

客家委員會補助大專校院發展客家學術機構計畫

成果報告書

計畫名稱：以永續性觀點探討客家藍染技術在產業應用之研究

執行單位：嘉南藥理大學綠色產業發展中心

計畫主持人：楊英賢副教授

共同主持人：蕭景祥副教授

共同主持人：葉仲超助理教授

聯絡人：張茂祥

聯絡電話：06-2664911#7330

傳真：06-2660606

日期：106 年 11 月 30 日

客家委員會補助大學校院發展客家學術機構成果報告書

計畫名稱：以永續性觀點探討客家藍染技術在產業應用之研究

目錄

壹、前言：	3
貳、執行情形：	5
一、計畫之執行概況：	5
二、預算支用情形：	6
參、檢討與建議：	8
一、成果效益：	8
二、與原訂計畫之落差及原因分析：	9
三、建議事項：	10
四、結論：	10
肆、研究成果全文：	12
一、前言	12
二、文獻回顧	16
三、研究方法	34
四、研究結果	41
五、結論與建議	52
參考文獻	54

壹、 前言：

紡織從文明起源的印度和中東地區應用，已超過五千年歷史，早在公元前 2500 年前已開始運用自然界植物、動物和礦物精華等之染料，其中大多數來自植物界(如植物的根、樹皮、葉子、花果或木料等)。其染料製作乃經由簡易加工即可製成天然染料，並可廣泛應用於紡織與各種生活應用(Savvidis et al., 2014)。至 19 世紀起人類開始利用化石資源，將石油分餾成煤焦油並製成合成染料，合成染料組成初期主要以苯胺原料為主，因此又稱為“苯胺染料”，後續合成染料發展成不同化學結構類型如硝基、偶氮、靛族等類別，並發展具成優良染料特性之合成染料，進一步與天然染料比較，合成染料乃具有色澤鮮豔、耐洗、耐曬並能大量生產之優點。此外，合成染料由於大量生產而價格降低、染料良好物性優勢與顏色多元等條件，因而逐漸取代天然染料市場與機會(經濟部工業局，1991；Savvidis et al., 2014)。過去客家優良傳統藍靛，來自藍草萃取物之植物染料，其應用也曾極盛一時，然而大環境改變與潮流所趨，植物染料價格與物性仍敵不過合成染料，合成染料取代天然染料因而逐漸沒落。

雖然合成染料具有許多染料優勢條件且價格相對較低，然而合成染料也存在與化石原料開採之相同環境問題(Xing et al., 2015)，與部分合成染料同時產生許多健康危害問題，例如石油提煉中之偶氮合成染料，證實將有致癌風險問題；合成染料來自石油提煉，將間接與全球暖化問題具有高度關聯。因此，來自石油提煉之合成染料應用，將會面臨到地球資源有限、減碳議題與人類健康風險等問題。現今，全球暖化之威脅，人類是不是應該有新的改變，逐步返歸於自然，優先取用可再生之天然資源，而不是無限開採化石資源而造成環境破壞。另一方面，部分合成染料易造成健康危害風險問題，例如染料應用於紡織染整生產過程，合成染料會對人體的風險危害，將可能會造成人體呼吸道過敏，過度暴露將產生眼睛刺痛、咳嗽、胸悶等症狀，部分合成染料甚至具有致癌性風險(勞動部，2013)。石油提煉之偶氮合成染料，經證實將有人體健康造成危害，(Dhanapala et al., 2014)；此外，合成染料應用將消耗大量水資源及廢水產生問題，染整染色過程將消耗大量的水與熱能，並產大量廢水處理問題，其中廢水中存在許多不易為自然界微生物所分解的合成染料，將隨自然環境流佈影響生

態健康及人類健康，甚至造成環境荷爾蒙(Endocrine Disrupting Chemicals, EDC)問題，危害人類健康。因此，紡織染整產業的應用過程，向來被列為高污染產業(葉孟芬等人，1999)。

現階段對於含毒性風險與危害之合成染料，國際上逐漸採用各種限制規範，例如石油提煉中之偶氮合成染料，已知為致癌風險物質，歐盟已於2002年禁止使用含有致癌芳香胺的偶氮染料(孫占懷，2005)；此外，歐盟化學物質限制禁令(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)對於偶氮染料濃度訂定嚴格要求與法規；紡織品環保訴求 Oeko-Tex Standard 100 要求不得含有毒性物質於紡織品的應用，對於致癌或引發過敏染料等有害物質，將限制其濃度與應用範圍，目的是減少相關毒性化學物質之使用，維護人類免於毒性風險問題(尚曼華，2008)。因此，合成染料應用將面臨產業應用的困境與壓力，其清潔生產的永續發展方向，乃逐步導向回歸自然原則，是否有機會大量利用歷史曾使用的天然染料，如客家藍染技術過去已廣泛應用，並具有相當成熟技術發展，能否有機會再一次注入新的元素，將傳統應用技術加上環境永續理念加以發揚光大，以減輕當前合成染料的諸多環境問題，將有機會提高客家文化應用價值。

客家藍染技術，早期台灣客家文化已廣泛應用並具有商業價值(陳隆進等人，2007；林青玫等人，2011)。來自天然植物提煉之藍靛，其紡織染色應用之特色，主要是藍靛萃取自天然藍草，相較於合成染料將具有環境友善性與低毒性之機會。基於現代環境永續思維與綠色產品之潮流，傳統技術之所以沒有競爭力，一定存在著許多成本與技術缺乏有效性之問題，若能進一步改善其技術，將可提升客家藍染應用之價值。因此，本計畫從藍草種植及製藍階段等不同生命週期階段，以生命週期思考(Life Cycle Thinking, LCT)觀點與碳足跡(Carbon Footprint, CFP)應用分析工具，探討傳統天然植物染料應用於減碳與環境友善性之社會價值，首先了解客家藍染之環境友善性，並與合成染料作為比較，了解藍染應用的環境問題點；後續研究，將可進一步焦點於創新與改善，提出可行的改善方案設計，將客家藍染應用建立在傳統文化基礎上，研究客家藍染具有商業價值之可行方案，與產業應用價值點，並期望能透過完整性的計畫研究與成果，進一步商品化或結合產業應用，以提升藍染之商業價值。

貳、 執行情形：

一、 計畫之執行概況：

本計畫以客家藍染之山藍原料為主要研究個案，環境友善性評估所應用的工具包括碳足跡、生命週期評估及生態效益等方法，透過系統性分析，量化客家藍染文化可能蘊涵之減碳與永續價值，計畫執行過程感謝客委會經費補助與台灣工藝研究中心及美濃藍染文創設計工坊之協助，使得本計畫得以順利完成本計畫各項目標，茲將完成工作項目說明如下：

表 1 計畫完成工作事項說明

工作事項	完成事項說明
文獻與資料蒐集	(1) 個案生命週期系統範疇之界定。 (2) 台灣手工藝染織工坊拜訪。 (3) 產業現況與傳統技術資料蒐集。
文獻閱讀與資料分析	(1) 蒐集客家藍染技術國內文獻。 (2) 蒐集客家藍染技術國外文獻。 (3) 蒐集成染料製程相關資料。
客家藍染生命週期資料庫建立	(1) 客家藍染生命週期之投入產出數據盤查。
合成藍靛生命週期資料庫建立	(1) 合成藍靛生命週期之投入產出數據盤查。
客家藍染的生命週期評估及碳足跡推估	(1) 客家藍染的生命週期評估推估。 (2) 客家藍染碳足跡推估。
合成染料的生命週期評估及碳足跡推估	(1) 合成染料生命週期評估推估。 (2) 合成染料碳足跡推估。
客家藍染與合成染料的生命週期評估差異分析	(1) 客家藍染與合成染料之生命週期評估差異分析。
客家藍染與合成染料的碳足跡差異分析	(1) 客家藍染與合成染料之碳足跡差異分析。

二、 預算支用情形：

總經費支出明細表

機構名稱：嘉南藥理大學

計畫名稱：以永續性觀點探討客家藍染技術在產業應用之研究

會計年度：106 年度

支出日期			摘要	金額（新臺幣）						
年	月	日		百 萬	十 萬	萬	千	百	十	元
人事費										
106	5	16	106 年 1 月份專任助理薪資			2	8	0	0	0
106	5	16	106 年 1 月份專任助理健保、勞保、勞退雇主負擔				5	1	8	2
106	5	16	106 年 2 月專任助理薪資			2	8	0	0	0
106	5	16	106 年 2 月專任助理-健保、勞保、勞退				5	1	8	2
106	5	16	106 年 3 月份專任助理薪資			2	8	0	0	0
106	5	16	106 年 3 月份專任助理-健保、勞保、勞退				5	1	8	2
106	5	16	106 年 4 月份專任助理薪資			2	8	0	0	0
106	5	16	106 年 4 月份專任助理-勞保、健保、勞退				5	1	8	2
106	11	13	人事費助理				2	1	7	2
			小計：134,900							
106	5	17	106 年 3 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	5	17	106 年 4 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	5	17	106 年 5 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	9	25	106 年 6 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	9	25	106 年 7 月份計畫主持人費				2	0	0	0
106	9	25	106 年 8 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	9	25	106 年 9 月計畫主持人費				2	0	0	0
106	11	9	106 年 10 月份計畫主持人費				2	0	0	0
106	11	9	106 年 11 月份計畫主持人費				2	0	0	0
			小計：18,000							
106	9	25	106 年 6 月共同主持人費				1	0	0	0
106	9	25	106 年 7 月共同主持人費-校付補充保費				1	0	0	0
106	9	25	106 年 7 月共同主持人費				1	0	0	0
106	9	25	106 年 6 月共同主持人費				1	0	0	0
			小計：4,000							
				共計：156,900						
業務費										
106	5	17	國內差旅費				1	1	1	8
106	5	17	國內差旅費				1	9	3	5
106	5	17	國內差旅費				2	2	9	8
106	11	13	差旅費				3	0	2	0

106	11	13	差旅費				3	3	2	0
106	11	13	差旅費				1	9	8	0
106	11	13	差旅費				1	3	2	9
			小計：15,000							
106	5	17	雜支-106年5月份計畫主持人校付補充保費						3	8
106	5	17	雜支-106年4月份計畫主持人校付補充保費						3	8
106	5	17	雜支-106年3月份計畫主持人校付補充保費						3	8
106	9	25	雜支-106年7月共同主持人-校付補充保費						1	9
106	9	25	雜支-106年7月共同主持人-校付補充保費						1	9
106	9	25	雜支-106年7月共同主持人-校付補充保費						1	9
106	9	25	雜支-106年6月共同主持人-校付補充保費						1	9
106	9	25	雜支-106年9月共同主持人-校付補充保費						3	8
106	9	25	雜支-106年8月共同主持人-校付補充保費						3	8
106	9	25	雜支-106年7月共同主持人-校付補充保費						3	8
106	9	25	雜支-106年6月共同主持人-校付補充保費						3	8
106	9	30	雜支-海報紙					1	2	0
106	9	30	雜支-3M便利貼					1	8	8
106	9	30	雜支-海報紙					3	2	4
106	9	30	雜支-70P影印紙					1	9	8
106	9	30	雜支-3M便條紙						6	4
106	9	30	雜支-70P影印紙				3	0	0	0
106	9	30	雜支-便當費				1	3	0	0
106	9	30	雜支-便當費用				2	3	0	0
106	9	30	雜支-便當費用				1	0	0	0
106	9	30	雜支-3M便利貼					2	7	0
106	11	9	雜支-計畫主持人補充保費						7	6
			小計：9,182							
106	9	29	國外客家藍染研究文獻印刷				2	2	5	0

106	9	29	創新電化學方法應用於藍染生產文獻印刷				2	7	5	0
106	9	29	藍染種植技術文獻印刷				2	0	0	0
106	9	29	藍染再製技術文獻印刷				3	0	0	0
106	9	29	藍靛業研究文獻印刷				1	5	0	0
106	9	29	植物藍靛染料研究文獻印刷				2	0	0	0
106	9	29	植物染歷史文化研究文獻印刷				1	5	0	0
			小計:15,000							
				共計: 39,182						
106	10	12	管理費				3	9	1	8
			小計:3,918							
				共計: 3,918						
合計					2	0	0	0	0	0

參、 檢討與建議：

一、 成果效益：

1. 完成之工作項目與成果

本年度計畫執行目標以山藍為原料之客家藍染作為研究個案，將以建立客家藍染技術之系統範疇，並與合成染料技術應用，進行生命週期評估及碳足跡比較，以研究客家藍染技術在環境永續的優點，計畫達成之成果說明如下。

表 2 計畫完成成果說明

工作事項	完成事項說明
文獻與資料蒐集	(1) 完成個案生命週期系統範疇之界定。 (2) 完成台灣手工藝染織工坊拜訪。 (3) 完成產業現況與傳統技術資料蒐集。
文獻閱讀與資料分析	(1) 完成客家藍染技術國內文獻探討。 (2) 完成客家藍染技術國外文獻探討。 (3) 完成合成染料製程相關資料探討。

客家藍染生命週期資料庫建立	(1) 完成客家藍染生命週期各階段之投入產出數據盤查，包含：藍草種植及製藍階段。
合成藍靛生命週期資料庫建立	(1) 完成合成藍靛生命週期各階段之投入產出數據盤查，包含藍靛染料製造。
客家藍染的生命週期評估及碳足跡推估	(1) 完成客家藍染生命週期評估推估。 (2) 完成客家藍染碳足跡推估。
合成藍靛的生命週期評估及碳足跡推估	(1) 完成合成藍靛生命週期評估推估。 (2) 完成合成藍靛碳足跡推估。
客家藍染與合成藍靛的生命週期差異分析	(1) 完成客家藍染與合成染料之生命週期差異分析，與環境友善性差異釋義。
客家藍染與合成染料的碳足跡差異分析	(1) 完成客家藍染與合成染料之生命週期差異分析與釋義。

- 1、提高客家生活文化之認同，計畫中研究人員透過對客家文化理解與認同，無形中提高了研究人員對客家文化的認識，讓更多朋友理解客家文化特質與推廣客家文化。
- 2、生活中減碳與永續設計的推廣，經由本計畫之執行，客家藍染技術理解與永續連結，透過碳足跡與生命週期評估，將有利於未來推廣優良文化傳統。
- 3、相關人才力之培訓及文章發表，透過個案執行，培養相關於生命週期評估及碳足跡人才訓練。本計畫執行，除了具經驗人員參與外，可以提供碩士班學生及大學生 1~2 名人進行較完整之研究與個案分析，對國內減碳與永續議題及客家文化研究，可提供優良的學習機會。
- 4、另一方面，研究過程對學術理論與個案實務之深入研究與個案應證，有助於客家文化藍染技術在減碳與永續議題的理解，並將相關成果整理發表，提供政府單位未來決策參考。相關學術成果已持續發表於國內外研討會或期刊論文，藉此可進一步提昇客家文化應用的社會價值。

二、與原訂計畫之落差及原因分析：

- 1、客家藍染與合成藍靛的生命週期評估比較上，原訂計畫功能單位是以一碼 (91.44 cm*100 cm) 的布為功能單位，然而考量藍靛染料的靛青素含量及客家藍染重複染色特性，傳統客家藍染以天然發酵之建藍方法，採用反覆浸染模

式，減少能源與水資源消耗，然而需耗費大量時間；合成藍靛則以化學原料經染料還原及氧化程序，大幅縮短染色所需時間，然而實際工業製程，則需耗費大量的能源及水資源；因此本計畫考量評估之合理性，修正採用以一公斤重量染料為功能單位為評估基礎，進行客家藍染與合成藍靛的生命週期評估比較；因此在生命週期範疇與評估方法略有修正，其中生命週期評估範疇方面，以染料製作流程為主，在評估方法中，採用生命週期評估方法中 Eco-indicator99 評估模式及碳足跡。部分方法學應用修正，將可以更符合計畫研究目標，並順利完成計畫預定工作與項目。

三、建議事項：

- 1、目前關於客家藍染的文獻，多偏向歷史探討、產業推廣及染織物性能的分析，比較少於相關學術研究特別是環境友善性方面，例如藍靛染料毒理學研究，物理特性(含水率、物理組成及靛青素含量等)，藍草品種之差異(北部山藍及南部木藍)及國外藍染技術等研究資訊，希望在未來能針對客家藍染去進行更多的關於環境友善性與相關技術方面的學術研究。
- 2、客家藍染相較於合成藍靛，較具有環境友善性，然而本計畫研究發現時間因素仍需考量，事實上傳統客家藍染主要被淘汰的因素，主要在於製作時間過長，其傳統生產流程效率偏低，產能無法有效提升，因此若能提昇染料的靛青素含量或是縮短製程時間，將可使客家藍染重新有機會應用於紡織產業。
- 3、客家藍染傳統技藝在許多技術層面，仍是依靠大量實作經驗，少有明確可量化的科學指標，來進行各階段完成度的判定，例如藍草的浸泡時間及或染缸建藍發酵管控等；若能以科學的方式去量測及分析藍染各階段水體的化學變化，建立起科學指標或數據，將能夠解決經驗不足的問題，提高藍染各階段的成功機率，以增進藍染產業的發展。

四、結論：

本計畫以永續性觀點探討客家藍染技術在產業應用，以客家藍染為個案進行研究，分析客家藍染之生命週期評估及碳足跡排放等環境資訊，並模擬推估合成藍靛與不同靛青素的客家藍染，在滿足相同染色效果之條件下，其環境衝擊分析與比較，本計畫相關結論與建議說明如下：

- 1、客家藍染 Eco-indicator 99 特徵化結果，生命週期評估範疇搖籃到大門及大門

到大門，其環境衝擊面項包含致癌物、吸入性有機物、吸入性無機物、氣候變遷、輻射、臭氧層破壞、生態毒性、酸化/優養化、土地使用、礦產及化石燃料等 11 項環境衝擊項目，皆以藍草種植階段之環境衝擊大於製藍階段。

- 2、客家藍染 Eco-indicator 99 單一得點結果，以藍草種植階段的環境衝擊最大，其值為 181.45 mpt，占整體生命週期 90.17%；損害評估結果，則以人體健康風險的 60.59%最高，其次為資源耗用 30.85%。
- 3、客家藍染碳足跡分析結果，主要溫室氣體排放來自藍草種植階段，排放量為 1.75 kgCO₂ eq.，占整體生命週期 74.81%。
- 4、不同肥料使用量與藍靛產出量的參數分析，每公頃農地之氮肥使用量從 75 公斤增加至 225 公斤，在其他投入條件不變的情況下，藍靛染料產量提升 19%；Eco-indicator 99 及碳足跡環境衝擊結果之影響，則分別增加 24.35%及 17.74%。
- 5、合成藍靛 Eco-indicator 99 單一得點方面，以人體健康風險占 57.27%最高，其中以吸入性無機物、致癌物及氣候變遷較為明顯，其次為資源耗用 38.00%，以化石燃料的衝擊較為顯著。
- 6、客家藍染與合成藍靛環境友善性比較方面，以滿足相同染色效果為比較基準，在人體健康風險、生態品質與資源耗用方面，客家藍染靛青素含量分別需達 4%、7%及 3%含量以上，其環境友善性才可優於合成藍靛，顯示客家藍染提升生產效率的必要性。
- 7、本計畫以客家藍染與合成藍靛為個案進行生命週期評估分析與比較，進行染料製程生命週期資料庫建立；另外藍草品種及種植方法的差異、靛青素含量等因子的影響，仍然具有不確定性。因此在未來仍可研擬探討台灣不同地區藍草品種及種植方法之差異，進一步分析與紀錄其靛青素含量，將可提供不同區域藍染之環境友善性差異與生產效率比較。
- 8、客家藍染在許多技術方面，包含製藍及建藍階段，仍依照傳統的技藝方式，除了製程繁瑣，需花費較多的時間成本，同時產生染料品質不穩定問題；因此未來若能藉由生命週期評估結果之系統分析，導入環境友善的技術改善，進行製藍及建藍階段之生產製程效率之提升，將有機會降低生產成本，對於推廣客家藍染之產業應用，與提升產業競爭力具有一定之效益。

肆、 研究成果全文：

一、 前言

人類紡織應用之歷史文化，從考古資料顯示，染色應用於印度和中東已有超過五千年歷史，早在公元前2500年以前已開始運用自然界植物、動物和礦物精華等，其中大多數染料來自植物界(如植物的根、樹皮、葉子、花果或木料等)，經由簡易加工以製作天然染料，廣泛應用於紡織與各種生活應用。至19世紀起人類開始應用地底的化石資源，將石油工業分餾煤焦油成分製成合成染料，合成染料初期主要以苯胺原料為主，因此又稱為“苯胺染料”，後續合成染料進一步發展不同化學結構類型如硝基、偶氮、靛族等類別，並發展具優良特性之合成染料，相較於天然染料，合成染料具有色澤鮮豔、耐洗、耐曬並能大量生產之優點，自此之後，合成染料的發展憑藉著適合大量生產價格、良好物性優勢與顏色多元等條件，逐漸取代天然染料市場與機會(Savvidis, et al., 2014；經濟部，1991)。相關應用如過去客家優良傳統藍靛，來自藍草萃取物之植物染料，其應用也曾極盛一時，然而大環境改變與潮流所趨，合成染料取代天然染料因而逐漸沒落。

工業不斷進步，帶來許多經濟發展與生活便利。然而環境反撲與永續意識的覺醒，人類漸漸理解維護環境永續與人類生存乃是息息相關。不當的化學產品應用，帶來人類方便卻也造成許多危害人類健康之風險問題。現今，合成染料應用有來自化石原料開採的環境問題，與部分合成染料同時產生許多健康危害問題，例如石油提煉中之偶氮合成染料，證實將有致癌風險問題。再者，合成染料來自石油提煉，將間接與氣候風險有高度的關聯。因此，由以上討論顯示，來自石油提煉之合成染料應用，將會面臨到地球資源有限、減碳議題與人類健康風險等問題。現今，人類是不是應該有新的改變，逐步返歸於自然，考量取用永續之自然資源，而不是無限開採化石資源而造成環境破壞。

至於，染料應用於紡織染整生產過程，主要包含兩個環境議題，其一是，合成染料對人體的風險危害，將可能會造成人體呼吸道過敏，過度暴露將產生眼睛刺痛、咳嗽、胸悶等症狀，部分合成染料甚至具有致癌性風險(勞動部，2013)。根據 Zuskin 等人(1997)研究指出，紡織所使用染料(含合成染料)，若處於不當作業環境將導致慢性或急性呼吸道疾病；Li 等人(2006)研究發現，紡織染印過程，由於暴露在綿塵、酸鹼與染料之環境中，將會提高鼻咽癌發生的機率，顯示染整製程仍有許多環境與毒性風險。至於，另一個環境問題，主要是染整程序將消耗大量水資源及廢水產生問題，染整染色過程將消耗大量的水與熱能，並產大量廢水處理問題，其中廢水中存在許多不易為自然界微生物所分解的合成染料，將隨自然環境流佈影響生態及人類健康，甚至造成環境荷爾蒙(Endocrine Disrupting Chemicals, EDC)問題，危害人類健康。因此，紡織染整產業一向被列為高污染產業(葉孟芬，1999)。根據經濟部相關產業研究指出，紡織染整過程其含染料有機物廢水濃度偏高，染料鹼性添加劑，將導致廢水酸鹼值偏高，並且容易造成合成染料不易為自然界微生物分解，而產生許多環境生態問題(經濟部，1994)。

對於現階段環境問題解決趨勢，逐漸了解回歸自然與講求生態平衡的重要性。人類採取的管理策略，一方面限制我們認為有風險化學物質之使用；另一方面，鼓勵取自植物性材料與生生不息的生活應用。對於含毒性風險與危害之合成染料，國際上逐漸採用各種限制規範，例如石油提煉中之偶氮合成染料，已知為致癌風險物質，歐盟已於2002年禁止使用含有致癌芳香胺的偶氮染料(孫

占懷，2005)；此外，歐盟化學物質限制禁令(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)對於偶氮染料濃度訂定嚴格要求與法規；紡織品環保訴求 Oeko-Tex Standard 100要求不得含有毒性物質於紡織品的應用，對於致癌或引發過敏染料等有害物質，將限制其濃度與應用範圍，目的是減少相關化學物質之使用，維護人類免於毒性風險問題；相關紡織生態標章 Eco-label 標章及 Bluesign 標章皆對印染助劑及印染化學染料，列出符合限用物質清單(Restricted Substances List, RSL) 與相關應用規範(尚曼華，2008)。

另一方面，綠色時尚趨勢與對環境的要求，紡織產品朝向使用天然染料與永續發展的生態化設計。植物染色應用逐漸為綠色時尚所接受，植物染料大部分來自植物萃取，屬於可再生資源，相對於以石油為基礎的合成染料屬於不可再生資源。因此，天然染料轉換化石燃料(石油)合成染料之應用，其環保上具有減毒與減碳機會；天然染料相較於合成染料具有可生物降解、無毒及無過敏特性，部分的天然染料還具有抗菌作用；使用天然染料的織物，展現更高的紫外線吸收，可有機會降低黑色素瘤的發生率(Arora,et al.,2017；Yusuf, et al.,2017)。因此，將天然染料重新加以應用，如客家藍染技術過去已廣泛應用，根據本年度研究結果，其環境問題相對友善，若能將環境永續議題作為新元素的結合，將傳統客家藍染技術加上環境永續理念，以減輕當前合成染料的諸多環境問題，將有機會提升客家藍染之文化應用價值。

天然染料主要來自植物體，依照植物種類的不同，染料也存在於植物體不同部位，例如茜草的根部、木藍的葉子、紅花的花朵及墨水樹的心材等部位(Saxena, S. et al., 2014)；另外植物染料的萃取上，根據各植物染料特性，可選取適當的萃取方式。而影響萃取效率的因素包含萃取介質(如水與溶劑因素)、介質 pH(酸/鹼/中性)和萃取條件(溫度、時間、材料與液體的比例和粒徑)等因素，皆與萃取成效相關(Arora,et al.,2017；Saxena, et al., 2014；陳麗舟等人，2007)。例如茜草色素在室溫下的水溶性不佳，需要在高溫環境下色素才能在水中溶出；木藍及山藍等藍色植物染料，須先經由製藍階段，將葉片中色素釋放並轉換成為靛青素，再經由建藍階段進行發酵還原反應成靛白素，才擁有紡織品染色能力。

客家藍染技術，早期台灣客家文化已廣泛應用並具有商業價值。來自天然

植物提煉藍靛作為紡織染色技藝之特色，乃由於藍靛萃取自天然藍草，相較於合成染料將可能更具有環境友善性與低毒性之機會。客家藍染技術，過去普遍應用於日常生活衣服、袋子、錢包、抱枕與絲巾紡織產品等。然而，基於現代環境永續思維與綠色產品之潮流，傳統技術應用之所以沒有競爭力，一定存在著許多成本與技術有效性之問題或盲點，相關解決改善方案值得進一步研究，透過研究探討其技術應用相關特性，了解目前技術過程之環境友善性與成本效益，並研究其產業沒落的關鍵問題，包含從藍草種植、藍靛製作及布料染色等不同階段，以生命週期思考(Life Cycle Thinking, LCT)觀點與碳足跡(Carbon Footprint, CF)等應用分析工具，探討傳統天然植物染料應用於減碳與環境友善性之社會價值，並研究可能的創新與改善想法方案，進一步加以改善或重新設計，將客家藍染應用建立在傳統文化基礎上，研究客家藍染具有商業價值之可行方案，與產業應用價值點，並期望能透過相關研究計畫推展與成果，進一步商品化並結合產業應用。

本年度客家產業發展策略重點研究方向，其中包含客家服飾產業發展相關策略與客家特色產業品牌建構相關策略之重點研究。本計畫也基於本年度之重點計畫，將焦點於客家既有文化在產業應用。因此，本計畫訂定一年規劃，以藍染染坊為個案，選定客家藍染為研究對象，界定研究之系統範疇(染料製造階段)，以碳足跡及生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)等研究方法，以減碳與生態永續觀點量化客家藍染文化可能蘊涵之減碳與永續價值。透過客家藍染之生命週期分析，澄清客家藍染技術應用在永續應用的價值與特色，並找到產業應用之弱項與提出改進方案，並與合成染料進行比較，相關研究結果，將有助於了解客家藍染文化個案之碳足跡與環境友善性(圖1)，預估或設計創新客家藍染技術應用，透過選定客家藍染技術為個案研究，期望對藍染技術在永續議題提供嶄新的機會，在兼顧文化特質、環境永續觀點及創造社會價值模式下，藉此研究問題澄清與提出創新想法，可將藍染技術再次應用於我國紡織產業，並創造產業應用價值，創造三贏的局面。

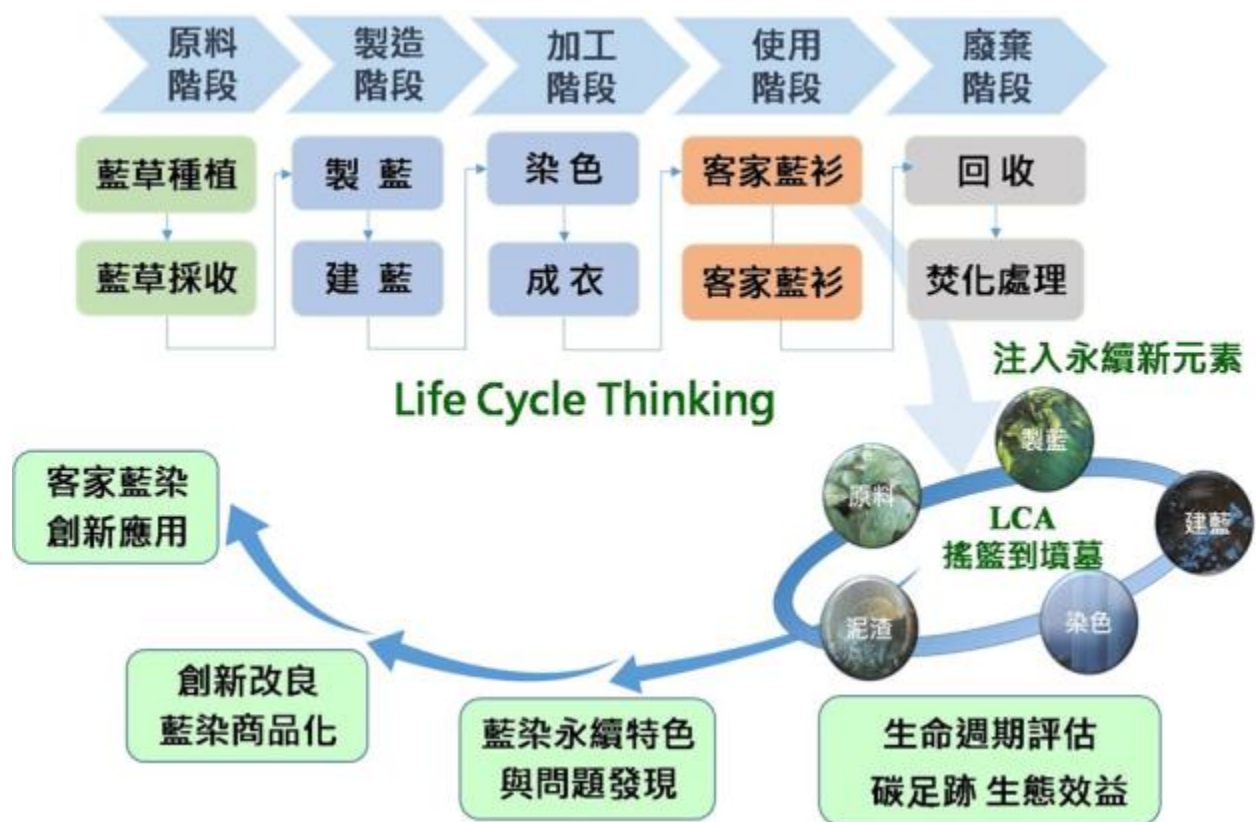


圖1客家藍染技術永續特色研究與價值提升

二、 文獻回顧

(一)、 染整產業之環境問題探討

自從合成染料問世以來，逐步取代天然染料市場，然而合成染料背後的环境與人體健康問題，也隨著紡織規範與環境永續觀念提升而逐漸受到重視。其中染整廢水一直以來對環境污染產生莫大的衝擊，以及部分合成染料於染印過程中對人體健康可能之風險，加上國際規範要求紡織產品無毒化需求日趨嚴格，因此合成染料應用將面臨諸多限制。此外，近年來紡織業紛紛朝向綠色時尚與生態紡織等環境友善面向發展，茲相關問題探討分述如下。

1. 現代化染整產業特色

染整產業主要係利用紡織、化學與機械專業知識，將纖維的集合體(如紗、布)經過適當的前處理(退漿、精鍊、漂白、絲光)、染色、印花及加工整理(圖2)，以提升產品顏色、觸感等外觀及防水、透氣等機能性(勞動部，2013；經濟部，2014)。染整為紡織產業相當重要一環，上承織布、紡紗、人造纖維業，下接成衣、服飾品業，台灣染整業占紡織業出口比重相當高可達 63%，是我國外

銷創匯主要來源之一 (勞動部，2013)。

目前我國染整產業仍以接單代工生產者為多，染整技術主要來至日本或歐洲染整助劑商或機械製造商為主 (經濟部，2002)。2013 年止全台有合法登記染整廠 470 廠次以上，其中染布廠約 69%、染紗廠約 18%，其餘如印花整理等 13%，染整產業涵蓋範圍廣泛，以紡織材料種類區分，主要可分為染紗、染布及成衣染色三大類，在台灣染整業當中以筒紗及針織、梭織布染色最為普遍(經濟部，2014)。顯示染整產業在台灣紡織產業的重要性，隨著國際生態紡織發展趨勢及合成染料對環境的諸多問題，因此發展具有永續特質之染料技術，將是未來主流趨勢。客家藍染技術，在台灣具有相當輝煌的歷史紀錄，且其產業技術與永續應用價值，有相當多觀點與環境永續完全契合，很有機會透過注入新元素，而發展成具未來性與永續價值的產業應用。

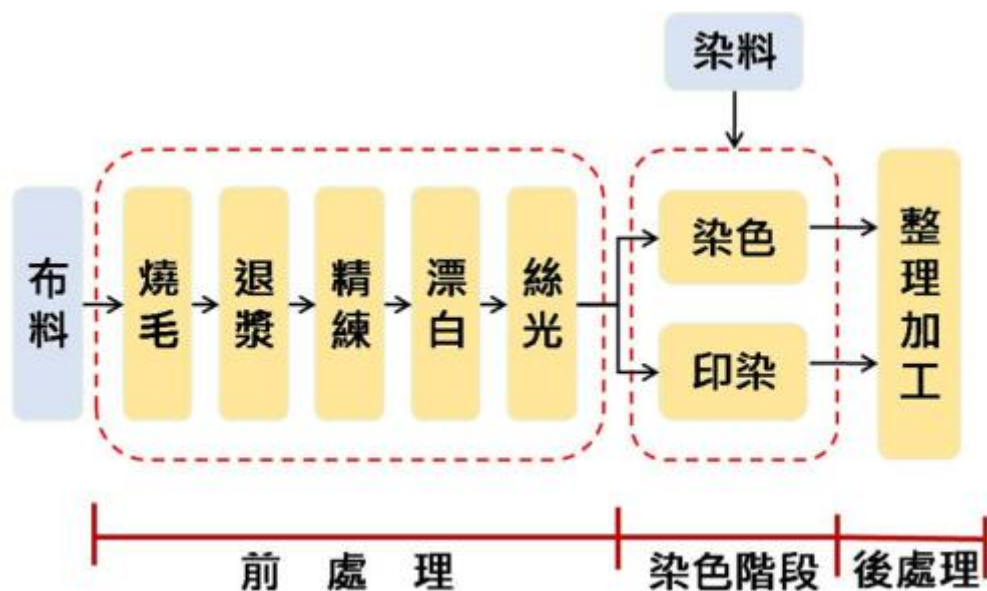


圖 2 現代化染整產業製程流程圖

2. 合成染料之危害

化學合成染料的興起，使得天然植物染料失去往日的光環。雖然化學合成染料具有許多優點，能滿足目前產業需求，然而化學合成染料在製造及加工過程，需添加強酸、強鹼、溶劑或是重金屬等輔助添加劑，將造成許多環境污染問題 (Savvidis G, 2014)。

合成染料應用於染整過程，染整從業人員長期暴露在此環境下，可能會造

成人體呼吸道過敏，過度暴露將對皮膚及眼睛造成過敏或刺激反應(Nilsson,1993; Zuskin, 1997)；再者，含偶氮染料合成染料含有聯苯胺(Benzidine)成分，將會導致癌症風險與危害。許多研究指出，暴露於含聯苯胺的環境將會導致膀胱癌(You, 1990; Vineis, 1997; Kiriluk, 2012)；除了染料本身對人體健康危害外，染整程序輔助還原劑與催化劑等添加，或二亞硫酸鈉與丙烯腈等添加，不當暴露將直接造成皮膚或眼睛的刺激，嚴重條件將造成健康或生命的危害(勞動部，2013)。

至於，染整廢水所產生高耗水與高污染議題。一般而言，染整廢水屬於高有機物污染，具有 pH 值偏高且色度偏高等特性(經濟部，1994)，將對生態水域造成相當大的危害。其中的成分包含有機物、酸、鹼及重金屬添加，隨著加工方法或染料助劑種類等因素而有所差異。以加工方法來區分，壓染廢水的高有機物污染之化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)，其濃度可達 3,000 ppm(百萬分之一)，其次是印花，最低為浸染廢水，其化學需氧量一般在於 1,000 ppm(經濟部，2002)。以染料助劑來區分，硫化染料可經微生物可分解之生物需氧量最高，高達 3,000 mg/L，其所含有機物比較容易為微生物所分解，將可透過廢水處理技術去除大部分有機物；其次是藍靛染料，含偶氮染料最低，生物需氧量最低約在 200 mg/L(經濟部，1991)。以下針對合成染料於生命週期各階段之環境衝擊特性進行探討，說明如圖 3 所示：

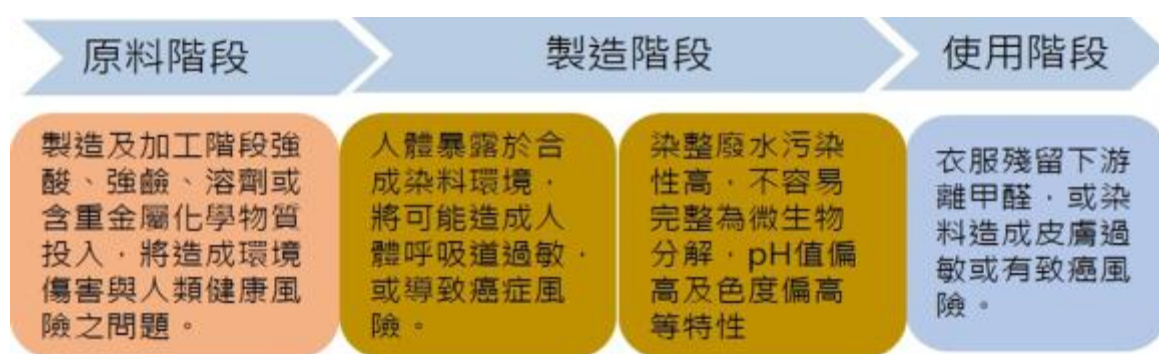


圖 3 合成染料之環境衝擊

3. 國際法規對染料毒性要求及趨勢

根據行政院環保署對綠色(環保)服飾或綠色時尚的環保要求概念，包含「從原料、染料、設計到製造必須都符合環保」。對於生態化紡織在毒性與環境友善要求包含(一)纖維產品在加工過程，特別是染整或印染過程，盡可能使用無毒、

可自然分解之漿料、染料及整理劑等；(二)纖維產品消費及使用過程需對人體友善及舒適；(三)纖維產品消費使用後，不會因遺棄或處理帶來環境問題，最好能迴圈利用，或能自然分解。再者，根據 Mahajan(2012)認為綠色時尚是來自於地球自然環境，不消耗有限資源，並嚴格規範紡織工業中使用有害化學物質和染料。Aaijaz et al. (2010)對於綠色服裝產業的定義，其中纖維織成布料不應該使用化學染料或漂白劑；再者，葉朝枝(2012)陳述綠色服裝又稱為生態服裝或環保服裝，它是用以保護人類身體健康，使其免受傷害，並且應無毒與安全的優點，給人舒適、放鬆、回歸自然與心情舒暢的感覺。此外，英國環境食品暨鄉村事務部(Department for Environment, Food & Rural Affairs, DEFRA)推動改善紡織服裝業計畫，從服飾設計、材料選擇、生產、包裝、運輸到最終處置，使得整個服飾生命週期更加環境友善，國際品牌大廠 Tesco, Nike, Marks & Spencer 等國際廠牌皆參與計畫(郭敘吟，2009)。由以上討論，顯示紡織對於環境永續友善性要求已是主流趨勢。

由於生態紡織的國際趨勢，國際上紛紛制定紡織品法規及檢驗標準，許多國際法規或標章皆針對紡織品恐引起致癌或引發過敏染料、甲醛、重金屬等多種有害物質進行管控。例如 Oeko-Tex Standard 100 標準專門檢測及限制紡織品使用有害物質，包含致癌或引發過敏染料、甲醛、重金屬或殺蟲劑等化學物質添加進行管控；在紡織生態標章(Eco-label)標章則對鉻媒染劑染料及偶氮類染料皆限制使用(尚曼華，2008)。在紡織產品朝向生態化與環境友善性的趨勢下，紡織品各生命週期階段，則需要具有環境友善的管理策略，包含：(一)選擇使用能被再生或重複利用的原料；(二)減少在生產加工過程中對環境的影響；(三)使用過程對人體安全 and 健康不造成影響；(四)廢棄後不會對環境造成新的污染等四項，希望能藉此減少環境衝擊與維護人類健康，塑造一個低污染、低毒性與可回收的生命週期管理系統(尚曼華，2008)。

因此，由以上國際趨勢顯示，紡織業需要有新的永續理念才有機會持續發展，基於永續再生、無毒化與安全回歸自然的產品使用原則，客家藍染技術應用已具有許多環境友善條件與機會，從早期的藍染到現代的染整業，雖然合成染料具有可大量生產與價格低廉的優勢，卻造成許多環境問題與人體健康危害與風險，隨著環保意識抬頭及法規日漸嚴格，紡織產業應重新思考天然染料的

可行性，傳統的客家藍染技術具有可減少使用化學添加物之特性，將可減少人體健康及環境的威脅與危害，因此將有機會重新詮釋客家藍染技術，投入環境永續的新元素，將有機會提高客家藍染技術的附加價值。

(二)、 合成藍靛染料(vat blue)之發展

合成藍靛技術發展歷程，從 1870 年被德國化學家拜爾(Adolf von Baeyer)發現到 1901 年為止，發展出多種的合成藍靛方法；其中為產業經常使用之方式主要是 Heumann-Pfleger 法，此方法乃是利用苯胺與氯乙酸等化學原料反應製成藍靛，全球最大藍靛製造商巴斯夫(Baden Aniline and Soda Factory, BASF)公司，即採用此方法；然而在合成藍靛染料現在工業的染色過程中，仍需要耗費大量的水及能源，因此從生命週期的方面來看，尋找天然及環境友善性染料，來替代合成藍靛染料，將有助於環境保護。

1. 合成藍靛染料歷史

合成藍靛最早是由 1870 年德國化學家拜爾利用靛紅(Isatin)與三氯化磷反應生成(如圖 4 所示)。之後拜爾在 1882 年與丹麥化學家德維森(Viggo Drewsen)發現藍靛的化學合成方法，其中丙酮(Acetone)和鄰硝基苯甲醛(2-Nitrobenzaldehyde)合成方法(Baeyer-Drewsen 法)，曾被德國巴斯夫公司運用在工業製程上，但因生產成本過高及技術不夠成熟，而停止生產(Schmidt, H.1997；BASF,2015)。

1890 年瑞士科學家休曼(Karl Heumann)發明了由鄰氨基苯甲酸(Anthranilic acid)和氯乙酸(Chloroacetic acid)，經縮合、鹼熔、脫羧、氧化得到合成藍靛的方法。在經歷多年研究 1897 年巴斯夫公司成功地將合成藍靛染料量產，合成藍靛被大量生產以來，將近 9 成以上的合成藍靛投入牛仔褲染色(Schmidt, H.1997；BASF,2015)。

1901 年美國科學家福萊格(Johannes Pfleger)改良休曼的製程，改用苯胺(Aniline)取代鄰氨基苯甲酸與氯乙酸反應生產藍靛，新製程的優點在反應物產率提升，且原料取得容易(Freeman et al., 2000；Schmidt, H.1997)。現今藍靛製程都是採用至 Heumann-Pfleger 法(邱永亮，1993)。

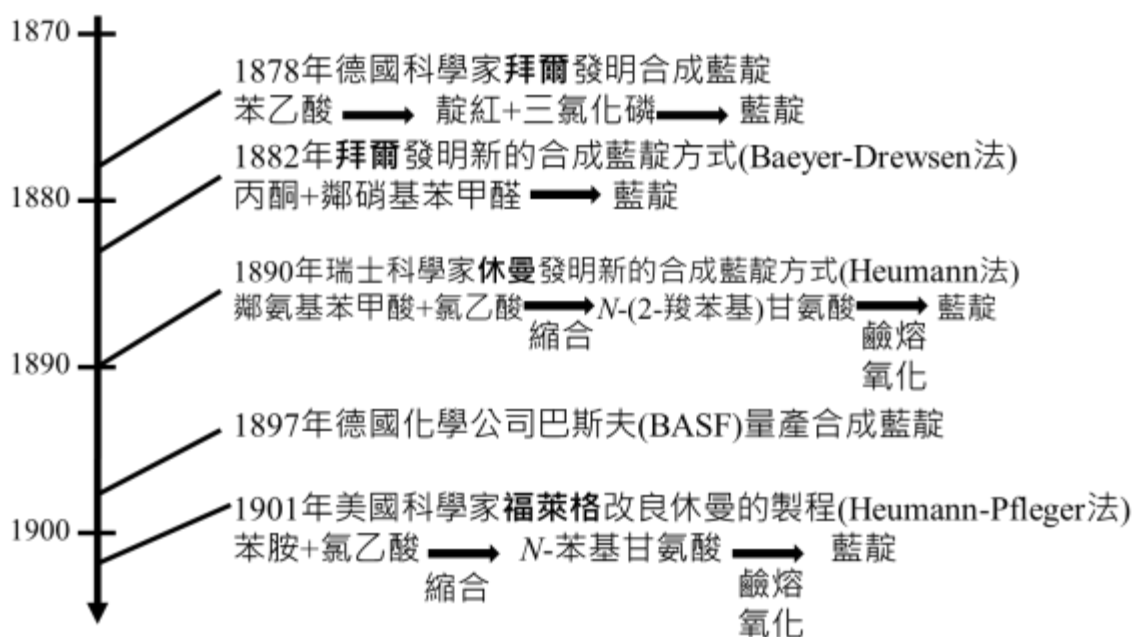


圖 4 合成靛藍製程的演進

2. 合成靛藍染料製程

合成靛藍染料之合成，經過長久鑽研，也發展許多不同的合成方式，其中較為人知的方法有拜爾與德維森所發現以丙酮和鄰硝基苯甲醛為原料的 Baeyer-Drewsen 法，以及由福萊格改良休曼合成的 Heumann-Pfleger 法。

另在商業考量的情況下，一般產業是採用原料取得容易，且產率較高的 Heumann-Pfleger 法來合成靛藍染料，其製作過程如圖 5 所示，其合成程序首先以苯胺與氯乙酸進行縮合反應生成 N-苯基甘氨酸(N-phenylglycine)，再與氫氧化鈉、氫氧化鉀及氨基鈉等鹼性物質，在反應釜中進行鹼熔反應，將反應釜中的產物再經由氧化、粉碎及脫水等步驟，得到合成靛藍。

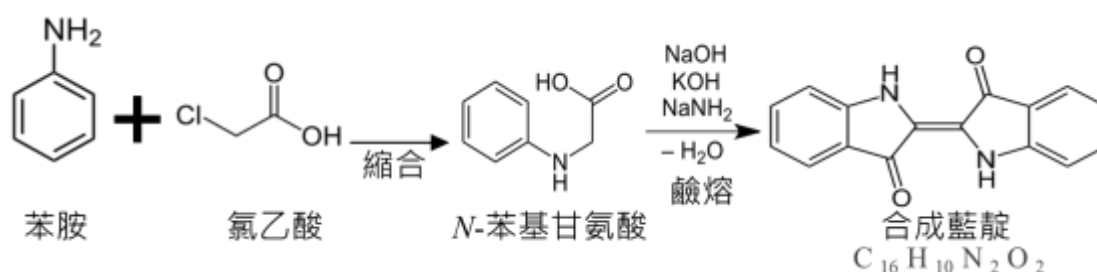


圖 5 (Heumann-Pfleger 法)化學反應式

另外，成本上 Baeyer-Drewsen 法生產成本過高，不適合應用於產業生產上，

然因製程簡單，仍常見應用實驗室及有機合成化學理論課程中，其合成步驟 (McKee, J. et al. 1991) 如下：

Baeyer-Drewsen 法

1. 在試管中，將 0.5 公克的鄰硝基苯甲醛溶於 5 毫升的丙酮中。
2. 加入 5 毫升的水，用攪拌棒攪拌。
3. 滴加 2.5 毫升的 1 莫爾 NaOH，並使其反應 5 分鐘。
4. 通過抽吸過濾收集沉澱的藍靛。

3. 合成藍靛染料毒性

合成藍靛染料自 1870 年被發現以來，鮮少有毒理學分析研究，然而自 1962 年以來，關於合成藍靛的毒理學研究越來越多 (Roessler, A., 2003；Ferber, K.H., 1987)，例如在半數致死量 (Median Lethal Dose, LD50) 研究中，哺乳動物的 LD50 值約在 5,000 mg / kg (NaCl 的 LD50 值：3,000 mg / kg)；其他相關毒理學研究如表 1 所示；因此，對於合成藍靛染料結論是具有非常低的急性和慢性毒性。

表 1 合成藍靛毒理學測試

測試類型	受測對象	測試結果
生殖研究或致畸性研究	老鼠	沒有發現負面影響。
亞慢性餵食試驗	狗及老鼠	除生物體著色外，沒有顯示出現嚴重的負面影響。
皮膚致敏試驗	兔子及老鼠	沒有顯示不利影響。
皮膚致敏試驗	人類	少數受測者會觀察到產生局部的短暫性紅斑。

4. 合成藍靛染料染色程序

由於合成藍靛屬於還原性染料，即染料本身並不溶於水，無法直接對布料

纖維進行染色，須將染料浸泡在鹼水中，再添加保險粉等輔助材料，進行還原作用將藍靛還原成水溶性的靛白素，使其對布料纖維具有親和力，再將布料纖維浸入溶液之中，吸收靛白素，最後再經由雙氧水等輔助材料，進行氧化作用將靛白素氧化成為靛青素，以達成染色之目的(經濟部工業局，1994；張林生等人，2005)。

一般工業製程，如圖 6 所示，分成還原、染色、氧化及皂煮等四階段；還原階段，也就是靛白素的生成過程，一般來說都是在鹼性的環境下進行，在藍靛染料的分子結構中，含有羰基 ($=C=O$)，在與強還原劑低亞硫酸鈉(保險粉)的作用下，羰基被還原成羥基($-OH$)，生成靛白素；染色階段，藍靛染料經保險粉還原成水溶性的靛白素，布料在經過染色槽時，靛白素會先吸附在纖維表面上，再向纖維的內部擴散，完成纖維染色的動作；但因染料移染的性能較差，可能會產生染色不均勻的狀況，因此會在染色的過程中添加潤濕劑，來幫助均勻染色；此時剛染色完的布料，呈現墨綠色；氧化階段，在纖維上的靛白素，須經空氣或氧化劑來氧化，轉變為原本不溶於水的藍靛染料，常用的氧化方式包括了空氣氧化、或使用雙氧水及過硼酸鈉等輔助材料來進行氧化；最後藉由皂煮階段將存在於纖維表面上的浮色去除，使染色織物具有鮮豔的色澤及較佳的色牢度；另外，在染色、氧化及皂煮階段之後，針對布料進行水洗程序(江蘇亞邦染料官網；安漠，2012)。



圖 6 合成藍靛染料染色程序

5. 合成藍靛染料廢水處理

由於合成藍靛不溶於水，所以化學性質非常穩定，在生物處理系統中，合成藍靛不容易降解；在廢水處理廠中主要是藉由添加硫酸亞鐵、石灰及明礬，以膠凝及吸附等處理方式去除廢水中的合成藍靛(Roessler, A., 2003；Manu, B., 2007)。

此外，在現代染整製程中，合成藍靛染色廢水通常會有較高化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD)、pH 值、懸浮固體(Suspension Solid, SS)、溶

解固體(Dissolved Solids, DS)和色度。其中又以化學需氧量和色度為環境排放監測的重要指標 (Manu, B., 2007)。

(三)、 客家藍染在紡織產業應用之歷程

紡織產業是屬於民生必需工業，乃是古老的傳統產業。其產業需求主要受到人口增長和經濟繁榮因素之影響。台灣紡織產業供應鏈，包含最上游石化原料提煉或綿花種植等各種天然原料之生產製造、經抽絲、紡紗、織布，到中游的染整與印染加工，及下游服裝製衣與銷售。由於台灣紡織產業發展歷程悠久，並具備完整產業供應鏈與全球競爭力，因此紡織產業一直是台灣經濟發展重要的產業。其發展歷程軌跡，自從十八世紀後藍染產業萌芽，客家藍染技術逐漸發展成具規模的國際貿易，台灣藍染染料於當時創造出台灣出口產品之前三大佳績，而後台灣持續傳承並發展成現代化染整技術與紡織產業，紡織產業曾為台灣創造許多外銷光榮歷史，其中染整技術的發展乃是紡織產業的重要關鍵，現今台灣紡織建立在深厚的技術與文化歷程基礎，並積極拓展國際化生產與分工，順應全球走向無毒化生產與發展永續經營模式，持續發展台灣紡織產業。茲將進一步說明藍染技術，現代化染整技術及藍染技術在永續思維的應用，其可能的價值與機會。

1. 台灣藍染歷程

台灣藍染技術應用與產業發展(如圖7所示)，源自17世紀時代荷蘭佔領台灣時曾引進木藍栽植之記錄，至明鄭時期移民屯墾政策下，引進木藍及山藍兩種藍草植物種植於台灣土地，後來藍草種植也成為台灣重要經濟作物之一(林青玫，2011)，藍草植物製成藍靛出口貿易也蘊含在客家文化之中，於十八世紀末至十九世紀初期，台灣藍靛出口貿易達到最興盛時期，不僅出口中國，甚至還外銷到歐洲，根據當時淡水海關的貿易量紀錄，1880年最高峰期曾高達21,000擔(1擔=60公斤)(馬芬妹，2007；陳景林，2004)，顯示藍靛帶來當時的榮景，然而化石原油的應用與工業科技進步，合成染料憑著大量生產與價格較低之優勢漸取代傳統藍染產業。

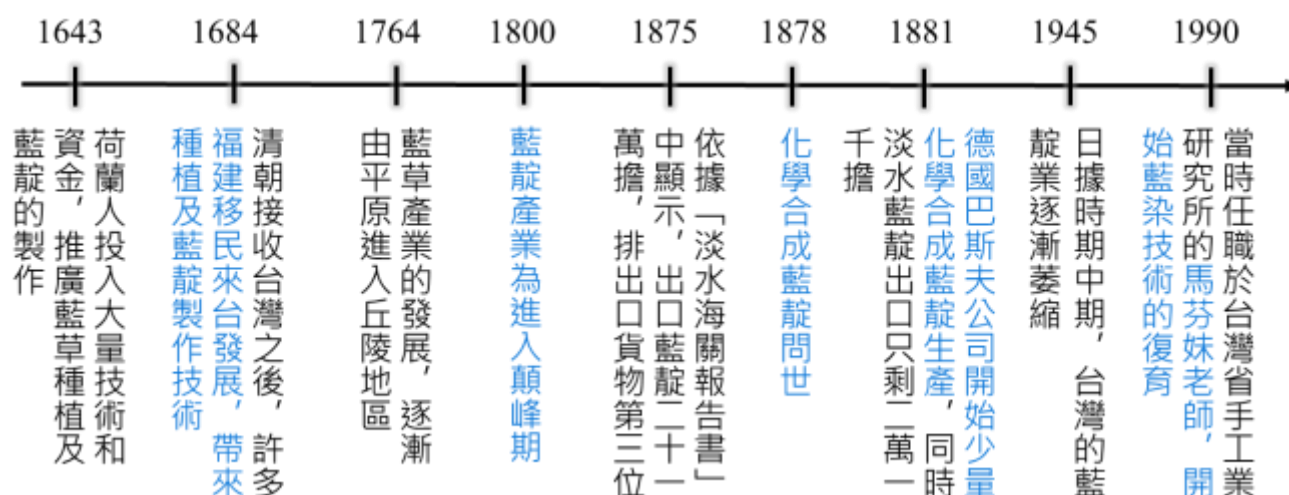


圖7 客家藍染在台灣之興起與沒落

天然染料主要皆取自天然植物、動物與礦物，直到1856年英國化學家柏金(Perkin, W.)發明第一個合成染料(mauveine)，以及1883年德國化學家拜耳(Baeyer A.)發展出合成藍靛(Indigo)的方法，並因而於1905年獲得諾貝爾化學獎，顯示改變人類發展的重要歷程，人類紡織也轉為合成染料應用的時代。德國拜耳所開發的合成藍靛，由於合成染料具有可大量生產之優勢，因而染料價格下降，且合成染料具有顏色多元之特性，使得天然藍靛的需求漸漸受到影響而減少。當時台灣社會工業落後，無法跟隨科技進步，因此藍染產業逐漸沒落，取而代之是台灣高經濟作物茶葉種植，農民紛紛改種生長條件與山藍相似之茶葉經濟作物(陳隆進等人，2007)。

台灣藍染產業近 60 餘年，商業機會日漸減少，藍染產業在客家文化之過去榮景與工藝技術因而沒落。但 1992 年開始，國立台灣工藝研究所開始投入藍靛技術重建，從藍草種植復育、製藍及建藍技術，以及各種藍染工藝技術發展，逐步復興整個藍染產業，包括出版藍染技術相關書籍，開辦藍染研習會，以利藍染工藝人才的養成(馬芬妹，2007)。

2. 台灣常見藍草種類

藍草為植物體內含有靛青素，可提供藍靛染料製造的植物統稱，在藍染產業長久的歷史以來，常用於製作藍靛染料的植物，包括爵床科山藍、豆科木藍、蓼科蓼藍及十字花科的菘藍等四種藍草，而台灣藍染產業主要以馬藍及木藍為主要的藍草品種。

(1) 山藍

山藍，如圖 8 所示，是爵床科草本植物，又稱「大菁」或是「馬藍」，屬於亞熱帶植物，喜好背陽與濕冷環境，種植時需做遮陽處理，避免陽光直曬，其收成時節分別於 6 月與 10 月期間。山藍屬於草本植物，但經過多年生長，仍可長成為灌木，山藍除了葉子可製成藍靛之外，其根莖可製程中藥「板藍根」。至於，台灣山藍分布，由於山藍適合於溫暖潮濕背陽的低海拔山區，因此山藍大多種植在台灣北部、中部丘陵山地之間，像是三峽、石碇、坪林與暖暖等山區(馬芬妹，2007；林潔怡，2006)，也由於山藍種植地點屬於濕冷、含水氣之環境，因此山藍種植較不需要額外水資源灌溉。



圖 8 山藍照片

圖片來源：台灣工藝研究中心

(2) 木藍

木藍，如圖 9 所示，是豆科多年生草本植物，又稱「小菁」，屬於熱帶至亞熱帶植物，其生長條件屬於向陽與耐旱之環境，一年可有二至三穫。木藍在藍草植物中屬於藍靛素含量較高，是相當優勢的藍染植物。一般種植兩年以後，需更新種植，在日照充足條件下極易繁殖，叢生如灌木林，菁幹迅速木質化；木藍原產於印度，因此木藍又有「印度藍」之稱。台灣早期種植於中南部平原，從大甲溪往一路南到鹽水河流域等，此外，桃園或新竹等沿海平原地區，也曾有種植木藍的紀錄(馬芬妹，2007；林潔怡，2006)，其種植範圍相當廣泛。



圖 9 木藍照片(拍攝時間:2017.05.11)

關於早期山藍及木藍在台灣之種植分布，如圖 10 所示，山藍主要分布於北部與中部地區；木藍在中北部皆有，其中以南部略多。



圖 10 早期藍草在台灣之種植分布圖

3. 常見的植物染料萃取方式

植物染料主要從植物體各部位萃取而得，其中含有染料成分的植物部位，其染料成分通常僅為 0.5-5%(Saxena,etal.,2014)。這些植物部位染料含量無法直接應用於紡織品染色，需進一步生產再製，經由萃取技術導入，與後端的濃縮或乾燥(Arora,et al.,2017)，才足以應用。天然染料萃取的是一個複雜的過程，除了植物體之植物基質外，尚有各種非植物成分之干擾，因此在萃取過程之前，需確定染料性質和溶解性。常見的染料萃取方法如表 2 所示：

表 2 植物染料萃取技術

染料萃取方法	原理
水萃取法	以水為介質，從植物和其他材料中萃取染料，一般程序中，需將材料用水浸泡一段時間，然後煮沸並過濾得到染料溶液。 缺點：時間長、需水量大、萃取溫度高與染料產率低，僅適用於水溶性染料。
鹼/酸萃取法	許多染料含糖苷(glycosides)形式，可以稀酸性或鹼性溶液提取。加入酸或鹼促進糖苷的水解，以提高染料產率。 缺點：部分植物體或非染料之成分可能會受到 pH 值變化影響而溶出效率，進而影響染料純度。
發酵法	萃取過程中，藉由大氣中存在或自然資源中存在的微生物產生酶進行輔助。最常使用該方法的如藍靛染料，發酵法與水萃取法相似，可以不需要提高溫度進行萃取。 缺點：提取時間長，微生物作用引起的臭味等。
酶萃取	藉由酵素分解植物體中的纖維素、澱粉和果膠成分，使能在溫和的條件下萃取染料分子。此方法常用於樹皮及根部等植物部位。
溶劑萃取	使用丙酮、石油醚、乙醇及甲醇等有機溶劑，或是水與醇類的混合物等進行萃取。水與醇類的萃取方法能夠從植物體中萃取水溶性和不溶水性的物質。因此與水萃取法相比，有較好的萃取效率。也可將酸或鹼加入到醇溶劑中以促進糖苷水解和色素釋放，溶劑可以通過蒸餾並重複使用。 缺點：存在有毒殘留溶劑及溫室效應，且萃取介質不溶水。
超臨界流體萃取	超臨界流體萃取是利用氣體在超臨界溫度和壓力條件下，

染料萃取方法	原理
	呈現流體狀態。超臨界流體能夠溶解許多物質。通常使用二氧化碳作為超臨界流體成分，主要因為二氧化碳無毒性、價格便宜，容易獲得且不留下殘留物。 缺點：設備成本高。

4. 藍染製作技術

藍染技術原理，主要核心為來自藍草之藍靛染料屬於還原性染料，其染料特性不溶於水，因此無法直接提供纖維染色作用，須在鹼性溶液條件下，產生還原後與纖維附著與親合聯結，經由藍靛染料浸泡之纖維，需再經過曝曬之氧化反應，才能將染料顏色固定於纖維。傳統藍染製作過程，可分為製藍、建藍與染色三個階段(圖 11)，製藍階段主要目的是萃取藍草植物之靛青素，並製成藍靛；建藍階段則是將藍靛浸泡於鹼液，使其發酵還原具有染色能力；染色階段是利用不同的技術工藝，將布料染上顏色及圖案。茲將藍染技術三階段進一步說明如下：

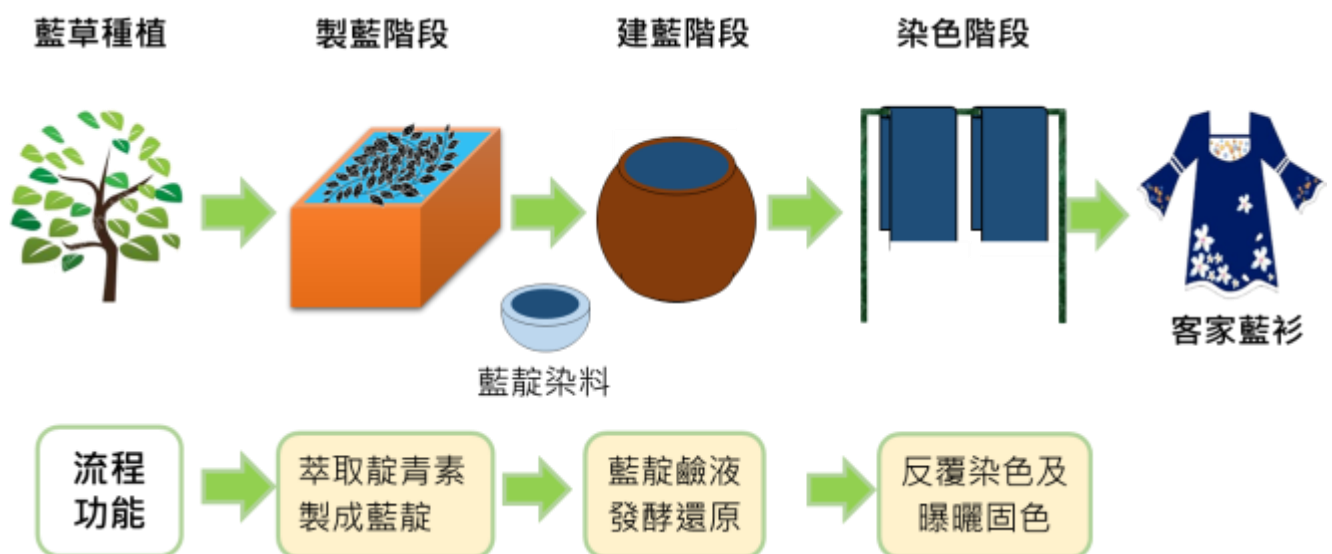


圖 11 客家藍染技術流程圖

(1) 製藍階段

製藍階段主要運用收成之木藍或山藍藍草植物，萃取其中之靛青素，並濃縮成泥狀藍靛，其製藍程序將隨環境與氣候之不同，可選用「生葉浸水沉澱法」

或「乾葉堆積發酵法」兩種技術，前者適合台灣氣候條件；後者是適合乾溼度差異不大的地區(馬芬妹，2007；林潔怡，2006；台灣工藝研究中心)，其萃取技術略有差別。

生葉浸水沉澱法(如圖 12 所示)主要將收成之木藍或山藍等藍草植物，將新鮮藍草葉子浸水，使葉片中的原靛素(Indican)釋放到水中，再藉由水解作用分解成吲哚酚(Indoxyl)及葡萄糖；依氣溫條件及腐熟程度分離褐黃色腐葉，避免發生異性發酵來分解吲哚酚；接著投入石灰乳混合攪拌(打靛)，促使氧化成非水溶性靛青素(Indigo)，由於石灰含鈣離子與靛青素結合，使得靛青素將沉澱於底層，再進行固液分離廢棄上層透明廢液，後續再將藍色沉澱液過濾，其泥狀固體即為藍靛染料。一般來說，生葉浸水沉澱法的染料製成率約 10~12%，靛青素含量約在 2-10%(李貴民，2004；蔡承豪，2012)；另外，為了避免藍靛染料受雜菌孳生，進而影響藍靛染料品質及保存期限，藍靛染料含水率越少越好，一般泥狀的藍靛染料，含水率至少要在 70%左右。

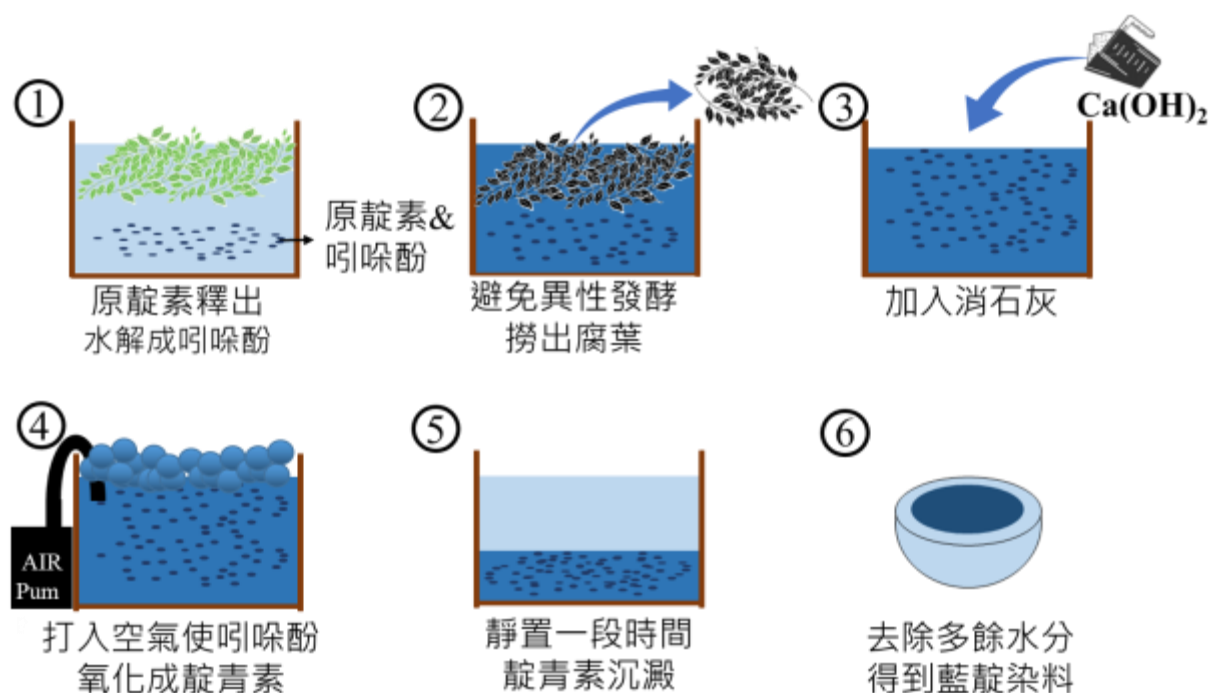


圖 12 客家藍染製藍階段流程圖

雖然生葉浸水沉澱法屬於傳統技術，但現今現代化萃取技術發展成熟，因此若能將傳統技術優點再融入現代化技術優點，將有機會提升藍染應用之價值。

(2) 建藍階段

藍染從其化學特性觀點，屬於還原性染色法，由於靛青素(Indigo)是非水溶性染料，無法直接調水進行染色，須經由發酵還原過程將靛青素(Indigo)還原成水溶性的靛白素(White Indigo)，才具有纖維染著力(林潔怡，2006)，如圖 13 所示。在傳統客家藍染的技藝中，藍靛染料通常是在染缸中進行建藍的程序，利用鹼性木灰水來溶解藍靛染料，並添加麥芽糖、酒精等營養劑，經過一至二週發酵還原時間才能完成；在建藍的過程，常會受到氣溫、pH 值、營養劑類型或是藍靛染料品質等因素，干擾染缸內發酵菌的繁殖增長，進而影響建藍的時間。由於現代化學合成技術進步，為了縮短建藍時間，而採用氫氧化鈉及低亞硫酸鈉(Sodium Hydrosulfite, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$)來替代天然木灰水、麥芽糖及酒精等添加材料，可縮短藍靛染料發酵還原時間。

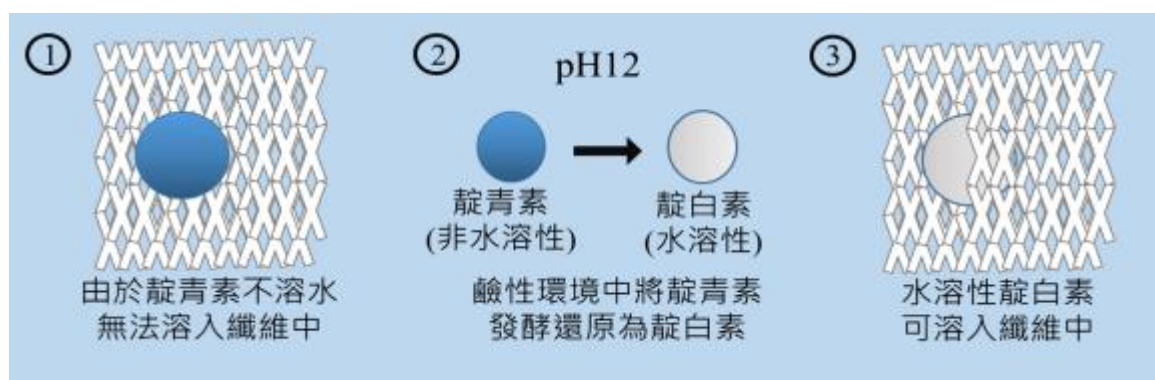


圖 13 客家藍染建藍階段反應步驟

(3) 染色階段

在染色階段會因對紡織工藝品加工順序不同，可分為「先染後織品」及「先織後染品」兩大類，若根據加工技術、工具材料與產製方式，可再細分如表 3 所示(馬芬妹，2007)：

表 3 客家藍染技術

藍染技術	說明
素地藍染	將白布直接於藍染缸染色，染出深淺布濃淡不一的單色藍染布，如水藍、淺藍、深藍等。
縫紮藍染	利用針線在單層布或是對摺布上，沿著記號施以平縫、摺縫線，縫畢將其抽緊打結，糾撮形成皺摺，藍染時染液無法滲透，產生防染作用。

夾版藍染	以耐水木板雕刻透空花版，白布對折夾於兩片相同圖案的木雕版浸染，造型圖案會對稱合而為一。
畫蠟藍染	以毛筆或蠟刀沾取溶解流動的蜂蠟、木蠟與石蠟等，於布上點描畫上圖案，使熔蠟滲入布纖維內層固結形成防染作用，再進行藍染程序，完成後除蠟將留下圖案。
型糊藍染	使用黃豆粉與消石灰調製成防染糊劑，將雕刻鏤空圖案型版置於布上，刮上防染糊，待乾後再進行藍染。
染線織布	將棉、麻、羊毛或蠶絲等各類纖維，製程織布用的成束紗線，先進行藍染織線，再透過梭織機製成各種藍色系先染織物。

客家藍染成品之色澤，受染缸中靛白素含量及布料纖維種類不同，呈現不同的著色效果。其中靛白素經由浸染及氧化作用，靛青素透過滲透方式至布料，其結合能力有限，一般來說需要經過數十次以上的浸染及氧化程序，用以提高成品色牢度及色濃度(鄭美淑，2016)。

染色階段之重複浸染過程，染缸中靛白素含量以及發酵還原作用，隨著重複浸染而逐漸降低，因此需不斷添加藍靛染料、鹼性木灰水及營養劑，以維持染色能力；雖然重新添加藍靛染料，可以維持染缸之還原作用及靛白素含量，然而染缸中的底泥(石灰含量)也不斷增加，當染缸的還原能力逐漸喪失，或是沉澱底泥越積越高時，則需要重新進行建藍。

5. 染缸處理

染色階段結束後，染缸廢液傳統上可藉由沉澱過濾、酸鹼中和、加水稀釋三個步驟加以處理，其步驟程序可先添加消石灰混合攪拌，經由沉澱分離，將上層廢液釋出移至其他容器，並添加冰醋酸以調整 pH 值至 7-8，即可透過加水稀釋，其廢液因不具有特殊毒性物質，因此稀釋後廢液可應用於澆花或放流；下層液沉澱之泥渣，則可藉由粗胚布進行過濾，濾液可將如上述方式處理，剩餘泥渣則可以做為園藝培養土(馬芬妹，2007)。整個廢液與廢棄物處理過程，技術與處理模式相當傳統，是否有機會透過現代化技術引進，並評估其環境友善效益，將可理解客家藍染技術在廢棄物與染缸處理問題，或進一步突顯客家藍染技術應用之環境友善性。

6. 藍靛染料附加價值

藍染技術應用來自傳統工藝，其技術鮮少用石化原料或有毒化學品，在環境永續上能呈現許多環境友善的價值。另外，山藍植物為天然植物，其可再生性具有永續循環的價值，且藍染技術過程產生的廢水與廢棄物皆能透過自然循環再加以利用，具有永續性產業的特性。另一方面，作為藍靛提煉之藍草，其根莖也是中藥板藍根的原料，板藍根主要功能治療和防止病毒、細菌感染，對於增強人體抵抗力有一定功效(許峰旗，2014)，顯示山藍植物全株皆有它應用的價值。另外，若採用山藍提煉藍靛染料，其製藍技術過程(如生葉浸水沉澱法)，根據傳統技術還可以提煉出中藥青黛(曾樹城，2014)，青黛根據醫學研究，對於治療乾癬有特別療效(林胤谷，2014)。

7. 藍染在國外的發展

國外從藍草萃取藍靛染料的技術方面，如在日本德島及印度地區，部分製程及處理流程，與台灣傳統客家藍染的藍靛染料製程有所差異。以下對於日本及印度的藍靛製程進行說明。

(1) 日本：阿波藍

日本德島縣之藍染技術，當地採用乾葉堆積發酵法，此種方法較適合在溫帶地區使用，如早期歐洲德國、法國也都是採取此種技術。乾葉堆積發酵法之步驟，包括藍葉切碎，陽光曝曬使葉片變成黑藍色，再將葉片收集堆積成堆肥，利用乾稻草覆蓋於堆肥上使其發酵，控制良好發酵條件與不定時灑水，維持溫度不超過 60℃，控制良好翻動攪拌與溫度，當葉脈纖維完全腐爛之後，再將腐爛藍葉乾燥，即可得到炭土狀的藍靛染料 (馬芬妹，2007)。

(2) 印度：印度藍

印度藍靛傳統製程採用生葉浸水沉澱法 (蔡承豪，2002；李貴民，2004)，其製程是將採收之木藍放於大型浸泡池中，以長樹幹或木條置於水面固定木藍，確保木藍能浸泡於水面下，以確保木藍浸泡釋出原靛素。接著利用人工方式踢水，使池水充滿氧氣，而產生大量泡沫，木藍溶出原靛素與空氣氧化後沉澱於池底。再透過沉澱分離方式，分離與收集底部留下之濃藍色污泥，進一步在銅鍋中加熱蒸發。濃縮後的藍靛糊劑通過濾布過濾，置於陰涼處乾燥成塊，

塊狀藍靛染料需要約三個星期才能完全乾燥，最後將其研磨成藍靛染料粉末，即為印度藍染之主要原料(Wild Colours Natural Dyes 官網)。

藍染技術除了印度、孟加拉、台灣、日本及大陸等亞洲地區外，在地中海地區、墨西哥、薩爾瓦多及尼日利亞也都可以見到藍染的蹤跡(Blue Alchemy : stories of indigo)。

三、 研究方法

(一)、 生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)

本計畫提出客家藍染技術之生命週期評估，評估與比較傳統客家藍染與合成染料之環境友善性，其生命週期評估方法說明如下。

生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)之觀念於 1960 年代末期即應用於考量產品完整生命週期的環境污染與資源消耗。現今以生命週期評估為架構主要源自國際標準組織(ISO)訂定之 ISO 14040~14043, 14048，並在 2006 年合併為 ISO 14040 及 14044，以作為產品環境衝擊及改善之管理工具，其架構如圖 14 所示，主要內容包含：

1. 生命週期原理及架構(principle and framework)：1997 年 7 月正式成為國際標準(ISO 14040)。
2. 生命週期目標與範疇界定(goal and scope definition)及盤查分析(inventory analysis)：設定研究之目的、界定系統範疇，以進行相關原物料及能源投入產出清單、環境排放清單資料收集與計算。
3. 生命週期評估(ISO, 2006)：包含資料歸類(classification)、特徵化(characterization)、標準化(normalization)及權重(weighting)等各階段之環境衝擊分析。
4. 生命週期評估闡釋(ISO, 2006)：將生命週期盤查分析與衝擊評估結果整合之階段，其結果最終以結論與建議形式提供給決策者作為參考。

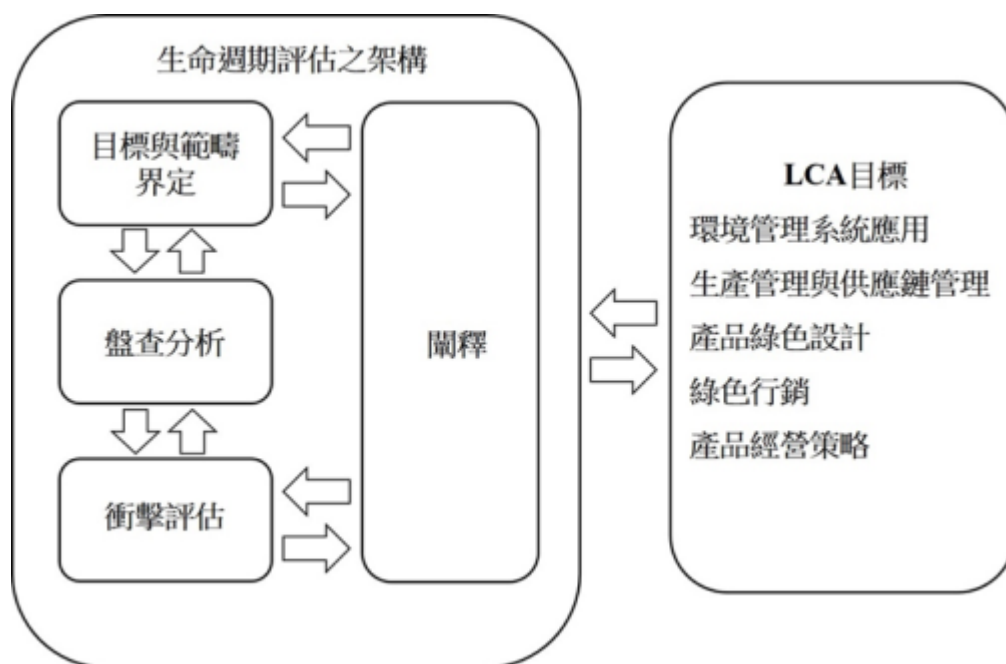


圖 14 生命週期評估之架構與應用(ISO 14040, 2006)

根據 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)對生命週期評估所設定的四項衝擊評估方法的基本架構如下：

1. 資料歸類(classification)：將投入的各項能、資源清單與環境排放進行分類，再根據清單各物質物性所產生之環境衝擊特性進行歸類。
2. 特徵化(Characterization)：具有相同環境衝擊屬性之清單，透過各環境衝擊特徵化因子，量化為相同型態或同單位之大小，以進行各類環境衝擊類別分析。
3. 標準化(normalization)：可增加環境衝擊評估值之應用並轉化為一般的維度(即無因次)，進一步作為各環境衝擊議題間之數值比較。
4. 權重(weighting)：參考各環境議題之重要性，以學者專家評審方式，給予各環境衝擊間之相對應權重，其目的為將各環境衝擊指數，轉化為單一的整體環境衝擊點數(score)(楊英賢，2008)。

至於，生命週期評估評價模式，基於不同目標及背景，而發展成不同的評價系統，其中較為應用的生命週期評價方法包含了 Eco-indicator 95 及歐洲國家發展之以損害導向為發展的 Eco-indicator 99，以及整合數種系統方法的 Impact2002+等，其評價系統引用將視個別需求而決定選擇之評價方法。

本計畫主要運用主要選擇 Eco-indicator 99 與評價方法進行個案分析，Eco-indicator 99 是由瑞士 RIVM(National Institute of Public Health and the

Environment)與荷蘭歐洲許多機構、專家所發展之系統，衝擊所造成的損害為導向，根據產品在生命週期的過程中，所排放的污染物，對於環境所造成之衝擊，經由特徵化、損害評估、常態化及權重量化之後，可以提供環境衝擊指標，其架構是延續 Eco-indicator 95 再做部分更改(Mark et al., 2000；林承瑩等人，2016)。Eco-indicator 99 的 11 種環境衝擊項目說明，如表 4 所示。

表 4 Eco-indicator 99 的環境衝擊

環境衝擊	特徵化單位	衝擊說明
致癌物 Carcinogens	DALY	因排放至空氣、水及土壤中的致癌物質，而引起致癌效應
吸入性有機物 Resp. organics	DALY	排放至空氣中之有機物質引起的夏季煙霧，進而造成吸入性效應
吸入性無機物 Resp. inorganics	DALY	因塵土、SO _x 及 NO _x 排放至空氣中形成冬季煙霧，導致吸入性效應
氣候變遷 Climate change	DALY	因氣候變遷導致之疾病及死亡數增加
輻射 Radiation	DALY	主要來自放射性物質等的輻射線危害
臭氧層破壞 Ozone layer	DALY	危害來自臭氧削減所造成的 UV 射線增加
生態毒性 Ecotoxicity	PAF*m ² yr	由於具生態毒性之物質排放至空氣、水體及土壤所造成的生態系統品質危害
酸化/優養化 Acidification/ Eutrophication	PDF*m ² yr	對造成酸雨及優養化的成分，對生態系統之危害
土地使用 Land use	PDF*m ² yr	在人為活動中，因土地使用而對物種多樣性造成之衝擊
礦產 Minerals	MJ surplus	開採礦物時，所需投入之額外能源
化石燃料 Fossil fuels	MJ surplus	地球上的化石燃料的存量是有限的，因此能源的消耗被視為一種環境衝擊

Eco-indicator 99 在損害評估的呈現上，是以人體健康損害、生態系統品質損害及資源耗用等三種損害類型；此評價系統主要以損害導向(damage oriented)

為架構原理，較偏向於損害評估之概念，其環境衝擊面根據其性質歸類為三種損害類型：

- (1) 人類健康(human health)：考量各種環境事件及環境衝擊對人體健康造成之危害、疾病及影響人類壽命之各種污染效應，包含：氣候改變(climate change)、臭氧層破壞(ozone layer depletion)、致癌性物質(carcinogens)、呼吸傷害(respiratory effects)與游離輻射(ionizing nuclear radiation)。根據世界銀行及世界衛生組織以 disability adjusted life years(DALYs)推估出各種污染物質對於人類傷害產生殘疾之因子，以作為各環境衝擊特徵化之定量估算，進一步將各環境衝擊以相同權重加總為人類健康傷害之指數。
- (2) 生態品質(ecosystem quality)：保有生物多樣性維持生態系統之平衡相當重要，而影響物種多樣性之環境議題包括有機物及無機物產生之生態毒性(ecotoxicity)、區域性酸雨效應、水體水質優養化及土地使用對生態之傷害。以環境污染及土地使用對生物造成影響或導致物種消失之趨勢(PAF, potentially affected fraction 或 PDF, potentially disappeared fraction)，並將各污染根據學術研究結果估算不同之污染因子，再給予不同權重加總成為生態品質之衝擊指數。
- (3) 資源耗竭(resources)：此項衝擊歸類主要涵蓋非生命資源，包括各種能源使用，各種金屬及非金屬礦物之開採使用，區域土地過度利用或不良開發產生之土地資源消耗，但主要以能、資源及金屬礦產兩部分之計算為主，以熱值單位進行特徵化，並給予相同權重推估其資源衝擊指數。

(二)、 碳足跡

碳足跡分析方法，主要根據 PAS 2050:2011 及 ISO/TS 14067 的架構，並根據生命週期評估之評價方法。有關溫室氣體盤查部分則參考 IPCC 2014 之工作架構及排放係數推估理論，引用 IPCC 溫室氣體之特徵化係數推估產品碳足跡。相關系統範疇訂定，主要根據研究個案目的，實際個案範圍及資料取得難易程度之綜合因素，進一步訂定系統範疇。碳足跡推估原理係建立在生命週期評估方法學的基礎，因此執行碳足跡方法其技術已相當成熟。執行產品碳足跡計算時，須進行清楚的訂定系統範疇、功能單位、盤查分析、衝擊評估與結果之闡

釋，而產品碳足跡進行估算時，以產品的生命週期作為該產品的系統模型，再將產品系統細分成各組成單元程序及不同階段，即從產品原料取得、製造、使用、回收與處理各階段。產品碳足跡之細部溫室氣體排放推估，依照該產品系統範疇所盤查之活動數據乘上該活動之排放係數，以推估溫室氣體排放，並進一步進行生命週期各階段之溫室氣體加總，即為產品每功能單位之溫室氣體排放。其推估方式如下：

$$CF = M + P + T + E$$

式中 CF：Carbon Footprint(碳足跡)

M：Material(原料製造階段)

P：Processing(產品製造及加工階段)

T：Transport(船運階段)

E：End of life(末端回收或廢棄處理階段)

碳足跡之執行方式，根據 ISO/TS 14067 或 PAS 2050:2011 其主旨是建立在生命週期評估的系統模式上。執行產品碳足跡推估，其方法與生命週期評估方法大致相同，皆必須先訂定功能單位，其產品碳足跡計算步驟如圖 15 所示。步驟一需先繪製產品生命週期評估之流程圖，即從原料開採到產品生命週期終了，涵蓋所有物質流；步驟二為清楚界定之系統範疇，以便於碳足跡之執行與運算，並確認其優先順序；步驟三需收集產品生命週期完整階段所耗用的材料、活動和排放因子之數據；步驟四則進入產品碳足跡之運算，最後的步驟則為評估碳足跡分析結果之精確性與不確定性。

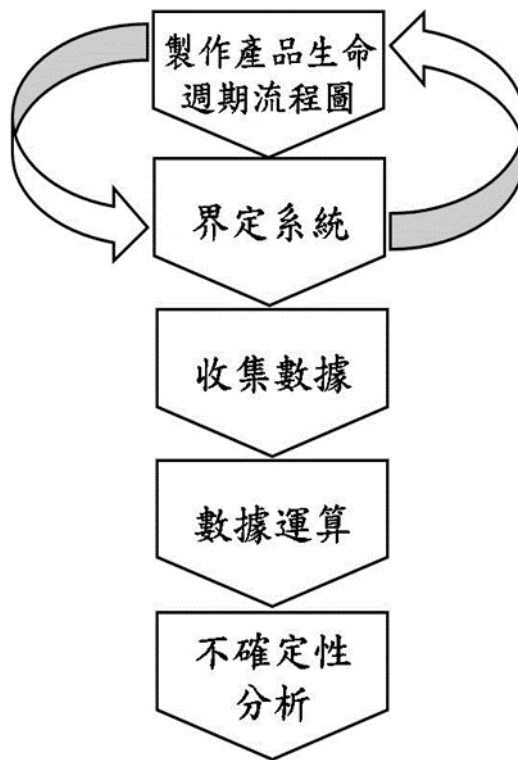


圖 15 產品碳足跡計算之步驟(BSI Guide to PAS 2050, 2011)

(三)、 個案說明

本計畫運用生命週期評估，探討客家藍染的藍靛染料製造階段之環境衝擊評估。研究依據 ISO14040 系列制訂之生命週期評估方法原理與架構，並進一步比較客家藍染及合成藍靛之生命週期評估結果差異。其生命週期評估範疇界定與資料收集如下：

1. 個案範疇界定與情境假設

本計畫客家藍染產品之生命週期評估中，將以生產一公斤(乾重)藍靛為功能單位，模擬客家藍染進行生命週期評估，其個案之系統範疇，包括藍草種植及製藍階段如圖 16 所示。

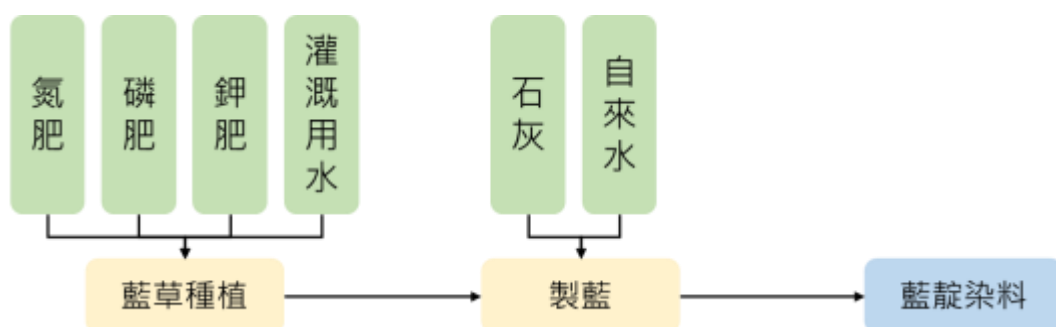


圖 16 藍靛染料的生命週期系統範疇

客家藍染之藍靛染料製造，包括有藍草種植及製藍兩個步驟；藍草種植步驟，選定山藍為藍靛原料，種植期間從 7 月到 10 月，共計 4 個月，種植期間施與一次基肥(氮肥、磷肥及鉀肥)，且每週使用噴灑式灌溉機進行灌溉一次；在製藍步驟選擇台灣常見的生葉浸水沉澱法，做為藍靛製造方法，其藍靛染料的製成率及含水率分別為 10%及 70%。相關的傳統藍靛染料之假設情境及能資源投入數據，如表 5 所示。

表 5 每公斤藍靛染料之假設情境及能資源投入表

本研究整理				
階段	假設情境	品項	數量	單位
藍草種植	● 藍靛原料：山藍 ● 種植時間：7~10 月 ● 肥料及灌溉用水投入	氮肥	0.199	Kg/Kg
		磷肥	0.318	Kg/Kg
		鉀肥	0.265	Kg/Kg
		灌溉用水	1863.410	L/Kg
製藍	• 生葉浸水沉澱法 • 藍靛製成率：10% • 藍靛含水率：70%	消石灰	0.667	Kg/Kg
		自來水	33.333	L/Kg

另外，本計畫合成藍靛之生命週期評估，採用 Heumann-Pfleger 式的合成藍靛製造方法，以苯胺與氯乙酸反應生產藍靛，以生產一公斤合成藍靛為功能單位，進行合成藍靛之生命週期評估，個案之系統範疇包含原料及能源投入如圖 17 所示。合成藍靛染料之相關假設情境及能資源投入數據，如表 6 所示。

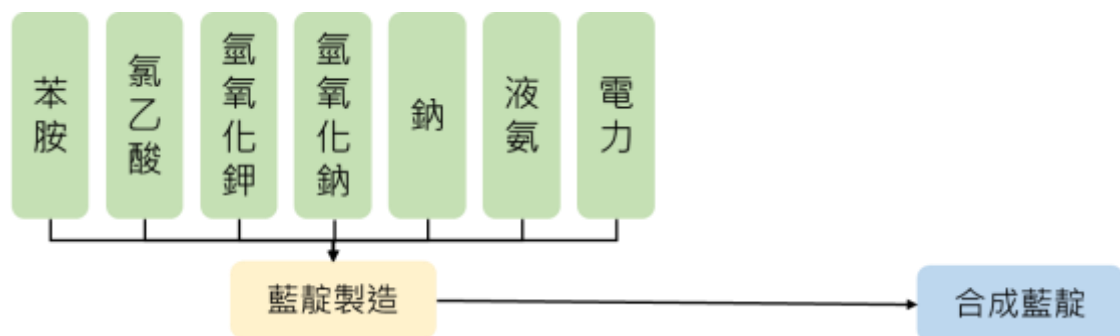


圖 17 合成藍靛染料的生命週期系統範疇

表 6 每公斤合成藍靛染料之假設情境及能資源投入數據表

本研究整理				
階段	假設情境	品項	數量	單位
染料製造	採用 Heumann-Pfleger 式的合成藍靛製 造方法	苯胺	1.091	Kg/Kg
		氯乙酸	1.194	Kg/Kg
		鈉	0.446	Kg/Kg
		液氮	0.516	Kg/Kg
		氫氧化鉀	1.517	Kg/Kg
		氫氧化鈉	1.011	Kg/Kg
		能源投入	410.973	Kcal/Kg

2. 資料收集與處理

本計畫運用生命週期評估為研究方法架構，探討客家藍染染料製造之環境衝擊評估及碳足跡；研究所需蒐集資料，包括藍染技術、能資源投入產出及碳足跡排放係數等。資料來源包括藍染技術文獻、理論推估及生命週期評估資料庫，詳細說明如下：

藍靛染料之生命週期盤查，藍草種植方面，肥料投入與藍草產出量引用陳世雄對馬藍栽培研究的數據(陳世雄，2005&2006)；灌溉設備及水量方面，分別引用行政院農委會關於噴灑灌溉機之灌溉水量；製藍階段相關原料投入及藍靛染料產出，引用馬芬妹(2007)及鄭美淑(2016)關於藍靛製作之數據；合成藍靛染料方面，以 Heumann-Pfleger 式作為合成藍靛之製作方式，引用 Schmidt, H.(1997)、Freeman, H.S. et al. (2000)及楊新璋等人(1999)之實驗與研究數據作為合成藍靛製造流程及原物料投入盤查清單。

四、 研究結果

本計畫以傳統客家藍染為基礎，運用生命週期及碳足跡分析，評估藍靛染料之生命週期評估與碳足跡等環境效益。個案客家藍染之藍靛染料製造，包括有藍草種植及製藍階段；藍草種植步驟，選定山藍為藍靛原料，種植期間從 7 月到 10 月期間，種植期間施與一次基肥(氮肥、磷肥及鉀肥)，且每週使用噴灑式灌溉機進行灌溉一次；製藍步驟選擇台灣常見的生葉浸水沉澱法，做為藍靛製造方法，其藍靛染料的製成率及含水率分別為 10%及 70%。合成藍靛方面之

生命週期評估，採用 Heumann-Pflegler 式的合成藍靛製造方法，以苯胺與氯乙酸反應生產藍靛，以生產一公斤合成藍靛為功能單位，進行合成藍靛之生命週期評估

相關研究結果包括三方面，(1)以 Eco-indicator 99 評估方法及碳足跡，分析傳統客家藍染藍靛染料製程之環境衝擊，包含藍草種植及製藍階段，並探討肥料添加量對於藍靛染料環境衝擊之影響；(2)以 Eco-indicator 99 評估方法及碳足跡方法，推估合成藍靛染料製程之環境衝擊；(3)探討相同功能單位的植物萃取之藍靛染料與化學合成的藍靛染料，其環境友善性分析與比較，相關研究結果詳細分述如下：

(一)、客家藍染的生命週期評估

客家藍染生命週期評估方面，運用 Eco-indicator 99 及碳足跡分析方法，進行客家藍染之生命週期評估，以一公斤乾重藍靛染料為功能單位，探討客家藍染的藍草種植(系統範疇由搖籃到大門)及製藍階段(系統範疇由大門到大門)之環境衝擊；Eco-indicator 99 評估方法包含致癌物、吸入性有機物、吸入性無機物、氣候變遷、輻射、臭氧層破壞、生態毒性、酸化/優養化、土地使用、礦產及化石燃料等 11 項環境衝擊項目。

1. Eco-indicator 99 生命週期評估結果

Eco-indicator 99 特徵化結果，如表 7 及圖 18 所示，在人體健康風險方面，以吸入性無機物($1.53\text{E-}06$ DALY)、致癌物($5.47\text{E-}07$ DALY)及氣候變遷($3.58\text{E-}07$ DALY)較為明顯；在生態品質部分，以土地使用($1.22\text{E-}01$ PDF $\cdot\text{m}^2\text{yr}$)及生態毒性($8.86\text{E-}01$ PAF $\cdot\text{m}^2\text{yr}$)的衝擊較為顯著；所有的衝擊項目皆以藍草種植階段的環境衝擊最大，其所占的比例約有 70%以上，其主要原因在於藍草需長達四個月的灌溉及施肥，投入之能、資源較多所導致之結果。

表 7 客家藍染 Eco-indicator 99 特徵化結果

影響類別	單位	藍草種植	製藍	TOTAL
致癌物	DALY	$5.47\text{E-}07$	$7.97\text{E-}09$	$5.55\text{E-}07$
吸入性有機物	DALY	$1.58\text{E-}09$	$1.23\text{E-}10$	$1.71\text{E-}09$
吸入性無機物	DALY	$1.53\text{E-}06$	$9.89\text{E-}08$	$1.63\text{E-}06$
氣候變遷	DALY	$3.58\text{E-}07$	$1.24\text{E-}07$	$4.82\text{E-}07$

輻射	DALY	2.18E-09	5.79E-10	2.76E-09
臭氧層破壞	DALY	1.19E-10	3.31E-11	1.53E-10
生態毒性	PAF*m ² yr	8.86E-01	2.98E-02	9.16E-01
酸化/優養化	PDF*m ² yr	2.92E-02	2.28E-03	3.15E-02
土地使用	PDF*m ² yr	1.22E-01	1.65E-03	1.23E-01
礦產	MJ surplus	1.23E-01	1.10E-03	1.24E-01
化石燃料	MJ surplus	1.89E+00	3.28E-01	2.22E+00

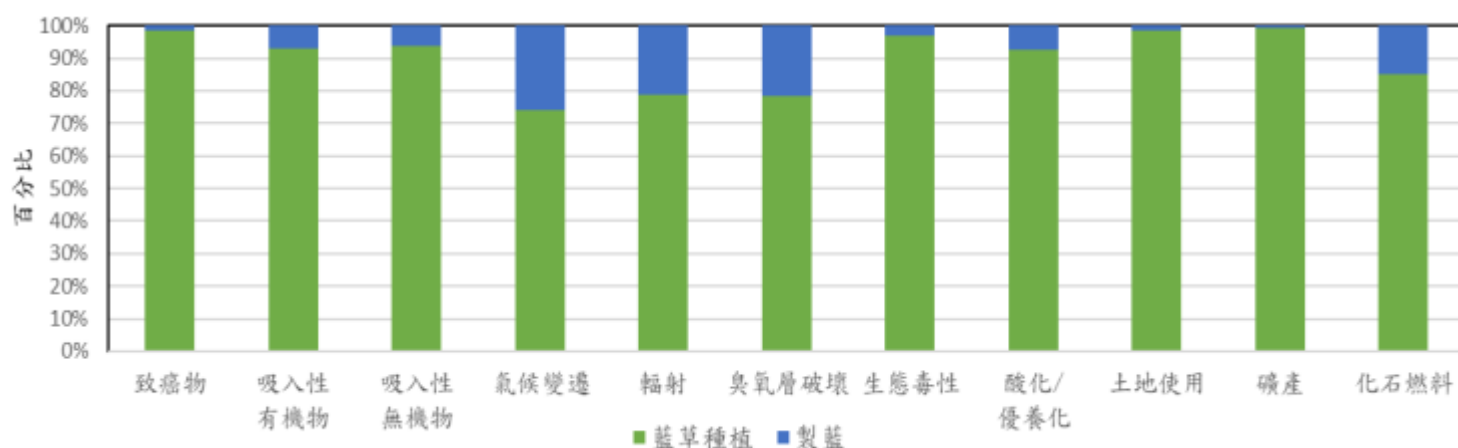


圖 18 客家藍染 Eco-indicator 99 特徵化結果

Eco-indicator 99 損害評估結果，主要包含三方面，分別人類健康(Human Health)，生態品質(Ecosystem Quality)與資源(Resources)。如表 8 所示，一公斤乾重藍靛染料之生命週期評估結果，在人體健康風險分析上，為 2.67E-06 DALY；在生態品質部分 2.46E-01 PDF*m²yr，最後在資源耗竭方面，2.34E+00MJ surplus；藍草種植階段之環境衝擊皆高於製藍階段，主要還是能資源投入較多所致，其各類環境衝擊仍以藍草種植階段之環境衝擊較大。

表 8 客家藍染 Eco-indicator 99 損害評估結果

影響類別	單位	藍草種植	製藍	Total
Human Health	DALY	2.44E-06	2.32E-07	2.67E-06
Ecosystem Quality	PDF*m ² yr	2.39E-01	6.92E-03	2.46E-01
Resources	MJ surplus	2.01E+00	3.29E-01	2.34E+00

Eco-indicator 99 單一得點結果，如表 9 及圖 19 所示，個案客家藍染的生命週期中，藍草種植階段的環境衝擊單一得點總和最大，其值為 181.45mpt，占整

體生命週期環境衝擊 90.17%，其中較大之環境衝擊為人類健康風險(111.32 mpt)及資源耗竭(53.38 mpt)；其次為製藍階段單一得點為 19.78mpt，占整體生命週期環境衝擊 9.83%，其人類健康風險(10.59mpt)及資源耗竭 (8.71mpt)。

由以上顯示，藍染之環境衝擊仍決定於種植階段，主要是製藍階段過程，仍然依循傳統的人工模式，相對所需時間較長，效率也相較低落，將不利於市場競爭力。未來若為了提高製程效率，相關能源投入將會增加環境衝擊問題，因此如何減少環境衝擊同時可以增加其生產效率，將是可以持續研究的課題。

表 9 客家藍染 Eco-indicator 99 單一得點結果

環境衝擊類別	單位	藍草種植	製藍	Total
Human Health	mpt	111.32	10.59	121.92
Ecosystem Quality	mpt	16.74	0.48	17.23
Resources	mpt	53.38	8.71	62.09
Total	mpt	181.45	19.78	201.23

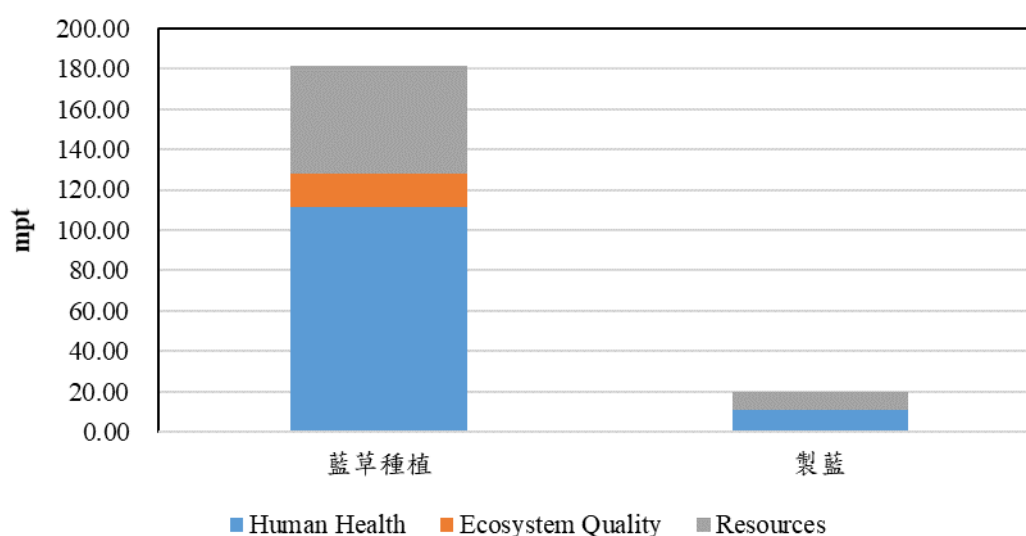


圖 19 客家藍染 Eco-indicator 99 單一得點結果

2. 碳足跡分析結果

傳統客家藍染之碳足跡分析結果，如圖 20 所示，其結果與 Eco-indicator 99 單一得點結果類似，藍草種植階段為主要溫室氣體排放，排放量為 1.75 kgCO₂ eq.，占整體生命週期碳足跡 74.81%，主要來自氮磷鉀肥之投入，耗

水量的使用相對較少；製藍階段主要還是基於人工的操作流程，投入的原料為消石灰，因此其碳足跡相對為少，其值為 0.59 kgCO₂ eq. 為 25.19%。

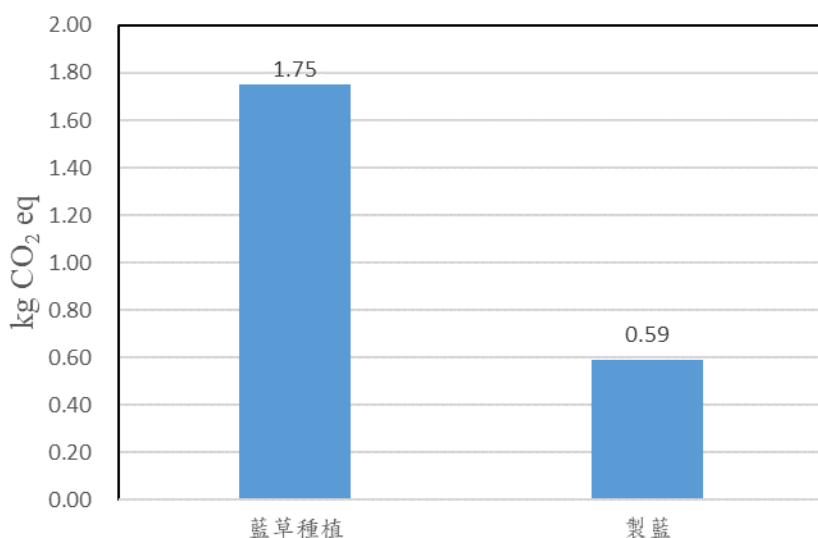


圖 20 客家藍染之碳足跡分析

3. 影響參數分析

藍草種植過程，可能依據不同施作方式，如肥料使用量、灌溉用水量、植物種類等，造成藍靛產量及環境衝擊之差異；本計畫引用陳世雄教授 2006 年對馬藍栽培研究之數據，進行不同肥料使用量對於藍靛產出量之敏感度模擬，每公頃農地氮肥使用量從 75 公斤提升至 225 公斤，同時控制其他投入條件不變的情況下，藍靛染料產量將可提升了 19%；若以每公斤藍靛染料的生產量之功能單位重新估算(如表 10 所示)，則藍草種植階段，氮肥投入量從 0.199 公斤增加到 0.501 公斤，其單位產量之其他能資源投入將為減少，其中磷肥、鉀肥及灌溉用水的投入量均減少，將對種植階段之環境衝擊將有所影響；至於，製藍階段條件不變，因此提高種植階段產能，對於製藍之各種環境衝擊將是不變。

表 10 每公斤藍靛染料添加不同氮肥之資源投入表

階段	品項	單位	氮肥投入量	
			75 公斤	225 公斤
藍草種植	氮肥	公斤	0.199	0.501

	磷肥	公斤	0.318	0.267
	鉀肥	公斤	0.265	0.223
	灌溉用水	公升	1863.410	1565.891
製藍	消石灰	公斤	0.667	0.667
	自來水	公升	33.333	33.333

環境衝擊方面(表 11 及圖 21)所示，氮肥投入增加時，Eco-indicator 99 及碳足跡之環境衝擊均較基本情境高，顯示雖然磷肥、鉀肥及灌溉用水的投入量減少，然由於氮肥投入量增加其整體環境衝擊將為之增加，碳足跡結果亦有相同趨勢，即是增加氮肥投入則每公斤藍靛染料碳足跡隨之增加，氮肥投入量增加對於 Eco-indicator 99 環境衝擊單一得點及碳足跡結果之影響，分別為增加 24.35%及 17.74%，顯示有機會提高單位面積的產能，然對於功能單位的環境友善性改善，種植階段尚無法有比較好的具體效果。

表 11 每公斤藍靛染料添加不同氮肥之環境衝擊

環境衝擊類別		單位	氮肥投入量	
			75 公斤	225 公斤
Eco-indicator 99	Human Health	mpt	121.92	146.58
	Ecosystem Quality	mpt	17.23	19.33
	Resources	mpt	62.09	84.31
	Total	mpt	201.23	250.22

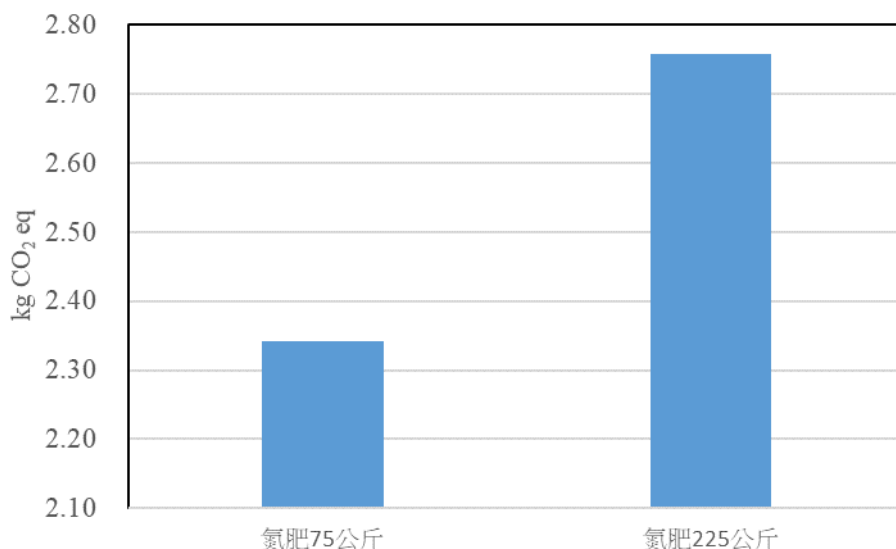


圖 21 每公斤藍靛染料添加不同氮肥之環境衝擊

(二)、個案合成藍靛生命週期評估結果

合成藍靛染料方面，採用 Heumann-Pflegler 式的合成藍靛製造方法為比較對象，以苯胺與氯乙酸反應生產藍靛，進行標的產品合成藍靛搖籃到大門之生命週期評估。個案之系統範疇包含原料及能源投入，經由 Eco-indicator 99 及碳足跡分析方法，進行合成藍靛環境衝擊與碳足跡分析，並以一公斤合成藍靛為功能單位，評估合成藍靛在製造階段之各種環境衝擊。

1. Eco-indicator 99 之生命週期評估結果

合成藍靛之 Eco-indicator 99 特徵化結果中如表 12 所示，其中在人體健康風險方面環境衝擊，以吸入性無機物(1.26E-05 DALY)、致癌物(5.02E-06 DALY)及氣候變遷(3.03E-06 DALY)較為明顯；在生態品質部分，以生態毒性(7.29 PAF*m²yr)之衝擊較為顯著；在資源耗用方面則以化石燃料 23.04 較為顯著，經由以上結果，主要建立合成染料的環境衝擊分析結果，將提供後續與客家藍染之比較參考。

表 12 合成藍靛 Eco-indicator 99 特徵化結果

環境衝擊類別	單位	藍靛製造
致癌物	DALY	5.02E-06
吸入性有機物	DALY	2.39E-08

吸入性無機物	DALY	1.26E-05
氣候變遷	DALY	3.03E-06
輻射	DALY	4.88E-08
臭氧層破壞	DALY	3.70E-09
生態毒性	PAF*m ² yr	7.29
酸化/優養化	PDF*m ² yr	0.26
土地使用	PDF*m ² yr	0.13
礦產	MJ surplus	0.64
化石燃料	MJ surplus	23.04

合成藍靛 Eco-indicator 99 單一得點結果，如表 13 所示，合成藍靛染料整體環境衝擊為 1650.20 mpt，其中以人類健康風險 945.00 mpt 及資源耗竭 627.00 mpt 之環境衝擊較大，生態品質之環境衝擊相對較小，其環境衝擊主要來自原料與製造階段，與客家藍染之比較將分述於後。

表 13 每公斤合成藍靛 Eco-indicator 99 單一得點結果

環境衝擊類別		單位	藍靛製造
Eco-indicator 99	Human Health	mpt	945.00
	Ecosystem Quality	mpt	78.20
	Resources	mpt	627.00
	Total	mpt	1650.20

2. 碳足跡分析結果

合成藍靛碳足跡分析結果，主要根據 Simapro 8.0 生命週期評估軟體之資料庫，再經由推估而成，合成藍靛之靛青素主要含量為 94%，如圖 22 所示，包含原料取得經過化學製程生成合成藍靛染料，其功能單位之碳足跡為 14.4 kgCO₂ eq.，此結果明顯比客家藍染之碳足跡為高，然而若考慮靛青素含量，由於兩者染料含量不同，將來能染色能力也有所差異。雖然合成染料與客家藍染之染色特性會有所不同，基本上以此作為比較主要著眼點於兩者產品提供的染料強度。因此，基於兩者產品可以染色功能，則需要進一步換算其染色能力的比較，並以靛青素含量作為換算基準，才能更清楚顯示其碳足跡之差異。

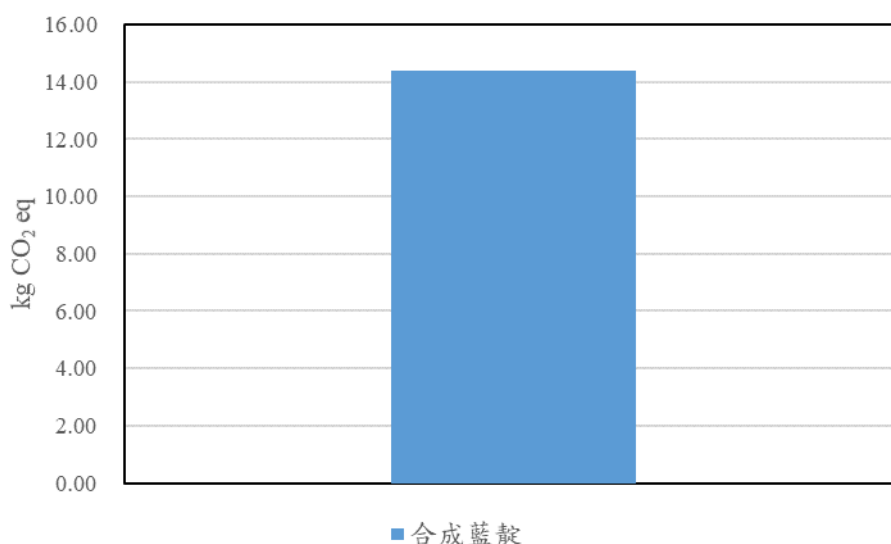


圖 22 合成藍靛之碳足跡分析

(三)、 合成藍靛與客家藍染之環境友善性比較

由於合成藍靛與客家藍染皆有共同的特點，都是將染料中靛青素發酵還原成靛白素，才能在布料上進行染色，為了達到相同的染色效果，靛青素含量的多寡，將影響染料之使用量；目前客家藍染使用的製藍方法，其靛青素含量約在 2~10%之間，合成藍靛的靛青素含量可達 90%以上。因此，考量合成藍靛與客家藍染在靛青素含量上的差異，因此需將兩者產品提供的染料強度假設為一致的條件下，也就是靛青素含量相同條件，對於環境衝擊評估之比較，才具有較客觀的參考價值。因此，基於兩者產品可以染色功能，以 1 公斤合成藍靛(94%靛青素)為基準，客家藍染依所含的靛青素含量(2-10%)的不同，可經由模擬達到相同的染色效果之客家藍靛染料所需之使用量，再進行兩者之比較。

當以 1 公斤合成藍靛(94%靛青素)為基準，則客家藍染若需要提供相同染色能力，其所需使用的原料量經推估結果如表 14 所示，可以得知當客家藍染之靛青素 2%時，相對所需原料將須達到乾重 14.1kg，靛青素含量越高則所需的藍染原料也就越少。此也顯示對於傳統客家藍靛製作之產品，其產品之純度將可對產品環境友善性產生顯著性影響，其產品靛青素含量越高，對環境衝擊將有機會低於合成染料。

表 14. 合成藍靛與客家藍染預計染料使用量

品名	烘乾後每公斤藍靛 的靛青素含量	染料使用量	單位
合成藍靛	94%	1.00	Kg
客家藍染	2%	14.10	Kg
客家藍染	3%	9.40	Kg
客家藍染	4%	7.05	Kg
客家藍染	5%	5.64	Kg
客家藍染	6%	4.70	Kg
客家藍染	7%	4.03	Kg
客家藍染	8%	3.53	Kg
客家藍染	9%	3.13	Kg
客家藍染	10%	2.82	Kg

1. 合成藍靛與客家藍染之 Eco-indicator99 評估分析與比較

為了得以滿足達到相同染色效果，模擬合成藍靛與不同靛青素含量之客家藍染，進行環境衝擊分析與比較，其生命週期評估 Eco-indicator 99 之損害評估結果，如表 15 所示。整體而言，合成藍靛單一得點為 1650.20 mpt，客家藍染之靛青素含量需達 4%(單一得點為 1418.67 mpt)以上其環境友善性才優於合成藍靛，換句話說，客家藍染之製程，需要控制產品含靛青素比例至少需達 4%以上，其從環境友善性觀點，才足以說明客家藍染相較於合成藍染，具有比較好的環境友善性；若從個別生態得點方面，在人體健康風險、生態品質與資源耗用比較，客家藍染之靛青素含量則需分別達 4%、7%及 3%以上，其環境友善性才有機會優於合成藍靛。

表 15 合成藍靛與客家藍染之 Eco-indicator 99 環境衝擊比較

品名	靛青素含量	單位	人體健康 風險	生態品質	資源耗用	單一得點
合成藍靛	94%	mpt	945.00	78.20	627.00	1650.20
客家藍染	2%	mpt	1719.02	242.88	875.43	2837.33
客家藍染	3%	mpt	1146.02	161.92	583.62	1891.56
客家藍染	4%	mpt	859.51	121.44	437.71	1418.67
客家藍染	5%	mpt	687.61	97.15	350.17	1134.93
客家藍染	6%	mpt	573.01	80.96	291.81	945.78
客家藍染	7%	mpt	491.15	69.39	250.12	810.67
客家藍染	8%	mpt	429.76	60.72	218.86	709.33
客家藍染	9%	mpt	382.01	53.97	194.54	630.52
客家藍染	10%	mpt	343.80	48.58	175.09	567.47

2. 合成藍靛與客家藍染之碳足跡分析與比較

以達到相同染色效果之條件，進行合成藍靛與不同靛青素含量客家藍染之碳足跡模擬，其碳足跡分析結果如表 16 所示，其中 1kg 合成藍靛的碳足跡排放為 14.40kg CO₂ eq.，在模擬情境中，客家藍染靛青素含量 4%，其碳足跡為 16.51 kg CO₂ eq.，仍高於合成染料；因此，客家藍染純度控制則需至少 5%以上，其碳足跡排放才能優於合成藍靛。以上訊息，也可以提供未來進行產品低碳設計之參考，當客家藍染技術若無法明顯提升，其具有環保友善性將可能不會凸顯，如此，在生產效率不彰的傳統技術，如仍無法顯示其環境友善程度優越性，其產業應用發展將可能無法做出重大的突破，將不利於產業應用發展。

表 16 合成藍靛與客家藍染之碳足跡排放比較

品名	靛青素含量	單位	碳足跡排放
合成藍靛	94%	kg CO ₂ eq.	14.40
客家藍染	2%	kg CO ₂ eq.	33.02
客家藍染	3%	kg CO ₂ eq.	22.01
客家藍染	4%	kg CO ₂ eq.	16.51
客家藍染	5%	kg CO ₂ eq.	13.21
客家藍染	6%	kg CO ₂ eq.	11.01
客家藍染	7%	kg CO ₂ eq.	9.43
客家藍染	8%	kg CO ₂ eq.	8.25
客家藍染	9%	kg CO ₂ eq.	7.34
客家藍染	10%	kg CO ₂ eq.	6.60

五、 結論與建議

本計畫以永續性觀點探討客家藍染技術在產業應用，以客家藍染為個案進行研究，分析客家藍染之生命週期評估及碳足跡排放等環境資訊，並模擬推估合成藍靛與不同靛青素的客家藍染，模擬滿足相同染色效果之條件下，其環境衝擊分析與比較，本計畫相關結論與建議說明如下：

- 1、客家藍染 Eco-indicator 99 特徵化結果，包含致癌物、吸入性有機物、吸入性無機物、氣候變遷、輻射、臭氧層破壞、生態毒性、酸化/優養化、土地使用、礦產及化石燃料等 11 項環境衝擊項目，皆以藍草種植階段之環境衝擊大於製藍階段。
- 2、客家藍染 Eco-indicator 99 單一得點結果，以藍草種植階段的環境衝擊最大，其值為 181.45 mpt，占整體生命週期 90.17%；損害評估結果，以人體健康風險的 60.59%最高，其次為資源耗用 30.85%。
- 3、客家藍染碳足跡分析結果，主要溫室氣體排放來自藍草種植階段，排放量為 1.75 kgCO₂ eq.，占整體生命週期 74.81%。
- 4、客家藍染與合成藍靛環境友善性比較方面，以滿足相同染色效果為比較基準，在人體健康風險、生態品質與資源耗用方面，客家藍染靛青素含量分別需達 4%、7%及 3%以上，其環境友善性才可優於合成藍靛。

- 5、不同肥料使用量與藍靛產出量的參數分析，每公頃農地之氮肥使用量從 75 公斤增加至 225 公斤，控制其他投入條件不變情況下，藍靛染料產量可提升 19%；其 Eco-indicator 99 及碳足跡環境衝擊結果之影響，分別增加 24.35% 及 17.74%。
- 6、合成藍靛 Eco-indicator 99 單一得點方面，以人體健康風險占 57.27%最高，其中以吸入性無機物、致癌物及氣候變遷較為明顯，其次為資源耗用 38.00%，以化石燃料的衝擊較為顯著。
- 7、本計畫以客家藍染與合成藍靛為個案進行生命週期評估分析與比較，進行染料製程生命週期資料庫建立；另外藍草品種及種植方法的差異、靛青素含量等因子的影響，可能產生不確定性。因此在未來將可進一步探討台灣不同地區藍草品種及種植方法之差異，進一步分析與紀錄其靛青素含量。
- 8、客家藍染在許多技術方面，包含製藍及建藍階段，仍依照傳統的技藝方式，除了製程繁瑣，需花費較多的時間成本，其染料品質不穩定持續存在；因此若能藉由生命週期評估結果之系統分析，導入環境友善的技術改善，進行製藍及建藍階段之效率提升，將有機會降低生產成本，提高產品環境友善性，對於推廣客家藍染之產業應用，與提升產業競爭力具有一定之效益。

參考文獻

1. Aaijaz, N., Ibrahim, M.D.B., (2010) Green Clothing and Eco-Fashion: A Growing Sustainable Market For Sme's, Proceedings of 2010 International Conference on Technology Innovation and Industrial Management, Thailand.
2. Arora, J., Agarwal, P., Gupta, G. (2017) Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts Sustainable and Eco-Friendly Processes, *Green and Sustainable Chemistry*, 7, pp.35-47.
3. Badische Anilin-und-Soda-Fabrik (2015) BASF History We create chemistry 1865 -2015.
4. Blue Alchemy : stories of indigo <http://www.bluealchemyindigo.com/>
5. British Standards Institution, BSI (2011) PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
6. Dhanapala, V., Subramanian, K., (2014) Recycling of textile dye using double network polymer from sodium alginate and superabsorbent polymer, *Carbohydrate Polymers*, Aug 8, 108, pp.65-74.
7. Ferber, K.H. (1987) Toxicology of Indigo. A Review, *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 7, 4, pp.73-83.
8. Freeman, H.S., Peters, A.T. (2000) Colorants for Non-Textile Applications, Elsevier Science, pp.419-421.
9. ISO 14040, (2006) Environmental management – life cycle assessment – principles and framework, International Standardization Organisation; 2006a.
10. ISO 14040, (2006) Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines, International Standardization Organisation; 2006b.
11. Kiriluk K.J., Prasad S.M., Patel A.R., Steinberg G.D., Smith N.D. (2012) Bladder cancer risk from occupational and environmental exposures, *Urologic oncology*; 30: pp.199-211.
12. Li, W., Ray, R.M., Gao, D.L., Fitzgibbons, E.D., Seixas, N.S., Camp, J.E. (2006) Occupational risk factors for nasopharyngeal cancer among female textile workers in Shanghai, *China. Occupational and environmental medicine*, 63, pp.39-44.

13. Mahajan, S., (2012) Sustainability of Green Fashion, RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012, Bangkok Thailand.
14. Manu, B.(2007) Physico-chemical treatment of indigo dye wastewater, *Society of Dyers and Colourists, Color. Technol.*, 123, pp.197-202.
15. Mark, G., Suzanne, E., Marcel, C., (2000) The Eco-indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, Manual for Designers, Pre'Consultants B. V., APRIL, 2000.
16. McKee, J. R., Zanger, M.(1991) A microscale synthesis of indigo: Vat dyeing, *Journal of Chemical Education*, 68, 10,pp. A242-A244
17. Nilsson, R., Nordlinder, R., Wass, U., Meding, B., Belin, L. (1993) Asthma, rhinitis, and dermatitis in workers exposed to reactive dyes,*British Journal of Industrial Medicine*, 50, pp.65-70.
18. Roessler, A. (2003) New electrochemical methods for the reduction of vat dyes, Dissertation published 2003 via ETH Zurich.
19. Savvidis, G., Karanikas, E., Nikolaidis, N., Eleftheriadis, I., Tsatsaroni, E., (2014) Ink-jet printing of cotton with natural dyes, *Coloration Technology*, Vol. 130, pp.200-204.
20. Saxena, S., Raja, A. S. M. (2014) Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues, Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, Textile Science and Clothing Technology.
21. Schmidt, H.(1997) Indigo- 100 Jahre industrielle Synthese, in: Chemie in unserer Zeit, Nr.3, pp.121-128
22. Vineis, P., Pirastu, R. (1997) Aromatic amines and cancer. *Cancer Causes and Control*, 8, pp.346-355.
23. Wild Colours Natural Dyes : Indigo Dye Extraction, http://www.wildcolours.co.uk/html/tamil_nadu_indigo.html
24. Xing, Q., Meng, R., Lou, M., Binga, L., Liu, X., (2015)Remote Sensing of Ships and Offshore Oil Platforms and Mapping the Marine Oil Spill Risk Source in the Bohai Sea, *Aquatic Procedia*, pp.127-132.
25. You, X.Y., Chen J.G., Hu Y.N. (1990) Studies on the relation between bladder

- cancer and benzidine or its derived dyes in Shanghai. *British Journal of Industrial Medicine*, 47, pp.544-572.
26. Yusuf, M., Shabbir, M., Mohammad, F.(2017) Natural Colorants: Historical, Processing and Sustainable Prospects, *Nat Prod Bioprospect*, 2017 Feb.7(1), pp.123-145.
27. Zuskin, E., Mustajbegovic, J., Schachter, E.N., Doko-Jelinic, J. (1997) , Respiratory function of textile workers employed in dyeing cotton and wool fibers,*American Journal of Industrial Medicine*, 31, pp.344-352.
28. 台灣工藝研究中心，線上檢索日期：2016年10月30日：
http://www.ntcri.gov.tw/dnatypelist_196_12.html。
29. 安漠，2012，印染帶給你的不同色彩，右灰文化傳播有限公司。
30. 江蘇亞邦染料官網，線上檢索日期：2017年06月30號，
<http://www.yabangdyes.com/info.asp?id=89>。
31. 行政院農委會，茶業改良場-茶園灌概，線上檢索日期：2016年10月30日
<http://www.tres.gov.tw/view.php?catid=1408>。
32. 李貴民 (2004) 明清時期藍靛業研究，國立成功大學歷史研究所碩士論文。
33. 尚曼華 (2008) 從紡織品生命週期探討環保紡織品發展趨勢，台灣區絲織工業同業公會Filament Weaving Forum，No.66季刊。
34. 林承瑩 (2014)以生命週期評估探討橡膠材料低碳應用，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文。
35. 林青玫，蕭靜芬，蕭沛宸 (2011) 天然藍靛染色工藝技術之探討，紡織工程學會第59屆年會專題論文。
36. 林胤谷 (2014) 中藥青黛外用治療乾癬的臨床療效研究，長庚大學放射醫學研究院專刊，第三十五卷第三期。
37. 林潔怡 (2006) 植物藍靛染料之研究，碩士論文，樹德科技大學應用設計研究所。
38. 邱永亮 (1993)染料之合成與特性，徐氏基金會。
39. 孫占懷 (2005) 談禁用偶氮染料，化學教育，第六期。
40. 馬芬妹 (2007) 台灣藍草木情-植物藍靛染色手冊，國立台灣工藝研究所。
41. 馬芬妹 (2010) 臺灣藍染工藝產業的變遷與新發展，台灣文獻，第六十一卷

第二期。

42. 張林生，張勝林，夏明芳(2005)印染廢水處理技術及典型工程，化學工業出版社出版。
43. 許峰旗 (2014) 台灣天然染織產業的永續思考，台灣工藝季刊，頁 12-17。
44. 郭敘吟 (2009) 一件衣服你也可以永續消費，生物多樣性 (2)：永續利用面面觀，農委會林務局，頁 90-95。
45. 陳世雄 (2005) 本土中草藥選種育種及GAP 栽培研究，中醫藥年報第 23 期第 7 冊。
46. 陳世雄 (2006) 本土中草藥選種育種及有機栽培研究.，中醫藥年年報第 24 期第 3 冊。
47. 陳景林 (2004) 天然藍靛(Indigo)在纖維藝術上的創作研究，碩士論文，國立臺灣師範大學，美術系在職進修碩士學位班。
48. 陳隆進，鄭麗雀 (2007) 藍衫再現—臺灣傳統藍染產業垂直整合現況，文化創意·臺灣魅力-臺灣文化創意議題與對策論文集，頁 33- 46。
49. 陳麗舟、陳合進、陳載永(2007) 植物色素應用於染髮劑之介紹，林業研究季刊，29(2)。
50. 勞動部 (2013) 印染整理業安全衛生輔導研究。
51. 曾樹城 (2014) 青黛，中榮醫訊，第 201 期。
52. 楊英賢 (2008) 生命週期評估與不確定性分析應用於火力發電廠與燃料選擇，國立成功大學環境工程學系博士論文。
53. 楊新瑋，羅鈺言，李錦簇，何岩彬 (1999) 化工產品手冊：染料及有機顏料，化學工業出版社。
54. 經濟部工業局 (1991) 染整工廠廢水污染防治。
55. 經濟部工業局 (1994) 染整業水污染防治技術。
56. 經濟部工業局 (2002) 染整業污染防治與環境管理實務手冊。
57. 經濟部工業局(2014) 染整業污染防治法規與處理技術手冊。
58. 葉孟芬，林添寶，高年信 (1999) 以分散性染料為主之染整廢水處理程序探討之研究，第二十四屆廢水處理技術研討會論文集。
59. 葉朝枝 (2012) 綠色紡織品上班服裝採購與願付價格研究。中央大學管理學

院高階主管企管碩士班學位論文。

60. 蔡承豪 (2002) 從染料到染坊-17 至 19 世紀臺灣的藍靛業，國立暨南國際大學歷史學系碩士論文。
61. 蔡承豪 (2012) 嘉義地區藍靛業的發展與變遷(18世紀初~1920年代)臺灣文獻.第63卷第3期。
62. 鄭美淑 (2016) 又見一抹藍：大菁藍手10年記，上旗文化出版。

附錄一：參訪美濃藍染文創工坊

拜訪日期：2017.05.11

拜訪高雄美濃當地的藍染工坊，在工坊負責人溫文玲老師帶領下，參觀木藍田，並聽取藍染在美濃當地文化背景，以及染色技藝知識。



圖 22 木藍田實況



圖 23 工坊負責人講解



圖 24 木藍近照



圖 25 工坊藍染作品

附件二：參加 2017 第八屆客家文化傳承與發展學術研討會

研討會日期：2017.05.20

計畫執行期間，將計畫研究的部分成果，寫成研討會論文，“以碳足跡探討客家藍染技術之改善研究”，並於第八屆客家文化傳承與發展學術研討會上發表。

圖 26 客家文化傳承與發展學術研討會文宣



表 162017 年第八屆客家文化傳承與發展學術研討會議程表

時 間	程 序		
08：00~08：30	報到及領取資料		
08：30~08：50	開幕，貴賓致詞		
08：50~09：00	拍攝團體照，休息		
09：00~10：00	專題演講：范文芳教授「地名與客家文化」		
10：00~10：20	茶敘		
10：20~12：00 主持人 古國順 臺北市立大學 教授 1A	第一 A 場發表（A5 視聽簡報室）		
	發表人	論文主題	與談人
	鄭明中 聯合大學教授	苗栗四縣客家話單字調的聲學分析	古國順 臺北市立大學教授
	何石松 新生醫專副教授	《紅樓夢》中的客語方言詞彙探討	范文芳 新竹教大教授
	謝淑熙 新生醫專助理教授	臺灣客家的宗祠文化－以新竹縣張昆和宗祠為例	劉醇鑫 新生醫專副教授
	張月珍 清華大學博士生	客語與賽夏語元音格局比較研究	鄭明中 聯合大學教授
10：20~12：00 主持人 吳學明 中央大學教授 1B	第一 B 場發表（T5 多功能會議室）		
	發表人	論文主題	與談人
	劉易齋 新生醫專教授	台灣客家文化基因之宗教禮俗	陳清輝 新生醫專教授
	毛紹周 中原大學博士生 曾丹妮 光明國小教師	南崁地區閩、客群族的消長痕跡：以觀察日治史料與南崁褒忠亭的存廢為例	吳學明 中央大學教授
	謝螢萱 台中科大研究生 卓聖格 台中科大教授	台灣客家兒童繪本的發展研究	吳餘鎬 新生醫專講師
	黃勻萱 嘉南藥理科大助理教授	客庄傳統市集創意再生－以竹東客家傳統市集「東風客集」為例	劉易齋 新生醫專教授
12：00~13：00	午 餐		
13：00~14：40 主持人 陳清輝 新生醫專教授 2A	第二 A 場發表（A5 視聽簡報室）		
	發表人	論文主題	與談人
	劉碧蓉 國父紀念館副研究員	鍾肇政與日本：日本文化的歷練	鍾文博 新生醫專助理教授
	陳志寧 來義國小校長	國小七大領域教材專業術語對譯客家語之研究	曾燕春 永和國小校長
	江依亭 中央大學研究生	客語推薦用字「拗蠻」之研究	賴文英 中央大學助理教授

	徐慧萍 中央大學研究生	客語同義詞「蘸」與「搵」辨析	劉勝權 新生醫專助理教授
13：00~14：40 主持人 張維安 交通大學教授 2B	第二B場發表（T5 多功能會議室）		
	發表人	論文主題	與談人
	官武德 中央大學博士生	客家社區營造轉型為社會企業經營模式之探討：以桃園市龍潭區高原社區為例	張維安 交通大學教授
	徐熏琪 聯合大學研究生 范瑞玲 聯合大學副教授	苗栗桐花婚禮展演的特色研究	劉煥雲 聯合大學副教授
	楊英賢 嘉南藥理科大副教授、助理研究員、 張茂祥 副教授、助理教授 蕭景祥 副教授、助理教授 葉仲超	以碳足跡探討客家藍染技術之改善研究	劉煥雲 聯合大學副教授
	鍾思亭 中央大學研究生	客家女性三代形象分析：以電影《女人家》為例	黃菊芳 中央大學助理教授
14：40~15：00	茶 敘		
15：00~16：30 主持人 謝俊逢 國防大學 教授 3A	第三A場發表（A5 視聽簡報室）		
	發表人	論文主題	與談人
	邱湘雲 彰師大教授	客家山歌音檔建置及其語言特色研究	陳秀琪 中央大學副教授
	黃菊芳 中央大學助理教授	花蓮縣鳳林鎮客家話的家戶分布調查	陳秀琪 中央大學副教授
	吳佩玲 高師大研究生	當代美濃常民生活中八音的使用及其形式	謝俊逢 國防大學教授
	李梅村 高師大研究生	從高雄夜合季談客家文化的創發性之研究	邱湘雲 彰師大教授
15：00~16：30 主持人 羅肇錦 中央大學教授 3B	第三B場發表（T5 多功能會議室）		
	發表人	論文主題	與談人
	蕭景祥 嘉南藥理科大副教授	客家童謠教學能力培育實驗計畫－以幼保系學生為例	何石松 新生醫專副教授
	沈雅琪 新生醫專講師	桃園市學校合唱團之音樂教育功能探討－以新生醫護管理專科學校合唱團為例探討客家音樂態度	楊寶蓮 臺北市立大學博士
	劉醇鑫 新生醫專副教授	客家俗諺中的雞意象及文化含蘊	羅肇錦 中央大學教授
	李俊彥 中央大學研究生	從六堆客語「屏」來探討有關「藏」義的漢語方言用字	徐貴榮 中央大學助理教授
16：30~	閉幕		

附件三：美濃圖書館辦理藍染客庄活動

活動日期：2017.07.08

活動由美濃圖書館主辦，邀請溫文玲老師及楊英賢主任，分別主講美濃客家藍染歷史背景，傳統植物染色與環保趨勢主題探討；由劉淑女老師帶領學員們進行束口袋及方巾的設計及製作。



圖 27 客家藍染歷史介紹



圖 28 傳統植物染色與環保趨勢主題探討



圖 29 藍染技藝教學



圖 30 藍染手作體驗

附件四：藍草採收及製靛紀錄

活動日期：2017.07.29

凌晨三點半起床，四點抵達木藍田，由溫文玲老師及劉淑女老師的帶領之下，進行藍草採集的作業，五點開始進行木藍枝葉分離及浸水程序，並記錄下各盆的葉子投入量及水投入量；由於七月三十號尼莎颱風侵襲台灣，礙於人員安全考量，因此並未參與“打靛”程序，其程序由溫文玲老師及劉淑女老師持續進行，並紀錄下總藍靛產出量，經計算得知此次製靛階段的藍靛產出率在9.37%。

表 17 藍草採收及製靛紀錄表

藍草採收及製靛紀錄					
採收日期		106.07.29	採收地點	高雄美濃	
種植品種		木藍	採收數量	46 株	
藍草採收	總重(kg)	菁幹		葉子	
		重量(kg)	比例	葉重(kg)	比例
	53.3	13.8	25.89%	39.5	74.11%
製靛	盆數	葉子投入(kg)	水投入(kg)	石灰投入(kg)	藍靛產出(kg)
	第一盆	6	57.15	-	-
	第二盆	7	53	-	-
	第三盆	7	54.5	-	-
	第四盆	7	55	-	-
	第五盆	6	57.9	-	-
	第六盆	6.5	57.5	-	-
	總計	39.5	335.05	-	3.7
	藍靛產出率				9.37%



圖 31 木藍田採集畫面



圖 32 採收的木藍枝葉



圖 33 木藍枝葉分離程序



圖 34 木藍浸水程序

附件五：藍靛染料含水率試驗

試驗日期：2017.09.20

針對藍靛染料的進行含水率試驗，運用校內實驗室的抽氣式烘箱，以 80℃ 連續烘烤 24 小時，將藍靛染料的水分完全蒸散，經計算得知此次藍靛染料的含水率約在 69.10%。

表 17 藍靛染料含水率試驗紀錄表

藍靛染料含水率試驗紀錄				
培養皿		A	B	C
淨重(g)		44.77	40.09	80.72
烘乾前重量(g)		87.93	69.98	112.6
烘乾後重量(g)		57.65	49.22	91.02
受測物重量(g)		43.16	29.89	31.88
灰分+色素	重量(g)	12.88	9.13	10.3
	比例	29.84%	30.55%	32.31%
水分	重量(g)	30.28	20.76	21.58
	比例	70.16%	69.45%	67.69%
總平均含水率				69.10%



圖 35 培養皿 A 之藍靛染料



圖 36 培養皿 B 之藍靛染料



圖 37 培養皿 C 之藍靛染料

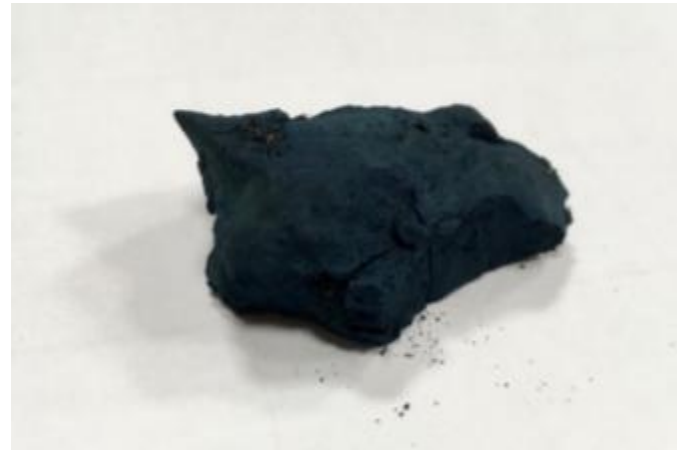


圖 38 烘乾後的藍靛染料

