



● 軍事材料革新

下世代軍需品革新綠色材料 ——生質複合材料

提要

趙本善

- 一、根據國外的調查報告顯示，美國是塑膠使用最多的國家之一，每年約有數千萬公噸的塑膠廢棄物，然而每年回收再使用率卻不到10%，90%的塑膠廢棄物都進行焚燒、掩埋與丟棄處理，造成空氣、土壤與水源等二次環境污染；我國一年也產生數十萬公噸的塑膠容器與廢棄物，然而回收再利用的比例也偏低。
- 二、有鑒於此，開發具生物可分解（Biodegradable）的綠色環保生質材料，已經逐漸受到世界各國的重視，尤其利用生質纖維（Bio-fiber）與高分子聚合物（Polymer）合成的生質複合材料（Bio-composite）更是被用來取代傳統的塑膠材料，以達到塑膠減量使用目的。
- 三、目前市面上常見的生質複合材料主要用在餐具與塑膠袋等相關產品，也廣泛的用在建材、汽車零件、裝飾品與日常生活等民生物品。另外，在國防上也有少數用在武器、裝備與軍需品，雖然許多都還在研發的階段，然而可以預見未來的潛在應用性。
- 四、本文主要介紹生質纖維與高分子聚合物合成的生質複合材料發展現況與市場應用，文中也將分享筆者近期實際參與輔導國內企業發展該技術的實務經驗與發展策略，同時也將特別蒐集介紹生質複合材料在國外軍事單位於各領域的應用，最後將提出生質複合材料相關發展建議，以供我國國軍參考借鏡。

關鍵詞：綠色材料、複合材料、生物分解、環保材質

壹、前言

所謂複合材料 (Composites) 係指將2種或2種以上不同成分 (Constituents) 或相 (Phases) 的材料混合在一起, 使其形成有別於原本混合材料性質的一種新材料。通常人造複合材料主要的目的是希望可以強化材料的硬度 (Stiffness) 與韌性 (Toughness), 以增加材料的特殊應用性質。一般使用的複合材料合成技術是將人造或天然纖維 (Natural Fiber), 包含植物、動物或礦物纖維混入連續相的基質 (Matrix) 材料中¹, 由於基質材料通常具有較弱的鍵結力, 加入的纖維材料可以在混合材料的介面 (Interface) 處產生較佳的力量傳遞效果, 故具有較佳抵抗外界剪應力 (Shear Stress) 作用的效果, 因此可以達到強化複合材料機械性質與外界環境影響的化學性質²。

相較於人造複合材料, 生質複合材料顧名思義就是添加1種或1種以上生質材料的

複合材料。該生質材料來源可以來自植物纖維, 包括棉花 (Cotton)、亞麻纖維 (Flax)、大麻纖維 (Hemp), 或者是回收木頭、紙張與農業廢棄物的副產品 (By-products)。一般生質複合材料所使用的基質材料可選擇具可重複使用的植物油與澱粉基合成之純天然材料, 或是一些人工合成與石油提煉的高分子聚合物。近年來, 由於石油價格的飆漲、資源回收再利用與消費者環保意識的抬頭³, 生質複合材料被廣泛的應用在許多民生消費、汽車工業、電子產業以及建築業, 無論對經濟或是環境都有很大的助益⁴。尤其在汽車工業, 因為許多汽車零組件都是由塑膠製造而成, 製造或回收對許多車商而言都是非常大的困難, 故而生質複合材料的發展格外受到矚目, 是未來汽車零組件製造的發展趨勢。根據研究資料顯示, 在相同的重量下, 生質複合材料比玻璃纖維複合材料的強度可增加25~30%⁵。知名汽車製造商, 包含豐田汽車 (Toyota) 與馬自達汽車 (Mazda) 都規劃使用

- 1 Maya Jacob John and Saba Thomas, "Biofibers and biocomposites," *Journal of carbohydrate polymers* 71, 2008, p. 343.
- 2 Paul A Fowler, J Mark Hughes and Robert M Elias, "Review biocomposites: technology, environmental credentials and market forces," *Journal of the science of food and agriculture* 86, 2006, p. 1781.
- 3 <http://en.wikipedia.org/wiki/Biocomposite>.
- 4 http://niannih.blogspot.tw/2013_01_01_archive.html.
- 5 Lawrence T. Drzal, A. K. Mohanty and M. Misra, "Bio-composite materials as alternatives to petroleum-based composites for automotive applications," <https://www.speautomotive.com/SPEACD/SPEA2001/pdf/e/E1.pdf>.

生質複合材料取代一般的塑膠材料。例如，豐田汽車宣布在2020年前，計畫要將20%目前車用的石油塑膠零件製品，以較環保之生質複合材料取而代之；馬自達汽車則正在開發完全由可生物可分解之聚乳酸（Polylactic Acid, PLA）所組成的儀表板，該儀表板由88%玉米原料與12%高分子塑膠材料所組成。然而，值得關注的是，聚乳酸生質複合材料主要以玉米澱粉為主，當玉米大量栽種時，必須使用許多農藥、肥料與基因改造技術，對環境將造成二次污染，這個問題必須要去面對與正視。筆者現在服務單位與接受單位輔導的企業，規劃開發以農業廢棄物為主的生質複合材料，由於農業廢棄物取得容易而且成本低廉，最重要的是可以達到資源回收與重新再利用的好處，由於不同的農業廢棄物具有不同的纖維組織與材料特性，因此必須開發相容性良好的各式添加劑與相容劑等，才能確保製成的生質複合材料具有良好的機械、材料、化學與物理性質等等。

生質複合材料雖在學術上有許不同的種類與分類，一般主要可分成「部分生物可分解」與「完全生物可分解」兩大類。部分生物可分解包含「熱塑性生質纖維塑料」，主要由生質纖維與聚丙烯（PP）以及聚乙烯（PE）等混合所組成，另一為「熱固性生質纖維塑料」，主要由生質纖維與環氧樹脂（Epoxy）與

聚酯纖維（Poly-ester）等混合所組成；完全生物可分解包含「生質纖維與可再生生質聚合物複合材料」，主要由生質纖維與豆製品塑料、澱粉塑料及纖維素塑料等混合組成，另一為「生質纖維與石化可分解聚合物複合材料」，主要由生質纖維及脂肪族、共聚酯纖維與脂肪族聚酯等混合組成（如圖一）。生質複合材料全球產能預測在2012年至2015年，將從79萬公噸增至512萬公噸，年成長率達到92%（如圖二）⁶。

貳、生質複合材料產品循環與其發展潛力

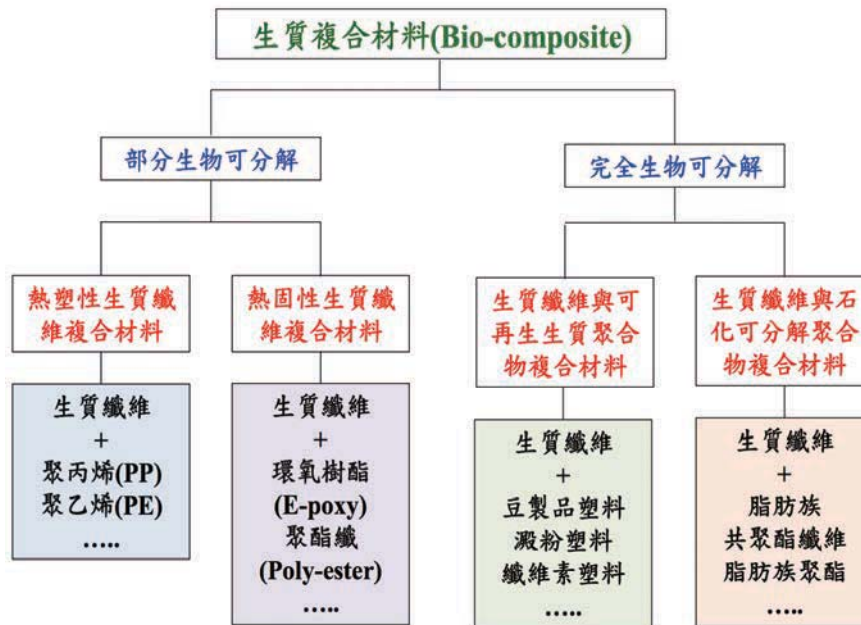
當植物或農業廢棄物纖維經過適當的乾燥前處理後，再以不同方式與高分子進行合成，之後可利用高分子成型技術，例如射出、吹製、擠壓與壓縮等技術與高分子材料混合製成生質複合產品，當這些產品使用壽命結束後，將會與環境產生反應進行生物分解，分解的過程會釋放出二氧化碳，而二氧化碳又可以提供給植物或農作物與陽光產生光合作用，而廢棄植物或農作物又可以繼續提供製造生質複合材料所需的生質纖維，如此對環境無害的循環生生不息，可以達到塑膠使用減量與解決廢棄物處理的問題，實乃一舉兩得的作法（如圖三）⁷。

6 http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/Global-Prod-Capacity_Total_2013_en.png.

7 <http://www.sunpack.com/blog/wp-content/uploads/2013/01/Biodegradable-Plastic.jpg>.

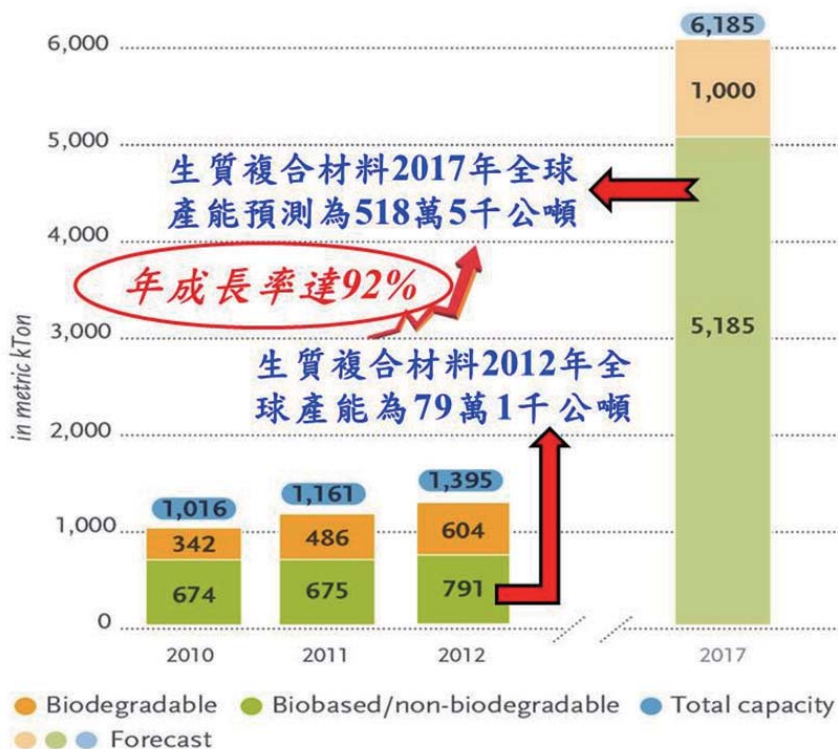
圖一 生質複合材料分類

資料來源:本研究整理



圖二 生質複合材料全球產能預測

資料來源:同註6



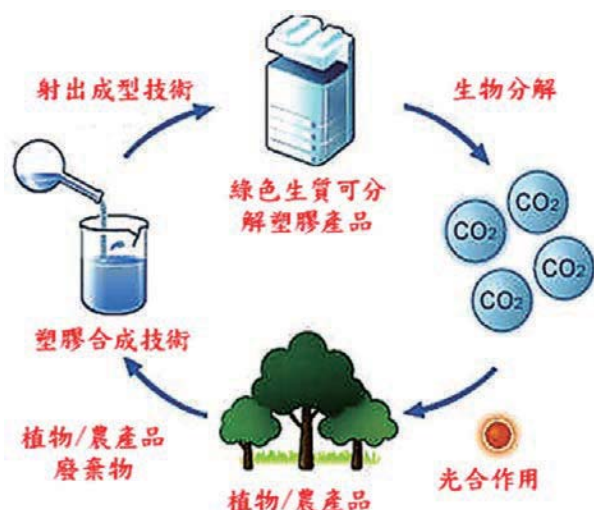
一般在評估一項特定技術是否具有發展潛力，可以參照該技術在專利申請與論文發表的統計數字。經調查與檢索生質複合材料該兩項指標可以清楚的發現，2003年對於該技術而言是一個重要的分水嶺。在2003年以前，該技術的發展仍然在研究發展初期階段，故無論在專利申請或是論文發表數量都不多；然而，從2003年至2012年，無論是相關專利申請或是論文發表都有非常大幅度的成長，成長率達到85%至90%之間（如圖四）⁸。上述數據說明生質複合材料已經逐漸進入研究發展成熟階段，許多研發成果與商業化產品也陸續的進行發表與申請專利保護。

另外，由筆者自行

8 <http://www.progressbiomaterials.com/content/2/1/8/figure/F1>.

圖三 生質複合材料製造與廢棄循環圖

資料來源:同註7

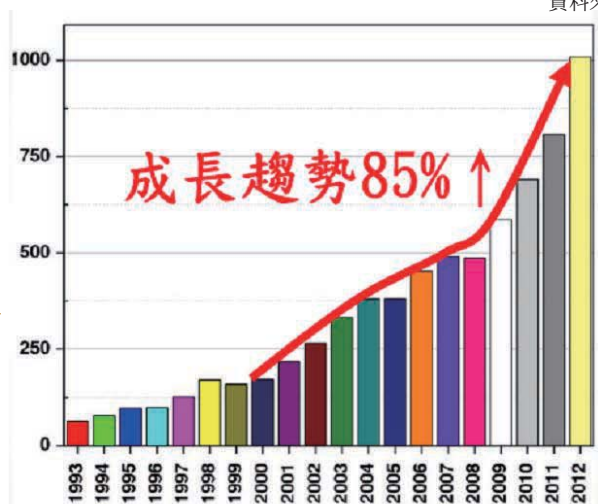


研究與彙整的生質複合材料SWOT (Strength【優勢】、Weakness【劣勢】、Opportunity【機會】與Threat【威脅】) 分析結果亦可得知，我國在發展生質複合材料具有不錯的優勢與機

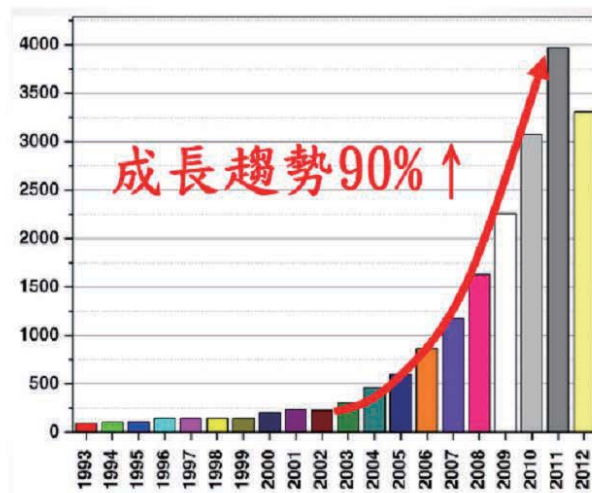
會，但也面臨許多劣勢與威脅（詳如表一）。就優勢與機會而言，由於我國在高分子複合材料的開發技術上已具有相當的研究與開發根基，且產業供應鏈也相當完整，政府也積極訂定相關的廢棄物回收與再利用法規，有利生質複合材料的研究與開發。由於目前許多產業，尤其是電子與汽車產業目前都朝向塑膠的減量使用與發展綠色環保替代材料的驅使下，未來生質複合材料的相關產品將具有相當程度的商品化應用機會。然而，欲發展生質複合材料首重原物料的穩定供應，若以農業廢棄物為主的生質複合材料，其農業廢棄物的產量與回收須能滿足使用的需求，然而我國並非農作物的生產大國，因此在與國際農作物主要生產國家，如東南亞國家與歐美國家展開策略合作，同時又將關鍵

圖四 近20年全球與生質複合材料相關專利申請與論文發表統計

資料來源:同註8



(a)近 20 年全球與生質複合材料專利申請統計



(b)近 20 年全球與生質複合材料論文發表統計

核心技術留在國內，促使產業升級、產品加值與經濟提升等優點，是未來必須要正視的問題。以筆者輔導的企業而言，該公司預計申請政府相關研發補助計畫，資助該公司進行相關生質複合材料開發計畫，並規劃將核心的「造粒」與「合成」二大技術留在國內發展，除了找尋國內合適的農業廢棄物，包含廢棄稻殼、酒糟與咖啡渣等，也積極尋求與東南亞、日本與中國大陸的原料供應合作，如此可兼顧公司商業獲利與核心技術根留國內的優點。

參、生質複合材料結構與成本優勢

前文提及生質纖維與人造纖維具有不同的材料特性，一般而言，生質纖維通常由植物或農作物所組成，因此對於環境的影響與衝擊較小，且不同的生質纖維具有不同的斷面形狀，因此具有不同的材料獨特性質，可應用在不同場合與需求。生質纖維可與一般高分子聚合物混合，形成所謂生質複合材料，可藉由調整混合生質纖維的比例，達到降低塑膠聚合物的使用量，以及生物可分解性的性質。另外，由於生質纖維的重量普遍較合成纖維輕，故生質複合材料可有效降低產品的重量，若是用在車用零件上或裝備運輸的過程中，可以減少動力機具燃料的使用量，達

表一 生質複合材料SWOT分析

優勢(Strength)	機會(Opportunity)
- 國內高分子複合材料開發技術，已具有相當的研究與開發根基，有助於生質纖維與高分子材料合成生質複合材料的開發。 - 國內塑膠產品的原料供應與製造技術，有完整的供應鏈與整合技術，對於開發生質複合材料有相當的助益。 - 國內近年學研機構積極在生質複合材料的開發累積相當成果，有助於輔導產業界。	- 隨著石油價格的攀升與環保意識的抬頭，綠色生質複合材料未來全球的需求量急遽攀升。 - 國內政府的環保施政方針與政策的制定，皆以回收與再利用為最高的指導原則，有助相關產業的發展。 - 許多電子、汽車與一般消費產品未來將以開發綠色生質複合材料取代一般塑膠。
劣勢(Weakness)	威脅(Threat)
- 國內目前農業廢棄物產量，遠不如國外許多農業經濟發展為主的國家，是未來大量發展生質複合材料的一大隱憂。 - 國內缺乏生質複合材料的專職研究機構，較不利國內相關技術的發展與整合。 - 節能減碳與綠色產品的相關政策雖已在國推動多年，然而推動成效與農棄物回收，仍然落後環保意識較高歐美與日本等國家。	- 國內產學研單位擁有生質複合材料相關專利數量明顯較歐美國家少許多，未來關鍵技術將掌握在國外大廠。 - 國外許多電子與汽車大廠皆宣布要積極開發綠色相關產品，以取代目前對環境有害的塑膠產品，並已投入相當研發資源。 - 許多歐美先進國家未來皆以綠色產品為優先使用考量，不利我國非綠色產品出口。
資料來源:本研究整理	

到節能減碳的另一項優點(如圖五)⁹⁻¹²。

生質複合材料與一般人造複合材料的差異就是前者使用生質纖維，後者使用人造纖維。對於產品而言，成本是一項非常重要的考量因素。就天然的生質纖維與人造的玻璃纖維成本而言，生質纖維的原料成本比人造玻璃纖維的成本少約3.6倍；此外，若生質纖維用來製成生物可分解的生質材料容器，並與一般石化塑膠的寶特瓶來比較，可以發現由

於生質容器可自行分解，而石化製成的寶特瓶需要一些特定的回收與處理程序，因此就廢棄處理的過程中產生的二氧化碳，生質材料容器也比一般塑膠寶特瓶減少2.4倍，因此無論在製造成本或是二氧化碳的減量排放，生質纖維都優於一般的石化塑膠材料，這也是100%純生質材料或生質複合材料會越來越受市場青睞的原因之一(如圖六)¹³⁻¹⁵。另外，就生質複合材料商業策略市場而言，使用

PLA的產品，由於玉米原料價格較高，且目前市場相關的材料改質技術非常多，尤其針對該材料的結晶性、剛韌性與水解性，因此就經濟層面而言可視為「紅海市場」，一切以成本價格為優先，唯有開發具低成本與品質良好的PLA產品才能獲得市場青睞。相較之下，本文介紹的農業廢棄物生質複合材料，由於目

圖五 生質纖維與人造纖維特性比較

資料來源:同註9-12



- ✦ 生質纖維對於環境的影響與衝擊較小，不同斷面形狀使其具有獨特性質。
- ✦ 生質複合材料可以提升生質纖維的比例，藉此降低塑膠聚合物的使用量。
- ✦ 生質纖維有助於降低產品的重量，可以減少動力機具燃料的使用量。

9 <http://www.ecvv.com/product/2790452.html>.

10 <http://agcomposites.com/tech/default.html>.

11 <http://mallardcreekinc.com/distribution/landscape-materials/playground-fiber/#>.

12 <http://wongchau.files.wordpress.com/2011/11/001e9089dd8a0d7d6a1807.jpg>.

13 同註5。

14 <http://smallbusinessindia.intuit.in/wp-content/uploads/2012/05/money-saving-tools.jpg>.

15 <http://gulpaustralia.com/images/greenhouse.gif>.

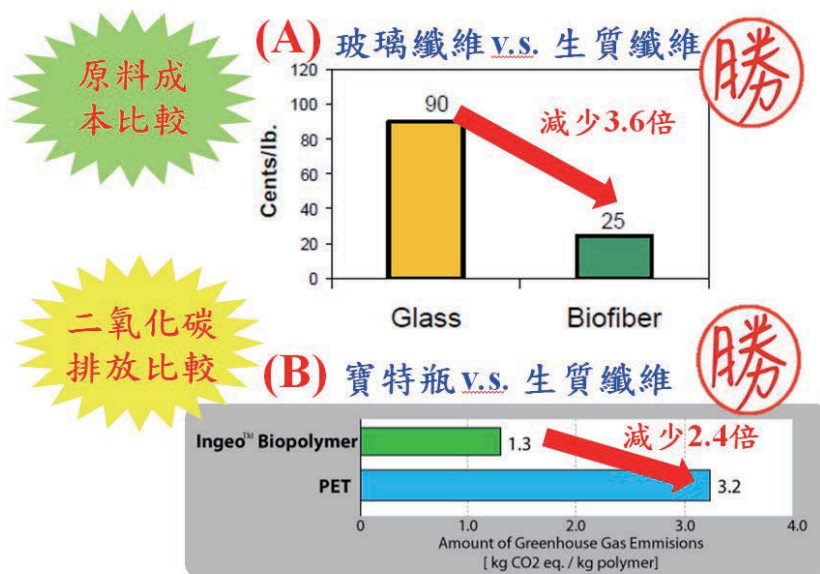
前仍處於研發的階段，但因其原料成本取得較PLA低，因此就未來開發的產品而言，其整體的成本價格預期將比PLA低，且使用農業

廢棄物製作生質複合材料，不但可以解決部分農業廢棄物的問題，達成農業廢棄物加值的目標，經濟層面而言被視為「藍海市場」，

因此非常具有研究與開發的潛力（如圖七）。

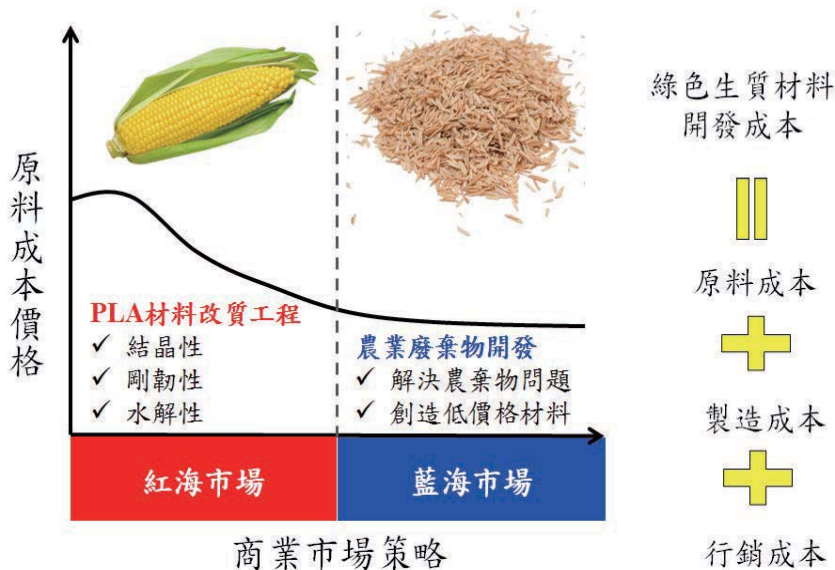
圖六 生質複合材料製造成本與二氧化碳排放優勢

資料來源:同註13-15



圖七 生質複合材料製造成本與二氧化碳排放優勢

資料來源:本研究整理



肆、我國農業廢棄物現況與相關法規規定

我國雖非農業生產大國，然而每年農業廢棄物的產量還是非常的驚人。一般我國的農業廢棄物可分為三大類，包括農產廢棄物、漁產廢棄物與畜產廢棄物，其中農產廢棄物包含菇類培育廢棄包、稻殼與稻草等；漁產廢棄物包含牡蠣殼、漁產殘渣、養殖資材廢棄物與農產廢棄包裝；畜產廢棄物包含禽畜糞、死廢禽畜與禽畜屠宰後廢棄物等。根據農委會的統計資料顯示，我國農業廢棄物的年產量約為490萬公噸，大部分的農業廢棄物目前還是採用掩埋或焚燒的方式處理，對於環境的影響不言可喻。因此，許多材料研究人員即有將

農業廢棄物加值與再利用的想法，利用適合的農業廢棄物開發生質複合材料即是在這種情況下所產生的創意想法。這種作法不但能解決農業廢棄物的問題，還可以開發對環境永續發展有利的材料，是一舉兩得的作法。部分農業廢棄物由於富有高的纖維成分，因此容易生產與再利用，此外自然降解率高與污染低也是農業廢棄物具發展成生質複合材料的潛力因素（如圖八）¹⁶⁻¹⁸。以上述的農業廢棄物而言，目前稻殼受到很高的重視，主要是因為稻殼具有高韌性、耐熱性、生物分解、容易取得與價格便宜等優點，因此目前有許

多相關的研究與商品，然而由於我國的廢棄稻殼在民國101年僅有約34萬公噸¹⁹，恐不足供應市場所需，因此尋求稻米生產大國如泰國等國家的合作勢必非常重要，筆者輔導的廠商即規劃與泰國相關廠商合作，以求穩定的原料供應來源。

技術的發展與國家的施政方針與法規有密不可分的關係，舉例而言，交通部在民國101年11月即通過「車輛安全檢測基準」修正案，明訂2016年7月1日起，所有即將至監理所領牌的新式車輛，皆須安裝胎壓偵測系統（Tire Pressure Monitoring System, TPMS），

否則不得領牌。該立法修正案對於製造胎壓偵測器的廠商而言，具有激勵研發與商業布局的正面效果，相關的零組件供應商也受益於該法案，促使國內相關產業產生良好的供需效果。另一方面，就生質複合材料而言，國內業管農業廢棄物回收與再利用的農委會及一般廢棄物回收與再利用的環保署，亦積極

圖八 農業廢棄物具有發展潛力特點

資料來源:同註16-18



16 <http://corporate.vattenfall.com/about-energy/electricity-and-heat-production/biomass/production/biomas/>.

17 <https://www.uscoins.com/Content/Images/uploaded/GHa.JPG>.

18 http://www.computerplus.co.uk/home_and_business/Recycling.htm.

19 <http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/common/CommonStatistics.aspx>.

推動相關的立法。以環保署正在推動的「資源循環利用法草案」而言，該法案主要結合「廢棄物清理法」與「資源回收再利用法」的立法精神，預計提倡與推動包含廢棄物之減量（Reduction）、再使用（Reuse）、物料回收（Recycling）、能源回收（Energy Recovery）與新生土地（Land Reclamation）之5R（如圖九）。該法案預期將可鼓勵國內廠商發展生質複合材料，達到與胎壓偵測器相同的產業發展效果，非常有利國內生質複合材料相關技術與商品的研發。

伍、國外軍事單位使用生質複合材料現況

美國軍事單位近年也廣泛的推廣對經濟與環境有非常大助益的生質複合材料²⁰。例如，美國海軍採用一種具生物可分解性的枕頭，該枕頭上所附的繩子由玉米原料所製成，而枕頭本身是由玉米與澱粉等天然原料製作而成，只要將

枕頭丟棄至溪流、河川或海洋，該枕頭可於數分鐘之內沉至水底，可在水中逐漸的分解，由於都是使用天然原料，故不會污染河川與水源（如圖十【a】）²¹；美國海軍也設法使用對環境有利之生質咖啡杯，主要的考量就是許多海上的污染都是來自於人為隨手棄置於海上，而海上的垃圾又不容易清除，故美國海軍軍方針對每日需要大量使用的咖啡杯，採用生質複合材料，可以自行分解，對於環境不會造成任何傷害。值得一提的是，根據美軍的研究資料顯示，棕色的咖啡杯較不易被間諜衛星發現，進而暴露軍隊行蹤（如圖十【b】）²²；其他產品如生質原子筆（如圖十【c】）²³、

圖九 環保署資源循環利用法草案推動之5R內容

資料來源:本研究整理



20 http://niannah.blogspot.tw/2013_01_01_archive.html.

21 <http://www.inthelightturns.com/peaceful-pillow-navy.html>.

22 <http://www.treehugger.com/corporate-responsibility/biodegradable-coffee-cups-for-the-navy-and-army.html>.

23 <http://www.instash.com/inkd-biodegradable-pens>.

生質沙袋(如圖十【d】)²⁴、生質BB彈(如圖十【e】)²⁵與生質飛行器(如圖十【f】)²⁶等,所使用的目的是希望減少環境的污染與降低二氧化碳的排放量。另外,美軍後勤單位也正在使用一種具生物分解的生質強化板材,可以鋪設在泥淖的地面,讓軍用運補車輛可以順利通行與進行運補,目前許多鋪設面板材尤其在崎嶇地形與山區回收不易,生質強化板材可自行在天然環境下分解,可節省人力回收的困難²⁷。

陸、建議國軍未來發展生質複合材料方向與策略

一、尋求穩定的原料來源與通路

開發任何材料或元件最重要的就是原料的來源與供應,利用農業廢棄物製成生質複合材料也不例外。在筆者輔導國內企業進行該技術研發與政府研發補助計畫申請的過程中,也特別告知廠商尋求國內外穩定數量的農業廢棄物供給至關重要。有些企業雖有生質複合材料的製造技術,然而當客戶需要的

的訂單數量比較大的情況下,則無足夠的原料來源可以製造相關的商品,因此喪失了許多商業機會。相較於國外,我國並非擁有農業廢棄物的主要國家,因此勢必還要藉助國外的原料來源,即便如此,我國廠商還是可以把較關鍵的生質塑料造粒與合成技術留在國內,創造更高的經濟產質。另一方面,有了產品之後最重

圖十 數種國外使用生質複合材料產品

資料來源:同註21-26



24 http://i00.i.aliimg.com/img/pb/500/494/107/107494500_259.JPG.

25 <http://www.actionarmyusa.com/Action-Army-Airsoft-Bio-BB-0-25g-4000-rds-p/aac-p02-002.htm>.

26 <http://motherboard.vice.com/blog/these-new-biodegradable-drones-look-just-like-paper-airplanes>.

27 <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/331687>.

要也要有行銷的通路，因此在技術研發的階段就必須要積極尋找產品的潛在客戶與出路，而非等到產品研發完成之後再去尋找銷售的客戶。上述的做法可以提供國軍相關單位開發該技術的參考與借鏡，務必確保前端的原料來源與後端的行銷通路暢通無阻。

二、開發無毒相容性高的添加劑

目前市面上有許多標榜純天然的生質複合材料，雖然用於製造該產品的原料是來自於天然的植物、作物或農業廢棄物。然而，在原料前處理的過程中可能會用許多對環境有害的物質進行清洗或酸化等前處理過程，間接造成環境的污染與傷害，這些無形的公害影響必須要設法避免，因此開發無毒的前處理製造流程是非常重要的。另外，在合成生質塑粒的過程中，需要使用天然相容劑、添加劑或是塑化劑，許多市售的這些物質也都是含有有害的化學物質，因此合成生質塑粒則非完全天然無害，因此未來我國國軍在進行塑粒添加劑的研發過程中，也必須著重無毒製程配方與技術開發，避免對環境造成的無形二次傷害。

三、著重技術平臺建立而非產品

如前文所述，可用於製造綠色生質複合材料的農業廢棄物的種類非常多，因此許多研究機構與公司僅著重在研究各式農業廢棄物的可行性，卻忽略建立一個技術平臺的重要性。所謂建立一個技術平臺係指將一套完整的生質複合材料的製造流程，從原料的清

洗、乾燥、混合與造粒等流程利用完整的標準流程來處理，該流程可以適用於各式的農業廢棄物，因此可以依照使用場合或產品的不同，選擇適合的農業廢棄物當作原料，進而以該原料製造出不同的合成生質塑粒，擁有該關鍵的合成生質塑粒，只要將該塑粒提供給不同產品製造商，即可以該製造商現有的射出成型機臺，製造出不同的生質複合材料產品，可節省購買機臺與設立工廠的大規模成本支出。未來我國國防研究機構或軍事單位亦可參照上述的商業模式，著重在技術平臺的建立與開發，利用關鍵配方與技術合成的生質塑粒再提供其他的軍品供應與製造商，由該公司利用公司現有的製造機臺與設備進行國軍所需軍品或裝備產品的製造與加工，即可節省許多的設備與設廠投資費用，亦可達到重要軍品釋商的目的，協助國內企業，尤其是中小企業的技術提升與成長。

四、建立完善的回收制度與做法

我國近年來在塑膠容器與廢棄物的回收雖略有成效，然而相較於每年產生的數十萬公噸的塑膠廢棄物，成效還是有待改善。對於許多100%生物可分解的生質複合材料而言，可在特定的環境與時間下進行完全分解，因此較無回收的問題。然而對於部分生物可分解的生質複合塑料而言，由於仍有部分的高分子聚合物，因此也必須建立完善的回收制度可供依循。部分生物可分解的生質複合材料若可以統一回收，放置在特定的環境控

制下，可以加速生物分解性，同時可以將其他無法分解的高分子聚合物回收與再利用，才不會造成環境的二次污染。我國國軍後勤單位若未來有使用生質複合材料，也必須要注意相關回收的問題以及處理方法，務求讓環境的傷害降到最低。

五、慎選適合的生質原料與應用

生質複合材料其最大的特色即具有完全或部分的生物可分解性，故而可以理解該材料無法像一般的其他複合材料具有較佳的機械、化學、物理與材料特性等等，許多軍用複合強化材料也都是由生質纖維複合而成。就筆者所知，目前有國內企業受國軍單位委託，利用生質材料製作軍用物品，該物品具有吸震、強化與輕便易攜帶等優勢，使用後可不需回收，可由環境自行分解。若要將生質複合材料應用在軍品或裝備上，必須要考量使用目的與環境，一般以輕便、拋棄、使用後不易回收，由環境自行分解較為適宜。另外，由於不同生質纖維具有不同的物質特性與製造方法，因此亦要依照需求，選擇適合的生質纖維，才能確保使用的安全與便利性。

柒、結論

採用綠色環保材質已是目前世界的潮流與趨勢，綜觀目前的綠色材料，結合農業廢棄物的生質複合材料最具有發展潛力，主要

因為發展以農棄物為主的生質複合材料，不但可以促使農業廢棄物回收與再利用，提高其使用的附加價值性，同時也可以減少環境的污染與減少二氧化碳的排放量。我國無論在軍用或民用的材料上都可以依照使用的環境與產品應用的要求，開發完全生物可分解或混合塑膠材料成為部分生物可分解與強化複合材料等。雖然目前許多生質材料產品已經上市，在歐、美與日本等較重視環保的國家也受到高度重視，然而國內市場的接受度與普及度與上述國家相比還有許多努力的空間，主要原因就是產品品質、價格、壽命、法規與消費者使用習慣與環保意識等，相信未來再經過技術的提升改良與政府法規的推動下，綠色生質材料將可逐漸取代石化塑膠材料，成為下一世代新的革新材料。

作者簡介

趙本善博士，臺北科技大學機電科技博士班畢業，曾任臺北科技大學進修學院兼任講師、京元電子研發主管、國科會特聘博士後研究學者、清華大學材料科學與工程學系博士後研究員，現任國家中山科學研究院化學研究所助理研究員。