

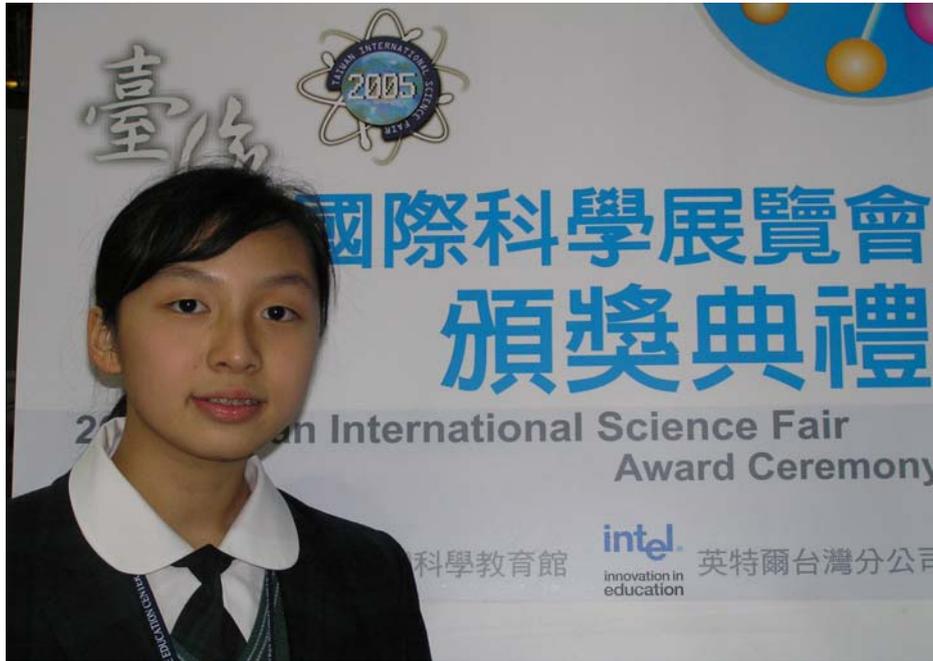
臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：工程學

作 品 名 稱：利用奈米色料製作彩色蠶繭之研究

得 獎 獎 項：第三名

學 校 / 作 者：臺北市立中山女子高級中學 林詩珣



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中央研究院物理所所長吳茂昆教授、廖光正博士、師大郭金國教授、台大楊平世教授、苗栗農業改良場侯場長鳳舞先生、吳課長東楨先生、林課長洋三先生、劉增城老師、劉文清先生、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

獲得生物組特優

第四十二屆全國科展

獲得生物組佳作

就讀國中時曾參加

第三十七屆台北市科展

獲得生物組特優

第四十四屆全國科展

獲得生物組最佳團隊合作獎

第五屆『台灣網界博覽會』鄉土專題研究網站設計大賽

獲得金獎

第五屆『國際網界博覽會』地方社會族群組

獲得金獎，並榮獲總統召見

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

獲得生物化學組佳作

就讀高中時曾參加

台北市95年度中等學校學生科學研究獎助計畫

獲得應用科學組一等獎

這八年來對家蠶作過專題研究的有：

(A)家蠶的一生

(B)天蠶變

(C)彩色蠶繭之研究

(D)奈米彩色蠶繭之研究

(E)應用人工飼料製作彩色蠶繭

至今仍持續研究中；樂此不疲，期能精益求精。

未來期許

希望將來可使此技術推廣至紡織業界，讓奈米科技教育也能往下紮根且受到更大的重視。並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。

利用奈米色料製作彩色蠶繭之研究

中文摘要

由於奈米科技進步，奈米材料應用在產業上具有多功能的性質。本研究使用不同波美度的色料餵食家蠶，以找出最佳的彩色蠶繭色澤，並研究其如何影響家蠶所結出的蠶繭及色料附著在蠶繭上的絲。同時對色料附著的蠶繭進行水洗、光照、微結構的觀察，以試圖找出色料與波美度之最佳組合參數。由本實驗結果得知，利用奈米色料溶液 60 ml，在紅色：1.048、藍：1.058、黃：1.039 的參數下，混合飼料 30g，可獲得最佳的彩色蠶繭結繭成功率、均勻度較佳、耐褪色與耐洗滌等優點，並且可獲得表面結構光滑且較細的絲徑，約為 19.87 μm 。相對的，一般色料粒徑為微米級，色彩度優於奈米色料，但表面結構較奈米色料粗糙且線徑較粗，約為 21.51 μm ，易於褪色及不耐洗滌。

A Study of Utilize Nano- Pigments for Producing Colored Silkworm Cocoons

Abstract

Because of the great progress of nano-technology, it has the quality of multi-functions to make use of nano-materials on industrial property. The purpose of this study is to find the best colored silkworm cocoons by mixing different consistency of pigments to feed silkworms. At the same time, this study wished to explore how the different consistency of pigments influenced the silkworm cocoons that the silkworms produced. Besides, in order to find the better association between pigments and Baume degrees, this study exposed the cocoons under different lights, washed with different detergents and take observations of micro-structure of the cocoons.

The results of this study are as follows: using the nano-pigments 60 ml in different density, that is, red:1.048, blue:1.058, and yellow:1.039, then mixed them with silkworms' forage 30g, in this way, best successful ratio to get colored cocoons, desired high visual effects in color, well distribution, long duration and strong resistance to detergents agents are obtained. In addition, we can still get glossy appearance and fine cocoons; the wire diameter is about the size of 19.87 μm . On contrast, feeding with the ordinary pigments, the degree of colored silk is better than feeding with the nano-pigments, but the appearance of cocoons are rough and the wire diameter is about the size of 21.51 μm .

壹、前 言

一、研究動機

研究者以「彩色蠶繭之研究」為題目，參加 2005 年國際科展中，找出最佳的餵食時間點—五齡蠶第五天，較日本和中國大陸過去的方法更為節省材料、成本、人力及時間；本研究試圖將桑葉浸漬於不同波美度之奈米色料中，並搭配先前研究者所發現之最佳餵食時間點—五齡蠶第五天，同時製造出不同色澤之蠶繭，以找出蠶繭上色料的附著程度與波美度之最佳組合參數。

根據台灣「奈米國家型科技計劃」估計，2008 年台灣奈米相關產業的產值將超過新台幣 3000 億元，奈米科技無疑是未來 20 年影響產業發展的關鍵技術之一。而現在有關奈米科技教育也已往下紮根，希望五、六年內能使我國奈米方面的基礎研究提升至世界卓越的地位，成為有世界知名度的奈米科學研究地點，在奈米材料和科技研發及利用方面與先進國家並駕齊驅，也因為有此計劃讓我更積極的想利用奈米科技及材料來繼續從事研究。

二、研究目的及研究問題

本研究之目的是嘗試探討蠶繭上色料附著在蠶絲的程度，以及建立色料與波美度之最佳組合參數。

針對上述研究目的，本研究擬分別探討下列問題：

- (一)測量不同奈米色料之波美度，以比較其對於蠶繭色澤附著程度之影響。
- (二)研究不同光照和水洗等環境因素對於蠶繭色澤之影響。
- (三)不同奈米色料對於蠶繭內所存在的絲質或絲膠之影響。
- (四)利用奈米色料找出最佳蠶繭色澤之參數組合。

三、文獻探討

(一) 家蠶簡介與其吐絲機制

自然界有許多昆蟲的幼蟲體內具有泌絲線，可以吐絲結繭，但有些昆蟲的絲所具有的經濟價值都不甚高，只有隸屬於鱗翅目(Lepidoptera)中的蠶蛾科之家蠶和天蠶蛾科的蠶，其吐出的絲具有較高的經濟價值。而家蠶是一種以桑葉為食物的泌絲昆蟲，所以又稱為桑蠶。

1.家蠶的分類地位：

家蠶在動物學分類學上，是屬於動物界(Animal kingdom)，節足動物門(Arthropoda)，昆蟲綱(Insecta or Hexapoda)，鱗翅目(Lepidoptera)，蠶蛾科(Bombycidae)，蠶蛾屬(Bombyx)，家蠶種(Bombyx mori L.)。

家蠶的進化以化性而言，分為多化性到一化性，所謂的化性即「昆蟲一年發生的世代數目」，換句話說，就是一年有產生幾個世代；其起源和類型的傳播分為幾種說法，其中一種是由中國溫帶多化性種分化為二化性種及一化性種，東傳朝鮮、日本，西傳西亞、歐洲。另一種說法則是由中國熱帶多化性種及南亞熱帶多化性種起源和傳播。

2.蠶的生活史：

蠶屬於完全變態動物，經過卵 → 幼蟲 → 蛹 → 成蟲(蛾)，三種變態和四個時期，其中三種變態分別就是孵化、蛹化和羽化，四個時期則是卵期(休眠時期)、幼蟲期(殘兒時期，又稱營養時期)、蛹期(化蛾準備時期)、成蟲期(蠶蛾時期，又稱繁殖時期)；蠶的一生，由卵孵化到幼蟲，再化成蛹，最後羽化為成蟲，再經過雄雌交尾，產卵繁衍下一代，其一個世代大概經歷 55~60 天。

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：

表一 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

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)

3.吐絲結繭的機制

家蠶的體內具有一對絲腺，由下唇線特化而成，是合成和分泌絲物質的特殊器官。剛孵出的蠶就能分泌絲物質，每次眠前，幼蟲都會分泌絲物質纏住腹足，以固定眠蠶有利於脫皮。而絲腺在四齡前並不大發達，在第五齡時會急劇生長，在五齡後期時，絲腺已成為蠶體內最大的器官，最後吐絲結繭，在繭內進行化蛹的變態過程。

(二)蠶絲：

由繭抽出的蠶絲是由絲蛋白質 (fibroin) 與絲膠 (sericin) 兩種性質不同的蛋白質合成，稱為 raw silk (一個繭約有 800~1500m)。fibroin 具有 19%親水基側鏈，sericin 具

有 76%親水基側鍵，所以鹼處理很容易溶解 sericin。肉眼所見為一根蠶絲的厚紗係由二根單紗所構成，單紗之斷面為三角形。單形之外覆有一層絲膠，絲膠不但透明而且脆弱，不規則附著在厚絲表面，在溫水中可溶解。其化學物理特性如表二所示。

表二 蠶絲的物化性能表

物 理 性 質			化 學 性 質	
引張強力 (g/D)	乾 燥	3.4~4.0	酸的影響	熱硫酸，濃無機酸分解其他酸抗性較羊毛小。
	濕 潤	2.1~2.8		
乾濕強力比 (%)		70	鹼的影響	高溫濃鹼損害。稀鹼可除絲膠。
伸度 (%)	乾 燥	15~25		
伸度 (%)	濕 潤	27~33	其他化學藥品的影響	以過氧化物或次亞硫酸氣漂白。
伸長恢復率(%) (拉長 3%)		54~55 (8%)		
楊氏係數	g/D	50~100	溶劑影響	一般溶劑皆不溶。
	kg/m m ²	650~1200		
比 重		1.33~1.45	染色性	親染性高。鹽基性、直接、酸、鉻媒染甕 Indigo 染料可染。
水分率 (%)	公定水分率	11.0		
	標準狀態 (20°C 65%RH)	9		
	其 他	36~39(100%RH)		
耐 候 性 質 (日光的影響)		劣日下 60 日強度減低 55%	蟲霉影響	抗蟲性比棉弱，易受蟲害抗霉性大。
		140 日強度減低 65% 耐光性弱	熱的影響	
導 電 性		電氣不良導電		

(三) 人工飼料

傳統用新鮮桑葉飼養家蠶使栽種桑葉與養蠶之間有密不可分之關係，然因土地成本高，勞力成本大，有時又因環境或季節而採不到大量的桑葉，若使用人工飼料即可以解決此項問題。人工飼料即是飼養家蠶用的飼料之通稱，實用性的人工飼料含有桑葉成分 5~25%，學術用的則可以不含桑葉，人工飼料一般是以乾粉密封冷藏，使用前加水蒸熟即可餵食家蠶，在清潔環境下餵食可以數天甚至數齡才更換一次，比用桑葉養蠶一天要餵三、四次而言，可省下許多勞力。

(四)色料

蛋白纖維及聚醯胺系纖維的染色，係以酸性、鹽基性、直接及分散染料等為主。對於存在於是類纖維中的-COOH 基有鹽基性染料的染著，而對-NH₂基有直接、酸性、分散染料的染著，對於 -CONH 基有分散與直接染料。在不同的染色條件下染著之機制在很早以前就已有報導，而在實際之印染中也很多使用是類染料。因此，在蛋白纖維與聚醯胺系纖維間，也因組成之不同而有很大的差異，染色性有明顯的不同。因此在印染時也會出現其影響，而應加以注意。屬於聚醯胺系纖維的奎阿納（Qulana）若與習知的耐隆加以比較，則可發現其間染色性差異之大，因而對染作須設定特殊的印染條件。又，爲了賦與地毯用的耐隆原紗濃淺染色等之色彩效果，而對其易染化及難染化等擬出各種特殊製法，故爲了進行正確的印染，首先必須確認構成原紗的染色性。以下係就代表性的染料種屬與其印染特性概要說明之。

1.酸性色料

一般係依染色特性而將酸性染料分類。而各市售染料是根據什麼分類呢？以製造廠商所提示的商標加以區分，在染料索引中，皆有分類表示。所有的染料都可由中性～酸性的色糊賦與印染物鮮明的色相，然而，粉紅（Pink）及寶藍（Rayol Blue）等特定鮮明色的濕潤及耐光堅牢度等較弱者。含金染料具有較高的堅牢度，但存有色相方面的問題。在羊毛、蠶絲及耐隆的印染時，爲包括防拔染是廣泛被採用的染料。

2.鹽基性色料

可適用於蠶絲及羊毛之印染，但因白底污染性大，所以配合丹寧酸之色糊在印染、乾燥、蒸熱之後以吐酒石液進行固著、並加以水洗改善之。也可應用於羊毛及蠶絲之著色拔染時的入色用染料。

3.直接色料

以直接染料行蠶絲的印染時，可獲得較爲良好的濕潤及耐光堅牢度，但因可脫色，所以被利用在與小幅友禪相關用途者，但因色相比酸性染料暗，所以侷限於特定用途。

4.分散色料

被應用在部分耐隆的印染，但色相的鮮明度不及酸性染料，且濕潤堅牢度也較低，所以一般都不加以採用。

5.媒染色料

以鉻媒染料行蠶絲的染作，可獲得色相鮮明且濕潤牢度高、及不產生白底污染之特色。也有應用於拔白作業但由於會導致鉻媒公害，所以現在已漸被中止使用。

6.反應色料

除了色相之鮮明度的改善，在酸性染料應用方面成爲問題的濕潤、耐光堅牢度等也受到期待，所以成爲今後之探討領域中有趣的問題。

(五) 奈米材料

奈米科技無疑是二十一世紀的工業革命。奈米科技包羅萬象，在日常生活中奈米科技已經不是陌生的名詞，舉凡生活中的應用到神乎其技的微小機電組合，都是奈米科技發展的產物。身爲二十一世紀的新鮮人，奈米科技將如同過去的電腦科技一樣，成爲生活中不可或缺的新觀念。

奈米英文是 **nanometer**，是長度的單位，數學符號爲 **nm**。一奈米爲十億分之一公尺 ($1\text{nm}=1\times 10^{-9}\text{ m}$)，相當於 10 個氫原子串聯起來的長度。頭髮的平均直徑在 350,000 奈米左右，而紅血球的直徑約爲 7,500 奈米。細菌的大小有 200~300 奈米，更小的病毒約有 100 奈米。細胞內的 DNA 雙股螺旋約爲 10 個奈米，而單一個核酸分子大約在 1 個奈米。因此在 30 萬年前，當生命開始誕生時，生物體內的運作便是奈米技術的傑作。

對奈米物質而言，傳統物理已經無法說明物質行爲。奈米材料一般是指 1~100nm 大小的晶粒所組成。而奈米材料依照維度來分類，可分爲「零維」、「一維」、「二維」及「三維」的奈米材料，其中「零維奈米材料」是三個維度均在($<100\text{nm}$)之材料，例如奈米顆粒、量子點等。奈米材料因體積小，表面積增加，所以許多材料特性透過表面積發生作用，材料之活性也因而提升。所以在介觀下有許多不同的性能、性質，如電子、熱電、磁性及光學等應用。當物質到達奈米級的程度，排列在表層的原子數相對於全部的原子數的比例，較大塊材料中的比例高。而由於在表層的原子出現許多高能階的不配對電子，因此奈米物質較大體積的物質具備高的表面能量。這時奈米物質的物理特性便有相當大的改變，使奈米晶粒有著比傳統塊材更優異的物理化學特性。光、電、磁，及能量的傳導特性也因爲奈米化而提昇，表面活性增加也使觸媒反應加快，而微小粒子的排列也改變光的吸收特性。在生物體內的作用也因爲奈米化的結果改變藥物在人體組織穿透的特性。

以既有的材料奈米化應用在既有的技術上，可增加材料應用的範圍及功能。例如奈米晶粒能夠成爲磁性記憶特殊導體及感測器，可大幅減少數位儲存體積。奈米材料增強了光、熱吸收特性，因此可以提高傳統材料的使用效率。奈米材料的表面活性增加，可成爲更有效率的觸媒及熱交換材料，開發成新的燃料或電池。奈米色料的光吸收及分散性增加，可以增加原有色料的艷麗及持久性。奈米原料添加於以表面作用爲主的產品，可增強耐刮、防黏、自清潔、除污、抗菌等功能。奈米材料添加於塑膠可增加耐火度，機械韌性、增加氣體阻隔性、降低氣候對材料的耗損，可發展出新的防潮阻氣包材。

貳、研究方法與過程

一、研究設備及器材

(一) 實驗設備

本研究所需要的實驗設備有掃描式電子顯微鏡、比重儀、電子式天平等...，共十六項，其實驗設備及型號如表三所示：

表三 實驗設備

項次	儀器項目及型號	項次	儀器項目及型號
1	掃描式電子顯微鏡(JDS6300)	9	快速攪拌機(Dietert 535_900)
2	比重儀(SD-120L)	10	三層底蒸鍋
3	電子式天平(TP600S)	11	數位相機(C770)
4	鍍金機	12	傳統相機
5	超音波攪拌器	13	個人電腦(P4 電腦一台)
6	熱質循環式乾燥箱(DV1202)	14	印表機
7	電子防潮箱(D-118CA)	15	掃描器
8	自動勦絲機(D301JY)	16	解剖顯微鏡

(二) 實驗器材

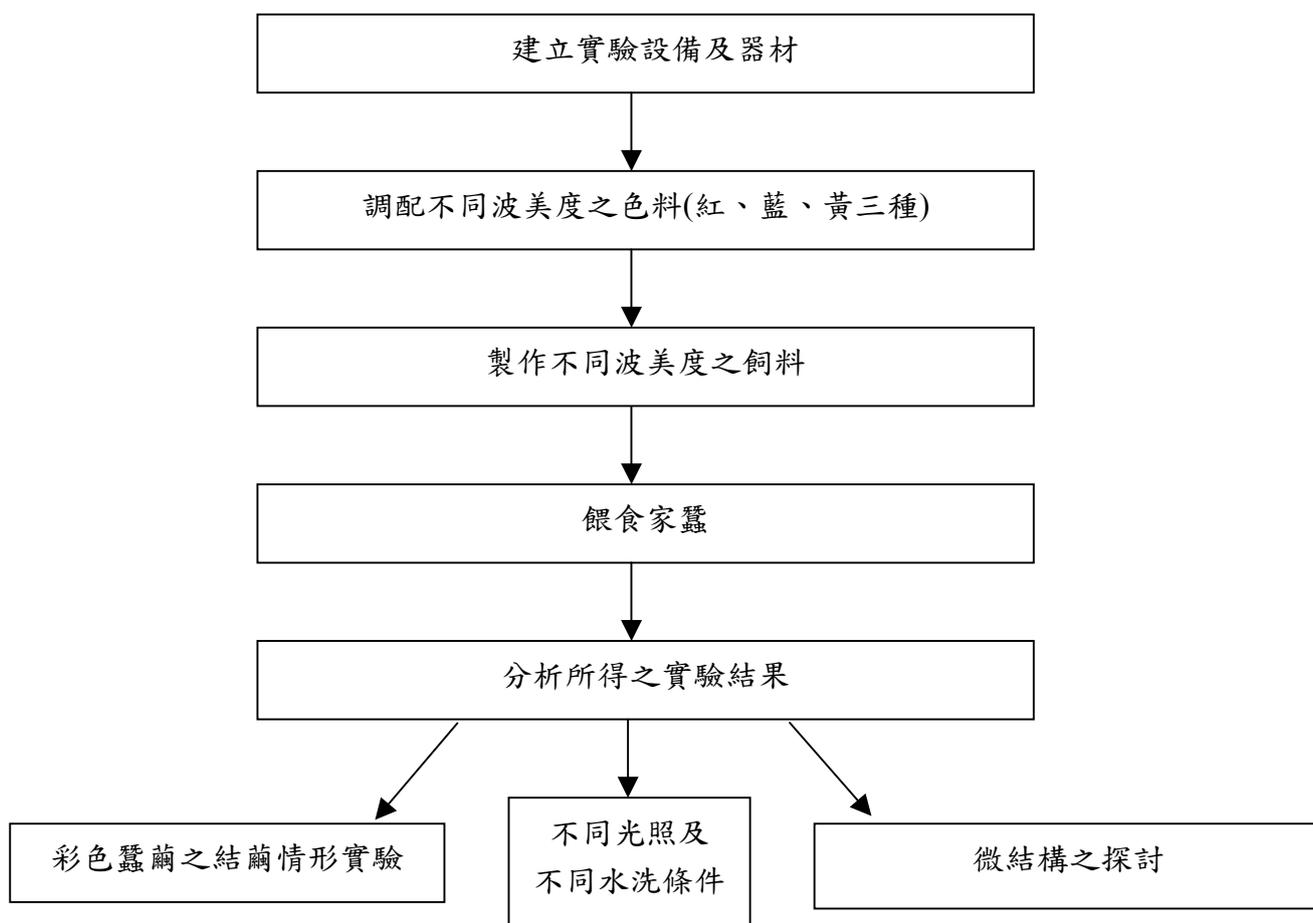
本研究所需要的實驗器材有家蠶、蒸餾水、奈米色料、一般色料、飼料等等...，共16項，其實驗器材如表四所示：

表四 實驗器材

項次	儀器項目	項次	儀器項目
1	家蠶(苗栗獅潭鄉涂泉明生態教育蠶業農場)	9	標籤紙
2	奈米色料	10	蒸餾水
3	一般色料	11	燒杯
4	飼料	12	量杯
5	塑膠籃子	13	滴管
6	塑膠夾鏈袋	14	墊紙
7	保鮮盒	15	腳架
8	波浪簇	16	感光兩百的底片

二、研究設計

本研究乃以不同波美度之奈米色料及一般色料進行家蠶飼料餵食，研究步驟如圖一所示：



圖一 實驗流程圖

三、研究過程

(一) 建立實驗設備及器材

本研究所需之實驗設備，如表三所示，共計十六項，及實驗器材，如表四所示，共計十六項。

(二) 調配不同波美度之色料

取紅、藍、黃三種不同顏色的奈米色料及一般色料，進行比重儀之檢測，分別調配四種不同波美度之溶液。

- 1.將不同顏色的奈米色料及一般色料各取 1g 分成四組。
- 2.奈米色料及一般色料各組分別加入不同比例之蒸餾水，如表五、六所示。
- 3.配製成不同波美度的奈米色料及一般色料之溶液。

表五 奈米色料與蒸餾水混合之比例

編號	添加量	比重(g/cm ³)
R1 Y1 B1	色料+50c.c 蒸餾水	紅：1.0480 藍：1.0586 黃：1.0392
R2 Y2 B2	色料+100c.c 蒸餾水	紅：1.0385 藍：1.0439 黃：1.0294
R3 Y3 B3	色料+150c.c 蒸餾水	紅：1.0328 藍：1.0351 黃：1.0235
R4 Y4 B4	色料+200c.c 蒸餾水	紅：1.0290 藍：1.0293 黃：1.0196
註： R1~R4：紅色奈米色料 Y1~Y4：黃色奈米色料 B1~B4：藍色奈米色料		

表六 一般色料與蒸餾水混合之比例

編號	添加量	比重(g/cm ³)
R11 Y11 B11	色料+50c.c 蒸餾水	紅：1.2547 藍：1.3086 黃：1.1648
R21 Y21 B21	色料+100c.c 蒸餾水	紅：1.2485 藍：1.2943 黃：1.1579
R31 Y31 B31	色料+150c.c 蒸餾水	紅：1.2263 藍：1.2772 黃：1.1345
R41 Y41 B41	色料+200c.c 蒸餾水	紅：1.2014 藍：1.2427 黃：1.1031
註： R11~R41：紅色一般色料 Y11~Y41：黃色一般色料 B11~B41：藍色一般色料		

(三) 製作不同波美度之飼料

- 1.在容器中，放入飼料粉末 30g，分別添加 60 c.c 不同波美度之奈米色料及一般色料，以快速攪拌機，攪拌三分鐘加待攪拌均勻，如圖二所示。
- 2.置電鍋內蒸 20 分鐘。
- 3.待冷卻後，秤取重量，準備餵食家蠶，如圖三所示。

(四) 餵食家蠶

- 1.從蟻蠶至四齡蠶開始餵食飼料之情形，如圖四到圖七所示。
- 2.待家蠶四齡蛻皮成爲五齡蠶時，第一天，以定時定量的方式，含不同波美度的奈米色料及一般色料之飼料餵食家蠶，如圖八至圖十三所示。
- 3.家蠶養到 5 齡成熟時，移到乾燥處並給予結繭空間，結繭之情形，如圖十四至圖十五所示。



圖二 調製不同色料之飼料



圖三 飼料冷卻後之情形



圖四 蟻蠶進食飼料之情形



圖五 二齡蠶進食飼料之情形



圖六 三齡蠶進食飼料之情形



圖七 四齡蠶進食飼料之情形



圖八 餵食添加紅色飼料之情形



圖九 餵食添加紅色飼料之結繭情形



圖十 餵食添加藍色飼料之情形



圖十一 餵食添加藍色飼料之結繭情形



圖十二 餵食添加黃色飼料之情形



圖十三 餵食添加黃色飼料之結繭情形



圖十四 餵食奈米色料所結出的彩色蠶繭



圖十五 餵食一般色料所結出的彩色蠶繭

(五) 分析實驗結果

比較不同波美度的色料對彩色蠶繭的影響可以分為三部份來進行:

1.彩色蠶繭之結繭情形分三個部份來探討

- (1)不同的色料餵食家蠶，其所結成的蠶繭的結繭成功率。
- (2)比較配製成不同波美度的色料，其餵食蠶體後，所得蠶繭的色彩度差異。
- (3)不同色料對彩色蠶繭附著程度之影響。

2.不同光照不同水洗條件

- (1)將彩色蠶繭放置在自然光及白光下每天照射八小時持續一個月(每日溫度 24-28 度)，以目測及繪圖方法比較其褪色情形。
- (2)將彩色蠶繭浸漬在不同的洗潔劑中，分別為 Rene Furterer Forticea 洗髮精、一匙靈洗衣粉及毛寶冷洗精，以超音波攪拌器清洗之，然後再以目測及繪圖方式，觀測其色彩殘留率，進而比較其褪色情形。

3.微結構之探討

(1)解剖顯微鏡下觀察

利用解剖顯微鏡觀察家蠶的結構，將食用有色飼料的五齡蠶麻醉，然後將其解剖，觀察其內部器官(例如：絹絲腺、消化道...等)，並將其絹絲腺器官離體觀察。

(2)掃描式電子顯微鏡下觀察

利用掃描式電子顯微鏡觀察蠶絲的表面結構，將用奈米色料及一般色料所得的蠶絲黏著在不同的導電銅膠帶，在載台上固定好，記錄其位置，放置鍍金機內，鍍上一層金的薄膜，然後放到 SEM(JDS 6380)的腔體內，抽真空，觀察其表面結構及線徑的不同。

參、研究結果

本實驗之研究結果如下列三方面所示：

一、彩色蠶繭之結繭情形

彩色蠶繭結繭情形研究結果可分為下列三方面進行

(一) 不同色料彩色蠶繭之結繭成功率

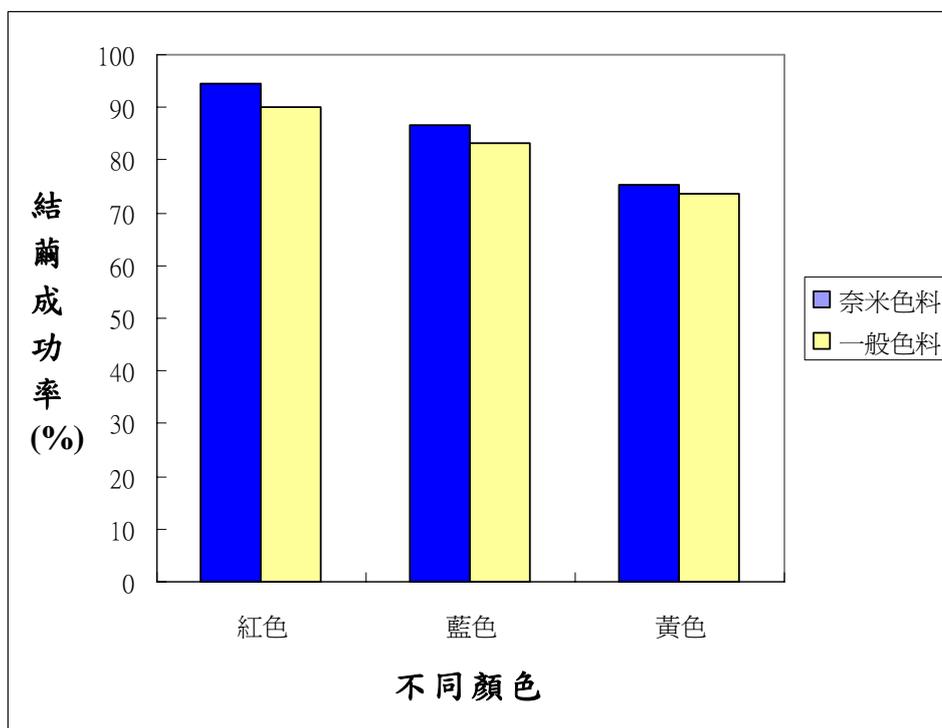
以奈米色料及一般色料所產生彩色蠶繭之結繭成功率，如表七及圖十六所示。

表七 不同色料彩色蠶繭之結繭成功率

色料種類	顏料種類	實驗次數	結繭粒數	結繭成功率%	平均值	繭色
奈米色料	紅色	I	26	87	94.67	
		II	29	97		
		III	30	100		
	藍色	I	27	90	86.67	
		II	25	83		
		III	26	87		
	黃色	I	22	73	75.33	
		II	24	80		
		III	22	73		
一般色料	紅色	I	24	80	90	
		II	27	90		
		III	30	100		
	藍色	I	24	80	83.33	
		II	25	83		
		III	26	87		
	黃色	I	22	73	73.67	
		II	24	75		
		III	22	73		

註：

- 蠶隻數量：分別各以 30 隻蠶餵食含紅、藍、黃三種顏色之不同色料的飼料。
- 結繭成功率：30 隻蠶中有成功結出繭的數量百分比。(結繭粒數/蠶隻數量×100%)



圖十六 不同色料彩色蠶繭之結繭成功率

(二) 不同色料種類彩色蠶繭之色彩度

1. 奈米色料彩色蠶繭之色彩度

本研究奈米色料彩色蠶繭之色彩度實驗結果，如表八及圖十七所示。

表八 奈米色料彩色蠶繭之色彩度

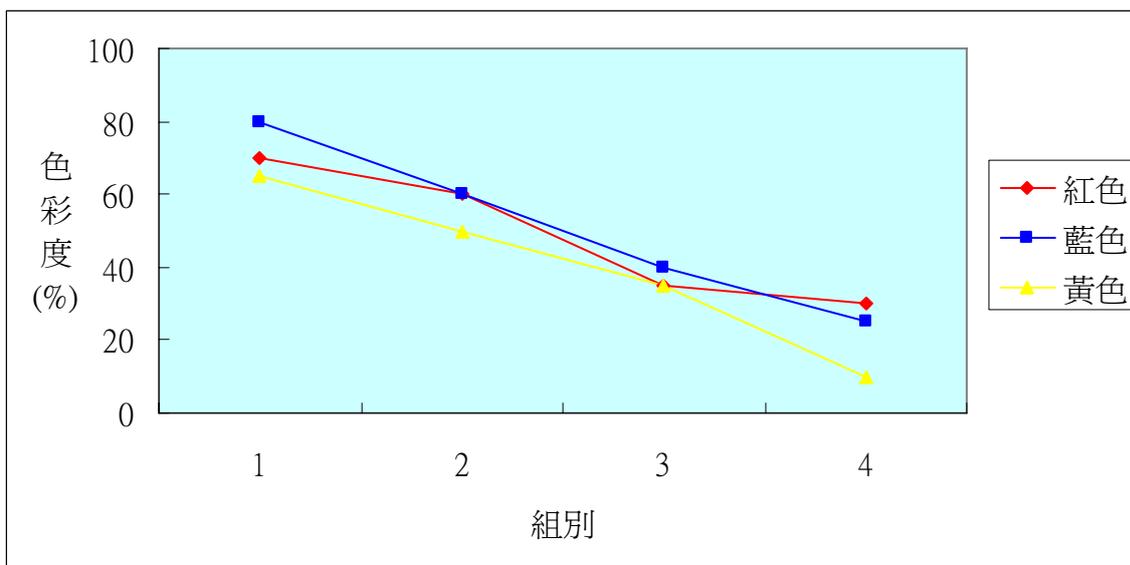
色料編號	R1	R2	R3	R4
色彩度(%)	75	60	35	30
照片				
色料編號	B1	B2	B3	B4
色彩度(%)	80	60	40	25
照片				
色料編號	Y1	Y2	Y3	Y4
色彩度(%)	65	50	35	10
照片				
註：色彩度(%)：色彩佔有蠶繭面積/蠶繭總面積×100%。				

2.一般色料彩色蠶繭之色彩度

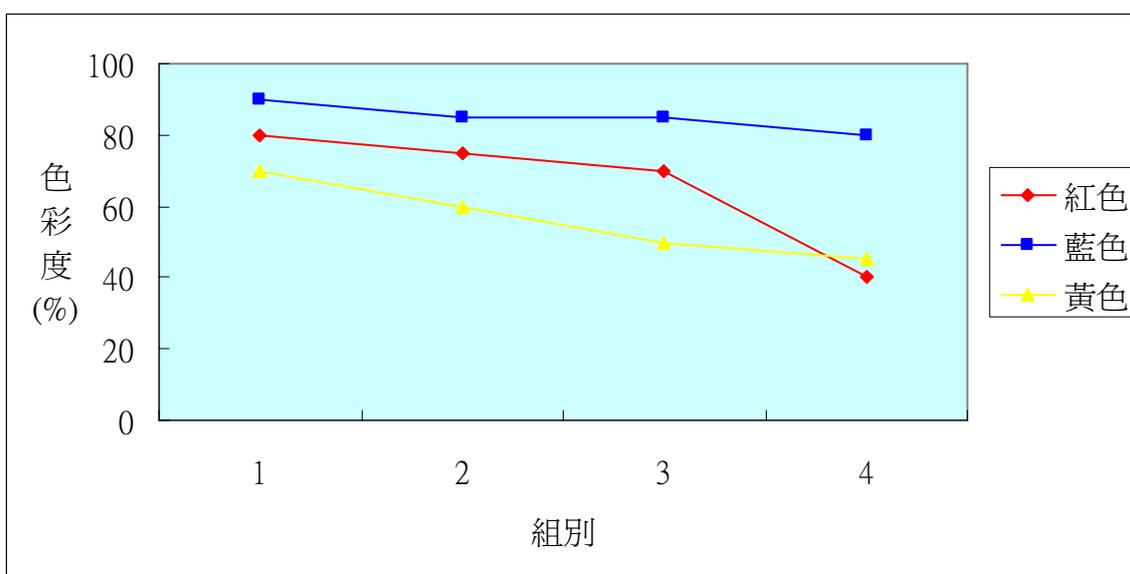
本研究一般色料彩色蠶繭之色彩度實驗結果，如表九及圖十八所示。

表九 一般色料彩色蠶繭之色彩度

色料編號	R11	R21	R31	R41
色彩度(%)	80	75	70	40
照片				
色料編號	B11	B21	B31	B41
色彩度(%)	90	85	85	80
照片				
色料編號	Y11	Y21	Y31	Y41
色彩度(%)	70	60	50	45
照片				
註：色彩度(%)：色彩佔有蠶繭面積/蠶繭總面積×100%。				



圖十七 奈米色料之色彩度分佈

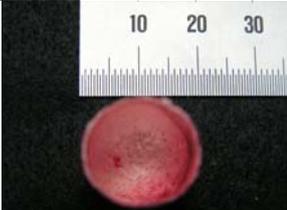
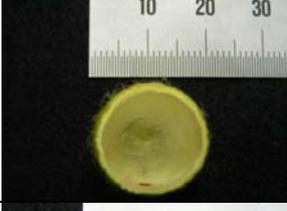


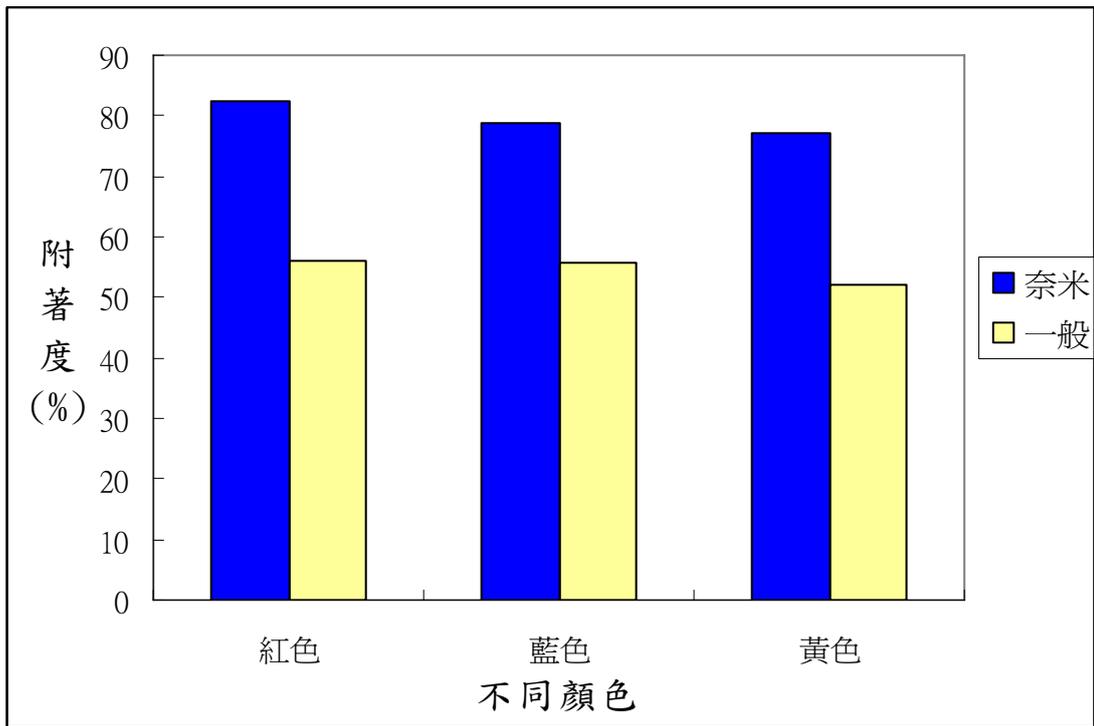
圖十八 一般色料之色彩度分佈

(三)不同色料彩色蠶繭附著程度

本研究不同色料彩色蠶繭之附著程度實驗結果，如表十及圖十九所示。

表十 不同色料彩色蠶繭附著程度

色料種類	顏料種類	實驗次數	H/h	附著程度%	附著程度平均值	蠶繭橫斷面積圖
奈米色料	紅色	I	5.88mm ² /1.45mm ²	80.13%	82.35%	
		II	6.20mm ² /1.14mm ²	84.44%		
		III	6.32mm ² /1.34mm ²	82.48%		
	藍色	I	7.28mm ² /1.94mm ²	77.52%	78.92%	
		II	7.10mm ² /1.79mm ²	79.87%		
		III	6.92mm ² /1.8mm ²	79.37%		
	黃色	I	8.23mm ² /2.25mm ²	78.52%	77.13%	
		II	8.66mm ² /2.53mm ²	77.41%		
		III	8.56mm ² /2.78mm ²	75.46%		
一般色料	紅色	I	12.38mm ² /9.43mm ²	56.77%	56.2%	
		II	11.79mm ² /9.32mm ²	55.84%		
		III	11.87mm ² /9.33mm ²	55.99%		
	藍色	I	8.15mm ² /6.55 mm ²	55.43%	55.86%	
		II	9.27mm ² /7.25mm ²	56.12%		
		III	9.53mm ² /7.48mm ²	56.03%		
	黃色	I	9.15mm ² /8.31mm ²	52.42%	52.02%	
		II	8.56mm ² /7.97mm ²	51.77%		
		III	8.43mm ² /7.82mm ²	51.87%		
註： 1.H：彩色蠶繭總斷面積 h：未附著色料之蠶繭 2.附著程度：H/(H+h)*100%						



圖十九 不同色料彩色蠶繭之附著程度

二、不同光照及水洗條件

不同光照及水洗條件研究結果可分為下列兩方面進行

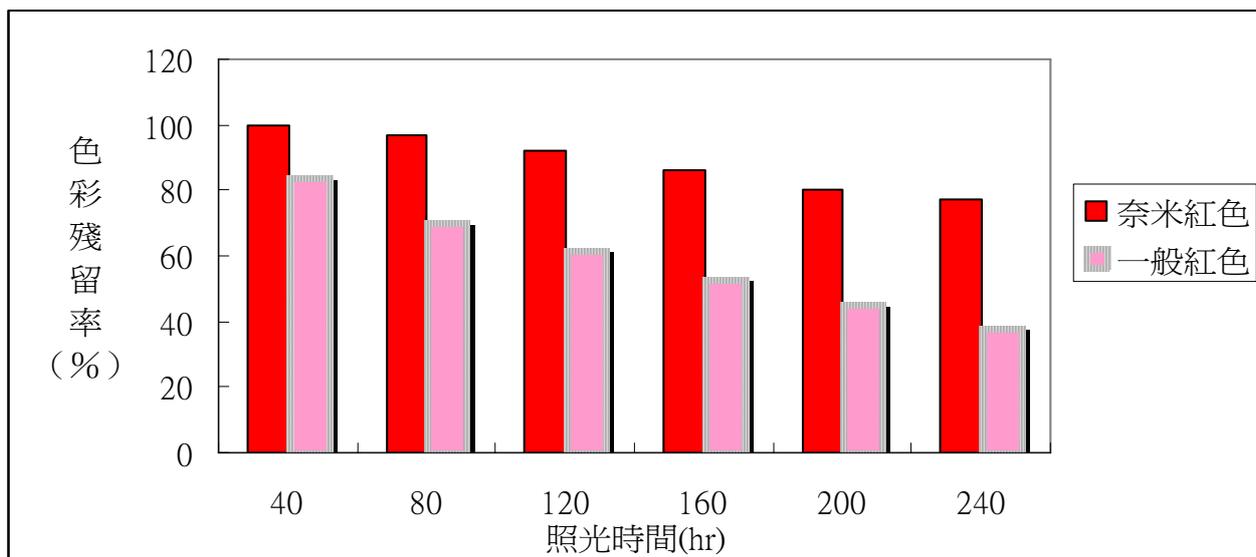
(一)光照實驗

本研究不同色料彩色蠶繭之光照實驗結果，如表十一及圖二十至圖二十五所示。

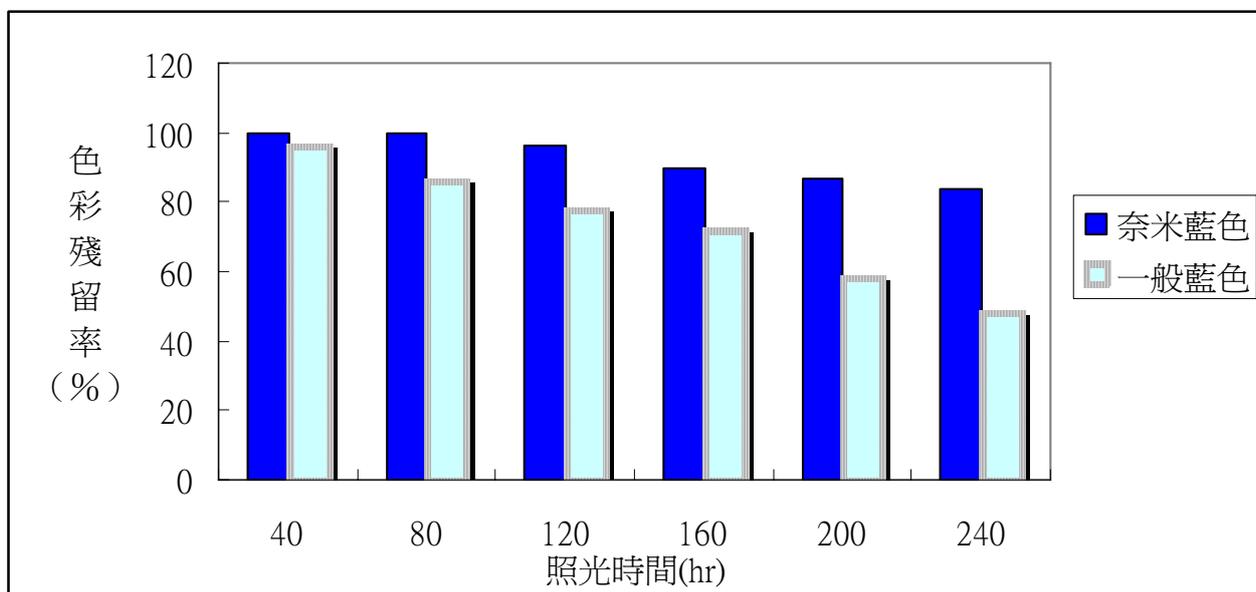
表十一 不同色料彩色蠶繭之光照實驗

光照條件		色彩殘留率 (%)					
不同光源	照光時間 (小時)	奈米色料			一般色料		
		紅色	藍色	黃色	紅色	藍色	黃色
太陽光	40	100	100	100	84	96	73
	80	97	100	95	70	86	62
	120	92	96	88	62	78	50
	160	86	90	76	53	72	45
	200	80	87	70	45	58	35
	240	77	84	65	38	48	30
白光	40	100	100	100	86	96	75
	80	100	100	100	72	88	65
	120	100	100	92	64	82	54
	160	90	98	86	55	78	48
	200	85	94	74	50	64	40
	240	82	90	70	45	55	34

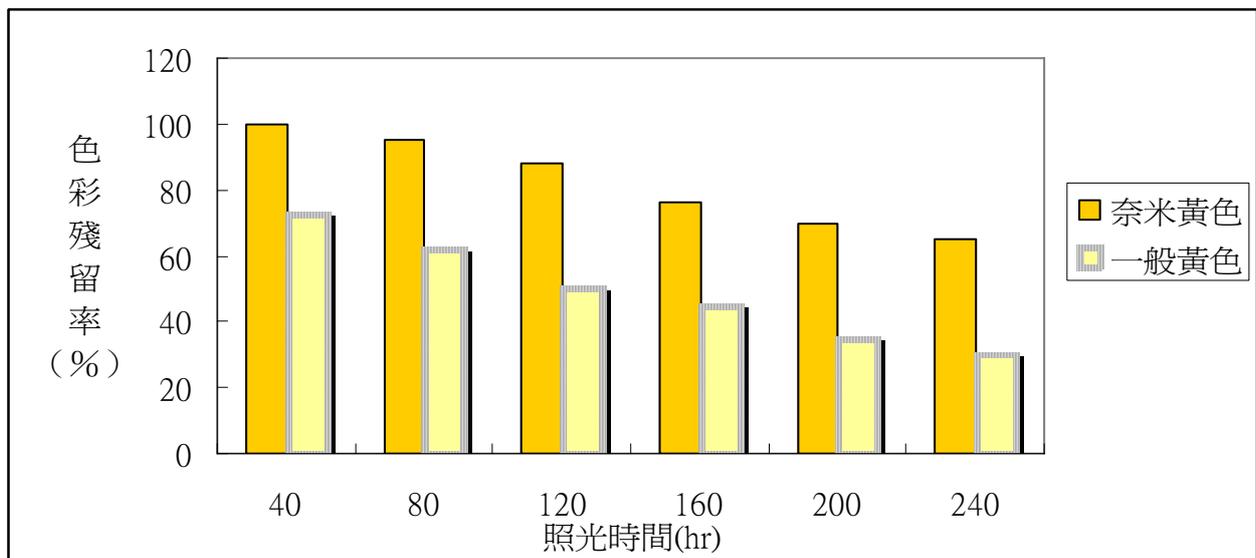
註：色彩殘留率：已照光源彩色蠶繭色彩佔有面積/未照光源之彩色蠶繭總面積×100%。



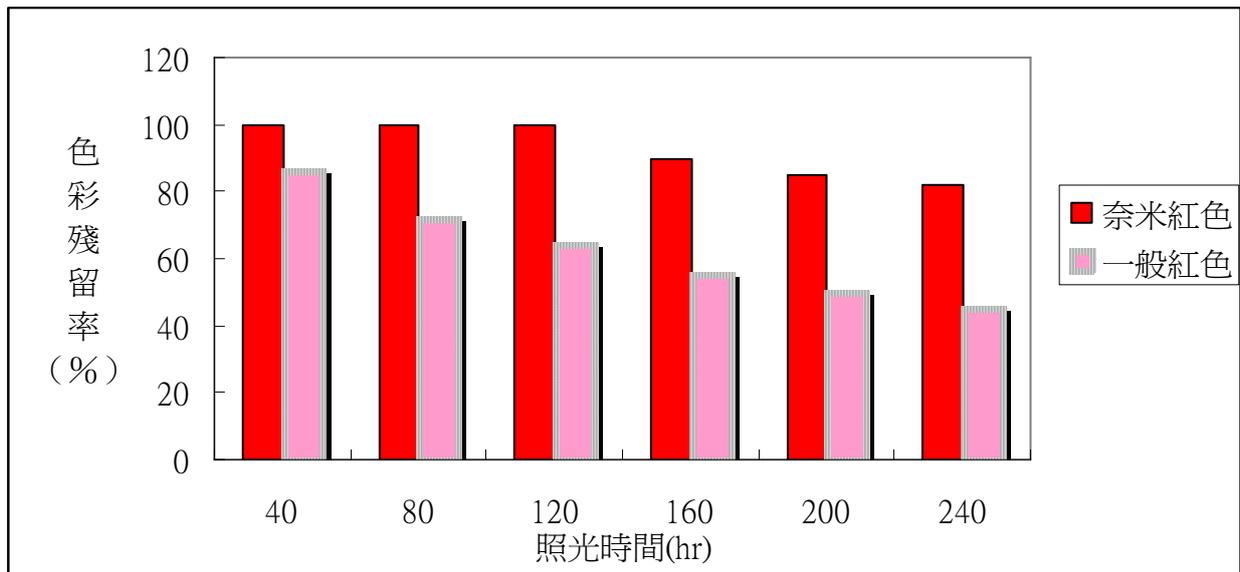
圖二十太陽光光源照射在紅色之不同色料的色彩殘留率



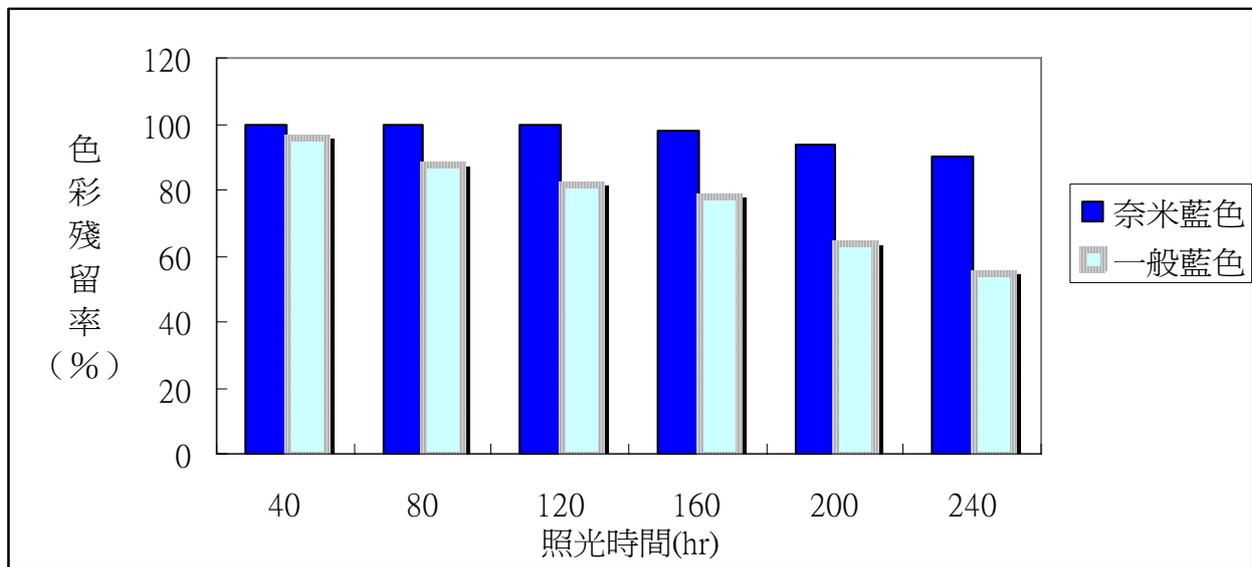
圖二十一 太陽光光源照射在藍色之不同色料的色彩殘留率



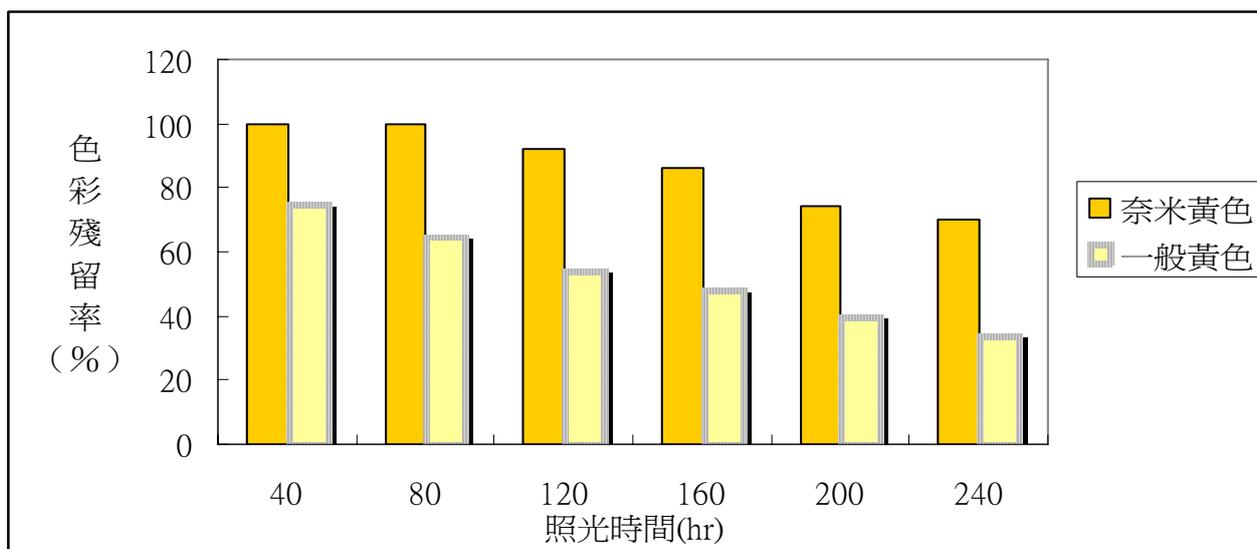
圖二十二 太陽光光源照射在黃色之不同色料的色彩殘留率



圖二十三 白光光源照射在紅色之不同色料色彩殘留率



圖二十四 白光光源照射在藍色之不同色料色彩殘留率



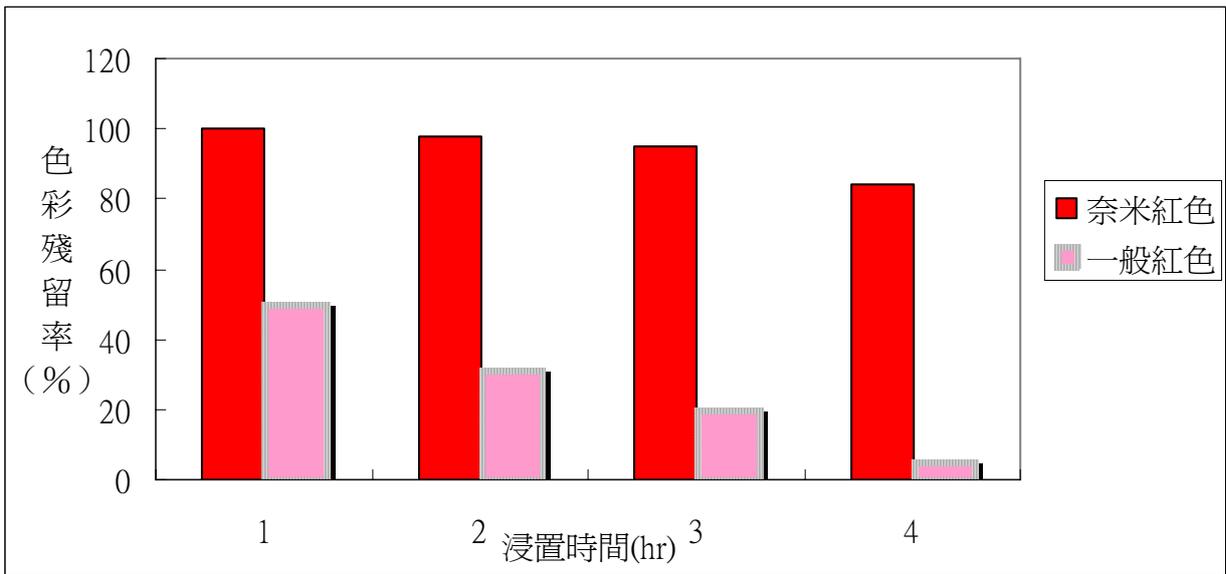
圖二十五 白光光源照射在黃色之不同色料色彩殘留率

(二)洗滌實驗

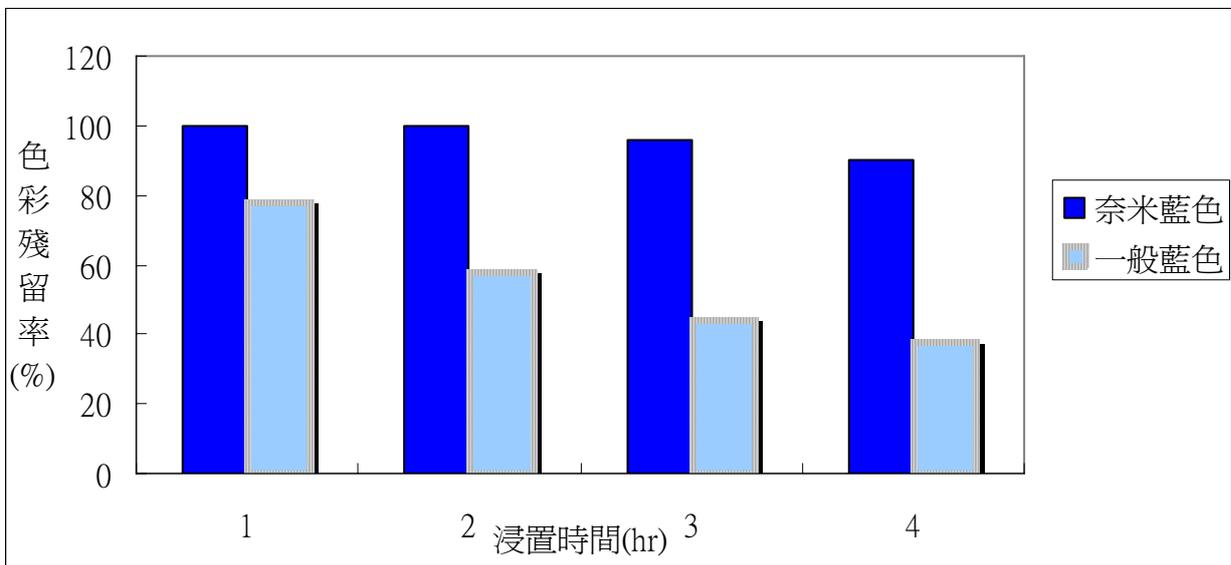
將彩色蠶繭浸漬在不同的洗潔劑中，以超音波攪拌器清洗之，比較色彩殘留率，如表十二及圖二十六至圖三十四所示。

表十二 不同色料彩色蠶繭之洗滌實驗

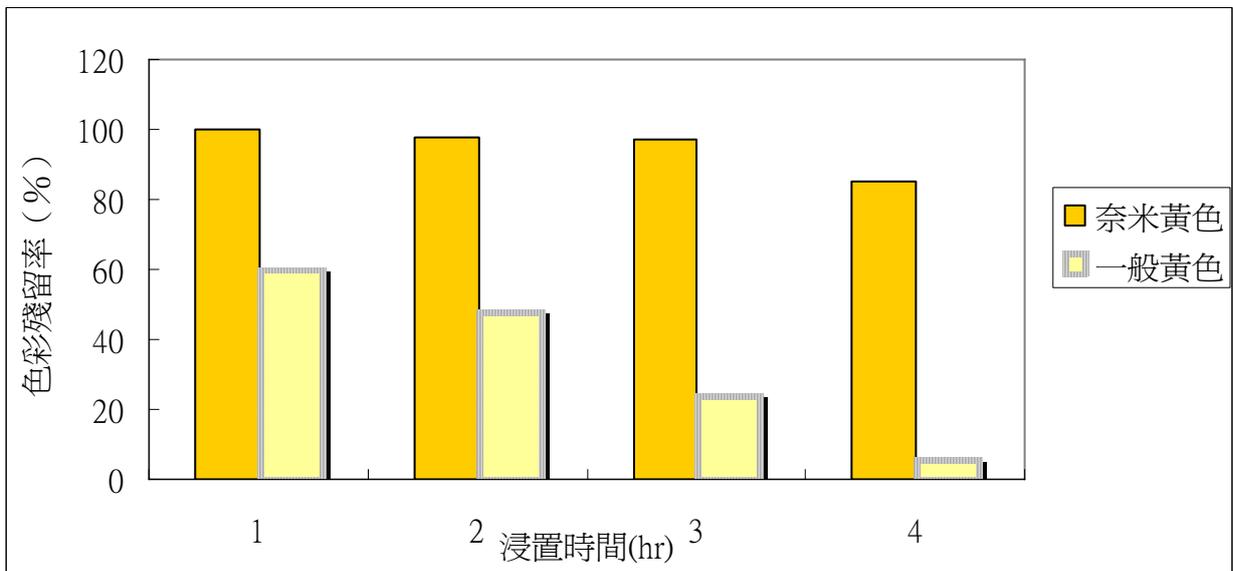
洗滌條件		色彩殘留率（%）					
洗劑種類	浸置時間 (小時)	奈米色料			一般色料		
		紅色	藍色	黃色	紅色	藍色	黃色
Rene Furterer Forticea 洗髮精	1	100	100	100	64	78	60
	2	99	100	98	52	58	48
	3	94	96	90	29	44	24
	4	88	90	85	8	38	6
一匙靈 洗衣粉	1	100	100	100	50	56	45
	2	98	100	99	31	40	28
	3	95	98	96	20	28	17
	4	84	96	80	5	24	4
毛寶 冷洗精	1	100	100	100	63	68	45
	2	98	100	98	50	57	33
	3	97	96	88	26	30	19
	4	92	94	90	16	20	12



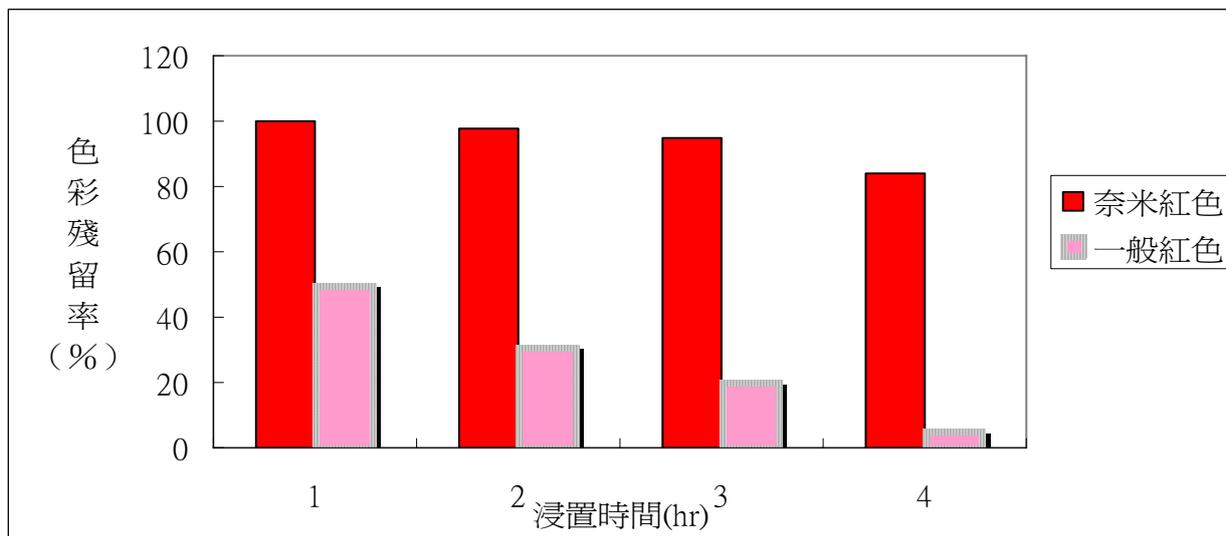
圖二十六 Rene Furterer Forticea 洗髮精洗滌在紅色之不同色料色彩殘留率



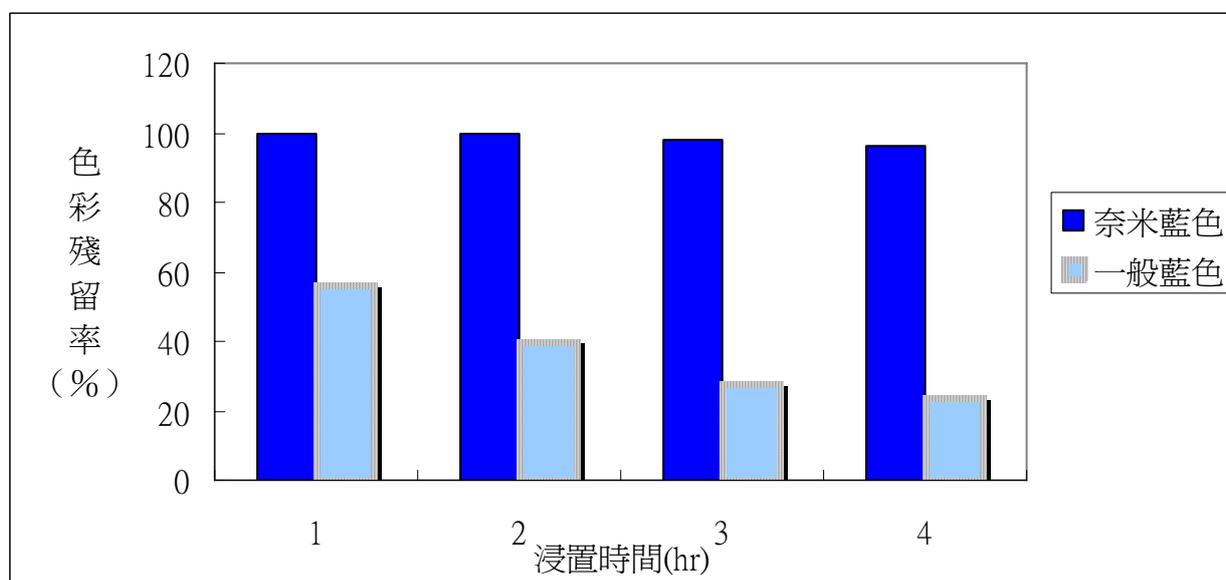
圖二十七 Rene Furterer Forticea 洗髮精洗滌在藍色不同色料色彩殘留率



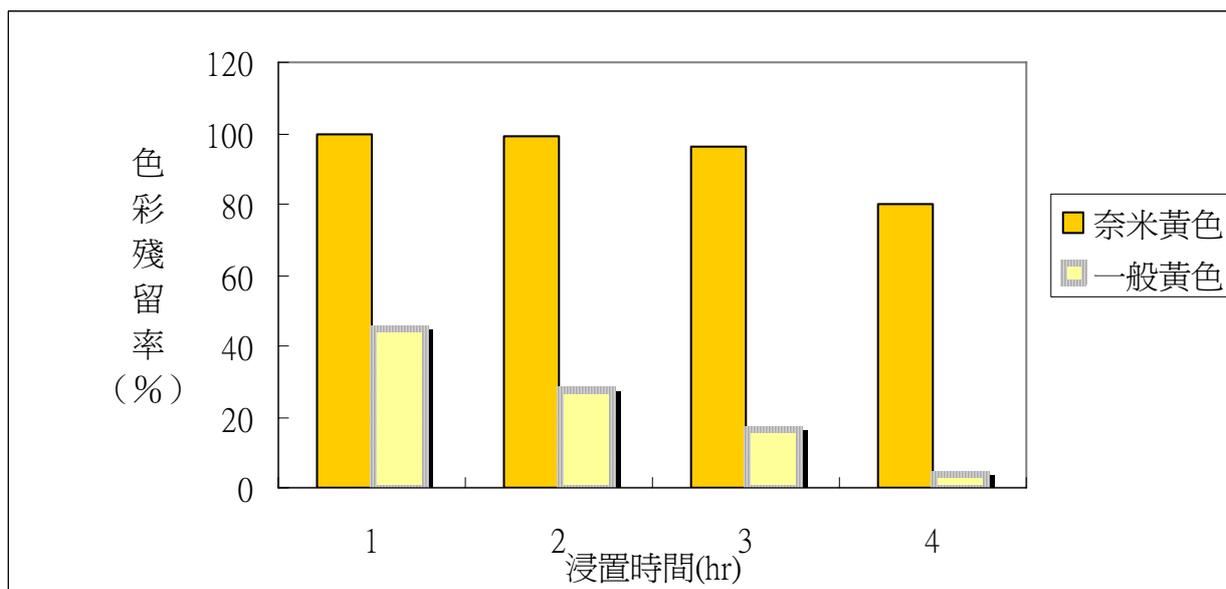
圖二十八 Rene Furterer Forticea 洗髮精洗滌在黃色之不同色料色彩殘留率



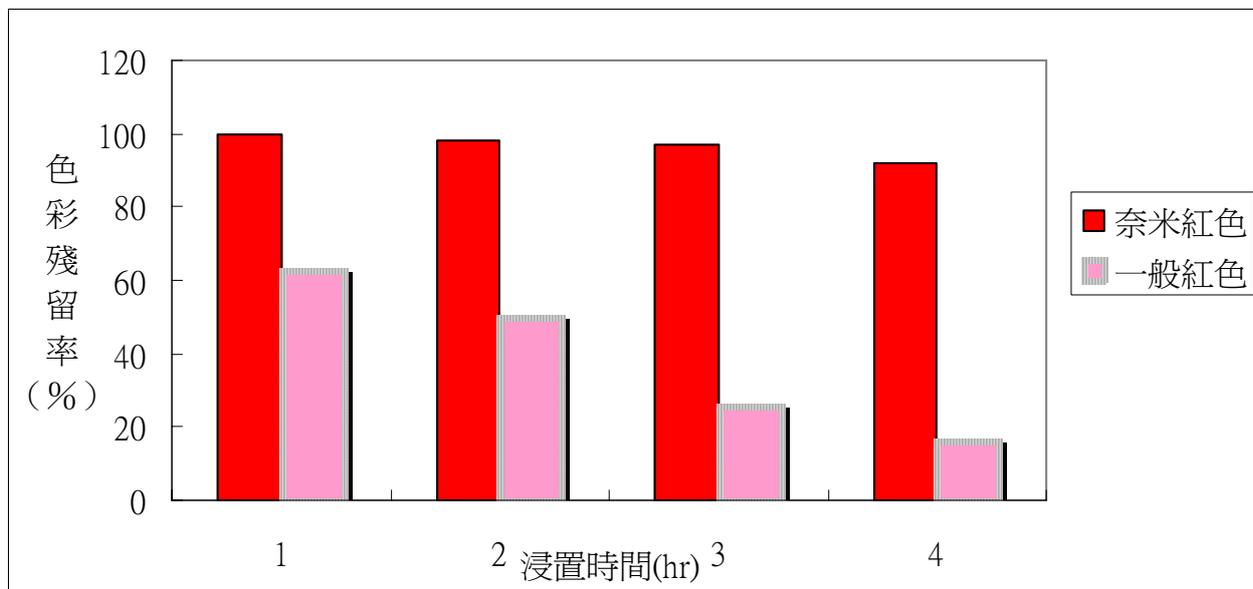
圖二十九 一匙靈洗衣粉洗滌在紅色之不同色料色彩殘留率



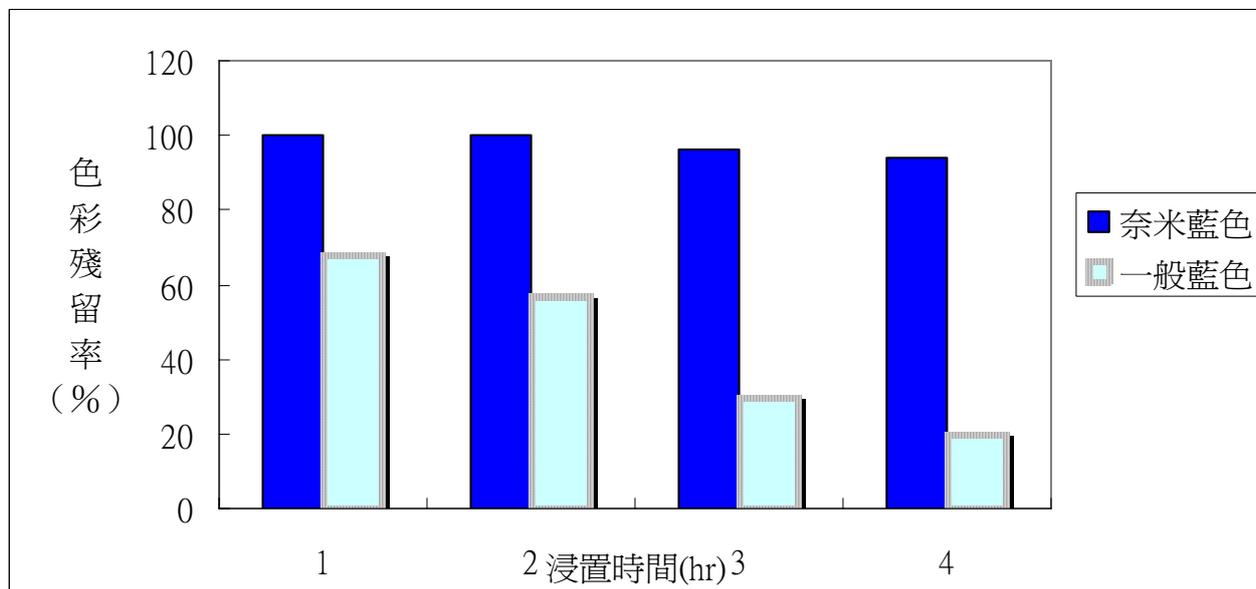
圖三十 一匙靈洗衣粉洗滌在藍色之不同色料色彩殘留率



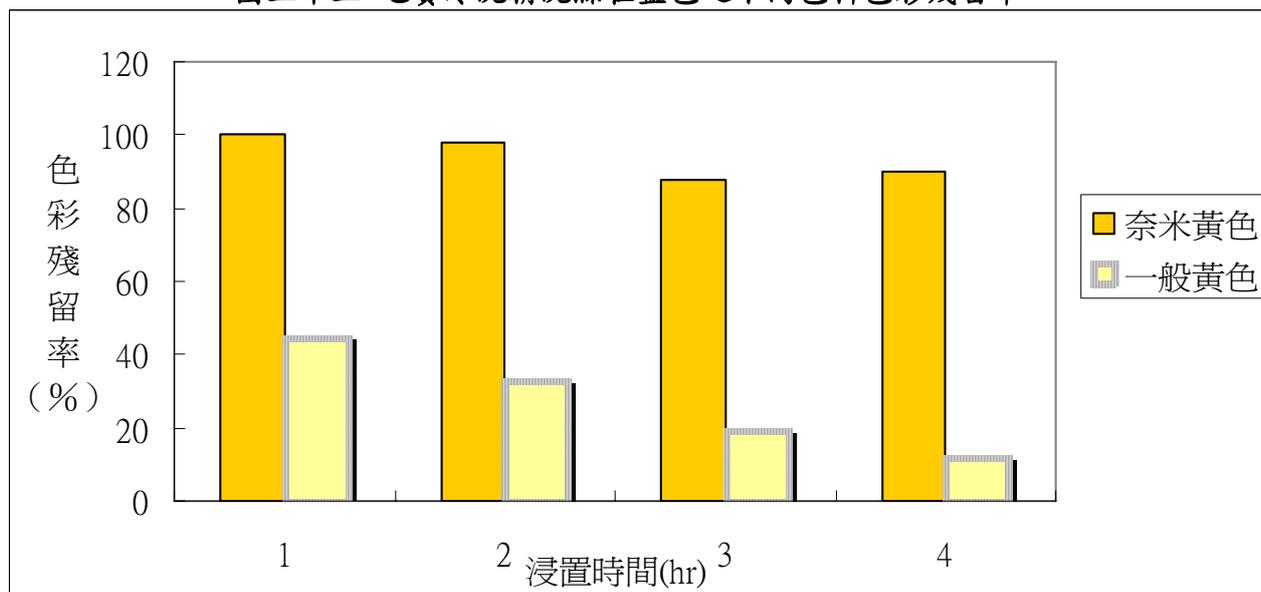
圖三十一 一匙靈洗衣粉洗滌在黃色之不同色料色彩殘留率



圖三十二 毛寶冷洗精洗滌在紅色之不同色料色彩殘留率



圖三十三 毛寶冷洗精洗滌在藍色之不同色料色彩殘留率

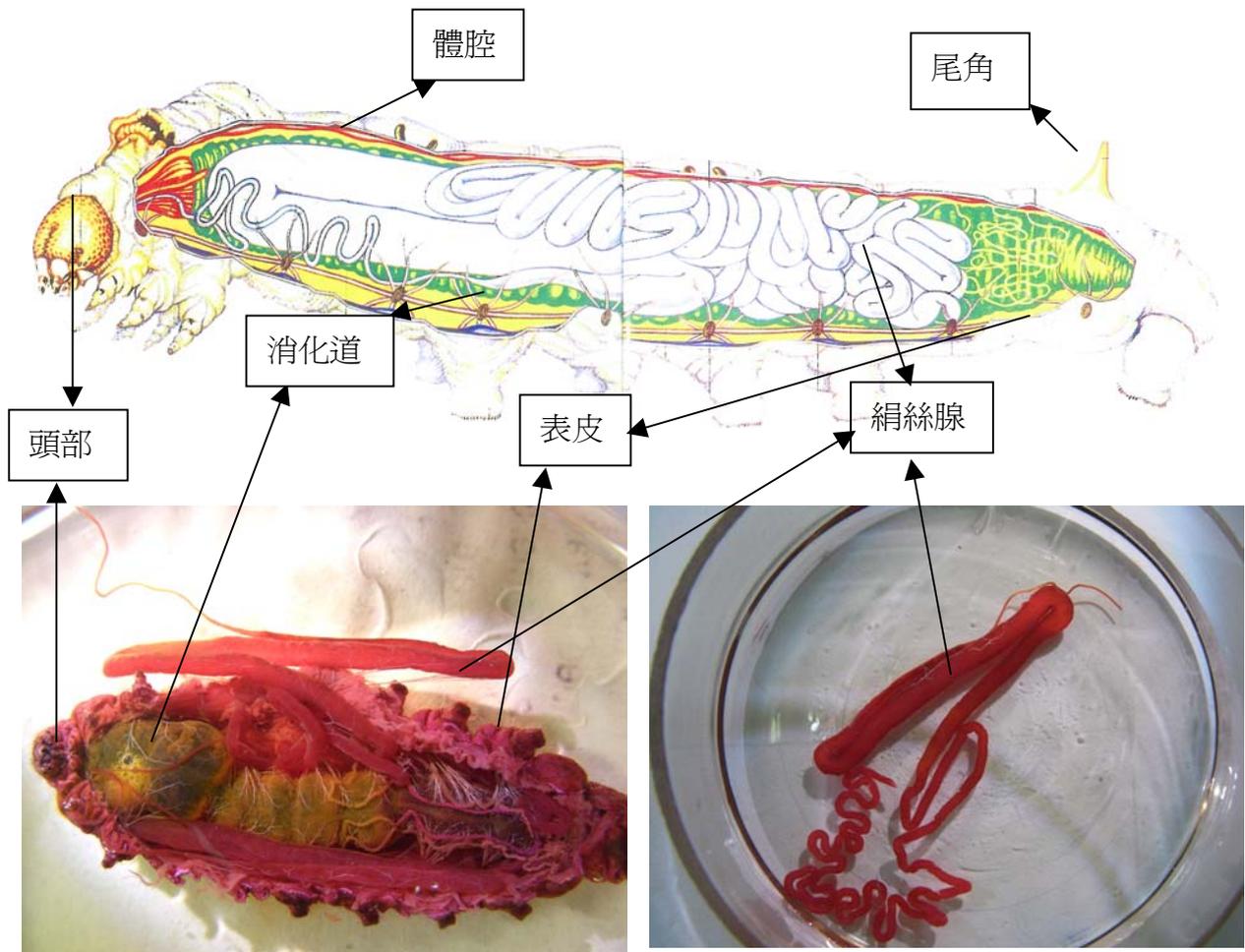


圖三十四 毛寶冷洗精洗滌在黃色之不同色料色彩殘留率

三、微結構之探討

本研究是利用解剖顯微鏡對家蠶進食含有色料的飼料進行觀察，如圖三十五；進一步探討不同色料彩色蠶繭之微結構，本研究利用 SEM 進行觀察分析，了解其表面光滑度及蠶絲線線徑差異，如圖三十六及圖三十七所示。

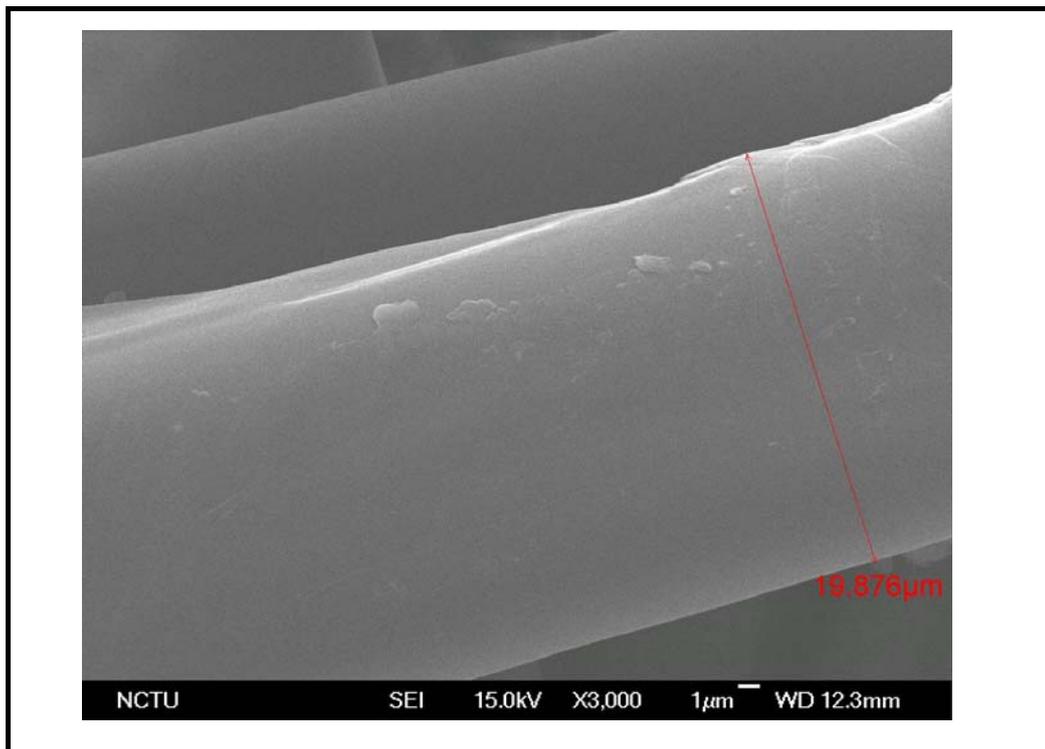
(一)解剖顯微鏡下觀察



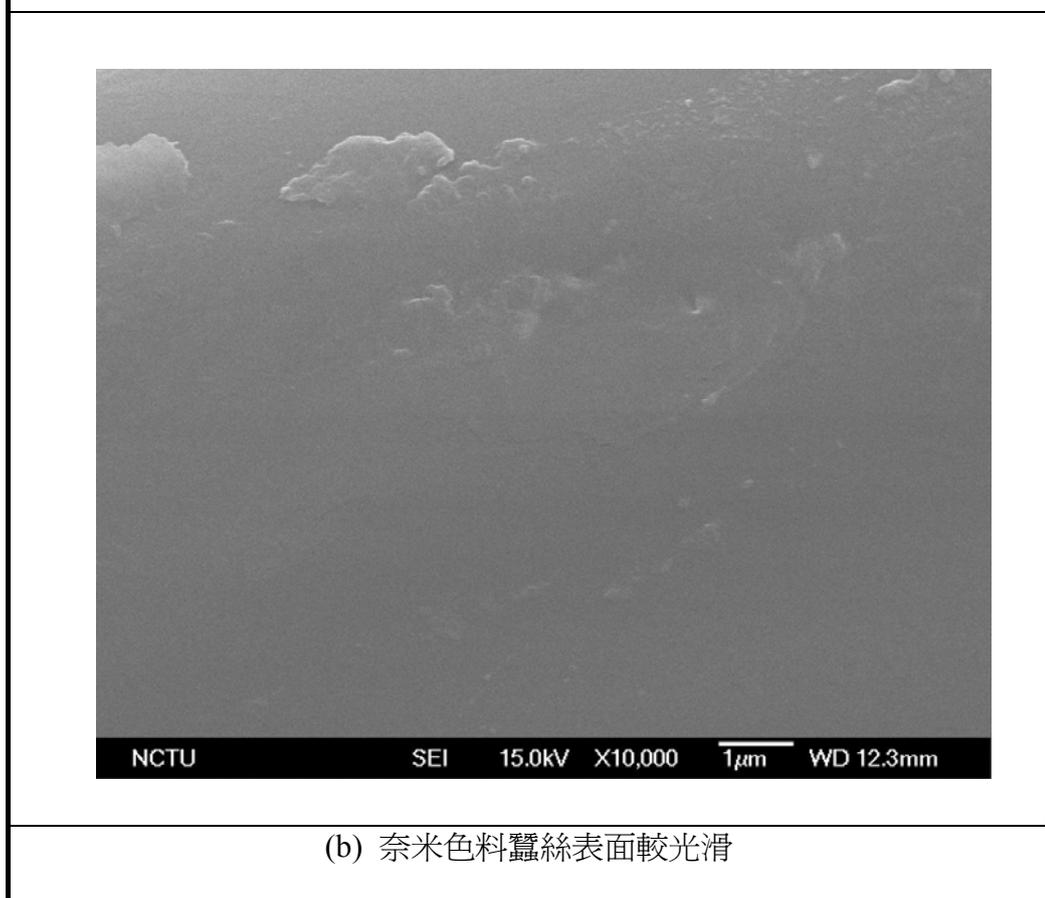
圖三十五 家蠶的解剖圖

(二)掃描式電子顯微鏡下觀察

1.奈米色料



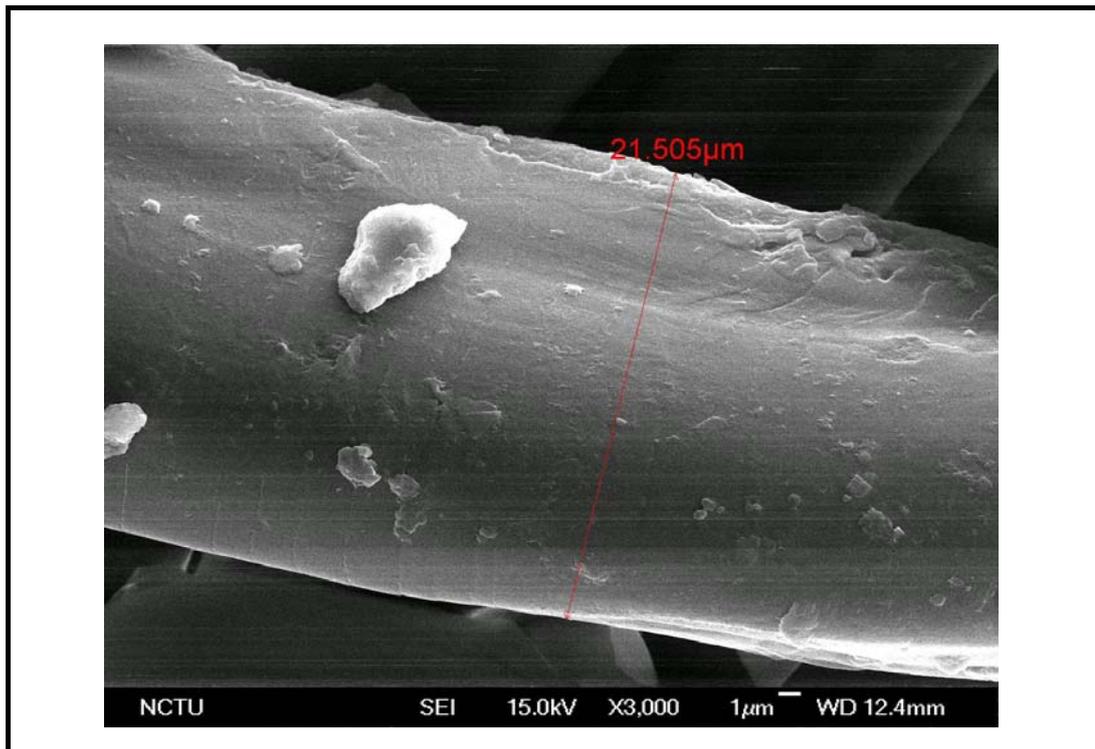
(a)奈米色料蠶絲線徑 19.876μm



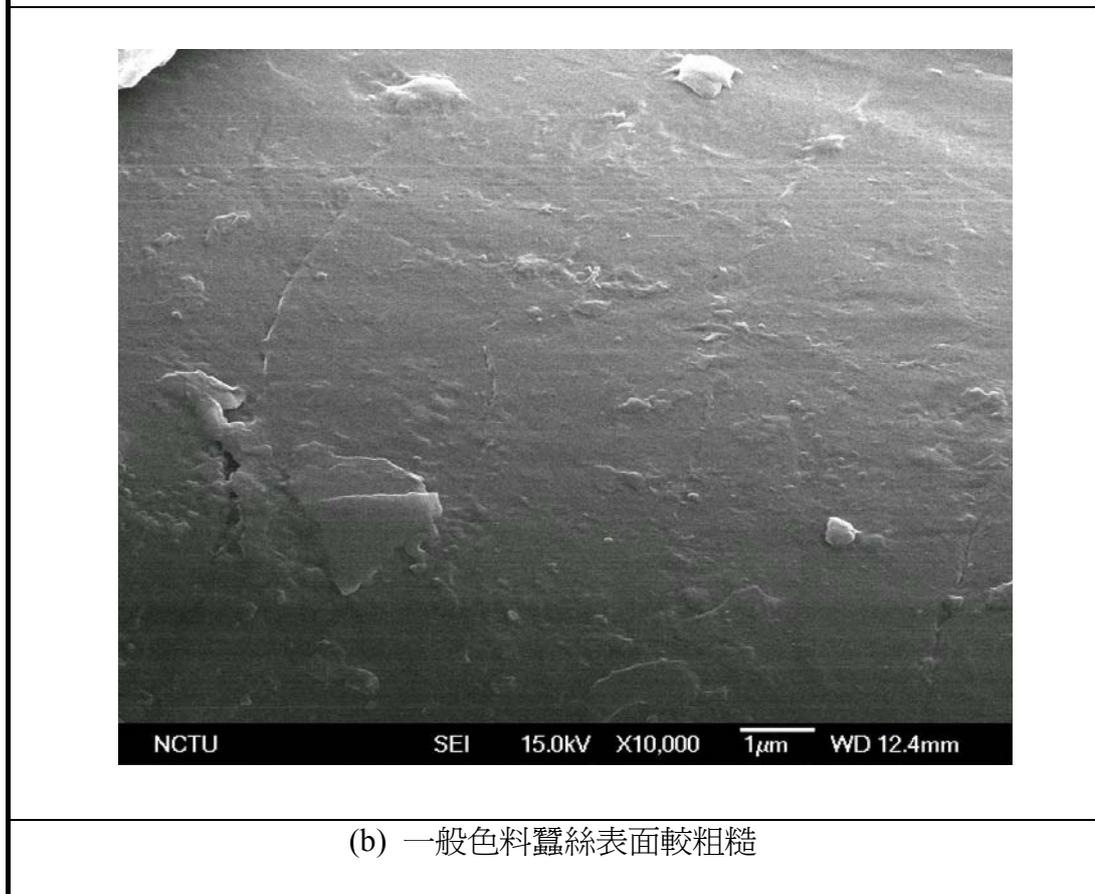
(b) 奈米色料蠶絲表面較光滑

圖三十六 奈米色料蠶絲的顯微結構

2.一般色料



(a)一般色料蠶絲線徑 21.505μm



(b)一般色料蠶絲表面較粗糙

圖三十七 一般色料蠶絲的顯微結構

肆、討 論

本實驗研究結果可分為三方面討論：

一、彩色蠶繭結繭情形

彩色蠶繭結繭情形研究結果可分為下列三方面討論：

(一)不同色料彩色蠶繭之結繭成功率

以奈米色料及一般色料所產生彩色蠶繭之結繭成功率，如圖十六所示，奈米色料彩色結繭成功率優於一般色料彩色結繭成功率，可能原因為：奈米色料顆粒度較一般色料顆粒度小，導致奈米色料載體在蠶體中負擔較小，因而可獲得較高的結繭成功率。又奈米色料所產生的紅色蠶繭結繭成功率優於藍色及黃色，可能原因為：紅色奈米色料顆粒度較藍色及黃色的顆粒度小。

(二)不同色料種類彩色蠶繭之色彩度

本研究奈米色料彩色蠶繭之色彩度實驗結果，如圖十七及圖十八所示，一般色料色彩度優於奈米色料色彩度，可能原因為：一般色料比重大於奈米色料之比重，導致一般色料在蠶體中產生較優之彩色蠶繭；又一般色料所產生藍色蠶繭色彩度優於紅色及黃色，可能原因為：一般色料藍色色料比重較紅色及黃色大。

(三)不同色料彩色蠶繭附著程度

將不同色料彩色蠶繭橫切開後，可進一步了解不同色料彩色蠶繭附著程度，觀察整顆蠶繭並不是全部都有顏色，其外圍有家蠶所食色料之顏色，但最內層卻是呈現原來的白色，此乃因家蠶吐絲到最後，有含有色料蠶絲已被吐盡，故最內層會呈現白色。

本研究所得的彩色蠶繭附著程度實驗結果，如圖十九所示，由此圖中我們可以得知，奈米色料附著程度優於一般色料附著程度，可能原因為：奈米色料的顆粒度比一般色料的小許多，故色料較易進入蠶體中，即蠶體可吸收到較多的色料，所以結繭時，有較多的色料可與蠶絲結合，因此可以得到較高的附著度。又奈米色料生產之紅色彩色蠶繭色料附著度又優於藍色與黃色，可能原因：紅色色料的顆粒度又小於藍色與黃色。

二、不同光照及水洗條件

不同光照及水洗條件研究結果可分為下列兩方面討論：

(一)光照實驗

本研究不同色料彩色蠶繭之光照實驗結果，如圖二十及圖二十五所示，以奈米色料及一般色料所產生彩色蠶繭光照實驗，奈米色料在太陽光及白光照射下，色彩殘留率優於一般色料彩色蠶繭在太陽光及白光照射下，此乃因光源波長大於奈米色料顆粒度 90nm，所以較不易破壞奈米彩色蠶繭。

(二)洗滌實驗

由實驗結果可知，餵食奈米色料所結出的彩色蠶繭，有更高的能力來抵抗光照及清潔劑的清洗等，也較不易褪色；而較餵食一般色料的彩色蠶繭，比較沒有那麼高的能力去抵抗光照及清潔劑的清洗等，也比較容易褪色。這是因一般色料與絲腺所形成之蠶絲附著性相對較差，所以無法如奈米色料一般可與該絲腺形成結構上之配合（match）。因此經由奈米色料處理之蠶繭，對於褪色及洗滌試驗均能具有極高之穩定性。

三、微結構之探討

(一)解剖顯微鏡下觀察

由圖三十五我們可以得知，彩色蠶繭不同波美度之色料確實進入家蠶的絹絲腺中，其色料運送路線是由消化道消化之後進入體液中，並由體液再進入絹絲腺中，等家蠶欲吐絲結繭時，液態絹絲由後部絹絲腺運送到中部絹絲腺，最後由前部絹絲腺運送到頭部，由前端口器吐出，即蠶絲。

(二)掃描式電子顯微鏡下觀察

1.奈米色料

奈米色料所產生之彩色蠶絲以掃描式電子顯微鏡拍攝，如圖三十六之(a)所示，因為奈米色料與蠶絲之均勻性結構且可得到較小的線徑(19.87 μm)；又如圖三十六之(b)所示，其呈現彩色蠶絲的表面，可以發現該奈米色料顆粒所能產生之蠶絲表面波紋甚為輕微，使得蠶絲表面呈現高度光滑而不粗糙的感覺。

2.一般色料的顯微結構

一般色料所產生之彩色蠶絲以掃描式電子顯微鏡拍攝，如圖三十七之(a)所示，由於一般色料無法與蠶絲形成均勻之結構且產生較大線徑(21.51 μm)；又如圖三十七之(b)所示，其呈現彩色蠶絲的表面，因為與該色料顆粒間之排斥作用而造成蠶絲表面的粗糙現象。

3.色料顆粒度

奈米色料粒徑及粒度極佳，是影響所結成之繭中色料存在量之主要因子。當色料進入絲腺內之後，其在絲腺中分佈之均勻度，此乃因奈米色料粒徑及色彩度極佳有關。奈米色料所得彩色蠶繭，可以呈現較優結繭成功率、耐光照及耐褪色等。

伍、結論與應用

- 一、奈米色料彩色蠶繭之結繭成功率優於一般色料彩色蠶繭。
- 二、一般色料色彩度優於奈米色料色彩度，但奈米色料色彩度較為自然。
- 三、奈米色料彩色蠶繭之附著程度優於一般色料彩色蠶繭。
- 四、奈米色料彩色蠶繭在太陽光及白光照射下，色彩殘留率明顯優於一般色料彩色蠶繭在太陽光及白光的照射。
- 五、奈米色料彩色蠶繭在洗髮精及洗衣粉和冷洗精耐洗洗滌試驗下，色彩殘留率優於一般色料彩色蠶繭在洗髮精、洗衣粉和冷洗精的耐洗洗滌試驗。
- 六、不同波美度以及顏色的色料確實進入蠶體的絹絲腺。
- 七、奈米色料彩色蠶繭所產生之彩色蠶絲線，其線徑較一般色料彩色蠶繭所產生之彩色蠶絲線徑小 $1.61\mu\text{m}$ ，且表面光滑度且均勻度較優於一般色料彩色蠶繭所產生之彩色蠶絲線。
- 八、本研究以飼料餵食蠶體突破傳統用桑葉餵食蠶體，可較不受天候影響，得到較高的結繭成功率。
- 九、本研究利用奈米色料找出最佳蠶繭色澤之參數組合：
 - 1.利用奈米色料混合於蒸餾水 50c.c，比重為紅色：1.0480、藍：1.0586、黃：1.0392(g/cm^3) 可以獲得最佳的結繭成功率及附著程度。
 - 2.利用一般色料混合於蒸餾水 50c.c，比重藍色：1.30866 優於為紅色：1.2547 及黃色：1.1648(g/cm^3)，可以獲得最佳的色彩度。
 - 3.利用奈米色料彩色蠶繭在太陽光光源照射 40~80 小時下較不易褪色。
 - 4.利用奈米色料彩色蠶繭在白光光源照射 40~160 小時下較不易褪色。
 - 5.利用奈米色料彩色蠶繭用洗衣粉在超音波攪拌 2.5 小時內較不易褪色。
 - 6.利用奈米色料彩色蠶繭用洗髮精在超音波攪拌 3 小時內較不易褪色。
 - 7.利用奈米色料彩色蠶繭用冷洗精在超音波攪拌 4 小時內較不易褪色。
- 十、奈米色料的彩色蠶繭在學術研究或科學教育方面應用性都很廣，所以我們可以將此研究應用至許多的產業，如：紡織業、醫療業、工業、商業、食品業等等。因眾多環境因素等等的原因，蠶桑業已漸漸沒落，所以彩色蠶繭的研究，可以重新喚起世人對蠶桑業的重視，為蠶農找回他們的第二春，亦可以配合目前欣欣向榮的觀光農業，使台灣的蠶桑業更加的蓬勃發展。

陸、參考資料及其他

- 一、羅於陵、鄭凱安 (2000)，《奈米技術投資與市場發展趨勢》，經濟部工業局
- 二、郭東瀛與郭俊鑫 (2002b)，「奈米技術介紹及其展望」，工業技術研究院產業報告。
- 三、Chien-ChonCHEN,Chin-GuoKUO,Jung-Hsuan CHEN and Chuen-Guang CHAO,J.Jurnal of Applied Physics,Vol.43,No.12, Dec.2004, pp.8354-8359.
- 四、郭金國、陳蓉萱、朝春光，規則性排列的氧化鋁奈米孔洞的製備，中華民國陶業學會 93 年度學術論文發表會，頁 125-128，2004 年 5 月 15 日，台北科技大學。
- 五、Huang, Y., Duan, X., Gui, Y., and Lieber, C. M. (2002), Nano Lett., 2, 101-104.
- 六、Duan, X., Huang, Y., Gui, Y., Wang, J., and Lieber, C. M. (2001), Nature,409 , 66-69.
- 七、Heremans, J. P., Thrush, C. M., Morelli, D. T., and Wu, M. C. (2002), Phys. Rev. Lett., 88, 1-4.
- 八、H. Pettersson, L. Baath, N. Carlsson, W. Seifert, L. Samuelson (2002), Appl. Phys. Lett., 91 ,4590.
- 九、Johnson, J. C., Yan, H., Schaller, R. D.,Petersen, P. B., Yang, P., and Saykally, R.J. (2002), Nano Lett., 2, 279-283.
- 十、Huynh, W., Dittmer, J., and Alivisattions, A. P. (2002), Science, 295, 2425-2427.
- 十一、廖光正，彩色蠶繭生產技術，蠶蜂業專訊，革新第一號 24 期，pp6，1992。
- 十二、廖光正、吳美雲、朱耀沂，桑葉枝條在養蠶用人工飼料中之利用價值，中華昆蟲第八卷，pp113-117，1998。
- 十三、劉增城，家蠶的一生，農委會苗栗農業改良場，2002。
- 十四、廖光正，人工飼料在養蠶上之利用，中華昆蟲特刊第五號-有用昆蟲研討會，pp37-45，1990。
- 十五、潘文福，奈米科技融入九年一貫課程之領域主題規劃，生活科技教育月刊，三十七卷，第二期，2004 年，pp20-25。
- 十六、呂宗昕，奈米科技與光觸媒，商周出版，2004，p17。

柒、致謝

本研究部分經費承教育部「臺北市 95 年度中等學校學生研究獎助計畫」補助，應用科學科一等獎，僅此致謝。

評語

本作品以餵食含奈米色料的桑葉，而讓蠶吐出彩色的，接著研究這彩色絲的耐久性，這是有創意的作品。但對彩色絲的物理性質及含色料的餵食對蠶的生活行為應做進一步的研究。