

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：生物化學

作品名稱：彩色蠶繭之研究

得獎獎項：大會獎佳作

學 校：臺北市私立復興國民中學

作 者：林詩珣

評語與建議事項：

彩色蠶繭呈現了強大的應用性，其亮麗的色彩捕捉了大家的眼光，在餵食過程中，作者呈現時間上的仔細調控，並嘗試不同品種的反應。若能在機制上嘗試深入的瞭解，可增加作品的深度。



作者簡介

林詩珣(女)民國七十九年生，自幼對自然科學有著濃厚的興趣；從國小三下認識家蠶的一生，就對蠶情有獨鍾。跑遍了台灣大大小小養蠶農場，訪問過研究蠶的專家有廖光正博士、台大楊平世教授、苗栗農業改良場劉增城老師、林課長洋三先生、泉明蠶業農場塗先生、台東池上蠶業農場賴先生...等

作者經歷

就讀國小時曾參加

第三十五屆台北市科展

第四十二屆全國科展

就讀國中時曾參加

第三十七屆台北市科展

第四十四屆全國科展

第五屆『台灣網界博覽會』鄉土專題研究網站設計大賽

第五屆『國際網界博覽會』地方社會族群組

這六年來對家蠶作過專題研究的有：

(A)家蠶的一生

(B)天蠶變

(C)彩色蠶繭

(D)奈米蠶繭

獲得生物組特優

獲得生物組佳作

獲得生物組特優

獲得生物組最佳團隊合作獎

獲得金獎

獲得金獎，並榮獲總統召見

至今仍持續研究中；樂此不疲，期能精益求精。

未來期許

希望未來能進入基礎科學人才培育計劃（生科領域），再繼續研究彩色蠶繭；重新喚起世人對蠶桑業的重視，找到它們的第二春。正如彩色蠶繭一般，驚嘆之中留下一抹繽紛色彩。

彩色蠶繭之研究

中文摘要

近幾年來，蠶繭彩色化已引起廣泛的注意，日本與中國大陸紛紛投入此研究領域。我們用食用色素、酸性染料和活體染色劑中性紅等色素水溶液，以沾附於桑葉餵食、浸泡蠶體、注射入蠶體血腔等方法，使白色繭品系的家蠶生產出多種顏色的彩色蠶繭，其中以附於桑葉餵食最有效率，我們就此法找出投與色素的有效期間，可以比日本、中國的方法更節省色素。同法處理黃色品系的家蠶則產生黃色與所加色素的混合色蠶繭。由於這樣得到的彩色蠶繭放久了都會褪色，我們試用奈米色素餵食家蠶所得彩色蠶繭，與一般食用色素所製成的彩色蠶繭比較，發現對各種光照、清潔劑清洗等處理，用奈米色素所得蠶繭明顯較用一般食用色素所得蠶繭不易褪色。這樣用奈米色素生產的彩色蠶繭，因為解決了褪色的問題而更具有潛在的產業價值。

A study on colored silkworm cocoons

Abstract

To make silkworm cocoons with different colors has received a great attention recently. Japan and China have invested great resources in this field of the study. In order to let white cocoon silkworms produce cocoons of different colors, we used the aqueous solutions of food dyes, acid dyes and neutral red, and fed the worms with mulberry leaves immersed with such aqueous solutions, or directly soaked or injected them with the solutions. We found that using mulberry leaves immersed in the dye solutions was the best approach. We improved this approach by finding a critical, effective time of applying dyes. It saved the dyes and labor than those of Japan and China. We also found that yellow cocoon silkworms produced yellow and mixing colored cocoons by the mulberry leaf feeding method with the same dyes. Because all colors of the cocoons mentioned above faded easily, we furthermore tested nano-dye and found that colors of the cocoons had better resistant to fading away in washing with detergents under various types and intensities of light illumination. This result suggested that nano-dye has a potential in solving the fading problem of the colored cocoons.

一、前言

前年暑假我們到苗栗進行自然觀察之旅，在參觀行政院農委會苗栗農業改良場時，看到白色和黃色等等不同顏色的蠶繭，經農改場林課長解說，得知不同品系的蠶所結出的蠶繭顏色有差異。我們想，不同品系家蠶吃進相同桑葉卻產出不同顏色的蠶繭，究竟遺傳與環境是如何影響生物呢？如果可以用人為方法改變蠶繭的顏色，不就可以探討這個秘密了嗎？

我們如果嘗試在蠶的食物—桑葉中加入食用色素和奈米色素，就能試驗讓用色素隨著桑葉經由蠶的消化系統，進而吐出有顏色的絲。我們又想到如果這樣蠶並不愛吃染色的桑葉，那麼是不是也可以用打針的方式使色素進入蠶體內，甚至用五齡蠶浸泡色素水溶液中染色而獲取有色的繭。

- (一) 用餵食、浸泡、注射等方法將色素導入家蠶體內，以獲得具有顏色的蠶繭，並觀察家蠶的外觀及生理變化，選出較佳的實驗方法組合。
- (二) 比較不同色素以不同技術導入蠶體所得蠶繭顏色和大小的變化，選出產生彩色蠶繭效果較佳的色素及技術組合。
- (三) 探討環境(食物或色素)能否改變遺傳(家蠶品系)性狀的表現，並探討蠶繭變化的生理意義。
- (四) 探討奈米色素所產生的彩色蠶繭經過各種檢測，如：日曬、光照、浸水…等，蠶繭是否會褪色

二、研究方法與過程

前人研究

自然界有很多昆蟲的幼蟲體內具有泌腺體，能吐絲結繭。家蠶是一種以桑葉為唯一食物的泌絲昆蟲，所以又稱為桑蠶。

蠶兒時期，因飼育溫度、品種和給桑量之差異，其經過日數也不同，就以苗栗地區春蠶飼育(21~27°C)的二化性中日雜交種飼育平均值為例列表如下：

項目 齡別	食桑時間	眠中時間	合計
1	78小時(3日6小時)	25小時(1日1小時)	103小時(4日7小時)
2	58小時(2日10小時)	25小時(1日1小時)	83小時(3日11小時)
3	82小時(3日10小時)	26小時(1日2小時)	108小時(4日12小時)
4	108小時(4日12小時)	31小時(1日7小時)	139小時(5日19小時)
5	183小時(7日15小時)	—	183小時(7日15小時)
合計	509小時(21日5小時)	107小時(4日11小時)	616小時(25日16小時)

家蠶體內具有一對絲腺，由下唇特化而成，是合成和分泌絲物質的特殊器官。每次眠前，幼蟲總是先吐絲纏住腹足，固定眠蠶有利於蛻皮。但絲腺在第四齡前並不發達，在第五齡開始急遽生長，尤其在第五齡後期，絲腺已成為體內最大器官，老熟時吐絲結繭，在繭內進行變態。(參考資料之(一))

台灣保存的家蠶品系，可依蠶繭顏色概分為綠色、金黃色、和淡粉紅色等三類；不同顏色蠶繭品系交配所得後代，繭色界於雙親之間。

- (一)把染料或色素水溶液噴在桑葉，身體也會顯出該染料或色素的顏色。
- (二)發展出來的簡易昆蟲微量注射技術把中性紅染料注射到蠶的體腔內，也可以使蠶體整隻變紅，並做出紅色的蠶繭。
- (三)桑葉中含有許多種色素，蠶吃了桑葉同時也吃到色素，因此有可能其中的色素從腸內透過中腸皮膜(腸壁)進入體液，再從體液透過絲腺皮膜進到絲腺裡面，到達液狀絹使之著色。終於產出有顏色的蠶繭。
- (四)日本群馬縣的荻原繁治先生養的蠶不慎掉進醃製黃蘿蔔的醬缸裡面，浸了一身的黃色醬液。它將蠶取出，那隻蠶竟然吐出黃色的絲來結繭。

(五)蠶浸在水中二十幾分鐘也不會溺死。(參考資料之(二))

家蠶天然彩色繭的生產是在普通家蠶常規飼養過程中，添食經過處理的生物有機色素，從而改變家蠶絹絲腺的著色性能，生產出五顏六色的彩色繭。(參考資料之(三))

據了解這是採用高科技的技術，使原來白色的蠶變成帶有顏色的蠶，這些蠶餵普通飼料，結的是白繭，如另行選擇彩繭專用飼料，就可結出淺紅、黃色、淺藍等彩色蠶繭(參考資料之(四))。

家蠶天然彩色繭研製成功，為當前家蠶育種開拓了一條新的途徑。避開了利用基因重組這一繁瑣，耗時技術來生產彩色繭絲，這不僅減少了生產環節，節省了大量的勞動力和能源，又能減輕印染對環境的污染。(參考資料之(六))

(一)家蠶：白色繭品系(國.富)×(農.豐)、黃色繭品系(泰金)的幼蟲(購自苗栗獅潭鄉涂泉明生態教育蠶業農場)。

1. 養蠶用具：塑膠籃、墊紙、新鮮桑葉。
2. 色素：附錄(表3)。
3. 實驗器材：注射器、標籤。
4. 測量及記錄工具：天秤、計時器、計量匙、溫度計；相機、感光度二百的軟片、數位相機、腳架、電腦、列表機、掃瞄器、紀錄簿。

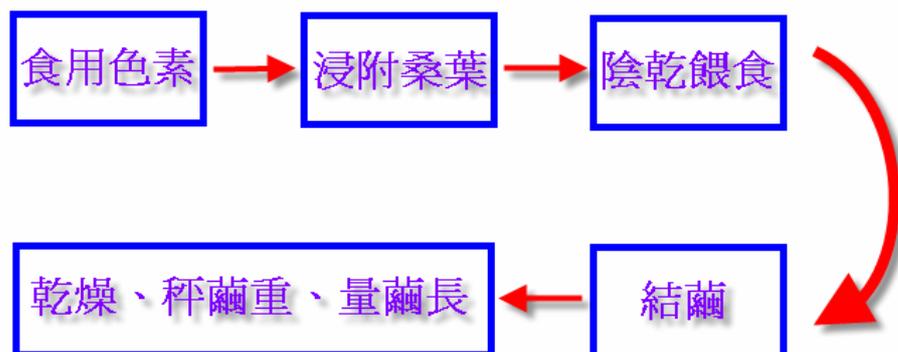
三、研究結果與討論

(一)、利用三種方法讓白色繭品系的家蠶，產生具有顏色的蠶繭

1. 餵食法實驗

浸10分鐘的桑葉不會壞掉，且磨碎再泡水顯出色素，可知色素被吸收進葉子裡。

實驗過程：



(1)市售5種食用色素，分別調配成濃度2.5% 的水溶液(圖9)。

(2)桑葉浸入色素水溶液10分鐘並多次將桑葉翻面後取出，在空氣中陰乾(圖10)

(3)泡過色素溶液的桑葉餵予三齡幼蠶，每種色素均餵30隻(圖11)。

(4)對照組A的桑葉則浸泡蒸餾水10分鐘後取出，陰乾後餵予30隻三齡幼蠶。對照組B則為黃色繭品系(泰金)家蠶，直接餵食桑葉，不做色素處理。

(5)繼續餵食浸過色素溶液及蒸餾水的桑葉至結繭，收集蠶繭(圖12-16)。

- (6)完繭後約一週時進行乾燥，讓蛹不能羽化以便保存蠶繭，並量繭長和秤繭重。
乾燥方法：將蠶繭放在烘箱用120°C烘一小時，再以80°C烘一小時，最後再用60°C烘一小時後在室溫下保存。

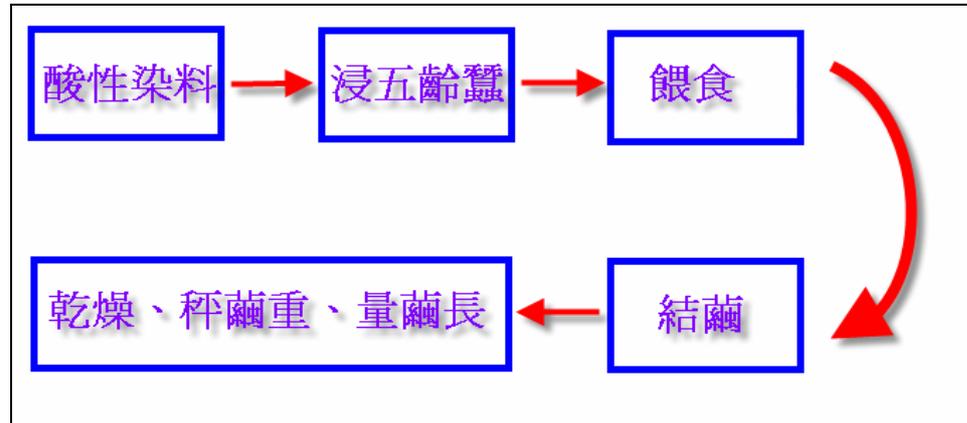
實驗結果：

- (1)對照組A餵食浸泡蒸餾水的桑葉，所結的繭是白色的；實驗組餵食經過浸附色素的桑葉，根據色素的不同，所得到的蠶繭具有不同的顏色(表4)。
- (2)對照組A的平均繭重為0.67公克。對照組B的平均繭重為0.42公克。實驗組的平均繭重依色素來分為：紅色7號>藍色1號>黃色5號=黃色4號>綠色B。結繭成功率則以黃色5號27% 為最高。

2. 蠶體浸泡法實驗

我們先做預備實驗將五齡蠶分別浸泡在酸性染料中3、5、10分鐘，觀察牠們的活動力，結果3分鐘的染色不夠深，10分鐘時看見蠶寶寶靜止不動，而5分鐘則未見不良影響，最為適當。

實驗過程：



- (1) 將6種酸性染料色素分別調配成濃度2.5%的水溶液(圖17)。
- (2) 24°C 為蠶最適應的溫度，每種顏色染料溶液分別放入30隻五齡第一天的蠶，浸泡5分鐘(圖18)後撈出。
- (3) 對照組A則同樣將30隻五齡第一天的蠶放入24°C 的蒸餾水中，浸泡5分鐘後撈出。對照組B則為黃色繭品系(泰金)家蠶，直接餵食桑葉，不做色素處理。
- (4) 待讓蠶恢復活動後，將蠶移到桑葉上繼續養到結繭，再收集蠶繭(圖19-20)。
- (5) 結完繭後約一週時進行乾燥。

實驗結果：

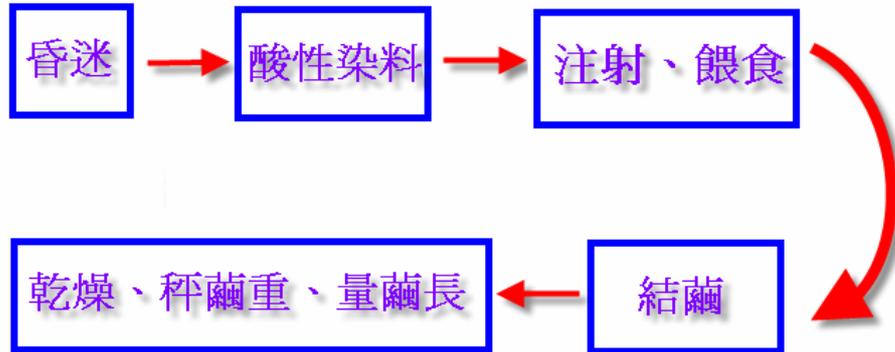
- (1) 五齡蠶在浸泡色素溶液過程中仍不時蠕動，此時染料即開始著色在蠶的表皮。蠶從浸泡液中取出後，約15分鐘後即可恢復活動，開始進食桑葉。其身體顏色則仍繼續加深，至約30分鐘後身體顏色變化不再明顯，但等三天後，蠶身上的顏色因其成長而又漸漸變淡，最後所結出的彩色繭顏色也非常淡，肉眼僅約略可見(表5)。
- (2) 對照組A的蠶則沒有影響，所結的繭也是白色的。
- (3) 對照組A的平均繭重為0.62公克。對照組B的平均繭重為0.42公克。實驗組的平均繭重依色素來分為：藍色62號>棕紅色119號>黃色42號>綠色25號=藍色

83號>紅色249號。結繭成功率則以黃色42號的23%最高。

3. 注射法實驗

爲了提高注射法的成功率，我們先做預備實驗，選用五齡第3天的蠶18隻，放入24℃蒸餾水中持續觀察，約5分鐘時開始稍見蠶活動力降低，所以從第5分鐘開始每3分鐘各取出3隻，觀察蠶的活動力，結果發現20分鐘後蠶已靜止不動，容易注射(表6)，甦醒後也正常活動及進食，所以實驗時採用浸水20分鐘使之昏迷。至於選擇在五齡第三天實驗是因為蠶在這個時候皮膚韌性較佳，且不會太緊繃，注射傷口小。

實驗過程：



- (1) 準備6種色素，以蒸餾水調配成濃度2.5%的色素溶液提供注射。
- (2) 將五齡家蠶分成6組，每組30隻，放入24℃之蒸餾水中20分鐘(圖21)，並且使之昏迷後取出，用紙巾將蠶體表面擦乾。
- (3) 以1ml注射器裝上25G針頭，分別吸取色素溶液，從家蠶腹部中段的節間膜斜插入針頭，每隻蠶注入0.02ml (圖22)。注射前先將空氣排掉以免注入空氣，針頭不可外彎，抽針時要慢慢地抽，才不會傷害到蠶。注射完將外滲的溶液擦乾(圖23)。
- (4) 對照組A同樣先使蠶昏迷後，以25G針頭將0.02ml蒸餾水注入30隻五齡第三天的蠶之體腔。對照組B則為黃色繭品系(泰金)家蠶，直接餵食桑葉，不做色素處理。
- (5) 等待昏迷恢復後繼續餵桑葉至結繭，收集蠶繭(圖24)。
- (6) 結完繭後約一週時進行乾燥。

實驗結果：

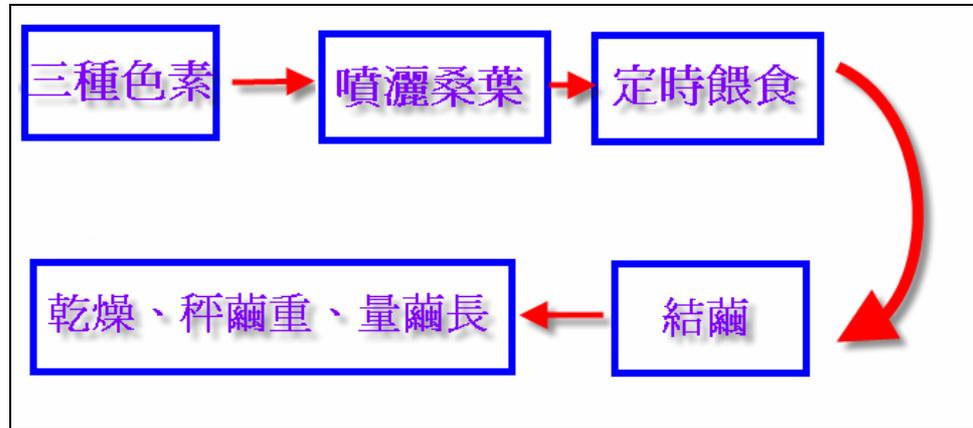
- (1) 五齡蠶經過20分鐘浸水使之昏迷後即靜止不動，較容易注射。注射完抽針出來時注射液(或蒸餾水)會有一點點外滲，但是因為針頭插得比較深，外滲量對實驗影響不大。注射後可以目視看到蠶體逐漸顯現出色素的顏色，蠶約在30分鐘後甦醒，開始活動吃桑葉，經過4~5天後開始吐出絲，所得蠶繭較小、顏色較淡(表7)。
- (2) 對照組A經注射蒸餾水後所結的繭仍是白色。
- (3) 對照組A的平均繭重為0.60公克。對照組B的平均繭重為0.46公克。實驗組的平均繭重依色素來分爲：中性紅>湖藍色A36>牡丹色A46>凍黃色A56>彩綠色

A49>花藍色51。結繭成功率則以中性紅的30%最高。

(二)、在不同時間點餵食家蠶對結繭的影響

蠶在第五齡開始迅速生長，五齡第三、第四天時絲腺大量分泌，直到吐絲結繭，而五齡第一、二天剛蛻完皮比較脆弱。為找出產生彩色蠶繭的最佳餵食時間點，我們實驗分別在五齡第三、四、五、六、七天開始餵食。

實驗過程：



1. 將食用色素黃色5號、酸性染料黃色42號和生物染色劑中性紅，分別調配成濃度2.5%的色素溶液。
2. 將三種色素溶液分別均勻噴灑在桑葉葉面及葉背，在空氣中陰乾。
3. 將噴灑過色素溶液的桑葉餵予五齡第三、四、五、六、七天的蠶，每種色素各30隻，分別在五齡第三、四、五、六、七天各餵6隻。
4. 繼續餵食噴灑過色素溶液的桑葉至結繭，收集蠶繭。
5. 結完繭後約一週時進行乾燥。

實驗結果：

1. 在餵食過程中我們觀察到餵食中性紅的蠶，全身在餵食後十分鐘內即顯現相當均勻的顏色，餵食食用色素黃色5號及酸性染料黃色42號的蠶，其身體和足部則約在10個小時後才顯現出接近色素的色。
2. 因色素的不同，所得到的蠶繭顏色也不同。我們發現在五齡第三、四天各餵食一天的蠶，若停止餵食噴有色素的桑葉，則蠶體上的顏色就逐漸褪掉。在五齡第五天時開始餵食，蠶的結繭情況最好，所結蠶繭顏色最明顯。而在五齡第六、七天餵食，所結蠶繭顏色非常的淡。(圖1-3)

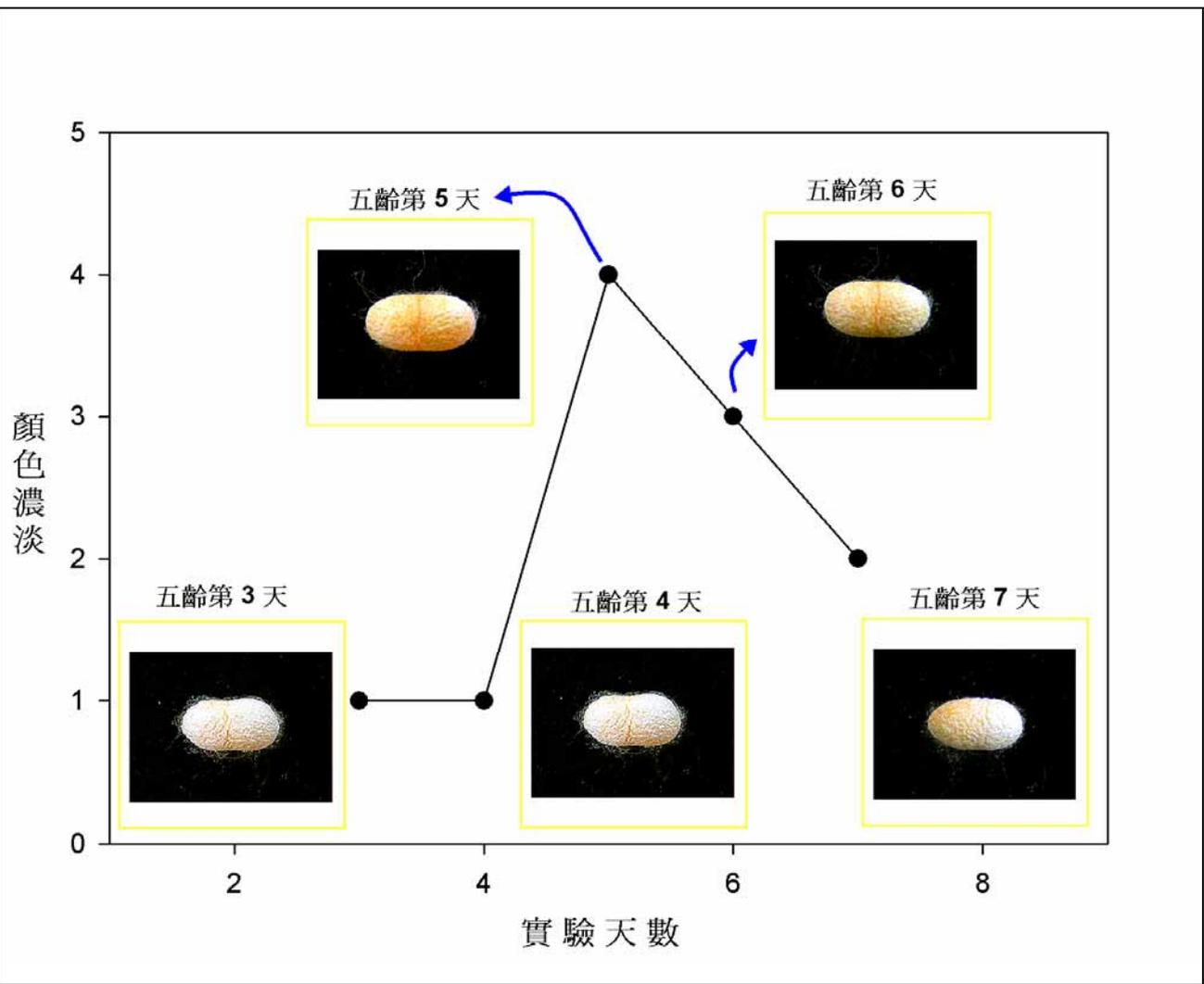


圖1: 餵食噴灑食用色素黃色5號之桑葉

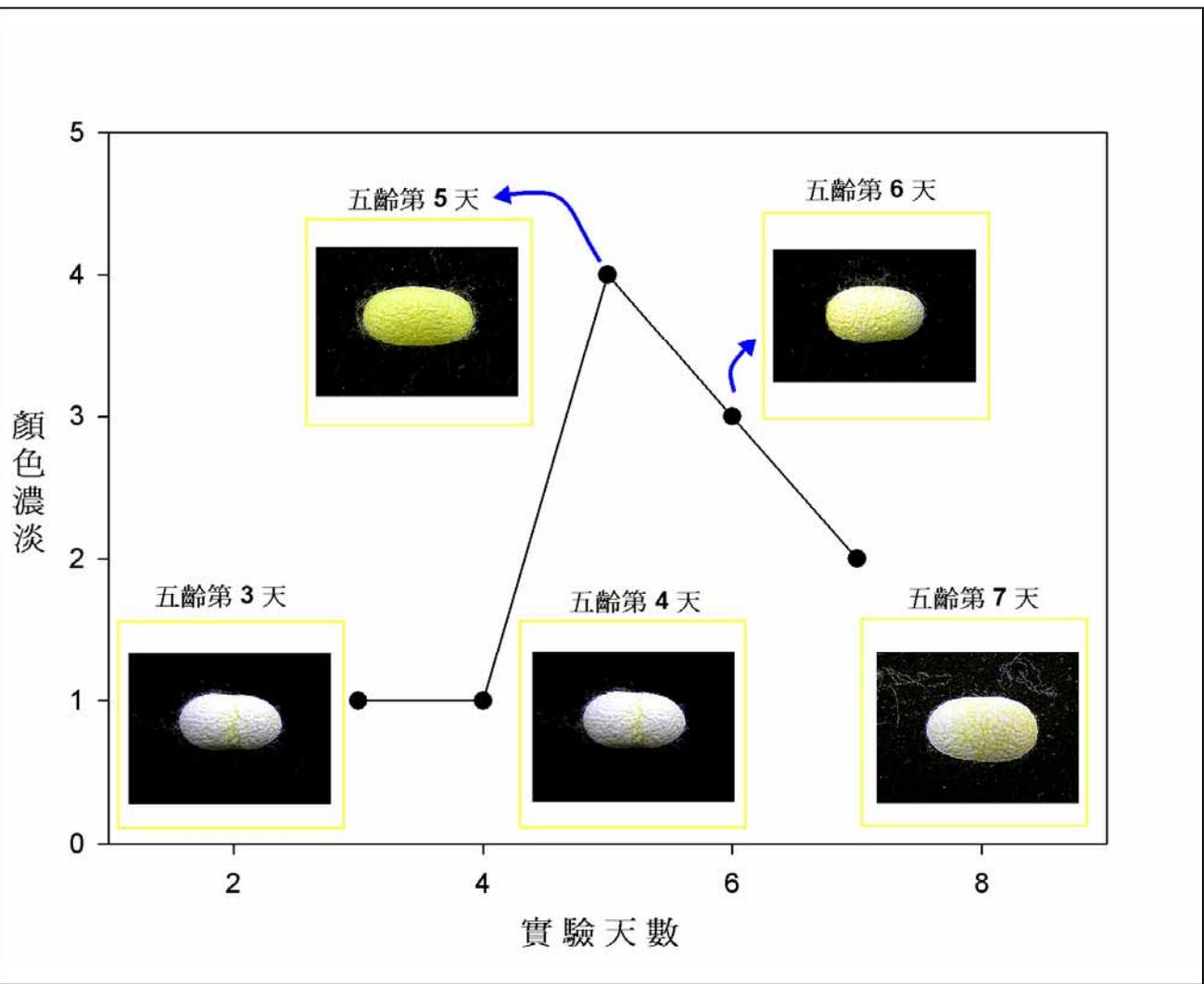


圖2: 餵食噴灑酸性染料黃色42號之桑葉

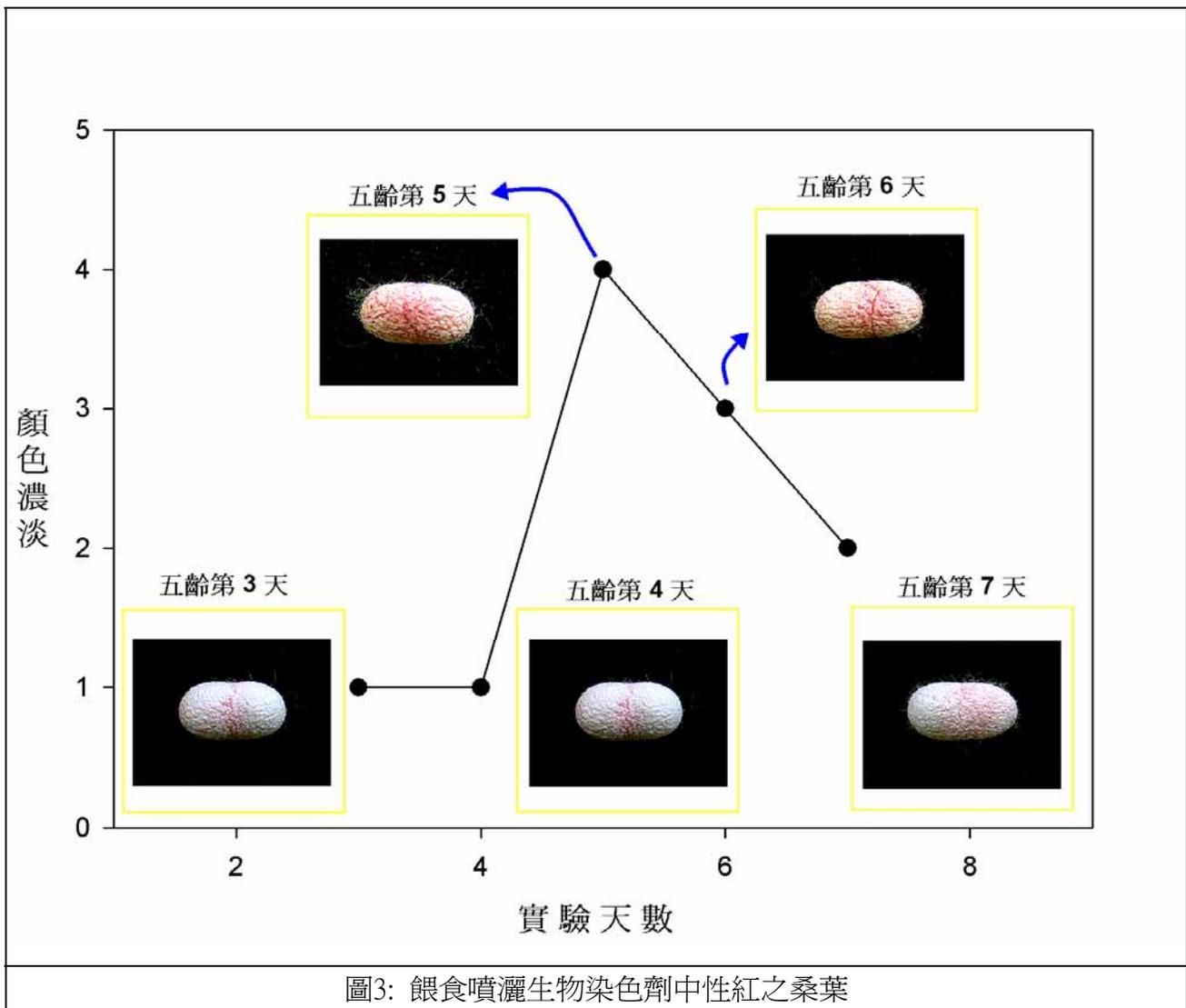


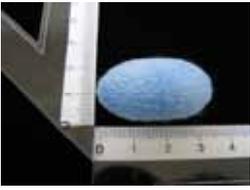
圖3: 餵食噴灑生物染色劑中性紅之桑葉

(三)、改良餵食法—在五齡第五天餵食

1. 實驗過程：如上述步驟。
2. 實驗結果：

- (1)在對照組A餵食噴灑蒸餾水的桑葉，所結的繭是白色的；對照組B的黃色繭品系(泰金)家蠶不做色素處理，所結的繭是金黃色的；實驗組餵食經過噴灑色素的桑葉，根據色素的不同，得到具有不同顏色的蠶繭(表1)。
- (2)對照組A的平均繭重為0.66公克。對照組B的平均繭重為0.45公克。實驗組的平均繭重依色素來分為：中性紅>藍色62號>黃色5號>綠色25號>黃色42號。由本實驗可知以中性紅色素處理所結的繭平均繭長最長，平均繭重最重(圖25、26)。

表1 改良餵食法實驗所得到的彩色繭

色素		結繭粒數	結繭成功率%	繭色
食用色素 黃色5號	I	26	87	
	II	27	90	
	III	26	87	
酸性染料 黃色42號	I	22	73	
	II	24	80	
	III	22	73	
酸性染料 藍色62號	I	27	90	
	II	25	83	
	III	26	87	
酸性染料 綠色25號	I	24	80	
	II	23	77	
	III	25	83	
生物染色劑 中性紅	I	26	87	
	II	29	97	
	III	30	100	
對照組A	I	28	93	
	II	29	97	
	III	27	90	
對照組B	I	29	97	
	II	28	93	
	III	29	97	
色素		結繭粒數	結繭成功率%	繭色
酸性染料 黑色	I	22	73	
	II	22	73	
	III	23	77	

(四)、奈米色素餵食法

1. 實驗過程： 如上述步驟。

2. 實驗結果：

(1)在對照組A餵食噴灑蒸餾水的桑葉，所結的繭是白色的；對照組B的黃色繭品系(泰金)家蠶不做色素處理，所結的繭是金黃色的；實驗組餵食經過噴灑色素的桑葉，根據色素的不同，得到具有不同顏色的蠶繭(表2)。

(2)對照組A的平均繭重為0.61公克。對照組B的平均繭重為0.41公克。實驗組的平均繭重依色素來分為：紅>澄>黃>藍>綠>紫。由本實驗可知以紅色素處理所結的繭平均繭長最長，平均繭重最重。

表2. 奈米色素實驗所得到的彩色繭

奈米色素	結繭粒數	結繭成功率%	平均繭長 cm	平均乾繭重 (含蛹) g	繭色
紅	27	90	2.75	0.31	
橙	26	87	2.55	0.29	
黃	24	80	2.74	0.30	
綠	23	77	2.56	0.27	
藍	25	83	2.65	0.28	
靛	24	75	2.36	0.26	
紫	22	73	2.10	0.24	
對照組A	29	97	3.54	0.61	
對照組B	28	93	3.20	0.41	

註：93年10月完成。

(五)、有色蠶繭的褪色實驗

1. 實驗過程：

- (1).將蠶繭放在陽台照射日光一個月(每日溫度24-28度、時間上午9點至下午4點)。
- (2).將蠶繭放在100瓦的桌燈下，每天照射8小時，持續一個月。
- (3).將蠶繭浸水(水溫分別為：20°C、40°C及100°C)4小時。
- (4).將蠶繭浸泡在Rene Furterer Forticea洗髮精(5 cc加水形成100 cc)4小時。
- (5).將蠶繭浸泡在新奇潔艷漂白水(5 cc加水形成100 cc)4小時。
- (6).將蠶繭浸泡在Triclson洗碗精(5 cc加水形成100 cc)4小時。
- (7).將蠶繭浸泡在毛寶冷洗精(5 cc加水形成100 cc)4小時。
- (8).將蠶繭浸泡在Lux麗仕香皂水(5 克加水形成100 cc)4小時。
- (9).將(1)~(8) 的蠶繭定時以目測方式觀察其褪色情形。

2. 實驗結果：

如圖4到圖8所示，奈米色素著色蠶繭有很高的穩定性，不易褪色。

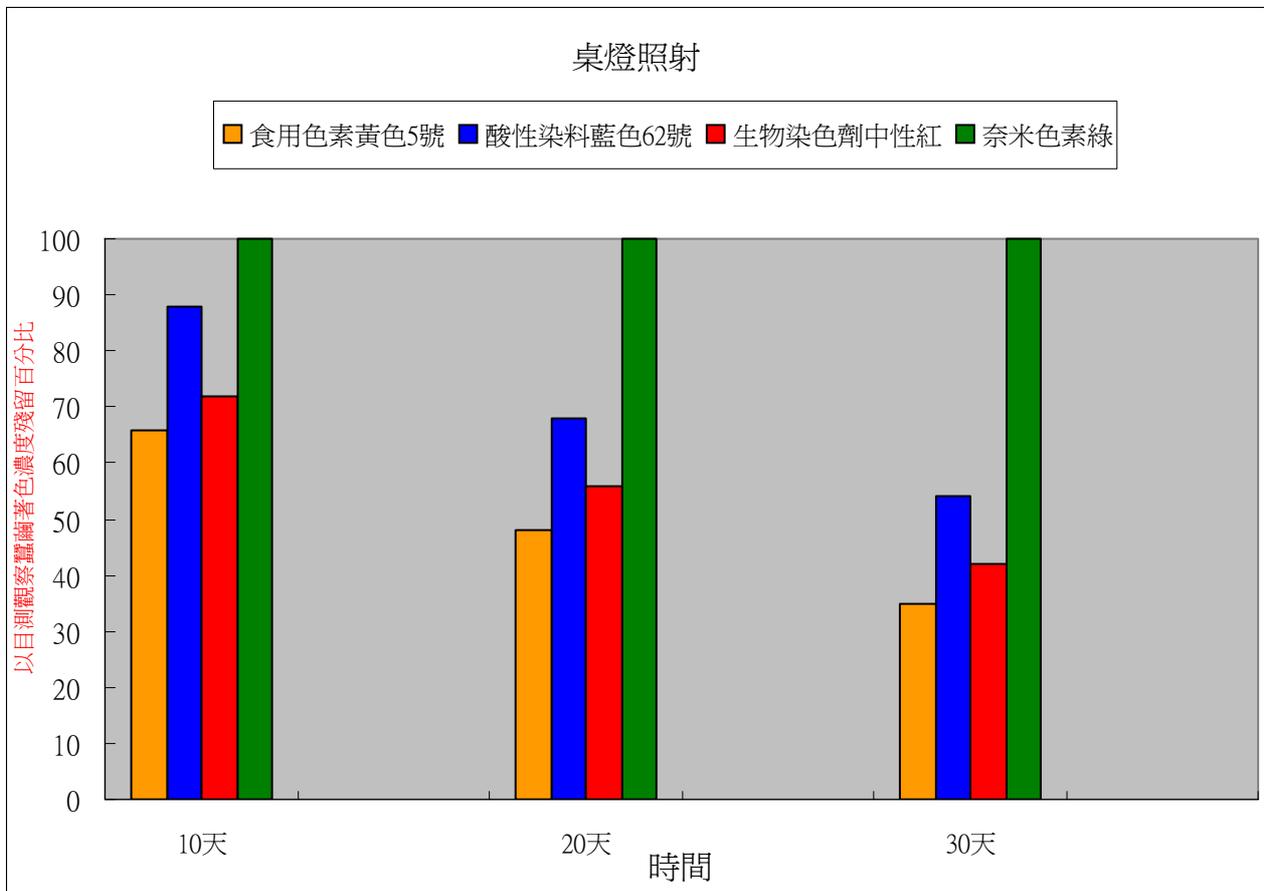


圖4: 目測觀察桌燈照射彩色蠶繭著色濃度殘留百分比

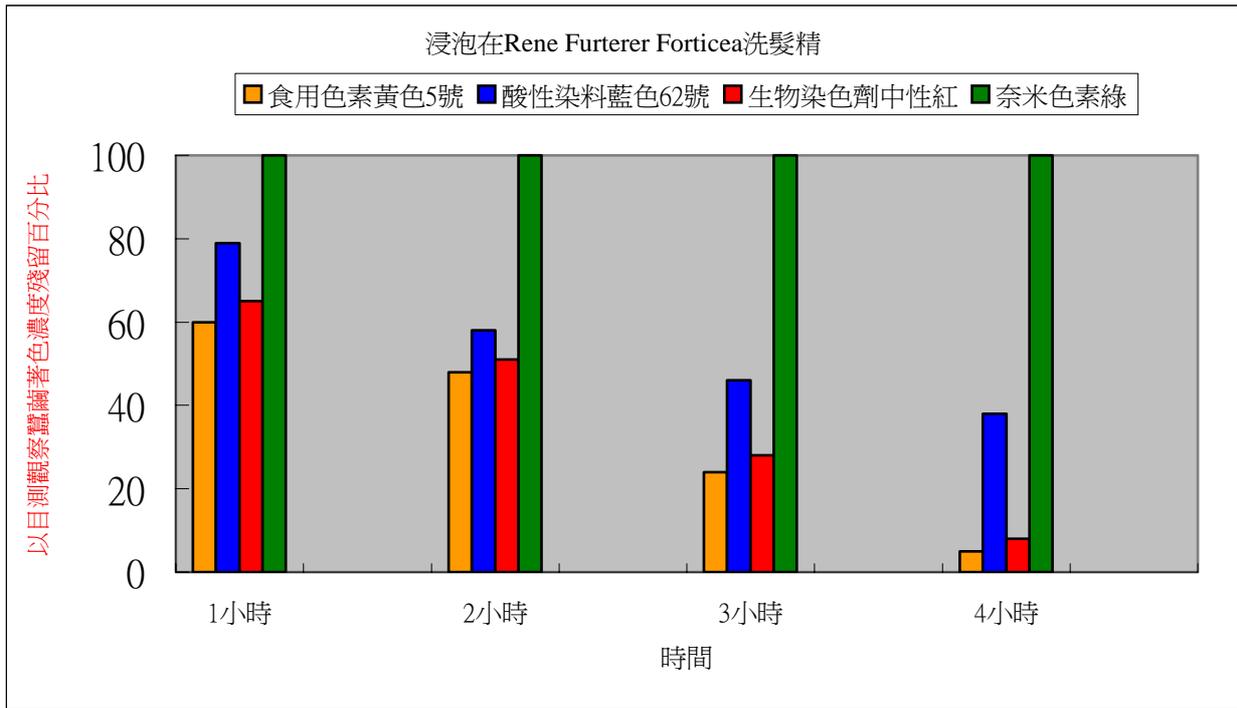


圖5: 目測觀察浸泡在洗髮精(Rene Furterer Forticea)彩色蠶繭著色濃度殘留百分比

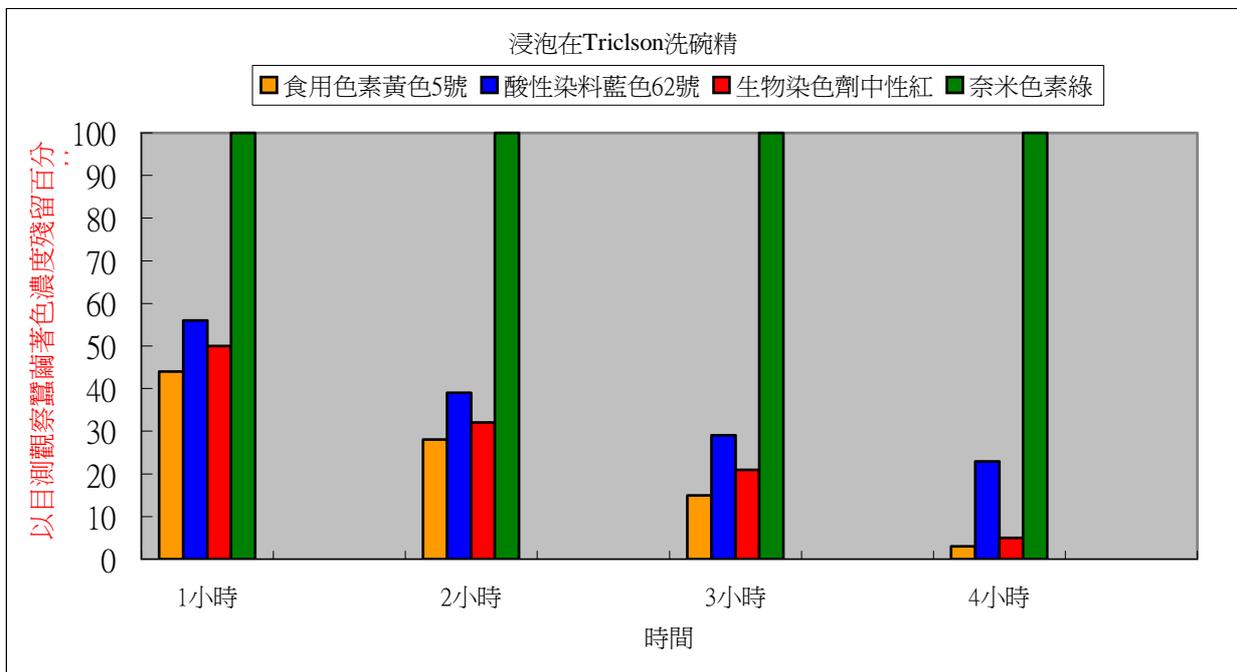


圖6: 目測觀察浸泡在洗髮精(Triclson)彩色蠶繭著色濃度殘留百分比

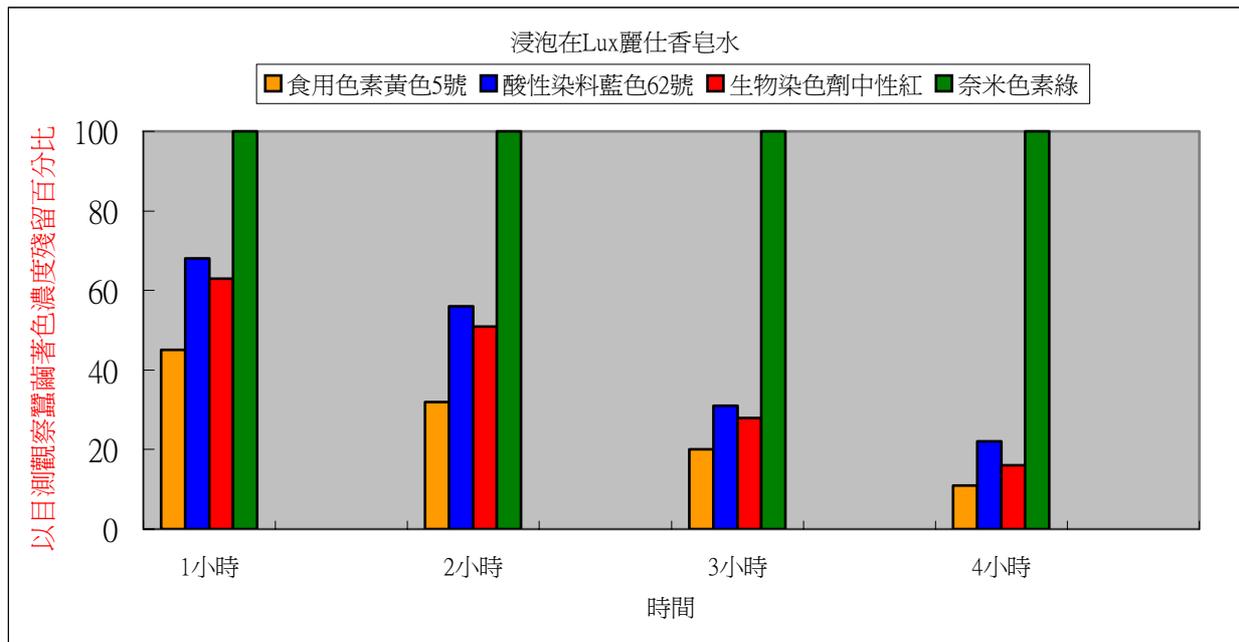


圖7: 目測觀察浸泡在Lux麗仕香皂水彩色蠶繭著色濃度殘留百分比

四、結論與應用

- (一)在餵食法中我們把色素水溶液當藥水來用，我們將“藥水”浸附在桑葉上讓蠶自動吃下去，但是產生的繭比對照組小，可能因為我們雖然特別選用食用色素，還是沒有完全合乎蠶的偏好，而使蠶吃得較少所致。
- (二)在浸泡法的實驗中，我們曾將一隻四齡蠶誤認為五齡第一天而加以浸泡黃色酸性染料，不料觀察到隔天這隻蠶開始蛻皮，發現其蛻下的皮即為黃色，蛻皮後蠶身回復原來的白色。由此推論浸泡必須在五齡第一天進行，若是在四齡浸泡，則顏色很快隨著表皮蛻掉，無法再慢慢滲入體內(圖31、32)，另外色素水溶液可能被蠶體表面的腊狀物阻隔，所以浸泡法所得到的蠶繭顏色比較淡。
- (三)在注射法的實驗中在把色素溶液注射到蠶體腔內時，為了避免蠶掙動受傷，我們先將蠶浸入蒸餾水中使之昏迷。蠶沒入水中20分鐘後還可以甦醒繼續活下去，其對缺氧的忍耐度比人類更強。關於此點我們感覺到也是一項重要發現，和一般所認知的情況不太相同，也將是未來我們繼續研究的重點。
- (四)在注射法的實驗中，只把染液從節間膜打進去，並沒有刺到絲腺，可是蠶最後還是結出有色蠶繭，所以我們推測色素能夠在體液中擴散再進到絲腺，尤其以中性紅著色最深。而餵食法中浸附在桑葉上的色素被蠶吃下後，可能是經過消化道後先進入體液，再同樣進到絲腺。我們發現不同實驗方法中，用同色系的不同色素所產生的繭色彩濃度不同，這可能是色素在通過消化道壁、絲腺壁的能力有所差異。類似情形，浸泡法中的色素可能是滲過表皮進入體液再同樣進到絲腺，那麼色素通過消化道、表皮及絲腺壁的能力就會影響最後產生繭之彩色濃度。(圖33)。
- (五)由於「改良餵食法」實驗相當成功，我們特別將泰金品系的家蠶以同樣方法，在五齡第五天餵食分別噴有食用色素綠色B及中性紅色素溶液之桑葉，以進一步探討泰金品系的家蠶除了能吸收桑葉中的黃色色素外，噴在桑葉中的色素是不是一樣可以經由消化道最後到絲腺著色而吐出彩繭。我們非常興奮的發現這樣的實驗讓泰金品系的家蠶成功地結

出了青綠色及橘黃色的蠶繭（圖34、35、36、37、38），也讓我們更有信心在將來可以進一步實驗來探討環境（食物或色素）對不同品系家蠶遺傳性狀表現的影響。

(六)我們把不同色素導入蠶體內，最後所得蠶繭的顏色，和色素原來的顏色相同，只是顏色都變得較淡。我們推論彩色蠶繭的色素可能就是原來實驗所用的色素，這些色素分子不論在移動中經由消化道、表皮或體液似乎沒有太大改變，就可以再到達絲腺，成為絲的成分。

(七)為什麼不同品系的家蠶吃同樣的桑葉會有產生黃色繭與白色繭的差異呢？我們有如下之推論：

1. 黃色繭的黃色色素是來自桑葉的成分。
2. 桑葉的黃色色素是經過蠶的消化道進入蠶的體液，(黃色繭品系的腳部看起來比較黃，即為透過薄薄的蠶表皮顯現體液的黃色)，再隨著循環到達絲腺，混入真絲的原料之中。
3. 白色繭品系家蠶的消化道壁或絲腺壁，會阻礙黃色色素的通過或把色素破壞掉。
4. 若白色繭品系的蠶消化道壁阻隔桑葉的色素，則未被吸收的桑葉色素可能還留在蠶沙(糞粒)裡，因此其蠶沙的桑葉色素含量可能多於黃色繭品系。
5. 出現在蠶繭的桑葉色素可能不是對蠶的生理健康很重要，因為白色繭品系的蠶也長得很健壯。
6. 蠶以外的昆蟲結的繭並不是白色，因此我們認為有色繭比較自然，有保護色的作用，在野外環境中比較不明顯，而有助於躲過敵害。

(八)「奈米國家型科技計畫」已於2003年6月通過，宣示奈米產業的重要性。本實驗用奈米色素所得彩色蠶繭經各種光照、清潔劑清洗等處理均不褪色，因此具有潛在的產業價值。這些奈米色素歷經蠶的消化道和絲腺，顯然並沒有被破壞，其在彩色蠶繭內的分佈，即存在絲質或絲膠？與這2種蛋白質如何結合？是否和一般食用色素所得彩色蠶繭者一樣？未到達蠶絲的奈米色素，是全部排出體外？或能留至化蛹、蛾甚至下一代的卵？都是值得探討的問題。

五、實驗心得與未來想研究的方向

(一)餵食法所產生的蠶繭顏色最明顯，蠶繭最大，且餵食是最自然的養殖方法，色素處理也最省時。

(二)注射法可最快產生具有顏色蠶繭，但得到的蠶繭顏色較淡，蠶繭較小。

(三)蠶體浸泡法最差，顏色不明顯，較不自然；染料需要量較多，又須處理剩餘染料溶液以避免污染環境。

(四)蠶繭的顏色是由遺傳決定，但如以食物染色、蠶體注射染料或浸泡染料等方法，也能獲得不同顏色的蠶繭，但這些後天獲得的蠶繭，顏色較不均勻。

(五)本實驗所提出的新方法「改良餵食法」係在蠶五齡第五天時進行餵食，若選擇合適的色素，可以在最短時間內生產色澤均勻、較大、較重的蠶繭。

(六)目前日本和中國大陸都在實驗生產彩色蠶繭，也確實增加了蠶農的收入，但他們大多從五齡第一天或更早開始餵食。而我們在這個實驗發現，太早開始餵食，不但色素會被蠶體代謝或排放出來，也造成材料、人力及時間的浪費，我們的實驗結果可以供他們參考。

- (七)利用奈米色素染色並搭配餵食法來生產彩色蠶繭具有很高的能力抵抗光照、清潔劑清洗等，不會褪色，遠優於一般色素製成彩色蠶繭。
- (八)奈米色素溶液濃度不能太高，否則會對蠶造成傷害。
- (九)奈米色素的彩色蠶繭的實驗不論在科學教育或學術研究等方面應用性都很廣。彩色蠶繭的研究可以配合目前台灣欣欣向榮的休閒觀光農業，重新喚起世人對蠶桑業的重視，找到它們的第二春。正如彩色蠶繭一般，驚嘆之中留下一抹繽紛彩色。

六、參考文獻

- (一) 徐永松主編，昆蟲小百科－美麗的昆蟲，龍泰出版社，48、49頁。
- (二) 廖光正，彩色蠶繭生產技術，蠶蜂業專訊，革新第一號24期，第6頁(1992)。
- (三) 劉增城，家蠶的一生，農委會苗栗區農業改良場，(2002)。
- (四) 毛松霖，國民小學自然課本第六冊(三下)，國立編譯館，第35頁，(1999)。
- (五) 呂宗昕，奈米科技與光觸媒，商周出版，第17頁，(2004)。
- (六) 天然彩色繭在安徽省規模飼養成功
http://www.agri.gov.cn/kjtg/t20030722_103003.htm
- (七) 吃高科技飼料的蠶寶寶
<http://tech.enorth.com.cn/system/2003/07/10/000594512.shtml>
- (八) 家蠶天然彩色繭研製成功
<http://www.ahinfo.gov.cn/xinwen/ahkjxw/2002/kwxw07232.htm>
- (九) 群馬縣蠶業試驗場 蠶種飼料部 飼料環境課－多樣化色繭色生系的生產技術
<http://www.affrc.go.jp/ja/db/seika/data-kan-tou/hiz/narc00k558.html>
- (十) 蠶業試驗場栽桑育蠶部 育蠶飼料課 彩色繭：生系的生產技術
http://www.pref.gunma.jp/e/01/nouseika/gi_jyutsu/journal/2001news09/mayu.htm
- (十一) 蠶糸園芸課 蠶糸ク° ループ
<http://www.pref.gunma.jp/e/04/sanen/sansi/yattemiyou/mayude-yattemiyou/sometemiyou/sens.html>
- (十二) 彩色繭的飼育法
<http://www.mayuuya.co.jp/color.html>
- (十三) 天然增色亦繽紛2003年5月號國際食品飲料配料商情
<http://www.industrysourcing.com/artiles/ibn/0305/bingre2.htm>
- (十四) 何謂奈米
<http://home.kimo.com.tw/lrtkn9/nime/11.htm>

附錄

表3. 本實驗所用色素

實驗項目	色素		
	名稱／編號	性質或成分	製造廠商
飼 食 法	黃色4號	食用色素	KIRIYACHEMICALCO.,LTD(JAPAN) <購自中泉原料行> 台灣塩野香料股份有限公司 <購自中泉原料行>
	黃色5號		
	藍色1號		
	紅色7號		
	綠色B		
浸 泡 法	黃色42號	染動物纖維 布料用酸性 染料	<科漢企業股份有限公司提供>
	藍色62號		
	棕 紅 色 119 號		
	綠色25號		
	紅色249號		
	藍色83號		
注 射 法	中性紅	活體染色劑	中國上海試劑三廠製
	凍黃色A56	染動物纖維 布料用酸性 染料	<購自錦波染料行>
	湖藍色A36		
	彩綠色A49		
	牡丹色A46		
	花藍色A51		
奈米色素	紅色	未發表	由師大教授提供
	橙色		
	黃色		
	綠色		
	藍色		
	靛色		
	紫色		

表4. 餵食法實驗所得到的彩色繭

色素	結繭粒數	結繭成功率%	平均繭長 cm	平均乾繭重 (含蛹) g	繭色
黃色5號	8	27	3.07	0.43	
黃色4號	6	20	2.78	0.43	
紅色7號	6	20	3.15	0.55	
藍色1號	5	17	3.23	0.53	
綠色B	4	13	2.87	0.33	
平均	6	19	3.02	0.45	
對照組A	13	43	3.62	0.67	
對照組B	16	53	3.00	0.42	

註：92年8月16日做第三次實驗，每種色素各餵30隻，養蠶室溫30℃。(92年7月5日及92年7月27日曾二度重複本實驗)。

表5 浸泡法實驗所得到的彩色繭

色素	結繭粒數	結繭成功率%	平均繭長 cm	平均乾繭重 (含蛹) g	繭色
黃色42號	7	23	2.80	0.33	
藍色62號	6	20	2.90	0.35	
棕紅色119號	5	17	2.86	0.34	
綠色25號	5	17	2.60	0.30	
紅色249號	4	13	2.64	0.28	
藍色83號	4	13	2.85	0.30	
平均	5	17	2.78	0.30	
對照組A	12	40	3.54	0.62	
對照組B	15	50	3.00	0.42	

註：92年10月11日做第三次實驗，每種顏色各浸泡30隻。浸泡液溫度24℃，浸泡時室溫29℃。
(92年9月16日及9月23日曾二度重複本實驗)。

表6. 五齡第3天的家蠶浸入24°C蒸餾水中的時間與昏迷程度

入水時間(分)	活動情形
5	爬行10公分
8	爬行4公分
11	稍爬行向前
14	抬頭
17	稍蠕動
20	靜止不動

表7. 注射法實驗所得到的彩色繭

色素	結繭粒數	結繭成功率%	平均繭長 cm	平均乾繭重 (含蛹) g	繭色
中性紅	9	30	3.37	0.50	
湖藍色A36	7	23	3.10	0.43	
凍黃色A56	6	20	2.75	0.35	
花藍色A51	6	20	2.47	0.23	
彩綠色A49	6	20	3.00	0.35	
牡丹色A46	5	16	2.96	0.36	
平均	7	22	2.94	0.37	
對照組A	12	40	3.47	0.60	
對照組B	17	57	3.10	0.46	

註：92年12月20日做第三次實驗，每種顏色各注射30隻。注射液為23℃，注射時室溫18℃。(92年11月8日及11月29日曾二度重複本實驗)。

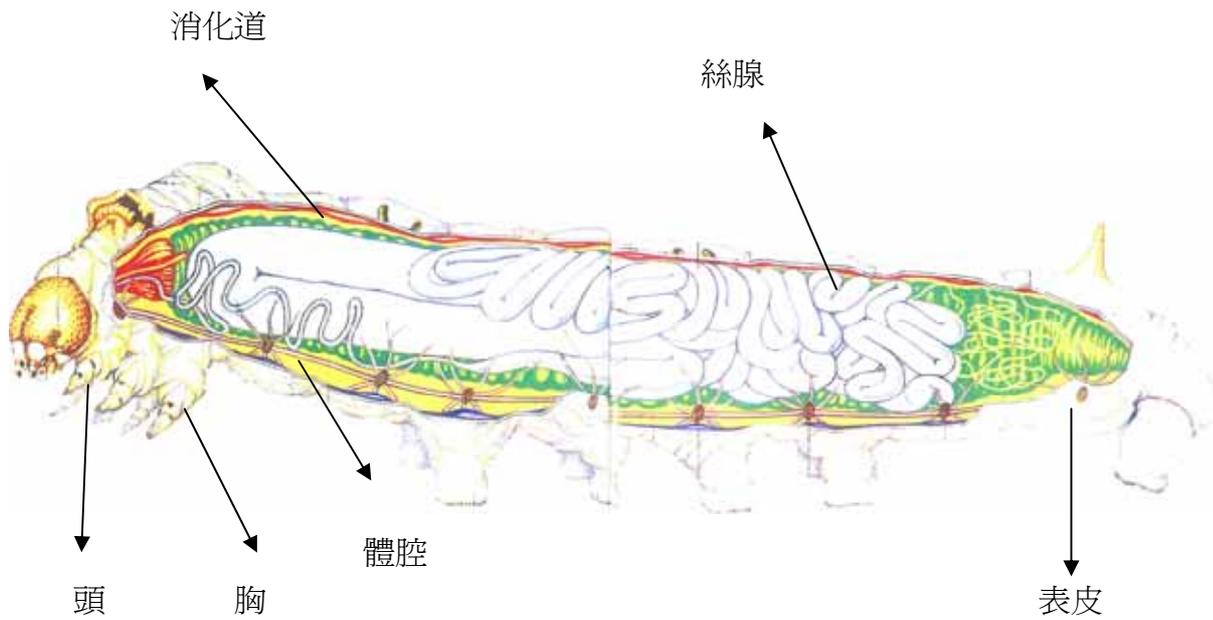


圖8 成熟家蠶身體構造示意圖(參考資料一)



圖9. 調配2.5%濃度的色素溶液，用以浸附桑葉



圖10. 圖10浸附桑葉，在空氣中陰乾



圖11. 餵食三齡幼蠶



圖12. 繼續餵食(浸附黃色4號色素之桑葉)



圖13. 繼續餵食（浸附黃色5號色素之桑葉）



圖14. 繼續餵食（浸附藍色1號色素之桑葉）



圖15. 繼續餵食（浸附綠色B色素之桑葉）



圖16. 繼續餵食（浸附紅色7號色素之桑葉）



圖17. 調配2.5%濃度之浸泡液



圖18. 放入五齡蠶，浸泡5分鐘



圖19. 移到桑葉上等待恢復



圖20. 恢復後拍攝



圖21. 將蠶放入蒸餾水中麻醉



圖22. 從節間膜注入0.02ml色素溶液



圖23. 注射完將外滲的溶液擦乾



圖24. 靜置等待甦醒後餵予無處理桑葉



圖25. 調配成2.5%濃度的色素溶液



圖26. 將色素溶液均勻噴灑在桑葉葉面及葉背



圖27. 餵予五齡第五天的蠶



圖28. 餵予五齡第五天的蠶

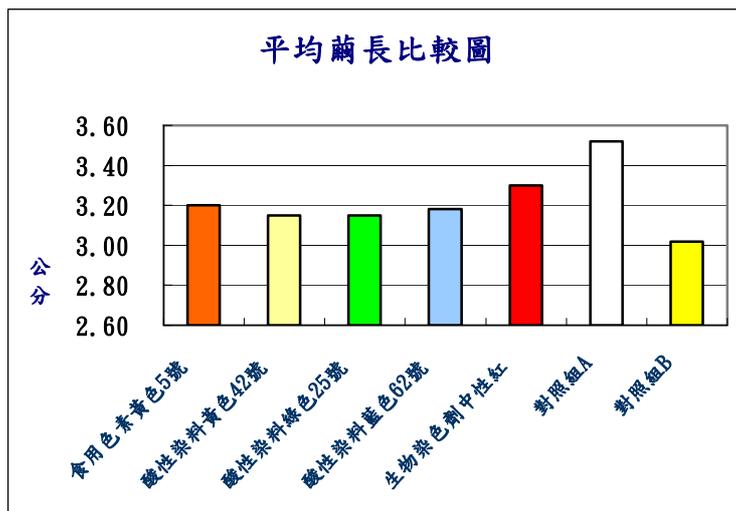


圖 29 平均繭長比較

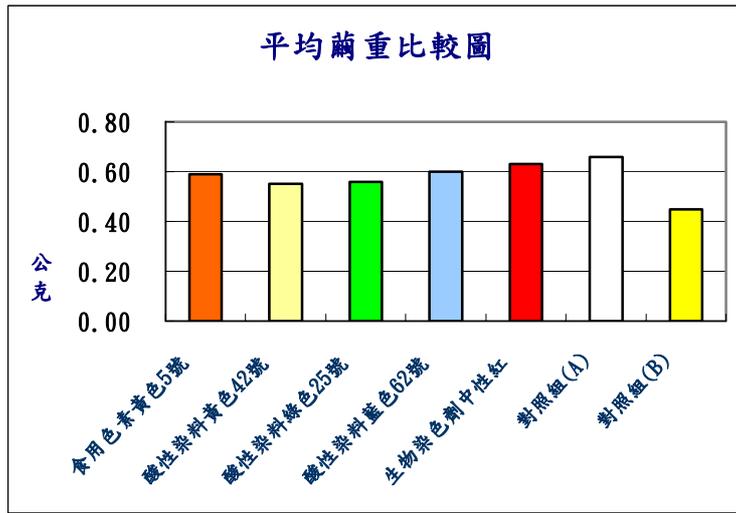


圖 30平均繭重比較



圖31 四齡蠶浸泡後蛻皮



圖32 蛻皮後身體回復白色

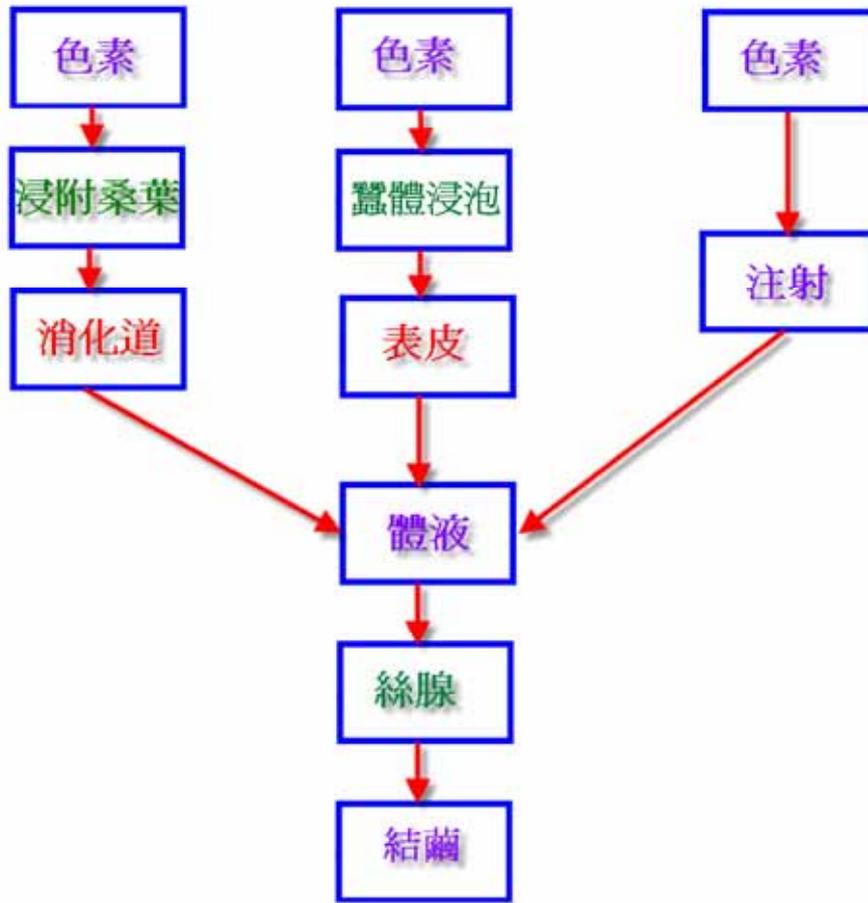


圖33 色素進入蠶體到達彩繭的路徑假說



圖34 泰金品系結繭對照組



圖35泰金品系加綠色B色素處理後所結彩色蠶繭



圖36泰金品系加中性紅色素處理後所結彩色蠶繭



圖37改良餵食法所結彩色蠶繭



圖38彩色蠶繭所製的絲線成品