

105 年「機電工程專題競賽與成果展」

作品中文名稱：

**創新線微流體電噴灑聚焦裝置開發**

**於食品樣本質譜快速檢測之應用**

作品英文名稱：

**Novel thread-based electrospray ionization  
with electrostatic focusing  
for rapid food safety applications**

國立中山大學/ 機電系/ 劉柏輝/ B023022002

國立中山大學/ 機電系/ 石雅琪/ B023022006

國立中山大學/ 機電系/ 許秩華/ B023022051

國立中山大學/ 機電系/ 薛宇翔/ B023021014

國立中山大學/ 機電系/ 楊杰穎/ B023021043

指導教授：林哲信 博士

主辦單位：國立中山大學機械與機電工程學系

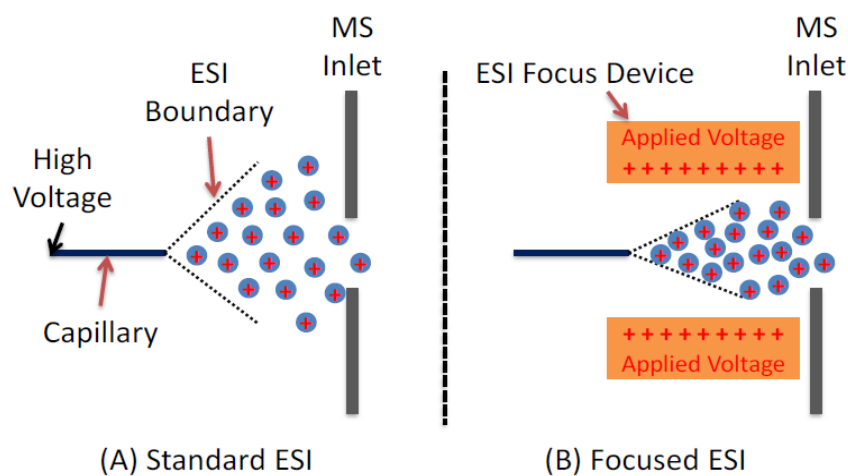
## 一、摘要

食安問題近年來受到廣泛的重視，發展一套可以快速檢驗食品添加劑或殘餘農藥之方法甚為重要。因此，本研究擬發展一創新之線微流體質譜游離源應用於食品安全偵測，有別於傳統之毛細管電噴灑游離，本研究採用一低成本之聚酯纖維線做為電噴灑游離之載體，並輔以一自形發展之電場聚焦透鏡，以聚集電噴灑游離之離子，該系統可有效提聲訊號強度達 5 倍以上，具有商業化之潛力及價值。

## 二、動機與目的

由於電噴灑游離產生噴霧張角過大，導致部分游離樣本無法進入質譜儀入口。為了改善此情形，本研究開發出之電場聚焦透鏡，架設於微流道噴灑口與質譜入口間，透過外加正電壓與離子間斥力作用縮小電噴灑噴霧之張角，目的是為了提高進入質譜儀的樣本數量，進而提升系統之偵測極限，使低濃度之樣本或複雜組成物中的微量成分更容易被檢測。

現今食品安全的檢測法多在經認證之中央實驗室完成，其檢測費用高達每件 2000 元以上，檢測之時間也經常需要 2 週方可獲得結果。而電噴灑游離聚焦質譜法是一種創新、低成本的液體樣本檢測方式。若將電噴灑游離質譜檢測法與本研究聚焦模組結合，可以直接提高 5 倍樣本檢測濃度，架設簡單、成本低廉、操作方便。如果未來成功地整合為一套聚焦系統，並與相關檢測中心合作，能突破現今檢測的限制，亦會為生醫或食品檢測領域帶來極大的商業價值。

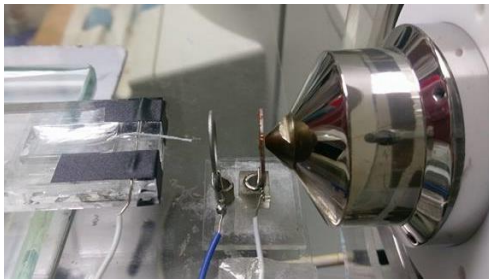


圖一、電噴灑聚焦示意圖

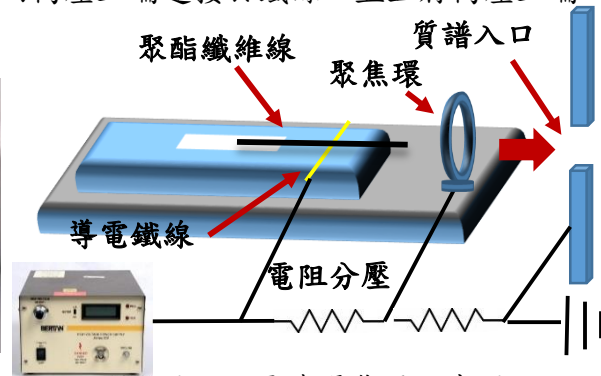
### 三、研究內容

Shaffer 團隊利用一台 DC 高壓電源供應器及另一台 RF 射頻電源供應器來供給多環聚焦裝置之電壓，已達聚焦效果，並整合於電噴灑游離法上 [1]。我們針對這部分感到很大的興趣，於是開始構思一個架設簡易、操作方便的聚焦裝置，利用高壓電源供應器來提供電噴灑所需電場及線圈聚焦之電壓，應用於各種電噴灑游離技術。相較於 Shaffer 團隊繁複的實驗裝置 [2]，本實驗僅需一台高壓電源供應器即可達成電噴灑聚焦之目的。

本研究利用雷射雕刻機在長方形壓克力板中間挖一個儲液槽，前端雷射雕出寬 0.2 mm 的十字凹槽，其中一處放置聚酯纖維線，另一處放置鐵絲以施加電場，如圖三所示。在壓克力板下方利用 UV 膠黏貼一塊厚度 2 mm 的壓克力板當作底板。於前方 5.5 mm 處架設一聚焦線圈且於 15 mm 處架設電場地端。將上述裝置利用鱷魚夾與高壓電源供應器做連接，高壓電源供應器之地端連接於質譜儀入口，而高壓正端連接於鐵絲，並且將高壓正端利用電阻分壓與線圈作連接。



圖二、電噴灑聚焦裝置



圖三、電噴灑裝置示意圖

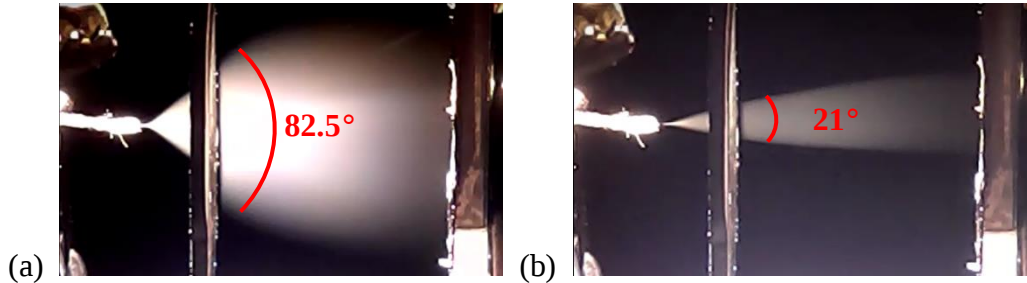
本實驗將聚酯纖維線進行十分鐘大氣電漿表面處理，腔體真空度為  $1.8 \times 10^{-1}$  Torr，功率 100 W，以增加其親水性及減少表面雜亂纖維束。再將緩衝液倒入儲液槽，使經電漿處理之聚酯纖維線可因毛細現象將緩衝液運輸至線頭。在線頭到質譜入口之間施加一 7.5 kV 正電壓，帶正電液珠會在线頭尖端聚集形成泰勒錐，而當帶電離子庫倫力大於表面張力時，會突破泰勒錐形成電噴灑游離。另外利用四個 15 M $\Omega$ 、兩個 10 M $\Omega$ 、五個 2 M $\Omega$ 、十個 1 M $\Omega$  的電阻串聯成為一分壓系統連接至聚焦線圈上，如圖四。本研究於電噴灑穩定一段時間後，再將欲測量之樣本滴於線頭，並利用質譜儀專用軟體 LCQ Tune 分析數據。

### 四、結果與討論

本研究電場聚焦透鏡可以運用在任一個電噴灑游離源上，提高 5 倍樣本偵測濃度，且架構非常便宜、不需額外電源直接分壓即可、快速與電噴灑游

離源整合、操作方便、用途廣泛。

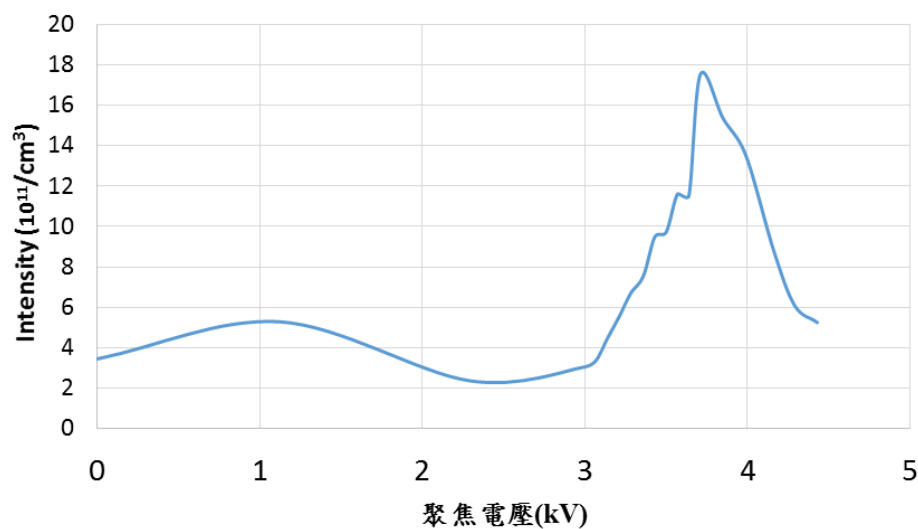
在實驗中，利用影像觀察找出最佳的聚焦參數，實際成果也與預期的想法相符。當電場施加 7.5 kV 正電壓時，能達到聚焦之電壓範圍落在 3 至 4 kV 之間。未聚焦前如圖四 (a)，給予聚焦環電壓後如圖四 (b)，經計算得知聚焦後截面積縮小 11 倍，噴灑角度縮小  $60^\circ$  以上。



圖四、(a) 電噴灑聚焦前 (b) 電噴灑聚焦後

本研究將電場聚焦透鏡連接於質譜入口處，進行電噴灑質譜游離法分析，檢測樣本為濃度 0.1 mM Sodium Borate，質譜入口端溫度為  $200^\circ\text{C}$ ，分別施加 19 種不同聚焦電壓於聚焦模組上，每組噴灑時間為 1 分鐘，本研究將得到之數據分析處理後得到一離子濃度與聚焦電壓關係圖，如圖五所示。

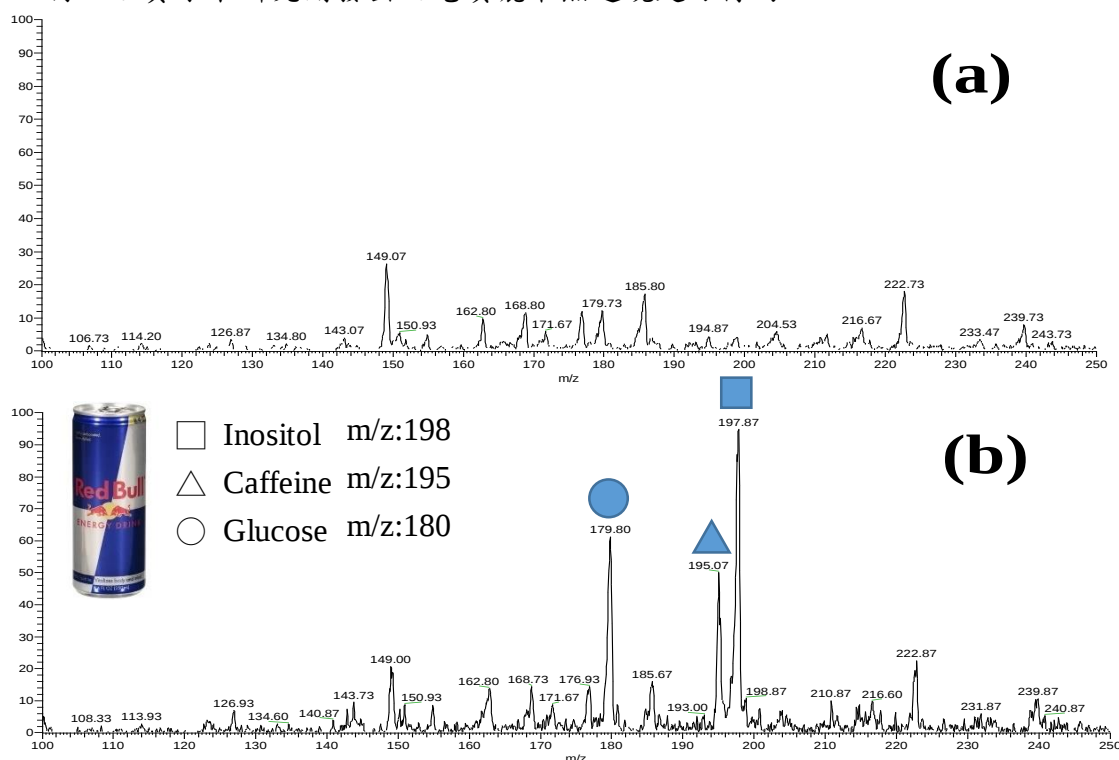
從圖五可以發現初期施加低電壓對聚焦效果無明顯效果，但當聚焦電壓施加超過 3 kV 時質譜儀測得離子濃度開始呈現大幅度線性上升，在 3.7 kV 左右達到高峰，與 0 kV 聚焦電壓對照後，本研究發現其離子濃度提高了 5 倍之多，也證明了此聚焦模組是可行且有效率的。



圖五、Sodium Borate 離子濃度與聚焦電壓關係圖

本研究也針對能量飲料 Red Bull 進行檢測，不須經過任何前置作業直接滴於聚酯纖維線前端，結果如圖六所示，圖六(a)為未加入聚焦透鏡之數據與圖六(b)加入聚焦透鏡比較後，發現 Red Bull 內容物濃度有明顯的提升，

再次證實了本研究開發出之電噴灑聚焦透鏡是可行的。



圖六、Red Bull 質譜儀檢測分析 (a)未加裝聚焦透鏡、(b)加入聚焦透鏡

近年來食安問題層出不窮，突顯出檢測食品時需要更精確的技術來把關，目前業界主要利用電噴灑游離質譜技術來進行食品分析，若將此聚焦模組應用於此，不僅能檢測出樣本中含量極低的內容物，且裝置的成本低廉、架設簡單、操作方便，更能直接提升 5 倍的樣本檢測濃度，未來待技術更加成熟甚至能將偵測極限下修 10 倍，於食品檢測應用上是一大助益。

## 五、致謝

時光荏苒，大學生涯已過三年，感謝科技部 105-2815-C-110-040-E 計畫與中山大學提供經費上的支持，感謝林哲信教授細心的指導，及生醫機電實驗室的學長姐們教導實驗儀器相關的操作方法。

## 六、參考文獻

- [1] S. A. Shaffer, K. Tang, G. A. Anderson, D. C. Prior, H. R. Udseth, and R. D. Smith, "A novel ion funnel for focusing ions at elevated pressure using electrospray ionization mass spectrometry," *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 11, pp. 1813-1817, 1997.
- [2] S. A. Shaffer, D. C. Prior, G. A. Anderson, H. R. Udseth, and R. D. Smith, "An ion funnel interface for improved ion focusing and sensitivity using electrospray ionization mass spectrometry," *Analytical chemistry*, vol. 70, pp. 4111-4119, 1998.