JHGT 2021.04, Vol.28, No.2(117-123)
華岡紡織期刊 第二十八卷 第二期
http://www.jhgt.org.tw/pdf/jhgt-28.2(117-123)(2021-04).pdf
Journal of the Hwa Gang Textile
ISSN 1025-9678

分散性黃色 241 染料於超臨界二氧化碳中染色性探討

Discussion on the dyeability of disperse yellow 241 dye in supercritical carbon dioxide

張瑞哲，陳翰，黃文謙，林尚明
J. C. Chang, H. Chen, W. C. Huang, S. M. Lin
亞東技術學院材料與纖維系應用科技碩士班
Master Program of Applied Science and Technology, Department of Materials and Textiles, Oriental Institute of Technology
林尚明：fc013@mail.oit.edu.tw

摘要

本實驗以分散性黃色 241 染料於超臨界 CO_2 中改變不同的壓力和溫度對聚酯纖維進行染色，並探討其表觀色力度值(K/S 值)與染色堅牢度，進而找出最佳的染色條件。結果顯示在 3625psi 壓力下染色溫度於 70℃ 時即可染著，但其 K/S 值較最低，表示染料在超臨界 CO_2 中尚未進入聚酯纖維的內部，但隨著溫度升高時，K/S 值便會隨之上升。在溫度 120℃下染色時其壓力於 2300 psi 時就可染著，其 K/S 值也較低，表示染料在超臨界 CO_2 中溶解較少染料，隨著壓力升高時，K/S 值隨之上升；綜合以上結果發現分散性黃色 241 於超臨界 CO_2 染色的最佳條件為溫度 120℃ 壓力 3625 psi。

關鍵字：分散性、超臨界 CO_2、聚酯纖維、染色

Abstract

In this experiment, the C.I. disperse yellow 241 was dyed in supercritical CO_2 with different pressures and temperatures to dye polyester fibers, and the apparent color strength value (K/S value) and dyeing fastness were discussed to find the best of the dyeing conditions. The results show that the dyeing temperature can be dyed at 70℃ under the pressure of 3625psi, but its K/S value is the lowest, indicating that the dye has not entered the polyester fiber in the supercritical CO_2, but as the temperature increases, the K / S value will rise. When dyeing at a temperature of 120℃, it can be dyed when the pressure is 2300 psi, and its K/S value is also low, which means that the dye dissolves less dye in supercritical CO_2. As the pressure increases, the K/S value rises accordingly. Based on the above results, it is found that the best condition for dyeing C.I. disperse yellow 241 in supercritical CO_2 is temperature 120℃ and pressure 3625 psi.

Keywords：Disperse, Supercritical CO_2, Polyester Fibers, Dyeing

前言

在紡織產業鏈之染色工程中需要使用大量水資源另其後續產生染整廢水處理可能需占其占成本的三分之一或以上，其中廢水不僅破壞了自然生態，處理廢水也需要投入大量金額，因此紡織業需要找到一個既環保又省錢的染色方法。

與傳統的水染相比，超臨界 CO_2 染色是一種無水的染色方法，因此不用處理廢液，且因染色時也不需加入其它助劑，不僅環保又減少水資源的使用又有節約能源的優勢[1]。因許多國家中已有嚴格的環境規範，且牌商也紛紛採取對環境有利的染整方法，因此超臨界 CO_2 染色目前在紡織產業中可取代傳統水染的一種革命性和吸引力的替代方法。

超臨界 CO_2 染色(supercritical carbon dioxide dyeing)技術率先是德國西北紡織品研究中心的 Schollmeyer 在 1989 年，此技術也受到國際的注意。超臨界 CO_2 染色是以二氧化碳取代傳統以水為溶劑的無水染色技術，有低耗能、高效率和環保的優點，且使用 CO_2 對環境無害，對現在的紡織業具有非常大的突破[1]。利用超臨界 CO_2 的高溶解度將分散性染料溶解，再用分段加壓的方式使染料慢慢滲透到聚酯布內部，完成染色階段時，會進行卸壓排出 CO_2 的動作，剩下的殘餘染料與二氧化碳還可以回收再使用，此亦可以達到回收環保的功效[2,3] 。

理論

超臨界二氧化碳染色理論

超臨界流體是一種物質狀態，當物質的狀態超過臨界溫度及臨界壓力以上，氣體與液體的性質會趨近於類似，最後會達成一個均勻相之流體現象。如表 1，超臨界流體類似氣體具有可壓縮性，而且又兼具有類似液體的流動性，密度一般都介於 0.1 到 1.0g/mL 之間[5,6]。二氧化碳在常態的氣體狀態下不具含分散劑能力（表 2），但進入超臨界狀態後，其親油性質增強，擴散係數高、黏度低、混合性良好，密度低、介電係數低，具有溶解有機物的能力，且溶解能力會隨溫度及壓力變化而有所不同。二氧化碳在攝氏 31℃和 7.38mPa 大氣壓時（表 2），達到超臨界狀態，具有氣體和液體中間的性質。當以二氧化碳當媒介染色時，在這實驗中，如果溫度過低的話，會使染料分子不能擴散進入纖維內，也可能產生染料還沒完全溶化無法染著著布匹。而壓力過低，不僅會使染料分子溶解度降低，也會導致染料的固相分離，產生染色不均的斑點及上色不均勻的現象[5,7]。

表 1 超臨界流體物理性質之比較[4]

性質 / 狀態	密度 (g/cm^3)	黏度 ($g/cm \cdot s$)	擴散係數 (cm^2/s)
液體	0.8~1.0	0.3~2.4x10-2	0.5~2.0x10-5
氣體	~10-3	0.5~3.5x10-4	0.01~1.0
超臨界流體	0.2~0.9	0.2~1.0x10-3	0.5~3.3x10-4

表 2 各種物質的分子式、臨界溫度、壓力密度[5]

性質 / 流體		分子式	臨界溫度 Tc(℃)	臨界壓力 (mPa)	密度	溶解度參數
	二氧化碳	CO_2	31	7.38	0.47	2.0
非極性	乙烯	C_2H_4	9	5.03	0.22	1.7
流體	甲烷	CH_4	-82	4.60	0.16	-
	丙烷	C_3H_8	97	7.38	0.47	1.5
	丙酮	CH_3COCH_3	235	4.70	0.28	9.8
弱極性	二甲基醚	CH_3OCH_3	194	4.62	0.23	7.4
流體	三氟氯烷	$CClF_3$	29	3.92	0.58	-
	一氧化二氮	N_2O	36	7.15	0.45	2.0
強極性	水	H_2O	374	220.0	0.32	23.5
流體	甲醇	CH_3OH	240	8.09	0.27	14.5

聚酯纖維染色理論

聚酯纖維的製造是由對苯二甲酸與乙二醇，經縮合反應而成的高分子聚合物，其結構如圖 1 所示。聚酯纖維是由多數含有酯基的芳香基、末端氫氧基及羧基所組成，是一種纖維強度高、結構緊密、結晶度高、吸濕性低的疏水性高纖維，因缺少親水性基團，所以吸濕性差，疏水性強，其結構緊密、分子間空隙小，因此染料分子不易進入纖維內部，造成染色不易，所以染色時也要考慮到染料分子的大小，須選擇分子量小、染料容易擴散、水溶性低，並與聚酯纖維疏水性相適應的分散性染料。

聚酯纖維在染色時，染料須藉助其它方法使分子得以進入纖維內部而固著。例如：高溫高壓染色法、導染劑染色法、熱轉移印花法、溶劑染色法[8,9]。

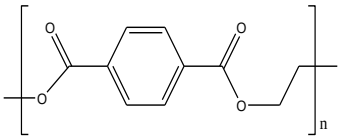


圖 1 聚酯纖維結構式

分散性染料染色理論

聚酯纖維主要是以分散性染料來進行染色，而分散染料主要可分為偶氮、蒽醌及非偶氮雜環類，以及少量的喹酞酮類、硝基二苯胺類、次甲基類、氨基酮類等種類，其具有分子小、結構簡單、疏水性等的特色，通常含有羥基、氨基、硝基等弱性基團。分散染料是非離子型染料，無法溶解於水溶液中主要是靠分散劑的作用而穩定懸浮液均勻分散於水溶液中。其中小部份染料分子成溶入狀態，一部份染料分子溶在分散劑的膠團，一部份則以細小晶體狀懸浮在染液中。

分散染料的上色方式主要是以單分子狀態擴散進入纖維內部，此時染液流動速度緩慢，這時擴散速率與溫度成正比，所以提升染色溫度可以讓聚酯纖維非結晶區孔隙增加。而原本聚集的染料要進行解聚，破壞染液中原來平衡。染料不斷上染，解聚也不斷進行，直到上染達到平衡為止[8,10,11]。

實驗

實驗流程

本實驗可分為五個階段。第一階段：萃取含分散劑染料；第二階段：超臨界二氧化碳染色；第三階段：進行還原洗；第四階段：K/S 值得測試與探討；第五階段：染色堅牢度測試與討論。

染料

商用染料 分散性黃色 241

織物

(1) 聚酯布規格：針織 36D/36f ， PET interlock 170g/y，61"。

實驗藥品

(1). 二氧化碳(Carbon dioxide) ：板橋氣體有限公司

(2). 丙酮(95%) ：景明化工

(3). 氫氧化鈉：日本試藥

(4). 保險粉（連二亞硫酸鈉）(98%) ：日本試藥

實驗設備

(1). 超音波振盪器(Ultrasonic Cleaner), Branson 3510, Al-tar

(2). 旋轉式真空濃縮機(Laboratory Evaporation), R114, BÜCHI

(3). 精密電子天平(Analytical Balance), TB-215D, Denver instrument

(4). 酸鹼測定儀(Benchtop pH meters), 6173pH, Jenco electronics, ltd

(5). 超臨界染色實驗機(Supercritical dyeing machine), SD1000, 台超含分散劑洗淨精機股份有限公司

(6). 分光儀,SP-62, X-Rite

(7). 水洗牢度試驗機(H-24M, LABTEC)

(8). 耐摩擦牢度試驗機(Color fastness to rubbing tester), James H. Heal & Co. Ltd

(9). 多孔爐(MULTI-UNIT MANTLES MU-650)

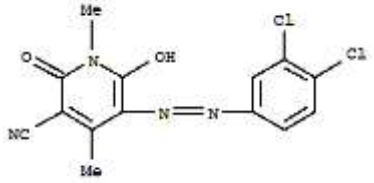
(10). 高溫壓染色機 高溫壓染色機 (Rapid，甘油浴)

染料含分散劑過程

以丙酮為溶劑染料，利用索式萃取方式將染料與分散劑分離。把萃取後的丙酮液體利用旋轉式真空濃縮機，將餘丙酮去除。烘乾染料，以研缽研磨，並放置於烘箱烘乾後，取樣再進行超臨界染色。

超臨界染色

1. 實驗操作步驟



(1). 設定染色的溫度，讓染缸溫度先達到設定值(70℃、80℃、90℃、100℃、110℃、120℃、130℃)。

(2). 溫度到達後，將染料以棉布包覆於染軸，並將實驗聚酯布樣捲於棉布，最外層再包覆一層棉布以防污染之聚酯布樣，最後將染軸放入染缸。

(3). 將染缸加入二氧化碳並提升壓力到設定值(2300psi、2500psi、2800 psi、3100 psi、3625 psi)

(4). 設定染色時間(3600sec)，時間到達後即卸壓力並降溫。

(5). 取出染布樣。

2. 還原洗 (85℃/20min)

NaOH：1g/L

保險粉：3g/L

浴比：1:20

表觀色濃度 K/S

由於染料與不同的染色條件之上色性不同，故其最終固著在織物上的染料量也互異。織物染色後經過電腦程式運算轉換成吸收函數與散射函數的比值，是所謂的表觀濃度值。

表濃度值中，有色物質對光的吸收帶與反射率的關係，通常以入射光波長 λ(nm)為橫座標，相對反射率 R%為縱座標作圖，當入射光照射於不透明有色物質時，除少量鏡面反射外大部分光線進入纖維內部，發生光的吸收與散射。於織物的反射率測試中，吸收光的物質主要是染料，染料濃度愈高時，吸收強度越大，反射強度越小。染料的濃度與反射率之間存在一關係式，此關係式為：

$$\text{表觀濃度值(K/S value)} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

R：最大吸收波長的反射率。

K：吸收係數，代表無限厚平面介質中，照射入射光後，介質對光的吸收率。

S：散射係數，代表無限厚平面介質中，照射入射光後，介質對光的散射率。

色牢度測試

耐水洗牢度 (依據 ISO-105-C06 測定)

乾摩擦牢度 (依據 AATCC8 測定)

濕摩擦牢度 (依據 AATCC8 測定)

結果與討論

染色溫度對 K/S 值的影響

圖 2 顯示為分散性黃色 241 染料(含分散劑與未含分散劑)在壓力 3625 psi 和時間 3600 sec 的染色條件下，改變不同染色之溫度 K/S 值關係圖。由圖 2 可得知超臨界 CO_2 染色時在 70℃時就有染著現象，只是其 K/S 值較低，因其 K/S 值隨著染色溫度升高而上升，在含分散劑與未含分散劑染料在 120℃染色後趨勢開始平緩，130℃時到達最大值。這也表示提高染色溫度，使得聚酯纖維進行膨潤可使染料慢慢地進入聚酯纖維的內部，使得其 K/S 值隨之上升。當染色溫度低於 80℃時，染料只附著於纖維表面，K/S 值也較低。因此必須有適當的溫度，使染料擴散至纖維內部並產生固著，如此其染料 K/S 值也提升。

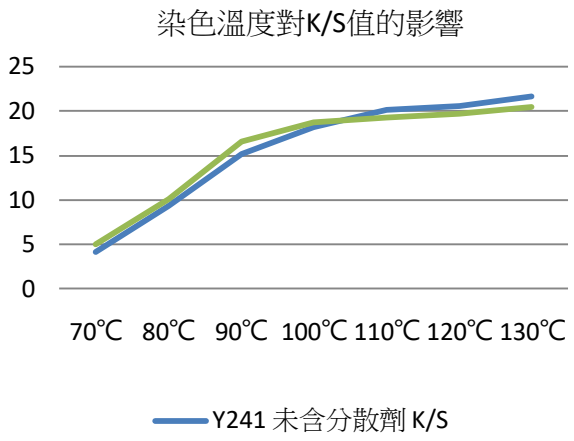


圖 2 分散性黃色 241(含分散劑與未含分散劑)在不同染色溫度的 K/S 值

染色壓力對 K/S 值的影響

分散性黃色 241 染料(含分散劑與未含分散劑)在固定溫度 120℃和時間 3600sec 的條件下，改變不同染色壓力與其 K/S 值之關係如圖 3 所示。由圖 3 發現，超臨界 CO_2 染色時在 2300 psi 時就已經產生染著現象，只是其 K/S 值數值稍低。然而其 K/S 值隨著染色壓力升高而上升，在壓力 3625 psi 時，無論含分散劑與未含分散劑的染料其 K/S 值均已經達到最大值。染料在超臨界流體中的溶解度也隨著壓力增加而會增加，使其 K/S 值也隨之上升。聚酯纖維吸收

染料後達飽和後便不會繼續吸收，使其 K/S 值也達到平衡狀態。

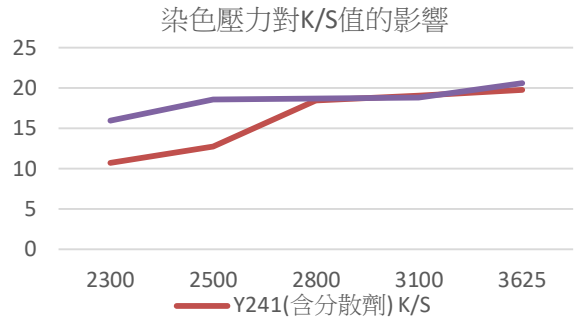


圖 3 分散性黃色 241(含分散劑與未含分散劑)在不同染色壓力的 K/S 值

染色聚酯布之各項染色堅牢度測試

由表 3 顯示，分散性黃色 241 含分散劑在各項牢度測試的結果，可知耐水洗牢度中，在溫度 70℃之尼龍纖維的染污 3-4 級，其他條件的水洗牢度皆在 4 級以上。在乾摩擦牢度中溫度 100℃、110℃和 130℃級數皆 3-4 級，其他牢度皆 4 級以上，濕摩擦牢度也皆 4 級以上。

分散性黃色 241 未含分散劑在各項牢度測試的結果，可知耐水洗牢度中，在溫度 80℃之尼龍纖維的染污 3-4 級，在壓力 2300 psi 尼龍纖維的染污 3 級，壓力 2500 psi 尼龍纖維的染污 3-4 級，其他條件的水洗牢度皆在 4 級以上。在乾摩擦牢度中壓力 2500 psi 級數為 2-3，壓力 2300 psi 級數為 3，溫度 80℃、100℃和 130℃級數皆 3-4，其他牢度皆 4 級以上。濕摩擦牢度壓力 2500 psi 級數為 3，溫度 80℃級數 2-3、溫度 100℃級數 3-4，其他牢度皆 4 級以上。

綜合以上結果，分散性黃色 241 在含分散劑染料過後所有水洗牢度和摩擦牢度，皆比未含分散劑的染料為佳。這也表示染料經過含分散劑的染料比較適合超臨界 CO_2 染色。

表 3 染色(含分散劑與未含分散劑)後織物的各項染色牢度測試

條件		水洗牢度 ISO-105-C06					
		醋酸纖維	棉纖維	尼龍纖維	PET 纖維	亞克力纖維	羊毛纖維
含分散劑	70℃	4	4-5	3-4	4-5	4-5	4
	80℃	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	90℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	100℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	110℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	120℃	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4
	130℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
未含分散劑	70℃	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	80℃	4	4-5	3-4	4-5	4-5	4
	90℃	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	100℃	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	110℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	120℃	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	130℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
含分散劑	2300 psi	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	2500 psi	4	4-5	4	4-5	4-5	4
	2800 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	3100 psi	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4
	3625 psi	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4
未含分散劑	2300 psi	4	4-5	3	4-5	4-5	4
	2500 psi	4	4-5	3-4	4-5	4-5	4
	2800 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	3100 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4
	3625 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4

條件		磨擦牢度 AATCC8	
		磨擦(乾)	磨擦(濕)
含分散劑	70 ℃	4-5	4-5
	80 ℃	4-5	4-5
	90 ℃	4	4-5
	100 ℃	3-4	4-5
	110 ℃	3-4	4-5
	120 ℃	4	4-5
	130 ℃	3-4	4-5
未含分散劑	70 ℃	4-5	4-5
	80 ℃	3-4	2-3
	90 ℃	4	4
	100 ℃	3-4	3-4
	110 ℃	4	4-5
	120 ℃	4	4-5
	130 ℃	3-4	4-5
含分散劑	2300 psi	4-5	4-5
	2500 psi	4-5	4-5
	2800 psi	4-5	4-5
	3100 psi	4	4-5
	3625 psi	4	4-5
	2300 psi	3	3

未含分散劑	2500 psi	2-3	4
	2800 psi	4	4-5
	3100 psi	4	4-5
	3625 psi	4-5	4-5

由表 4 顯示，分散性黃色 241 含分散劑在各項牢度測試的結果，可知耐水洗牢度中，所有條件的水洗牢度皆在 4 級以上。在乾摩擦牢度皆 4 級以上，濕摩擦牢度也皆 4 級以上。

分散性黃色 241 未含分散劑在各項牢度測試的結果，可知耐水洗牢度中，所有條件的水洗牢度皆在 4 級以上。在乾摩擦牢度皆 4 級以上，濕摩擦牢度也皆 4 級以上。

表 4. 染色(含分散劑與未含分散劑)織物還原洗後的各項染色牢度測試

條件		水洗牢度 ISO-105-C06					
		醋酸纖維	棉纖維	尼龍纖維	PET 纖維	亞克力纖維	羊毛纖維
含分散劑	70℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	80℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	90℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	100℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	110℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	120℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	130℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
未含分散劑	70℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	80℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	90℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	100℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	110℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	120℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	130℃	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
含分散劑	2300 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	2500 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	2800 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	3100 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	3625 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
未含分散劑	2300 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	2500 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	2800 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	3100 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	3625 psi	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

條件		磨擦牢度 AATCC8	
		磨擦(乾)	磨擦(濕)
含分散劑	70 ˚C	4-5	4-5
	80 ˚C	4-5	4-5
	90 ˚C	4-5	4-5
	100 ˚C	4-5	4-5
	110 ˚C	4-5	4-5
	120 ˚C	4-5	4-5
	130 ˚C	4-5	4-5
未含分散劑	70 ˚C	4-5	4-5
	80 ˚C	4-5	4-5
	90 ˚C	4-5	4-5
	100 ˚C	4-5	4-5
	110 ˚C	4-5	4-5
	120 ˚C	4-5	4-5
	130 ˚C	4-5	4-5
含分散劑	2300 psi	4-5	4-5
	2500 psi	4-5	4-5
	2800 psi	4-5	4-5
	3100 psi	4-5	4-5
	3625 psi	4-5	4-5
未含分散劑	2300 psi	4-5	4-5
	2500 psi	4-5	4-5
	2800 psi	4-5	4-5
	3100 psi	4-5	4-5
	3625 psi	4-5	4-5

結論

1. 在同壓力 3625 psi 下，溫度在 130℃時 K/S 值最高 ,不含分散劑(萃取)染料之 K/S 值為 20.471，含分散劑(未萃取)染料之 K/S 值為 21.673。其水洗色牢度到達 4 級和乾摩擦色牢度含分散劑為 3-4 級，未含分散劑為 3-4 級。
2. 在溫度 120℃下壓力在 3625 psi 時 K/S 值最高，含分散劑染料之 K/S 值為 19.759 未含分散劑染料之 K/S 值為 19.563。摩擦色牢度和水洗色牢度皆到達 4 級。
3. 經過還原洗過後的分散性黃色 241 超臨界 CO_2 染色布樣，其水洗色牢度和摩擦色牢度皆有提升 0.5 級以上。
4. 綜合上述結果顯示，發現分散性黃色 241 之最

佳染色條件為溫度 120℃ 壓力 3625 psi 。

參考文獻

1. 廖盛焜、李勝騰、張原需，超臨界流體染色技術，科學發展，470 期，24-29(2012)
2. 李芮譯，合成及天然纖維紡織品的，國外染整技術，印染，No.12，2-17 (2013)
3. 楊維漢，有了 adidas 及 Nike 的加持「無水染色」商機無限，流行快訊，473 期 (2013)
4. 李日正、簡文洋、林尚明，3-(N,N-二丁氨基)-4-甲氧基乙醯苯胺分散染料在超 臨界二氧化碳中可染性之探討，華岡紡織期刊，第 24 卷，第 2 期，111-116(2017)
5. 林孟璇、李貴琪、邱永和，分散性染料在超臨界二氧化碳之溶解度的研究，華岡紡織期刊，第 13 卷，第 2 期，129-137(2006)
6. 楊顯整，超臨界綠色技術之概述，綠基會通訊，7-11(2009)
7. 廖盛煜、阮瑾御，超臨界流體技術對纖維染色的應用軌跡，化工，第 60 卷，第 2 期，36-53(2013)
8. 林淑惠、林芊葳、 莊青霖、 莊偉聖，OPTILAB 應用於聚酯織物染色製程參數調控之研究，華岡紡織期刊，第 23 卷，第 1 期，13-17(2016)
9. 陳進來，聚酯纖維於絲織業的應用情形，絲織園地，第 77 期，66-76(2011)
10. S.L. Draper, G.A. Montero, B. Smith , K. Beck, Solubility relationships for disperse dyes in supercritical carbon dioxide, Dyes and Pigments, 45, 177-183 (2000)
11. 嚴建國，三種商用染色打樣機對不同織物染著機制之研究(一)，亞東學報，第 26 期，185-194(2006)