

# 2011 年臺灣國際科學展覽會

## 優勝作品專輯

編號：100003

### 作品名稱

使用於生產基因工程蛋白之家蠶自動注射系統的研究

### 得獎獎項

三等獎

作者姓名：蕭季威

就讀學校：臺北市立建國高級中學

指導教師：趙裕展

關鍵字：家蠶、自動注射、蠶絲蛋白

## 作者簡介



我是蕭季威，現在就讀臺北市立建國高中二年級。我從小就對數理科學很有興趣，每年都找機會參加各種科學體驗營和科學競賽，從其中我學到了很多物理、化學、航太、地球科學、電腦、機器人等知識。國小時曾經以環保淨水的研究得到全國科展第三名，上了國中後除了在學校的數理資優課程吸收更多元的數理知識外，也參加機器人比賽和青少年發明展，得到不錯的名次。同時我仍一直持續在做科展研究，並以傳熱控制、磁力的緩衝作用、可變倍率透鏡等研究題目參加了北市科展、全國科展、2008 臺灣國際科展、2009 臺灣國際科展、2010 臺灣國際科展及 2010 美國 ISEF，得過全國科展第一名和臺灣國際科展工程學科第二名、第一名以及 ISEF 工程科大會獎三等獎。從這些科展研究中，我樂於享受做實驗過程中的甘苦滋味。

經過這些歷練，我除了學到許多課堂上沒有教的知識外，我最大的收獲應該是培養了獨立思考和研究的能力，我會去思考如何瞭解問題，嘗試設計實驗的方法，解決自己實驗中所遇到的問題，還能自己設計一個完整的實驗程序，並耐心

的做完整個實驗和分析。其實科學實驗在建立實驗設備和進行實驗的過程，時時都充滿了挫折感，尤其是兩三個月都找不到合適的材料或方法時，真的感受到那種深深的挫折感；不過，老話一句，只要有耐心，持之以恆，用心去體會過程，科學實驗其實還是很有趣的。

# 使用於生產基因工程蛋白之家蠶自動注射系統的研究

## 摘要

本研究計畫之目的在建立一個家蠶自動注射系統，並應用此系統讓家蠶生產具特定抗菌蛋白之蠶絲，製成抗菌繃帶。使用家蠶為載體生產特定基因工程蛋白，具有成本低廉、產量大、品質較好等優點，而家蠶自動注射系統可以大幅增加其生產基因工程蛋白蠶絲的效率。本研究中先進行家蠶表皮組織之研究，找出家蠶的最佳注射點。其次使用電流變液做為介質，設計了可控快速家蠶固定系統，並使用單一攝影機進行影像辨識，進行注射器之雙軸定位。接著發展出小液量之微量注射器，每次注射量可低至 2  $\mu\text{l}$ 。系統中並設計一圓盤式輸送系統，可快速運送家蠶至定點接受注射。研究後段以實驗控制桿狀病毒之濃度，讓家蠶產出具特定抗菌蛋白之蠶絲，並使用該蠶絲製成抗菌繃帶，可有效保護傷口免於特定細菌之感染。

# **Study of the automatic injection system for silkworm in engineered protein production**

## **Abstract**

This research aimed at developing an automatic injection system for silkworm to produce silk with specified antimicrobial peptides. Silkworm was a good carrier to produce good-quality engineered protein cheaply and efficiently. And an automatic injection system could significantly increase the production efficiency. In this research, the silkworm skin was tested to find the optimal injecting location. Then a controllable silkworm-fixing device which applied electro-rheological fluid was designed. Besides, image recognition was also applied to perform the dual-axis locating. A circular conveyer system transported silkworm to be injected by a designed micro injector. At the last part the concentration of baculovirus was controlled to make silkworm producing a cocoon which contained specified antimicrobial peptides. Bandages made of such silk could be helpful to prevent wound being infecting.

## 目錄

摘要 .....	iv
壹、研究動機 .....	1
貳、研究目的及研究問題 .....	2
參、研究設備及器材 .....	6
肆、研究過程及方法 .....	7
研究一 家蠶注射之特性探討.....	7
研究二 家蠶自動注射系統.....	16
研究三 自動注射系統之優化 --- 第二代家蠶自動注射系統...	30
研究四 具抗菌蛋白蠶絲之轉植生產與應用.....	47
伍、結論與應用 .....	53
陸、參考資料及其他.....	54

## 壹、研究動機

基因工程蛋白可應用在動物疫苗、飼料營養添加物、檢驗試劑蛋白、實驗室用蛋白、工業用蛋白等，有極高之應用價值。但目前基因工程蛋白的生產，都是利用發酵槽培養細菌或酵母菌的方式以生產基因工程蛋白；由於使用發酵槽成本非常昂貴，技術條件也較高，所生產的蛋白質價格高昂。如果以家蠶為載體來生產蛋白質，不但成本低廉，而且產量大、生產的蛋白質品質也較好[1,2]，所以現在有關以家蠶為載體來生產蛋白質的相關研究漸漸增加。

使用家蠶為載體來生產蛋白質，必須將選定的基因片段置換到桿狀病毒的轉錄區域中，再以此桿狀病毒感染家蠶，讓家蠶體內自然產生帶有此種基因表現的蛋白，則家蠶的體液或所吐的蠶絲均會含有此特定的基因蛋白，藉由抽取體液或溶解蠶絲再加以純化，就可以得到此特定的基因蛋白。然而目前大部分都使用人工進行桿狀病毒的注射，無法快速大量的生產基因蛋白，僅能少量生產供研究實驗使用。因此發展一個使用於生產基因工程蛋白之家蠶自動注射系統有其重要性，使注射家蠶的流程可以自動化，達到節省人力、快速且大量注射、增加生產效率。

## 貳、研究目的及研究問題

針對利用家蠶生產基因工程蛋白，本研究之目的在建立一個家蠶自動注射系統的平台，使注射桿狀病毒至家蠶體內的流程可以自動化，達到節省人力、快速且大量注射的目的。且研究中亦將抗菌蛋白加入桿狀病毒內，使家蠶經注射後，其所吐的蠶絲中包含了特定的抗菌蛋白，若以平面繭方式所得之蠶絲，則可直接應用於不同用途之抗菌中。

但是家蠶自動注射系統之發展，並不像工廠自動生產線上的貨物那麼單純，一條生產線上的貨物，體積大小一致，應用紅外線感知器等感測器，可以在各件貨物上的同一地點，進行打印、衝孔等工作。但是家蠶是活體，體積小，會扭動，不像貨物會靜置在輸送帶上，所以要發展一個家蠶自動注射系統之前，有些問題需要先深思和克服。我請教過指導老師和實際操作家蠶人工注射的學姊，初步瞭解注射家蠶時有幾點特殊需注意之處：

1. 家蠶的表皮為幾丁質，硬度高，不容易刺穿；
2. 家蠶身體內部消化道佔大部分體積，其餘可供注射部位之深度淺，注射的深度須精確；
3. 家蠶不會乖乖地待在同一定點趴好，必須防止家蠶四處爬行；
4. 家蠶易扭動，注射器自動對準有困難；
5. 各家蠶體型大小不一，注射器難以準確接觸家蠶身體；
6. 注射量很微小，一般針筒難以控制注射量；
7. 注射器必須能快速作動，控制迅速完成注射動作。

因此本研究擬建立一家蠶自動注射平台，並針對前述問題擬定解決方法。對

此自動注射平台之初步構想是架設一條自動輸送帶，輸送帶上方設有注射系統，如圖 1；將家蠶依序送上輸送帶後，系統固定家蠶並自動偵測家蠶是否到達定位，再讓注射頭接觸家蠶應注射之部位，自動注入一份微劑量後，家蠶繼續輸送到後方集中盒。

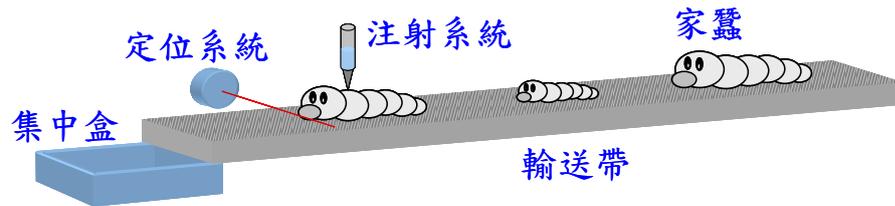
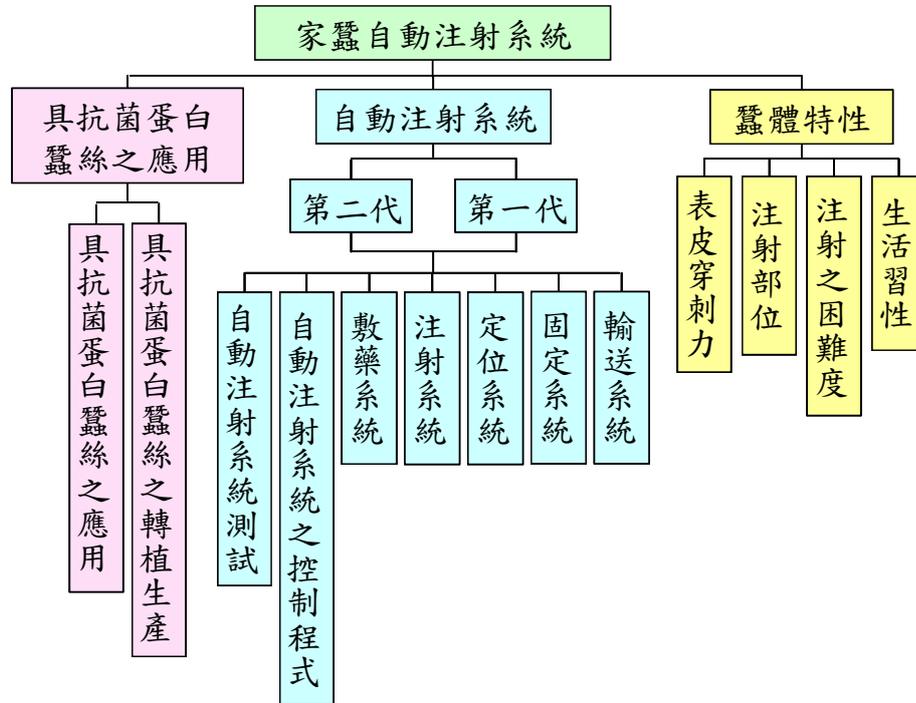


圖 1 家蠶自動注射平台之示意圖

因此針對前述之問題，這個研究有下列幾個各研究項目要進行探討與實驗。

1. 家蠶表皮及體內組織之特性：
2. 家蠶輸送及固定系統之設計
3. 家蠶定位及注射系統之設計
4. 具抗菌蛋白的蠶絲之生產
5. 具抗菌蛋白蠶絲之應用

各項研究目的和流程如下。



研究探討分項工作如下：

研究目的		研究項目
一	家蠶注射之特性探討	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 家蠶生活習性探討</li> <li>2. 家蠶適宜注射部位之探討</li> <li>3. 家蠶表皮穿刺力之探討</li> </ol>
二	家蠶自動注射系統	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 家蠶輸送系統</li> <li>2. 家蠶固定系統</li> <li>3. 家蠶定位系統</li> <li>4. 家蠶注射系統</li> <li>5. 家蠶敷藥系統之設計</li> <li>6. 家蠶自動注射系統之控制程式</li> </ol>
三	自動注射系統之優化 --- 第二代家蠶自動注射系統	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 優化之家蠶輸送系統</li> <li>2. 優化之家蠶固定系統               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 英艙固定系統</li> <li>2.2 優化之彈性固定系統</li> <li>2-3、電流變液彈性固定系統</li> </ol> </li> <li>3. 優化之家蠶定位系統</li> <li>4. 優化之家蠶注射系統</li> <li>5. 家蠶自動注射系統之控制程式</li> <li>6. 家蠶自動注射系統測試</li> </ol>
四	具抗菌蛋白蠶絲之轉植生產與應用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 具抗菌蛋白蠶絲之轉植生產</li> <li>2. 具抗菌蛋白蠶絲之應用</li> </ol>

## 參、研究設備及器材

研究項目	研究設備與器材
家蠶注射之特性	冷凍切片機、推力計、自製表皮穿刺力測量器、解剖墊、解剖剪刀
注射系統之設計	塑膠密封機、3V 雷射筆、光感測器、NXT 控制器、NXTCam 影像模組、NXTCamView 影像辨識程式、NXT 9V 馬達、微量注射針頭、Robolab 2.9、NXTG 2.0
抗菌蛋白蠶絲之應用	紫外燈

## 肆、研究過程或方法

針對利用家蠶生產基因工程蛋白，本研究之目的在建立一個家蠶自動注射系統的平台，可快速、大量的進行家蠶之注射。研究過程可分為三大項：

1. 家蠶注射特性：瞭解家蠶對注射系統的限制條件；
2. 自動注射系統建構：建立並優化自動注射系統；
3. 抗菌蛋白蠶絲之應用：生產並應用含抗菌蛋白之蠶絲。

以下將就此三大項的研究，分別依序進行。

### 研究一、家蠶注射之特性探討

#### 1. 家蠶生活習性探討

家蠶為完全變態昆蟲，生活史包括卵、幼蟲、蛹、成蟲 4 個階段，其品種繁多，台灣苗栗農業改良場原有三、四百種家蠶，但經過不斷「併種」後，目前剩下 163 種 [2]。圖 1.1 為家蠶的身體構造 [3]，一般白色雜交種，其頭部為褐色，體軀(胴部)為青白色，胴部前三環節為胸部，後面十環節為腹部，體節間相連接的部分皮膚薄且無體毛，是為節間膜，由後節疊於前節之上，故可助身體伸縮。頭前中央下端有一隻凸出的吐絲管。

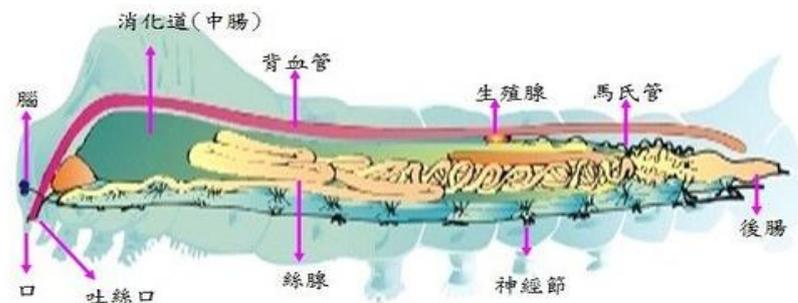


圖 1.1 家蠶的身體構造 [3]

家蠶的第 11 個環節背面有一個圓錐狀肉質突起的尾角，是一退化的構造。蠶的表皮由幾丁質構成，不能長大，故須蛻皮。在體節的側面有九對黑色氣孔，分別位於第 1 及第 4~11 個環節，和氣管相連，是呼吸器 [3]。家蠶體內是開放式循環，在胸部的背面正中央可以看到一條半透明且由後方向前方規律搏動的背血管，第 2~12 個環節有心臟。

## 2. 注射家蠶之困難度

要利用家蠶生產具有特定基因蛋白的蠶絲，是將選定的特定基因片段置換到桿狀病毒的轉錄區域中，再和野生型病毒以共轉移方式重組病毒，以重組後的桿狀病毒來感染家蠶，並將選定的基因帶入。家蠶感染病毒後，體內自然會產生帶有這種基因表現的抗體蛋白 [1]，而吐出的蠶絲中亦會帶有此種特定基因蛋白，如圖 1.2。

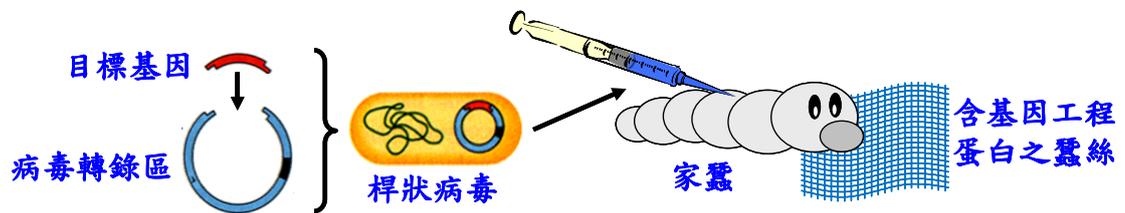


圖 1.2 含基因蛋白蠶絲之生產過程

研究中將孵化約半個月五齡家蠶(吐絲結繭前)，注射準備好的桿狀病毒使其感染，把想要的蛋白基因帶入，讓家蠶感染發病，在結繭時吐出具有特定基因蛋白的蠶絲。

但在替家蠶注射桿狀病毒時，由學長姊的實際操作經驗，瞭解存在下列問題：

- a. 家蠶身體小，若由背部注射，會刺到血管；

- b. 由於家蠶的表皮為幾丁質( $C_8H_{13}O_5N$ )<sub>n</sub>，硬度高，注射需較大力量；
- c. 家蠶身體小，若注射力量過大時，會直接刺穿蠶體造成家蠶死亡；
- d. 家蠶內部的身體組織柔軟，若注射力量稍大時，針頭易逕穿過組織而刺入家蠶的腸子中，使注射液中之蛋白質被腸內的酵素分解，形成無效注射。

因此注射家蠶時，需有相當之力道以穿刺過幾丁質，但穿刺後，須控制扎針深度，避免扎針過深而刺入腸道中，形成無效注射。因此研究中必須先瞭解家蠶體內之組織構造，建立家蠶各段組織橫剖面，以瞭解家蠶體內構造，找尋組織較厚處扎針注射，並瞭解家蠶表皮何處硬度較小較容易刺穿，而找出最佳注射部位。

因此研究中將對家蠶之胸腹部組織進行最佳注射部位、深度及角度研究，

- (1) 先以切片建立家蠶各段組織橫剖面，以瞭解其構造及可注射之深度；
- (2) 再以儀器測量不同部位之表皮硬度；
- (3) 找出蠶體最佳注射部位、深度及角度。

### 3. 家蠶適宜注射部位之探討

在這個部分的研究，擬對家蠶進行切片，再觀察其剖面，瞭解家蠶可扎針之部位及深度。

由於文獻資料和實驗室沒有家蠶的切片方法，所以我根據國中時對植物果實切片的經驗，將自然死亡的家蠶冷凍後再切片。

#### 冷凍切片

研究過程：

- (1) 取運送途中自然死亡家蠶，以酒精消毒後將其放入冰箱冷凍室中冷凍24小時。

- (2) 將冷凍之家蠶之胸腹部每一環節以刀片橫切以得到固定大小切片。
- (3) 觀察每個橫切片的蠶體組織，分析各環節的適合扎針之部位及深度。

研究結果：

- (1) 冷凍家蠶(如圖 1.3)之胸腹部環節的切片如圖 1.4。
- (2) 由於蠶體一離開冷凍庫便解凍變軟，難以切出切片。
- (3) 家蠶體液無法完全結凍，體液易氧化成黑色，阻礙觀察，如圖 1.4。



圖 1.3 冷凍家蠶

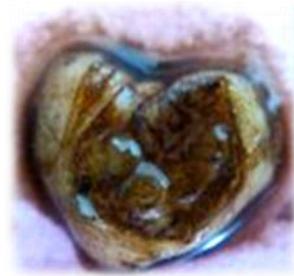


圖 1.4 冷凍家蠶之腹部切片，體液氧化成黑色，阻礙觀察

由於冷凍切片無法得到可供觀察之切片，原因為冷凍室溫度不夠低，因此我改用乾冰(-79°C)重新進行冰凍家蠶胸腹部橫切片。

### 乾冰冰凍切片

研究過程：

- (1) 取運送途中自然死亡家蠶，以酒精消毒後將其放在乾冰塊上，並放入保麗龍盒中保持低溫 2 小時。
- (2) 將冰凍之家蠶之胸腹部每一環節以刀片橫切以得到固定大小切片；
- (3) 將家蠶排列於乾冰上使其維持結凍狀態，要觀察時再稍微解凍，並觀察每個橫

切片的蠶體組織。

研究結果：

- (1) 刀片不易切成固定大小之切片，因此我用兩隻 C 型夾將等距重疊的 10 片刀片夾在一起，做成同步刀片組(如圖 1.5)，只要切一次便可得到 9 片同樣大小之切片，解決了切片大小不一的問題。
- (2) 以乾冰冰凍家蠶(如圖 1.6)之胸腹部環節的切片，如圖 1.7。
- (3) 因切片均很厚，且組織易黏附在刀片之間，使切片變形，因此改用實驗室平常用來作組織切片的切片機。



圖 1.5 同步刀片組



圖 1.6 乾冰冰凍家蠶

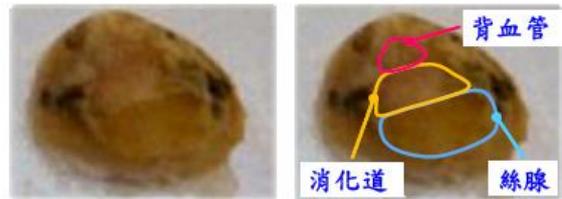


圖 1.7 家蠶胸腹部環節的切片

### 包埋處理之切片

因使用刀片進行切片時，刀片的溫度仍會把家蠶蠶體解動，讓切片皺縮變形；

雖然已先用乾冰對刀片降溫，但仍會有些微皺縮變形。因此改用實驗室中的切片機進行蠶體切片，但必須先經包埋處理，讓家蠶冰凍。包埋的藥品及程序都按照實驗室中的包埋處理標準程序。

研究過程：

- (1) 取死亡之家蠶組織以 4% Paraformaldehyde/0.1M PBS (如圖 1.8)於 4°C 固定；
- (2) 將蠶體組織以 15% Sucrose/0.1M PBS 於 4°C 固定；
- (3) 將蠶體組織以 30% Sucrose/0.1M PBS 於 4°C 固定；
- (4) 將蠶體組織於乾冰上以 OCT 包埋，使蠶體組織固化；
- (5) 將包埋後蠶體第 8 環節附近的組織切成約 1 cm<sup>3</sup>，再於-20°C 用冷凍切片機(如圖 1.9)切片，在橫剖面及縱剖面方向均進行切片，每片厚約 7~10 μm；
- (6) 以低倍顯微鏡觀察家蠶組織身體構造。



圖 1.8 包埋處理的藥品

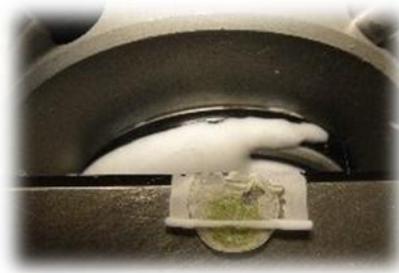


圖 1.9 冷凍切片機

研究結果：

- (1) 包埋之家蠶如圖 1.10，蠶體可被確實冷凍。
- (2) 經過包埋處理後再由冷凍切片機切成組織薄片後，切片可以很完整；切片的樣

本如圖 1.11

- (3) 切片的橫切面顯微樣本如圖 1.12 縱切面顯微樣本如圖 1.13
- (4) 由圖 1.12 和 1.13 的橫切面顯微切片樣本，可以清楚的看到背血管、消化道和絲腺。
- (5) 由圖 1.12 之顯微切片樣本可知蠶表皮與背血管之間之組織極少，若由家蠶背部扎針，針頭穿過表皮後馬上就會刺入背血管和消化道，因此背部不是適合的扎針部位。
- (6) 由顯微切片樣本可看到蠶體的下側部分，有厚約 3mm 的組織在表皮和消化道之間，若由此處扎針且橫向入針 3mm，則注射液可順利注入組織內，不會刺入血管或消化道。



圖 1.10 包埋之家蠶

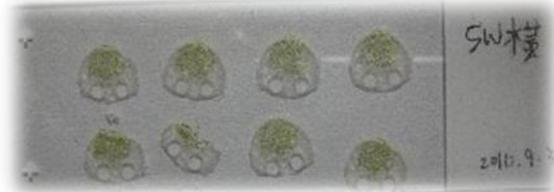


圖 1.11 切片的樣本

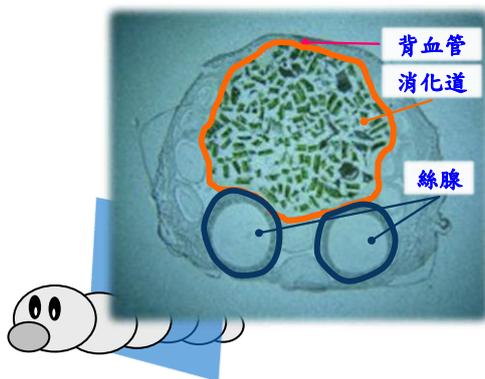


圖 1.12 橫切面顯微切片樣本

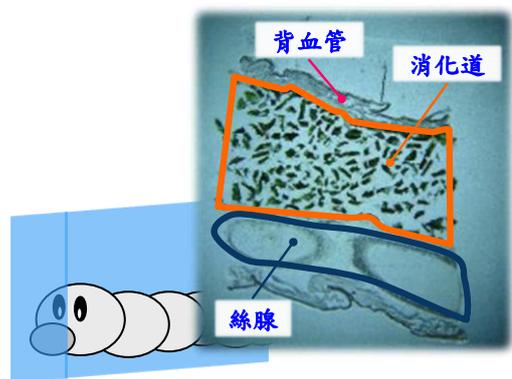


圖 1.13 縱切面顯微切片樣本

## 研究小結論

- (1) 蠶體組織應使用包埋處理後再用冷凍切片機進行切片，才能有較好品質之蠶體切片可供詳細觀察家蠶的組織橫剖面及縱剖面。
- (2) 蠶體腹部組織以側面偏下方有厚約 3mm 的組織，因此注射時應由家蠶側面偏下方注射，橫向入針 3mm 深，則注射液可順利注入組織內。

## 4. 家蠶表皮穿刺力之探討

前項的研究瞭解了家蠶注射應在腹部側面偏下方處橫向扎針，但要在腹部哪一環節扎針呢？家蠶的各部位表皮的硬度是否會不相同，可找到硬度較小的部位進行扎針？因此這部分研究將探討家蠶各部位表皮所需的穿刺力大小，決定最適合扎針之點。

因為家蠶的表皮是有彈性的動物組織，不適於以硬度計量測，所以我改用讓注射針頭穿過表皮所需之穿刺力量來代表家蠶表皮的硬度。我自己設計了一個表皮穿刺力測量器，如圖 1.14，具有一可自由垂直升降的滑座，滑座前固定了一個直徑 0.7mm 的針頭，滑座後端連結在推力計上，可量測針頭下降要刺穿家蠶表皮所需之最大力量。

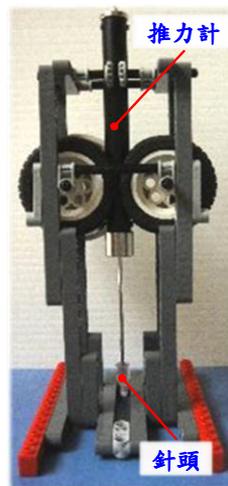


圖 1.14 自製表皮穿刺力測量器

研究過程：

- (1) 將自然死亡之家蠶以酒精消毒後，放在解剖墊上，以解剖剪刀進行解剖；
- (2) 將家蠶體內的組織取出，並用大頭針將蠶體表皮張開固定；
- (3) 在蠶體胸腹部第 5~11 環節，各環節中間及體節連接處，分別以自製表皮穿刺力測量器測量穿刺力；
- (4) 記錄各位置之穿刺力，並分析何處穿刺力較小，適合扎針。

研究結果：

- (1) 解剖的家蠶如圖 1.15，可看出絲腺及消化道。
- (2) 除去組織的家蠶表皮如圖 1.16，圖 1.17 為穿刺力的量測過程。
- (3) 將環節中間及體節連接處所量測到之最大穿刺力整理於圖 1.18。

研究小結論

- (1) 由圖 1.18 可知，
  - (a) 家蠶表皮穿刺阻力由胸部環節向尾部環節遞減；
  - (b) 環節中間的表皮穿刺阻力較大，而體節與體節之間的表皮穿刺阻力較；
  - (c) 側面的表皮穿刺阻力比背部的穿刺阻力要小。
- (2) 體節間的表皮穿刺阻力較小的實驗結果，與文獻[3]“體節間相連接的部分為節間膜，皮膚薄且無體毛”之說明相吻合
- (3) 因此要對家蠶注射時，應由第 8 體節之後下針，且盡可能從體節與體節之間下針，則僅需較小之穿刺力即可讓針頭穿刺過家蠶表皮。



圖 1.15 解剖的家蠶



圖 1.16 解剖的家蠶表皮

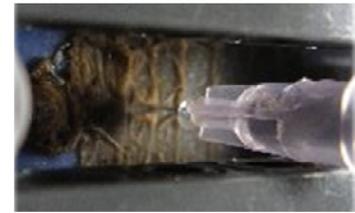


圖 1.17 表皮穿刺力量測

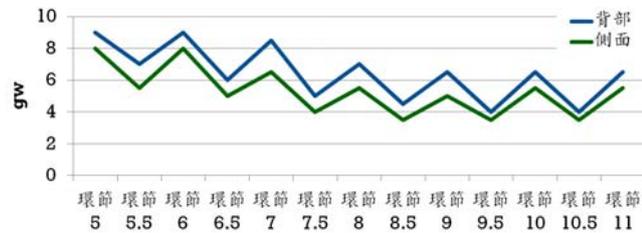
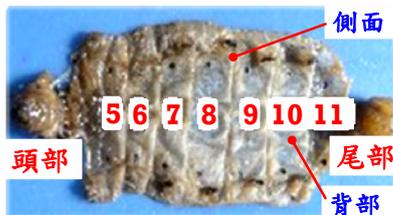


圖 1.18 表皮穿刺力

研究一結論：

- (1) 蠶體組織先使用包埋處理後再用冷凍切片機進行切片，可得到 10  $\mu\text{m}$  厚的切片，在低倍顯微鏡下可清楚觀察家蠶之內部組織剖面構造。
- (2) 家蠶注射時之最佳部位為第 8~11 環節的體節之間，側面 1/3 下方，橫向入針，最佳入針深度 2~3 mm，才不會將注射液注入背血管或消化道，使注射液中之蛋白遭到酵素分解。

### 研究二、家蠶自動注射系統

目前進行家蠶注射的實驗單位，仍是以人工進行注射，主要是因為家蠶身體小、習慣以胸足和腹足抓緊附著物否則會不安的四處扭動、有特定注射部位及深度、注射劑量極小；目前尚無自動注射系統。一般注射之步驟如下：先調配藥劑，將藥劑吸入微量注射器內，再一手捉住家蠶，另一手控制微量注射器，注射 5 $\mu\text{l}$ 。

但因家蠶不容易抓穩，微量注射器要花時間對準，所以注射一隻家蠶平均要

花費 60 秒鐘。遇到需大量注射時，所耗費的時間相當可觀。因此有必要發展家蠶自動注射系統來提高注射的速度和效率。

家蠶自動注射系統的流程類似於一般生產線上之貨品加工，但比生產線貨品加工更細緻複雜；以物件鑽孔為例，其流程不外乎是固定大小的物件送上輸送帶往前移動、定位感測器偵測到物件而讓輸送帶停止、鑽頭下降鑽孔、輸送帶繼續往前移動，亦即在移動、定位、加工這三項工作中重覆。

然而家蠶是活體，所以其注射工作與生產線貨品加工有下列巨大之差異：

- (1) 家蠶不會乖乖安靜地待在輸送帶上等注射；
- (2) 各家蠶雖都是五齡蠶，但體型大小各異，注射器難以準確接觸家蠶身體；
- (3) 家蠶易扭動，注射器自動對準有困難；
- (4) 注射量很微小，一般針筒難以控制注射量；

因此在本研究中，參考物件加工之流程，設計出家蠶自動注射之流程，包括有：輸送、固定、定位、扎針、注射、敷藥、集中等七項流程。這七項流程分成七個研究子項，分別進行探討。

## 研究二 A、家蠶輸送系統

在家蠶之輸送系統設計上，考量空間及製作之容易度，採用類似皮帶式之輸送帶系統，如圖 2.1 所示。

### 研究過程

- (1) 以塑膠片裁成長 35 cm 寬 6 cm 的長條狀，前後接合以塑膠密封機固定，形成環狀輸送帶；

- (2) 以 LEGO 積木製作輸送帶框架，約長 40 cm。
- (3) 在輸送帶框架最前端設計一組驅動滾輪，連結兩個 9V 馬達，用來帶動環狀輸送帶；另外設計了 7 組從動滾輪，用來支撐環狀輸送帶。

#### 研究結果

- (1) 因環狀輸送帶表面摩擦力不夠，驅動滾輪有時會打滑，無法平順帶動環狀輸送帶。改善之方法為在塑膠環狀輸送帶內側，每 1 cm 塗佈熱熔膠橫條，讓環狀輸送帶形成履帶，則驅動滾輪的齒輪可卡住熱熔膠橫條而順利帶動輸送帶。
- (2) 完成之輸送系統如圖 2A.1，測試結果可順利運作；輸送速度可以由控制馬達轉速而控制，最大輸送速度為 10 cm /sec。

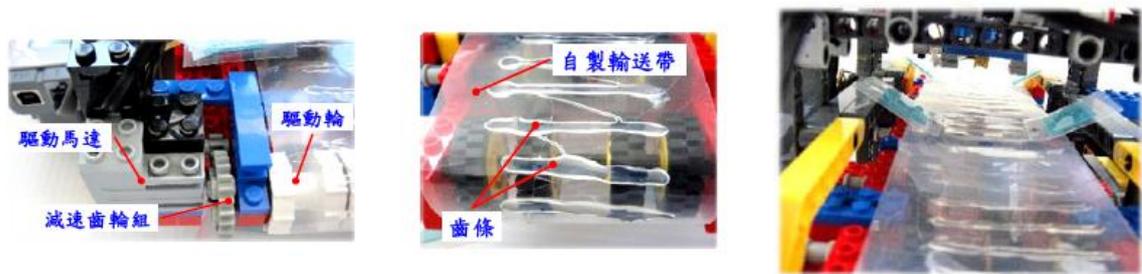


圖 2A.1 輸送帶系統

#### 研究二 B、家蠶固定系統

由於每隻家蠶大小不一且家蠶會不斷蠕動，使注射器不容易與蠶體準確接觸，因此必須要有家蠶固定系統把家蠶固定在輸送帶上，讓注射器可以進行定位。理想的固定系統必須能適應家蠶各種體型，但又不能使家蠶受到傷害。

一般固定系統可用的方法有：

- (1) 在輸送帶上兩側加拘束板，形成一個通道，並逐漸縮減通道的寬度，將家蠶拘束在通道內，方便進行注射；

- (2) 利用馬達驅動兩側固定器，在家蠶接近注射系統時，將家蠶由兩側夾持住，再進行注射；
- (3) 利用彈性固定器，將家蠶拘束住，限制家蠶的行動。

表 2.1 家蠶固定系統可用方法評估

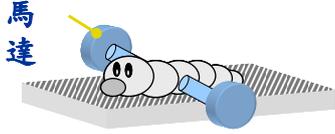
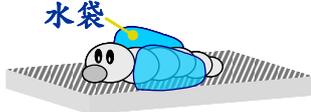
	寬度漸減的通道	馬達驅動式固定器	彈性固定器
示意圖			
優點	結構簡單 不需驅動器	作動迅速	結構簡單 不需驅動器 水袋可緊密貼緊家蠶
缺點	無法完全固定家蠶	必須裝設多組馬達 不易控制力量 易使體壓升高	易使體壓升高
適用性	X	Δ	O

表 2.1 的評估可看出利用水袋製成的彈性固定器可貼緊家蠶，達到固定的作用。因此研究中就以彈性固定器作為固定系統。

#### 研究過程

- (1) 以 PE 塑膠袋裁成 6 cm x 2.5 cm 的長條兩條，四周以塑膠密封機密合，裡面填入水，形成彈性水袋，如圖 2B.1；
- (2) 在輸送帶上兩側每隔 12 cm 裝置水袋傾斜板，尺寸為 3.5 cm x 3 cm，傾斜板的一端與輸送帶密合，另一端凸出輸送帶外約 2.5 cm。

(3) 在輸送系統中段，設置傾斜架高軌，比輸送帶高約 1.5 cm。架高軌的目的是讓水袋連接板的外側會升到架高軌上，而使傾斜板向輸送帶中間傾側，水袋即靠水的重量向下壓迫住家蠶，使水袋與家蠶貼合並拘束住家蠶。



圖 2B.1 彈性水袋

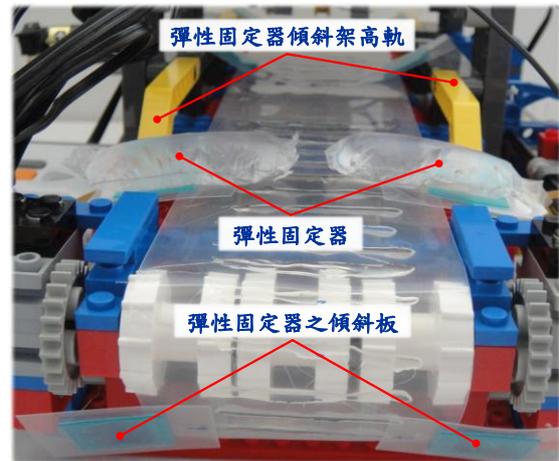


圖 2B.2



(a)



(b)

圖 2B.3 水袋傾斜時水的重量將使整個水袋往輸送帶中間傾側，而壓迫家蠶

## 研究結果

(1) 完成之固定系統如圖 2B.2，具有彈性水袋、水袋傾斜板及傾斜架高軌。

- (2) 傾斜架高軌之設計可讓傾斜板由水平位置逐漸自動轉成傾斜  $30^\circ$ ，讓水袋由水平(圖 2B.3a)轉成傾斜(圖 2B.3b)，因為水袋僅底部外側有一點與傾斜板點連接，水袋傾斜時水的重量將使整個水袋往輸送帶中間傾側，而壓迫家蠶(圖 2B.3b)。
- (3) 由於水袋具彈性，外形可變形，因此可與家蠶蠶體密合，確實的拘束住家蠶。
- (4) 經測試後，固定系統可順利運作，圖 2B.3a 為在輸送帶前端水袋尚未傾斜時，圖 2B.3b 為輸送帶經過傾斜架高軌，水袋傾斜拘束住家蠶。

### 研究二 C、家蠶定位系統

注射器定位系統之研究：

由研究一中對家蠶注射特性的研究，知道家蠶注射時，最佳的部位是第 8~11 環節的體節之間的側面 1/3 下方，注射方向為橫向入針，最佳入針深度 2~3 mm。因此在對輸送帶上的家蠶進行注射時，必須讓注射器對準體節之間注射部位，也就是必須控制輸送帶移動到定點的位置時停下來，等候注射器前進。對於控制輸送帶移動，可行的方式有開迴路控制及閉迴路控制兩種方法：

(1) 開迴路控制輸送帶移動：

輸送帶上每 12 cm 會安置一個家蠶固定系統和一隻家蠶，因此可控制輸送帶上每前進 12 cm 便停止，進行注射。這是一個開迴路系統，不需額外感測器。但缺點是每隻家蠶大小不一，單靠輸送帶每次定距移動，無法對準注射部位；LEGO 馬達內建的角度感測精度不高，無法精準定位；快速移動後停止，LEGO 馬達會有輕微滑步，造成定位誤差；定位的誤差容易累積，使定位的誤差愈來愈大。

(2) 閉迴路控制輸送帶移動：

注射位置之前，裝設定位感測器。當輸送帶載著家蠶移動時，若定位感測器偵

測到家蠶到達，則停止輸送帶之移動。此種閉迴路控制可解決家蠶大小不一及定位誤差累積之缺點。缺點是需額外安裝定位感測器，

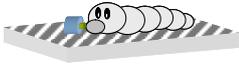
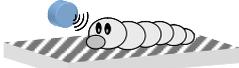
表 2.2 家蠶注射定位系統可用方法評估

	開迴路控制輸送帶移動	閉迴路控制輸送帶移動
方法	輸送帶每次定距移動	定位感測器偵測，再停止輸送帶移動
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 架構簡單</li> <li>◆ 不需額外感測器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 可準確定位</li> <li>◆ 家蠶體型不影響定位準確度</li> <li>◆ 無定位誤差累積</li> </ul>
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 家蠶大小不一，輸送帶定距移動無法對準注射部位；</li> <li>◆ 馬達內建的角度感測精度不高，無法精準定位；</li> <li>◆ 馬達會有輕微滑步，造成定位誤差；</li> <li>◆ 定位的誤差容易累積，使定位的誤差愈來愈大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 需額外安裝定位感測器</li> </ul>

表 2.2 的評估可看出開迴路系統會使定位誤差愈來愈大，致始無法對準正確注射部位。因此研究中就以閉迴路控制輸送帶移動作為定位系統。

而定位感測器的選擇上，就我以往參加機器人競賽之經驗，一般可使用的有觸碰感測器、紅外線感測器、超音波距離感測器、顏色感測器、及影像辨識等方法。

表 2.3 家蠶注射定位系統之定位感測器評估

		優點	缺點	適用性
觸碰感測器		系統簡單	會碰觸並阻擋到家蠶 觸碰力須大於定值	X
紅外線感測器		系統稍複雜 使用雷射光束及光感測器	必須精確校正對準	O
超音波距離感測器		系統簡單	短距離下之解析度差	X
顏色感測器		系統簡單	蠶體顏色對比度不高	X
影像辨識		可同時確認家蠶及針頭的位置	系統較複雜 系統成本高 需特製辨識程式	Δ

由表 2.3 的評估中，可看出紅外線感測器作為定位感測器較佳。因此研究中就以紅外線感測器作為定位感測器，並配合閉迴路控制輸送帶移動組合成完整之定位系統，使注射器能與蠶體準確接觸。

#### 研究過程

- (1) 將 3V 雷射筆之金屬外殼拆掉，僅留內部電路板及光束頭，再連接 3V 電池座及開關，形成光束模組，如圖 2C.1；
- (2) 在預定注射器入針之前方，將光束模組裝在輸送帶左側，另將光感測器安裝在輸送帶右側，如圖 2C.2；
- (3) 調整光束模組及光感測器，使光束對準光感測器接收孔；
- (4) 將光感測器信號連結至 NXT 控制器上，並撰寫程式，使光感測器偵測到高強度入射光時，煞住輸送帶馬達。



圖 2C.1 光束模組

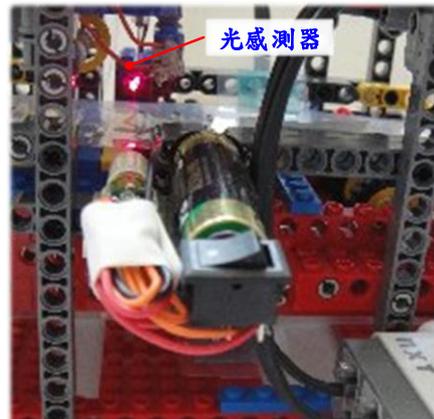


圖 2C.2 紅外線定位系統

## 研究結果

- (1) 完成之定位系統如圖 2C.2，具有光束模組及光感測器。
- (2) 經測試後，定位系統可順利運作，於家蠶接近定位時，可停止輸送帶。

## 研究小結論：

定位系統可定位出家蠶是否到達，但由於此種定位系統是偵測家蠶頭部是否抵達定位，但家蠶大小有別，因此針頭僅能對準特定注射部位附近，無法精確對準體節之間部位。

## 研究二 D、家蠶注射系統

整個注射系統的功能包含有三項功能：

- (1) 當家蠶進入定位後，注射針頭移動，刺入家蠶表皮。
- (2) 刺入表皮後，入針 2mm 後停止；
- (3) 開始微量注射 5 $\mu$ l；

因此注射系統包含了可移動式注射針頭、針頭定位系統、及微量注射系統。  
在研究中，對整個架構的考量如下：

- (1) 為了避免龐大的注射系統擠在注射位置附近，因此我將注射針頭與注射器針筒脫離(如圖 2D.1)，兩者中間使用外徑 1 mm 的透明塑膠管相連接。
- (2) 我使用 LEGO 馬達驅動齒輪來控制針頭之入針，為了精確控制針頭的入針位移，我在針頭上方加裝蝸齒輪作為減速齒輪，使減速比為 24:1，即馬達每轉一圈，針頭下降 3.1 mm(如圖 2D.2)。



圖 2D.1 可移動式注射針頭

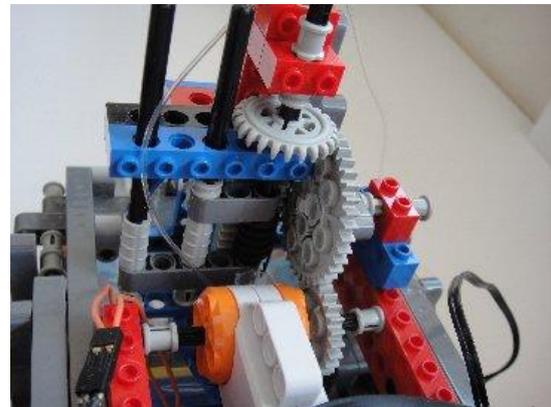


圖 2D.2 馬達驅動齒輪控制針頭之入針

- (3) 為避免針頭搖晃，我加上齒軌，使針頭能沿著齒軌平穩下降。
- (4) 我自己在針頭上同時設計了一個觸碰式針頭定位感知器，用兩片具彈性的單面銅箔膠帶作為電極，兩電極間相距 1 mm(如圖 2D.3)，下方電極位置比針尖低 1 mm。則當定位感知器與針頭一起下降時，當定位感知器兩電極接觸，代表針頭接觸家蠶蠶體，因此控制器再讓針頭入針 2 mm，達到預定入針深度。
- (5) 由於注射量僅 5 $\mu$ l，直接推動針筒活塞的方式無法控制到如此低注射量，因此我將針筒活塞的上端接在兩個蝸齒輪及減速齒輪上，使減速比達到 24:1(如圖 2D.4)，即

蝸齒輪螺距 3.1 mm，減速齒輪 24 齒，所以蝸桿前進  $\frac{3.1}{24} = 0.129 \frac{mm}{rev}$

針筒每 0.5 ml 刻度距離 280 mm，故針筒活塞液體量  $\frac{0.5}{28} \cdot \frac{ml}{mm} = 17.86 \frac{\mu l}{mm}$

故注射器注射量為  $0.129 \cdot \frac{mm}{rev} \times 17.86 \frac{\mu l}{mm} = 2.3 \frac{\mu l}{rev}$

即馬達每轉的注射量為 2.3 $\mu$ l，因此每次注射，控制馬達轉 2.174 轉(或是 2 轉又 60 度)，則每次可定量注射 5 $\mu$ l。



圖 2D.3 自製觸碰式針頭定位感知器

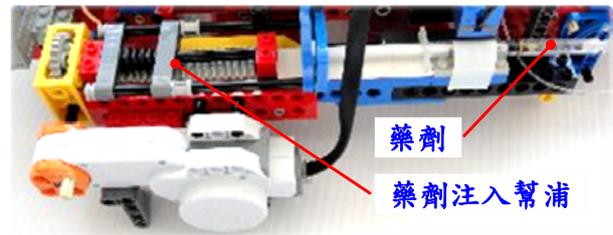


圖 2D.4 微量注射之注射液模組

### 研究過程

- (1) 將自製彈性觸碰感知器與針頭結合，形成針頭模組；如圖 2D.1；
- (2) 針頭模組與齒軌及減速齒輪、馬達結合，並安裝在輸送帶上方，形成注射模組；
- (3) 針筒固定在底座上，蝸齒輪則固定齒軌上，針筒活塞桿尾端連接蝸桿，蝸桿再連接減速齒輪及馬達，形成注射液模組；
- (4) 針筒頂端以外徑 1 mm 的透明塑膠管與針頭相連接。

### 研究結果

- (1) 完成之注射系統如圖 2D.2 及圖 2D.4，具有針頭模組及注射液模組。

- (2) 經測試後，注射系統可順利運作，可精確將針頭扎入 2 mm，並轉動馬達 780°，定量注射 5  $\mu$ l 於家蠶體內組織。

#### 研究二 E、家蠶敷藥系統之設計

完成了各個系統後，發現注射過程後針孔留下的傷痕，可能會造成家蠶被其他細菌感染，所以我又設計了一個家蠶敷藥系統，在注射後，可以自動幫家蠶敷上凡士林，防止傷口感染。為了避免整個家蠶自動注射系統架構太過複雜，使用了太多驅動馬達，因此敷藥系統採取被動式設計，將凡士林儲存在中空的管子中，底下設一滾輪，滾動時可將凡士林帶出。等家蠶注射後，讓其緩慢通過滾輪下方，則凡士林會自動塗在家蠶身體及注射傷口上，達到敷藥的功效。

#### 研究過程

- (1) 以直徑 10 mm 高 15 mm 的中空壓克力管製成藥膏儲存罐，內填凡士林。；
- (2) 以一可自由轉動之滾輪，上端接觸凡士林罐，下端懸空，形成敷藥模組；
- (3) 敷藥模組與針頭模組結合，敷藥模組裝設在針頭模組後端，且比針尖低 5mm；

#### 研究結果

- (1) 完成之敷藥模組，如圖 2D.5，具有滾輪及藥膏儲存罐。
- (2) 敷藥模組不需動力，凡士林會因重力自動沉降在滾輪上側；而家蠶經注射後，針頭會往上離開 5 mm，讓蠶體會通過滾輪下方往前，而自動讓凡士林沾抹在傷口上；
- (3) 經測試後，敷藥系統可順利運作，可讓凡士林沾抹在傷口上。

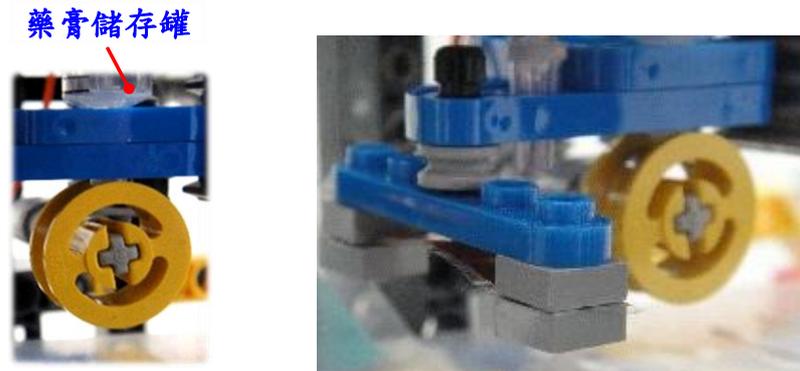


圖 2D.5 具有滾輪及藥膏儲存罐之敷藥模組

研究二 F、家蠶自動注射系統之控制程式

家蠶自動注射系統的控制流程如圖 2F.1。我使用 Robolab 2.9 來撰寫控制程式，詳細之程式如圖 2F.2。再將程式下載到 NXT 中進行控制，NXT 可以連接 4 個感測器輸入及 3 個馬達輸出，表 2.4 是家蠶自動注射系統的輸出入設定。



圖 2F.1 家蠶自動注射系統之控制流程



圖 2F.2 家蠶自動注射系統之 Robolab 控制程式

表 2.4 家蠶自動注射系統之輸出入設定

類比輸入			
通道	輸入 1	輸入 2	輸入 3, 4
連結	接定位系統光感測器	接針頭模組自製彈性觸碰感知器	無
類比輸出			
通道	輸出 A	輸出 B	輸出 C
連結	接輸送系統馬達	接注射模組馬達	接注射液模組馬達

### 研究二結論

- (1) 完成了第一代家蠶自動注射系統(如圖 2G..1)，其次系統包括輸送系統、固定系統、定位系統、注射系統、敷藥系統等五個系統，以及控制程式。
- (2) 系統經過用家蠶測試固定系統及定位系統，用假蠶測試注射系統及敷藥系統後，發現可順利完成家蠶之注射，約 30 秒可完成一隻之注射，比人工快 2~3 倍。
- (3) 家蠶注射完後，會由輸送帶尾端掉入收集盒中，便於收集。
- (4) 但系統注射過程中，有時家蠶扭動太劇烈，仍難以完全固定；且因為定位系統的設計方式，入針部位不一定在體節中間。
- (5) 整體體積為 40 cm x 24 cm x 24 cm。

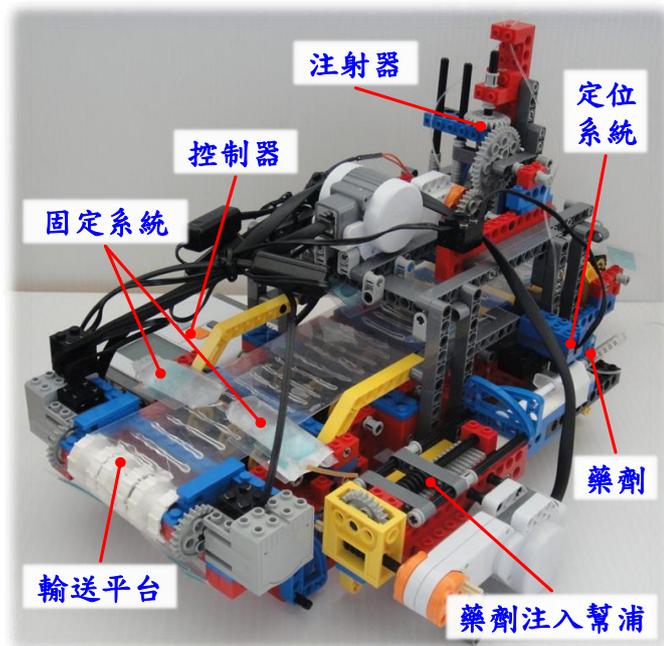


圖 2G..1 第一代家蠶自動注射系統

### 研究三、自動注射系統之優化 --- 第二代家蠶自動注射系統

研究二中完成了家蠶自動注射系統，但觀察系統測試的結果，該系統中仍有一些問題存在：

- (1) 使用輸送帶系統，系統的體積較大，且輸送帶易振動，有噪音，讓家蠶感覺不安而扭動；
- (2) 固定系統中的水袋雖具有彈性，可密切貼合蠶體，但水袋的拘束力不夠，家蠶劇烈扭動時，水袋無法讓其保持固定姿勢等待注射；
- (3) 水袋內的水的重量會壓迫家蠶，容易使家蠶體壓升高；
- (4) 定位系統的設計方式，是由家蠶前方偵測家蠶的抵達，而開始注射；每隻家蠶長短不一，使入針部位每次均不相同，不一定在體節中間；
- (5) 針頭模組是由輸送帶上方進行入針，家蠶須側放，但家蠶不喜歡而常扭動；

(6) 相對於家蠶的體積，0.7mm 直徑的針頭太粗了，會造成家蠶的注射傷口較大；  
需要尋找較細之針頭；

(7) 注射液模組中，在針筒活塞桿後方連接了蝸桿，用來推動活塞桿前進，這樣的設計方式使得整個注射模組的長度至少是活塞行程的 3 倍長，佔了相當多體積。

針對以上的缺點，我擬了一些改善的方法，並和一些老師教授請教過後，決定進行家蠶自動注射系統的優化工作，針對各個系統的缺點，進行改善的優化工作，來建立一個體積較小、功能較好、系統效率更高的第二代家蠶自動注射系統。

### 研究三 A、優化之家蠶輸送系統

在第一代家蠶之輸送系統上，輸送帶的使用會使整個輸送空間長、輸送帶振動引起家蠶不安等問題，因此在第二代的優化設計上，我決定捨棄輸送帶的設計方式。我想到在餐廳中多人聚餐時，10 人的大桌上會有轉盤讓每道菜餚均可到每個人面前，這個方式剛好可以用在家蠶的輸送上，因此我決定第二代輸送系統使用轉盤式的輸送盤，將第一代的直線式往返輸送方式，改為旋轉的圓周運動式，不但體積可大幅減小，藉著輸送盤的平穩旋轉，家蠶也不會再感到不安了。

#### 研究過程

- (1) 以塑膠板裁出直徑 120 mm 之圓盤，中間挖凹槽與轉盤接合，形成圓形輸送盤；
- (2) 以 LEGO 積木製作輸送盤底座，底座並整合 1 個 9V 驅動馬達與減速齒輪及鏈條，使用了兩組減速齒輪，其減速比 21，整個底座均隱藏在輸送圓盤下，縮小了體積。
- (3) 參考家蠶尺寸將輸送圓盤分成 3 等分，每等分  $120^\circ$  各承載一隻家蠶。

#### 研究結果

- (1) 圓形輸送盤系統如圖 3A.1，測試結果可順利運作；輸送速度直接由馬達經減速比 21 之減速齒輪而控制，最大輸送速度為 3 sec / rev。
- (2) 圓形輸送盤可平順的旋轉，噪音小，改善了第一代輸送帶振動讓家蠶不安而扭動之問題。
- (3) 整體體積為 14 cm x 12 cm x 6 cm，體積大幅減小，比起第一代之輸送帶系統，體積共減少 75%

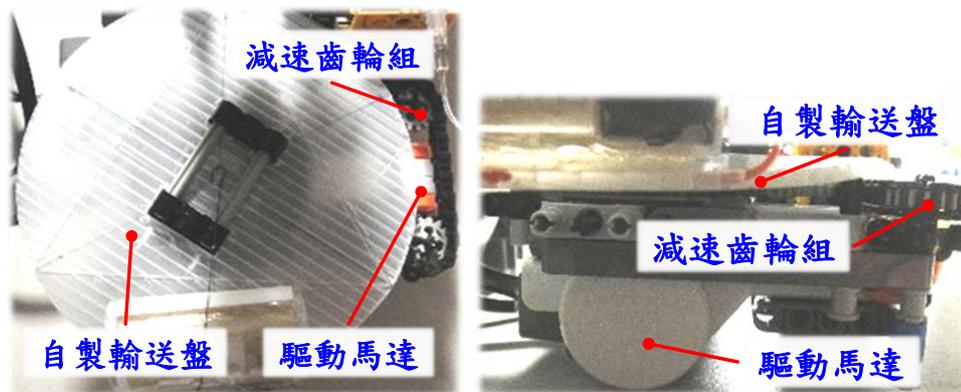


圖 3A.1 圓形輸送盤系統

### 研究三 B、優化之家蠶固定系統

#### B.1 英艙固定系統

研究三 B 的第一代固定系統使用傾斜板和傾斜架高軌，控制水袋壓迫家蠶；但傾斜板及架高軌的體積太大，較難適用於第二代的旋轉輸送盤，因此必須另外設計。我參考了輔導教授的意見，將原本開放式的傾斜板，改成像太空船的英艙式設計，內層鋪上液袋，以固定家蠶。整個英艙式固定系統的設計原則有：

- (1) 固定用英艙必須有上掀式上蓋，方便操作人員將家蠶放入英艙；

(2) 固定用英艙側邊必須開有窗口，讓注射器可伸入接觸蠶體；

(3) 英艙最好在注射完畢後能自動開啟，讓家蠶離開英艙及固定系統。

針對上述三項想法，我用透明壓克力管作成英艙，側邊開窗；但較困難的是如何在注射完畢後自動開啟英艙讓家蠶掉出。經過一些小測試，我找到一個不錯的方法：利用重力自動開啟英艙。首先我將英艙設計成掀蓋式，並把輸送盤等分出3道圓弧，並用刀片輕劃過每段圓弧的弦，使每段圓弧片可向下彎折。因此當家蠶注射完畢後，讓這片圓弧因重力而彎折，英艙便會跟著歪斜，再讓上蓋用線固定在盤心，則上蓋便會自動掀開，家蠶便會因為重力自動掉出，圖 3B.1 為家蠶在英艙內等待注射，圖 3B.2 中輸送盤圓弧片向下彎折，上蓋自動掀開，使家蠶因重力而跌落到下方的收集盤，便於操作人員收集。

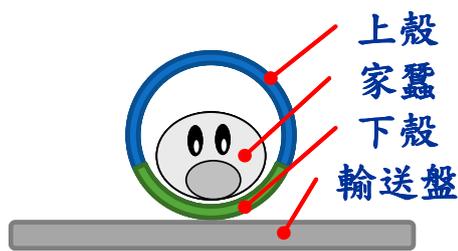


圖 3B.1 家蠶在英艙內等待注射的示意圖

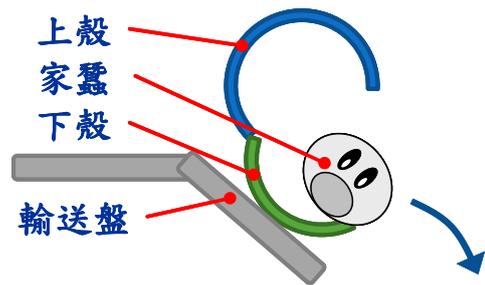


圖 3B.2 上蓋自動掀開，家蠶因重力落到下方收集盤

研究過程：

(1) 將 50 mm 長、直徑 25 mm 的透明壓克力管由離底部 1.5 cm 處裁成上下兩圓弧片；

(2) 在壓克力管裁切線中間開出一寬 20 mm 高 15 mm 的窗口；

(3) 在窗口一側裁切線的上下蓋各黏一磁鐵，使上下蓋能閉合；另一側的裁切線則貼上膠帶連結，上蓋頂端並用線連結於輸送圓盤圓心；

(4) 將英艙固定在輸送圓盤，並在輸送盤圓弧片下加重物，幫助彎折。

研究結果

(1) 完成之英艙如圖 3B.3；

(2) 英艙關閉時須緊密，才能讓彈性固定系統拘束住家蠶，因此使用磁鐵讓上下蓋互相吸住；但注射完成後要能因重力而開啟艙蓋，所以磁力不能太大，必須多次測試。

(3) 每次注射完畢後，英艙會隨輸送圓盤彎折而落下，但因上蓋被線拉住，拉力會克服磁力使英艙上蓋自動掀開，家蠶因重力落到下方收集盤。圖 3B.4 為注射完畢後，英艙打開之情形。

(4) 經測試後此英艙系統確實可行。



圖 3B.3 固定系統所使用之英艙

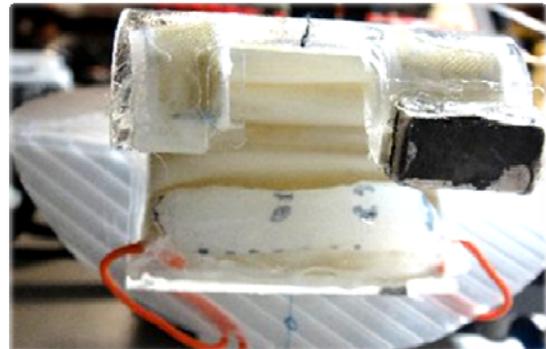


圖 3B.4 注射完畢後，英艙打開讓家蠶掉落

## B.2 優化之彈性固定系統

第一代的固定系統是使用水袋作為彈性固定系統，藉由水的重力壓迫拘束住家蠶，而靠水袋表面能彈性變形讓水袋能與蠶體密合。但是此方法有下列缺點：

(1) 當水袋傾斜時，若傾斜度太大，則水袋太多重量壓迫在家蠶蠶體上，雖有很好之拘束力，但卻會迫使家蠶體壓升高，不利於注射；

(2) 若傾斜度太小，水袋無適當拘束力，水袋的彈性反而是讓家蠶可扭動，無法讓家蠶保持固定姿勢等待注射。

因此研究中必須找到水袋的替代品，作為新的彈性固定系統，而此新彈性固定系統內的液體必須具備有下列特質：

(1) 為彈性體，本身可流動變形，可適應不同大小之家蠶而與蠶體密切貼合，讓家蠶感覺舒適而不會不安地扭動；

(2) 必須有足夠之拘束力，讓家蠶待在固定位置注射。

這兩點特質有些衝突，因為必需要夠軟才能與蠶體密切貼合，但又要夠硬才能拘束住家蠶，什麼樣的流體可以同時具備這兩點的要求呢？我的這主意就像石膏一樣，未凝固前是液體，可以充分貼合蠶體，但等凝固後，就有很大的拘束性可限制家蠶的運動，就像是開了一個跟家蠶體形完全符合的隧道，家蠶待在裡面不會感到不舒適，但又無法移動位置。

但石膏凝固時間太久，而且凝固後，完成注射時，要怎樣再取出家蠶活體呢？是否有流體可以有時是像水的流體，很軟很有彈性，但需要時可以在很短時間內改變硬度，變成固體或半固體呢？我想起我在國八時的全國科展作品，是在油類中加入微細的鐵粉，作成鐵粉液(或正式名稱是磁流變液)，在一般情形下是稀的流體，流動性很好；但加入磁場後，流動性慢慢降低，流體慢慢變成固體，而且這個轉變是迅速(約 10 ms)且可逆。所以磁流變液用在這個研究的彈性固定系統上，應該可以解決問題。

但由我的科展經驗及參考資料，若要用磁流變液，我需要建立一個磁力大的電磁場，則線圈會佔掉很大體積，且在優化的運輸盤上很難有空間可以安置。那是否有其他等效的液體可使用呢？我和一些老師討論，並參考網路上資料，發現電流變液對彈性固定系統可能會是個很好的選擇。

電流變液(Electro-rheological Fluid)是由一絕緣不導電之液體與介電性高且具有極性之介質 (1~10  $\mu\text{m}$ ) 所均勻混合而成，當加入電場時，粒子介質便會產生極化，沿電場方向形成鏈結。電流變液會隨著電場強度的增加而增加液體的黏滯性，而移除電場時液體將會恢復液體狀態，此反應過程具可逆性，反應時間在幾毫秒內完成 [5]。

我把這些可用在彈性固定系統的可能液體放在表 3.1 進行比較，可以知道電流變液符合研究的彈性固定系統之所需，因此在研究中，我將使用電流變液作為彈性固定系統的液體。

表 3.1 彈性固定系統各項可能液體之探討

	水	磁流變液	電流變液
優點	可使水袋具有彈性 可使水袋與蠶體密切貼合 結構簡單，不需其他周邊設備	可使液袋具有彈性 流動性可迅速改變 流動性改變為可逆	可使液袋具有彈性 流動性可迅速改變 流動性改變為可逆 僅需正負極板
缺點	流動性固定 拘束性不足	結構複雜 需要大體積之電磁線圈 需要控制線圈電流之啟閉	結構中等 需高電壓電源 正負極板須有彈性 需有電路開關
適用性	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>O</b>

### B-3、電流變液彈性固定系統

但使用電流變液，有一些問題我仍需克服，包括：

- (1) 電流變液中的濃度？
- (2) 電流變液中需要正負極板，但為了讓固定系統有彈性，必須使用彈性極板(銅

箔膠帶，photo)

(3) 高電壓的電壓源如何取得？

(1) 電流變液濃度及電壓

研究中必須測試不同濃度的電流變液，檢查其流動性。一般測電流變液之特性會使用流變儀來測量其黏滯度，而且使用高電壓放大器[5]，但學校中沒有流變儀，而且我僅需知道相對流動性就可以，不需要測絕對流動性，因此我設計了一個小裝置來測試電流變液流動性。

研究程序：

- (1) 將電蚊拍拆開，將電網與電力線分離，正負電力線再分別連接兩根粗鐵線，作為正負極，兩極初始距離 0.8 mm；
- (2) 調配電流變液，使用黏度 200 cs 的矽油，加入太白粉，太白粉之重量分別佔矽油重量之 15%、20%、25%、30%、35% 五種不同濃度。
- (3) 將正負極垂直放置，按下電蚊拍開關通電後，再以滴管吸取電流變液 1 c.c. 滴在正負極之間；
- (4) 以絕緣物逐漸將正負極分開，觀察電流變液掉落時之正負極距離。

研究結果

- (1) 電蚊拍說明書註明其電壓為 600V，雖然沒有到 1kV 以上，但測試結果仍可有讓電流變液之流動性變低。
- (2) 不同濃度的電流變液掉落時之正負極距離之實驗結果如表 3.2；
- (3) 研究結果顯示 35% 濃度之電流變液較適合研究所需。

表 3.2 不同濃度的電流變液流動性

	濃度				
	15%	20%	25%	30%	35%
正負極初始距離 (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
掉落時正負極距離 (mm)	1.6	2.5	3.3	3.9	4.5

## (2) 電流變液之彈性極板

電流變液中需要正負極金屬極板，才能讓兩極板之間的電流變液改變流動性。但一般薄金屬極板雖可彎曲，但無法彎成如蠶體的外形，且金屬薄板所需變形力量太高(對家蠶而言)，變形後無法回復原形狀，不是理想的彈性極板，因此必須找到有彈性的金屬極板。

我在網路上蒐尋資料，但沒有找到相關資料。後來到電子材料行買線材時，跟老闆請教，老板建議我用銅箔導電膠帶或是銀漆筆。我對這兩者進行了測試，但結果不太理想(如表 3.3)。後來在各家金屬五金店詢問時，終於有位好心的老闆建議我使用金屬網(銅網或不銹鋼網)，我找了不同網目等三種金屬網，並進行測試。測試結果發現銅網極柔軟，可讓家蠶擠壓，且小幅度變形彎曲後仍可回復原形狀，是很好的彈性極板材料。

表 3.3 各種可能的彈性金屬極板性質評估

	金屬薄板	銅箔導電膠帶	銀漆筆	銅網
優點	一般電極使用 價格低	薄 彎曲度大	可任意畫電極形狀	具柔軟性 小量變形後可回復
缺點	厚度較厚 無柔軟度 變形後無法回復	易隨膠帶皺摺，較 難回復原狀 價格較高	畫在 PE 塑膠袋上 極易剝落	價格較高
適用性	<b>X</b>	<b>Δ</b>	<b>X</b>	<b>O</b>

為了避免正負極金屬極板不小心相接觸引起短路，必須將極板隔開，但隔開距離不能太大，否則電流變液的效果大為降低。在參考資料中，普遍都是使用較厚鋁材，極板不會變形，所以沒有正負極板相接觸而短路的問題。但在本研究中，使用薄銅網作電極，很容易就正負極板相接觸，該如何解決？

我想了一陣子，後來想到一個好方法，我在正負極板之間，墊上一層紗布(或塑膠紗窗網)，把正負極板隔開，這樣正負極板仍然保有彈性，而且正負極板不會互相接觸，就解決了這個問題。

#### 研究過程

- (1) 在兩片銅網中間墊上 2 層紗布，並將銅網四周的銅絲做處理(避免刺破液袋)，並以兩條電線分別連接正負極銅網(如圖 3B.5)。
- (2) 以 PE 塑膠袋製成一個 U 型液袋，將銅網放入，內部填充電流變液後，將液袋密封。
- (3) 將兩條電線穿出液袋處以熱熔膠作防漏處理。
- (4) 將液袋放入英艙內，U 型開口與英艙窗口對正。
- (5) 液袋電線拉到輸送盤下方的兩條銅箔導電膠帶。

#### 研究結果：

- (1) 圖 3B.6 為完成之電流變液 U 型液袋。
- (2) 因為液袋電線連接到輸送盤底部的兩條銅箔導電膠帶，而電蚊拍之電源電路會拆下固定留出兩條電極，當輸送盤離注射位置  $90^\circ$  時，電極會分別與銅箔導電膠帶相接觸而通電，使電流變液硬化而將家蠶拘束住。

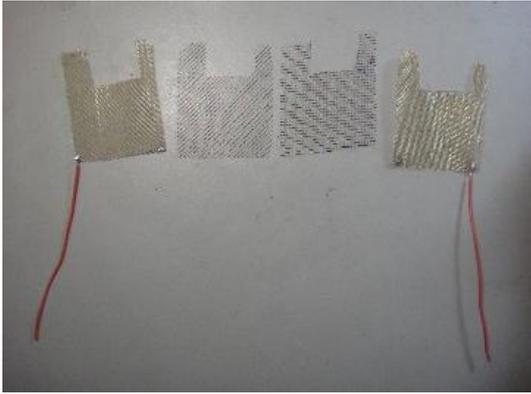


圖 3B.5 兩片銅網及塑膠紗窗網



圖 3B.6 電流變液 U 型液袋

### 研究三 B 結論

- (1) 完成了密閉式固定用英艙，取代第一代之開放式傾斜板和傾斜架高軌，不但大幅減小固定系統的體積，也更有效拘束住家蠶。
- (2) 固定用英艙的掀蓋式設計讓家蠶可輕易放入，有窗口供注射用，並有自動開蓋設計可讓家蠶自動脫離英艙。
- (3) 使用電流變液液袋解決了水袋拘束性不足之問題。
- (4) 電流變液液袋採用銅網彈性電極板，用紗布做為彈性隔離層，讓液袋保持彈性，可貼合家蠶蠶體。

### 研究三 C、優化之家蠶定位系統

第一代之定位系統採用紅外線系統，雖可偵測到家蠶的抵達而停住輸送帶，開始注射；但由於五齡家蠶大小長短不一，注射時入針處無法固定打在體節之間，必須有方法能辨別體節，才能準確入針。因此第二代的定位系統改用影像辨識方法，希望能辨別家蠶體節而準確入針。

由於我沒有上過撰寫影像辨識程式的課程，也沒有時間自己開發影像辨識系統，而且影像辨識系統還要能和控制器 NXT 相容，才能將辨識結果用來控制輸送盤的移動或停止，因此我使用 NXTCam 和其辨識軟體 NXTCamView。

NXTCam 及 NXTCamView 是由 Mindsensors 公司開發，用來與 LEGO NXT 控制器搭配，進行機器人控制。但其解析度不高，設定時僅有 176x144 像素，動態擷取時僅有 88x144 像素，無法作為精密之控制。但這是唯一低價且與 NXT 控制器相容的影像辨識系統，所以我選擇用這個系統。

NXTCamView 是先於靜態畫面下選取要辨識的目標，建立目標的畫素 RGB 值資料；於動態搜尋時，找出最符合此 RGB 資料的目標，並且輸出其中心座標值。圖 3C.1 為 NXTCam 的外型，圖 3C.2 為其程式 NXTCamView 設定的程式界面。

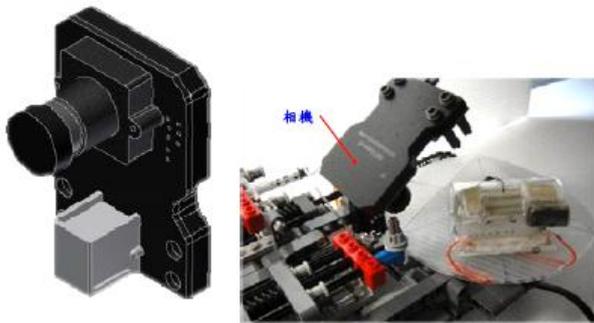


圖 3C.1 NXTCam

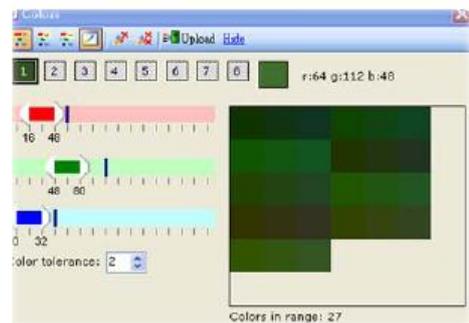


圖 3C.2 NXTCamView 程式界面

但是應用辨識技術在家蠶定位上有兩個問題存在：

- (1) 家蠶是否有明顯的辨識特徵？
- (2) 這些辨識特徵是否為唯一？

在第 1 個問題上，應用辨識技術時，必須目標有明顯的特徵才容易辨識。家蠶注射部位在體節間，但體節間顏色與蠶體顏色近似，並沒有明顯的黑線，所以無法作為辨識的特徵。唯一的特徵是家蠶在體節的側面有九對黑色氣孔，分別位

於第 1 及第 4~11 個環節，這些氣孔與蠶體顏色的對比尚明顯，因此可用來作為辨識的特徵。

而家蠶氣孔因為側面共有 9 個，所以並沒有唯一性，這會造成定位辨識系統辨識出不同氣孔目標，使每次定位位置都不一樣，而我們希望定位在第 8~11 環節的體節之間；因為在輸送盤上每個英艙內的家蠶都大約相距  $120^\circ$ ，因此每次要定位時，我讓輸送盤轉動  $120^\circ$ ，再由 NXTCam 去辨識家蠶的黑色氣孔，得到氣孔的座標，這樣就可將針頭定位在兩氣孔之間的體節間了。

#### 研究過程

- (1) 在 NXTCamView 中先擷取家蠶蠶體影像；
- (2) 在影像中點選氣孔的黑點，進行設定；
- (3) 將 NXTCam 與 NXT 控制器連接，在自動注射系統的 NXT-G 控制程式中，驅動 NXTCamView 動態辨識家蠶黑色氣孔；
- (4) 在 NXT-G 控制程式中讀取黑色氣孔的座標；
- (5) NXT-G 控制程式中微調輸送盤之角度，使體節間對正注射針頭。

#### 研究結果

- (1) 圖 3C.3 為 NXTCamView 擷取的蠶體影像；圖 3C.4 為選定影像目標後，NXTCamView 所建立的 Colormap；圖 3C.5 為動態辨識後所找出的目標及座標值。
- (2) 由於 NXTCam 的像素少，解析度低，因此目標與背景的對比要很明顯才能辨識成功。所以在應用時使用一 LED 手電筒在蠶體上打光，增加黑色氣孔的對比度。

(3) 經測試後，尚可辨識定位出黑色氣孔，但有時家蠶氣孔黑色不明顯時，會有辨識失敗之情況。

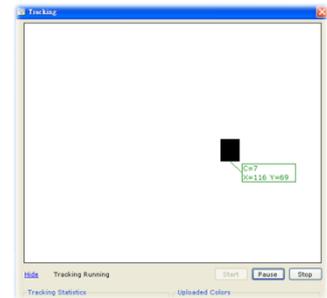
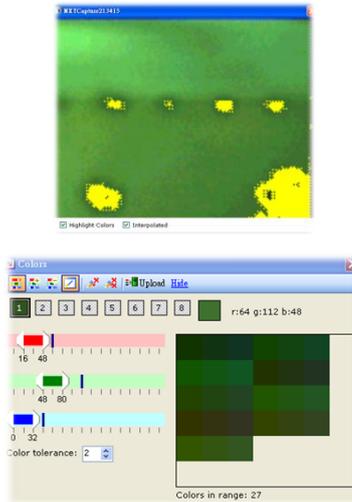


圖 3C.3 擷取的蠶體影像

圖 3C.4 影像目標 colormap

圖 3C.5 產生影像之座標值

### 研究三 D、優化之家蠶注射系統

在研究二中，第一代注射系統使用注射針頭與針筒分離的架構，讓針筒可以架設在旁邊，不會擠在輸送系統上；第二代系統仍將沿用這樣的架構。但第一代系統的缺點是：

- (1) 針頭由上方注射，使家蠶必須要側擺，但家蠶不喜歡這樣的姿勢而會一直扭動；
- (2) 相對於家蠶的體積，0.7mm 直徑的針頭太粗了，會造成家蠶的注射傷口較大；
- (3) 注射液模組中，在針筒活塞桿後方連接了蝸桿，用來推動活塞桿前進，這樣的設計方式使得整個注射模組的長度至少是活塞行程的 3 倍長，佔了相當多體積。

為了解決這些問題，在第二代中提出的解決方法為：

- (1) 注射針頭模組將改安置在輸送盤側面，採側向入針之方式；
- (2) 針頭改用較小針頭。目前實驗室使用直徑 0.21 mm 的微量注射針頭，但針長 50 mm，太長的長度會在注射時彎掉。我原先用剪線鉗及電動砂輪切斷注射針，但因為針質為不銹鋼很難切斷，切完後很細針孔反而被不銹鋼毛邊給堵塞住，無法使用。因此只能用特別訂購的方式買到針長 10 mm (最小針長)的微量注射針頭。
- (3) 我將蝸桿和針筒活塞桿串接而推動活塞桿前進的方式改變，將蝸桿反向安裝而與改為針筒活塞桿並接，使得注射模組的長度減為活塞行程的 2 倍長，減少了 1/3 的體積。

圖 3D.1 為改良之側向入針式注射針頭模組；圖 3D.2 為微量注射針頭；圖 3D.3 為改良之注射筒模組。測試結果顯示整個系統的體積減為第一代系統的 1/2。

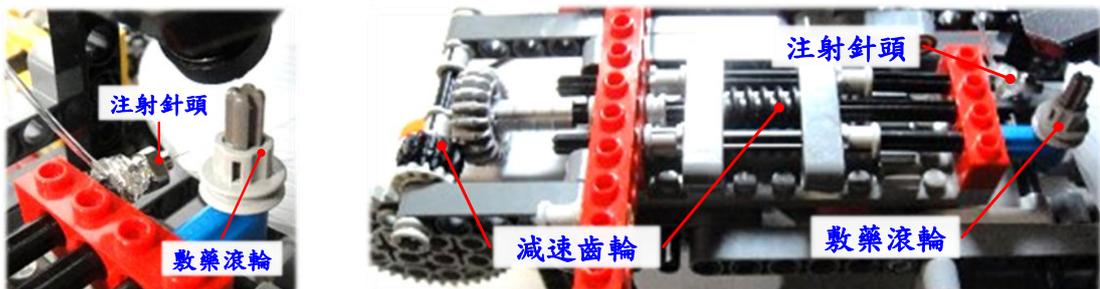


圖 3D.1 側向入針式注射針頭模組



圖 3D.2 0.21 mm 微量注射針頭

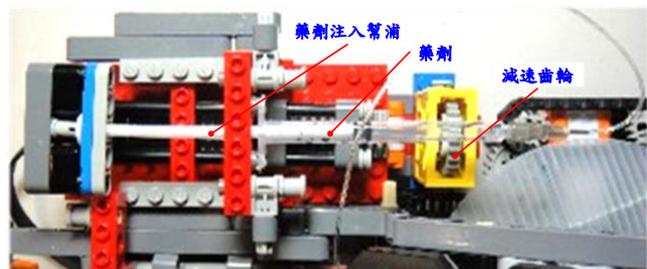


圖 3D.3 改良之注射筒模組

### 研究三 F、家蠶自動注射系統之控制程式

因為第二代系統中使用了 NXTCam 及 NXTCamView 軟體，但它們與第一代的控制程式 Robolab 不相容，因此我改用新的 LEGO 的第二代控制程式 NXT-G 作為家蠶自動注射系統之控制程式。詳細之程式如圖 3F.1。

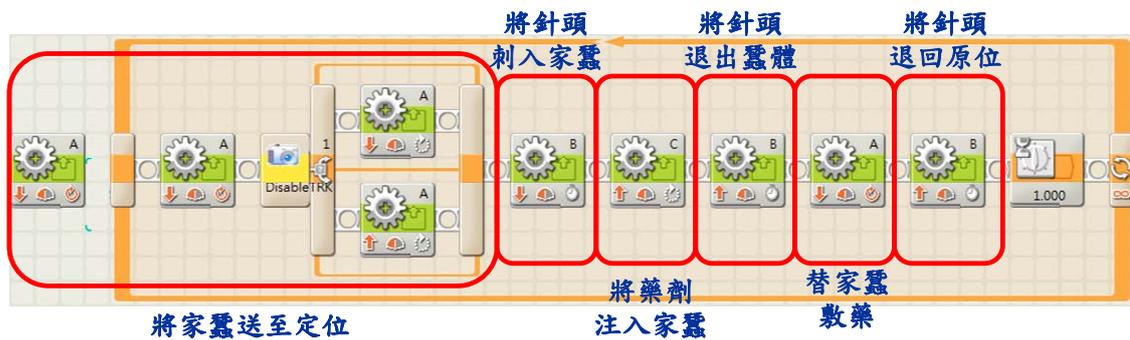


圖 3F.1 NXT-G 家蠶自動注射系統控制程式

### 研究三 G、家蠶自動注射系統測試

為了測試系統的效果，我用黏土依家蠶比例做了模擬蠶，並同樣在氣孔位置畫上黑點，並使用紅墨水先代替藥劑進行測試。圖 3G.1 及 3G.2 分別是第一代和第二代系統模擬注射後的結果。

結果顯示：

- (1) 第一代系統因其定位系統是由家蠶前方偵測家蠶的抵達，而開始注射；但每隻家蠶長短不一，所以每隻蠶會注射在不同環節上
- (2) 第二代系統因為使用了影像辨識系統，因此每隻家蠶都可注射在同一環節。

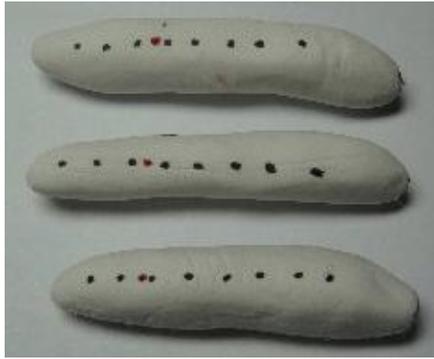


圖 3G.1 第一代系統模擬注射之結果

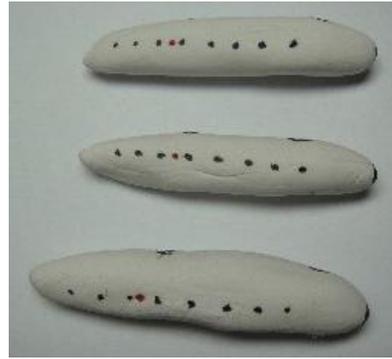
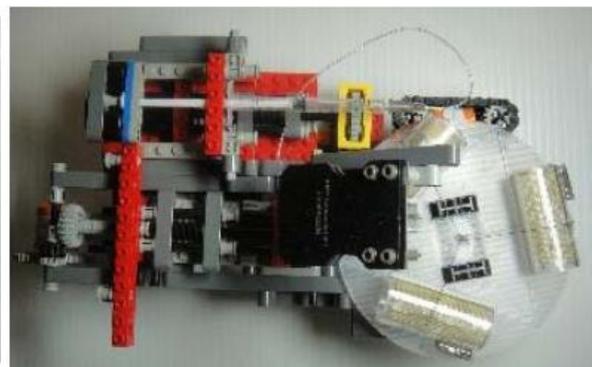
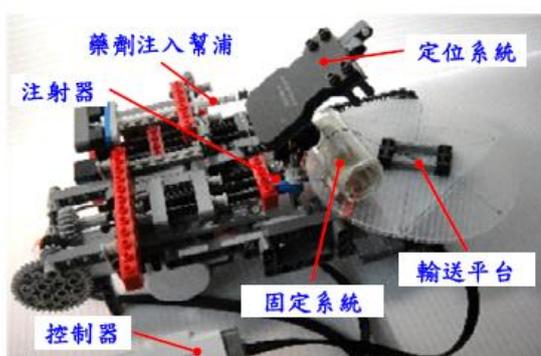


圖 3G.2 第二代系統模擬注射之結果

### 研究三結論

- (1) 圖 3H.1 為第二代家蠶自動注射系統，與第一代比較，各次系統均已優化改善。
- (2) 第二代系統整體體積為 15 cm x 27 cm x 10 cm，僅為第一代整體體積的 25%，大幅減少了體積，讓使用時更方便。
- (3) 各子系統經測試均可順利工作，模擬測試中，完成一隻注射需 20 秒，比人工注射快 4 倍，可以節省人力及時間。



#### 研究四、具抗菌蛋白蠶絲之轉植生產與應用

完成了家蠶自動注射系統後，最後要發展的是如何讓注射後的家蠶能產生特定蛋白蠶絲，並將此具特定蛋白蠶絲進一步應用。由於蠶絲是天然絲線，人體比較能接受，因此在應用方面，朝向讓蠶絲具有抗菌蛋白，則蠶絲可用來作為傷口受傷後的抗菌紗布 OK 繃，可防止傷口受到特定細菌的感染。

研究中會有兩個項目的工作：

- (1) 如何讓家蠶感染桿狀病毒並產生特定蛋白，並確認感染狀況；
- (2) 如何產出具抗菌蛋白之蠶絲並測試效果

一、為確認桿狀病毒注入家蠶體內後，家蠶會受到感染而產生特定蛋白蠶絲，但不能使家蠶死亡。由於抗菌蛋白的成效無法馬上評估，因此我依照實驗室的一般作法，先用螢光基因蛋白置換到桿狀病毒的轉錄區中，再將桿狀病毒注入家蠶體內。若 3~4 天後在紫外燈下檢驗，家蠶體內發出螢光(如圖 4.1)，則代表成功產生螢光基因蛋白。而桿狀病毒濃度低時，家蠶僅受感染而不會死亡，所吐絲結繭在紫外燈照射下亦會有螢光反應(如圖 4.2)。

實驗室中較少讓家蠶吐絲結繭，而是以濃度  $10^5$  pfu/5ml 的 AcMNPV 讓家蠶感染後，再抽取體液。但本研究是要使家蠶感染而產生特定蛋白蠶絲，但不能使家蠶死亡，因此我必須先測試何種濃度的 AcMNPV 會讓家蠶感染吐出特定蛋白蠶絲，但不會使家蠶死亡。

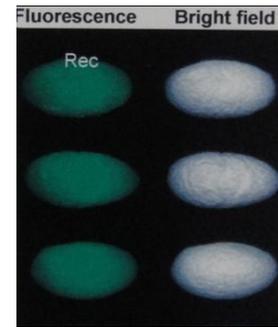
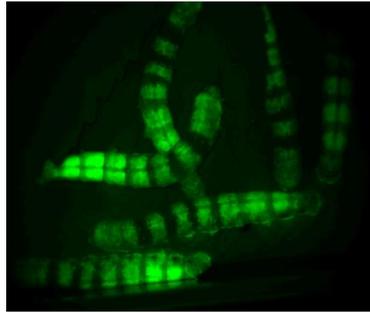
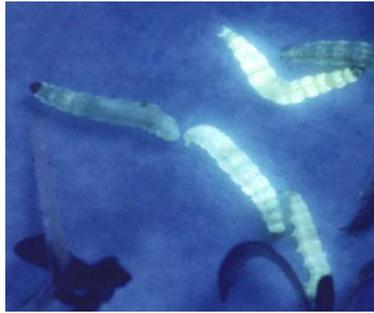


圖 4.1 受桿狀病毒感染而發出螢光的家蠶 [1]

圖 4.2 呈螢光反應的蠶繭 [1]

### 研究過程

(1) 使用三種不同濃度的 AcMNPV : $10^6$  pfu/5ml、 $10^5$  pfu/5ml、 $10^4$  pfu/5ml 注入五齡家蠶體內，每種濃度觀察 12 隻，作為實驗組；另有完全不注射的家蠶 12 隻，作為實驗組。

(2) 4 天後以紫外燈檢驗家蠶是否有螢光反應。

(3) 待家蠶吐絲結繭，再用紫外燈檢驗蠶繭是否有螢光反應。

### 研究結果

(1) 實驗共測試三種不同濃度，實驗結果如表 4.1。

(2) 實驗結果全部家蠶和蠶繭均無螢光反應(如圖 4.1)，代表各濃度之桿狀病毒均未成功感染。

推論實驗中各濃度之桿狀病毒均未讓家蠶成功感染的原因為家蠶之品種問題。我所使用之家蠶為苗栗民間養蠶場的普通產絲家蠶，為雜交種，抗性較強。而實驗室所用的家蠶是農業改良場所育有的 OJ01 與 OJ03 之雜交種之家蠶，其較容易感染。但農改場該品種提供量少，且天氣溫度低時不容易培育出，所以不容易獲得。

解決的一個方法是改用較高濃度之病毒讓一般雜交種感染，所以我重新以五種不同濃度的 AcMNPV : $10^6$  pfu/5ml、 $10^7$  pfu/5ml、 $10^8$  pfu/5ml、 $10^9$  pfu/5ml、 $10^{10}$  pfu/5ml 注入五齡家蠶體內，每種濃度觀察 8 隻，作為實驗組；另有完全不注射的家蠶 8 隻，作為實驗組。

#### 研究結果

- (1) 實驗共測試五種不同濃度，實驗結果如表 4.2。
- (2) 實驗結果，雖然注射較高濃度 AcMNPV 的部份家蠶有明顯活動力減弱之現象，但全部家蠶和蠶繭均無螢光反應，代表各濃度之桿狀病毒均未成功感染。

#### 研究小結論

- (1) 使用  $10^4$ ~ $10^{10}$  等七種濃度的 AcMNPV 均無法使一般雜交種成功感染，說明此一家蠶品種歷經民間多年來的雜交，其對桿狀病毒抗性極強。
- (2) 因此若要使用家蠶生產工程基因蛋白，必須使用對桿狀病毒抗性較弱之 OJ01 與 OJ03 之雜交種。後續將再等農改場有提供 OJ01 與 OJ03 之雜交種時重行實驗，找出讓家蠶可感染而吐出特定蛋白蠶絲的 AcMNPV 最佳濃度。

推論此一家蠶品種歷經民間多年來的雜交，其對桿狀病毒抗性極強。因此若要使用家蠶生產工程基因蛋白，必須使用對桿狀病毒抗性較弱之 OJ01 與 OJ03 之雜交種。所以在等待了幾個月後，終於有 OJ01 與 OJ03 之雜交種四齡蠶 20 隻；但該批家蠶送到時健康情形不佳，等脫皮至五齡階段要開始注射時，僅剩 8 隻殘活。我以 3 種不同濃度的 AcMNPV : $10^5$  pfu/5ml、 $10^4$  pfu/5ml、 $10^3$  pfu/5ml 注入五齡家蠶體內，每種濃度觀察 2 隻，作為實驗組；另有完全不注射的家蠶 2 隻，作為實驗組。

#### 研究結果

- (1) 實驗共測試 3 種不同濃度，實驗結果如表 4.3。
- (2) 實驗結果家蠶均有螢光反應，如圖 4.3；代表 OJ01 與 OJ03 之雜交種可成功感染桿狀病毒。
- (3) 注射  $10^5$  pfu/5ml 濃度之家蠶 3 日後死亡，代表此濃度無法讓家蠶存活至結繭期；而  $10^4$  和  $10^3$  pfu/5ml 家蠶存活 5 天，且蠶體呈螢光反應。無注射之家蠶無螢光反應，且亦僅存活 5 天。

#### 研究小結論

- (1) 使用  $10^4$  和  $10^3$  pfu/5ml 濃度的 AcMNPV 可使 OJ01 與 OJ03 之雜交種成功感染而使蠶體呈螢光反應。
- (2) 但因該批家蠶送至實驗室時即健康情形不佳，包含未注射之對照組亦僅存活 5 天，因此所有家蠶未結繭即死亡。
- (3) 若要成功測試家蠶的基因蛋白生產，最好是在夏季家蠶產量大且健康情形佳時進行注射，才能得到含基因蛋白之蠶繭。

表 4.1 三種不同濃度 AcMNPV 之實驗結果

濃度( $10^n$ pfu/5ml)	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	無注射
隻數	12	12	12	12
蠶體呈螢光反應隻數	0	0	0	0
蠶繭呈螢光反應個數	0	0	0	0

表 4.2 五種不同濃度 AcMNPV 之實驗結果

濃度( $10^n$ pfu/5ml)	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$	無注射
隻數	8	8	8	8	8	8
蠶體呈螢光反應隻數	0	0	0	0	0	0
蠶繭呈螢光反應個數	0	0	0	0	0	0

表 4.3 三種不同濃度 AcMNPV 之實驗結果

濃度( $10^n$ pfu/5ml)	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	無注射
隻數	2	2	2	2
蠶體呈螢光反應隻數	2	2	2	0
蠶繭呈螢光反應個數	0	0	0	0
存活天數	5	5	3	5



圖 4.1 一般種家蠶未呈螢光反應



圖 4.2 蠶繭未呈螢光反應

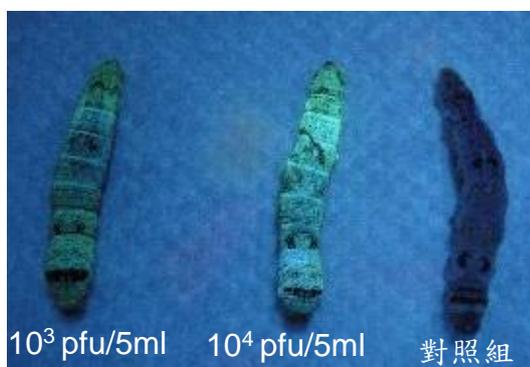


圖 4.3 OJ01 與 OJ03 雜交種家蠶呈現螢光反應

二、待找出讓家蠶可感染而吐出特定蛋白蠶絲的 AcMNPV 最佳濃度，接續要進行將抗菌基因蛋白置換到桿狀病毒的轉錄區中，再將桿狀病毒注入家蠶體內，讓蠶絲能帶有抗菌基因蛋白。抗菌蛋白目前較普遍的有三種 [6,7,8]：

(1) Royalisin 蜂王漿抗菌蛋白：可抗真菌、葛蘭氏陽性菌及陰性菌；

(2) Pleurocidin 比目魚抗菌蛋白：可抗革蘭氏陰性菌與陽性菌；

(3) Monodocin 草蝦抗菌蛋白：可抗革蘭氏陰性菌與陽性菌、黴菌。

研究過程

(1) 研究中將使用 Royalisin 蜂王漿抗菌蛋白置換到桿狀病毒，再藉由家蠶的感染讓其產生帶有 Royalisin 的蠶絲。

(2) 為了取絲方便，將在家蠶吐絲時，採用平面繭的方式，則可得到一張張帶有 Royalisin 蜂王漿抗菌蛋白的蠶絲紗布。

(3) 將該蠶絲紗布覆在有革蘭氏陰性菌與陽性菌的培養皿上，觀察其抗菌能力。

(4) 若具抗菌能力，則可用平面繭製成抗菌 OK 繃，用來保護傷口免於細菌感染。

## 伍、結論與應用

- 一、本研究的目的是建立一個家蠶自動注射系統，並應用此系統讓家蠶生產具特定抗菌蛋白之蠶絲，製成抗菌繃帶。
- 二、研究中探討家蠶最佳注射部位，可避免無效注射。
- 三、研究中分別構建了自動注射系統的五個子系統，包括輸送、固定、定位、注射、及敷藥系統，讓自動注射系統可完成模擬家蠶之注射，比人工快了 2~3 倍。
- 四、研究中針對第一代自動注射系統進行優化，以運送圓盤、莢艙、電流變液、影像辨識等改善了系統，不但讓系統注射速度加快，且整體體積縮小為原體積之 25%，讓系統更為輕巧。
- 五、讓家蠶感染以生產抗菌蛋白蠶絲之研究若使用目的在養蠶取絲之一般種家蠶之品種，因對桿狀病毒有良好之抗性，感染無法成功；而 OJ01 與 OJ03 之雜交品種使用  $10^4$  和  $10^3$  pfu/5ml 濃度的 AcMNPV 可使其成功感染而使蠶體呈螢光反應。但因在秋冬天氣過冷，使此品種產量少且健康情形不佳，無法存活至結繭。

## 陸、參考資料及其他

1. 趙裕展，*病毒基因工程特論*，中研院分生所實驗課程講義，2008
2. 張瓊方，“養蠶吐藥——螢光蠶開創新思路”，台灣光華智庫 pp.28，2008.11
3. 蠶業發展基金會，<http://www.silkworm.org.tw/silkworm/tsdf3-2.asp>
4. 蕭季威，“磁力的緩衝作用”，第48屆全國科展物理科作品說明書，2008。
5. 蕭耀榮、李居歷，“電流變液之研製與性能分析”，中國機械工程學會第24屆全國學術研討會，2007。
6. 彭及忠，“蜂王漿抗菌蛋白質—Royalisin”，臺灣昆蟲特刊，8:43-50，2006
7. 王亦大、許祖法、陳志毅，“魚類抗菌勝 pleurocidin”，動物生技，No.15，pp.34-40，2008
8. 李景欽，“桿狀病毒(Baculovirus)在生物科技及生物醫學上的應用”，高雄醫學大學 e 快報，63 期，2006

## 評語

本作品採用電子控制系統，進行自動注射研究。對於家蠶之蠶絲成份可加入防菌之效果，可運用於防菌紗布之醫療用途。在自動化控制上，本研究具有創新性，研究方法亦符合科學之精神，可達到提高生產速率的功效。因此評審委員對本作品給予相當的肯定，並鼓勵同學再接再厲，將作品的深度及自動化效率提升，使作品更加完整。