

考察歐美堆肥處理與生物可分解塑膠政策與技術

出國報告

目 錄

| | |
|---------------------------------------|----|
| 壹 前言..... | 1 |
| 貳 考察期間..... | 1 |
| 參 出國考察人員..... | 1 |
| 肆 考察訪問與參加研討會行程..... | 2 |
| 伍 考察訪問重要成果紀要..... | 5 |
| 一、參觀比利時 VLAR 有氧醱酵堆肥廠..... | 5 |
| 二、拜訪德國 Interseroh 公司..... | 6 |
| 三、拜訪比利時Organic Waste System公司..... | 8 |
| 四、參觀比利時 DRANCO 厭氧醱酵工廠..... | 13 |
| 五、美國 Cargill Dow 公司製造研發生物可分解塑膠情形..... | 14 |
| 六、拜會美國明尼蘇達州環保局..... | 16 |
| 陸 赴夏威夷出席生物可分解塑膠國際研討會..... | 20 |
| 一、全球高分子化合物可生物分解及堆肥化現況..... | 20 |
| 二、國外生物可分解塑膠技術發展情況及未來趨勢..... | 23 |
| 三、「可堆肥化」標誌..... | 28 |
| 四、「可堆肥化」及「生物可分解」塑膠產品測試標準..... | 33 |
| 五、其他關於生物可分解塑膠之研發及技術..... | 34 |
| 六、亞洲有機再生網路組織..... | 37 |
| 柒 考察心得..... | 41 |
| 捌 建議事項..... | 43 |
| 玖 附件..... | 45 |

考察歐美堆肥處理與生物可分解塑膠政策與技術

出國報告

壹、前言

廢棄物管理及溫室效應問題為目前國際上主要關切的環保議題，生物可分解塑膠及堆肥處理，將可提供作為廢棄物處理及減少二氧化碳排放方面可行的解決方式之一。美國穀物協會在這一方面向來已推動多年，此次邀集產、官、學、研等方面之單位，請其推派代表組成考察團，赴歐、美等先進國家，就廢棄物處理相關政策，推動堆肥處理方式相關之法令、制度、實務，及生物可分解塑膠研發技術、檢測方法、標誌、產品應用情形、市場等進行實地了解及交換意見。另並至美國夏威夷參加生物可分解研討會，經由各國研究生物可分解塑膠之專家發表論文中，可了解各國於此領域之研發技術。在美國穀物協會的安排下，本團在短短 15 天的行程中所獲得的助益相當大。對未來政府相關政策的擬定、技術研究發展方向，日後我國環保生物可分解材料協會的業務推動，與台灣業界日後的發展均提供了一套完整的依據，期能吸取相關推動經驗以加速於國內推動之。

貳、考察期間

中華民國八十九年十二月三日至十二月十七日，為期十五天。

參、出國考察人員

| 姓名 | 職稱 | 服務單位 |
|-----|----|----------|
| 賴瑩瑩 | 科長 | 行政院環境保護署 |
| 陳文德 | 科長 | 行政院農業委員會 |

| | | |
|-----|-----|------------|
| 于 寧 | 總經理 | 環境與發展基金會 |
| 黃建銘 | 主 任 | 塑膠工業技術發展中心 |
| 林逸郎 | 總經理 | 偉盟工業股份有限公司 |
| 張學義 | 副代表 | 美國穀物協會 |

肆、考察訪問與參加研討會行程

| 日 期 | 行 程 |
|---------------|---|
| 12月3日(星期日) | |
| 19:35 | 搭乘荷蘭航空公司 KL#878 班機自中正機場啟程。 |
| 12月4日(星期一) | |
| 05:35 | 抵達阿姆斯特丹。 |
| 07:00 | 轉荷蘭航空公司 KL#1723 班機飛往比利時。上午 7:50 抵達布魯塞爾。 (夜宿 Holiday Inn , City Center) |
| 12月5日(星期二) | |
| 09:30 - 11:30 | 參觀比利時北區民間 VLAR 有氧發酵堆肥工廠。由技術部經理 Bart Tambuyser 解說比利時有機廢棄物處理法令、有機廢棄物處理收費標準、現場觀察該廠處理有機廢棄物製造堆肥情形。 |
| 15:00 - 18:00 | 拜訪位在德國科隆 Interserroh 公司。由 Joran Reske 及 Ulrich Kinner 解說。 (夜宿 Holiday Inn , City Center) |
| 12月6日(星期三) | |

- 09 : 00 - 12 : 00 拜會比利時 Organic Waste System 公司，由實驗室經理 Bruno De Wild 說明歐盟廢棄物處理政策 歐盟各國有機廢棄物處理現況與未來展望，以及該公司經營項目作詳盡介紹。
- 14 : 30 - 16 : 30 參觀比利時 Organic Waste System 公司在 Brecht 所建 DRANCO 厭氧發酵技術處理有機廢棄物工廠。由實驗室經理 Bruno De Wild 詳細說明工廠設備、運作與發電、堆肥處理情形。
(夜宿 Holiday Inn , City Center)
- 12 月 7 日 (星期四)
- 09 : 00 - 11 : 00 就歐洲拜會、參觀情形作討論及資料整理。
- 14 : 25 - 15 : 35 搭乘西北航空公司#8328 班機由比利時布魯塞爾飛往荷蘭阿姆斯特丹。
- 16 : 35 - 18 : 25 搭乘西北航空公司#55 班機由荷蘭阿姆斯特丹飛往美國明尼蘇達州 Minneapolis。
(夜宿 Marriott Hotel , City Center)
- 12 月 8 日 (星期五)
- 09 : 00 - 11 : 00 由 Cargill Dow Polymers 公司派員至 Marriott Hotel 八樓會議室，向中、韓兩訪問團說明該公司以玉米澱粉經化學醱酵產生聚乳酸 (PLA) 製造生物可分解塑膠情形，以及未來產品研發情形。
- 14 : 00 - 17 : 00 拜會 Minneapolis 環保局。

- (夜宿 Marriott Hotel , City Center)
- 12月9日(星期六) 資料整理與討論。
(夜宿 Marriott Hotel , City Center)
- 12月10日(星期日)
09:35 - 23:30 搭乘西北#935班機,由 Minneapolis 飛往 Honolulu Hawaii,中途停靠洛杉磯時,飛機故障,改搭夏威夷航空公司 HA#9班機,抵達比原訂時間延後7小時。
(夜宿 Sheraton Moana Hotel)
- 12月11日(星期一) 由於抵達時間延遲,本日拜會活動取消。就歐洲行程與明尼蘇達州參訪情形,就每人心心得提出報告與資料整理。
- 12月12日(星期二)
上午 自 Sheraton Moana Hotel 換到 Hyatt Regency Waikiki
- 15:00 - 20:00 The 6th International Scientific Workshop on Biodegradable Polymers and Plastic and 9th Annual Meeting of the Bio/Environmentally degradable Polymers Society. 研討會報到。
- 17:00 - 18:00 美國穀物協會邀集中、日、韓三國代表團研商未來可分解塑膠的檢驗方法、標準、驗證、標章及堆肥品質齊一化等問題作意見溝通與交流。
- 17:00 - 18:00 研討會晚宴。

12月13日(星期三)

至 研討會

12月16日(星期六)

12月16日(星期六)

09:35 - 13:30 搭乘西北航空 NW#9 班機,由夏威夷飛往日本成田機場。

12月17日(星期日)

18:15 - 21:35 搭乘西北航空 NW#7 班機,由日本成田機場返國。

伍、考察訪問重要成果紀要

一、參觀比利時 VLAR 有機醱酵堆肥廠

VLAR 為比利時一民間堆肥處理公司,由比利時政府投資部分資金成立。該公司專門處理比國北部地區公園、私人庭院花木殘枝、家庭蔬果、廚餘等廢棄物發酵為堆肥作資源回收工作,VLAR 公司每年處理有機廢棄物量能為五萬二千公噸,進行堆肥後其產品生產量每年約二萬三千公噸。

在比利時,法令規定有機廢棄物不可直接以掩埋方式處理,此法令已施行約一年。故促成有機廢棄物以堆肥方式處理,政府亦協助業者興建堆肥廠,目前該國已設有六座堆肥廠。VLAR 公司所處理的有機廢棄物由政府垃圾車或由民間業者運送。比利時政府按廢棄物重量及運送型態不同,給予不同的處理費用。以不加包裝方式進廠,政府按每公噸支付 2,750 比利時法郎(純粹之樹枝每公噸給付減少 1,000 法郎);以可分解(Biodegradable)塑膠袋包裝送達者,每公噸處理費用為 2,800 比利時法郎。

在堆肥化處理方面，當有機廢棄物送進工廠後，先經初步篩選及吸除金屬物質後再傳送至廠房進行發酵。全部發酵時間為十一週，每週翻堆一次，每次翻堆後往前堆放，最後一堆即為第十一週已完全腐熟之堆肥。整個堆肥過程十一週之間，前四週之溫度達 60℃，以後逐漸降溫，第四週以後溫度逐漸降為 35℃，另並以生物濾床控制臭味問題。完全腐熟之成品包裝後送另一倉庫堆放待售，每公斤售價為 0.15 比利時法郎(每公斤約新台幣 0.12 元)。

為維護堆肥品質，在比利時已建立一套發證及驗證制度。堆肥成品之品質按農業部之規定管理，其符合品質標準者由 OVAM(屬政府單位)進行發證，並由 VLACO 公司(屬非營利民間組織)作檢測，並有可能至市面上抽檢堆肥成品之品質。

VLAR 公司在處理包裝廢棄物，遭遇比較大的困難為每週收取家庭有機廢棄物一次，由於包裝袋係用生物可分解塑膠袋 (Biodegradable plastic bag)，此種塑膠袋係為資源回收可以堆肥化處理，但比較早包裝者已開始分解破裂，如有家庭再用 PE 袋包裝，難以於進行堆肥前分類檢選，造成處理困擾。

二、拜訪德國 Interseroh 公司

該公司自一九九一年成立，主要業務內容為進行包裝廢棄物資源回收收集、再生之整合及管理，一九九九年營業額為五五四·七百萬馬克，稅後盈餘為九·八百萬馬克，目前有七百六十位員工。其與德國境內八萬個事業廢棄物產生源(如麥當勞)簽約、建立資源物收集系統，在末端部分，並與六百個廢棄物分類回收工廠及三百家再生廠簽約，將各事業產生之資源物送往再生。本項回收系統

有別於 DSD 系統，DSD 系統係回收一般家戶產生之資源物，而該公司回收者為事業單位產生者，由於產生源較為集中，收集成本較低，故收費費率較 DSD 系統約便宜二至三成。

該公司並介紹德國生物可分解塑膠之發展及可堆肥包裝廢棄物之管理情形如下：

(一)德國實施資源回收制度已有十年，已依法公告製造、輸入、販賣業者有回收的責任，據該公司估計，對於應用於包裝之生物可分解高分子化合物，其市場需求在未來應呈成長趨勢。

(二)對於傳統塑膠及生物可分解塑膠在製造成本部分，目前雖然後者較前者貴約三至四倍，在未來預估製造成本應可縮短於二倍以內，而若考慮分類回收再生之成本後，因後者可以堆肥方式再生資源，較之傳統塑膠須經前分類之回收成本（塑膠須分為七類），成本較為低廉，故預估未來兩者之整體成本（製造及回收成本）將會相當接近。故生物可分解塑膠市場競爭力可望提高。

(三)對於使用後之生物可分解塑膠其收集管道來源主要來自三方面：

1. 家庭廚餘桶；
2. 事業單位（例如速食店）；
3. 大型節慶或活動（如音樂會或運動比賽）。

(四)在德國，對於可進行堆肥之包裝或容器，須要經驗證單位如 DIN CERTCO 認證（certificate）後，即由德國生物可分解材料會（IBAW）授予可堆肥標章（IBAW-Logo）於包裝或容器上，以利消費者辨別。生產生物可分解塑膠粒子之製造工廠其產品應經可堆肥化之測試，其時間為六個月，費用為一萬五千美

元；以生物可分解塑膠為原料之製造廠部分，其產品須經四週可堆肥化之測試，所需費用為一千元美金。

(五)Kassel 計畫

Kassel 市為生物可分解塑膠工業活動之中心，此計畫將生物可分解塑膠(以下簡稱 BDP)進行堆肥處理之應用於有機廢棄物之管理，為世界上有關此方面之最大的示範計畫。計畫期間從公元 2000 年 2 月進行到 2001 年 7 月，參加者包括工業界（如 Bayer、BASF，及其他廢棄物管理公司、生物可分解塑膠製造業、托盤、飲料杯及吸管、紙杯之 coating 業等）民間團體及學術單位，德國聯邦政府農業部並成立基金，並由顧問公司作為計畫管理者。

此計畫施行重點為，為利民眾配合，以 BDP 製之包裝容器產品可在超市買得到，民眾將以 BDP 製成之包裝廢棄物丟至有機廢棄物分類桶，此類廢棄物並以堆肥方式處理，而堆肥後之產品將應用於農業上。

BDP 製之包裝容器應用產品範圍為：裝乳製品、水果及蔬菜、肉類等之包裝或容器、超級市場購物袋、裝有機性廢棄物的袋子及速食店用後即丟之餐具等。

最基本的問題為民眾是否會將 BDP 製成之包裝廢棄物丟入有機廢棄物分類桶或者投入其他材質之包裝，為此計畫成功的要件。相關資料詳如附件一。

三、拜訪比利時 Organic Waste System 公司

本次拜訪歐洲地區廢棄物處理相關機構均由 Organic Waste System（簡稱 O.W.S）公司實驗室經理 Bruno De Wild 細心及妥善

安排，並提供歐盟對廢棄物處理政策現況與未來展望，以及該公司經營項目作詳盡介紹，其用心令人佩服，在此特別向其表示謝意與敬意。由於該公司提供資料甚有供國內參考價值，乃分類整理加以簡介。

(一) 歐盟廢棄物處理政策

1. 訂定廢棄物處理優先順序：

為維護生態環境，強化資源利用，歐盟對廢棄物處理，訂定優先順序，供各國作為訂定相關法律及執行之指導原則。

(1) 首先由廢棄物減量 (Reduce) 著手。

(2) 其次為廢棄物再使用 (Reuse)。

(3) 廢棄物再利用為物料或進行堆肥 (Material Recycling-Composting)。

(4) 廢棄物焚化回收熱能之再生化 (Recovery)。

(5) 最後才考量以掩埋 (Land filling) 方式處理。

在不同國家對於第(3)及第(4)之優先順序有不同看法，部分國家第(3)優於第(4)；部分國家第(3)同於第(4)。

2. 訂定廢棄物處理之最高指導原則 (Directives)：

(1) 包裝材料指導原則：

歐盟訂定以 1994 年為基期年，在五年內對於包裝材料的再利用 (Recycling) 之比例需達到 25 至 45%，而且如廢紙，廢玻璃容器或廢塑膠類等個別包裝材料之再利用比例不得低於 15%。至於再生化 (Recovery) 之比例需達到 50 至 65%。

(2) 掩埋 (Land filling) 處理指導原則：

有機廢棄物禁止以掩埋方式處理。本項規範之目的

為防止排放 CO₂、CH₄ 等導致溫室效應氣體及防範經由淋洗作用造成地下污染。

據統計，歐盟在 1998 年之廢棄物以掩埋方式處理者仍達 60% 以上。尤其英國利用礦坑作廢棄物掩埋場最為代表。歐盟站在資源回收立場，希望逐漸降低掩埋方式之比例，以公元 1995 年掩埋量為基礎，至 2006 年降為 75%，至 2009 年降為 50%，至 2016 年再降至 35% 之水準。

(3) 堆肥處理指導原則：

堆肥之優點為降低溫室效應之 CO₂、CH₄ 等氣體排放，增加土壤中有機質含量，改善土壤理化性質，推動綠色農業 (Green Agriculture)，可作為“碳”的收集槽，以達資源永續利用之目的。

另外，歐盟為控制堆肥品質，防範遭受重金屬污染，規定製造堆肥之原料，其重金屬含量，須低於下列標準：Zn (150ppm)，Cu (50ppm)，Ni (25ppm)，Cd (0.5ppm)，Pb (50ppm)，Hg (0.5ppm)，Mo (1ppm)，Se (0.75ppm)，As (5ppm)，F (100ppm)，Cr (50ppm)。(註：堆肥產品重金屬含量為上述原料標準之兩倍)

(二) 歐盟對於廢棄物以堆肥化處理之現況與展望

歐盟各國對於有機廢棄物經由堆肥化處理情形隨著各國環保意識，地理條件、經濟因素等，有不同考量，也產生不同結果，一般而言，德國、荷蘭、比利時、丹麥等國最重視堆肥化處理，瑞士、奧地利等次之，至於法國、西班牙等正積極規劃中。

依據荷蘭、德國、比利時三國在 1996 年統計廢棄物經由堆肥化、焚化及掩埋三種方式處理，除比利時外，以堆肥化處理廢棄物之每公噸成本最低，其次為掩埋，費用最高者為焚化，以德國為例，廢棄物以焚化處理每公噸需 486 美元，掩埋為 402 美元，至於以堆肥處理者為 151 美元。

歐盟各國廢棄物必須自行處理，以堆肥化方式處理更彰顯其重要性。因此，教育訓練宣導配合政策制定及軟硬體建設配套措施紛紛提出。各國辦理情形概述如次：

1. 德國：1998 年生物廢棄物堆肥處理工廠有 600 家，其中 90 % 為好氧性處理，另外 10% 以厭氧性處理。
2. 荷蘭：1990 年至 1995 年加強教育宣導。至 1998 年全國人口有 93% 實施堆肥化處理，當年以堆肥化處理數量佔全部廢棄物之 30 至 40%。
3. 奧地利：推動家庭農場實施堆肥化。
4. 瑞士：自公元 2000 年元月起，禁止可燃性廢棄物以掩埋方式處理，預計堆肥化處理佔所有廢棄物之 30%。
5. 瑞典：預估 50% 農家實施堆肥處理。

(三) O.W.S. 公司與有機廢棄物處理技術

Organic Waste System (簡稱 O.W.S.) 公司創設於 1988 年，資本額為五千萬比利時法郎，公司職員四十人，每年營業額為 600 萬美元。該公司營業額不大，但屬於著名的專業公司。該公司營業項目分為三大類：

1. 實驗室內檢測 (Laboratory test)：

- (1) 生物可分解 (Biodegradation) 及可堆肥化 (compostability) 物質檢定。

(2) 生物毒性檢測 (Ecotoxicity test)

(3) 堆肥品質分析 (Compost Quality analyses)

2. 諮詢服務 (Consulting Services):

(1) 廢棄物堆肥化 (Waste Composting)

(2) 崩解性廢棄物管理 (Integrated Waste Management)

(3) 有機廢棄物之管理 (Management of Organic Wastes)

(4) 堆肥化及厭氧性消化之研發 (Developments to
Composting and Anaerobic Digestion)

3. 負責 DRANCO 無氧醱酵技術研發 :

有機廢棄物經由厭氧性醱酵過程處理，產生甲烷生物性氣體 (Biogas) 提供電力並產生腐植性之產品 (Humus-like Product)。

4. 檢驗程序與方法 :

該公司對於生物可分解物質是否為可堆肥化物之檢測方式具有公信力，前後向 ISO、CEN (歐盟認證機構)、DIN (德國認證機構) 及 ASTM (美國認證機構) 之申請認證。

對於廢棄物是否屬於生物可分解物質，依據 ISO14851、14855、14852 等標準進行檢測，材料測定時間達 6 個月，且可分解為二氧化碳及生質 (Biomass) 之比例達 90% 以上，如有添加劑致難以分解者，全部添加劑之比例不得高於 5 %。

在是否符合崩解性部分，在廠商送該公司後之 12 週內完成檢測，在 12 週後，崩解物質通過 2mm 正方形篩網達 90% 以上者，才認為符合崩解性之標準。另並在堆肥成品種植兩種植物測定發芽及生長情形檢驗堆肥毒性。

符合測定標準者，發放檢驗報告。如經營堆肥廠商取得

符合標準報告，可向 BPI(北美)、DIN(德國)或 O.K. Compost 等機構申請使用其標示，使堆肥品質獲得保證。

四、參觀比利時 DRANCO 厭氧發酵工廠

比利時 O.W.S. 公司對於以厭氧發酵方式堆肥及可分解性檢測技術具專業化水準，因此該公司在開發有機廢棄物以堆肥方式處理的技術一直持續發展。針對廢棄物的種類不同，發展出兩套堆肥技術專利。其中之一為 DRANCO 系統，專門處理較乾燥的有機廢棄物（庭園樹枝）；另一為 DRANCO-SEP 系統，處理市場、食品廢棄物等水分含量較高的有機廢棄物。

兩項處理系統基本原理相同，有機廢棄物進廠後，經過篩選塑膠、大型木塊、紙類等廢棄物，以螺旋輸送前進時，將廢棄物破碎為 4 公分以下碎裂物，再注入蒸汽及厭氣槽內液體加以混合後，將混合物送入厭氣槽內進行無氧發酵，發酵時間 2 至 3 週，槽內溫度為 50 至 58 。厭氧發酵槽內產生氣體以甲烷為主（甲烷佔 55 至 60%），甲烷供發電，電力並可供鄰近社區使用。

廢棄物在槽內 2 至 3 週後，固形物經脫水（水分含量約 50%）再送入倉庫進行有氧發酵，經 2 至 3 週即成腐植性之產物。但兩項系統比較不同的是，DRANCO 系統在槽內固形物比例約 15 至 40% 之間；至於 DRANCO-SEP 系統在厭氧性槽內之固形物比例較低，約 5 至 20%。

O.W.S. 公司在 1984 年首先於比利時 Gent 地區興建 DRANCO 系統示範工廠，其後在印尼、美國、澳大利及日本亦興建示範工廠。1992 年以後正式建立營運工廠，截至 2000 年元月，在比利時、澳大利、德國、瑞典等已建立 7 座 DRANCO 營運工作，其中以 2000

年元月在比利時 Brecht 所建第二廠規模最大(第一廠在 1992 年建立)，每年可處理廢棄物容量為 5 萬公噸。

至於實際運作方面，以 1993 年在奧地利 Salzburg 所建 DRANCO 系統作介紹，該工廠可以處理 30 萬人口產生之有機廢棄物，工廠每年最大處理量為 2 萬公噸，產生堆肥 4,700 公噸。工廠操作人員為 5 名。在厭氧氣槽內保持溫度 50 至 55 之間，槽內固形物比例佔 15 至 30% 之間，槽內醱酵時間 20 至 30 天，每公噸廢棄物產生氣體 120 至 170 立方公尺，其中甲烷佔 50 至 65%。

在歐洲有機廢棄物處理不論經由有氧醱酵或厭氧醱酵方式處理，每年均在成長中，至於各國選擇之處理方式，以有氧醱酵或厭氧處理並不一致。一般而言，有氧醱酵營運成本較低，但厭氧性醱酵處理有下列優點：

- (一) 以 O.W.S. 發展厭氧性槽係圓筒直立型，所需土地為一般好氧性醱酵倉庫面積之 1/3。
- (二) 對廚餘等水分含量較高之廢棄物處理較為方便(以好氧醱酵處理需要添加木屑等，以利空氣流通)。
- (三) 可回收電力。
- (四) 在密閉槽醱酵較不易傳播臭味。
- (五) 可在都市鄰近地區興建。

相關資料詳如附件二。

五、美國 Cargill Dow 公司製造研發生物可分解塑膠情形

該公司主要業務原為生產穀類，為提高穀類之附加價值，及考量廢棄物處理、資源回收、溫室效應等環保問題，遂投入以穀物為原料製造高分子化合物(polymers)之領域。該公司所研發之高分子

化合物稱為”PLA”，已投資幾十億美金進行研發及量產，在美國並已申請獲核准一百多種專利權，目前工廠正興建中，預定在 2001 年底其 PLA 產能每年可達 140,000 公噸，預料將可對生物可分解塑膠的市場造成相當的突破。

PLA 的基本製造流程為將穀物醱酵為乳酸，再成為聚乳酸，再作成 PLA 粒子後，可製造成纖維、包裝材料及化學介質等三大領域之產品。如：不織布、地毯、牛仔褲、新娘禮服、衣服、免洗杯、瓶子、包糖果的塑膠膜等。

目前在技術上努力之目標有三方面：一為希望減少製造流程中能源之消耗量，及降低氮氧化物、硫氧化物及二氧化碳之排放；二為開發穀類原料來源，可降低成本及減少二氧化碳之排放；三為提高 PLA 之附加價值，即儘量減少材料之使用量及發展可使用 PLA 製造產品之技術。

在環境的觀點部分，主要以產品生命週期分析的方法來比較生物可分解塑膠及一般傳統塑膠間之差異。其內容為從原料及其上、下游，即從製造、使用及廢棄過程，整體分析其能源之消耗量、二氧化碳之排放量等因子，惟其中原油及農作物原料的分析資料取得很困難。生物可分解塑膠及一般傳統塑膠間最大之差異為，前者之原料為農產品，其在生產過程係由大氣中吸收二氧化碳，而後者之原料係由開採原油而得。由該公司所提供資料中，不論作成杯子 (PS/PLA) 或瓶子 (PET/PLA)，生物可分解塑膠皆優於一般傳統塑膠。

PLA 主要製成熱塑性高分子化合物類產品，預估每年市場潛力為 500,000 公噸，預估可減少百分之二十至五十的石化原料使用量，對於包裝、膜及纖維之製造可提供另一種選擇。若如該公司預

測，可達量產之目標，其售價若可降至每磅美金五十分至一美元，可視為工程塑膠之革命性發展。相關資料如附件三。

六、拜會美國明尼蘇達州環保局

美國明尼蘇達州環保局就該州政府環保單位組織 一般廢棄物管理政策、資源回收執行情形，特別是堆肥制度之推動，作一介紹

(一)廢棄物管理現況

1.該州人口數有四百五十萬人，在一九七〇至一九八〇年代垃圾處理以掩埋為主，近十年來積極推動廢棄物資源回收工作，目前回收率為四十%，在回收物中廢紙張、紙板、鋁罐尚有市場經濟誘因，而廢塑膠部分則無。

2.在訂定廢棄物管理政策主要考量廢棄物處理優先順序、資源回收之目標、家庭有害廢棄物及其他相關管制規定等。並會考量減少能源之使用、避免臭氧層的破壞及經濟可行性。該州廢棄物處理優先順序依序為：

- (1)減量、再利用 (reduce、reuse)；
- (2)回收 (recycling)；
- (3)庭園及食物類廢棄物進行堆肥 (composting)；
- (4)都市混合廢棄物進行堆肥式焚化，以再生資源 (resource recovery)；
- (5)可回收甲烷作為燃料之掩埋處理；
- (6)無法回收甲烷熱能之掩埋處理。

而在各項處理方式之成本分析為，堆肥、焚化及掩埋分別約為 70、60、40 美元/ton。

3.下列廢棄物禁止以掩埋方式處理：

電器、庭園廢棄物、機油、輪胎、鉛蓄電池、可充式電池、含水銀的物品、含水銀、鎳鎘乾電池等。

4. 有關推動資源回收工作在經濟面影響，據三年前的調查研究顯示，計增加了八千人的工作機會，相關行業的產值每年計十億美元，並造就三十億美元的經濟活動。
5. 在家庭有害廢棄物的處理部分，未來仍應加強在每個市鎮（county）進行教育的工作，並需要訂定管理計畫，以能從垃圾中分出有害物質，避免造成環境污染。

(二) 堆肥制度推動情形

本部分係就該州推動堆肥制度的規劃、設備、經濟分析、操作管理、實施心得、相關法令及執行現況進行介紹。

1. 有關堆肥廠的設計內容包括：進廠原料、前分類設備、粉碎設備等，並考量廢水、廢氣等二次污染問題；並具備資源回收、燃料利用等功能，及讓產品穩定、成熟、具市場接受度。
2. 有關興建堆肥廠之投資成本如下：
 - (1) 可將廢棄物進行能源回收者為 175,000 美元/ton/天；
 - (2) 混合廢棄物進行堆肥者為 150,000 美元/ton/天；
 - (3) 在產源即進行分類後之堆肥者為 100,000 美元/ton/天。
3. 有關堆肥廠之操作，其財務分析如下：
 - (1) 債務部分 50 美元/ton；
 - (2) 賸餘物處理成本 25 美元/ton；
 - (3) 人力成本 25 美元/ton；
 - (4) 操作維護費 10 美元/ton, 州政府並對市鎮進行補助，

目前為 2 美元/ton。

4. 有關堆肥處理方式經濟方面之分析如下：

- (1) 可保留較多之土地（以掩埋處理需使用土地）；
- (2) 可從廢棄物中回收資源及能源，可幫助降低成本；
- (3) 可協助降低運輸成本（如果掩埋場距離遙遠）；
- (4) 降低掩埋場清理成本；
- (5) 降低地表水及地下水污染之危機；
- (6) 降低危害人體健康危機。

5. 該州在推動堆肥制度後獲得主要經驗如下：

- (1) 進廠原料之確保方面：應確保數量之穩定性及進廠原料成份之變化情形，是否隨不同季節、時令而有所差異。
- (2) 進廠原料成份中是否含污染物方面：以環境保護之觀點，應考量有機化合物、重金屬及惰性物質等；以市場接受度之觀點，應考量惰性物質、塑膠、金屬、可溶解鹽等。
- (3) 堆肥產品市場接受度方面：其產品使用者或出售對象為何，係作為苗圃栽培、給政府使用或作為建築之用等；其市場需求之產品規格為何，其項目包括粒子大小、營養成份（N.P.K.，PH 值，可溶解鹽）、重金屬含量、惰性物質標準等。

6. 有關堆肥制度之實施，亦已訂定相關法令規章，訂定目的為保護人體健康及環境，其主要內容為：

- (1) 設備設計操作最低要求：包括防止臭味 降低病原菌、防止病媒感染、控制放流水以避免污染地下水等項

目。

- (2) 都市廢棄物堆肥場場址設計：包括場地整地、控制人員進出、將河流引開，物品之貯存、路線規劃、控制臭味等項目。
- (3) 操作方面：包括訂定操作維護手冊、人員訓練、物品管理、預防病原菌之程序等項目。
- (4) 成品部分：包括採樣及測試計畫、成熟度測試（PH、水份、粒徑大小、N.P.K.比、可溶解鹽內容）等項目。並將堆肥產品分為二類訂定各類重金屬、PCB 含量之標準。
- (5) 最終使用：產品可作為肥料、特殊肥料、土壤改良劑或植物改良劑等。並將產品分為第一類及第二類，第一類之使用在用途部分並無限制，第二類之使用則有所限制。

7.在實施情形部分，堆肥場之設置及廢棄物之收集部分為公營，部分為民營。廢棄物每週約收集二 三次，民眾須至商店購買可分解塑膠袋裝可進行堆肥之廢棄物。另民眾應將廢棄物分為可堆肥物及不可堆肥物：

(1) 可堆肥物：

- ①Green waste：庭園枝葉等；
- ②廚餘 (Food waste)：肉、骨頭、蔬菜、咖啡、泡茶包、蛋殼、麵包類、乳品類等。
- ③濕及已污染之紙 (wet and soiled paper)；
- ④紙尿褲及衛生用品。

(2) 不可堆肥物：

①可回收物質：紙、金屬類、塑膠瓶、玻璃瓶等可回收再利用之物品等；

②其他一般垃圾及有害物品等。

相關資料詳如附件四。

陸、赴夏威夷出席生物可分解塑膠國際研討會

本次國際性研討會內容包括各國生物可分解塑膠的推動情形、製造技術研究發展、產品應用及未來展望等，主講者包括歐洲、美、加、中國大陸、日本等，其議程詳如附件五，茲將相關內容彙整如下：

一、全球高分子化合物可生物分解及堆肥化現況

本篇由美國穀物協會 Dennis Kitch 提出報告，鑑於傳統以石油為原料製造之塑膠袋不易分解，造成垃圾處理危機，地球溫室效應，垃圾以焚化方式處理產生戴奧辛 (Dioxin) 與垃圾處理費用高昂等因素，促使各國考量資源回收利用。因此，有機物質再利用 (Recycling) 及以生物高分子製造塑膠產品使用後再以堆肥處理，達到永續經營的觀念邏輯受到重視。

各國近年來紛紛致力於生物高分子化合物製造塑膠纖維產品的研發，並對使用後以堆肥化處理的研究均投入相當人力與經費進行。由於渠收集各國現況資料豐富，可供我國參考，乃就其報告作整理。

(一)美國：已有幾家著名工廠投入資金準備量產生物分解性塑膠之原料。包括 Cargill Dow 於公元 2000 年元月在亞利桑納州 Blair 建廠，將以玉米澱粉為材料製造聚乳酸 (PLA)；Du Pont 公司亦於 2000 年 8 月設廠，將生產生物可分解之聚脂 (polyester) 原料。

- (二)德國：成立 Kassel 計畫，在公元 2000 年 2 月起至 2001 年 7 月，選取 14 萬人作環保垃圾分類，將庭園花草、樹枝、廚餘、果皮等有機廢棄物放入可分解塑膠袋再放入收集桶 (Biobin)，以進行堆肥處理試驗，試驗正進行中。
- (三)荷蘭：居民對於有機廢棄物以回收再利用 (Recycling) 之比例為世界上最高的國家。目前有機廢棄物處理傾向以厭氧性醱酵處理，但未來在成本及防範土壤污染考量下，可能又走向焚化的路線。
- (四)義大利：該國對於推動將有機廢棄物丟入有機塑膠袋的措施非常成功，預估至 2001 年推動成效會超過荷蘭。
- (五)日本：日本在 2000 年 5 月訂定創造永續社會的基本法 (The Basic Law to Create a Sustainable Society) 規定，對於每年產生 50 公噸有機廢棄物的業者，必須將其轉化為飼料或回收利用，在鄉村及郊區推動有氧醱酵之堆肥化系統，在都會地區則將採厭氧性醱酵處理系統，以節省土地面積，減少臭味散佈。

另外，日本政府要求企業對於包裝材料應負最終處理的責任，企業公司必須付包裝材料的最終處理費用。

在民間部分，由企業界出資支持的日本有機利用協會 (Japan Organic Recycling Association, 簡稱 JORA) 在 2000 年 8 月 1 日成立，將與國際民間組織及相關協會合作，推動有機廢棄物回收再利用及建立國際一致性的有機廢棄物處理產生堆肥之品質標準等。另外，日本在 1990 年所組成的生物可分解塑膠協會 (Japan Biodegradable Plastic Society), 已在 2000 年建立生物可分解塑膠的認證標章 Green

Pla。

(六) 印尼：TOYOTA 公司在 2000 年 10 月 20 日宣佈，將在印尼建造年產 5 萬公噸，由玉米澱粉發酵產生之聚乳酸（PLA）生物性塑膠的工廠。

(七) 台灣：台灣由日本媒體瞭解焚化方式產生戴奧辛（Dioxin）問題，因此，目前在政策上，政府強烈支持有機廢棄物回收（Recycling），在台北市及若干城市舉行將垃圾製造堆肥的示範計畫；台北市更積極垃圾分類，回收資源垃圾。農政單位對生物可分解塑膠在農業用途的研究也列為優先研發項目。

在民間相關協會部分，目前已有環保生物可分解材料協會（Environmentally Biodegradable Polymer Association），協助相關產業進行可分解塑膠的應用研究與有機堆肥的推廣。

Dennis Kiech 在會中對台灣所採取措施表示佔讚揚。

(八) 中國大陸：在華中及華北地區土壤缺乏有機質，以及沙漠化逼近北京，促使大陸政府重視環保問題，目前正與日本商洽談有機材料援助外，在香港及上海進行廚餘堆肥化計畫，以及推動以生物可分解塑膠袋收集有機廢棄物計畫。

(九) 泰國：在泰國北部清邁地區進行皇家堆肥化計畫，在曼谷正建造堆肥化工廠。泰國未來可能是生物可分解塑膠的主要生產者。

(十) 韓國：至公元 2005 年對於食物殘餘及有機廢棄物禁止以掩埋方式處理。在漢城及其他都市正進行食物殘餘進行堆肥處理，目前可分解塑膠已開始利用，初期以 30% 為目標，最終為達到 100% 全部用可堆肥化之生物可分解塑膠袋。

- (十一)馬來西亞：電子產業以及外銷供國外消費包裝材料，將來可能是優先採用可堆肥化之材質。
- (十二)印度：在都會地區實施有機廢棄物的再利用，新德里及龐貝城禁用傳統塑膠袋。
- (十三)紐西蘭：至公元 2010 年將禁止有機廢棄物以掩埋方式處理，且不採取焚化措施，而積極推動堆肥化及再利用政策。
- (十四)巴基斯坦：透過學校教育宣導垃圾分類與再利用措施。
- (十五)澳洲：澳洲政府舉辦奧林匹克運動會，採取生物可分解粉紅色塑膠袋，數量超過一百萬只，搏得各界讚揚；坎培拉已採取零掩埋政策"Zero Landfill Policy"。

二、國外生物可分解塑膠技術發展情況及未來趨勢

生物可分解塑膠可應用的產品非常多，主要應用於短效性一次使用即丟的產品，因這些產品佔廢塑膠的比例最大。

(一)依用途可分為：

- 1.無須耐久性之產品：如購物袋、食品容器、飲料品連接環、吸管等，這些均是用完即丟的產品，使用量相當大。
- 2.無法回收之產品：其產品的特點為回收管道限制，處理困難等，如醫療廢棄物。
- 3.協助垃圾減量之產品：如垃圾袋、堆肥袋、紙尿布等，其用量也非常可觀。
- 4.醫療及衛生用品：如繃帶、人造骨骼及移植、棉花棒、復健、生理用品等。
- 5.需要控制分解時間之產品：如農業用膜、藥物釋放系統等。

(二)若依製程又可分為：

1. 押出發泡成型：如發泡緩衝材、形狀發泡成型、墊材、保溫材等均是押出發泡所形成的生物可分解產品。
2. 射出成型：如高爾夫球座、寵物用咀嚼物、刀、叉、湯匙等用完即丟的免洗餐具等均是用射出成型的技術所得到的可生物分解產品。
3. 吹膜成型：如緩衝泡包裝膜、積層貼合用膜、衛生材料用膜、農業用覆蓋膜及各式製袋用膜等等，均可選適當的生分解塑膠材質(如 PCL 與 Starch 聚合物等)利用吹膜成型的技術製得各式各樣的薄膜。

目前只有國外幾家大廠有能力生產生物可分解塑膠的原料，且產量並不多，故原料價格比較高(如表一)。

表一 國外生物可分解塑膠發展現況

| 來源 | 商品名 | 製造商 | 組成 | 用途 | 價格 |
|-------|----------|--------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 微生物生產 | Biopol | 英 ICI | PHBV | 薄膜、吹瓶等 | 8.00~10.00 (美元/磅) |
| 化學合成 | CPPA | 比 Solvay | PCL | 推肥袋、尿片等 | 3.00(美元/磅) |
| | TONE | 美 UCC | PCL | 推肥袋、尿片、薄板等 | 2.70(美元/磅) |
| | EcoPLA | 美 Cargill | PLA | 薄膜、吹瓶、紗線、射出等 | 1.00~3.00 (美元/磅) |
| | LACEA | 日三井 東壓 | PLA | 薄膜、吹瓶、紗線、射出等 | 800(日圓/kg) |
| | LACTY | 日島津 | PLA | 薄膜、吹瓶、紗線、射出等 | 800(日圓/kg) |
| | Bionolle | Showa | Aliphatic Polyester | 薄膜、吹瓶、紗線、射出等 | 600(日圓/kg) |

據悉，目前全球生產不可分解之塑膠原料一億噸，而製造於一次性使用丟棄的包裝材料將近 3,000 萬噸，包裝材料所生產之污染問題已使各國政府傷透腦筋，這部分正是最需要用生物可分解塑膠取代的產品；相信生物可分解塑膠之潛在包裝市場、非包裝用膠膜市場及取代聚苯乙烯發泡之市場潛力是無限的。

表二、三及四為美國、日本及歐洲的生物可分解塑膠之市場現況，各種生物可分解塑膠已達一定程度的使用量，其未來的市場潛力估計是不斷的成長。

表二 美國市場之商業化生物可分解塑膠

| 商品名 | 塑膠名 | 生產公司 | 產能(噸/年) |
|----------|-----------|-----------------|-----------------------|
| EcoPLA | PLA | 美，Cargill | 113,500 (mid-1996) |
| Biopol | PHBV | 英，ICI | 5,000~10,000 |
| Tone | PCL | 美，Union Carbide | < 4500 |
| | PVOH | 美，Air Product | 70,000~90,000 |
| Bionolle | Polyester | 日，Showa | 3,200 |
| Mater-Bi | 澱粉合膠 | 義，Novamont | 23,000 |
| Planet | | 美，Planet | 4,500 |
| 合計： | | | 約 230,000 噸/年 |

表三 日本市場之商業化生物可分解塑膠

| 商品名 | 塑膠名 | 生產公司 | 產能(噸/年) |
|----------|-----------|------------------|-----------|
| Biopol | PHBV | 英, ICI | -- |
| Bionolle | Polyester | 日, Showa | 3,000 |
| Mater-bi | Starch 合膠 | 義, Novamont | -- |
| LACTY | PLA | 日, Shimadzu | 100 |
| LACEA | PLA | 日, Mitsui Toatsu | 100 |
| 合計： | | | 3,200 噸/年 |

表四 歐洲市場之商業化生物可分解塑膠

| Polymer Developer | Trademark Name(s) | Key Components |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Avebe | — | Starch-based blends |
| BASF | — | Polyesters, Polyaspartic acid* |
| Bayer | BAK 1095-PEA | Polyesteramides |
| Biopac* | Biopack | Extrusionable Starch Materials |
| Biotec | — | Starch-based blends |
| Boehringer, BPI, Ethicon | PLA/PLGA | Polyesters |
| Deutsche Gelatin AG | Gelatin | Polypeptide(Proteins)* |
| EMS Chemie/Battelle | Amylose* | Extrusionable Starch Materials |
| EPI | DCP™ | Polyethylene/Additives |
| Fermentation Institute | PHB | Polyesters |

| | copolymers | |
|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Fluntera AG | Fluntera Plast | Extrusionable Starch Materials |
| Idroplast | — | Poly(vinyl alcohol)* |
| Mazzucchelli | Hydrolene | Cellulose acetate |
| Fortum Oil | Poelait™ | Poly(lactic acid) |
| Novamont | Mater-Bi™ | Starch-based blends |
| Novon Polymers AG | Novan | Extrusionable Starch Materials |
| Solvay | — | Poly(caprolactone) |
| Storopack | — | Foamable Starch Materials |
| Sunstarke | Potato starch* | Foamable Starch Materials |
| Technicoat | Tech-No-Bag™ | Polyethylene/Additives |
| TubizemPlastics(Rhone Poulenc) | Cellulose acetate | Modified Cellulose |
| United Paper Mills | — | Cellulose derivatives |

*Materials soluble in water media

雖然生物可分解塑膠價格仍偏高，難與便宜的傳統塑膠競爭，但因環保意識的抬頭，未來幾年估計生物可分解塑膠的需求量將快速增加，當全面量產時，其價格應可與傳統塑膠比擬，而能取代傳統塑膠之產品。

三、「可堆肥化」標誌

由國際生物可分解產品組織 (International Biodegradable Products Institute, BPI) 及美國堆肥協會 (U.S. Composting Council, USCC) 所共同推出的「可堆肥化」(Compostable) 標誌，

是頒發給能夠快速、完全及安全堆肥化的塑膠類產品的標誌。可以使用這種標誌的產品，是經過科學證明，能夠在都會區或商業化的堆肥作業下，進行生物分解與堆肥化的。它們的堆肥化過程與牛皮紙袋、落葉枯枝及食物殘渣無異。

(一) 可堆肥化塑膠之背景

多年來，有一些廠商聲稱他們的塑膠能生物分解或堆肥化。但是一旦實際堆肥化，這些產品卻僅崩解為碎片而形成大量的塑膠殘渣。如果要將它們移除並加以掩埋，必須耗費大筆經費。因此這些產品的不良表現，讓許多使用者心生懷疑與困惑。雖然最近已經有真正可以完全生物分解的材料出現，但是如何以科學性測試方法判定哪些是真正可以生物分解及堆肥化產品的問題，卻直到目前才獲得解決。

BPI 與 USCC 聯手解決這個令人困惑的問題。利用標準化之科學測試方法，能夠在都會與商業堆肥場中堆肥化的產品將被「驗證」為「可堆肥化」。這種驗證方式將使得堆肥製造者、消費者、政策制定者、地方政府官員及其他人都能鑑別可以完全堆肥化而不會留下有害或持久性殘渣之塑膠。

(二) 證明可堆肥化的科學根據

美國測試與材料學會 (ASTM) 於 1999 年宣布了一系列鑑別可堆肥化塑膠的測試方法與準則，ASTM D6400-99，「可堆肥化塑膠之規格」(Specifications for Compostable Plastics)。這些方法是經過 8 年研究之結果，這項研究係於美國進行但有全球多位頂尖科學家及企業界人士參與。這些測試方法係模擬在一個典型的、操作良好的都會或商業化堆肥系統下所發生之狀況。

若欲通過 ASTM 測試，塑膠產品必須為：

1. 生物可分解：與紙或其他可堆肥化物質有一致之分解速率，能分解為二氧化碳、水及生質（biomass）。
2. 崩解：肉眼不可見，亦不需在堆肥化後予以移除。
3. 對環境安全：分解過程中不得產出任何有害之副產品，同時堆肥必須能促使植物成長。

獨立之科學家將審查每件產品之資訊，如果能證明某產品符合 ASTM D6400-99 之準則時，該產品始能獲頒「可堆肥化」標誌。

(三) 獲得「可堆肥化」標誌之產品

消費者鍾愛塑膠產品的原因，在於其產品有強韌、質輕、省能等優點，但是除了塑膠瓶與某些產品在美國已有回收系統外，並不是每種塑膠物品都能成功地分類並回收，尤其是有食物殘渣之容器。

因此使用生物可分解塑膠於下列之用途特具意義：

- (1) 用完即丟式盤、杯及刀叉等。
- (2) 食品殘渣桶之內襯，
- (3) 庭園落葉枯枝等之收集袋。

(四) 核發「可堆肥化」標誌之準則

1. 申請「可堆肥化」標誌之產品，必須符合下列準則：

產品符合或超過 ASTM D6400-99 之規格，檢驗報告需由合格實驗室出具，測試方法需依據 ASTM D6400-99 所述。

2. 產品符合下節所述之申請要項並持續符合本驗證計畫之規範。

- (1) 申請者已繳交所有應付費用予 BPI。
- (2) 申請者已與 BPI 簽定「正確使用標誌之同意書」，

(3) 申請者之負責人簽署書面文件，同意遵守本計畫之規範。

(五) 申請要項與審查

申請者需將下列文件寄送 BPI, 地址為 331 West 57th St., Suite 415, New York, NY 10019, USA, 收件者為 Chair, Scientific Review Committee.

1. 要求驗證產品為「可堆肥化」之信函 (cover letter)。

2. 下列與產品有關之資訊或文件：

(1) 產品之描述。

(2) 產品之配方，包括所有塑膠、高分子、中間體、惰性填料、添加劑及其他物質之名稱與百分比，其總量應為 100%。本項資訊尚應包括產品之 IR 與 X-ray 光譜。

(3) 產品之代表性樣本一件。

(4) 金屬化 (mineralization) 與崩解 (disintegration) 數據，此等數據應係採用 ASTM D5338-98 測試方法與 ASTM D6400-99 之 6.2 節所述之崩解測試方法所得者。

(5) 生態毒性 (ecotoxicity) 數據，此數據應係採用 ASTM D6400-99, 6.4 節所述之生態毒性測試方法所得者，重金屬測試應依據 ASTM D6400-99 之 6.4.1 節。

(6) 任何可以證明本產品符合 ASTM D6400-99 之其他資訊。

(7) 由申請者之負責人所簽署，證明本產品或本產品之生產者，符合聯邦、州及地方法規之文件。

3. 由合格實驗室提出之證明應含：

(1) 所有實驗均係在該合格實驗室確實進行，

(2) 所有測試方法均符合 ASTM D6400-99 標準之規定，

- (3)由申請者提出之報告皆為正確、真實者，
- (4)合格實驗室或其雇員/職員/經理均與申請者無利害衝突。

4. 申請費

(1) 審查費

- a. 若未獲得其他類似之標誌時，每件產品約美金 5,000 元。
- b. 若已獲得其他類似之標誌時，如 DIN Certco 或“OK Compost”時，每件產品約美金 1,200 元。

(2) 證書費 (Licensing Fee)

產品淨售價 (gross sales) 之 0.5%。

(六) 本驗證計畫之效益

1. 容易辨識之標誌

本計畫所使用之「可堆肥化」標誌，可使消費者、堆肥製造者、採購商或政府人員，快速辨識出真正可以完全分解並堆肥化之產品。

2. 獨立驗證

塑膠產品製造商將申請資料送交 BPI，由 BPI 邀請獨立之科學家進行驗證。

3. 有完整之科學根據

ASTM D6400-99 是經過 8 年研究之結果，通過本標準之要求，可證明塑膠產品與牛皮紙、落葉枯枝、食物殘渣一樣，可以完全、安全及快速分解。

4. 為堆肥製造者節省費用

在美國，為分離並處置一般塑膠垃圾，堆肥製造者每年

需付出數百萬美元之費用，若改用可堆肥化塑膠，可以減少本項費用。

(七)ASTM D6400-99 標準

本標準包括三項測試方法，第一項是測試產品（或材料）是否可以被細菌，在可接受之速率下，轉換為二氧化碳；第二項是測試材料之崩解能力，其碎片不可以堵塞住篩選設備；第三項測試是決定其產出之堆肥是否可以促進植物生長。

(八) 驗證現況

目前 BPI 已驗證通過一家一件產品，另有兩件產品申請中。

四、「可堆肥化」及「生物可分解」塑膠產品測試標準

為使生物可分解塑膠產品能夠被消費市場、社會大眾及政府法規所接受，這些材料在適當的廢棄物管理設施（例如堆肥場中）的生物可分解性需要被展現。因此政府機構、使用者及市場都希望有一系列標準出現，以便量化這些產品的生物可分解性與可堆肥化性（Compostability）。

對於生物可分解性，ISO 14850 系列標準中，已有三項標準與之有關。分別為 14852、14853、14855。但是如果確定某種生物可分解塑膠可以 100%被土壤吸收利用，則需要有「可堆肥化」之標準。以 ASTM D6400-99 標準而言，要求被測試物質符合下列三項準則：

- (一)於 180 天內，展現與天然之生物可分解高分子具有相同之生物分解速率及程度，如生物分解速率較低，可以延長到 365 天，但須使用碳 14 標示之測試基質。

(二)應在活性堆肥中崩解至無肉眼可見，可辨識之碎片（利用 2.0mm 篩網過濾時，少於總重量 10% (乾重)之碎片留於篩網之上）。

(三)不具生物毒性—對堆肥中細菌生長及促進植物生長之能力不造成影響。

其他類似之標準尚有德國之 DIN V54900 及歐盟之標準 EN 13432。EN13432:2000 標準之全名為「包裝—對於可以經由堆肥與生物分解而回收之包裝的要求事項 包裝之最終接受度之測試系統與評估準則」(Packaging—Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.)

此外 ISO TC61/SC5/WG22 亦正討論喜氣堆肥相關標準草案，即 ISO CD 15986.3。

五、其他關於生物可分解塑膠之研發及技術

(一)Gregory Bohlmann，美國 SRI 研究院

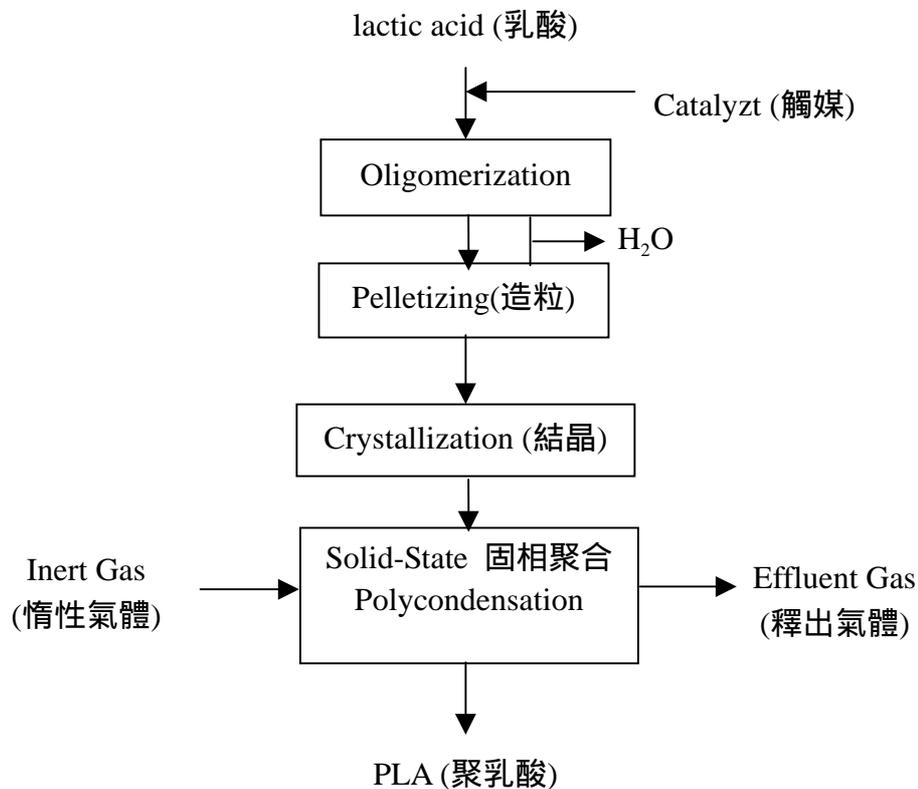
由六碳糖經過醱酵方式生產之化學品，在目前已有三種產品，即乳酸 (lactic acid), 1,3-propanediol 及 succinic acid。其生產費用如下：

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| lactic acid 醱酵法 | 以年產 440 萬磅之規模計算，出廠價為每磅 0.5 美元 |
| 1,3-propanediol 醱酵法 | 以年產 600 萬磅之規模計算，出廠價為每磅 0.45 美元 |

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 正在開發中 | 以年產 1200 萬磅之規模計算，出廠價為每磅 0.38 美元 |
| succinic acid 醱酵法開發中 | 尚無法估計 |

(二)Shinji Ogawa，日本 Mitsui Chemicals 公司

Mitsui 公司所開發生產聚乳酸 (PLA) 之 MCI 製程，具有不需使用溶劑、簡便及成本降低之特點，其製程如下：

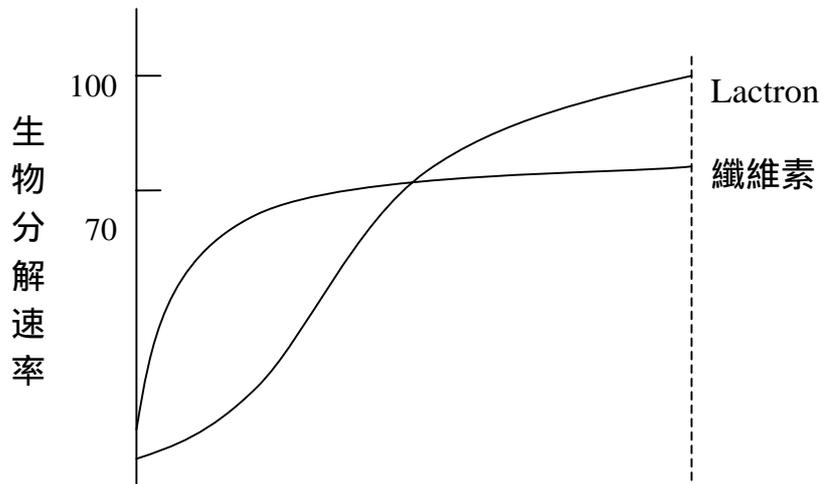


此外，其成品中，D-lactic 聚合體之含量較傳統方法為低，並且不含 lactide。

(三)Keio Yamanaka，日本 Kanebo Gohsen 公司

Kanebo 公司由 10 年前開始研發 PLA 產品，PLA 具有高結晶度、高熔解度及高透明度之特性，但卻較脆較硬。但 Kanebo

公司經由 melting spinning 所生產之 Lactron 纖維卻具有與已商業化之尼龍與聚脂纖維相等之韌性，因此可具有許多種用途。Kanebo 公司已成功地將其應用於各式成衣、農業覆膜、垃圾袋、毛巾等。

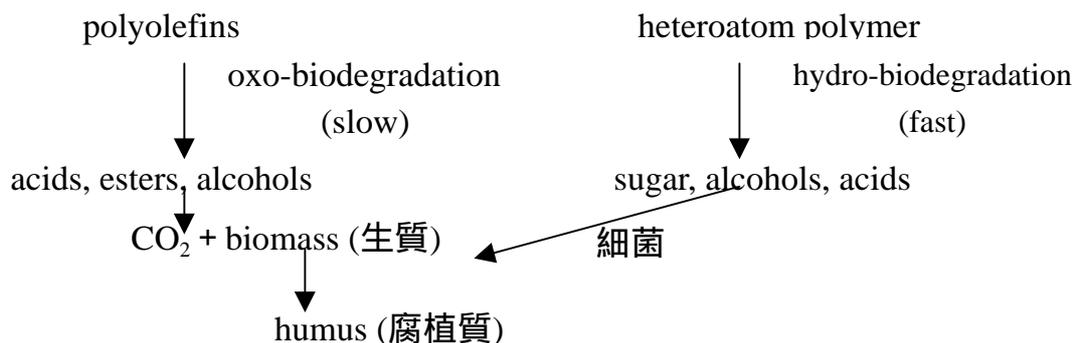


分解速率在初期雖然較纖維素低，但 20 天後便可超過纖維素而達到完全分解。

Lactron 製成之紡織品可以燙，可以洗，但最好勿用高溫 (<120) 洗燙。此外，其染色性亦甚佳。

(四)Gerald Scott，英國 Aston University

高分子之生物分解可以分為兩種機制，純碳鏈高分子（如 Polyolefins）為氧—生物分解（oxo-biodegradation），而不純碳鏈（heterocarbon）之高分子（如改質澱粉與 alkyl polyester）則為水—生物分解（hydro-biodegradation）。前者在堆肥環境下分解快速，後者則較慢。



經過 15 年之研究，作者發現 PE 覆膜的生物吸收 (bioassimilation) 作用係分兩階段進行：(1)無生命、有氣狀態下之分解，使得 PE 膜表面轉變為親水性，(2)有生命(細菌)狀態下，細菌利用小分子量之 PE，使之分解。細菌中的酵素，尤其是 cytochrome P450，因為可以將氧轉化為氧的自由基 (O[•]), 而此自由基與金屬元素作用，形成具有高活性之氫氧自由基(°OH)，進而將高分子材料氧化分解，最終成為二氧化碳與生質。

作者認為目前 ASTM 或歐盟之「可分解高分子」測試標準，係針對不純碳鏈高分子材料而制定的，完全排除碳鏈高分子，故係一不合理的標準，因此已提出異議。

六、亞洲有機再生網路組織 (Asian Organic Recycling Network)

由參加本次研討會之日本、韓國、台灣、美國及紐西蘭等各國推動生物可分解塑膠及堆肥之民間團體，在美國穀物協會發起之下，成立亞洲網路組織工作小組，以共同推動各國生物可分解塑膠及堆肥工作。並擬訂其任務、推動策略及工作項目如下：

(一)亞洲有機有機再生網路組織之任務

- 1.推動將有機物質由掩埋/焚化處置改為再生資源。

- 2.利用本網路組織，促進會員機構間，關於有機物質回收之資訊、與科技之開發與交換。
- 3.對政策制定者、消費者及企業界之宣導教育以提升公眾認知度。
- 4.促使國際與國家標準組織及早針對有機物質回收（Organic Recycling）及可以用有機方法回收（Organically Recyclable）之物質與產品（包括生物可分解塑膠）制定一致化之標準與驗證程序，並採用 ISO 9000 與 ISO 14000 系列標準做為良好作業規範。

(二)策略性目標

1. 標準

發展草案以便提交國際/國家標準組織，制定堆肥/堆肥化之標準。

- (1)建議 ISO TC207 針對有機物回收設立工作小組。
- (2)美國堆肥協會（U. S. Composting Council，簡稱為 USCC）已完成之「評估堆肥與堆肥化之測試方法」（Test Methods for Evaluating Composting & Compost，簡稱為 TMECC）可以做為草案。該份報告係經過 10 年，耗資超過 100 萬美元之研究成果，目前已送交美國農業部（USDA）出版中。
- (3)USCC 的「可堆肥化」驗證計畫已建立若干執行政序，包括採樣、測試、樣品準備、送樣、實驗設備安裝等程序（均已涵蓋於 TMECC 中）。
- (4)其他相關議題：著作權/授權/翻譯/出版/分銷。

2.堆肥操作員之訓練

- (1)為確保公眾信心並達到 ISO 9000 品質系統之要求，有必要進行訓練。
- (2)基本教材為 USCC 之堆肥操作員訓練手冊。可能需因應各個國家之特殊文化或其他特性而略做修正。而 USCC 將在明年進行整本手冊之更新。
- (3)USCC 已設置「堆肥專業人員授證委員會」(Compost Professional Credentials Committee)，以發展專業操作員驗證計畫(2000年11月)。
- (4)其他相關議題：ISO 標準有無涵蓋訓練、ISO 標準是否要求訓練之文件、國際間認知/登錄/認證程序著作權/授權/翻譯/出版。

3.可堆肥化標誌

依據國際/國家之標準設置並鼓勵國家性可堆肥化標誌之相互承認，如 IBPI/USCC/DIN Certco/OK Compost 等標誌。

(三)成立亞洲有機再生網路組織需執行之工作

- 1.鑑別參與亞洲有機再生網路組織之各國代表/組織/聯絡人，包括亞洲各國與澳洲/紐西蘭。
- 2.日本有機資源協會(Japan Organic Recycling Association，簡稱為 JORA)預定於 2001 年秋季於東京舉辦亞洲有機再生網路組織堆肥研討會。JORA 期待各國推薦代表/組織。
- 3.有關研討會之協調，於東京會議之後，是否爾後每三年舉行一次國際研討會，並由各國輪流主辦。
- 4.有關網站之設計與建置，各國應有自己之網站，藉由連結至主網站。

- 5.爭取經費支持，以保持本組織為自願性參與組織。
- 6.評估是否與歐洲網路組織聯盟，進行資訊交換或數據連結。
- 7.評估是否針對特定研究予以經費補助，並研究補助方式，相關議題如：熱帶氣候條件下之堆肥與國家地理位置有關。
- 8.評估是否設獎學金及進行交換學生。

(四)亞洲有機再生網路組織之立即性工作

- 1.針對各國生物可分解塑膠之政策與政府補助計畫進行調查。
- 2.針對各國堆肥之政策與政府補助計畫進行調查。
- 3.堆肥效益之文件化
 - (1)傳閱對象：農業、營建、政策制定者及一般民眾。
 - (2)成本效益評估：堆肥並不僅是土壤改良劑，其他價值性之界定。
- 4.由有機廢棄物回收與交易，可取得碳排放信用額度（Carbon Emission Credit,簡稱為 CEC）另有機物回收協會具有量測、驗證及稽核供交易用之 CEC 能力，此能力提供了未來有持續性收入之機會。
- 5.其他相關議題：發展量化堆肥 CEC 之科學、發展驗證/稽核計畫、前述工作之一致化(harmonization) 國際組織之承認、堆肥設備及製程驗證(能驗證設備製造商宣告之第三者驗證組織)。
- 6.亞洲有機再生網路組織做為仲介者，以作為技術及合作投資案之連絡站。
- 7.美國穀物協會(USGC/Bio Materials Team Asia)在被要求之下，將對各國之秘書處提供協助，以促進亞洲有機再生網路組織之溝通。另亞洲有機再生網路組織未來將以兩年為期，

輪流由志願者擔任秘書處，時間另訂。

柒、考察心得

- 一、影響生物可分解塑膠市場之因子，在美國為市場導向，其主要以發展生物可分解塑膠作為取代石化原料之替代品，故著力於工業部分之研究努力，可將其作為衣服纖維（作成牛仔褲、衣服、新娘禮服等）。而在歐洲主要為政策導向，主要之政策為歐盟所訂包裝、掩埋及堆肥指導原則，促成生物可分解塑膠在歐洲市場之發展。
- 二、歐洲廢棄物處理之優先順序依序為（1）reduce；（2）Reuse；（3）material recycling-composting（4）附帶能源回收之焚化；（5）掩埋處理。在第（3）（4）部分不同國家可能有不同的看法，如德國、比利時即認為（3）優於（4），而在法國將（3）（4）等同看待。
- 三、對於以焚化之處理方式，因為要控制戴奧辛之問題，故其所需成本相對提高；另在歐盟掩埋指導原則中規定有機廢棄物不能以掩埋處理，部分國家並已明文規定有機廢棄物禁止以掩埋方式處理。基於前述因素，故在部分國家力倡以堆肥之處理方式進行資源回收，此種方式值得我國借鏡。而以生物可分解塑膠作成之塑膠袋裝有機廢棄物進行堆肥亦已為相當普遍的作法。
- 四 對於短效性一次即丟 難回收之物品，因回收再生利用價值低，過去在國內對於如何進行資源回收曾引起熱烈的討論。由此次考察觀之，未來以生物可分解塑膠為原料製成，使用廢棄後再以堆肥方式進行資源回收，為目前各國考量推動的可行方式，

而目前仍受限於價格問題，故尚未普遍。其應用物品包括：塑膠袋、緩衝材、紙杯 coating、塑膠杯、用後即丟之刀叉、餐盤、速食店之漢堡盤、雞塊盤、優格杯、農業用網綁帶、紙尿褲等。

五、所參訪之明尼蘇達州，堆肥已成為主要大力推動的垃圾處理方式，相關之法令、制度及硬體設施均已建立。而在全面推動前，曾依不同型態之地區及產生源進行垃圾分類之宣導、示範及調查計畫，以作為實施之依據，對於堆肥廠之運作如進廠原料之成份、產品之品質及市場接受度等，亦有詳盡之規劃。另州政府亦編列預算補助地方政府以此方式進行資源回收。

六、所參訪之堆肥處理設施，其產品多作為土壤改良劑，其觀點為與其浪費大量費用處理垃圾，何不將其中之有機廢棄物進行堆肥，可讓有機物回歸於土壤中，提高土壤之有機性，可作為碳的收集槽（carbon sink）。

七、在日本、韓國部分，對於有機廢棄物之資源回收工作亦極力推動，韓國訂定有機廢棄物之回收率於 2002 年達到 50%。在日本部分，於 2000 年通過 2001 年施行之食品回收法，對於有機廢棄物之資源回收亦已提出一強力宣示，民間已成立日本有機資源協會(JORA)推動有機廢棄物之資源回收工作。故生物可分解塑膠之發展亦相形重要，該二國亦已建立相當之基礎。

八、從 Cargill-Dow 公司之簡報得知，新世代低成本之聚乳酸塑膠原料於 2002 年將正式上市，由此項產品拋磚引玉，許多大廠如 Du Pont、Bayer....等大廠均跟進生產低價位產品，塑膠產品將有一大變革。

捌、建議事項

- 一、我國堆肥處理，目前以畜牧業之排泄物為主，將來為垃圾減量以及有機廢棄物之循環利用，對於廚餘、庭院樹枝，應以堆肥化處理較為妥適。可減少 CO₂ 排放，並將有機質回歸農田，以改進土壤性質，增進農作物品質。
- 二、生物可分解塑膠產業與堆肥化處理是一體兩面且相輔相乘，缺一不可。以生物可分解塑膠袋包裝有機物廢棄物一齊作堆肥處理在國外先進國家已普遍利用，我國尚未起步，建議在都會地區，可先試辦實施。
- 三、在永續利用之循環型社會 (recycling-based society) 的國際潮流下，比較生物可分解塑膠及一般塑膠二者之應用方向，由經濟層面之角度觀之，除製造成本以外，經廢棄後末端之回收成本及再利用價值之因素亦應整體納入考量。
- 四、對於可以堆肥方式進行資源再利用之生物可分解塑膠，在國內尚缺乏標識制度，應儘早建立完整及健全的標識及檢測系統，以利政府、民眾及業者等共同遵循。
- 五、國人對於生物可分解塑膠之利用與環保關係尚屬陌生，未來亦應進行宣導教育，讓民眾建立正確之觀念，以利推動。
- 六、參觀了 VLAR 與 DRANCO 兩家好氧與厭氧之堆肥處理場，發現國內尚須努力的空間極大。包括民眾的環保及道德教育、確實的垃圾分類、綠色消費等，在在影響了資源回收的執行成果。
- 七、目前世界大廠均有相關產品發表，但成本過高，是最大障礙，故發展低成本之生物可分解塑膠材料是相當迫切的。而原料的成本通常與市場是相對的，市場打開後，大量生產的成本相當

低廉,但目前除 Cargill-Dow 為正式量產外,其餘均以試產(pilot)價格供應,故不易普遍。參考歐美國家之經驗,政府部門之法律規範十分重要,當某些應用經政府機關強制指定後(如裝廚餘之塑膠袋),均能對市場產生某種程度的刺激,市場即可慢慢打開。

八、目前國內環保生物可分解材料協會已經成立,日後可與日本、韓國等建立起亞洲有機再生網路,並進而與美國及歐洲國家等連結成環球網路,將來可對政府相關政策之擬定作建言,另對於如何降低 CO₂ 及甲烷等之排放量,有機農業之倡導,有機廢棄物之堆肥化技術發展,促進生物可分解塑膠之研究等,均為該協會將來推動之主要工作目標。