

生物技術在廢水資源化之利用

◎執筆 / 張嘉修 · 李國興 · 林屏杰

前言

臺灣本是一個資源匱乏的海島型國家，然因工商業的發達及人口的密集，工業、畜牧及市鎮等三大類廢水之 COD 年總產生量卻高達 257 萬公噸以上，在資源不足與環境污染的雙重衝擊下，如果能夠妥善地將這些廢水中的有機質，藉由生物方法轉換為能源及資源使用，可謂化廢為寶、轉害為利，兼具污染防治及資源再生之功能。

傳統上，根據微生物在代謝或轉化有機物時對溶氧之需求狀況，而將廢水生物處理方法分為好氧生物處理(aerobic biological treatment)和厭氧生物處理(anaerobic biological treatment)兩類。好氧處理乃是在供氧的環境中利用好氧性微生物的生理代謝來氧化有機物，其最終產物主要為水、二氧化碳及硝酸鹽等；厭氧處理則是在無氧的環境中，利用厭氧性微生物的生理代謝，將有機物先予以水解並酸化成有機酸、醇類及氫氣等中間產物，再進而轉化成甲烷、二氧化碳、氮氣及硫化氫等最終產物，其消化(digestion)流程如圖 1 所示。家庭生活污水、畜產、食品和造紙等產業廢水中含有碳水化合物、蛋白質、油脂、纖維質等有機物質，其等均可藉由厭氧生物處理方法，予以資源化產生乙醇、甲烷或氫氣等，以供能源及資源上的利用。以下便針對此三種廢水資源化方向之相關原理與技術逐一說明。

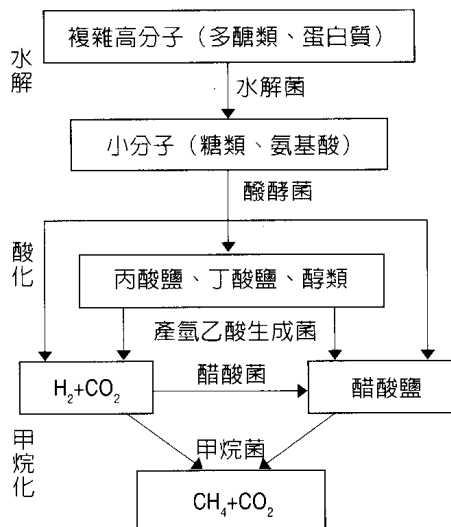
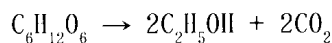


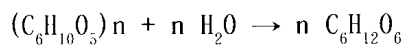
圖 1 傳統厭氣消化流程圖

有機廢水資源化產製酒精

酒精(alcohol)是一種有著廣泛用途的基本原料，如飲料、化學藥品、醫藥、化妝品及動力酒精等。以醱酵法(fermentation)釀製酒精的最終反應，乃是藉由酵母菌(yeast)的催化作用，將葡萄糖轉化為乙醇及二氧化碳，其基本化學反應式如下：



若是以澱粉(starch)為原料，則需先將澱粉予以水解(hydrolysis)成葡萄糖再進行醱酵，此步驟稱為糖化，其化學反應式如下：



若廢水資源化著眼於能源的範疇，依能源的儲存、運輸及使用的觀點，液體燃料是最好的型態，再者根據美國農業部供稱，酒精為所有液態運輸用燃料中最具有能源效率者。而推動酒精能源使用成果顯著的國家，首推美國及巴西，其等分別以玉米及蔗糖進行醱酵釀製

酒精，並添加於汽油中以作為汽車的燃料，不僅達該國空氣品質改善的目的，同時亦降低能源危機之衝擊^[1]。然而以穀物來釀製酒精燃料，最大的缺點乃是必須承擔與糧食競爭所導致原料成本波動的風險，因此近年來部分科學家投入以木質纖維素(lignocellulose)製造酒精的研究。木質纖維素主要由纖維素(cellulose)、半纖維素(hemicellulose)及木質素(lignin)所組成，因纖維素及半纖維素等碳水化合物高分子與木質素之間，以共價鍵及氫鍵的形式緊緊地鍵結在一起，因此要將木質纖維素轉化成酒精需經過三個步驟，首先需進行去木質化(delignification)，以釋出纖維素及半纖維素，接著進行纖維素及半纖維素的降解作用(depolymerization)以轉化為六碳糖(hexose)及五碳糖(pentose)，最後將混和的六碳糖及五碳糖進行醱酵以產製酒精。而去木質化為整個過程的速率限制步驟(rate-limiting step)，因為木質素是相當難被化學及酵素降解(degradation)的物質，而最具降解木質素能力的微生物為真菌(fungi)，其中以白腐擔子菌(white-rot basidiomycetes)具有較高的降解效率，真菌所分泌可降解木質素的胞外酵素(extracellular enzyme)主要有三種，即木質素過氧化酶(lignin peroxidase)、錳依賴過氧化酶(Mn-dependent peroxidase)及蟲漆酶(laccase)。木質素的降解機制尚有許多問題還不十分清楚，除了上述三種重要的酵素外，其他的酵素對木質素的降解或多或少產生一定的影響。另外，纖維素雖然因結構上的因素，致使其較澱粉難以水解，但仍可藉由纖維素酶

(cellulase)使其水解成葡萄糖，纖維素酶主要來自真菌、酵母菌和細菌等微生物，一個典型的纖維素酶的系統中包含內葡聚糖酶(endo- glucanase)、外葡聚糖酶(exoglucanase)及纖維二糖酶(cellobiase)三種酵素，內葡聚糖酶主要的作用在攻擊纖維素中的(1-4)- β -D-glucan chains，而外葡聚糖酶的作用是釋放出位於 β -D-glucan chains末端的纖維二糖(cellobiose)，最後纖維二糖酶將纖維二糖水解成葡萄糖^[12]。

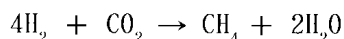
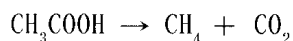
雖然紙漿及造紙工廠所產生的廢水中含大量之纖維質，澱粉質食品工廠之廢水中含有高濃度的澱粉，然而藉生物方法將這些廢水中的有機物質轉化為酒精的研究報告並不多見，主要應為經濟效益之因素，傳統酒精醱酵為批次(batch)作業，係將基質充填入醱酵槽中，於反應過程中加入醱酵所需之微生物，全程週期約需4-10天，且通常所能獲得的酒精濃度範圍為11-14%，此種作業方式主要適用於大量的固體醱酵物^[13]，對於應用於處理廢水量大的紙漿及造紙工廠等產業廢水，其處理週期偏長、生產能力偏低致使其應用上有所限制，雖然目前已有連續式作業之酒精醱酵，然而出流液體中酒精提純及細胞回收之經濟成本的承擔亦是一大考量。

有機廢水資源化產製甲烷

前文中提及廢水資源化酒精醱酵，以目前的生化技術及廢水水質的因素下並不符合經濟效益，然若採用厭氧消化程序進行甲烷醱酵則情形將會改觀，正隆公司大園廠即以上流式厭氧污泥毯反應器(upflow anaerobic sludge blanket, UASB)處理造紙廢水並降低其65%

的COD負荷，同時產生沼氣^[14]。依據工業技術研究院能源與資源研究所於1994年所做的研究報告顯示，台灣地區生產沼氣之潛能達 $6-9 \times 10^8 \text{ M}^3/\text{年}$ ，其中以養豬場廢污處理及家庭污水之潛在產能最大，幾達總潛能之85%。一般而言，沼氣的組成主要為甲烷(50-85%)、二氧化碳(10-50%)及硫化氫(0.2-5%)，其熱值約為 $5000-5500 \text{ kcal/M}^3$ ^[15]。

有機物的厭氧消化過程，為一群生理代謝特性不同的微生物，以相依生態系統(syntrophic ecosystem)進行一系列的生物降解(biodegradation)及生物轉換(biotransformation)作用，將有機物重組為最高的氧化態二氧化碳及最高的還原態甲烷，這是熱力學上最穩定的組合方式。典型的厭氧消化程序如圖1所示，分為水解、酸化及甲烷化三個階段，首先是複雜的高分子經由水解菌(hydrolytic bacteria)水解成簡單的小分子，而後再由醱酵菌(fermentative bacteria)將小分子分解為有機酸及醇類，同時產生氣體產物氫氣及二氧化碳，最後再由甲烷菌(methanogenic bacteria)將乙酸或 H_2/CO_2 轉化成甲烷及二氧化碳。其中約有70%的甲烷來自乙酸，30%的甲烷來自 H_2/CO_2 ，其主要反應方程式如下：



甲烷菌所能利用的基質相當有限，主要為乙酸、 H_2/CO_2 及其他單碳化合物(甲酸、甲醇、甲基胺及CO等)，依其對基質利用的情形可分為「乙酸利用甲烷菌」及「氫利用甲烷菌」兩大類群。乙酸利用甲烷菌僅包含Methanotrix

及 *Methanosarcina* 兩菌屬，其中 *Methanothrix* 僅能利用乙酸為基質，而 *Methanosarcina* 除了可利用乙酸之外，尚可利用 H_2/CO_2 及其他單碳化合物；氫利用甲烷菌包含 *Methanobacterium*、*Methanobrevibacter*、*Methanospirillum*、*Methanogenium* 及 *Methanoculleus* 等菌屬，其等可利用 H_2/CO_2 及甲酸為基質，雖然有些研究報告指出，氫在水中的溶解度及質量傳送速率不如甲酸，因此，氫利用甲烷菌主要是藉由甲酸轉換為甲烷，而非直接利用氫，但是在污泥中氫產生菌和氫利用菌間的距離非常近，足夠使得氫利用菌直接利用氫轉換為甲烷^[6]。

厭氧處理反應槽的設計旨在縮短水力停留時間 (Hydraulic Retention Time, HRT) 以提高體積負荷、延長污泥停留時間 (Sludge Retention Time, SRT) 以增加有機物降解速率，以及增加污泥活性以達增進處理效率的目的。典型的厭氧處理槽可分為傳統厭氧消化槽 (conventional anaerobic digester)、厭氧接觸消化槽 (anaerobic contact digester)、厭氧濾床 (Anaerobic Filter, AF) 或稱厭氧填充床 (Anaerobic Packed Bed, APB)、厭氧流體化床 (Anaerobic Fluidized Bed, AFB) 及上流式厭氧污泥毯 (UASB) 等五種類型^[7]，而各種處理槽於各類廢水之適用性有所不同，需經由實驗室及模場進行可行性研究 (feasibility study) 之評估，進而選擇適合該廢水型態之處理系統，一般而言，厭氧濾床、厭氧流體化床及上流式厭氧污泥毯等較能承受高的水力負荷，適合用於處理溶解性有機物多且廢水量大的工業廢水。但無論如何，畜

牧污水、家庭污水及食品廢水等均適合以厭氧消化程序進行沼氣發酵，將其中的有機質轉化成甲烷，甲烷可直接燃燒使用或藉內燃引擎帶動發電機產生電力，目前工研院能資所已開發出沼氣感應發電技術，並將技術移轉給國內某大食品公司示範推廣。

有機廢水資源化產製氫氣

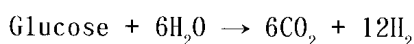
在傳統的厭氧消化程序中，氫氣之累積濃度通常十分低，而系統中氫氣分壓也常成為判斷厭氧消化程序甲烷化效率之指標之一。然而甲烷在燃燒使用時，會產生溫室氣體二氧化碳，且甲烷若不慎外洩時，其對溫室效應之影響為二氧化碳的 24.5 倍，因此若能在厭氧消化的過程中抑制或中斷甲烷化反應，則可獲得其中間產物氫氣，氫氣在燃燒使用時只會產生水蒸氣，並無污染之虞，且氫氣每單位重量產生之熱能值約為甲烷的 2.5 倍。因此，若能將廢水中的有機質轉換為氫氣，則將更合乎環保概念及高經濟效益。

氫氣的用途比甲烷更為廣泛，以氫氣當作能源載體 (energy carrier) 使用分別可應用於燃料電池 (fuel cell) 以產生電能、應用於氫氣引擎以取代汽油引擎並達零污染排放及應用於氫氧焰以取代乙炔在焊接及切割之用途；另外，氫氣亦是一項重要資源，如石化工業的加氫脫硫反應、哈伯法 (Haber Process) 製氨、合成甲醇及雙氧水製造等，均需使用大量的氫氣，再者電子工業及不銹鋼製造過程中，亦大量使用氫氣作為冷凍劑，並移除氧氣以防止產品的氧化或腐蝕。

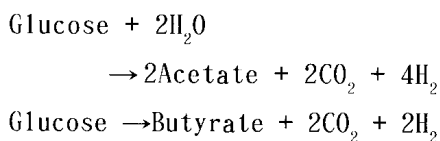
以生物法產氫依 2002 年 4 月於荷蘭

Ede 市所舉行之 BioHydrogen 2002 國際研討會所作的分類，主要可分為光合作用 (photosynthesis)、光醱酵 (light fermentation) 及暗醱酵 (dark fermentation) 三種，其中光合作用產氫乃是以藻類 (algae) 和藍綠細菌 (cyanobacteria) 等藉由光能進行水之生物光解作用 (biophotolysis) 而產生氫氣，因此並不具有降解有機物的能力。而光醱酵與暗醱酵則是分別以光合細菌 (photosynthetic bacteria) 如 *Rhodobacter sphaeroides* 及厭氧細菌 (anaerobic bacteria) 如 *Clostridium butyricum* 等藉由有機質為電子提供者，經由需光源 (光合細菌) 或不需光源 (厭氧細菌) 的醱酵作用將有機質分解，同時，將伴隨產生的部分電子，藉由特定之電子傳遞系統，將電子傳送給水體中的質子 (H^+) 而產生氫氣^[8-10]，因此廢水處理併同資源化產生氫氣，即被著眼於光醱酵及暗醱酵的研究及開發。以 glucose 為基質時光合細菌及厭氧細菌產氫之反應式如下：

光合細菌：



厭氧細菌：



理論上以光合細菌分解 1 mole 的 glucose 可生成 12 mole 的氫氣，比厭氧細菌產氫之理論轉化率高出 8 mole 之多；但是由於光合菌大多利用固氮酵素 (nitrogenase) 產氫，因此產氫步驟的活化能 (activation energy) 較高，以致影響其產氫速率，再者光合細菌受限

於細胞生長緩慢及陽光日夜交替之間歇性的因素，致使產氫速率低且不穩定，因此在實際應用上仍有所限制。反觀厭氧細菌產氫卻有較高的產氫速率，且可日以繼夜持續而穩定的生產氫氣，因此應用於廢水處理併同產氫具有比光合細菌更高的優勢^[9, 11]，此由 1998 年 BioHydrogen 國際研討會發表論文篇數中厭氧細菌產氫只佔 5% 以下，而到了 2002 年該研討會之厭氧細菌產氫相關論文篇數已提升至約 35%，可見厭氧細菌產氫已成為未來發展之趨勢。

欲以純菌 (pure culture) 進行環境污染物之生物產氫有實際應用之困難，而以厭氧污泥直接進行污染物之氫氣醱酵則較為可行。若以厭氧污泥產氫，則必須將污泥前處理以抑制或破壞甲烷菌之活性，通常可以採熱處理^[12]或酸處理^[13]的方式來達到去除甲烷菌活性之目的。筆者近兩年來致力於厭氧污泥產氫之研究，並以開發厭氧產氫之量產技術為目標，於實驗室中分別進行 CSTR (continuous flow stirred tank reactor)、填充床 (packed bed) 及流化床 (fluidized bed) 三種系統的連續氫氣醱酵測試，茲將各系統之產氫效能整理於表 1。在 CSTR 系統中當 HRT 操作於 4 h 以下時，槽體中的產氫污泥會發生洗出 (wash-out) 的現象，致使產氫效能下降，筆者以加裝中空纖維 (hollow-fiber) 裝置進行改善，結果系統可於 $HRT = 1h$ 的高體積負荷下穩態操作產氫，且其產氫效能比未加裝中空纖維裝置時明顯提升。固定化細胞 (immobilized cell) 系統常見應用於廢水處理及生物技術相關製程，而應用於氫氣醱酵卻較為少見，筆者與逢甲大學化工系吳石乙

表 1 本研究群以各種系統進行連續氫氣醱酵之產氫性能評比

Type of reactor		Working volume (L)	HRT (h)	H ₂ evolution (L/h/L) *
CSTR	without hollow- fiber	1	4	0.67
	with hollow- fiber	1	1	0.98
Packed Bed	ALSC immobilized cell	0.28	1	1.96~2.23
	SC/AC immobilized cell	0.4	1	0.64
	AC biofilm	0.3	1	1.19
	AC biofilm	3	1	1.21~1.30
Fluidized Bed	ALSC immobilized cell	2.65	2	0.92

* Substrate : sucrose (20000 mg-COD/L)

教授合作，將傳統藻酸鈣 (calcium alginate) 膠體固定化方式予以修飾改良，於膠體顆粒成形時添加 acrylic latex/silicone 以形成 ALSC 固定化膠體顆粒，並將產氫污泥包覆於膠體顆粒內部^[14]，該技術目前已進行專利申請中 (申請案號 91101437)，另外本研究群亦開發出 SC/AC 固定化細胞膠體顆粒 (以摻雜活性炭的 silicone 為擔體材料)，吾等分別將所開發出的固定化細胞膠體顆粒填入填充床及流化床反應器進行連續氫氣醱酵，結果顯示其在產氫速率上均有極優異的表現 (如表 1)，但是於產氫旺盛時膠體顆粒卻有浮出液面之現象，造成反應器之操作困難且產氫效率降低，目前本研究群正朝固定化材質及技術方面進行修飾及改良，且已有突破性之初步成果，不過仍在進行各項測試階段中。在填充床系統方面，筆者於 0.3 L 床體中填充活性炭 (activated carbon, AC) 顆粒以為厭氧產氫污泥附著，期藉由所形成之生物膜於高稀釋速率操作時能具有截留產氫污泥之效能，於連續

醱酵之測試中顯示其有優異的表現，系統可於 HRT = 1h 下穩態操作產氫，且產氫速率優於 CSTR/hollow-fiber 系統。

因中空纖維膜價格昂貴，而包覆式固定化細胞技術尚未成熟，基於成本面及技術面的考量之下，在本研究群目前所進行的各項氫氣醱酵系統中，以 AC 生物膜系統較具未來規模放大 (scale up) 及實場應用之潛力，因此筆者將其規模放大 10 倍 (working volume=3L) 進行測試，以評估活性炭生物膜系統量產氫氣的可行性。圖 2 為其產氫速率、溶解態代謝物組成及出流水 biomass 濃度隨操作時程變化之情形，系統於 HRT=3 h 啟動操作，本試程初期的穩態產氫速率約為 0.68 L/hr/L，氫氣濃度約為 30%，並未測出有甲烷的產生 (本操作全程均未測出)，但隨後在 HRT 調降為 2h 及 1h 之試程中，產氫速率未見提升，而 CO₂ 產量卻明顯增加，且氫氣濃度持續下降至 12.5%，此與過去的小規模測試有所背離，推測為槽體內非產氫菌滋生並競食基質所造成的現象，為支持推

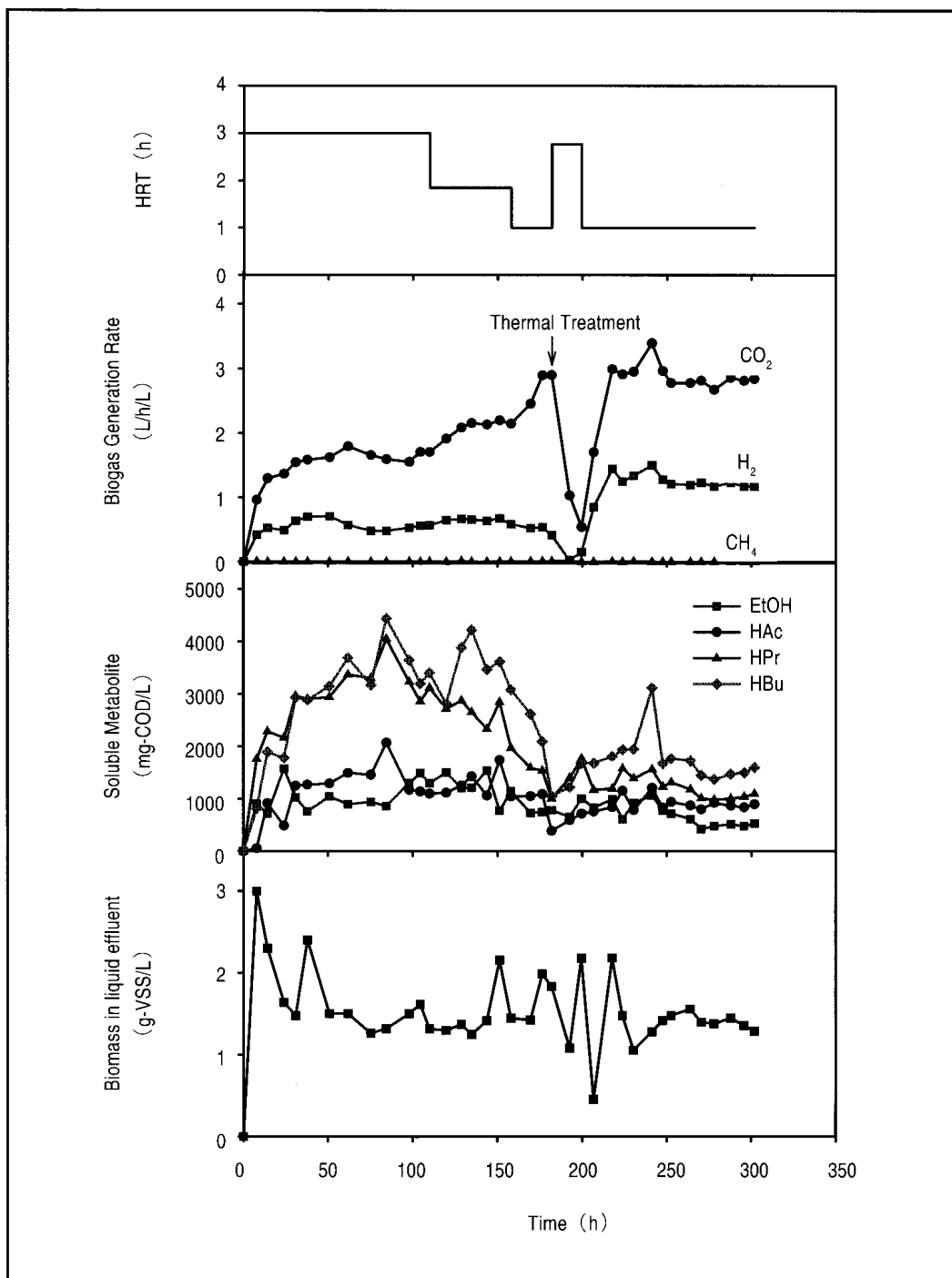


圖 2 AC 生物膜系統 (3 L) 之產氫速率、溶解態代謝物組成及出流水 biomass 濃度隨操作時程變化之關係

論正確，並假設非產氫菌不如產氫菌具有抗高溫的能力，因此對槽體進行75°C熱處理(thermal treatment)，熱處理後系統以HRT=3h重新啟動，約15h後系統開始產氫，此時再將HRT調回1h進行測試，結果顯示產氫速率迅速明顯提升，穩態操作下可達1.21-1.30 L/h/L，氫氣濃度約為30%，且其CO₂產量與熱處理前相當，顯示熱處理可有效抑制非產氫菌的生長，並提升氫氣產量，同時非產氫菌的氣相產物主要為CO₂。其溶解態代謝物乃為主產丁酸，然而由圖中可看出於熱處理後丙酸及丁酸濃度明顯降低，推測非產氫菌可能屬產酸菌群(acidogenic bacteria)，且其易因對高溫敏感，故加熱後會造成其活性抑制之現象^[15]。

雖然以厭氧細菌產氫具有比光合細菌較高的產氫速率，然而因其併同產生有機酸及醇類等致使其轉化率偏低，若應用於廢水處理，則暗醱酵反應槽之出

流水COD值仍偏高，因此有些專家提出於暗醱酵反應槽後段串接光醱酵反應槽的構想，其串聯系統如圖3所示，即利用光合細菌將暗醱酵反應槽出流水中的有機物質（如有機酸及醇類等）再轉化為氫氣，此可同時提升氫氣產率及COD去除率，實為一頗具前景之構想。

結語

今年4月美國知名雜誌「新聞週刊」(Newsweek, April 8-15, 2002)專題報導有關全球能源的問題，內容預測未來能源供應的情形，文中提到雖然目前世界能源需求量的90%是由化石燃料所提供，但專家預測在15年後會因石油供應量減少導致其價格暴漲而刺激新能源的開發與使用，如氫氣、太陽能及風力等，不過此階段大部分的氫氣仍由石化工業製得；又依其估計，在50年後化石燃料枯竭，氫氣將與太陽能及風力等取代石油而提供全球能源所需，那時候

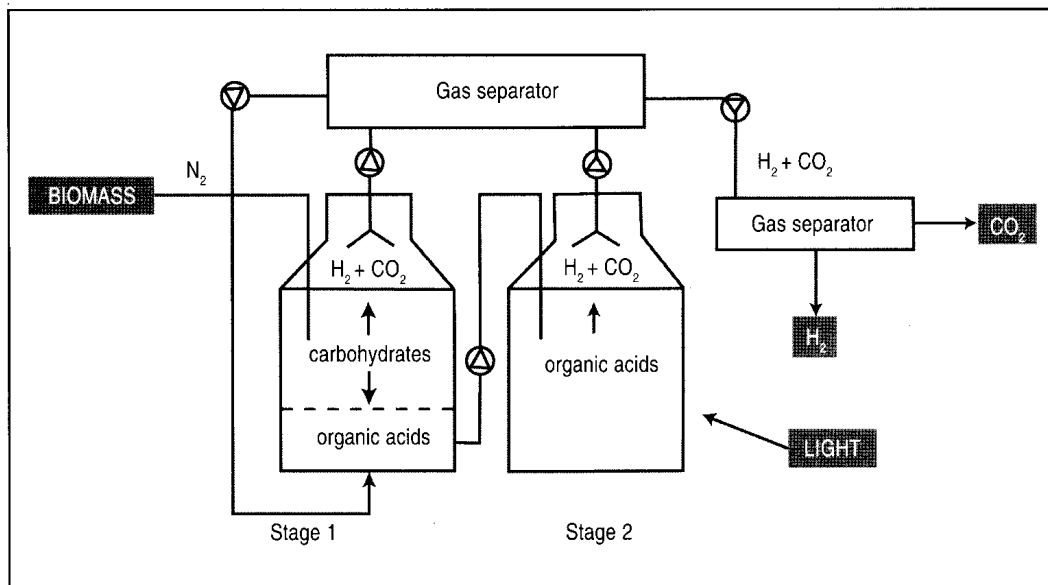


圖3 暗醱酵 (Stage 1) 及光醱酵 (Stage 2) 串聯系統示意圖

氫氣需由水或 biomass 乾淨製取。此篇報導彰顯出氫氣將可能會繼煤炭、石油之後，掀起第三次能源革命，然而在台灣地區，太陽能及風力受限於環境及氣候的間歇性因素，致使其所轉換之能量穩定性及能量密度不高，故實際應用仍有亟待克服的瓶頸。相對的同樣具潔淨無污染、永續供應的氫氣其熱能值高且能源轉換效率佳，對 95% 以上的能源需仰賴進口的台灣地區而言，極具發展價值。而以生物方法進行廢水處理併同資源化產氫乃污染防治及資源再生兼顧，相信能藉此建立一個環境保護與能源豐富併同經濟發展的良性循環模式。■

參考資料

1. 蔡信行(1999)，「酒精汽油」，化工技術，7(10)，188-197。
2. Lee J. (1997) "Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol", J. Biotech., 56, 1-24.
3. 李鴻麟、夏滄琪(1999)，「以木質纖維素之生質能源製造酒精之探討」，漿紙技術，3(2)，25-34。
4. 林榮榛、李肇錦(1997)，「造紙廠用水減量與廢水處理技術應用」，化工技術，5(8)，142-146。
5. 陳榮耀(1998)，「台灣之沼氣生產與利用」，化工技術，6(11)，142-147。
6. 曾怡禎(1997)，「厭氧反應槽的微生物生態」，工業污染防治季刊，63，81-95。
7. 邵信(1997)，「厭氧處理槽之適用性與工務設計實務」，工業污染防治季刊，63，96-124。
8. Benemann J. R. (1997) "Feasibility analysis of photobiological hydrogen production", Int. J. Hydrogen Energy, 22, 979-987.
9. Das D. and Veziroglu T. N. (2001), "Hydrogen production by biological processes: a survey of literature", Int. J. Hydrogen Energy, 26, 13-28.
10. Zaborsky, O. R. (ed.) (1997) Biohydrogn. Plenum Press, New York.
11. Fascetti E., D'Addario E., Todini O. and Robertiello A. (1998) "Photosynthetic hydrogen evolution with volatile organic acids derived from the fermentation of source selected municipal solid waste", Int. J. Hydrogen Energy, 23, 753-760.
12. Lin C. Y., Chen C. C. and Lin M. C. (2000) "Hydrogen production in anaerobic acidogenesis process - Influences of thermal isolation and acclimation environment", J. Chinese Institute of Environ. Eng 10: 163-168.
13. Chen C. C., Lin C. Y. and Lin M. C. (2002) "Acid-base enrichment enhances anaerobic hydrogen production process", Appl. Microbiol. Biotechnol., 58, 224-228.
14. Wu S. Y., Lin C. N., Lee K. S., Lin P. J. and Chang J. S. (2002) "Microbial hydrogen production

with immobilized anaerobic cultures", Biotechnol. Progress. [in press]

15. Chang J. S., Lee K. S. and Lin P. J. (2002) "Biohydrogen production with fixed-bed bioreactors", Int. J. Hydrogen Energy. [in press]

作者簡介

張嘉修—

現職：成功大學化工系教授

學歷：美國加州大學 Irvine 分校化工暨生化工程系博士

經歷：成功大學化工系教授、逢甲大學化工系教授、逢甲大學化工系副教授

專長：環境生物技術、生化工程、生質能源技術

李國興—

現職：逢甲大學化工系技士

學歷：逢甲大學化工系博士班進修中

經歷：逢甲大學化工系助教、技士

專長：廢水處理、厭氧生物產氫

林屏杰—

現職：逢甲大學化工系教授

學歷：美國密西西比大學化學博士

經歷：逢甲大學化工系副教授、教授

專長：分析化學、儀器分析、厭氧生物產氫



電子月刊

8月號第85期精彩內容介紹

顯示器

專輯

～鄭晃忠 主編～

- 彩色濾光片之現況與發展新趨勢
- 廠發射顯示器技術介紹
- 非晶矽 TFT-LCD 製造與畫素設計
- 21 世紀桌上型顯示器之世代交替—TFT-LCD V.S. CRT 之探討

光電展特輯

- 2002 台北光電週系列活動報導
- 低溫複晶薄膜電晶體技術發展現況 (II)
- 開始擊潰 CRT，電子管 TV 根據地的 FPD 電視 PDP-TV、LCD-TV
- 影像電話著重視覺感受、平面面板螢幕的選擇多變
- 未來之螢幕顯示器
- ROHM(株) 光學廠竣工、加速光學元件的開發
- 石英玻璃上 BSD 的研發成功—專訪松下電工(株) FPD 研究部 藤田卓哉
- 中華民國專利篇(光電)

每月精選

- 野村電子技術研究所推動 ULSI 設計開發
- 電信網路訊務效能模式之研究

專欄

- 類比、數位電路設計連載(十)

報導

- 100nm 世代用最新的銅配線形成技術
- 法國瞄準奈米科技、生物晶片
- 不論何時何地，永遠是現場班長

動態消息

- 國際會議、展示會
- 產業大事紀
- 廠商熱訊