

# 利用食品廢液生產生物分解性材料

林燕輝\*、張裕釗\*、白淑玲\*、

林畢修平\*、張富龍\*\*、林玉寶\*\*

## 摘要

本研究採用食品廢液中果糖廢液、乳酸廢液和糖蜜廢液作為微生物培養生長之基質來源。以批次試驗進行食品廢液有機物降解和培養菌體聚積生物分解性塑膠材料 PHA。其中果糖廢液 COD 去除率在 su-14 培養 3 天為 50%、乳酸廢液 COD 去除率在 su-4 培養 10 天為 60%和糖蜜廢液 COD 去除率在 g-35 培養 10 天為 30%。su-14、su-4 和 g-35 個別生長係數為  $0.53 \text{ mgSS/mgCOD}$ 、 $0.43\text{mgSS/mgCOD}$  和  $0.57\text{mgSS/mgCOD}$ 。此外，su-14 利用果糖廢液為基質回收 PHB 最高產量之收集時間為 1 天。su-4 利用乳酸廢液最佳回收為培養第 4 天可得最高產量。在第 2 天回收 g-35 菌體內 PHB 可得最高產量。試驗菌體培養操作時間，菌體最佳收集時間，PHA 萃取回收方法可作為實廠放大之設計依據。此試驗有效提供食品廢液中有機物生物處理方式並回收生物分解性塑膠材料 PHA 達到食品廢液資源化再利用之目的。

### 【關鍵字】

1. 食品廢液(waste liquid from food processing)

---

\*財團法人生物技術開發中心研究員

\*\*財團法人生物技術開發中心助理研究員

## 一、前　　言

### 1.1 食品廢液來源

食品加工業為從事人類和動物食用物品的製造工業，此類加工工廠主要包括罐頭工廠、乳酪工廠和酵母廠等。生產過程通常包括下列步驟：原料清洗，去除不可食用物質，配製食品與包裝。食品廢液來源包括變壞的原料和產品、清洗用水、冷凝或冷卻水、運送用水、程序用水、地板和設備清洗液體、產物排出物、槽和桶溢流物和部分不可使用的蛋白質<sup>(6)</sup>。食品加工廢液通常包括較高濃度溶解性和懸浮性有機物質，其 BOD 可能高達 100,000 ppm，懸浮固體亦高達 120,000 ppm，有些食品加工廠廢液每日高達一百萬加侖排出量，這些食品廢液必須預先處理至 87 年排放水標準即 BOD<50 ppm，COD<150 ppm 和 SS<50 ppm 才得以排放，否則會造成地面體污染，河川優養化導致魚類死亡。食品加工廠欲符合排放水標準，首先應致力於廠內管理與製程減廢工作以減低管末廢液處理負荷，並且應回收食品廢液作為生物分解性材料 PHA 生產菌基質來源。如此可達到廢液減量，節省食品廠廢液處理設備與操作成本及推展食品加工業多角化經營，及早跨足生物分解性塑膠材料市場佔上一席之地。

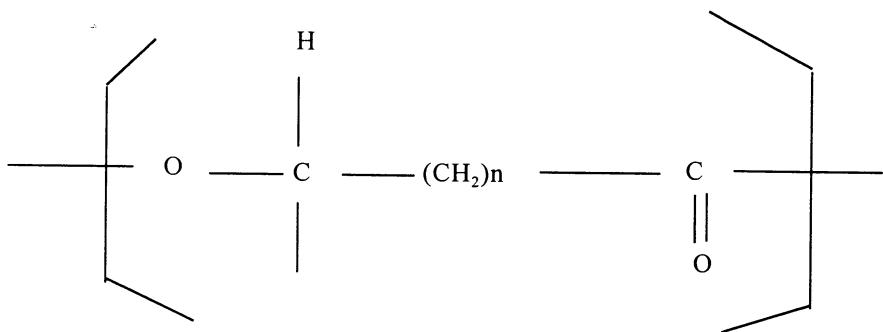
### 1.2 食品廢液資源化再利用

長久以來人類使用生物不可分解的塑膠材料，造成嚴重環保問題，在全球環境永續發展的認知下，生物可分解的材料必為未來材料發展之趨勢，此種材料能為日益嚴重環境污染問題提供一個解決方法。在有機食品廢液中有很多成分可被資源化再利用，例如果糖廢液，乳酪廢液和糖蜜等。這些食品廢液含有營養的有機物質、氮化合物、磷化合物等，非常適合作為培養生產特殊高經濟價值生物材料的微生物。利用微生物生產的生物可分解材料已在市面上被廣泛使用，例如 polyhydroxyalkanoates (PHAs)、xanthan、dextran、fatty acids、pigments 等。據估計全球每年分解性塑膠需求量約為 1.4 百萬噸<sup>(14)</sup>，目前生物分解性塑膠市場大多以垃圾袋、購物袋、包裝容器、農業用覆蓋膜等為主。生物分解性塑膠將逐年擴大，估計 2000 年全球有新台幣 8,000 億元市場，2010 年將提高至新台幣 2 兆元。

我國政府目前正提倡發展生物科技產業，資金與高科技人才不虞匱乏，此時結合有機食品廢液處理技術與應用生物科技將有機食品廢液資源化再利用，生產高附加價值生物材料，例如 PHA，是未來產業永續發展的趨勢，也是解決產業界大量有機食品廢液處理問題的最佳途徑之一。

### 1.3 生物分解性材料-PHAs

聚羥基烷酸（polyhydroxyalkanoats,簡稱 PHAs），是微生物在缺乏氮源等不平衡的生長條件下累積的一種聚酯，其結構如圖 1 所示，為具有熱塑性質的生物分解性塑膠材料，其中以聚羥基丁酸酯(polyhydroxybutyrate,簡稱 PHB)最早被發現，其結構如圖 2 所示，為於 1925 年法國 *pasteus* 研究所的 Lemoigne 於芽孢桿菌中首次發現。之後，在 1970 年代，因兩次石油危機促使英國 ICI 化學公司成立了生物科學研究部門，其中一項研究計畫為利用發酵製程將 sugar 轉化為 PHB(Nigd.1985)，英國 ICI 公司於 1980 年代研究發現使用丙酸為微生物的碳源時，可成功的得到聚羥基丁酸和羥基戊酸的共聚物(Copolyester of 3-hydroxybutyrate (C4) and 3-hydroxyvalerate (C5),簡稱 P(3HB-Co-3HV)或 PHBV)，其結構如圖 3 所示，並以商品名"Biopol"的生物分解性塑膠販售。目前世界各國為因應有機廢液和廢棄物處理對策，開發出各式各樣的分解性塑膠，其中較具代表性的如<sup>(4)</sup>所示，有生物分解性塑膠、生物崩壞性塑膠和光分解性塑膠等。這些分解性塑膠原料的開發，以微生物發酵生產的 PHAs 被認為是替代化學合成塑料，防治白色污染最具潛力的一種新的熱塑性聚酯，它的物理性質類似聚丙烯、能紡絲、壓膜、注塑等，且可被徹底分解成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O，並對生物體無毒害作用<sup>(4)</sup>由於每公斤約 1000 日元的高價，為 PHAs 高分子材料遲遲無法普及的要因之一<sup>(5)</sup>，因此研發如何降低 PHAs 的生產成本，便成為當務之急。



100-300,007

$n=1$       R=hydrogen      Poly(3-hydroxypropionate)

R=methyle      Poly(3-hydroxybutyrate)

R=ethyl      Poly(3-hydroxyalerate)

R=propyl      Poly(3-hydroxyhexanoate)

R=pentyl      Poly(3-hydroxyoctanoate)

R=nonyl      Poly(3-hydroxydodecanoate)

$n=2$       R=hydrogen      Poly(4-hydroxybutyrate)

$n=3$       R=nonyl      Poly(3-hydroxydodecanoate)

圖 1 PHA 化學結構<sup>(14)</sup>(Lee, 1996)

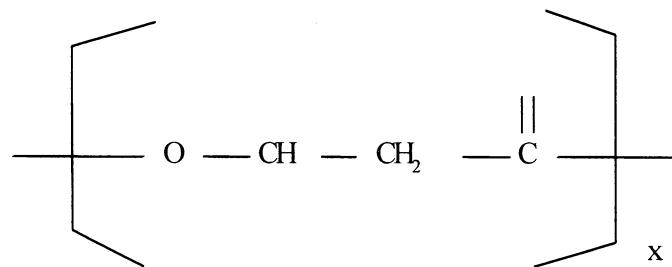
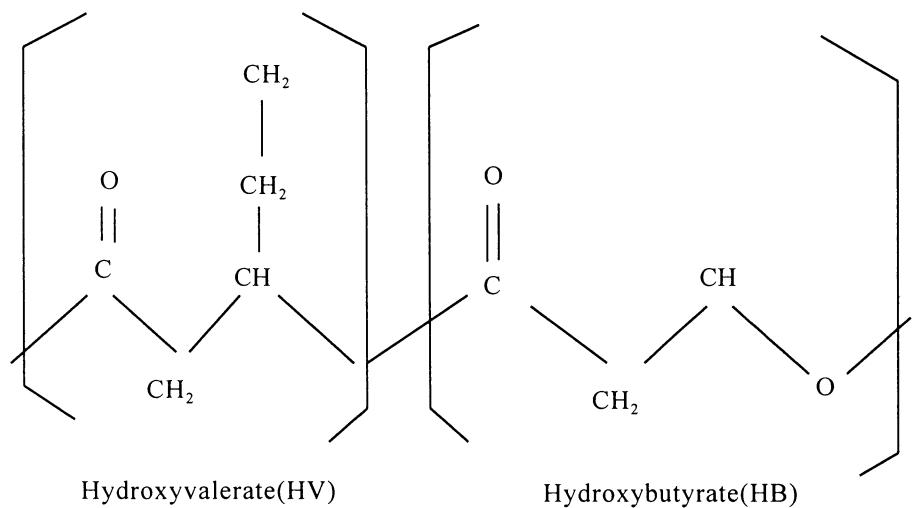


圖 2 PHB 化學結構<sup>(2)</sup>

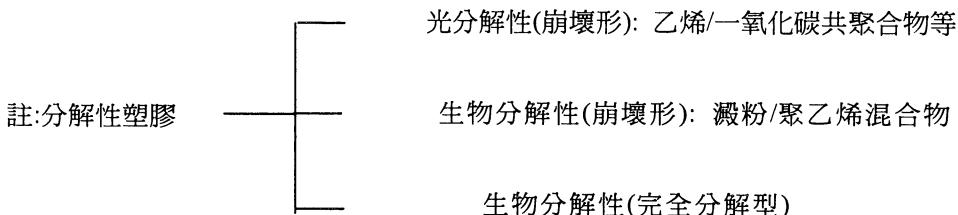


HV 分率 0-40mole%

圖 3 Biopol 化學結構<sup>(1)</sup>

表 1 具代表性生物分解性塑膠分類<sup>(3)</sup>(宮田, 1994)

製品類	公司名稱	組成
Biopol	ZENEKA(舊 ICI)	聚羥基丁酸共聚合物(PHB)
聚乳酸	三井東協, 協核發酵	聚乳酸共聚合物(
PURAKU,SERU,TONN	DAISERU 化學	聚己內脂
BIONORE	昭和高分子	脂肪旋聚脂
BAINEKUSU	EABURODAKUTSU	據乙稀醇共聚合物
Bacteria Cellulose	味之表	纖維素
Chitosan/Cellulose	西川橡膠	幾丁聚醣和纖維素混合物
MATABI	NOPAMONNTO	澱粉和聚乙烯醇共聚物
NOBONN	WANA, RANNPATO	澱粉系列混合物



#### 1.4 生產 PHAs 的菌種

可蓄積 PHB 於體內的原核細菌，除產鹼桿菌屬(*Alcaligenes*)之外，尚有固氮菌屬(*Azotobacter*)、枯草桿菌屬(*Bacillus*)、甲基桿菌屬(*Methylo bacterium* 和 *Protomonas*)、光合成細菌(*Rhodospillum*)等，有 60 屬以上的微生物，包括革蘭氏陰性及革蘭氏陽性 300 多種不同的菌，能合成並儲存 PHB。而被研究發表最多的為集中於 *Alcaligenes eutrophus* 及 *Psudomonas oleovorans*，而英國 ICI 公司就是利用 *Alcaligenes eutrophus* 的發酵製程將 sugar 等轉化為 PHBV (商品名叫“Biopol”) 的共聚物販售。

## 二、研究方法

本文研究方法包括利用食品廢液來探討菌種培養、PHA 生產菌株篩選、PHA 菌種鑑定、PHA 萃取回收方法和 PHA 成份鑑定。

### 2.1 菌種培養

從全省採樣堆肥和各式食品污泥，帶回之樣品以稀釋水做系列稀釋，而後分別將各稀釋濃度取 0.1ml 放置於含各種碳源的固態培養基，表 2 為篩選菌種所用固態培養基<sup>(8)</sup>，其中，表 2 中不加 agar 為液態培養基，PHA 生產菌所需微量元素培養基顯示於表 3。碳源來源食品廢液包括葡萄糖(glucose)、蔗糖(sucrose)、澱粉(starch)和檸檬酸鈉(sodium citrate)等。添加量為每公升 20 克，然後以 L-棒塗抹均勻，置放於 37°C 培養箱兩天以上，待菌落(colony)出現後挑出以 Sudan black B<sup>(8)</sup>，染色後置於顯微鏡下觀察，含 PHA 之生產菌在顯微鏡下呈藍黑色晶體，不含 PHA 之細胞質呈粉紅色，挑出之菌種保存於-70°C 冰箱。

表 2 PHA 生產菌固態培養基

Components	Quantity(g/L)
Glucose	20
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	13.3
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.2
Citric acid	1.7
Bacto agar	15
Trace element solution	10ml/L
Bacto Agar	15
pH	7

**表 3 PHA 生產菌微量元素(trace element solution)培養基**

Components	Quantity(g/L)
FeSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	10
ZnSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	2.25
CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O	1
MnSO <sub>4</sub> •4-5H <sub>2</sub> O	0.5
CaCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	2
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> •10H <sub>2</sub> O	0.23
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	0.1
35%HCl	10ml/L

## 2.2 PHA 生產菌株篩選

經過染色篩選，在顯微鏡下觀察呈藍黑色晶體者，將其中較好菌株挑出放大培養，即將菌落分離後接種至 250ml 培養基，約經 5 日培養後離心收集菌體，冷凍乾燥後，稱取乾重，取 0.35 克萃取並分析 PHA 含量。本研究共篩選 4 株分別編號為 su-4、su-14、g-35 和 g95 之 PHA 生產菌株作為以葡萄糖、果糖廢液、乳酪廢液和糖蜜廢液為基質之菌種來源以生產 PHA。

## 2.3 PHA 菌種鑑定

送檢樣本經 DNA 萃取後，再用聚合酵素鏈鎖反應(polymerase chain reaction) 將細菌 16S 核糖體 DNA 複製出來，再作 DNA 定序。而定序之結果輸入 DATA Base 作序列比對。表 4 為經由菌種鑑定步驟所得菌種名稱。

表 4 PHA 生產菌之菌種名稱

su-4	<i>Bacillus megaterium</i> strain KL-197 16S ribos
su-14	<i>Bacillus megaterium</i> rRNA operon
g-35	<i>Bacillus megaterium</i> strain KL-197 16S ribos
g-95	<i>Sinorhizobium</i> sp. C4 16S ribosomal RNA gene

## 2.4 PHA 萃取回收方法

PHA 生產菌經醣酵後，包含 PHA 之生產菌經由離心、過濾或膠凝離心等方法將菌體和溶液分離。濃縮菌體細胞被破裂後回收高分子聚合物 PHA。已經發展許多不同方法回收 PHA<sup>(1)</sup>。大部分回收方法針對 *A. eutrophus*c 回收 PHA。使用溶劑萃取 PHA 是第一個被廣泛使用方法<sup>(13)</sup>，溶劑應用包括 chloroform, methylene chloride, propylene carbonate 和 dichloroethane 等。因為 PHA 高黏滯度(viscosity)，萃取 1 克 PHA 約需要 20 克溶劑。另一種方法為使用次氯酸鈉(sodium hypochlorite)對非 PHA 細胞物質進行微量消化，雖然，此方法對非 PHA 之細胞物質消化有效但會導致 PHA 嚴重分解使其分子量減少 50%<sup>(7)</sup>。此外，次氯酸鈉加氯仿可明顯降低 PHA 分解，因為，經由次氯酸鹽對菌體作用可快速將 PHA 溶解於氯仿，可避免聚合物解體<sup>(9,10)</sup>。經次氯酸鹽處理，一般聚合物 PHA 純度高達 95%以上。

本研究 PHA 萃取步驟為先秤取菌種乾重，加入次氯酸鈉和氯仿後觀察細包壁破碎情形，再離心後將中層停留細胞殘骸過濾滴入冰酒精產生白色沉澱物，乾燥後即為 PHA。圖 4 顯示 PHA 萃取程序。

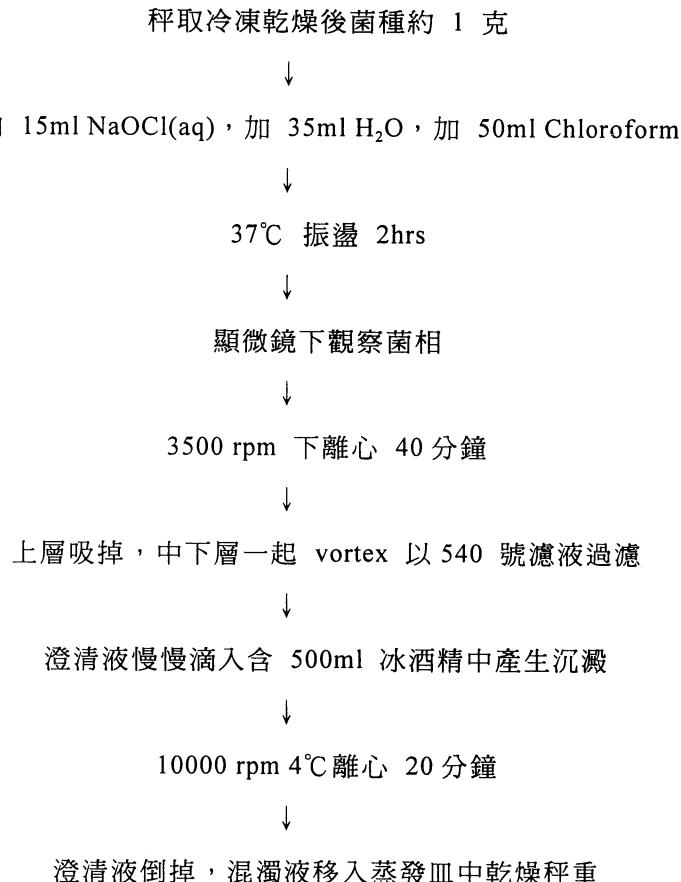


圖 4 PHA 萃取程序

## 2.5 PHA 成份鑑定

使用儀器為 HP 5890 GC , 偵測器(detector)為 flame ionization detector (FID) , 分離管柱為 RTX-5 , 尺寸為 30mx0.32mm , 操作條件為 Injector 溫度為 250°C , FID 溫度為 250°C , 氣相層析儀昇溫模式為初溫 90°C 恆溫維持 1 分鐘 , 再以每分鐘 10 °C 昇溫至 200°C , 最後以 200°C 末溫維持 5 分鐘。

將乾燥細胞 0.01 克加入 1.7ml 甲醇和 0.3ml 濃硫酸再加入 2ml 氯仿於 100°C 加熱 4 小時再加入 1ml 蒸餾水取下層氯仿液做氣相層析儀(GC)分析。分析樣品分為標

準品和萃取後乾燥回收的 PHA 樣品。圖 5 和圖 6 顯示標準樣品 Poly(3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxy-valeric acid)500ppm 和 7000ppm 個別層析結果。圖 7 為經由已知標準品濃度和層析面積所求得率定曲線。

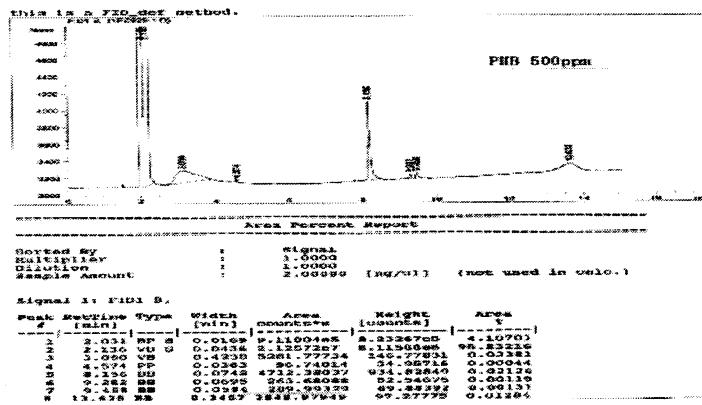


圖 5 標準樣品 500ppm 氣相層析結果

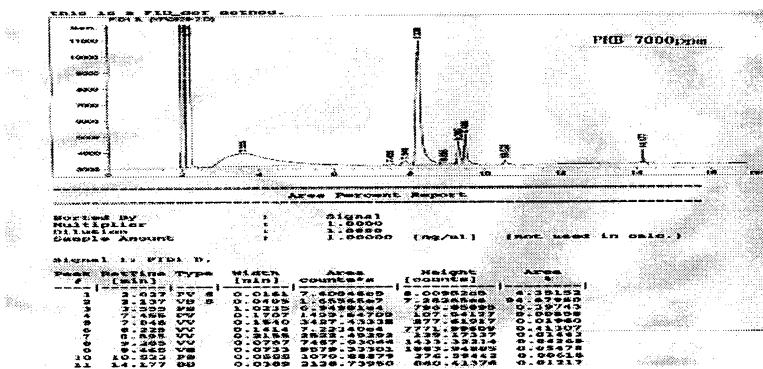


圖 6 標準樣品 7,000ppm 氣相層析結果

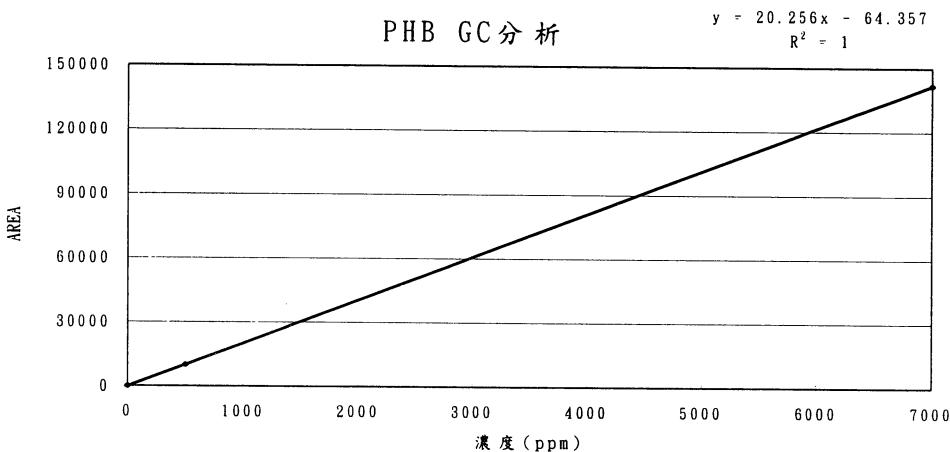


圖 7 PHA 標準品所求得率定曲線

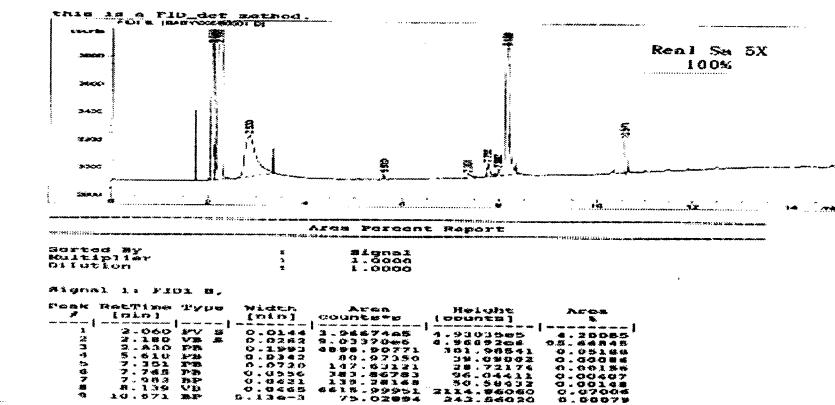
### 三、結果與討論

本研究探討以葡萄糖、果糖廢液、乳酪廢液、糖蜜廢液為基質批次培養 PHA 生產菌所得試驗結果，以作為未來放大發酵槽之依。PHA 大量發酵生產在於其生產成本太高，為有效降低成本可從 PHA 生產菌種改良和發展高效率發酵回收程序<sup>(8)</sup> 利用一般基質和三種高濃度有機廢液作為 PHA 生產菌之碳源。本研究探討以葡萄糖、果糖廢液、乳酪廢液、糖蜜廢液為基質批次培養 PHA 生產菌所得試驗結果，以作為未來放大發酵槽之依。試驗所得結果分為四部分說明：

#### 3.1 葡萄糖為基質

本次試驗以葡萄糖為基質 g-95 為菌種培養 7 天後離心濃縮菌體並以 100%NaOCl 破壞細胞壁後萃取乾燥回收 PHA。圖 8 顯示回收 PHA 以 GC 層析結果。其結果顯示因停留時間為 8.139 分鐘與標準品 500ppm 所得停留時間 8.155 分鐘相

近，故可確定回收 PHA 成份為聚羥基丁酸酯(PHB)，經率定曲線計算 PHB 濃度為 330ppm，每克 g-95 菌體含 0.247 克 PHB。



■ 8 回收 PHB 樣品 7,000ppm 氣相層析結果

### 3.2 果糖廢液

此試驗以果糖廢液為基質並以 su-14 作為 PHB 生產菌種進行批次試驗。圖 9 顯示 su-14 分解果糖廢液 COD 和 TKN 隨時間變化，培養時間一天後總 COD 和溶解性 COD 分別從濃度 4,800ppm 和 4,140ppm 降為 3,210ppm 和 1,580ppm，顯示 su-14 利用有機物為碳源非常顯著。圖 10 顯示 su-14 隨培養時間生長情形。培養時間 1 天後，su-14 菌體濃度以 SS 和 OD 值表示分別從初始 600ppm 和 0.88 上升為 1,450ppm 和 2.41。由圖可知，su-14 在一天內利用大部分果糖廢液基質使菌體生長，su-14 之生長係數(yield coefficient)為 0.53 mgSS/mgCOD。圖 11 和圖 12 分別顯示 su-14 培養 1 天菌體 PHB 累積和培養第二天菌體 PHB 消耗情形。由於第一天 su-14 生長最為快速，菌體累積 PHB 量最多，培養第 2 天，su-14 生長進入衰退期並分解自身 PHB 當作碳源，累積 PHB 快速消耗，因此，su-14 利用果糖廢液為基質需培養 1 天回收菌體可達 PHB 最高產量。

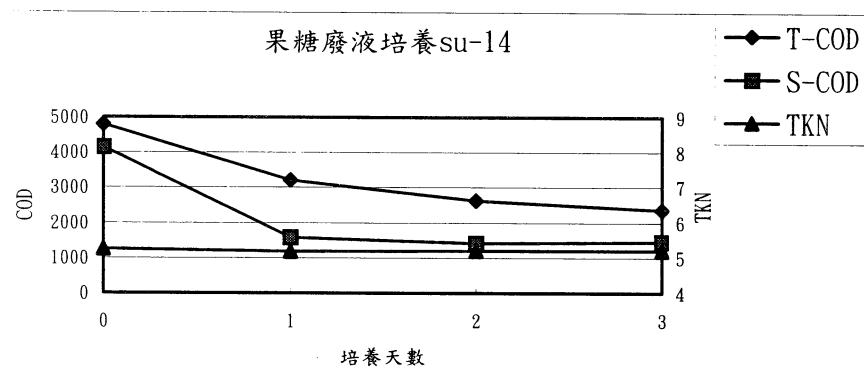


圖 9 su-14 分解果糖廢液化學需氧量 (COD) 和總凱氏氮 (TKN)  
隨時間變化

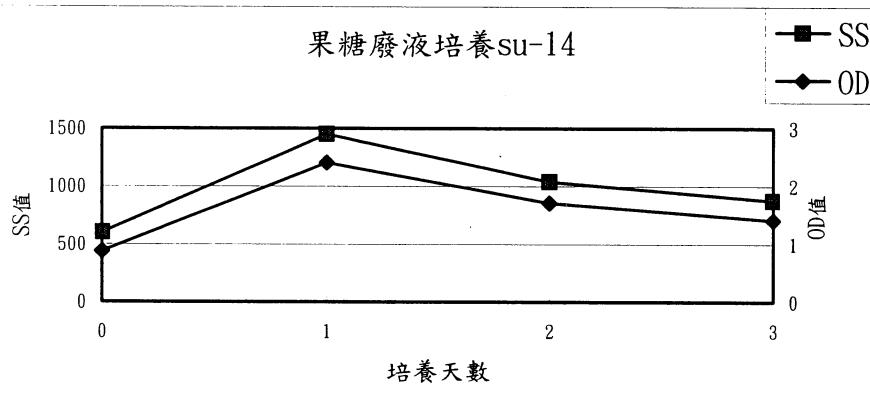


圖 10 su-14 分解果糖廢液懸浮固體 (SS) 和光密度 (OD) 隨時間變化

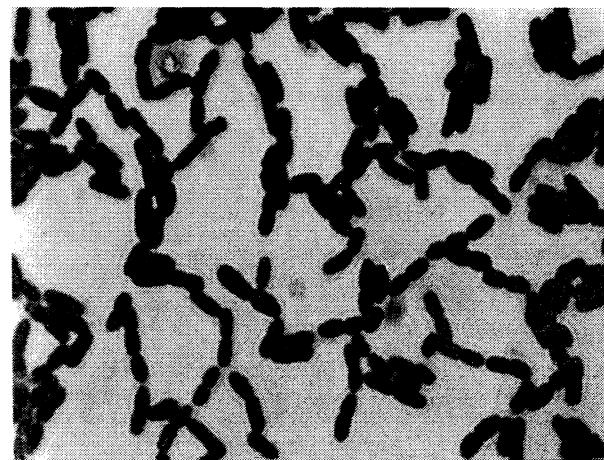


圖 11 果糖廢液加乳清為基質 su-14 培養第 1 天菌

體內 PHB 累積



圖 12 果糖廢液加乳清為基質 su-14 培養第 2 天

菌體內 PHB 消耗

### 3.3 乳酪廢液

本試驗以乳酪廢液為基質並以 su-4 為 PHB 生產菌種。圖 13 顯示 su-4 分解乳酪廢液 COD 和生菌數隨時間降解情形。乳酪廢液初始總 COD 與溶解性 COD 並無明顯差別，顯示此乳酪廢液基質大部分為溶解性基質。總 COD 與溶解性 COD 降解率幾乎一致。菌種培養 10 天後乳酪廢液總 COD 與溶解性 COD 分別從 9,875mg/L 和 9,025mg/L 降為 4,050mg/L 和 3,880mg/L。圖 14 顯示 su-4 生長情形以 SS 和 OD 表示。試驗結果顯示 su-4 生長第一天因乳酪濃度很高且為適應生長環境生長狀態有遲滯現象，第 4 天達到完全生長，由生菌數亦可知第 4 天菌數最多，su-4 生長係數為 0.43mgSS/mgCOD。圖 15 和圖 16 分別顯示 su-4 第 4 天和第 8 天 PHB 聚積和消耗情形。培養第 4 天，PHB 累積最多，培養第 8 天因自身消化使 PHB 耗用，因此 su-4 利用乳酪廢液最佳回收為培養第四天可得最高產量。

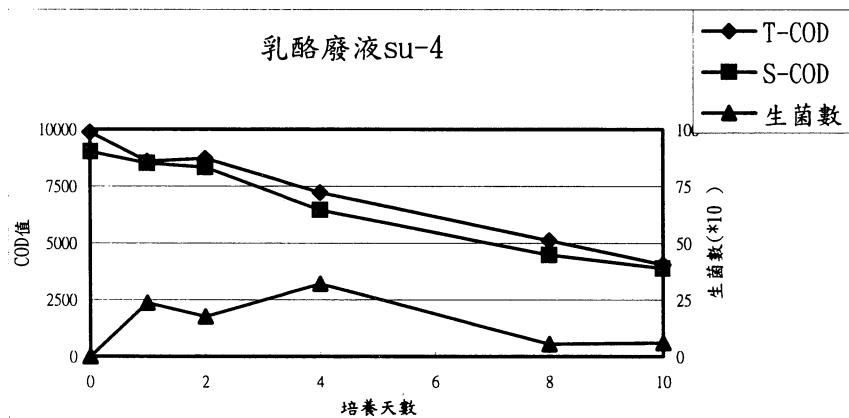


圖 13 su-4 分解乳酪廢液化學需氧量 (COD) 和生菌數隨時間變化

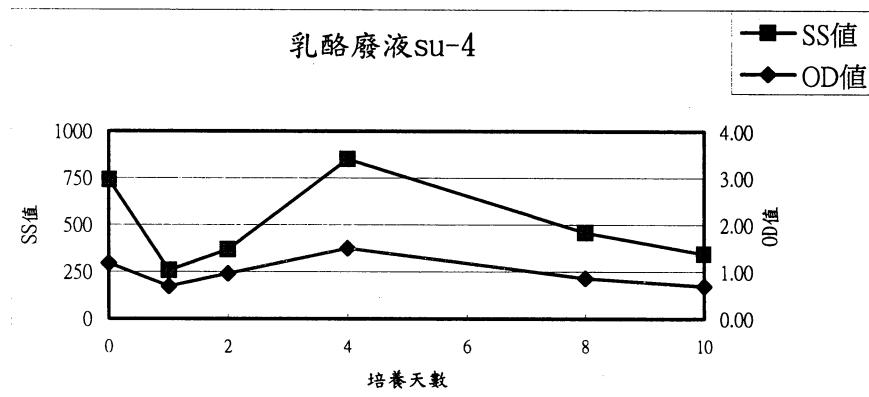


圖 14 su-4 分解乳酪廢液懸浮固體 (SS) 和光密度 (OD) 隨時間變化

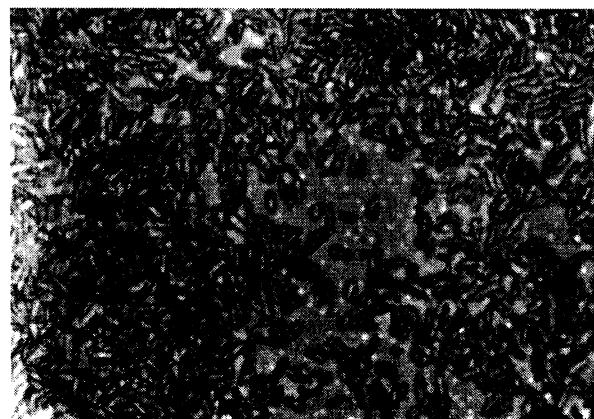


圖 15 乳酪為基質 su-4 培養第 4 天菌體內 PHB 累積

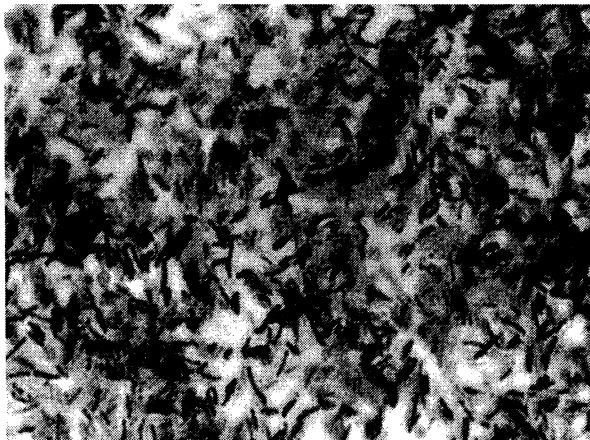


圖 16 乳酪為基質 su-4 培養第 8 天菌體內 PHB 消耗

### 3.3 糖蜜廢液

本試驗以糖蜜為廢液加酵母粉液態培養 g-35 回收 PHB。圖 17 顯示 COD 隨時間變化情形。培養第 2 天總 COD 和溶解性 COD 分別從 51,600mg/L 和 40,200mg/L 降為 40,800mg/L 和 36,900mg/L。圖 18 顯示 g-35 生長情形以 SS 和 OD 表示。培養第 2 天，g-35 對糖蜜利用率最高，生長最完全。g-35 生長係數高達 0.57mgSS/mgCOD，由此可知，g-35 對糖蜜有很高利用率。圖 19 與圖 20 顯示 g-35 培養第 2 天聚積和培養第 4 天消耗 PHB 情形。在第 2 天回收 g-35 菌體內 PHB 可得最高產量。

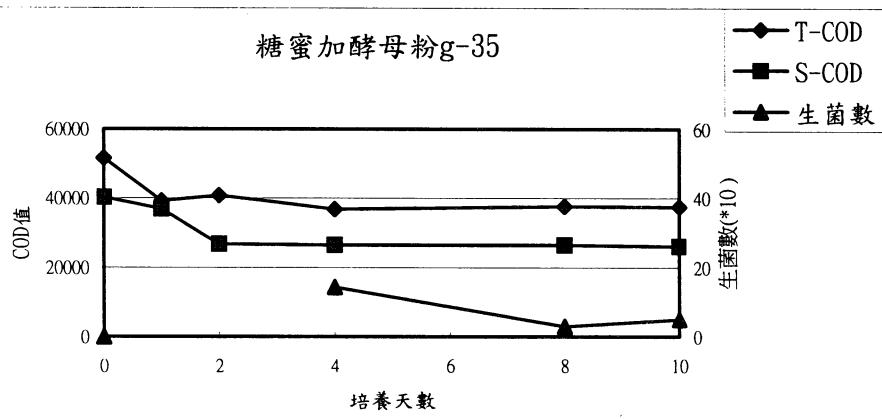


圖 17 g-35 分解糖密廢液化學需氧量 (COD) 和生菌數隨時間變化

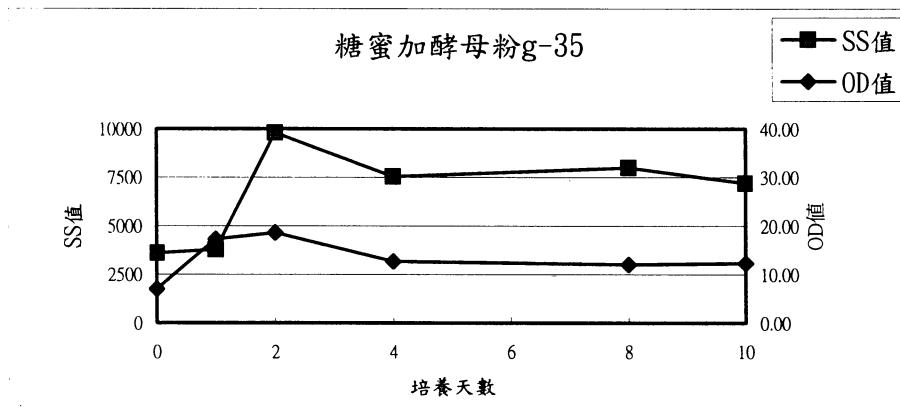


圖 18 g-35 分解糖密廢液懸浮固體 (SS) 和光密度 (OD) 隨時間變化



圖 19 糖蜜為基質 g-35 培養第 2 天菌體內 PHB 累積

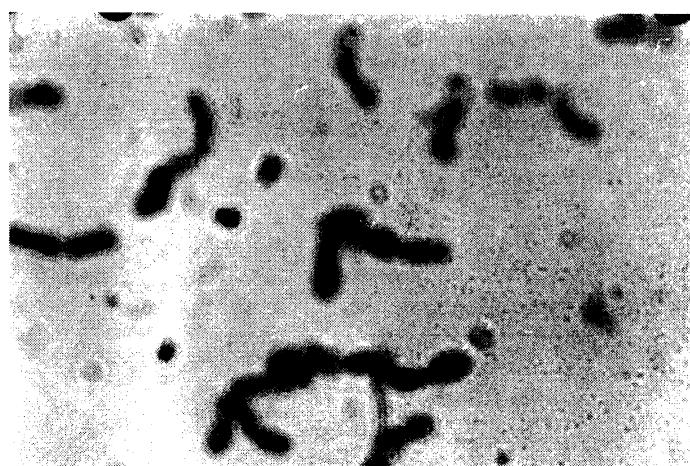


圖 20 糖蜜為基質 g-35 培養第 4 天菌體內 PHB 消耗

## 四、結論

本研究利用食品廢液為基質培養適合生產生物分解性塑膠材料 PHA 菌種。試驗結果顯示，經由菌種培養，PHA 生產菌篩選，PHA 萃取回收與鑑定等步驟可知所萃取 PHA 主要高分子聚合物成分為 PHB。為降低 PHA 生產成本，以食品廢液為基質取代昂貴純基質，所進行食品廢液為取自產業界果糖廢液，乳酪廢液和糖蜜廢液，並分別以 su-14，su-4 和 g-35 做為 PHA 生長菌種。此三種 PHA 生產菌對食品廢液有很高基質利用率，其生長係數分別為  $0.53 \text{ mgSS/mgCOD}$ ， $0.43\text{mgSS/mgCOD}$ ， $0.57\text{mgSS/mgCOD}$ 。su-14，su-4 和 g-35 所生產 PHB 最高產率回收時間分別為 2 天、4 天和 8 天。

本研究試驗程序，菌種培養，PHA 生產菌篩選，PHA 萃取回收步驟，PHA 鑑定和培養操作時間將可作為發酵槽實廠放大之依據。此外，食品廢液有機物水質指標，菌體生長指標和生物相觀測指標可作為食品廢液有機物濃度降解與觀察生物分解性材料 PHA 累積。此研究提供食品廢液有機物降解處理方法並以回收 PHA 使食品有機廢液達到資源化再利用之目的。

## 五、致謝

本研究承經濟部技術處科技專案計畫提供經費補助得以順利完成。謹此致謝。

## 六、參考文獻

- 1.山下義信 “Biopol 和完全生物分解性” Bio industry, 9, 46~50, 1992
- 2.土肥義治 “發酵法生物塑膠生產與應用” Bio Industry, 5, 5~12, 1988
- 3.宮田喜明 “生物分解性塑膠” Nippon Nogeikagaku Kaishi, 68, 1318~1320, 1994
- 4.翁維琦，易組華，黃和容，陳琦“利用糖蜜發酵生產生物降解塑膠 PHB 的研究” 微生物學通報,26, 311~314, 1999
- 5.蘇葵陽，工業廢水處理，復漢出版社，pp.280~289，1987

6. 福居俊昭，土肥義治 “生物分解性塑膠合成” 化學和生物, 36, 494~496, 1998
7. Berger, E., Ramsay, B. A. , Ramsay, J. A., Chavarie, C., Braunegg, G. “PHB recovery by hypochlorite digestion of non-PHA biomass, Biotechnol. Tech., 3, 227~232
8. Choi, J., Lee, S. Y., “Factors affecting the economics of polyhydroxyalkanoate production by bacterial fermentation,” Appl. Microbiol. Biotechnol., 51, 13~21, 1999
9. Hahn, S. K., Chang, Y. K., Kim, B. S., Chang, H. N. “Optimization of microbial poly(3-hydroxybutyrate)recovery using dispersions of sodium hypochlorite solution and chloroform,” Biotechnol. Bioeng., 44, 256~261
10. Hahn, S. K., Chang, Y. K., Kim, B. S., Lee, K. M., Chang, H. N. “The recovery of poly(3-hydroxybutyrate)by using dispersions of sodium hypochlorite solution and chloroform. Biotechnol. Tech., 7, 209~212.
11. Harrison, S. T., Chase, H. A., Dennis, J. S. “The disruption of *Alcaligenes eutrophus* by high pressure homogenization: key factors involved in the process,” Bioseparation, 2, 155~166, 1991
12. Ramsay, J. A., Berger, E., Voyer, R., Chavarie, C. Ramsay, B. A. “Extraction of poly-3-hydroxybutyrate using chlorinated solvents,” 8, 589~594, 1994
13. Leaversuch, R. “Industry weighs the need to make polymer degradable” Mod. Plastics, 64, 52-55, 1987
14. Lee, S. Y. “Review bacterial polyhydroxyalkanoates,” Biotechnology and Bioengineering, 49, 1~14, 1996