

環保黃豆油墨 對平版印刷適性影響 之探討

陳忠輝、周宜政

摘要

本文首先說明植物性油墨技術，從植物性油墨的簡介，以及植物性油墨中的植物油分子構造開始，然後敘述導入黃豆油墨的起源與組成和植物性酯的開發，接著探討黃豆油墨於乳化作用、抗分裂力、黏度、耐磨擦性、脫墨性及印墨清理與回收對等平版印刷上的應用與相關的印刷適性。

關鍵詞

植物性油墨 (vegetable oil-based ink)；黃豆油墨 (soy ink)；

乳化作用 (emulsification)；抗分裂力 (tack)；印刷適性 (printability)

壹、前言

近年來由於石油價格提升，傳統石油性油墨供應產生問題，加上環保意識日漸抬頭，故有植物性油墨（vegetable oil-based ink）的出現，而黃豆油墨（soy ink）便是其中的一種。因為傳統油墨含有一些石油性成分，會釋放出揮發性有機化合物（VOCs, Volatile Organic Compounds），不但會造成人體危害，更造成地球環境的破壞，因此業界便考慮採用減少環境污染的植物性油墨，更因為黃豆油墨具備可被生物分解且降低排出VOC的性能，況且價格又可與傳統油墨競爭，印刷品質佳，因此希望能以黃豆油墨取代一部分石油性油墨於平版印刷上使用，且由於這些優點，甚至因此還陸續有人想將黃豆油墨推廣至印刷工業以外的其他方面來應用，例如應用於藝術的水彩（Brower, 1992）。

貳、植物性油墨技術

現在絕大部分使用於植物性油墨的半乾性油都是黃豆油，雖也有使用其他的植物油，像是葵花子油、油菜籽油等。因為植物性油墨中的植物油與礦物性油墨中礦物油分子架構不同，所以以下便對於兩者分子架構做簡單比較，並對一個能夠改良黃豆油技術缺點的植物性酯（vegetable esters）開發進行探討。

一、植物性油墨

在1980年代，美國新聞出版協會（ANPA）研發一系列的印墨調配成分，其將硬瀝青和妥爾油脂肪酸（tall oil fatty acid）與碳黑顏料混合，但是這些油墨受限於價格以及妥爾油的可得性，再加上瀝青難以清理，因此並沒有完全被印刷業界所接受。後來於1985年ANPA改良後發展出一種適合平版新聞印墨的媒質（vehicles），其包含了鹼性提煉黃豆油、碳氫化合物樹脂和顏料。傳統油墨裡的媒質通常包含了亞麻仁油或其它乾性油，另外還包含一些石油物質當作媒質裡的溶劑。植物性油墨通常用半乾性油來取代油墨調配中的石油物質，像是黃豆油、玉米油、油菜籽油、妥爾油等。

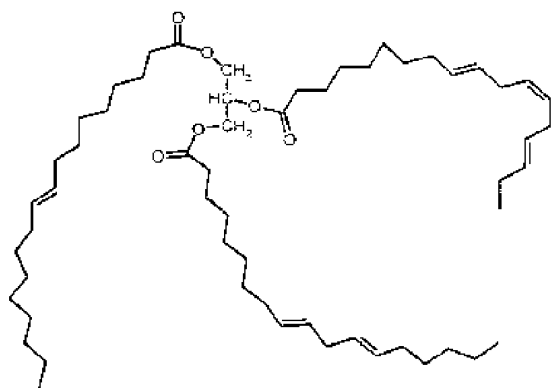
二、植物油構造

植物油的利用有三種基本型態，即乾性（drying），半乾性，和非乾性。乾性，簡單的說，即印刷程序中，當油接觸氧氣時，自液態變成固態的轉換，在此氧氣控制催化劑的作用。過去，印墨工業所用者，大致集中於乾性油方面。印墨中的媒質通常是用兩種方法從植物油中準備的，其一，植物油在氮氣中保持一定溫度，用熱聚合的方法來得到想要的黏度；其二，熱聚合作用容許處理到一個凝膠點（gel point）後，然後凝膠混合植物油來得到想

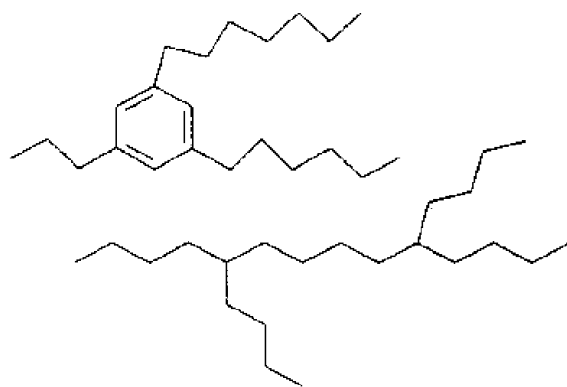
要的黏度。所有的植物油皆有其相同的基
本構造，也就是說，它們的化學組成都是
長鏈結（long chain）的脂酸與甘油
（glycerol）形成的甘油脂混合物，或稱三甘
油脂（triacylglycerides）。油脂的乾性快
慢，主要取決於油脂構造中的不飽和雙鍵
數與位置情況。依照油脂的不同，碳的長
短也不同，脂肪部份可以是飽和（油菜
籽、黃豆），或是不飽和（亞麻仁）。醇的
部份可以依照碳的數量，提供另一個性質
的範圍，無論是線性或是分支的。不飽和
程度越高，其靠氧化作用乾燥，經雙鍵形
成聯結化合物網狀構造的潛力越大。從印
墨的分子構造來看，植物油分子與礦物油
分子有相當大的不同，礦物油分子在不考
慮分支的情形下，小於植物油分子三到五
倍（圖一、二）（Pierre-Antoine Noirot,

2004），總之，植物油比礦物油重得多，植
物油幾乎不能在熱固下乾燥。另外，傳統
油墨所用的油在 23°C 時黏度是 5 mPa.s，
而亞麻仁油是 44 mPa.s，黃豆油是 55
mPa.s，在這個差異之下會影響到流體在塗
佈紙張上的吸收（Erhan, 1992; Pierre-
Antoine Noirot, 2004）。

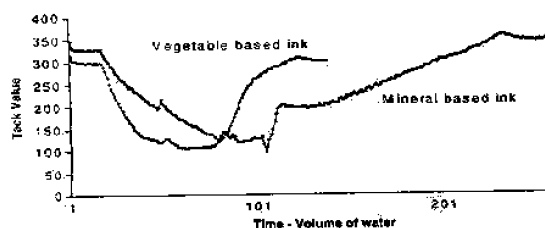
現在實驗可用儀器來預測加水後油墨
轉移的情形，如圖三的兩條曲線（Pierre-
Antoine Noirot, 2004），是從 Hydroscope 儀
器測得，主要是藉由控制水量來看出油墨
轉移抗分裂力（tcak）的表現，以及抗分裂
力是如何恢復的。在加同一水量之下，植
物性油墨對於加水的反應較銳利，而且轉
移恢復的較快，意指水是有限和快速的吸
收，另外礦物性油墨表現出抗分裂力穩定的
下降，是不穩的水分吸收，假如沒有適



圖一、植物油的三酸甘油脂（triacylglyceride）
分子構造，平均分子量 880gr。



圖二、典型礦物油的烷鏈（paraffinic）或包
含一芳香族部分的構造，平均分子量
280gr。



圖三、比較礦物性印墨與植物性印墨的抗分裂力隨著水墨平衡不同而產生的變化。

當管理印刷機的話可能會導致過度乳化。在平版印刷中，溼潤溶是用來分開印紋區與非印紋區上的印墨，因此印墨在平版印刷時很少是乾的，是由於糊狀油墨與溼潤溶的乳化作用。因為在印刷中良好的水墨結合是動態的，為了能在實驗室能模擬這個現象，於是使用Hydroscope儀器能夠模擬油墨在印刷機乳化的情況。（Pierre-Antoine Noirot, 2004; The Hydro-scope specifications）。

三、黃豆油墨

（一）、起源

黃豆油墨的產生，是在 1979 年美國報紙印刷者協會（American Newspaper Publisher' Association, ANPA）提倡開發替代石油基的印刷油墨，當時適逢第二次石油危機，發現到同時具備非揮發性和可分解性的植物油，可以製造植物性油墨替代石油系油墨。因為原油出口組織（OPEC）對原油的輸出間接影響原物料的供給，而

美國新聞出版協會（ANPA）致力於確保印刷油墨供應無虞，降低對國外進口原油的依賴程度，提升報紙油墨的耐磨性，因此發展黃豆油墨。而在學者經過測試了 2000 多種的植物油之後，認為植物油中如黃豆油，的確是無毒可用，於是在 1986 年引進報業使用（Pierre-Antoine Noirot, 2004; Anonymous, 1997）。

石油系油墨的揮發性有機化合物（VOCs, Volatile Organic Compounds）造成生態危害，因此才提倡黃豆油墨的使用。揮發性有機化合物（VOCs, Volatile Organic Compounds）是一些能與陽光、臭氧層中的氧化氮發生反應的有機化合物。揮發到臭氧中的VOCs，與灰塵中細微塵埃粒子和其它物質結合，會形成灰霧。接近含臭氧的地球大氣層，會刺激人體肺部，對動、植物等各種生物健康帶來負面影響。因此 1990 年美國通過聯邦空氣清潔法修正案，目的是減少一般空氣污染物質，如VOCs之排放。（王守鴻，2004）。

（二）組成

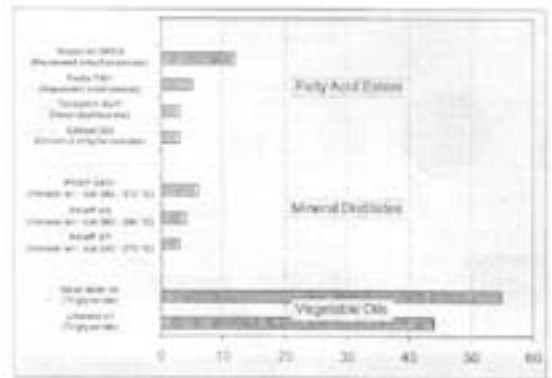
黃豆油墨包含了一些黃豆油的成分，這些成分，主要是從一些食用的黃豆而來，每60公斤的黃豆約可以提煉11公斤的黃豆油，屬於天然未加工的。黃豆油墨中的黃豆油成份多寡隨著印刷方式而有所不同，它與石油油墨的成分不大一樣，黃豆

油墨含有與石油油墨相同的顏料，其大部分顏料是石化製品，黃豆油墨是部分（80%）可分解，石油油墨則完全不可分解。因為黃豆油墨含有極少量的顏料和化學物質，因此黃豆油墨並不是百分之百可以回收的（Ms. Elaine Axmear，2004）。

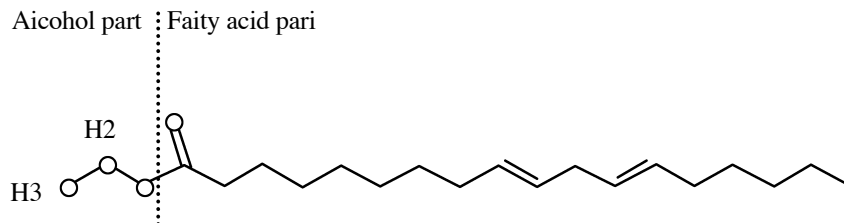
四、植物性酯（Vegetable esters）

約在1996年的南歐市場，妥爾油脂肪酸（tall oil fatty acid, TOFA）以吸引人的價格上市，TOFA酯來自於木材工業，它是植物性酯的一部份，又稱作脂肪酸酯，已經出現在食物和化妝品工業很長一段時間，但最近才開始應用在油墨的溶劑成份上。植物性酯來自於脂肪酸（像是來自植物油，譬如黃豆、油菜籽、椰子、亞麻仁）和醇之間的反應作用，其分子像是礦物油的，特別是碳氫部分的長度和整個分子的大小（圖四）（Pierre-Antoine Noirot, 2004），和礦物油的分子很相似而性質也很接近，大部分的酯類其黏度都在3到15mPa.s之間（圖五）（Pierre-Antoine

Noirot, 2004）。因此這種溶劑可以很快被塗佈紙張所吸收，也解決了像是亞麻仁油與黃豆油乾燥很慢的問題。脂肪酸酯的揮發性也很類似礦物油的。在印刷機控制印墨的行徑很重要，特別是印墨在分布滾筒的穩定度和油墨固著或乾燥的迅速性。與黏度與揮發性不同，脂肪酸酯表現出對樹脂較好的溶解力，這對油墨調配是一個優點，因為能提供較多的彈性（Pierre-Antoine Noirot, 2004）。



圖五 在23°C時，使用在張頁平版印墨的各種溶劑（脂肪酸酯、礦物提煉物質、植物油）其黏度值。



圖四、脂肪酸酯的分子構造。

參、黃豆油墨在平版印刷的應用

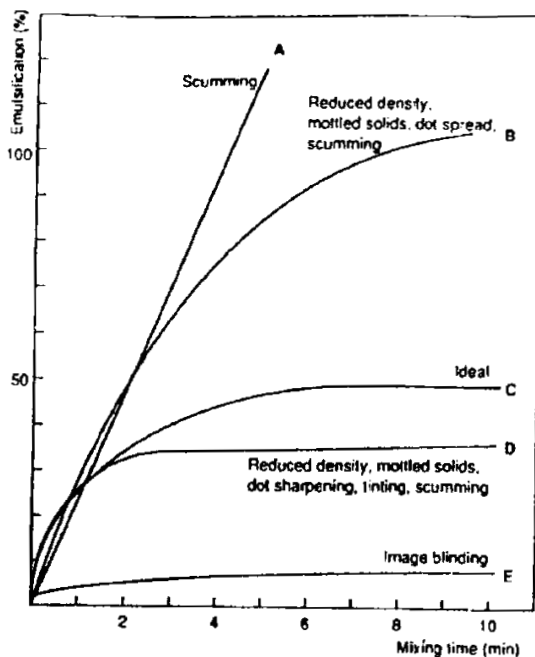
一、乳化作用 (emulsification)

(一)、原理

在理想的情況下，雖有水粒子懸浮在油墨上面，油墨應該仍持續良好的轉移與印刷。油墨須要於印刷時保持黏度與表現好的流動及長度，也保持原有的色澤。在吸收水份的初期，有些油墨保持了原有的良好印刷特質，然後吸收到某一個飽合點之後，油墨將會開始失效，不會流動且不再轉移到印版，或是較差轉移到非印紋區而引起糊版 (tinting) 與版污 (scumming)。根據實驗觀察顯示，在加水的初期，水墨的乳化已經建立，然而隨著水量增加，當油墨不能再吸收更多水到達到一個飽合點，它會造成失效的水墨乳化。一旦發生時，油墨會失去印刷濃度，而且濕潤溶液會讓油墨粒子轉移到印版的非印紋區，造成版污。油墨應該吸收一些水，假如太抗拒水，濕潤溶液將不會移去任何在非印紋區的墨，水會繼續留在油墨表面，造成轉移上的問題。了解乳化值的關鍵不在於吸水的百分比，如油墨是在達到飽合點的情況，而是在於油墨本身的外觀、行徑與轉移如何。油墨的抗分裂力 (tack)、黏度、始流值 (yield value) 也將影響會吸收多少溼潤溶液，有較低的抗分裂力，油墨的本身會比較軟，另外也會吸

收較多的水，對於輥筒的上色 (pigmentation) 的程度與墨膜厚度也將會有影響。溼潤溶液隨著醇的添加、濕潤單元或酸鹼度的變化，也會改變其與油墨之間的作用。隨著這些變化，很難精確的解釋何謂適當的乳化值，但是藉由適當的測試，謹慎的分析乳化值與印墨在印刷機的效能評估，將可以幫助印墨製造商作為調配最佳印墨的參考，且可以讓印刷人員在印刷前能較好的預測印墨的行徑 (Anonymous, 1996)。

Surland認為印墨乳化可以得到五種曲線，可以用來評估印墨的乳化作用 (圖六) (Boris Fuchs, 1991)，其中A與E代表較差的



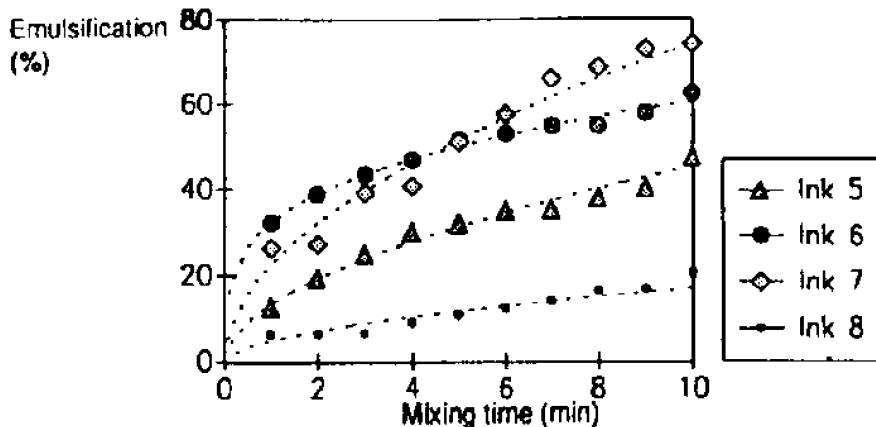
圖六、Surland的典型乳化曲線。

乳化，A比較會造成版污，B表現出較窄的水墨平衡，可能會產生墨斑、傾向網點擴大、造成低印刷濃度，這是由於窄的水墨平衡時餵墨與溼潤溶液，必須在印刷機頻繁的重新調整，企圖增加印刷濃度的話會造成版污。在這裡C曲線所代表的是理想的水墨平衡狀態。而在D則是會有糊版（tinting）、網點銳利、高對比墨斑區塊與低印刷濃度的問題（Boris Fuchs, 1991）。

（二）、應用

乳化作用是植物性新聞油墨優於礦物性油墨的一個變數，對於植物性油墨而言，這個變數顯得格外重要。在過去曾經有植物性油墨乳化的測試研究，這是採用Surland的方法，使用Duke乳化測試儀測量。方法主要是混合50ml的油墨與50ml的溼潤溶液讓它們混合一分鐘，再將多餘的

水倒出，稱油墨的重量，之後再重複相同的步驟，便可由油墨重量的變化觀察乳化的行為。研究中發現，其中超濃縮（super conc.）黃豆新聞油墨與其它種油墨相比，有很弱的乳化傾向。因此認為印墨有高相關離子性（polarity）的話，其乳化溼潤溶液會比低離子性的來得慢，如圖七（Boris Fuchs, 1991）可以看出超濃縮黃豆新聞油墨（Ink 8）明顯有較弱的乳化傾向。另外，像是黃豆油的植物性油墨，經研究測試發現它可以在多於五萬印的印刷中，維持它的流變（rheological）性質與水寬容度（water tolerance），因為有許多油墨的調配頂多只能維持於一萬印或更少，否則就會因油墨中溶劑蒸發或乳化時間過長而有難以維持印刷品質的問題（Boris Fuchs, 1991; Anonymous, 1991; Sevim Z. Erhan, 1992）。



圖七、植物性與礦物性油墨乳化傾向圖。

二、抗分裂力 (tack)

(一)、原理

油墨從一個表面轉移到另一個表面，這個油墨的特質是表現印刷品質和油墨本身效能很重要的因素。這些因素的其中之一便是抗分裂力，抗分裂力又被描述為油墨的黏性，就像是用手指嘗試將墨拉開的感覺。黏墨的黏性對轉移來說很重要，油墨的黏著力強度和抗分裂力都是由於相似的力量。油墨必須有足夠的抗分裂力去轉移但不到足以拖走被印物的程度，因為這樣會阻礙印刷或傷害到被印物。抗分裂力對於重墨的印刷表現特別重要，此指的是糊狀墨，通常是用在凸版、乾平版、平版上面。抗分裂力是一個油墨調配上複雜的性質，是受成份的影響，碳氫化合物油通常是調配成快固型的印墨，一些像是黃豆油與亞麻仁油之類的較重油通常是較慢固著的。總之，油墨抗分裂力的測量被當作印墨黏稠度的標準品質控制測試。影響油墨抗分裂力的因素很多，還包括印刷機的轉速、印刷機的溫度、在滾筒間移動的時間、油墨的顏料強度、紙張或紙板的吸收速度等。在色彩方面，高品質的印刷需要有好的印墨疊印，要疊印出想要的色彩，印墨必須先疊印抗分裂力高的色墨，之後再疊印抗分裂力低的色墨。當印刷達到較高的速度，印墨的抗分裂力必須修正到能跟上高品質印刷的表現 (Nancy Plowman,

1994; Richard M. Podhajny, 2002)。

(二)、應用

測量抗分裂力最普遍的儀器就是抗分裂力儀 (Inkometer)，是利用力矩 (torque) 來測量，整個架構包含了兩個橡皮輥與一個黃銅輥。這個儀器可以在不同速度下運作，在張頁油墨的設定慢速，而輪轉油墨的設定快速。當輥筒旋轉時抹上油墨，儀器便能計算出抗分裂力值。現在已有儀器能夠在已知的墨膜厚度、溫度和速度下，使用動態的方式來測量印墨的抗分裂力，且可以預測及改善在加水時油墨轉移的表現。從過去研究得知，在加相同的水量時，植物性油墨中包括黃豆油墨，對於加水的反應明顯比礦物性油墨來得銳利，油墨轉移回復的較乾淨也較快。在Boris Fuchs等人的研究中，他們使用DIAF-tackmeter與Inkomat儀器測量了植物性與礦物性平版新聞油墨（共11種油墨）的抗分裂力變化，結果得到超濃縮黃豆油墨有明顯比其他所有油墨低的抗分裂力 (Richard M. Podhajny, 2002; Nancy Plowman, 1997; Pierre-Antoine Noirot, 2004; Boris Fuchs, 1991; The Hydro-scope specifications)。

三、黏度

(一)、原理

黏度是阻止流動的一種力量，而有關

流動性方面的研究稱為流變學（rheology）。油墨的黏度是由它在印刷機上如何流動的情形來判定的，同時它會影響抗分裂力、滲透、乾燥、光澤度、抗摩擦性及印刷品的顏色（Pierre-Antoine Noirot, 2004）。

（二）、應用

Boris Fuchs等人的研究中顯示超濃縮黃豆新聞油墨有比其它油墨低的黏度，且表現出有非常的剪稀性（shear thinning）。為了使油墨能在抗分裂力或黏度有夠有較大範圍的調整，後來有一些新型植物性油墨的出現。早期美國報紙出版協會（ANPA）努力發展一種無石油性媒質的新聞油墨，其中包含了硬瀝青與妥爾油脂酸，且混合了碳黑顏料，但因價格問題與妥爾油的可得性考量，以及瀝青很難在設備上清理，因此ANPA改良了油墨，但還是受到價格的限制，因為它比石油性油墨貴上50-70%。儘管ANPA與其它人的改良，但是印墨工業仍正在找尋無石油性媒質的印墨，主要是希望能夠達到價格上能與石油性油墨競爭、不需要任何石油衍生成份、能夠抗磨擦、能夠依照各種印刷的應用需求來達到比較廣的黏度調整。後來有人研發出了新方法，將這些媒質是經過一個用於植物油中像是黃豆油之熱轉換（thermal transformation）程序，這個程序能夠讓產品

能夠有較寬廣的性質（像是黏度、抗分裂力等）來調墨，進而能有各種方面的應用。它能在顏料的使用低於工業上的標準，媒質也能完整的與調配黑墨中的碳黑相容。（Boris Fuchs, 1991; Erhan and Bagby, 1995）。

四、耐磨擦性

油墨的耐磨擦性質是由油墨的本質及蠟的量所控制的。當油墨經過一到兩天的完全氧化後，植物性油墨的墨膜比礦物性油墨的墨膜來得堅硬，礦物油的惰性（inert）材料一點都不會氧化。在一些研究中指出，植物性油墨中的黃豆油墨，有不錯的耐磨擦性。像Boris Fuchs等人的研究顯示超濃縮黃豆新聞油墨在任何濃度下，可以有比其它油墨更小的墨膜厚度，且全部測試的植物性油墨都比礦物性油墨來得耐磨擦，其中特別是亞麻仁油墨與超濃縮黃豆油墨的耐磨擦表現最好（Pierre-Antoine Noirot, 2004; Sevim Z. Erhan, 1992; Boris Fuchs, 1991）。

五、脫墨性

關於黃豆油墨的脫墨性，曾有研究指出雖然似乎報紙用黃豆油墨比較難從紙張移除，但沒有證據顯示在張頁油墨也是如此，不代表所有的植物性油墨都比礦物性油墨難脫墨。但仍有研究發現黃豆油墨有

優良的脫墨性。根據Boris Fuchs等人的研究，礦物性新聞油墨有比較低的脫墨程度（DEM）值，而植物性油墨像是黃豆油墨其脫墨性結果較好，甚至脫墨還達到令人滿意的程度，而會造成植物性與礦物性兩種油墨有這麼大的差異，則是因為成份不同的緣故（Pierre-Antoine Noiro, 2004; S. Z. Erhan, 1995; Boris Fuchs, 1991）。

六、印墨清理與回收

在平版印刷機使用植物性油墨的問題，包括長乾燥時間、環境廢棄物考量、高生產成本、難清理、高材料花費等。尤其是黃豆油墨的黑墨清理問題比較明顯。因此，有人研發出可以改善這些問題的印墨回收方法，此法主要的好處就是能回收像是黃豆油的植物油，成為高品質回收植物性印墨，且印墨能有寬廣範圍的黏度調整。這裡的廢棄植物性油墨能夠在印刷機直接回收，這是利用未使用的植物油到印刷機溶解剩餘的植物性油墨，接著從印刷機移去剩餘的植物性油墨，後來形成污染的印墨，然後將這些印墨過濾掉一些粒子，再把這個印墨與一些新的顏料與新的植物油印墨的媒質相混合，於是得到一些有預定的色彩且至少黏度有20 poises的植物性印墨（William A. Franks, 2002; Boris Fuchs, 1991）。

參、結語

黃豆油墨不但在成份減少石油性物質，還能降低 VOC 的釋放，避免對於生態的危害。另外，黃豆油墨在平版印刷中的水墨平衡中獲得較快恢復穩定，及比礦物性油墨低的抗分裂力與黏度，耐摩擦性及脫墨性佳，具備經過改良的黃豆油墨清理與回收方法。基於這些對於環保好處和印刷的應用優點，黃豆油墨在平版印刷中，取代一部份傳統礦物性油墨的使用，已是未來趨勢。

肆、參考資料

1. Pierre-Antoine Noiro, Green ink for all colors, Ink Maker, 2004, pp.29-31.
2. Boris Fuchs, Ulf Lindqvist and Eva Wallstrom, Vegetable oil based Newsinks and their Printability Properties and Deinkability, TAGA proceedings, 1991, pp.433-463.
3. S. Z. Erhan and M. O. Bagby, Environmental aspects of vegetable oil-based lithographic news inks, TAGA proceedings, 1995, pp.952-962.
4. Anonymous, Balancing the Basics, American Printer, 1991/7, pp.36-40.
5. Anonymous, Ink water pick-up, Canadian Printer, 1996, pp.29.

6. R. R. Durand, Jr. and O. Wasilewski, Characterization and control of lithographic ink emulsions, TAGA Proceedings, 1993, pp.285-298.
7. R. Krishnan, Prediction of lithographic ink performance beyond ink/fountain solution emulsion testing, American Ink Maker, 1999, pp.41-45.
8. Richard M. Podhajny, What is the role of tack in printing inks, Paper, Film and Foil Converter, 2002, pp.24.
9. Nancy Plowman, Focus on materials science, Converting Magazine, 1997, pp.28.
10. Nancy Plowman, Ink, water, and paper: a delicate balance, Graphic Arts Monthly, 1994, pp.104.
11. ERHAN and BAGBY, Vegetable oil-based printing ink, European Patent Specification, pp.1-21.
12. William A. Franks, Vegetable oil-based printing ink and producing same, United States Patent, 2002.
13. Sevim Z. Erhan and M. O. Bagby, Vegetable oil-based vehicles, news ink formulations and their properties, TAGA proceedings, 1992, pp.409-425.
14. Sharen E. Brower, Soy ink based art media, United States Patent, 1992.
15. The Hydro-scope specifications, <http://www.testprint.com>, testprint, Inc.
16. Ms. Elaine Axmear, The development and market of soy ink using experience in American, Seminar of the Application and Development of Environmentally Friendly Inks, Taipei, Taiwan.
17. Anonymous, Soy Ink Historical Summary, <http://www.soyink.com/>, 1997.
18. 王守鴻, 21世紀印刷新理念綠色印刷, 印藝, <http://www.cgan.com/science/discussion/htm/04071801.htm>, 2004。
陳忠輝／世新大學圖文傳播暨數位出版學系副教授
周宜政／世新大學圖文傳播暨數位出版學系研究生