

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100031
參展科別 工程學
作品名稱 應用牛血清蛋白的光交聯性質製作液體繃帶
得獎獎項 大會獎 四等獎

就讀學校 新北市華美國際美國學校
指導教師 Brittney Judkins、廖奕翰
作者姓名 廖英劭

關鍵詞 光化學、光感物質、蛋白質交聯

作者簡介



Hi everyone,

I'm Andrew Liao and am currently a senior of Asia American International Academy. I am honored to be selected for the second round of the TISF and I was motivated to pursue my project because of the common mild but nevertheless bothersome bruises and turf burns we all encounter when playing sports. I thought the conventional bandage couldn't do well enough a job to isolate the wound from the outside environment and assist the healing process. It has been an amazing journey learning the intricacies of lab work and collegiate level equipment.

I love playing basketball, watching movies, and listening to music during my spare time.

I would like to extend my gratitude towards Professor Hsin-Yun Hsu from NCTU for her help during both conducting experiments and composing this paper and Professor Yish-Han Liao for allowing me the use of his lab.

中文摘要

此研究主要在開發可包容藥物、可客製化且可黏著在皮膚上的液體繃帶的新方法。我們將脈衝雷射光聚焦於混有光感物質的血清蛋白，利用光化學交聯原理，在玻璃基板上製作出微米尺度的蛋白質膠體。我們先最佳化溶劑、焦距及照射時間。接著利用配有精密移動平台的光學顯微鏡，控制照光位置及照光時間。光學顯微影像清楚呈現膠體之形貌，展現可製作成微米尺度之蛋白質膠體陣列或設計之文字圖案。接著以綠色螢光分子模擬藥物，嘗試製作包容藥物的蛋白質膠體。穿透光影像顯示模擬藥物不會改變膠體之形貌，而綠色螢光影像則證明模擬藥物已保留在蛋白質膠體上。最後我們將蛋白質膠體陣列製作為液體繃帶，並成功將蛋白質膠體轉移且黏於模擬人類皮膚的豬皮上。本研究展現進一步發展為大面積、可客制膠體陣列、可摻入藥物的液體繃帶之可能性。

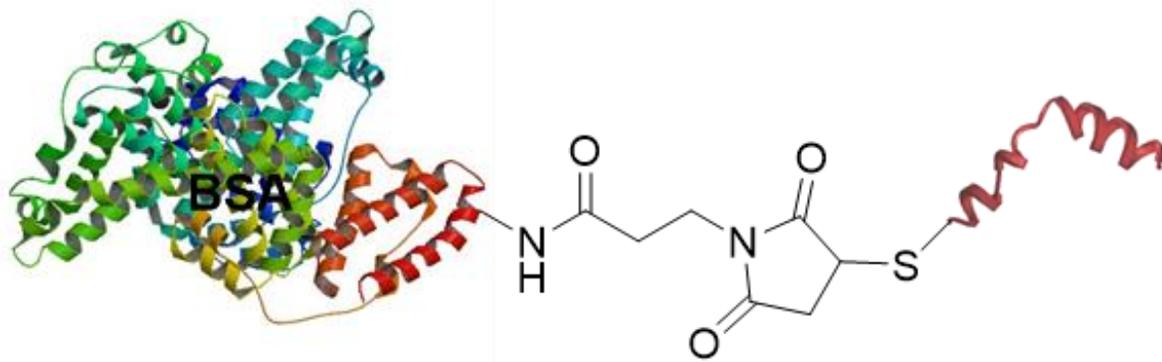
Abstract

This research aims to develop a method of fabricating novel liquid bandages that can incorporate drugs, be customizable, and adhere to the skin. We focused pulsed-laser light on serum proteins mixed with photosensitizers and produced micron-scale protein gels on a glass substrate through photochemical cross-linking. We optimized the results by varying the solvent, focal length, and irradiation time. We then used a precision moving stage to control the position and exposure time of photo-illumination. Optical microscopy images clearly show the morphology of the protein gels, demonstrating our capability of fabricating micron-scale arrays or text patterns of protein gels. We then used green fluorescent molecules to model drugs and attempted to incorporate drugs into protein gels. The bright-field image shows that the incorporation of the drug did not change the morphology of the protein gels whereas the green fluorescence image shows that the model drug is retained on the protein gels. Finally, we fabricated an array of protein gels on a thin plastic sheet and successfully transferred and adhered the array of protein gels to a piece of pigskin that mimics the human skin. This research shows the possibility of further developing into a large-area, customizable liquid bandage that can be incorporated with drugs.

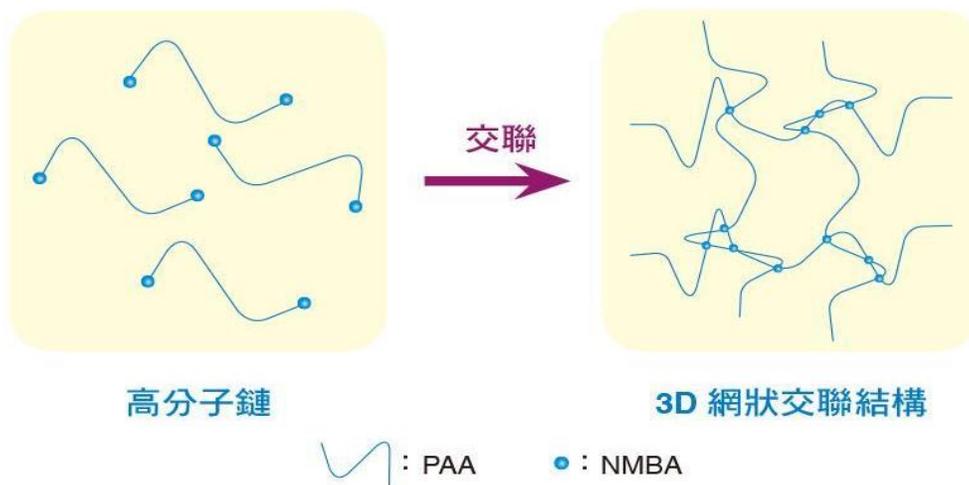
一、前言

(一) 研究動機

一般來說，當我們在處理小型傷口時，會先使用藥物塗抹傷口，再利用繃帶將傷口與外界進行隔絕避免碰觸。然而傳統繃帶無法完整且服貼的覆較大或是不平整的傷口，因此液體繃帶 [1] 是另一個解決的方法。但是一般液體繃帶相較傳統繃帶或 OK 繃昂貴 (我們查到一般市售液體繃帶 18 mL 約新台幣 500 元) 且液體繃帶的有機溶劑會刺激傷口，造成劇烈疼痛而且通常無法與藥物結合。因此，我跟老師討論後，我們決定製造一個可包容藥物且可確實黏著在皮膚上的新型液體繃帶。參考相關文獻及論文後，我們發現蛋白質透過光化學反應可交聯形成膠體，因此我們決定嘗試利用牛血清蛋白 (Bovine serum albumin, BSA) [2] 來製作樣品，牛血清蛋白的結構式如圖一所示，我們應用其交聯性質 (如圖二所示) [3]，配合雷射光學系統來製作液體繃帶，希望未來能提供具有便利性，良好的包覆性及黏著性，甚至可包容不同藥物的液體繃帶。



圖一、牛血清蛋白 (BSA) 分子結構式



圖二、光交聯性質的化學反應

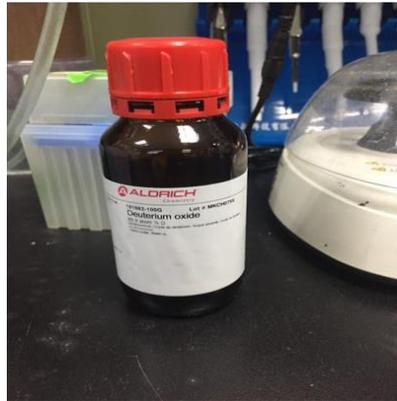
(二) 研究目的

1. 以輕水或是重水將不同比例混合的牛血清蛋白粉末以及光感物質 [4]配成溶液，目的在於驗證以輕水或是重水配製溶液有較好的光交聯蛋白質形成膠體的效果。
2. 我們用顯微鏡將脈衝雷射聚焦於樣品，目的在於最佳化可製造出微米級半圓形 (micro-semispherical) 蛋白質膠體 (protein gel) 的對焦距離及照射時間。
3. 研究牛血清蛋白半圓體之性質，目的在於確認樣品的形貌及結構性 (利用雷射共焦顯微鏡 [5]，目的在於驗證蛋白質膠體的形貌)。
4. 應用光學系統及程式控制的樣品移動平台，目的在於驗證將多個單點蛋白質膠體排列成不同尺度、形狀以及文字圖案的可行性。
5. 製造不同圖案的半圓型蛋白質膠體陣列，目的在於展現增加樣品的總表面積以及與皮膚的接觸面積的可行性。
6. 將蛋白質膠體陣列浸潤於染料溶液，目的在於驗證蛋白質膠體包容藥物的可行性。
7. 在塑膠基板上製造蛋白質膠體陣列，並將蛋白質膠體陣列從塑膠基板轉移至豬皮上，驗證此一製程製作液體繃帶之可行性，並作為未來製備大面積液體繃帶之參考。

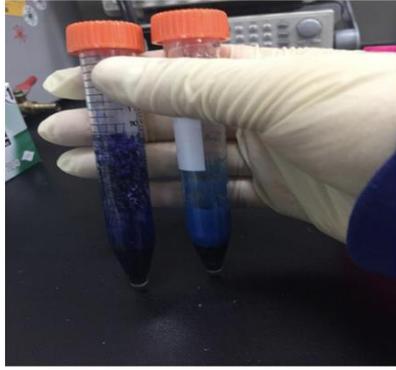
二、研究方法與過程

(一) 製備牛血清蛋白及甲基藍混合溶液

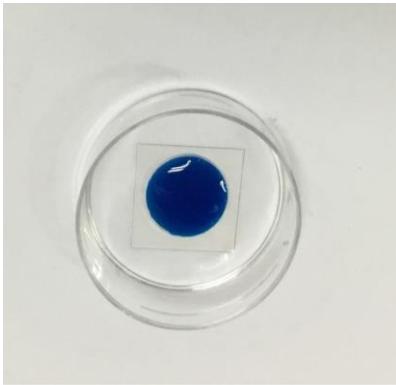
1. 首先，準備甲基藍粉末 (如圖三左所示)，將約 0.037 g 的甲基藍粉末分別以輕水及重水 (如圖三右所示) 20 mL 混合 (最終濃度為 6.5 mM) (如圖四左圖左邊試管所示)。
2. 用移液管 (pipette) 將 1.2 mL 的甲基藍溶液取出並注入另一支試管中，再將約 0.40 g 牛血清蛋白粉末 (如圖四右所示) 加入試管與上述溶液混合，並放入超音波震洗機中震盪使其均勻混合，(最終濃度為 6.1 mM) (如圖四右圖左邊試管所示)。
3. 用移液管將 200 μ L 溶液滴入培養皿中 (製備完成的重水溶液如圖五所示)。



圖三、(左) 實驗用甲基藍粉末、(右) 實驗用重水溶液



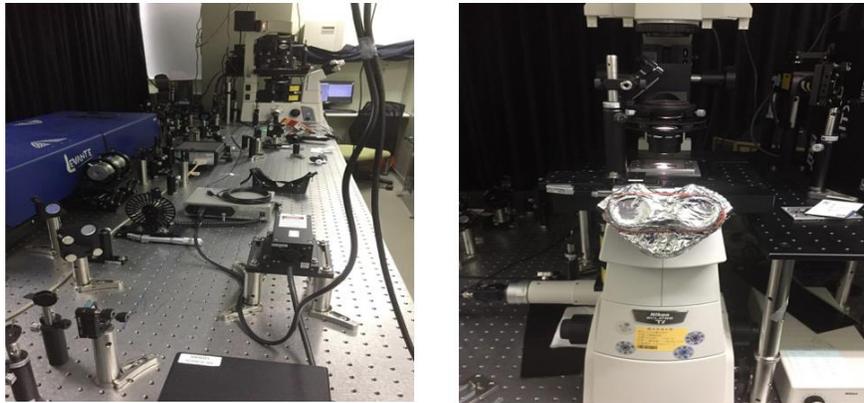
圖四、(左) 左邊試管為混合後的甲基藍溶液、右邊試管為混合後的甲基藍和牛血清蛋白溶液、(右) 實驗用牛血清蛋白粉末



圖五、放置於培養皿中的牛血清蛋白重水溶液

(二) 最佳化製備微米半圓形蛋白質膠體的實驗條件

1. 製備牛血清蛋白溶液前，先將近紅外光脈衝雷射(如圖六左所示)打開並等待半小時以上進行暖機。此時可將培養皿放上顯微鏡載台(如圖六右所示)。
2. 接著將相同功率的雷射照射以輕水及重水配置的溶液，我們設定雷射照射時間分別為 10, 15, 30, 45, 60 sec，觀察並比較不同照射時間形成半圓形蛋白質膠體之情形，得出最佳溶劑以及最佳雷射照射時間。
3. 接著將相同功率的雷射照射以重水配置的溶液，根據上述照射時間找出的最佳對焦距離，接著我們設定雷射照射焦距分別為 -2, 0, +2, +4, +6 μm (此距離為相對於波片上表面)，觀察並比較不同照射對焦距離形成半圓形蛋白質膠體之情形，得出最佳對焦距離。



圖六、(左)實驗用脈衝雷射光學系統，(右)實驗用放置培養皿的顯微鏡載台

(三) 鑑定微米半圓形蛋白質膠體的形貌及結構性質

1. 使用雷射共焦顯微鏡 (laser-scanning confocal microscope) 獲得蛋白膠體的穿透光影像 (bright-field Image) 並觀察樣品製作情形。
2. 使用雷射共焦顯微鏡獲得螢光影像 (fluorescence image)，以驗證樣品製作成功。使用的雷射激發波長為 488 nm 或 561 nm。

(四) 將微米半圓形蛋白質膠體製作成文字圖案排列

1. 為了擴充單點半圓形蛋白質膠體製造不同圖案的可行性，我們進一步利用光學系統，配合程式控制的樣品移動平台，製造不同文字圖案。
2. 我們將單點膠體半圓體製作成「SCIENCE」、「TISF」、「TAIWAN」三種文字圖案，並使用上述雷射共焦顯微鏡拍攝穿透光影像以及螢光影像來驗證樣品是否製作成功。

(五) 將微米半圓形蛋白質膠體製作成圖形陣列

1. 我們進一步利用光學系統，配合程式控制的樣品移動平台，將單點半圓形蛋白質膠體製作成 5 X 5 的陣列。
2. 為了驗證光學系統的可行性，我們分別設計三種不同陣列。第一組半圓體間距皆為 10 μm ，第二組為列間距 10 μm ，行間距 20 μm ，第三組半圓體間距皆為 30 μm ，並使用上述雷射共焦顯微鏡拍攝穿透光影像以及螢光影像來驗證樣品製作成功。

(六) 將蛋白質膠體包容藥物

為驗證蛋白質膠體可包容藥物以便後續製作液體繃帶，我們使用兩種不同的製程方法，嘗試製作加入藥物的膠體半圓體。

製程(一)：以綠色螢光 polystyrene 奈米小球 [6] 模擬藥物

1. 首先準備甲基藍粉末，將約 0.037 g 的甲基藍粉末以重水 20 mL 混合 (最終濃度為 6.5 mM)。
2. 用移液管將 1.2 mL 的甲基藍溶液取出並注入另一支試管中，再將約 0.40 g 牛血清蛋白粉末及 0.1 mL 綠色螢光 polystyrene 奈米小球溶液加入試管與上述溶液混合，並放入超音波震洗機中震盪使其均勻混合。
3. 用移液管將 200 μ L 溶液倒入培養皿中，完成包容藥物的重水溶液。
4. 將上述的重水溶液以最佳化的實驗條件照射，製作出包容藥物的單點膠體半圓體並以文字圖案「TISF」及 5 X 5 陣列形式排列。

製程(二)：以綠色螢光素 (fluorescein) [7] 模擬藥物

5. 準備甲基藍粉末，將約 0.037g 的甲基藍粉末以重水 20 mL 混合 (最終濃度為 6.5 mM)。
6. 用移液管將 1.2 mL 的甲基藍溶液取出並注入另一支試管中，再將約 0.40 g 牛血清蛋白粉末加入試管與上述溶液混合，並放入超音波震洗機中震盪使其均勻混合。
7. 用移液管將 200 μ L 溶液倒入培養皿中，完成重水溶液。
8. 將上述的重水溶液以最佳化的實驗條件照射蛋白質膠體陣列，5 X 5 陣列。
9. 然後以綠色螢光素溶液浸潤蛋白質膠體陣列，混合時間為 120 sec，此時再以蒸餾水清洗蛋白質膠體，製作出包容藥物的蛋白質膠體的 5 X 5 陣列。

10. 使用雷射共焦顯微鏡拍攝穿透光影像以及螢光影像，分別比較上述兩種製程製作出的三種樣品，並驗證其製程條件。

(七) 將蛋白質膠體製作成液體繃帶

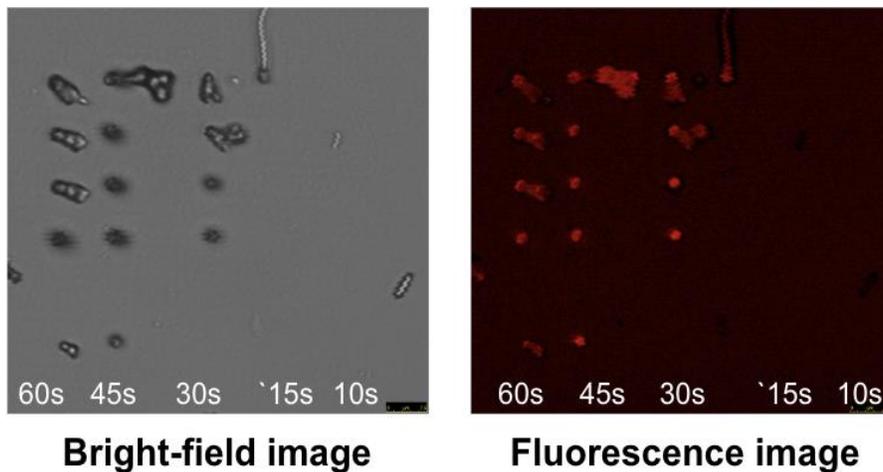
1. 為了觀察此種液體繃帶與皮膚的接觸情形，我們從市場取得一片豬皮來模擬人的皮膚，
2. 首先將豬皮切成一塊大小約 10 cm X 3 cm 的面積。
3. 將一個 3 x 3 的蛋白質膠體陣列製造在塑膠基板上。
4. 我們將塑膠基板上的蛋白質膠體陣列轉移豬皮上，觀察其轉移情形以及與皮膚的黏著性，驗證此種液體繃帶之可行性。

三、研究結果與討論

(一) 最佳化製程條件之探討

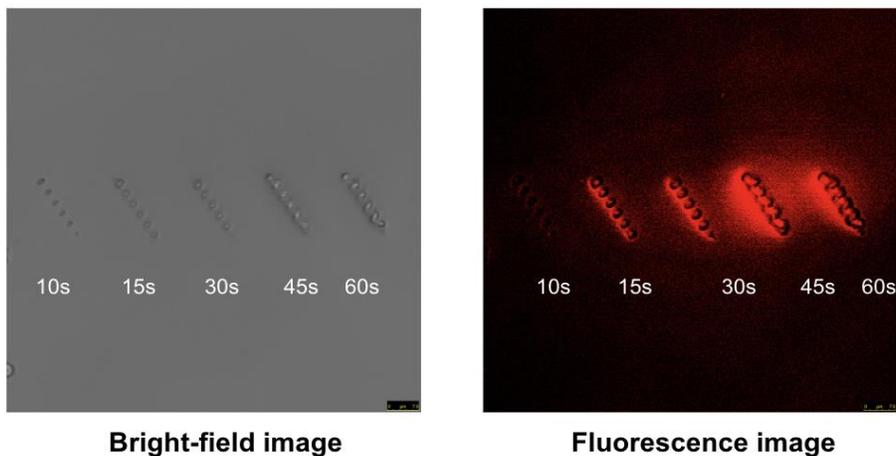
本節探討最佳化的製程條件，我們將製備完成的輕水以及重水溶液分別以不同參數 (溶劑種類、雷射照射時間、焦距) 的雷射光照射，觀察其樣品結構以及螢光反應。

我們將相同強度的近紅外光脈衝雷射照射以輕水以及重水配置的溶液，設定雷射照射時間分別為 10, 15, 30, 45, 60 sec，觀察並比較不同照射時間形成膠體半圓體之情形，得出最佳照射時間。以下為輕水溶液的實驗結果 (如圖七所示)，左圖為為穿透光影像而右圖為螢光影像。我們可以看出照射時間為 10 sec 及 15 sec 樣品並未製作成功，穿透光影像顯示當照射時間超過 30 sec 時可觀察到樣品，而當照射時間為 45 sec 時可看出樣品有最好的形貌，螢光影像也顯示樣品具有螢光反應，因此我們判定 45 sec 為最佳照射時間。



圖七、(左) 雷射照射時間分別為 10, 15, 30, 45, 60 sec 的輕水樣品穿透光影像、
(右) 輕水樣品螢光影像

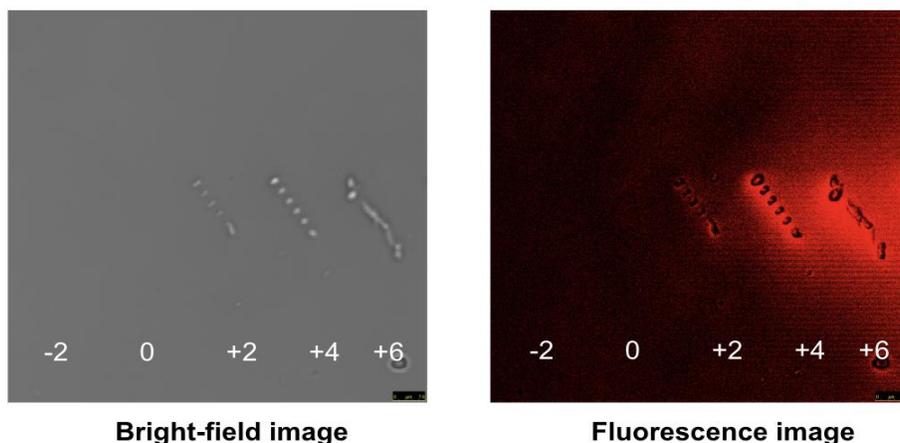
我們從輕水溶液發現 45 sec 為最佳照射時間，接著我們將相同功率的近紅外光脈衝雷射照射以重水配置的溶液，設定雷射照射時間分別為 10, 15, 30, 45, 60 sec，觀察並比較不同照射時間形成膠體半圓體之情形。以下為實驗結果 (如圖八所示)，左圖為穿透光影像，右圖為螢光影像。我們可以看出照射時間為 10 sec 及 15 sec 樣品未達最佳條件，但是比輕水溶液的製作的樣品有較好的形貌，而當照射時間為 45 sec 時可看出樣品有最好的形貌，而螢光影像也清楚顯示當照射時間為 45 sec 時，樣品具有最強的螢光反應，因此我們得到結論，製程使用重水溶液並以雷射照射 45 sec 為最佳照射時間。



圖八、(左)雷射照射時間分別為 10, 15, 30, 45, 60 sec 的重水樣品穿透光影像、(右)重水樣品螢光影像

雷射對焦距離：確定溶液種類以及最佳照射時間後，我們接著將相同強度的近紅外光脈衝雷射照射以重水配置的溶液，根據上述照射時間找出的最佳對焦距離。我們設定雷射照射焦距分別為 -2, 0, +2, +4, +6 μm (此距離為相對於波片上表面)，觀察並比較不同雷射照射焦距分別為 -2, 0, +2, +4, +6 μm 形成膠體半圓體之情形，得出最佳對焦距離。下圖為實驗結果，(如圖左所示) 左圖為為穿透光影像

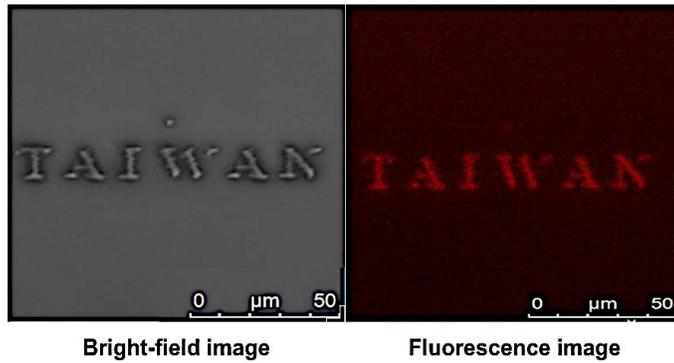
而右圖為螢光影像。我們可以看出照射焦距分別為 $-2, 0, +2, +4, +6 \mu\text{m}$ 為 -2 及 $0 \mu\text{m}$ 時，樣品並未製作成功，穿透光影像顯示當照射焦距分別為 $-2, 0, +2, +4, +6 \mu\text{m}$ 超過 $+2 \mu\text{m}$ 時可觀察到樣品，而當照射焦距為 $+4 \mu\text{m}$ 時可觀察出樣品有最好的形貌，而螢光影像也顯示照射焦距為 $+4 \mu\text{m}$ 時，樣品具有最強螢光反應，因此我們判定 $+4 \mu\text{m}$ 為最佳照射焦距。



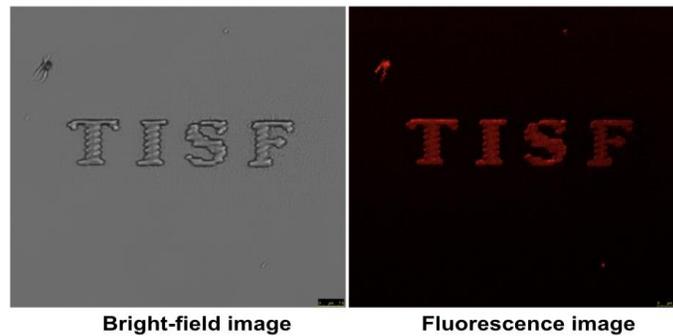
圖九、(左)雷射照射焦距分別為 $-2, 0, +2, +4, +6 \mu\text{m}$ 的樣品穿透光影像，(右)樣品螢光影像

(二) 將微米半圓形蛋白質膠體製作成文字圖案排列實驗結果之探討

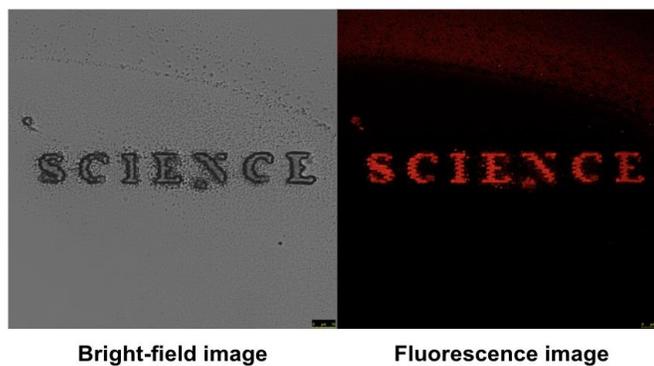
得到最佳化製程條件後，為了擴充單點膠體半圓體，我們進一步利用雷射光學系統，配合程式控制的樣品移動平台，製造不同文字圖案。製作的方式是由小畫家輸入所需的文字，將文字圖檔配合程式控制的樣品移動平台，文字是類似列印機方式以雷射移動平台照射溶液而製作出文字圖案。利用此一系統，我們將單點膠體半圓體分別排列成「TAIWAN」、「TISF」、「SCIENCE」三種文字圖案，實驗結果分別如圖十、圖十一、圖十二所示。左圖為穿透光影像右圖為螢光影像，穿透光影像可驗證製作樣品成功，螢光影像顯示樣品具有螢光反應。由於文字是類似列印機方式以雷射移動平台照射溶液而得，因此在設計文字圖案時，點跟點之間距離不能太近，否則製作出的圖案無法如輸入文字一樣呈現。另外文字的複雜程度也會影響輸出結果，若字母較為對稱或是直線較多，呈現出的效果較好，例如字母「T」和「I」和「F」呈現出的文字效果甚至非常接近電腦的字型。我們經由此一實驗，並透過穿透光影像以及螢光影像顯示膠體半圓體文字圖案製作成功，驗證此一光學系統的可行性。



圖十、(左)以蛋白膠體製作成「TAIWAN」文字圖案的穿透光影像、(右)螢光影像



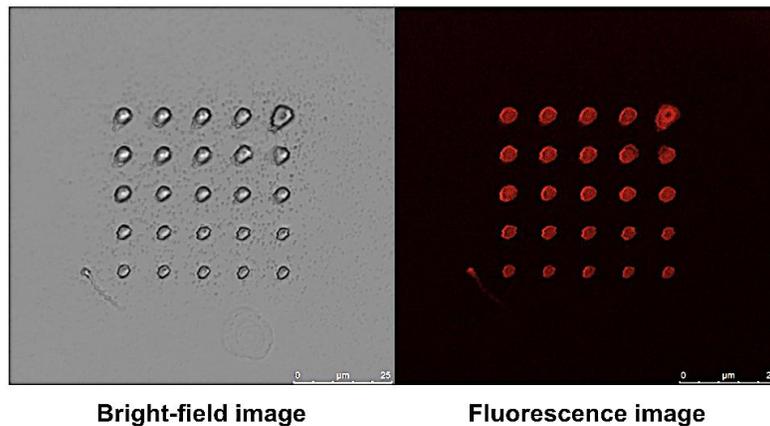
圖十一、(左)以蛋白膠體製作成「TISF」文字圖案的穿透光影像、(右)螢光影像



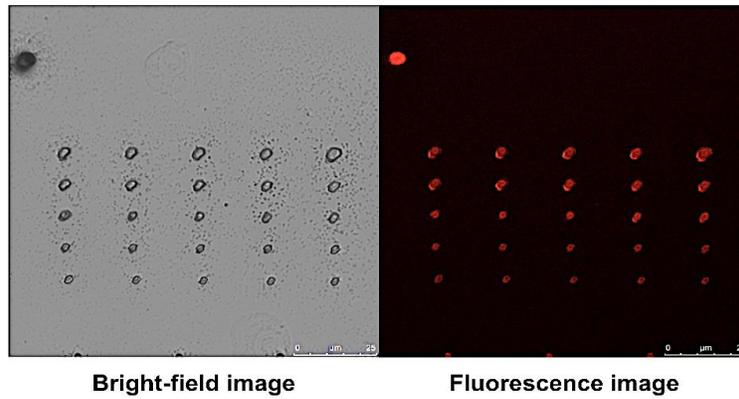
圖十二、(左)以蛋白膠體製作成「SCIENCE」文字圖案的穿透光影像、(右)螢光影像

(三) 將微米半圓形蛋白質膠體製作成圖形陣列實驗結果之探討

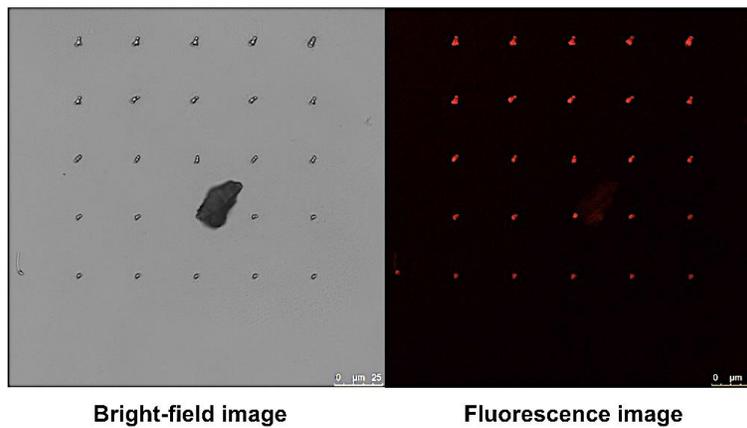
製作出單點膠體半圓體之後，我們為了增加單點膠體半圓體的表面積以及接觸面積，以及進一步驗證此一光學系統製作膠體半圓體大範圍陣列的可行性，我們進一步製作微米半圓形蛋白質膠體陣列，並觀察其樣品製作情形。我們分別設計三種不同間距的陣列。第一組的行間距和列間距皆為 $10\ \mu\text{m}$ ，第二組的列間距為 $10\ \mu\text{m}$ ，行間距為 $20\ \mu\text{m}$ ，第三組的行間距和列間距皆為 $30\ \mu\text{m}$ 。實驗結果分別如圖十三、圖十四、圖十五所示。從左圖的穿透光影像我們可以看出製作出 5×5 陣列的膠體半圓體陣列製作成功，從右圖的螢光影像顯示出製作的樣品陣列均有螢光反應，亦表示使用此一製程製作出的樣品具一致性 (uniformity)。



圖十三、(左)以蛋白質膠體製作成 5×5 陣列 (間距為 $10\ \mu\text{m}$) 穿透光影像、(右) 螢光影像



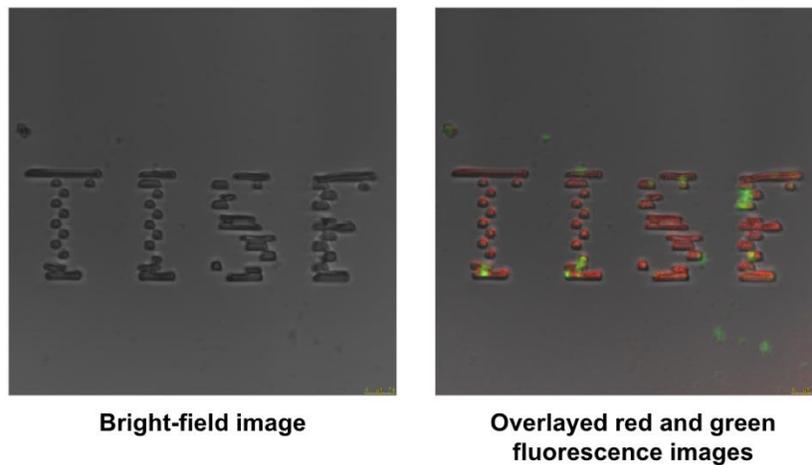
圖十四、(左)以蛋白質膠體製作成 5 x 5 陣列(列間距為 10 μm 行間距為 20 μm 的螢光影像) 穿透光影像、(右) 螢光影像



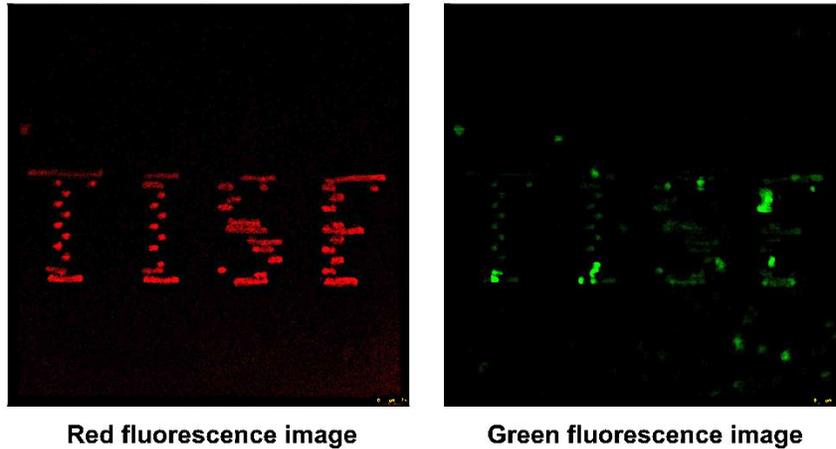
圖十五、(左)以蛋白質膠體製作成 5 x 5 陣列 (間距為 30 μm) 穿透光影像、(右) 螢光影像

(四) 將蛋白質膠體包容藥物實驗結果之探討

為驗證蛋白質膠體可包容藥物以便後續製作液體繃帶，我們使用兩種不同的製程方法，嘗試製作加入藥物的蛋白質膠體。圖十六為使用製程(一)製作出包含藥物 (綠色螢光 polystyrene 奈米球) 的蛋白質膠體，並以文字圖案「TISF」排列。左圖為顯示樣品的穿透光影像，右圖為顯示樣品的螢光影像。圖十七左圖為相同樣品的紅色螢光圖，右圖為綠色螢光影像。從穿透光影像我們可以看出樣品文字圖案製作成功，而紅色螢光影像為殘存的甲基藍，而綠色螢光為藥物 (綠色螢光 polystyrene 奈米球) 造成。上面結果驗證我們成功製作出包含綠色螢光 polystyrene 奈米球的蛋白質膠體。

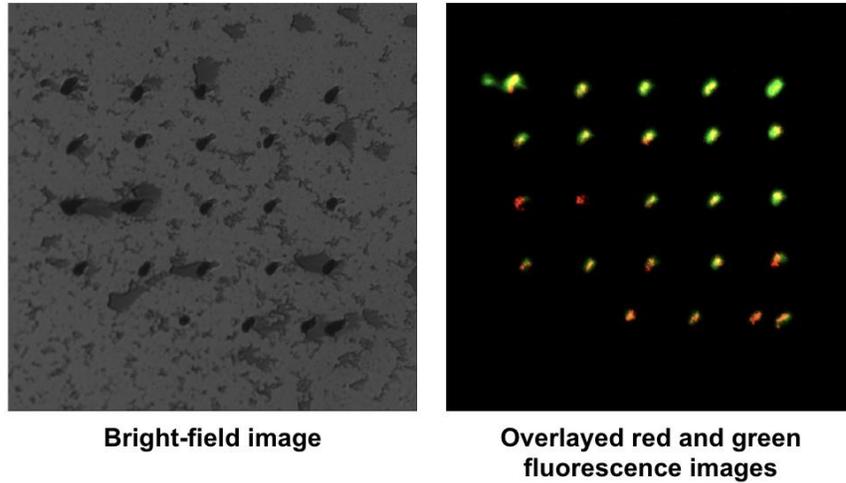


圖十六、(左) 以包含藥物 (綠色螢光 polystyrene 奈米球) 的蛋白質膠體製作成「TISF」文字圖案的穿透光影像、(右) 重疊的紅色及綠色螢光影像

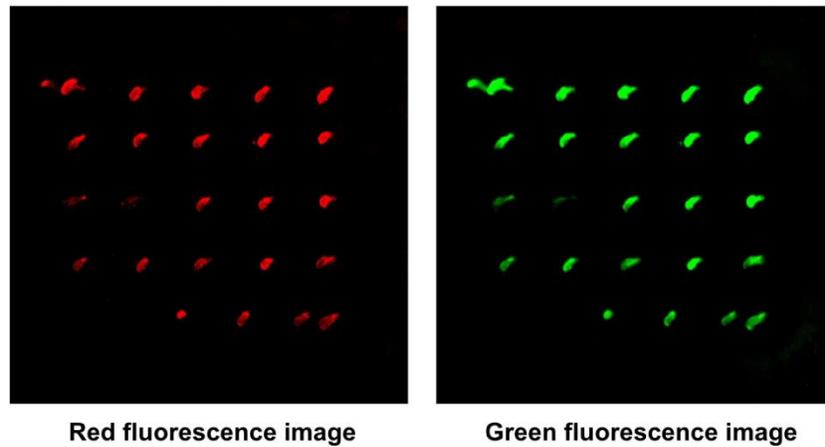


圖十七、(左)以包含藥物(綠色螢光 polystyrene 奈米球)的牛血清膠體半圓體製作成「TISF」文字圖案的紅光螢光影像、(右)綠光螢光影像

圖十八為使用製程(二)製作出包含藥物(綠色螢光素, fluorescein)的蛋白質膠體,並以 5 X 5 陣列(間距為 30 μm)。左圖為顯示樣品的穿透光影像,右圖為顯示樣品的螢光影像。圖十九左圖為相同樣品的紅色螢光圖,右圖為綠色螢光影像。從穿透光影像我們可以看出樣品 5 X 5 陣列製作成功,而紅色螢光影像為殘存的甲基藍,而綠色螢光為藥物(綠色螢光素, fluorescein)造成。上面結果驗證我們成功製作出包含綠色螢光素的蛋白質膠體。上面結果顯示這兩種製成皆可成功製作出包含藥物的蛋白質膠體。



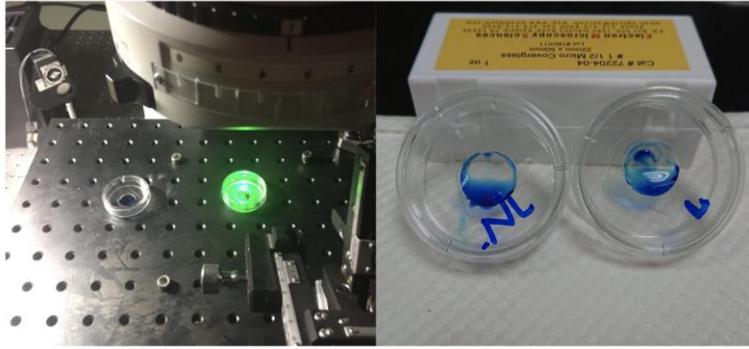
圖十八、(左) 以包含藥物 (綠色螢光素, fluorescein) 的蛋白質膠體製作成 5 X 5 陣列 (間距為 30 μm) 的穿透光影像、(右) 重疊的紅色及綠色螢光影像



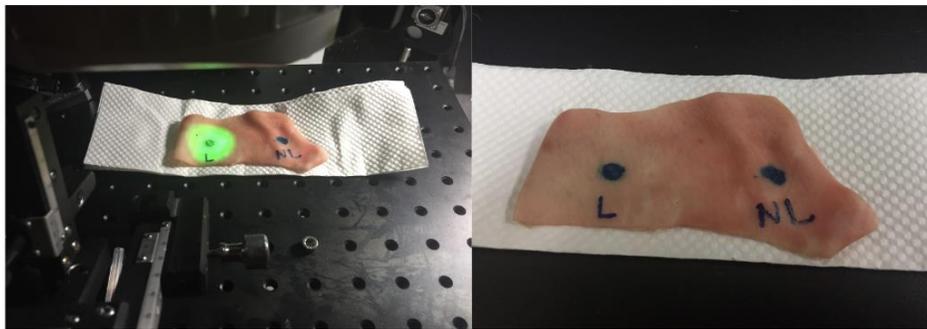
圖十九、(左) 以包含藥物 (綠色螢光素, fluorescein) 的蛋白質膠體製作成 5 X 5 陣列 (間距為 30 μm) 的穿透光影像、(右) 綠色螢光影像

(五) 製作蛋白質膠體液體繃帶實驗結果之探討

本節討論我們製作的蛋白質膠體在皮膚的黏著性以及滲透性，以及轉移的製程。首先為了觀察此種膠體與皮膚的接觸情形，我們從市場取得一片豬皮來模擬人的皮膚，考慮到因為雷射的功率較高可能會傷害皮膚，我們使用綠色 LED 光源來製造蛋白質膠體。我們將調配好重水溶液放在培養皿中，再以 LED 光源照射重水溶液，如圖二十所示。左圖為使用 LED 光源照射重水溶液的照片，右圖為實驗完成的照片。NL 表示未經 LED 光源照射的溶液，L 表示經 LED 光源照射的溶液。我們觀察到使用 LED 光源照射過後的溶液也會因為光交聯作用而形成膠體黏著在培養皿上。接著我們將重水溶液滴在在豬皮上面，再以 LED 光源照射，如圖二十一所示。實驗結果顯示經 LED 光源照射，牛血清蛋白膠體可黏著並滲透到豬皮，表示我們使用的此種膠體具有良好的黏著性以及滲透性，適合用於製作液體繃帶。最後我們進行將牛血清蛋白膠體半圓體轉移到皮膚的實驗，為了驗證製作此種液體繃帶之可行性。我們先將豬皮切成一塊約 10 cm X 3 cm 大小，然後以 LED 光源將一個半圓形蛋白質膠體 3 X 3 陣列製造在塑膠基板上。接著將塑膠基板上的蛋白質膠體陣列轉移豬皮上，觀察其轉移情形以及與皮膚的黏著性。實驗結果如圖二十二所示，圖左為將 3 X 3 蛋白質膠體陣列製作製造在經砂紙處理的塑膠基板上的結果，圖中顯示成功將蛋白質膠體陣列轉移到豬皮上的結果，而且樣品也具有良好的黏著性。在實驗過程中我們發現，若將半圓體陣列製造在未經沙紙處理的塑膠基板上，則轉移半圓體陣列到豬皮時容易失敗，如圖右所示。但如果先將塑膠基板以砂紙表面摩擦使其變得粗糙，轉移時則不容易失敗且可大幅提高轉移成功率，因此之後若要製作液體繃帶，應製作在粗糙表面上而非光滑表面，如此才能有效地將液體繃帶轉移到皮膚上。



圖二十、(左)以 LED 光源照射牛血清蛋白重水溶液、(右)比較以 LED 光源照射前溶液(NL)與 LED 光源照射後(L)的溶液



Illuminating

Results

圖二十一、(左)以綠色 LED 光源照射滴上混合牛血清蛋白及甲基藍的重水溶液的豬皮、(右)比較照射後溶液(L)與照射前的溶液(NL)



圖二十二、(左)將 3 X 3 蛋白質膠體陣列製作製造在經砂紙處理的塑膠基板上的結果、(中)成功將蛋白質膠體陣列轉移到豬皮上的結果、(右)將蛋白質膠體轉移到豬皮上陣列失敗的情況

四、結論與應用

(一) 在本實驗中，我們成功地結合蛋白的光交聯性質以及雷射光學系統製作出微米半圓形牛血清蛋白膠體，並製作成不同文字圖案及不同大小陣列圖形。

(二) 根據實驗結果，在製作蛋白質膠體微米半圓體時，應使用重水為溶劑來配置溶液，當雷射對焦距離為玻璃表面上方 $4\ \mu\text{m}$ ，照射時間 $45\ \text{sec}$ 時，穿透光影像顯示樣品呈現最完整的形貌，螢光影像顯示樣品呈現最強的螢光反應。因此我們得出最佳雷射對焦距離為玻璃表面上方 $4\ \mu\text{m}$ ，最佳雷射照射時間為 $45\ \text{sec}$ 。

(三) 我們將製作完成的蛋白質膠體微米半圓體文字圖案及陣列圖案放置在顯微鏡下，分別得到穿透光影像及螢光影像，穿透光影像顯示輸入程式的文字及陣列圖案可成功以微米半圓形蛋白質膠體排列而成，驗證此系統的可行性，螢光影像顯示樣品呈現殘留的甲基藍螢光反應，亦表示樣品製作成功且具有良好的一致性 (uniformity)。

(四) 為了驗證膠體微米半圓體可包容藥物，我們使用兩種不同的製程條件來製作包容藥物的蛋白質膠體，一種是先調配出包含綠色螢光 polystyrene 奈米球的重水溶液，再以雷射照射製作出包含藥物的蛋白質膠體。另一種是先製作出蛋白質膠體，再將綠色螢光素溶液浸潤蛋白質膠體後洗淨。並分別以這兩種製程製作成文字圖案及陣列圖案，穿透光影像顯示樣品形貌完整，而螢光影像顯示蛋白質膠體及藥物分別呈現紅色及綠色螢光，表示我們可成功製作出包容藥物的蛋白質膠體。

(五) 在轉移蛋白質膠體陣列到豬皮時，若使用一般光滑的塑膠基板製造則轉移效果不佳，但如果先將塑膠基板先以砂紙表面摩擦使其變得粗糙，則可大幅提高轉移成功率。因此之後若要製作液體繃帶，應製作在粗糙表面上而非光滑表面。

(六) 總結以上，我們以包容藥物的蛋白質膠體製作出可包容藥物的液體繃帶並可成功的轉移到豬皮上。實驗結果顯示，此種液體繃帶對皮膚具有良好的黏著性及滲透性，本研究可作為未來製作大面積液體繃帶之參考。

五、參考文獻

1. Eaglstein, William H., et al. "A Liquid Adhesive Bandage for the Treatment of Minor Cuts and Abrasions." Wiley Online Library, John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 24 Sept. 2008, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1524-4725.2002.01207.x/abstract>.
2. panelAnnaSułkowska, Author links open overlay, et al. "Interaction of Drugs with Bovine and Human Serum Albumin." Journal of Molecular Structure, Elsevier, 13 June 2002, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022286002002569>
3. panelAnnaSułkowska, Author links open overlay, et al. "Interaction of Drugs with Bovine and Human Serum Albumin." Journal of Molecular Structure, Elsevier, 13 June 2002, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022286002002569>
4. Bulina, Maria E, et al. "A Genetically Encoded Photosensitizer." Nature News, Nature Publishing Group, 20 Dec. 2005, <https://www.nature.com/articles/nbt1175>

5. Spach. "Conventional and Confocal Fluorescence Microscopy of Collagen Fibers in the Heart. - P C Dolber, M S Spach, 1993." SAGE Journals, <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/41.3.7679127>
6. "Crystalline Syndiotactic Polystyrene." Macromolecules, <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/ma00163a027>.
7. A. YannuzziMDab, Lawrence, et al. "Fluorescein Angiography Complication Survey." Ophthalmology, Elsevier, 31 Oct. 2013, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161642086336972>

【評語】 100031

本作品進行以牛血清蛋白為主要材料，透過光交聯性質與開發可包容藥物的蛋白質膠體、同時兼具可客製化且可黏著在皮膚上的液體繃帶的新方法。學理基礎闡述明確且極具創新概念，後續可探討不同種藥物置入後之釋放速率。