

以靜電紡絲法製造 TPU 透濕防水膜之研究

The TPU Waterproof and Moisture Permeable Membrane by the electrospinning technique

顏嘉良, 潘毅鈞, 邢文灝

J. L. Yan, Y. J. Pan*, W. H. Hsing

中國文化大學紡織工程學系, 亞東技術學院材料與纖維系
Department of Textile Engineering Chinese Culture University

*Department of Material and Fiber, Oriental Institute of Technology
Y. J. Pan : fc003@mail.oit.edu.tw

摘要

本實驗利用靜電紡絲法以熱塑性聚氨基甲酸酯溶解於丁酮改變固成分(12.5、14、17、20%)、流量(1、2mL/hr)、電壓(15kV、20kV)和距離 15cm 下的可紡性進行研究, 研究結果得知:熱塑性聚氨基甲酸酯固成分為 17%、電壓為 15kV、流量為 1mL/hr 和收集距離 15cm 時得到的纖維形貌較佳, 纖維直徑粗細較平均。再以此參數加入不同添加量的鋅離子(0.1、0.3、0.5、0.7、1、2g)和乙二胺四乙酸 0.5g, 進行抑菌圈測試比較, 研究結果得知添加鋅離子 0.5g 和乙二胺四乙酸 0.5g, 符合成本也有抑菌效果。最後將熱塑性聚氨基甲酸酯以不同塗佈刀狹縫高度(50、100、150 μ m)濕式塗佈在靜電紡絲上, 進行耐水壓和透濕度測試, 研究結果得知塗佈厚度 50 μ m 有耐水壓 350mm · H₂O 和較好的透濕度。

關鍵詞: 靜電紡絲、熱塑性聚氨基甲酸酯、鋅離子、抑菌、透濕防水

Abstract

used an electrostatic spinning process with Thermal-Polyurethane in different proportions with a solvent (MEK)(solid content 12.5, 14, 17, 20%), the type of flow(1、2mL/hr),the type of voltage (15kV, 20kV),and the type collection distance 15cm under the spinnability of the study, the study results the Thermal-Polyurethane with a solvent ratio of 17%, the voltage of 15kV, the type of flow 1mL/hr, collection distance of 15cm and fiber morphology is preferred, and a fiber diameter is more average. Adding different amount of Zinc ion(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2g) and EDTA 0.5g, the test conducted of inhibition zone, the study results adding Zinc ion 0.5g and EDTA 0.5g, conform to the cost effect of bacteriostatic. The last, TPU with different thickness (50, 100, 150 μ m) Microporous coating on electrospinning technique, testing of water resistance and water vapor transmission, the study results coating 50 μ m have better water resistance and water vapor transmission.

Keywords: electro-spinning, thermal-polyurethane, Zinc ion, bacteriostatic, waterproof and moisture permeable

1. 前言

本實驗以靜電紡絲、抑菌、透濕防水為研究主軸，產品可應用於醫療隔離，將抑菌劑加入紡絲液進行靜電紡絲，再將 TPU 樹脂以濕式塗佈法，塗在靜電紡絲上，讓產品達到具有抑菌效果、又有透濕防水的效果[1]。

靜電紡絲又被稱為電紡絲，是目前製作高分子奈米纖維的最主要技術之一，纖維細度可由次微米至數十奈米等級，雖然其工業化技術專利雖然早已在 1934 年即被提出，但是也是一直到二十世紀末隨著奈米纖維的研發才開始被人所重視。由於靜電紡絲所做出來的織物一般為膜狀的不織布型態，相較於一般的高分子薄膜，靜電紡絲膜擁有更高的比表面積，奈米尺寸的纖維，可以藉由改變其細度與結構而使其在宏觀上的特性改變，而因此在應用上的潛力相當高[2]。

靜電紡絲為人所重視，主要是因為有著以下的幾種優點，包括操作簡單、纖維外觀均勻、成本低廉、通用性高和製程與設備的簡易性等優點，只需要針頭連接高壓電，利用高壓電場的靜電力作用就可以在收集板得到高分子纖維，且在一般室溫環境下即可進行[3,4]。

本實驗選用熱塑性聚氨基甲酸酯(TPU)做溶質，因 TPU 本身彈性好、機械強度優良、耐磨耗性、耐油性極佳、低溫特性優秀。

透濕防水(Waterproof and Moisture Permeable)可將人體所產生之水氣(汗)排出塗層外部，同時還可以防止外部的水分進入，因而經常應用於紡織相關產品(如：TNF、ADIDAS 等廠商)，而衣著用途為目前最大宗。目前透濕防水織物在物性上已具有一定程度，期望可藉由其他加工方式擁有更佳的透濕度與耐水壓值[5]。

目前賦予織物透濕防水性能，可以分成(1)使用高密度織物(2)後整理加工兩大類。高密度織物為利用緊密的織紋組織使其具有一定防撥水性能，但因為組織再緊密經紗與緯紗之間間隙，還是要比水蒸氣的平均孔徑要來的大，因此水蒸氣可輕易的通過，這也使得高密度織物又具有透濕性。而在後整理加工中，又可以在分成塗佈加工和貼合加工。貼合處理加工的織物在透濕度以及耐水壓的性能上會比塗佈處

理加工的織物來的較佳，相對的，再耗費成本上也較塗佈加工要來的高出許多，本實驗以塗佈加工處理，在製程上做出改變，期望提高塗佈加工處理的織物性能。塗佈加工依照其成膜方式又可以在細分成乾式塗佈與濕式塗佈兩種。乾式塗佈因其成膜方式是利用溶劑揮發使薄膜固化成型，因此過程中部分溶劑將逸散在空氣中，使環境造成污染[6]。因近來強調永續發展之環保概念，故此加工方式已漸漸式微。濕式塗佈成膜方式是利用水與塗層中的親水型溶劑交換，使薄膜固化成型，溶劑可回收達 99% 以上，對環境與生態上較為友善，故本實驗選用後處理加工的濕式塗佈[7]。

2. 理論

2-1 靜電紡絲理論

是利用高電壓使高分子溶液或熔體帶有電荷，且將噴出來的的奈米纖維乾燥固化，並將其中一個電極連接紡絲液或熔體，另一個電極則連接到收集器。而電場則容易產生於毛細管端靠表面張力支撐的高分子流體上，包括液體表面的電荷，使相同電荷產生排斥力相反於表面張力，當電場強度逐漸增強後，在毛細管尖端的半球形流體表面便會延伸，而形成圓錐狀，稱之為泰勒圓錐形。此時再增強電場強度，當達到臨界值且靜電排斥力超過流體表面張力時，泰勒圓錐狀尖端的帶電荷流體就會產生噴射現象，高分子溶液的噴射是屬於鞭動性的，須使溶劑蒸發固化，才能在收集器上留下隨意排列的帶電荷高分子奈米纖維。

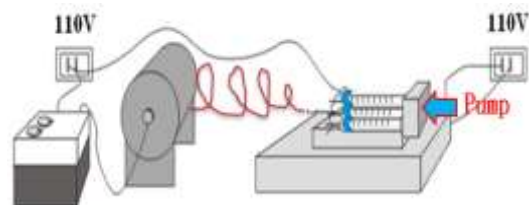


圖 1 靜電紡絲示意圖

2-2 透濕防水理論

可分成透濕原理和防水原理，以微多孔型薄膜為例，如圖 2 所示。第一部分為防水原理，一般來說，最外層布料會進行撥水加工，使外層布料具有一定的防撥水性，來阻擋雨水輕易的穿越或濕潤外層布

料進入到裡層。可是當雨勢變大時，布料會承受較大的壓力，使得部份的水會滲透進入到內部。內部的薄膜具有許多微小的孔洞，而這些孔洞的平均直徑(0.2~20 μm)遠小於最小的雨水的平均直徑(100 μm)，因此水不能輕易的穿越塗層濕潤裡層布料，而達到防水的效果。第二部份為透濕原理，我們人體所產生的汗氣或稱水蒸氣其平均直徑為0.004 μm ，因為內外兩側的溫度及氣壓差使得水蒸氣會經由塗層內相連接的通道來通過塗層離開外層布料，達到透濕的目的。

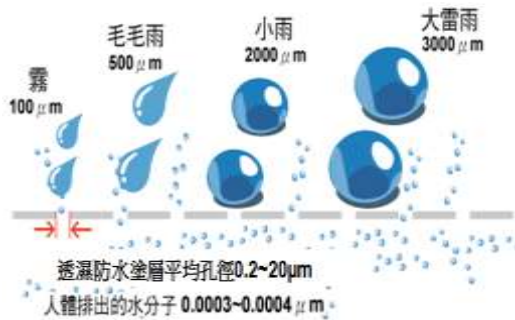


圖 2 透濕防水原理

2-3 鋅離子殺菌機制理論

細菌通常帶負電荷，帶正電的鋅離子到達細胞膜時，通過庫侖引力，二者牢固結合， Zn^{2+} 穿透細胞膜，進入細胞，與細胞中的巖基反應，使蛋白質變性，從而細胞喪失分裂增殖能而死亡[8]。

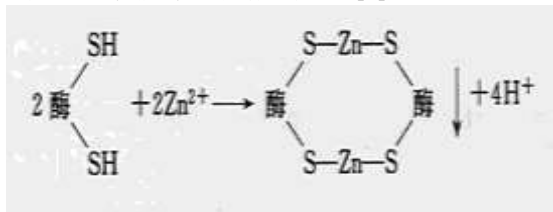


圖 3 鋅離子殺菌機制

3. 實驗

3-1 實驗儀器

- (1) 靜電紡絲機：江南大學製
- (2) 不鏽鋼針頭（18 號不鏽鋼針，內徑 0.96mm，外徑 1.26mm，管厚 0.15mm）
- (3) 熱風循環式烘箱：ST-6413，Cherng Huei
- (4) 掃描式電子顯微鏡：SEM，JSM-6335F，JEOL
- (5) 耐水壓測試儀：3220，天祥科學儀器有限公司

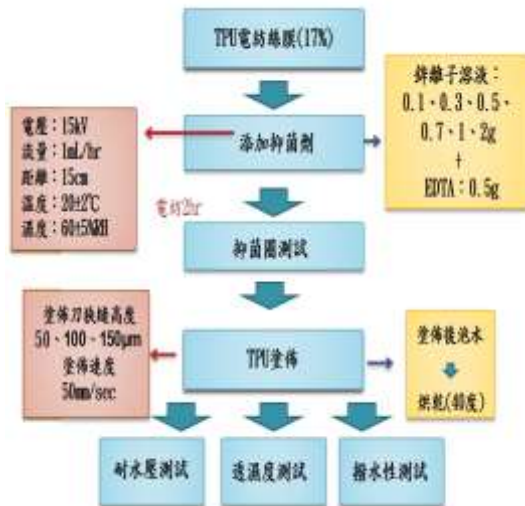
- (6) 恆溫恆濕箱：MHK-120，TERCHY
- (7) 轉子式黏度計：DV-II +Pro，Brookfield
- (8) 可調速自動塗佈機：Automatic Film Applicator-1137，Sheen
- (9) 刀頭塗佈器：刀頭角度為 45°，Elcometer3570，Elcometer

3-2 實驗材料

- (1) 熱塑性聚氨基甲酸酯 (Thermoplastic Polyurethane)TPU
分子量：33000~36000
(茂永塑膠電子有限公司)
- (2) 丁酮(Methyl Ethyl Ketone)MEK
純度 98%、試藥級
(日本化學工業株式會社)
- (3) 二甲基乙醯胺(Dimethylacetamide)
DMAc— $\text{CH}_3\text{CON}(\text{CH}_3)_2$
分子量：87.12
(培基化工實業有限公司)
- (4) 鋅離子溶液(Sanitized TH2227) 聯盟染料化學有限公司
- (5) 乙二胺四乙酸
(Ethylenediaminetetraacetates)EDTA-純度 98%
- (6) TPU 樹脂—固成分 30%，黏度 $10000 \pm 200 \text{cP}$
- (7) 無水氯化鈣(Calcium chloride) CaCl_2 —
分子量：110.99
(培基化工實業有限公司)
- (8) 尼龍布：15D、270x240 根/in

3-3 實驗流程





3-4 實驗方法

3-4-1 紡絲液的配製

- (1) TPU/MEK 紡絲液的製備：取 15 ± 0.2 g 的 TPU 溶解在 60 、 75 、 90 、 105 ± 0.2 g MEK 中，利用三口瓶攪拌均勻，轉速 60 r/min，得到 12.5 、 14 、 17 、 20% 的 TPU/MEK 紡絲液。
- (2) Zn+TPU/MEK 紡絲液的配製：分別加入 0.1 、 0.3 、 0.5 、 0.7 、 1 、 2 g 鋅離子和 0.5 g EDTA，溶解於固成份 17% 的 TPU/MEK 紡絲液中，利用三口瓶攪拌均勻，轉速 60 r/min，得到 17% Zn+TPU/MEK。

3-4-2 複合奈米纖維的製備

- (1) TPU/MEK 複合奈米纖維：將 12.5 、 14 、 17 、 20% TPU/MEK 紡絲液加入到針頭的注射器內，放置到靜電紡絲機器平臺與高壓電源供應器，正極相接，利用鋁箔滾筒轉動接收 TPU/MEK 複合奈米纖維膜。紡絲電壓為 15 、 20 kV，接收距離為 15 cm，溶液的流量速度為 1 、 2 mL/hr，電紡時間 45 min。
- (2) Zn+TPU/MEK 複合奈米纖維：將 17% Zn+TPU/MEK 紡絲液進行電紡，紡絲電壓為 15 kV，接收距離為 15 cm，溶液的流量速度為 1 mL/hr，電紡時間 2 hr，滾筒速度 40 rpm。

3-4-3 TPU 透濕防水膜的製作

取 30 ± 0.2 g 的 TPU 和各 50 ± 0.2 g 的 MEK、DMAc，

利用三口瓶攪拌均勻，製程 TPU 樹脂，利用塗佈刀將樹脂塗佈在樣本上，塗佈刀狹縫高度為 50 、 100 、 $150\mu\text{m}$ ，塗佈速度 50 mm/SEC，浸製水槽 10 分鐘，壓吸一次，放置烘箱進行乾燥 40°C 、 1 hr，得到 TPU 透濕防水布膜。

4. 結果與討論

4-1 紡絲條件的探討

4-1-1 不同配比 TPU/MEK 紡絲液之黏度

圖 4 為 TPU/MEK 配比，固成份 12.5% 時黏度值 125.7 cP、固成份 14% 時黏度值 184.5 cP、固成份 17% 時黏度值 450.2 cP、固成份 20% 時黏度值高達 1247.9 cP，隨著 TPU 固含量越高，溶液的黏度值也越高。由曲線可推測固成份 20% 黏度 1247.9 cP 高於其它 3 種黏度許多，可能導致後續電紡絲直徑會較其它 3 種更粗。

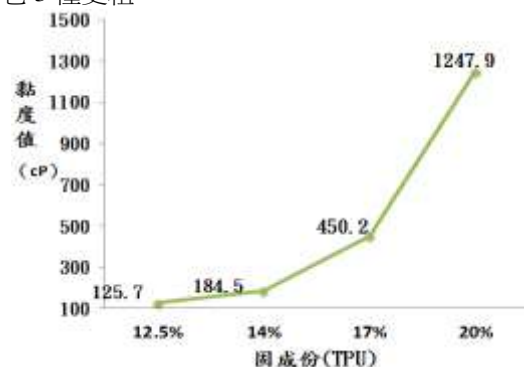


圖 4 不同配比 TPU 紡絲液之黏度曲線(MEK)

4-1-2 不同配比 TPU/MEK 紡絲液之導電率

圖 5 為 TPU/MEK 配比，固成份 12.5% 時導電率為 $2.0\mu\text{S/cm}$ 、固成份 14% 時導電率 $1.5\mu\text{S/cm}$ 、固成份 17% 時導電率為 1.2 、固成份 20% 時導電率為 $0.6\mu\text{S/cm}$ ，隨著 TPU 含量越高，MEK 的溶劑量比越少，溶液導電率越低，但 4 種不同固成份導電率相同偏低。

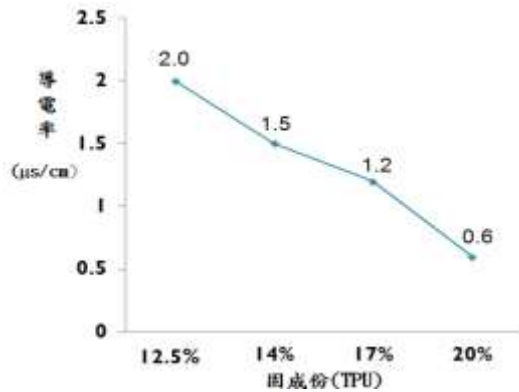


圖 5 不同配比 TPU 紡絲液之導電率曲線(MEK)

4-2 不同配比之纖維外觀分析 (SEM)

由圖 6 中得知在固成份 20% 時，由於黏度過高，拉伸力無法破壞表面張力，成絲性不佳，所以沒有測量纖維粗細。從圖 6 到圖 13 得知，纖維粗細會隨著固成份的上升，纖維絲徑越粗且均勻性較差，反觀固成份下降，纖維絲徑越細且均勻性較好，但固成份 14% 時，明顯有液珠的產生、固成份 12.5% 時，液珠的情形較 14% 時更嚴重，這是因為由於黏度過低，高分子鏈的糾纏性下降，而難以形成連續纖維狀，且溶劑揮發不完全，容易形成液滴狀。

在固定電壓(15、20kV)下，流量從 1mL/hr 提升至 2mL/hr，從圖中看不出明顯的變化，但測量布重發現流速 2mL/hr 的樣品布重均大於流速 1mL/hr，因此，隨著溶液流量上升，纖維產量越多。

從圖 6 到圖 13 可以觀察出，在固成份 17% 時，纖維粗細較平均且沒有液珠情形，又在電壓 15kV 流速 1mL/hr，纖維粗細 0.99μm、CV% 為 30%，相較其它條件更細、穩定性更高，故選用固成份 17% 電壓 15kV 流速 1mL/hr 為後續實驗所使用之溶劑比例。

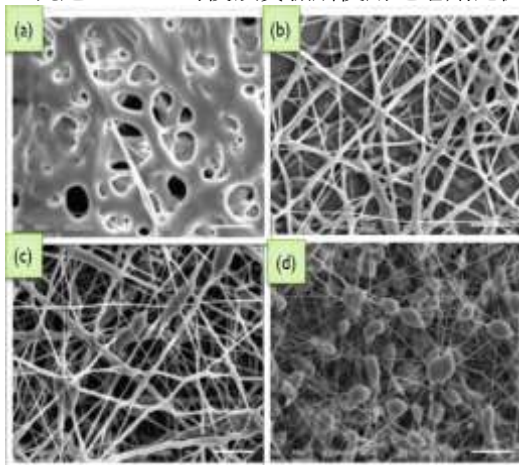


圖 6 TPU 靜電紡絲外觀固成份 (a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡 45min 電壓 15kV 流速 1mL/hr

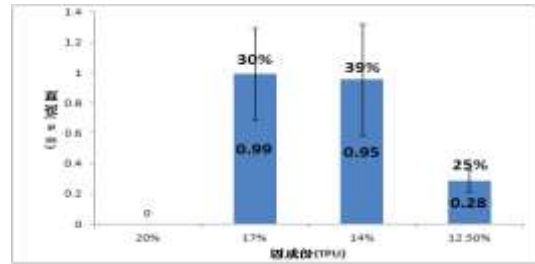


圖 7 TPU 靜電紡絲各比例直徑圖與 CV% (a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡 45min 電壓 15kV 流速 1mL/hr

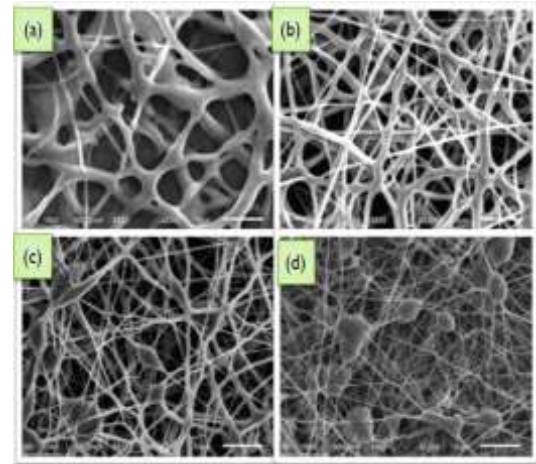


圖 8 TPU 靜電紡絲外觀固成份 (a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡 45min 電壓 15kV 流速 2mL/hr

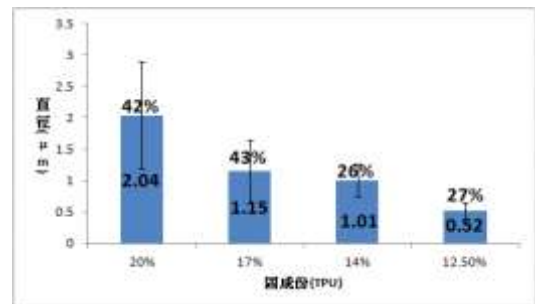


圖 9 TPU 靜電紡絲各比例直徑圖與 CV% (a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡 45min 電壓 15kV 流速 2mL/hr

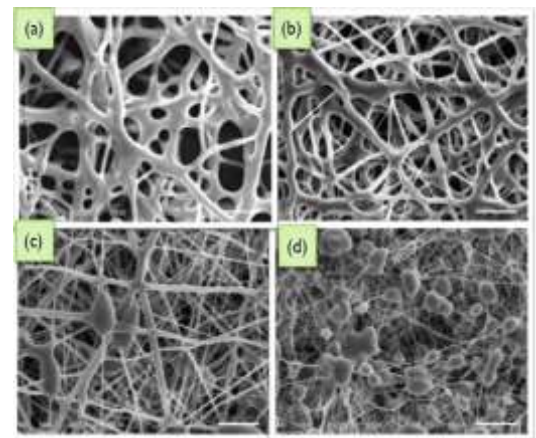


圖 10 TPU 靜電紡絲外觀固成份 (a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡 45min 電壓 20kV 流速 1mL/hr

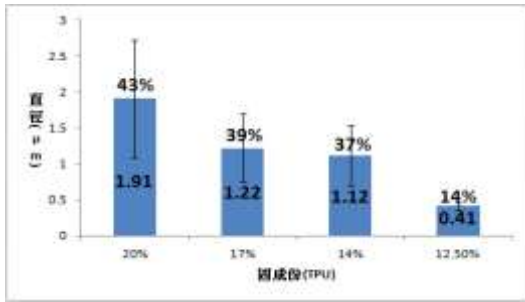


圖11 TPU靜電紡絲各比例直徑圖與CV% (a)20% (b)17% (c)14%(d)12.5% 電紡45min 電壓20kV 流速1mL/hr

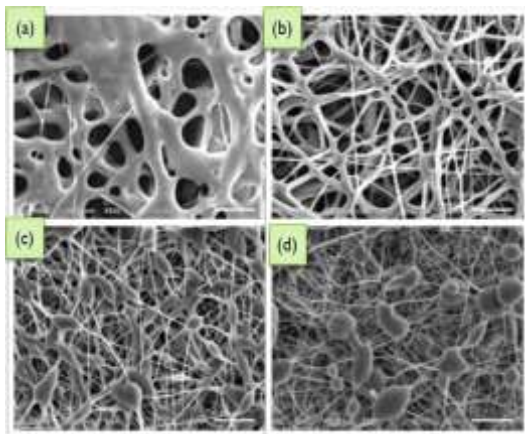


圖12 TPU靜電紡絲外觀固成份(a)20% (b)17% (c)14% (d)12.5% 電紡45min 電壓20kV 流速2mL/hr

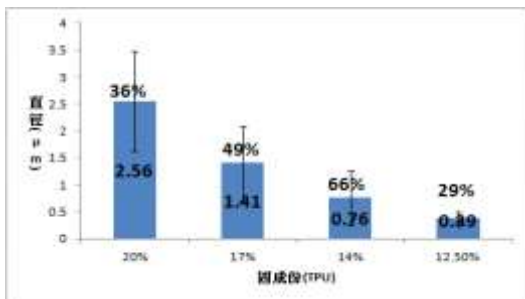


圖13 TPU靜電紡絲各比例直徑圖與CV% (a)20% (b)17% (c)14%(d)12.5% 電紡45min 電壓20kV 流速2mL/hr

4-3 添加不同比例鋅離子之抑菌圈比較

本實驗使用標準是 AATCC 147 織物材料抗菌活性測定：平行條紋法，採用金黃色葡萄球菌，以及肺炎桿菌來做抗菌測試，判別方式為最短距離為抑菌效果，圖 10、11 是添加不同比例鋅離子和相同比例之 EDTA，相同溶劑之電紡薄膜，量取樣品及金黃色葡萄球菌和肺炎桿菌之最短距離比較。

從圖 14 可得之，除了圖(a)較沒有明顯抑菌圈外，圖(b)到(f)皆有明顯的抑菌圈，從圖(a)到圖(f)可以觀察到一個趨勢，隨著添加鋅離子量的上升，抑菌

圈越大，由此可看出鋅離子溶液的抑菌效果是相當好的。

由於本實驗主要為有抑菌效果即可，再加上成本考量，本次實驗將選用添加 0.5g 鋅離子+EDTA 之比例為後續實驗所使用之溶劑比例，既有抑菌效果又符合成本考量。

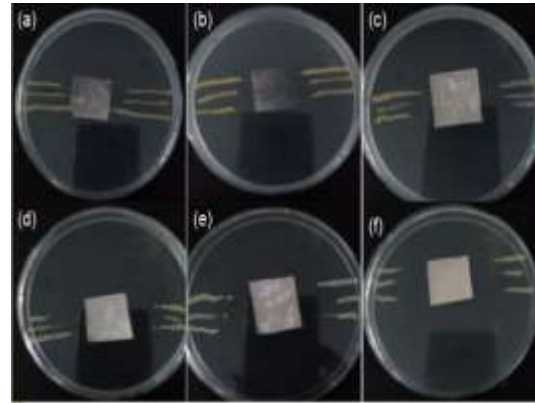


圖14 電紡2hr於不織布(a)0.1g (b)0.3g (c)0.5g (d)0.7g (e)1g(f)2g 鋅離子+0.5gEDTA 使用金黃色葡萄球菌(ATCC 6538) 之抑菌圈比較

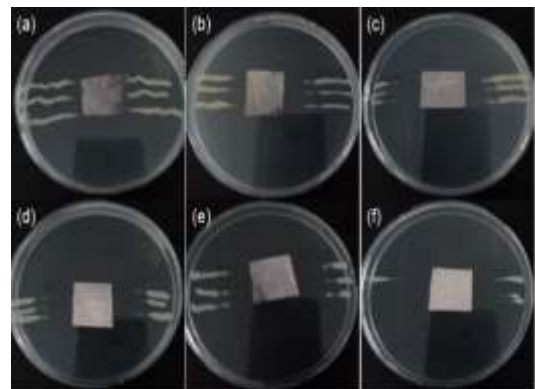


圖15 電紡2hr於不織布加入(a)0.1g (b)0.3g (c)0.5g (d)0.7g (e)1g (f)2g 鋅離子+0.5gEDTA 使用肺炎桿菌(ATCC 4352) 之抑菌圈比較

4-4 添加鋅離子後複合奈米纖維外觀分析(SEM)

從圖 16 可以明顯觀察到添加鋅離子和 EDTA 後，纖維外觀較未添加鋅離子和 EDTA 時，纖維更細、均勻性更好，這是因為添加鋅離子和 EDTA 後，使得紡絲液的導電度提高，導電度高則靜電荷密度高，因此受到電場作用力會增大，減少液珠情形並使纖維絲徑縮小。

從圖 17 得知，添加抑菌劑後的纖維絲徑有隨著添加抑菌量越多、纖維越細，但增加到 1g 和 2g 時，明顯的看到液珠的產生。未添加抑菌劑的電紡絲膜，纖維絲徑為 0.99μm，添加 0.5g 鋅離子+0.5g EDTA 的電紡絲膜纖維絲徑為 0.96μm，並無太大變化。

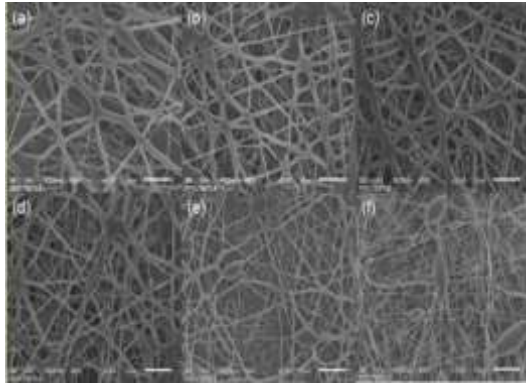


圖16 電紡2hr加入(a)0.1g (b)0.3g (c)0.5g (d)0.7g (e)1g (f)2g 鋅離子+0.5EDTA 電壓15KV 紡速1ml/hr 距離15cm

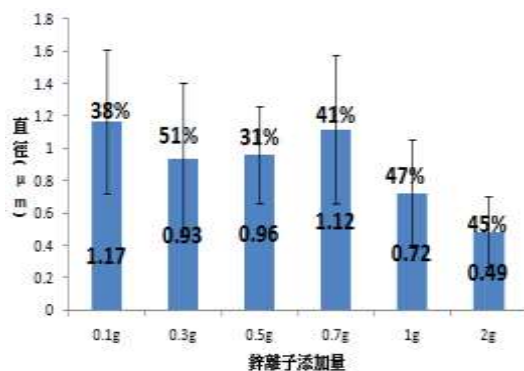


圖17 電紡2hr加入(a)0.1g (b)0.3g (c)0.5g (d)0.7g (e)1g (f)2g 鋅離子+0.5EDTA 電壓15KV 紡速1ml/hr 距離15cm各比例直徑圖與CV%

4-5 不同狹縫高度之耐水壓和透濕度分析

本實驗耐水壓測試是依 JIS L 1092(B)法進行，將水壓機測試水槽注滿蒸餾水，將布樣放入測試水槽內，布面與水接觸 PU 面朝上，注意布樣和測試水槽間無空氣存在，雙手按下夾頭下降按鈕，水壓上以每分鐘 1kgf/cm² 或 10000mm-H₂O 之速度上升，開始測試後，當 PU 面上出現三顆水滴時，馬上按下停止按鈕，讀取數據，測試完成後將機台歸零，待機台畫面出現歸零之後再開始測試，以上步驟重複測試三次，取其平均值。

透濕度測試是依 JIS L 1099-A1 方法進行測試，先將透濕杯溫熱至 40°C，然後將透濕杯內放入約 33 克吸濕劑(無水氯化鈣)至離該杯上端約 3mm 位置，使試片布表面向著吸濕劑(即非塗佈面向吸濕劑)，並與透濕杯呈同心圓固定於其上，再依序裝上墊片和環圈，並以翼形螺帽固定之，將此透濕杯置入具溫度 40±2°C、濕度 90±5%RH 循環空氣之恆溫恆濕裝置中，然後於 1 小時後取出透濕杯，並稱其質量 a1(g)，取

到小數點底下二位，再將透濕杯置入恆溫恆濕裝置中，經 1 小時後取出，並稱其質量 a2(g)，取到小數點底下二位，以每 24 小時單位米平方之面積所透過之水蒸氣量來評估透濕度 g/m²/24hr)，透濕度(以三次平均值表示之)=(a2- a1)× 8488.2738。

從表 1 可以明顯的觀察出，在狹縫高度 50μm 時，孔徑為 3.27μm、膜厚為 14.97μm，隨著狹縫高度增加，膜厚越厚，但可以明顯的看到，3 種都有滲膠的情形，電紡後塗佈狹縫高度 50μm 重量約增加 0.55g、狹縫高度 100μm 約增加 0.8g、狹縫高度 150μm 約增加 1.3g。

表 1、2 為布樣經電紡與 TPU 塗佈之不同狹縫高度耐水壓和透濕度值，由圖中分析原布樣雖然只有 25 mm · H₂O 但透濕度有 11000 以上。經電紡後再塗佈，在狹縫高度 50μm、100μm、150μm，耐水壓分別為 350、400、450 mm · H₂O 左右，透濕度分別為 5263、2971、1783 g/m² · 24hr 左右，可觀察到隨著塗佈刀狹縫高度增加，耐水壓相對提高，且隨著一定比例上升，但透濕度相對減少。

從圖中可以得知，經電紡再塗佈狹縫高度 50μm 的耐水壓為 350mm · H₂O 與直接塗佈 50μm 的耐水壓為 250mm · H₂O 比較，ΔP 為 40%，說明有經過電紡後的透濕防水膜的耐水壓比未經電紡透濕防水膜，耐水壓有大幅度的提升。

從圖中可以得知，經電紡再塗佈狹縫高度 50μm 的透濕度為 5263mm · H₂O 與直接塗佈 50μm 的透濕度為 5092mm · H₂O 比較，ΔM 為 3.33%，說明有經過電紡後的透濕防水膜的耐水壓比未經電紡透濕防水膜，透濕度無明顯變化。

表1 布樣經電紡與TPU塗佈之不同塗膜厚度耐水壓值

	狹縫高度50μm	狹縫高度100μm	狹縫高度150μm
表面分析	孔徑3.27μm	孔徑0.94μm	孔徑1.03μm
截面分析	膜厚14.97μm	膜厚19.54μm	膜厚37.61μm

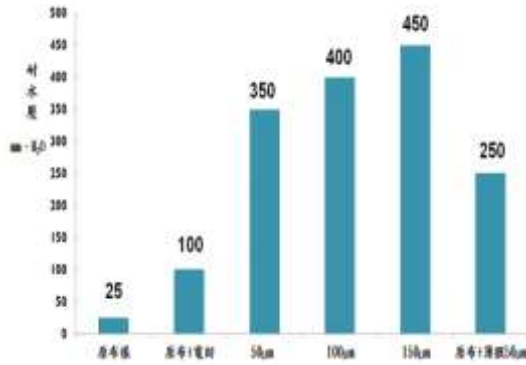


圖18布樣經電紡與TPU塗佈之不同不同狹縫高度耐水壓值



圖19 布樣經電紡與TPU塗佈之狹縫高度不同之透濕度

4-6 不同狹縫高度之撥水性分析

本實驗依規範 CNS10461 進行，以環形夾固定試樣使織物表面平整，再以定量的蒸餾水噴灑其上。置於 45°的支架上，且試樣中心點位於噴嘴正下方規定距離處，將試樣與標準評級的描述性和照片比對以評定等級。

由圖 20 中可得知，原布樣沒有任何的撥水性，經電紡 2 小時後，撥水性為 2 級，塗佈狹縫高度 50、100、150µm 時，撥水性均為 3 級，從而得知，隨著塗佈狹縫高度的增加，撥水性並無明顯的上升或下降，均在撥水性 3 級。

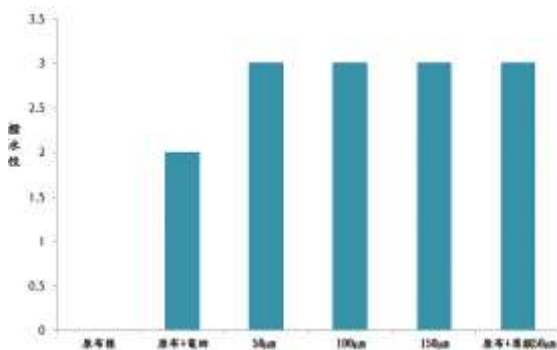


圖20 布樣經電紡與TPU塗佈之狹縫高度不同之撥水性

5. 結論

- (1) 纖維直徑變異分析中得到，在 TPU 固成份為 17%、電壓 15kV、流量 1mL/hr 時，所得纖維直徑為 0.99 µm、變異係數 30%，相較於其它條件，直徑更細、變異係數更低，纖維間孔徑也比較小。
- (2) TPU 固成份 17% 再添加 0.5g 鋅離子與 0.5gEDTA，纖維直徑為 0.96 µm、變異係數為 31%，相較於未添加前直徑下降 0.03 µm。
- (3) 在抑菌圈分析中得到，所有添加量都具有抑菌效果，以成本考量，本實驗選用添加 0.5g 鋅離子+0.5gEDTA 為較佳組合。
- (4) 電紡後塗佈狹縫高度 50 µm 耐水壓為 350mm·H₂O，直接塗佈狹縫高度 50 µm 耐水壓為 250mm·H₂O，ΔP 為 40%，說明電紡後塗佈有增強耐水壓之效果。
- (5) 電紡後塗佈狹縫高度 50 µm 透濕度為 5262.8g/m²·24hr，直接塗佈狹縫高度 50 µm 透濕度為 5092.9g/m²·24hr，ΔM 為 3.33%，說明電紡後塗佈對透濕度並無太大影響。
- (6) 從 SEM 觀察圖中得知，在狹縫高度 50µm 的表面孔徑為 3.27µm、截面膜厚為 8.87µm，此條件的孔徑最大、透濕度最佳、耐水壓為 350mm·H₂O、撥水性 3 級，適合應用在輕防水醫療用品。

謝誌

本實驗研究期間感謝亞東技術學院的陳建昇先生、倪浩鑫先生、蔡茗光先生，與文化大學許雅惠小組和同組成員的幫忙，使本實驗研究順利進行，在此致上最真誠的感謝。

參考文獻

- 1 蔡東樺、王權泉，添加奈米銀纖維對靜電紡絲合成纖維抗菌性之研究，中國文化大學紡織工程學系，私人文獻交流，56-60(2013)
- 2 師奇松、于建香、顧克壯、馬春寶、劉太奇，靜電紡絲技術及應用，化學世界，第五期，313-316(2005)
- 3 何信法、鍾慎修，以電紡法製造奈米纖維及其

- 應用，南台科技大學碩士學位論文，臺南，臺灣，147-152(2007)
- 4 王盈淇、王紀，溫度效應對電紡絲製備高分子之影響，成功大學碩士學位論文，臺南，台灣，133-139(2006)
- 5 邱聯華，透濕防水型水性 PU 樹脂合成及透濕度之研究，紡織中心期刊，第九卷，第一期，74-81(1998)
- 6 張建春、黃機質、郝新敏，織物防水透濕原理與層壓織物生產技術，中國紡織出版社，北京，79-119、303-312(2003)
- 7 P. B. Jacobs and P. C. Yu, Two-Component Waterborne Polyurethane Coating, *Journal of Coating Technology*, **65**, 882(1993)
- 8 戴學斌、陳炳州、王瑤池，抗菌薄膜之技術開發，工業材料雜誌，第一二七期，153-157(1998)