間：

1.結成了一個長方體繭，但四周仍有弧度。



圖 35、長方體實驗的結果

2.結繭空間為三角柱：

由於我們供應的結繭空間過於充分，因此蠶寶寶在三角柱內部結了一個完整的橢圓形繭。



圖 36、三角柱的實驗結果

3.結繭空間為圓錐：因為這個圓錐的空間特別小，所以讓蠶寶寶結出了一個很漂亮的圓錐繭。只不過之後裡面的蠶並沒有成功的化蛹，最後死掉了。



圖 37、圓錐實驗的結果

四、多隻蠶共處同一空間對結繭的實驗

(一) 正方體

表六、正方體實驗紀錄表

(兩隻蠶共結一繭：√，三隻蠶共結一繭：○，各自結繭：X，--為沒做)

邊長 \ 重複	一	二	三	四	五	六	七
(1) 2 cm (放 2 隻)	√	√	√	--	--	--	--
(2) 2.5 cm (放 3 隻)	○	○	○	--	--	--	--
(3) 3 cm (放 3 隻)	○	○	√	√	√	X	X

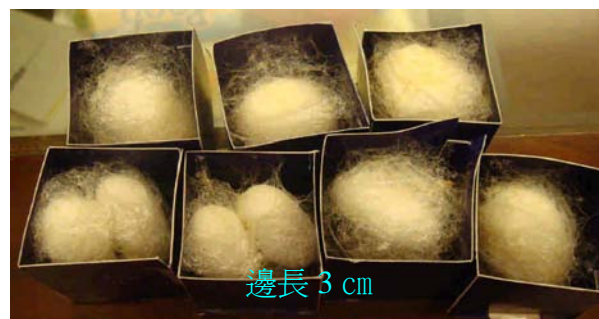
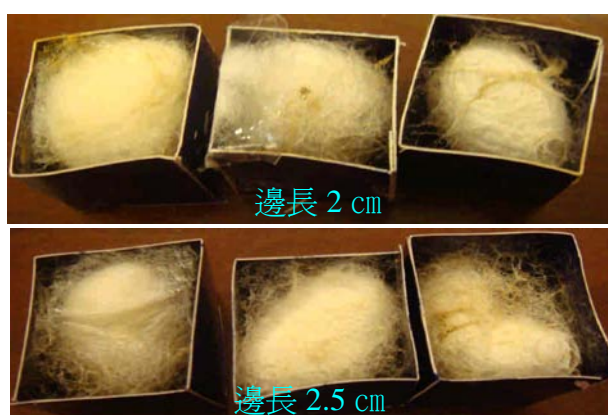


圖 38、正方體中多隻蠶的結繭情形

(二) 心形

表七、心形實驗紀錄表(√為多隻蠶結成一繭，橢為橢圓繭，心為心形繭，--為沒有做)

心形的高及周長 \ 重 複	一	二	三	四
(1) 高=2 cm，周長=10 cm (放三隻)	√ 橢	√ 橢	√ 橢	√ 心
(2) 高=2 cm，周長=15 cm (放五隻)	√ 心	--	--	--

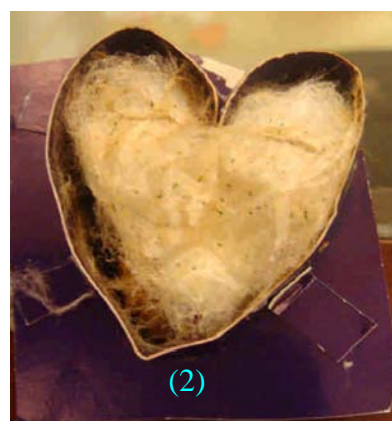




圖 39、多隻蠶在心形中的結繭情形

(三) 圓柱

	
<p>圖 40、直徑 2 cm 圓柱中放兩隻蠶；空間十分擁擠，蠶共結成一繭，剛好塞滿空間。蛾出繭後，將繭身切開，發現其中只有一個蛹室。</p>	<p>圖 41、直徑 3 cm 圓柱中放兩隻蠶；空間適中，結成一繭，並沒有塞滿空間，體積較一般繭來得大。繭身懸空。</p>
	
<p>圖 42、直徑 4 cm 圓柱中放三隻蠶；空間不算大，三隻蠶結成一繭，但形狀奇特。</p>	

(四) 扭蛋

	
<p>圖 42、直徑 5 cm 小扭蛋中放兩隻蠶。空間小，不容蠶隻各自結繭，結成一繭。</p>	<p>圖 43、直徑 6.5 cm 大扭蛋中放五隻蠶。空間太大，以致蠶各自結繭。</p>

五、其他實驗

(一) 平面繭分層實驗



圖 44、在紙板上的平面繭。

先讓蠶在平紙板上吐一層絲，放上乾燥葉，並讓蠶繼續吐絲。蠶接下去吐的絲會將葉子夾在兩層絲中間。這個實驗共做了四個，都很成功，說明蠶絲是一層一層均勻的吐上平板的。

(二) 單隻蠶在不同直徑扭蛋之實驗



圖 45、直徑 5cm 扭蛋

空間適當，結在正上空。結繭時蠶身能夠夠到扭蛋壁，故能結在中央。



圖 46、直徑 6.5cm 扭蛋

情況如大直徑圓柱實驗，空間過大，以致繭身貼著壁面（較下方的圓形物為一元台幣）。



圖 47、直徑約 7 cm 的扭蛋

第一次看見半圓形且透明的繭吧！由於扭蛋的半圓形弧度對蠶來說太過於平緩，因此讓蠶寶寶吐了太多結構絲，而結出了一個樣子像搖籃、透明、十分漂亮的繭。

(三) 碗的實驗

將蠶放入在直徑 15 cm 的碗中，觀察蠶結繭的情形。

1. 第一次實驗：兩隻蠶，其中一隻未結繭就死了(圖 48)。圖 49 為另一隻無法結成繭的蛹。



圖 48



圖 49

2. 第二次實驗：做了三組，其中兩組都成功地架好結構絲網，然後再爬到結構絲網的下方結了一個似橢圓的繭(圖 50、51)，另一隻無法結出一個繭，但絲沒有平貼表面(圖 52)。



圖 50



圖 51



圖 52

陸、討論

根據我們的實驗結果，我們發現以下幾點：

一、經過了這次研究，我們發現蠶繭外圍皺皺的，推測那是因為蠶吐的絲含有膠質，當繭內部的絲要乾時，外層的絲會被牽動，使其皺起來。蠶吐絲時會呈現 ∞ 的八字形，所以在角度的實驗裡所看到的一些旋渦絲可能和此有關。結構絲的功用就像房子的柱子一樣，房子一但沒有柱子，就無法立起來。而每一隻蠶絲的總量一定，太多的結構絲會使可結繭衣的絲量不足，導致結繭失敗或結成半透明的繭。

二、角度實驗

(一) 蠶在厚紙板夾角為 130° 及 140° 還能結出正常的繭(圖 14、15)，而在 145° 、 150° 、 160° 及 180° 都無法結出繭(圖 16、17、18、19)。三重複的實驗都有相同的結果。可見在角度 145° 以上結構絲就無法製造適合結圓形繭的空間或架構。

(二) 當角度太大難結繭時，蠶花在找角落吐結構絲的時間會增加，而且往往成旋渦狀。

(三) 當空間兩平面夾角成 180° 的時候，蠶吐的絲就會完完全全的貼在表面上(如圖 19)。

三、空間限制實驗

(一) 在單隻蠶空間限制實驗中，我們發現當空間小於正常的繭時，蠶會沿著壁面吐絲，結出一個與模型相似的繭 (如圖 20、圖 24 之(1)與部分的(2)、圖 26、35、37)。

(二) 當空間較大且可容納一個繭時，蠶會選擇一個小角落結繭，而且會以此空間內最長的直線距離結繭(如圖 21、22)。

(三) 當圓柱直徑小時，蠶會在圓柱的正中央結繭(如圖 27、28)。當直徑越來越大時，蠶結繭的位置會越來越偏離正中央，並且會花較多的時間找結繭的位置及吐結構絲(如圖 29-34)。

四、多隻蠶共處同一空間對結繭的實驗

(一) 多隻蠶空間限制實驗的結果顯示，空間及每隻蠶結繭的時間、速度，是影響蠶繭型態很重要的因素。

(二) 在多隻蠶空間限制實驗中我們發現，如果空間太大蠶就會各自結繭 (如圖 38 的部份與圖 43)。

(三) 依據我們的實驗觀察，如果每隻蠶結繭的時間、速度不同的話，除非空間太小否則蠶也會分別結繭。

五、其他實驗

- (一) 在扭蛋實驗中，蠶可能會結出形狀像搖籃半透明的繭(如圖 47)，繭的其中一個面由於蠶絲不足會向內凹陷。
- (二) 在碗的實驗中，當空間的相當平緩的時候，蠶有時候會結出像平面繭的繭，但並沒有像平面繭一樣完全貼在表面。有些時候蠶會先拉好結構絲，再到結構絲下面結繭(如圖 50、51)。
- (三) 在這次的研究中，我們發現相同的實驗，接連兩批不同的蠶，做出來的結果卻不太一樣，如在碗裡第一批蠶似乎無法成功結繭(如圖 49)，第二批卻可以(如圖 50、51)。推測可能是因為這兩批蠶的健康狀況不同，因此結繭的能力也相對的不完全相同。
- (四) 角度實驗發現蠶會將結構絲由角的這一頭拉至另一頭，結構絲乾了之後西卡紙就會隨著絲的收縮而稍微彎曲，顯示出蠶絲的強韌。
- (五) 我們發現蠶出繭時都是朝向透明片那一面的(如圖 53)，推測蠶是利用光來判斷出繭的方向。

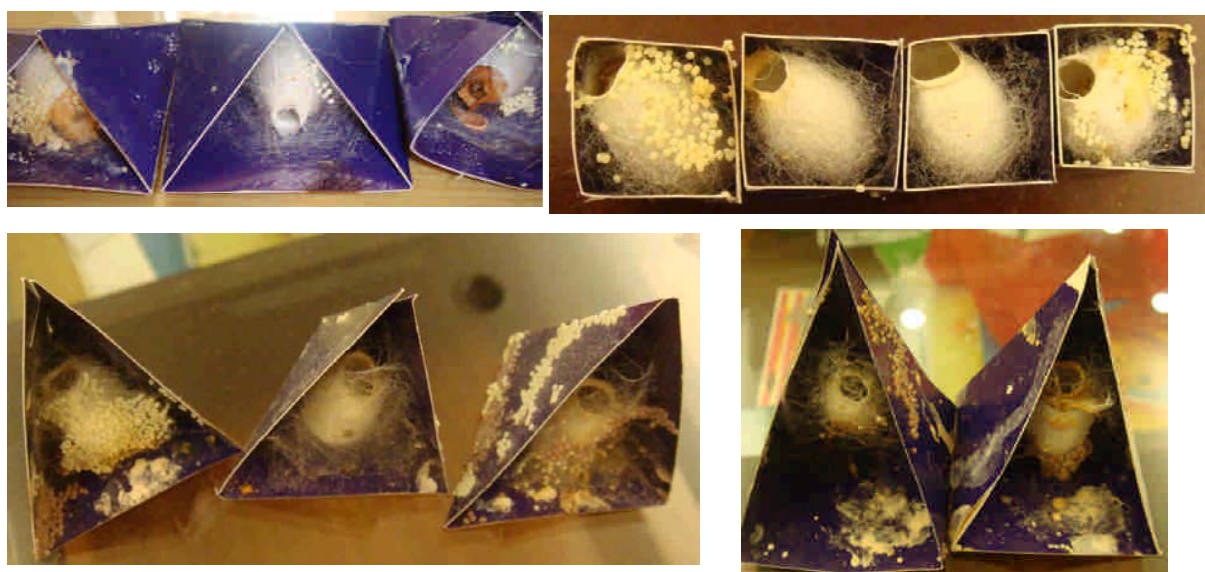


圖 53、蠶出繭的方向是朝向透明片那一面

柒、結論

蠶結繭是爲了在羽化期間、蛹體毫無反抗餘地的時候，以堅韌的繭確保自己的生命安全。而其結繭影響因素主要有角度、空間大小、形狀等。

在有關角度的實驗中，我們發現， 140° - 145° 是關鍵角度。角度小於 140° 時，蠶可順利結繭，而大於或等於 145° 時，蠶就無法結繭；而與大小形狀的實驗中，我們發現當結繭的模型空間小於一般繭體時，蠶就會延著壁面吐絲，結成與模型形狀相似的繭；在空間實驗中發現，當圓柱直徑爲 1cm 時，同形狀實驗，因空間過小，結出相似之圓柱形繭。直徑太大時，蠶則以結構絲來創造空間結繭，但結繭難度增加。上述實驗說明蠶能利用結構絲來探知角度和空間大小，但當條件不利於正常結繭時，蠶會結成一個形狀不正常的繭以保護蛹。在角度過大無法結成圓形繭時，蛹體雖將裸露，蠶仍會將絲吐盡。

另外，透過實驗觀察可知蠶亦能對光有反應，能夠充分掌握環境條件，調整蠶繭未來開口方向，減少出繭阻礙，蓋出一個安全可靠的家，可稱爲生物界中精密的建築師。

捌、參考資料及其他

- [1] 苗栗 泉明蠶業生態教育農場
- [2] 范義彬著：《蠶寶寶》（親親文化，2008）。
- [3] 行政院農業委員會 蠶桑館

<http://kminter.coa.gov.tw/subject/ct.asp?xItem=103645&ctNode=2488&mp=93>

【評語】 080310

” 養蠶” 觀察在目前四年級的課程中，每位學生都必須參與的安排，本件作品作者將其延伸到實際科學的實驗，如四周物品的角度如何影響到結繭吐絲，空間的大小如何影響結繭等，作者用很有創意但可行的設計去取得答案，這是一件難得的有創意的科學展覽作品。另外，在和學生問答的過程可以看出這二位小朋友完完全全很高興快樂的進行這件作品的實作，可以體會出她們是以” enjoy” 在做這研究，難得！難得！