

自製竹質複合3D列印線材的開發及列印性質分析

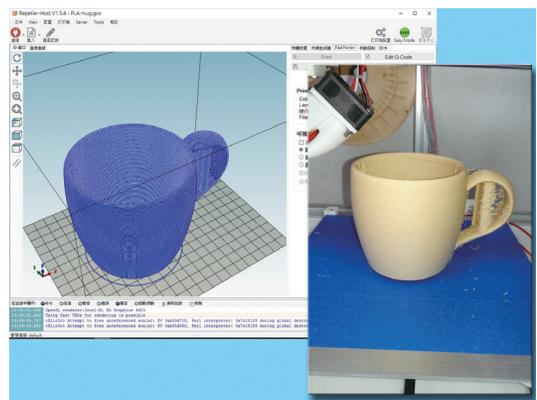
塗三賢¹、劉慧玲²

臺灣的竹林資源豐富，由於竹子具有生長快速、成材早，無性繁殖的能力，在層積竹材及複合材料等相關的研究也越來越多，而孟宗竹(*Phyllostachys pubescens*)因竹稈高而壯、表皮堅硬、抗壓力強、稈肉質厚，適合做為層積竹材、合板等用途。綜合以上優點，竹類對於目前木材資源缺乏的臺灣，是良好的替代材料，在近年來國人對於環保意識的重視下，已有電子產品如筆記型電腦、手機背蓋等，以竹材取代塑膠或金屬作為產品外殼，竹材的紋理、觸感及溫暖的顏色也提供了消費者新的選擇，然而竹材加工後的廢料去化處理也成為新的環保議題之一。就循環經濟的觀點而言，竹材加工後的廢料也是一種剩餘資材，如何開發它的新用途，是木質廢棄資材加值應用的重要一部分。

近年來，3D列印(3D Printing)逐漸受到大家的關注，3D列印屬於快速成型技術的一種，它是一種以數位模型檔案為基礎，運用塑料或粉末狀金屬等可粘合材料，透過逐層堆疊累積的方式來構造物體的技術，能任意製作出複雜形狀或是結構細微的模型，捨棄傳統使用切削加工的種種限制，免除以手工製作模型容易失真的狀況，且無需高價的模具製作費用，也能減少模型製作的時間。

擠壓沉積是最常見的3D列印技術，包括熔融沉積成型(FDM)或熔絲製造(FFF)，主要是使用熱塑性塑料，例如PLA(聚乳酸)、ABS樹脂、HIPS、尼龍、HDPE、橡膠等材料，

將材料加熱至半熔融狀態並在平台上擠出，將材料一層又一層由下往上堆疊在支撐材料上，最後硬化成型，這種技術價格也最低，是目前市面家用3D列印機的主流型式。3D列印用的PLA線材除了可以加入色料，使它具有不同顏色外，近年來，隨著3D列印越來越流行和普及，有許多生產PLA線材的公司，也開始嘗試在PLA線材的基礎上加入其他材料，賦予列印線材有不同的面貌，例如加入碳纖維粉末，利用碳纖維强度高、重量輕、耐熱度高及膨脹率低等的特質，可強化PLA線材的強度，或者加入木粉材料做成所謂的仿木線材後，讓列印出的成品具有木質外觀的感覺，特別適合應用在一些藝術品模型上。我們使用孟宗竹材的加工餘料與PLA混煉開發竹質複合3D列印線材，並進行相關列印性質的分析，希望能擴展竹剩餘資材的用途。



3D列印能任意製作出複雜形狀或是結構細微的模型，免除以手工製作模型容易失真的狀況，也能減少模型製作的時間。(塗三賢 攝)

林業試驗所 · ¹森林利用組、²技術服務組

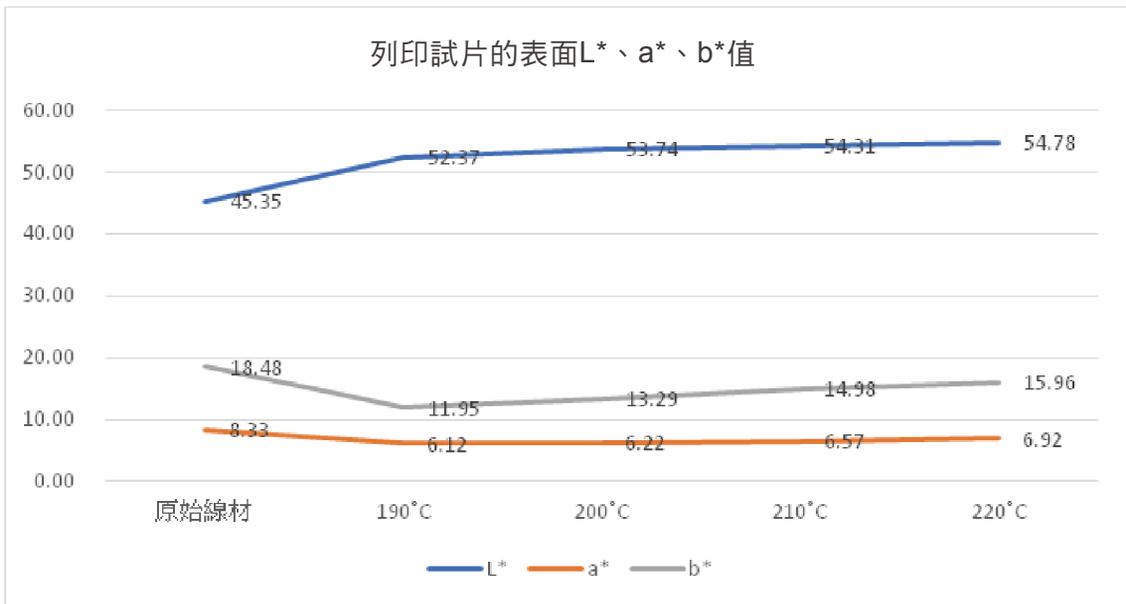
竹質複合3D列印線材的製作

我們使用可生物分解的PLA聚乳酸塑膠做為列印基材，將孟宗竹材粉碎研磨至適當粒徑後，在PLA中加入一定重量比例的竹粉材料，由於聚乳酸塑膠分子與竹粉粒子間有界面親合的問題，必須再加入少量的添加劑，經混煉造粒及抽絲加工後，製作出竹質3D列印複合線材。將製作完成之竹質複合線材分別以不同溫度、填充率及列印層高等列印條件製作出列印試片後，再以分光色差儀分析不同列印溫度對試片表面顏色的影響；以泡水24小時的方式進行列印試片的尺寸安定性檢測，分析不同列印條件對試片尺寸安定性的影響；同時以表面粗糙度計分析不同列印溫度對試材表面性質的影響，做為自製竹質

複合線材在3D列印時的列印參數設定參考。

不同列印條件對試片表面顏色的影響

本研究使用MINOLTA Spectrophotometer cm-3600d色差儀測量試片的L*、a*、b*值，分析不同列印溫度對試片表面色差的影響。以CIE國際照明協會(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE)訂定之色度圖標準，測量不同列印溫度下的試片L*、a*、b*值，結果顯示列印試片之表面顏色L*、a*、b*值，均較原始線材有明顯增加，也有隨列印溫度增加而增加的趨勢。經計算後可知列印溫度190°C時的 ΔE 值約9.84，200°C的 ΔE 值約10.09，210°C的 ΔE 值約9.78，220°C的 ΔE 值約9.86，在討論人類感知時，一般認為在 ΔE 系統中，1.0是剛好注意得到的量，由 ΔE 值計



不同的列印溫度會對列印試片表面顏色造成差異，但肉眼並不容易看出來。(塗三賢製)



3D列印用的線材除了色料外也可以加入其他材料，賦予成品不同的面貌。(塗三賢 攝)

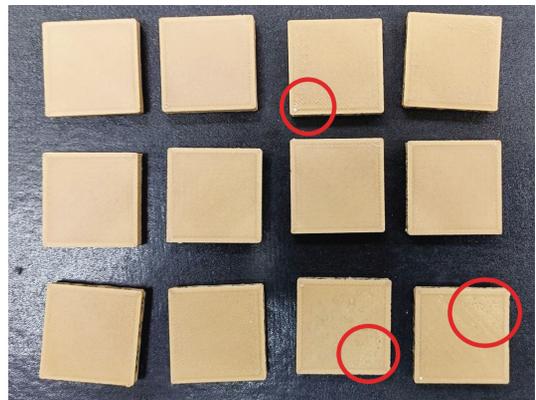
算結果可知，不同列印溫度之間的 ΔE 值的差異均小於1，可知自製竹質複合線材在不同列印溫度下試片表面顏色間的差異並不明顯。

不同列印條件的試片尺寸安定性

將各組試片垂直置入水溫(25±1)°C之水中，浸泡24小時後測量吸水膨脹之長度伸長量(ΔL)，再比較不同列印溫度浸水前後尺寸變化率。結果顯示在190°C及220°C溫度列印下有較大之長度及厚度的變化率，列印溫度200°C及210°C的試片有較佳的尺寸安定性。測量浸水前之試片重量，再將試片浸水24小時，拭去試片表面多餘水分並在10分鐘內測定其重量，比較不同列印溫度浸水前後之試片吸水重量變化率。結果也顯示在190°C及220°C溫度列印下有較大的吸水重量變化率。

不同列印溫度對試材表面性質的影響

使用ACCRETECH型號SURFCOM TOUCH 50的表面粗糙度測量儀，測量不同列印溫度試片之表面粗糙度，以觀察列印試材的表面變



不同的3D列印參數會對列印成品有不同的影響，圖中紅圈處就是列印參數不正確時所造成的缺點。(塗三賢 攝)

化。結果顯示試片之表面粗糙度，均有隨列印溫度提高而增加的趨勢，可得知列印溫度愈低可以得到較佳表面光滑度的列印結果。

自製竹質複合線材的3D列印參數

本研究以PLA塑膠基材添加一定比例的竹粉所製作出來的竹質3D列印複合線材，主要的應用範圍是在文創產品的打樣試製或是模型的製作，綜合上述測試，在不同列印條件下檢測試材的表面顏色變化、尺寸安定性以及表面粗糙度後綜合評估，本自製竹質複合線材在3D列印時的最佳列印參數溫度200°C~210°C、填充率50%及列印層高0.2 mm，可得到較佳的列印品質。這樣的列印參數也符合市面上所販售3D列印機的工作參數需求，顯示我們開發的竹質複合線材有市場的潛力，希望能有助於擴展竹剩餘資材的用途。⊗