

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

052404

「啡」咖文創產品

學校名稱：國立北港高級農業工業職業學校

作者： 職二 廖文宇 職二 黃士修	指導老師： 李長孟 葉金桂
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：咖啡渣、聚乳酸、咖啡渣複材

摘要

咖啡是全球第二大貿易商品，僅次於石油；在台灣除了基隆未種植生產咖啡之外，其餘各縣市的山區都可見到咖啡樹的蹤影[註 1]，沖泡完的咖啡渣殘留量非常龐大。本專題以廢棄咖啡渣添加於聚乳酸(PLA)材料製成 PLA 咖啡渣複合材料及製造 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條的可行性。

實驗結果顯示，利用咖啡渣之多孔結構及咖啡油脂，製備 PLA / 咖啡渣複合材料，可以製成厚度 3mm 試片杯墊成品，但欲製成厚度 1mm 的飛盤模型卻失敗；製成 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條時，只有 PLA+1%咖啡渣複合材料 3D 拉條能順利製作成杯墊產品，實驗說明 PLA / 咖啡渣複合材料應用於 3D 列印材料是可行性，有別於市面上 PLA 加入咖啡香精製造的 3D 列印材料，可以將廢棄咖啡渣再利用，具有環保教育意義。

壹、研究動機

每年國人咖啡飲用量有近 20%成長，可見我們對咖啡的依賴程度越來越深。而台灣人年平均喝掉 100 杯咖啡，進口量已達到 21,195 噸，而每杯咖啡（約 10 克咖啡），所殘留下來的咖啡渣約為 7-9 克不等，沖泡完的咖啡渣量非常龐大。廢棄的咖啡渣因有多孔結構及咖啡油脂，可再製環保科技咖啡紗及洗髮精瓶等產品；一般咖啡門市均開放民眾自由取用咖啡渣，應用於除臭、吸濕、去汙、防蟲、吸油等用途，利用咖啡渣香味再製文創商品尚不多見。

3D 列印技術近幾年蓬勃發展，廣受各國重視，也因此廠商陸續開發出各種因應不同需求的 3D 列印技術。近幾年因為 3D 列印其中最關鍵的熔融沉積成型(FDM, Fused Deposition Modeling)技術專利權的到期，廠商紛紛推出低價 3D 列印機，目前市場上的入門款機種，運用 FDM「熔融沉積成型」技術，使用材料主要有 ABS 樹脂以及具高效綠

色環保功能的 PLA 聚乳酸[註 2]。

本組經收集資料討論分析後，希望綜合學校所學課程進行相關研究(如表一)；探討以廢棄咖啡渣添加於聚乳酸 PLA 材料結合產生 PLA / 咖啡渣複合材料，研究利用此咖啡渣複合材料，是否能製出文創商品，並將 PLA 與不同比例咖啡渣製成 3D 列印拉條，藉以探討能應用於 3D 列印材料之可行性。

表一：本實驗應用課程表

課 程	單元內容	作品應用
有機化學	高分子聚合物	可分解聚合物
農業概論	特產加工	廢棄物再利用

貳、研究目的

- 一、探討咖啡渣製成 PLA 咖啡渣複合材料可行性。
- 二、探討咖啡渣製成 PLA 咖啡渣複合 3D 列印拉條的可行性。
- 三、探討不同比例咖啡渣與 PLA 複合製成 3D 拉條的列印效果。
- 四、咖啡渣文創商品的開發。
- 五、增進咖啡渣的利用性，強化環保教育目標。

參、研究設備及器材

一、材料：

回收咖啡渣(7-11 提供)、聚乳酸 PLA(美國 Nature Works PLA)、改質劑(Arkema Biostrength)、滑劑(硬酯酸鈣)

二、PLA 咖啡渣複材造粒設備：

真空烘箱、除濕乾燥機(華懋)、雙螺桿造粒機(D32mm 澤機雙螺桿造粒機)

三、PLA 咖啡渣複材成型與檢測設備：

紅外線水份儀、單螺桿押出機(D19mm 單螺桿過水拉條收捲線材)、射出機(全立發 CLF 150T)、飛盤模具(遠東科大開發)、UV 噴墨印表機(Mimaki)、3D 列印機(Prolink 2.0plus)、萬能材料試驗機(GS-QC-Tester Instrument 新蕙 GS-1520)。

肆、研究過程與方法

一、回收咖啡渣乾燥處理：



圖 1、回收咖啡渣乾燥處理。

二、PLA 咖啡渣複合材料混練造粒：

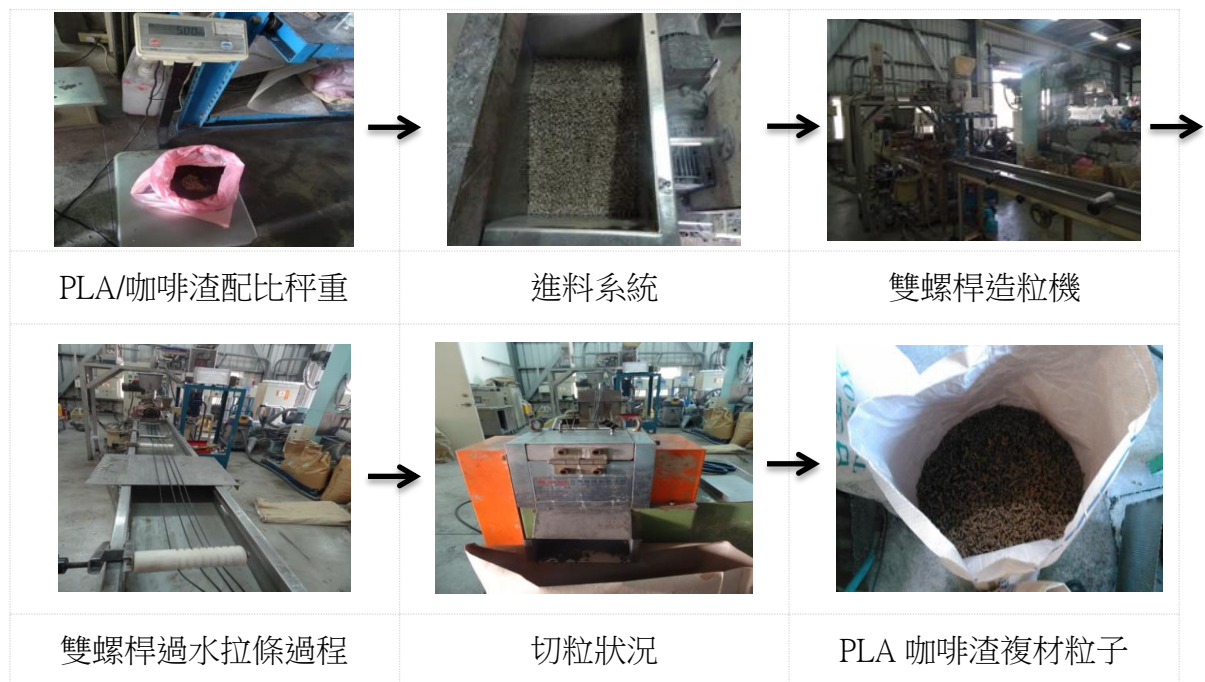


圖 2、PLA 咖啡渣複材混練造粒流程。

三、PLA 咖啡渣複材射出試片杯墊成品：

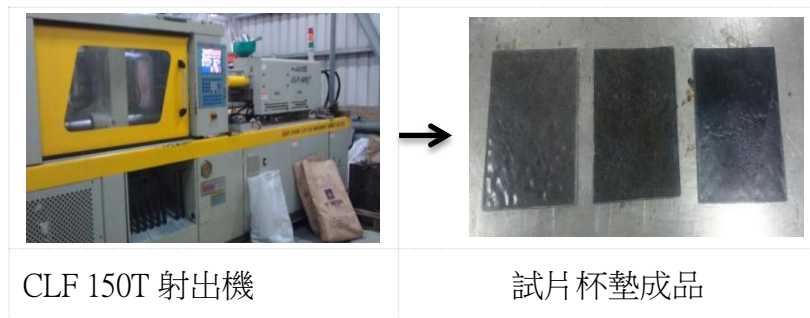


圖 3、PLA 咖啡渣複材射出試片杯墊成品。

四、PLA 咖啡渣複材射出飛盤成品：



圖 4、PLA 咖啡渣複材射出飛盤成品。

五、UV 噴墨列印杯墊成品：

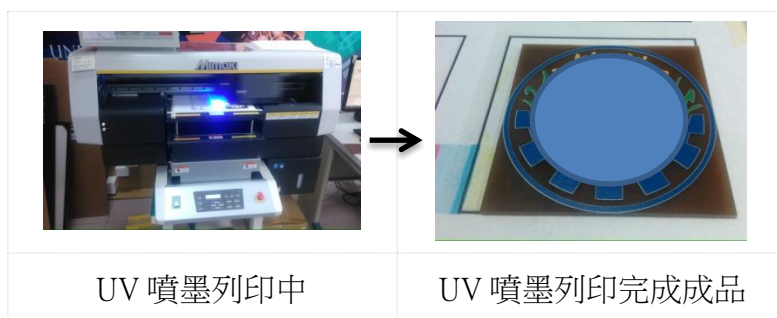


圖 5、PLA 咖啡渣複材杯墊 UV 噴墨列印成品。

六、單螺桿押出機製備 PLA 複材 3D 列印拉條：



圖 6、單螺桿押出機製備 PLA 咖啡渣複材 3D 列印條。

七、3D 列印機印杯墊成品：

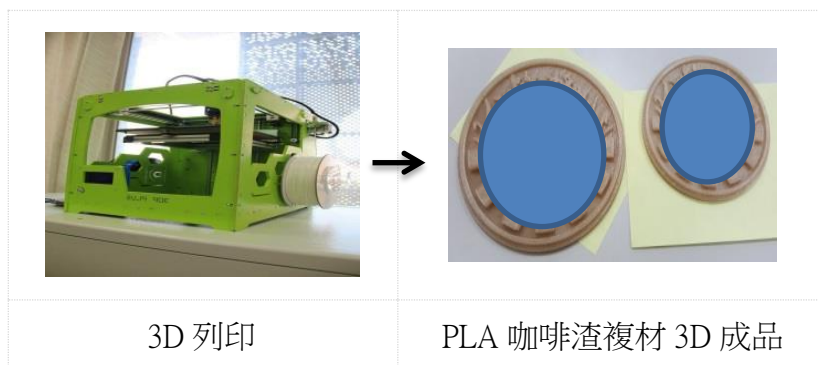


圖 7、3D 列印機杯墊成品。

伍、研究結果

一、回收咖啡渣前處理後控制含水率：

回收咖啡渣再製聚乳酸複合產品，首先需先將回收咖啡渣前處理，其流程如圖 1 所示；由於咖啡渣除多孔性外尚含有咖啡油脂及水份，會影響混練加工與成型，所以咖啡渣須先真空烘箱乾燥降低含水率；若未除去水份在混練加工時，高溫加熱而產生大量水蒸氣，會影響進料及出料的連續性，以致射出成型時有外觀不佳、物性不佳等問題；實驗時以紅外線水份儀測試咖啡渣乾燥前及乾燥後之水份，咖啡渣乾燥前含水率約 8.24%，如圖 8 所示，咖啡渣以真空烘箱乾燥之條件為：95°C 約 3hr，乾燥後咖啡渣含水率約 3.09%，足見真空烘箱乾燥能有效降低咖啡渣含水率；實驗時控制除濕乾燥後咖啡渣含水率在 3% 左右，如圖 9 所示，則製造 PLA 咖啡渣複合材料較易成功。



圖 8、咖啡渣乾燥前含水率約 8.24% (以紅外線 105°C 約 3.7min 平衡)。



圖 9、咖啡渣乾燥後含水率約 3.09% (以紅外線 105°C 約 1.7min 平衡)。

二、PLA 咖啡渣複材混練造粒：

在 PLA 咖啡渣複材造粒方面，設計 PLA、PLA+1%咖啡渣、PLA+5%咖啡渣、PLA+10%咖啡渣等四組材料，並分別添加改質劑 4phr、硬酯酸鈣 1phr【註: phr 每百份中的幾份】，經由 D32mm 雙螺桿造粒機混練、體積式下料、過水拉條、切刀切粒，粒子的顏色會因原料的不同，而色澤會有些不同，其製程如圖 2 所示。實驗因使用聚乳酸 PLA 及廢棄咖啡渣製作複材，聚乳酸 PLA 本質硬而脆，在後續製備 PLA 3D 列印條會有脆易斷、3D 列印有送料不順斷膠等問題，所以添加改質劑提昇 PLA 撓曲與耐衝擊。

三、PLA 咖啡渣複材射出飛盤及試片杯墊成品：

在 PLA / 咖啡渣複材再製射出飛盤及試片杯墊成品結果如表二；射出機料管設定溫度條件：190/200/190/180/180℃，模溫 45℃，射出時間約 15 秒，成型週期約 1 分鐘。射出過程中，100x100x3mm 試片杯墊成品可順利成型，如圖 3 所示，並將試片杯墊利用 UV 噴墨列印成品，皆能順利完成如圖 5。但射出飛盤時，雖然可成型，但因 PLA 較硬而脆，雖經改質處理，還是無法順利將飛盤製造成功，此乃是飛盤厚度太薄(1mm)且沒有韌性，在開模頂出成品時，造成裂開現象，此 PLA / 咖啡渣材料並不適合做薄件飛盤產品，如圖 4 所示。

表二: PLA / 咖啡渣複材射出飛盤及試片杯墊成品結果

項目	試片杯墊成品	飛盤
PLA	成功	失敗
PLA+1%咖啡渣複材	成功	失敗
PLA+5%咖啡渣複材	成功	失敗
PLA+10%咖啡渣複材	成功	失敗

四、PLA 咖啡渣複材試片物性量測：

在 PLA / 咖啡渣複材再製射出試片杯墊物性評估方面，實驗時材料有 PLA、PLA+1%咖啡渣、PLA+5%咖啡渣、PLA+10%咖啡渣等四組材料。在量測拉伸強度方面，依 ASTM D638 標準量測，試片長及寬為 13.0mm X 12.7mm，以 5 mm/min 速率拉伸試片，市面對複材之物性要求值如表三所示，PLA 其拉伸強度為 642.3 kgf / cm²，添加 1%、5%及 10%咖啡渣複材之拉伸強度分別為 634.66、547.46 及 465.92 kgf / cm²，PLA 與 PLA+10%咖啡渣拉伸強度下降 176.4 kgf / cm²，下降約 27.57%，數據詳如表三所示。

在量測彎曲強度方面，依 ASTM D790 標準量測，試片長及寬為 13.0mm X 12.7 mm，以 5 mm/min 速率測量試片，市面對複材之物性要求值如表三所示，PLA 其彎曲強度為 1012.2 kgf / cm²，添加 1%、5%及 10%咖啡渣複材之彎曲強度分別為 998.85、852.1 及 828.7 kgf / cm²，PLA 與 PLA+10%咖啡渣彎曲強度下降 183.5 kgf / cm²，下降約 18.1%，數據詳如表三所示。

表三:PLA 木塑複材物性量測數據表

項目(測試方法)	要求值	PLA	PLA+1% 咖啡渣	PLA+5% 咖啡渣	PLA+10% 咖啡渣
抗拉強度 kgf/cm ² (ASTM D638)	200 以上	642.3	634.66	547.46	465.9
彎曲強度 kgf/cm ² (ASTM D790)	300 以上	1012.2	998.85	852.1	828.7

五、製備 PLA 複材 3D 列印條：

由於聚乳酸 PLA 本質硬而脆，在後續製備純 PLA 的 3D 列印條時，由於 3D 列印時有送料不順斷膠等問題，因此以改質劑 4phr、硬酯酸鈣 1phr 【註: phr 每百

份中的幾份】提昇 PLA 撓曲與耐衝擊。在 PLA / 咖啡渣製備 PLA 咖啡渣複材 3D 列印條方面，配合國產 3D 列印機，以單螺桿押出機製備 PLA 複材 3D 列印條，實驗配置為 PLA、PLA+1%咖啡渣、PLA+5%咖啡渣、PLA+10%咖啡渣等四組材料，押出機料管設定溫度條件：190/200/190/180/180°C，模頭為 1.75mm，過水拉條、線上測厚度、張力牽引、收捲，1.75mm 約 1kg 收成 1 捲，實驗流程如圖 6 所示。PLA 添加咖啡渣張力牽引時，未添加改質劑時，3D 列印條有脆易斷、白化及不易收捲等問題，拉條時因咖啡渣未經精細研磨，3D 列印條照光時咖啡渣清晰可見。

六、3D 列印機印杯墊成品：

在 PLA / 咖啡渣以 3D 列印機印製杯墊成品部分，如圖 7 所示。3D 列印機：噴頭直徑 0.4mm、XY 定位精度 0.0125mm、層解析度 0.05~0.3mm，噴頭設定 200°C 測試，速度 30mm/s、層高 0.2mm，略有出膠不順問題，輸出 12.8hr；後續修改噴頭 215°C 測試，速度 30mm/s、層高 0.2mm，出膠順暢，輸出 13.5hr，後續測試 PLA+5% 咖啡渣列印，測試過程中，列印條較粗糙有送條不順卡料問題，約列印 5 分鐘以內即不順斷條阻塞，僅列印一層平面沒有得到成品。後續改以 PLA+1%咖啡渣列印，噴頭設定 215°C 測試，因測試過程中導致噴頭阻塞，重新處理噴頭清料後，改以噴頭 230°C、底板 80°C、速度 30mm/s、層高 0.2mm、填充率 30%之設定，可順利完成杯墊產品，實驗結果如表四。

表四: PLA / 咖啡渣 3D 拉條測試列印情形

項目	溫度	測試情形
PLA	200°C	略有出膠不順
PLA	215°C	出膠順暢
PLA+5%咖啡渣	215°C	列印 5 分鐘以內即不順斷條阻塞
PLA+1%咖啡渣	215°C	噴頭阻塞
PLA+1%咖啡渣	230°C	完成杯墊產品

陸、討論

利用咖啡渣香味再製咖啡氛圍的文創商品研究，發現經由結合回收咖啡渣與聚乳酸 PLA 再製杯墊與飛盤產品，其再製 100x100x3mm 試片杯墊成品，能順利成功製出，但飛盤厚度較薄(1mm)且須有韌性，成品容易裂開並造成外觀不佳；若製程 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條，則會因添加咖啡渣的比例太高，易塞住 3D 噴頭，而以 PLA+1%咖啡渣複材 3D 拉條，且 3D 噴頭溫度調整為 230°C 則能順利列印出 3D 杯墊產品。

柒、結論

- 一、台灣每年約 2 萬噸以上咖啡渣，利用咖啡渣的多孔結構及咖啡油脂，可作為聚乳酸 PLA 的填充材，並製作 PLA 咖啡渣複合材料，應用咖啡渣香味能再製文創商品。
- 二、咖啡渣含水率約 8.24%，經烘箱乾燥後咖啡渣含水率控制在 3% 以下，方能有效率製備 1~10% 咖啡渣之 PLA 咖啡渣複材。
- 三、咖啡渣的多孔結構及咖啡油脂與 PLA 混練後，會降低複合材料之抗拉強度與彎曲強度，添加 10% 咖啡渣對抗拉強度、彎曲強度下降幅度分別為 27.57% 及 18%；顯示 PLA 添加咖啡渣後材料拉伸強度及韌性變差，因此製作飛盤時易造成失敗。
- 四、PLA 咖啡渣複材，可順利射出試片杯墊成品，並將試片杯墊成品經 UV 噴墨列印設備，可順利列印有圖形杯墊作品，非常適合應用於咖啡渣香味文創商品應用。
- 五、使用 PLA 及 PLA+1% 咖啡渣 3D 列印拉條，成功列印出圖形杯墊成品，透明 PLA 列印條件為噴頭 215°C 測試，速度 30mm/s、層高 0.2mm，而 PLA+1% 咖啡渣列印條件為噴頭 230°C、底板 80°C、速度 30mm/s、層高 0.2mm、填充率 30%；後續咖啡渣再經精細研磨，應可挑戰更高含量之 PLA / 咖啡渣 3D 列印條。
- 六、本研究以廢棄咖啡渣再製 PLA / 咖啡渣複材，射出試片杯墊，可作為後續創客 maker 應用 CNC、雷射、3D 列印製備咖啡渣香味文創商品應用可行性，在低碳綠色環保訴求，未來咖啡渣將會有很大的發展空間。

捌、參考資料及其他

一、科學人雜誌台灣咖啡香。截取自 104 年 9 月 18 日。

<http://sa.ylib.com/MagCont.aspx?Unit=featurearticles&id=2685>

二、3D 列印材料發展現況與趨勢。截取自 104 年 10 月 18 日。

http://mic.iii.org.tw/aisp/reports/reportdetail_register.asp?docid=3028&rtype=freereport

三、呂瑞城(2015)。天下 3D 學院：3D 列印繪圖設計攻略寶(第二版)。上奇資訊出版社。

四、蔡耀中(2010)。農業概論 II。台北市：復文出版社。

【評語】 052404

本作品利用咖啡渣汁多孔結構及咖啡油脂，製備 PLA/咖啡渣複合材料，並製成 3D 杯墊產品，證明廢棄的咖啡渣可以再被利用，兼具環保及商業價值。