

出國報告（出國類別：其他）

赴德國 Fraunhofer-Gesellschaft 及
荷蘭 Wageningen University 開會及參訪
微藻技術

服務機關：台灣中油股份有限公司綠能科技研究所

姓名職稱：陳寶東 副所長
翁培翔 化學工程師

派赴國家：德國、荷蘭

出國期間：102 年 10 月 26 日至 102 年 11 月 2 日

報告日期：102 年 12 月 24 日

摘要

二氧化碳減量為全世界關注的議題，台灣中油股份有限公司(簡稱中油公司)身為國內最大的能源企業，面對減碳問題責無旁貸。目前二氧化碳捕捉、儲存及再利用技術正如火如荼正在全世界研究與發展，微藻被認為是二氧化碳直接利用的選項之一，亦為中油公司綠能科技研究所研發重點項目之一，為瞭解國際間微藻技術的最新發展技術、趨勢與應用實例，因此赴德國應用研究機構Fraunhofer-Gesellschaft(簡稱Fraunhofer)及荷蘭Wageningen University世界著名微藻研究中心ALGAEPARC進行開會及研討。本報告包含目的、過程、開會及微藻技術參訪、心得及建議與參考資料五個部分，內容包含歐洲微藻研究的最新發展技術及趨勢，有助於提升本公司研發能量並可用於評估未來新創事業之參考依據。

目次

摘要

壹. 目的	4
貳. 過程	5
參. 開會及微藻技術參訪	7
1. 德國 Fraunhofer-Gesellschaft	7
1.1 微藻研究	8
1.2 分子生物科技組	15
1.3 高分子介面與材料組	19
1.4 塗料系統及技術組	20
2. 荷蘭 Wageningen University	21
2.1 AlgaePARC 簡介	21
2.2 該團隊參與之研究計畫	24
2.3 微藻技術研討	28
肆. 心得及建議	30
伍. 參考資料	31

壹. 目的

光合自營性微藻是第三代生質料源，其單位面積單位時間產油率高於目前的陸生能源作物，並且利用二氧化碳作為碳源，具二氧化碳積極再利用的功效，相當具有研發的潛力。環保科技組負責微藻相關研究，已在高雄廠內建立微藻實驗室及戶外微藻養殖設施，並積極進行試驗，以驗證文獻上之參數並開發可行技術，做為評估大規模微藻養殖設施之參考依據。

德國最頂尖亦歐洲最大的應用研究機構 Fraunhofer-Gesellschaft(簡稱 Fraunhofer)在微藻研究方面已進行相當長時間的研究，該單位開發之平板氣舉式光合生物反應器(Flat Panel Airlift Reactor)因效果優良，已成立 Subitec GmbH 公司，該公司負責將光合生物反應器放大，並有現場養殖的實績，相當值得深入了解；荷蘭 Wageningen University 世界著名微藻研究中心 ALGAEPARC 的主持人 R.H. (Rene) Wijffels 教授著作等身，微藻研究曾發表在著名期刊 Science 上，並進行各種微藻光合生物反應器之評估與設計之研究，有相當多經驗及技術值得學習與討論。

本次出國案赴德國 Fraunhofer 及荷蘭 Wageningen University 世界著名微藻研究中心進行開會及研討，以瞭解國際上微藻研究發展技術、趨勢及應用實例，並建立溝通管道，作為未來雙方共同合作開發，或引進具有商業化潛力技術之開端，可提升專業知識與能力，協助快速建立核心技術。

貳. 過程

表一、出國行程表

日期	地點	工作記要
10/26(六)	德國史圖佳特 Stuttgart	啟程(高雄->荷蘭/阿姆斯特丹>德國/史圖佳特)
10/27(日)	德國史圖佳特 Stuttgart	啟程(荷蘭/阿姆斯特丹->搭火車前往德國/史圖佳特)
10/28(一)	德國史圖佳特 Stuttgart	赴 Fraunhofer 開會
10/29(二)	德國史圖佳特 Stuttgart	赴 Fraunhofer 開會
10/30(三)	荷蘭 Wageningen	搭火車德國移動至荷蘭
10/31(四)	荷蘭 Wageningen	赴 Wageningen University 微藻研究中心開會
11/1(五)	台灣	返程
11/2(六)	台灣	返程

出國行程共 8 天，其中有 5 日為移動日，3 日赴著名微藻研究單位開會，包含 Fraunhofer-Gesellschaft IGB(簡稱 IGB)、Fraunhofer-Gesellschaft IPA(簡稱 IPA) 及 Wageningen University。參訪者 10/27(日)抵達荷蘭阿姆斯特丹機場，並搭火車由荷蘭移動到德國史圖佳特。10/28(一)赴 Fraunhofer-Gesellschaft IGB 開會，10/29(二)赴 Fraunhofer-Gesellschaft IPA 開會，10/30(三)搭火車由德國移動至荷蘭，10/31(四)至 Wageningen University 微藻研究中心開會，11/1(五)返國，路程圖請參見圖 1。



圖 1、赴德國及荷蘭參訪路程圖。

參. 開會及微藻技術參訪

1. 德國 Fraunhofer-Gesellschaft

成立於 1949 年 3 月 26 日，Fraunhofer-Gesellschaft (以下簡稱 Fraunhofer) 是以德國科學家、發明家和企業家「Joseph von Fraunhofer」為名的非營利研究機構，現為德國最大，也是歐洲最大的科技應用導向研究機構，內含 66 個研究單位，2012 年員工人數 22,093 人(三成為研究生及學生)，德國境內各城市幾乎都有 Fraunhofer 的蹤跡，目前每年預算 19 億歐元(約 760 億台幣)，其中 70% 的研究經費是政府部門及私人企業委託研究，剩餘 30% 研究經費來源為政府提供的基礎經費。

此次拜訪的單位是位於史圖佳特(Stuttgart)的 Fraunhofer IGB(以下簡稱 IGB)及 Fraunhofer IPA(以下簡稱 IPA)。其中 IGB 於 2012 年預算 2,003 萬歐元(約 8 億台幣)，總員工人數 292 人，IGB 研究的領域相當廣泛，包含醫學、藥學、化學、環境及能源五大事業，此次計有 IGB 所長 Thomas Hirth 教授、事業開發處 Sabine Krieg 小姐及 Tanja Gaudig 小姐、環境生物科技與生物程序工程組主管 Ulrike Schmid-Staiger 博士、分子生物科技組主管 Susanne Zibek 小姐及高分子介面與材料組主管 Michaela Muller 博士與會。

相較於 IGB，IPA 之組織更為龐大，IPA 於 2012 年之預算為 5,025 萬歐元，總員工人數 670 人，拜訪之部門為塗料系統及技術組，計有部門主管 Michael Hilt 博士及專案經理 Irina Zvonkina 博士與會。

1.1 微藻研究

IGB 進行微藻研究已經超過 16 年，主要的成果為研發出的(1)平板氣舉式光合生物反應器(Flat Panel Airlift Reactor)，並利用該反應器，(2)進行含蝦紅素(Astaxanthin)及二十碳五烯酸(C20:5, Eicosapentaenoic acid, EPA)微藻戶外生長條件之最佳化，包含光照、二氧化碳濃度及營養源濃度等，另有(3)進行微藻產油研究。

(1)平板氣舉式光合生物反應器

該單位認為微藻大量培養最關鍵的因素是光照，因光照決定微藻生長之生長濃度及生長速度。IGB 於 1999 年研發出平板氣舉式光合生物反應器，並申請專利 [1]，如圖 2 所，該平板反應器內有許多相連的隔間，利用氣體曝氣，在每個隔間內製造一個渦流，讓每個隔間內的藻體能均勻混合，並讓二氧化碳之質傳不受限制，反應器每個隔間內之藻體可持續混合，在最底層的藻體另有水平方向混合的作用。該反應器由兩片特製塑膠片組合而成，相關技術部門已於 2000 年由 IGB 分割出，成立 Subitec GmbH [2]，目前該公司有 25 人，販售實驗室級(5L 及 30L)及放大型(180 L)平板氣舉式光合生物反應器，該反應器可多個串連組成一個模組，多個模組再組成試驗工場。Subitec GmbH 現有兩個試驗工場在運轉，養殖體積分別為 1.3 m³ 及 4.5 m³，皆為戶外培養，並且利用煙道氣中之二氧化碳做為碳源。另外，Subitec GmbH 在德國境內與企業合作建立了四座試驗工場(參見表 2)，合作企業分別為 EnBW AG、Hamburg-Reitbrook、FairEnergie GmbH 及 GMB GmbH / Vattenfall Europe Mining AG。此四座試驗工場的特點為皆使用汽電共生廠之煙道氣做為微藻養殖之碳源，並且運轉時間皆長達 2 年以上，

顯示該平板氣舉式光合生物反應器已經歷相當多的試驗。

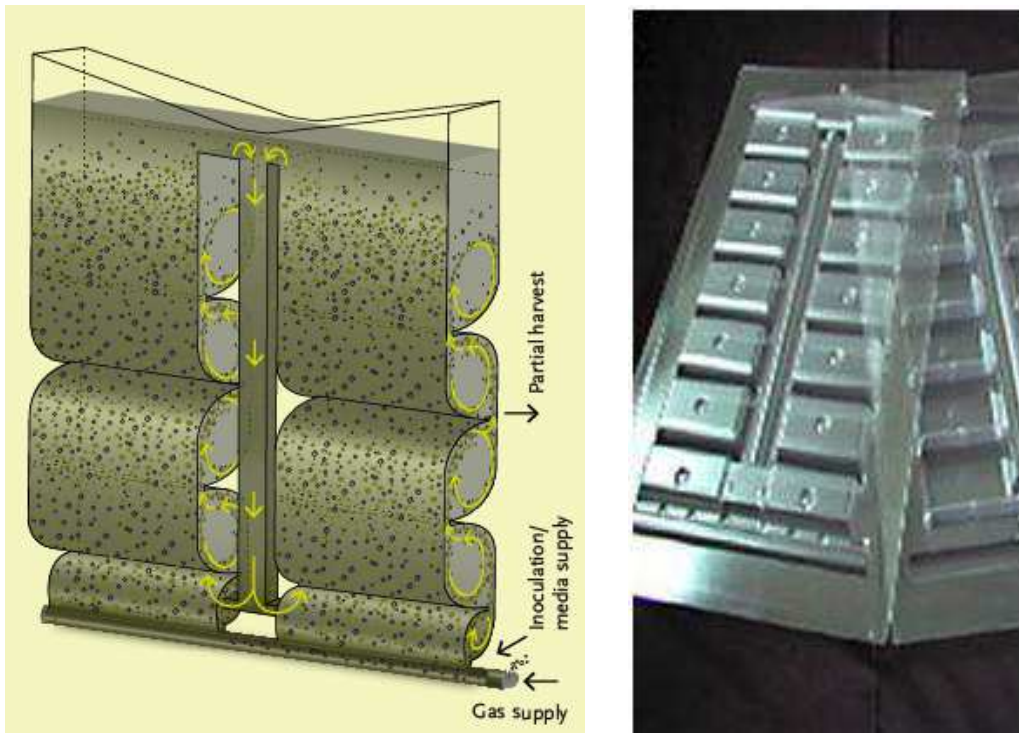


圖 2、左為平板氣舉式光合生物反應器示意圖，右為光反應器之照片[2]。

表 2、與 Subitec GmbH 合作之廠商與實績[2]。

公司名稱 (時間)	試驗工場地點	光反應器養殖 體積(m ³)	模組(反應器 數量)	目的
EnBW AG (2008-2010)	Eutingen-Weitingen	4.32	3 個模組(各 8 個反應器)	燃沼氣汽電共生廠產 生之煙道氣進行二氧 化碳再利用
Hamburg-Reitbrook (2008~今)	Hamburg-Reitbrook	1.44	2 個(各 4 個 反應器)	燃天然氣汽電共生廠 產生之煙道氣進行二 氧化碳再利用
FairEnergie GmbH (2010~今)	Reutlingen	4.32	4 個模組(各 6 個反應器)	燃天然氣汽電共生廠 產生之煙道氣進行二 氧化碳再利用
GMB GmbH / Vattenfall Europe Mining AG (2010~今)	Senftenberg	2.16	2 個模組(各 6 個反應器)	燃煤汽電共生廠產生 之煙道氣進行二氧化 碳再利用

(2) 蝦紅素及二十碳五烯酸之生產研究

蝦紅素(Astaxanthin)是有益健康的抗氧化物，二十碳五烯酸(EPA)具有預防血栓及抗發炎等功效，均對人體有相當好的功效，可做為健康食品的添加物。其中富含蝦紅素的藻種為 *Haematococcus pluvialis*、富含 EPA 的藻種為 *Phaeodactylum tricornutum*。

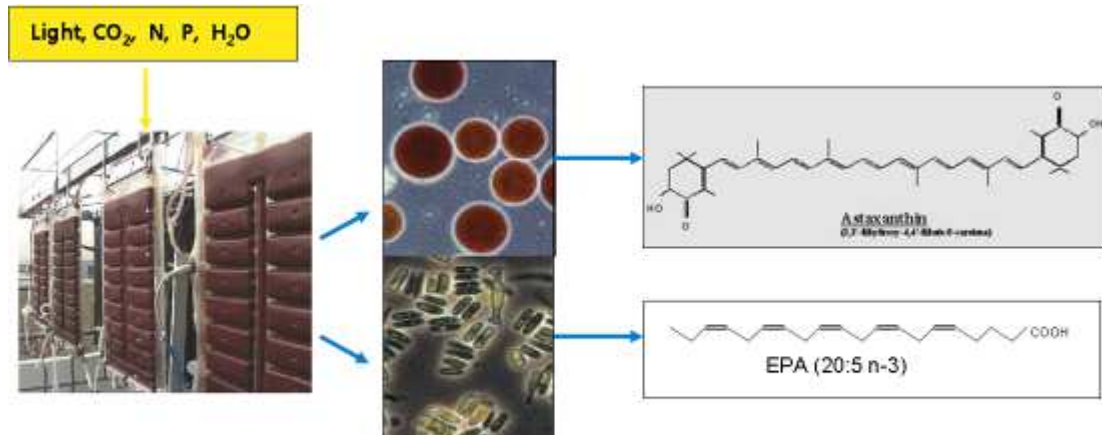


圖 3、以微藻生產蝦紅素及二十碳五烯酸[3]。

H. pluvialis 首先經大量繁殖後，顏色呈綠色，第二階段經營養源限制(氮及磷)，蝦紅素累積，轉變為紅色(如圖 4)。此方面的研究亦探討養殖所需之能耗，由最早的每公斤乾重藻體需 64 MJ，放大後可逐步降低至 21.6 MJ/kg，低於微藻之低位發熱量 26.3 MJ/kg(微藻組成：蛋白質、醣、油脂=25%、25%、50%，低位發熱量分別為 15.5、13、38.3 MJ/kg)，顯示具有永續性。



圖 4、*H. pluvialis* 兩階段養殖[3]。

P. tricornutum 於 5L 平板式光合生物反應器，在光照 $400 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ，二氧化碳曝氣濃度 2-3%(v/v)，曝氣量 200-300 L/h(0.7-1.0 vvm)，養殖濃度可達 25 g/L 以上(如圖 5)，微藻生長速度室內可達 2 g/L/d，戶外可達 1~1.5 g/L/d，優於其他型式的光合生物反應器，且單位生質物生長所需能耗較其他型式，如 raceway、tubular 低，但缺點是需溫度控制，且建造成本高。另外，可透過氮及磷源限制，改變微藻的組成份。表 3 列出有潛力之微藻體內高價化學品。

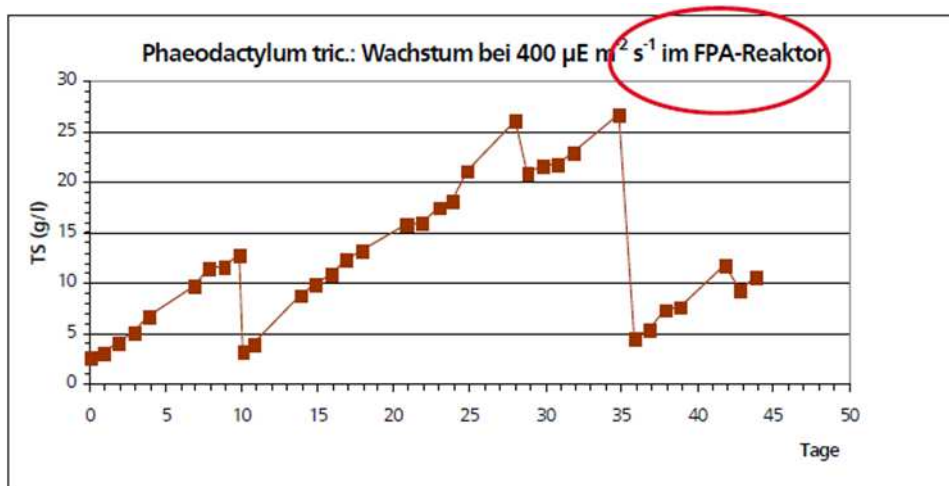


圖 5、*P. tricornutum* 培養結果[3]。

表 3、微藻體內高價化學品

Pigments/Carotinoids	β -carotene, astaxanthin, lutein, zeaxanthin, canthaxanthin, chlorophyll, phycocyanin, phycoerythrin, fucoxanthin
Polyunsaturated fatty acids	DHA(C22:6), EPA(C20:5), ARA(C20:4), GAL(C18:3)
Antioxidants	Catalases, polyphenols, superoxide dismutase, tocopherols
Vitamins	A, B1, B6, B12, C, E, biotin, riboflavin, nicotinic acid, pantothenate, folic acid
Others	Antifungal, antimicrobial and antiviral agents, toxins, amino acids, proteins, sterols, Mycosporine-like Amino Acids for light protection

(3)微藻產油研究

微藻產油研究利用平板式光合生物反應器進行研究，藻種為 *Chlorella vulgaris*，如圖 6 所示，於戶外進行 25 L 之培養，最高微藻生長濃度可達 10 g/L，生長速率最高 0.98 g/L/d，優於其他自營性微藻生長之方式，如開放式、水平或垂直光合生物反應器，因在戶外進行培養，每日之光照亦不相同，並且由圖 6 可看出，培養方式為半批次式，約 1 周進行採收一次，平均養殖濃度可達 4.7 g/L，生長速率達 0.57 g/L/d，亦屬高標。利用光合生物反應器可照光面積(~462 cm²/L)當分母，可換算出最高生長速率為 21.2 g/m²/d，再以此生長速率除以 PAR 測得之光照強度(單位μ E/m²/s)，可得每單位光子可產生之微藻乾重(g/E)，此值最高為 0.94，平均值為 0.45。

在藻油生產方面，利用兩階段培養，先最佳化生長後，可得 11%之油脂，再改變培養條件，使營養源缺少氮及磷，並在高光照下，油脂可提升至 48%，並且 C18:1 及 C18:2 佔的百分比可由原先約 30%，提升至高於 50%，可見此策略之重要性。

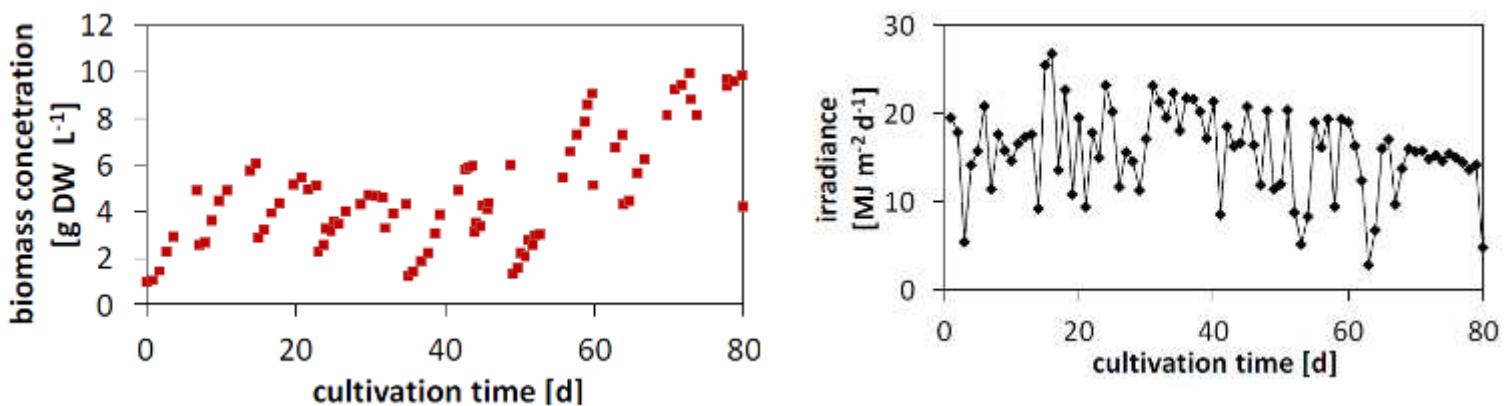


圖 6、戶外 *C. vulgaris* 培養[4]。

Two-stage process for lipid production

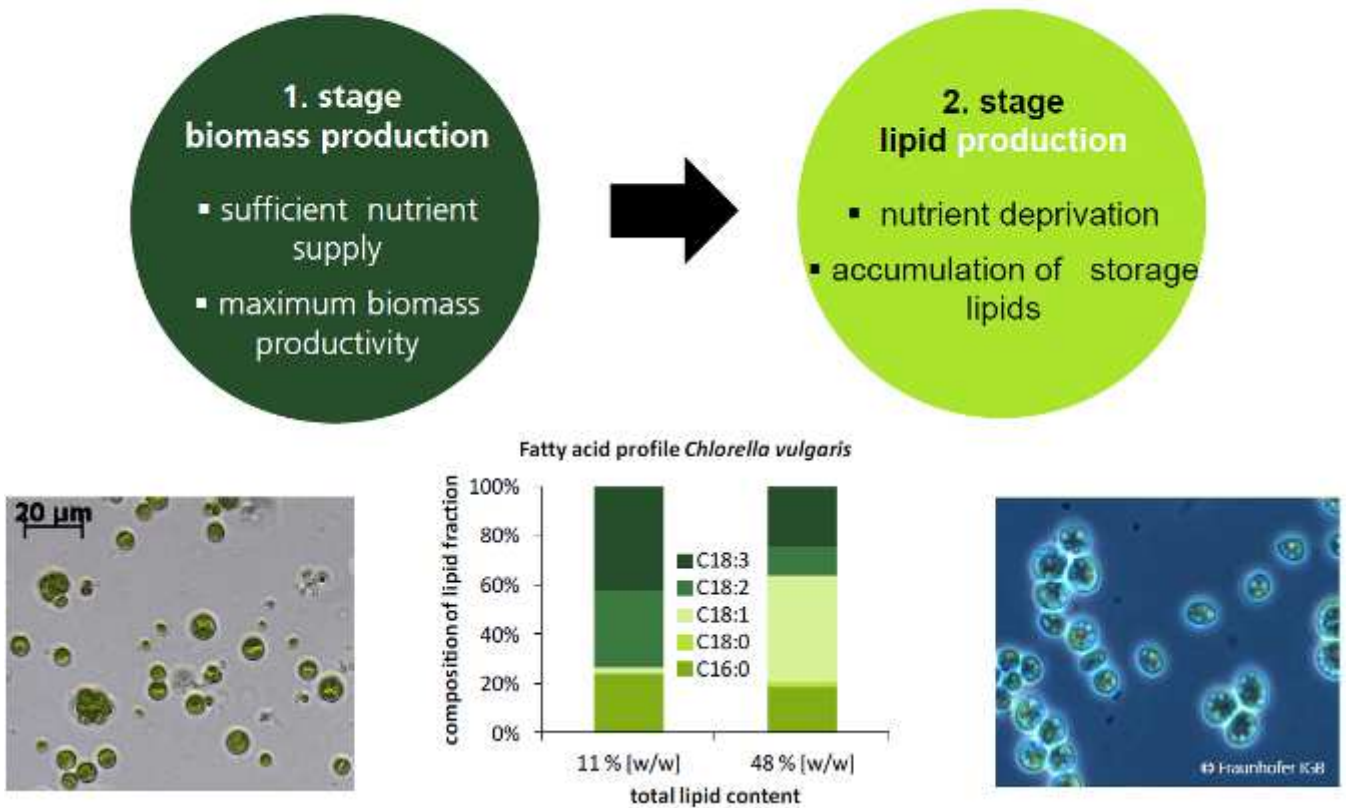


圖 7、兩階段培養策略[4]。

IGB 微藻研究目前的方向包含將養殖系統自動化及將厭氧消化納入微藻養殖系統。自動化方面的研究是將平板式光合生物反應器之操作以人機介面即 PLC 結合，即時監測 pH 及溫度，曝 CO₂ 會降低溶液 pH，添加氨水會提高 pH，藉由 pH 之監測，可以反推銨離子濃度值，即瞭解營養源使用狀況，得以藉此控制進料及確保培養時期營養源之充足。氮及磷是微藻養殖不可或缺的元素，厭氧消化為污水處理技術，可利用厭氧消化處理萃油後剩餘的微藻殘渣，獲得之氮及磷可再度當營養源使用，以達永續的目標。

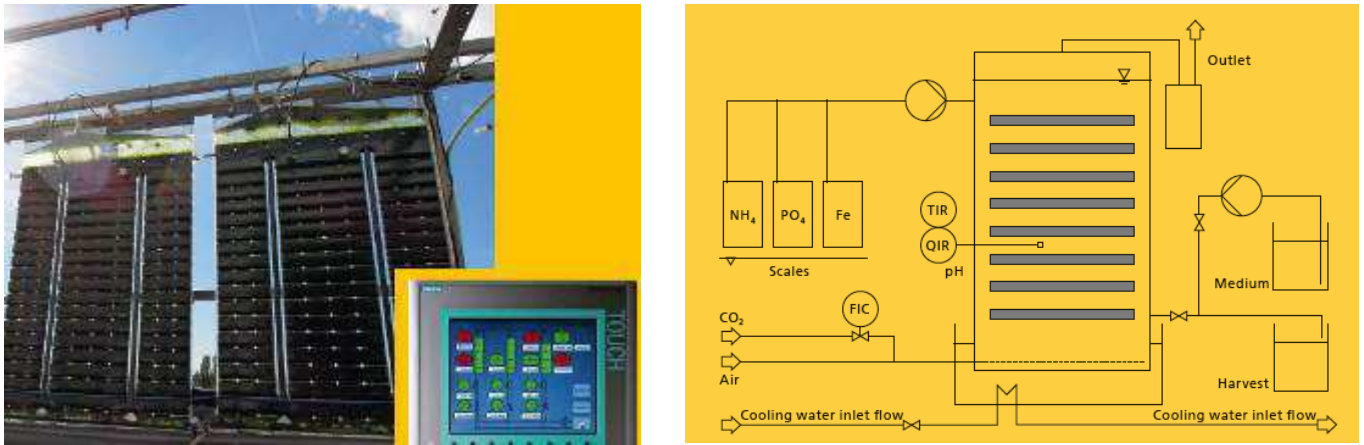


圖 8、微藻養殖自動化系統。

目前平板式光合生物反應器之自動化研究參與廠商包含，汽車大廠 Daimler AG、能源公司 EnBW Energie Baden-Württemberg AG 等單位。



圖 9、陳寶東(左二)、翁竣翔(左一)與 Ulrike Schmid-Staiger 博士(中)合影。

1.2 分子生物科技組

分子生物科技組的研究方向是由可再生的生質物，包含木質纖維素(lignocellulose)、油脂(oils)、幾丁質(chitin)、蒲公英(dandelion)、微藻等為原料(圖 10)，利用生物製程，如糖化、分離、純化、發酵等程序，生產附加價值高的產品，再結合分子生物科技及基因科技，提高生物反應的專一性，目標為生產化合物單體、特用化學品、界面活性劑、油脂、蛋白質、特用酵素等，開發生質精煉製程，減少對石化來源化學品的需求。

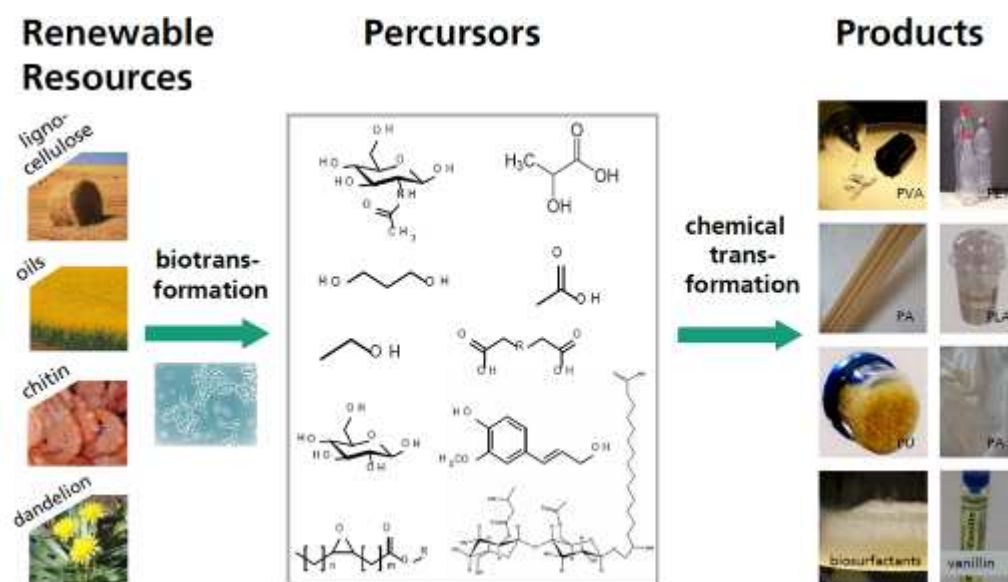


圖 10、分子生物科技組研究領域。

在木質纖維素的研究方面，利用木質纖維素，如農林廢棄物生產酒精之技術已研究多年，但成本仍高，尚未大規模使用，因此該單位開發可同時取得木糖(xylose)、木質素(lignin)及葡萄糖的技術，希望可以大幅提升此技術的經濟效益，尤其是希望能提高木質素的價值，如此才可讓此技術達經濟可行。如圖 11，此研究採用高溫酒精/水作為溶劑，首先將木質素萃取出來，之後在以酵素將纖維素及半纖維素水解，如此即

可獲得葡萄糖及木糖。獲得之五碳糖經厭氧發酵可做為酒精或是乳酸；獲得之六碳糖，經好氧發酵可得生物界面活性劑及醋酸，厭氧發酵則可得酒精或是乳酸。木質素則可經過純化，或是物理、化學、生物方式轉化為木質素寡聚物，可研究其未來之應用性。

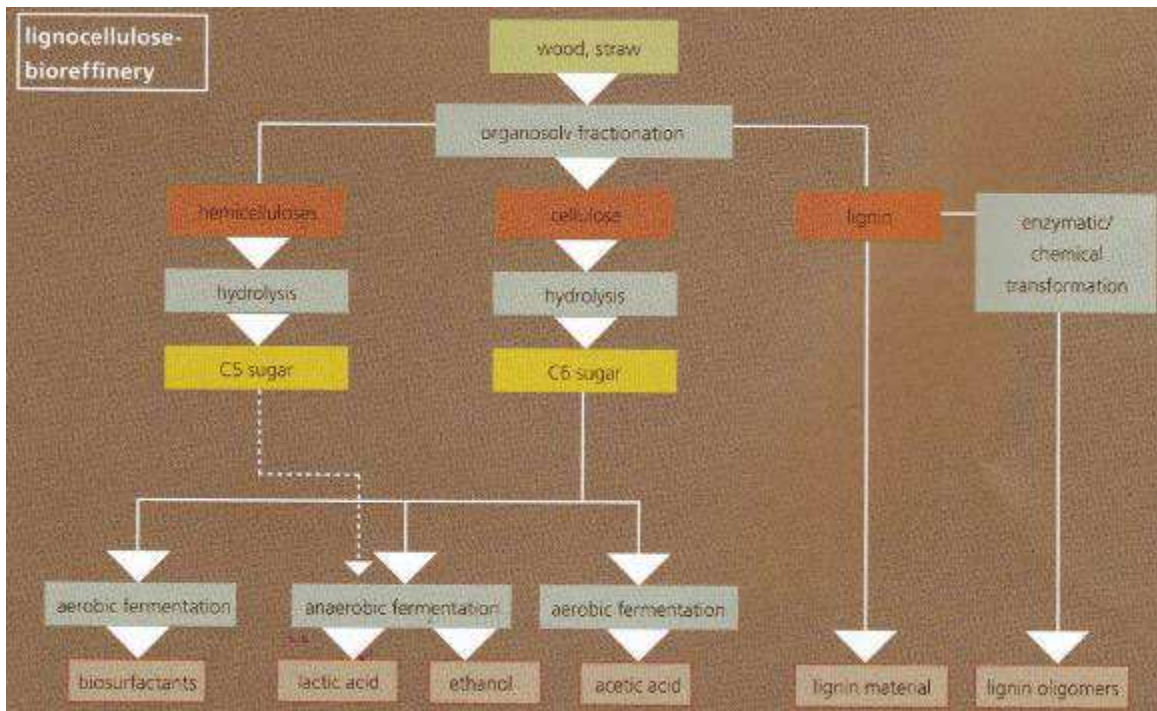


圖 11、木質纖維素生物精煉。

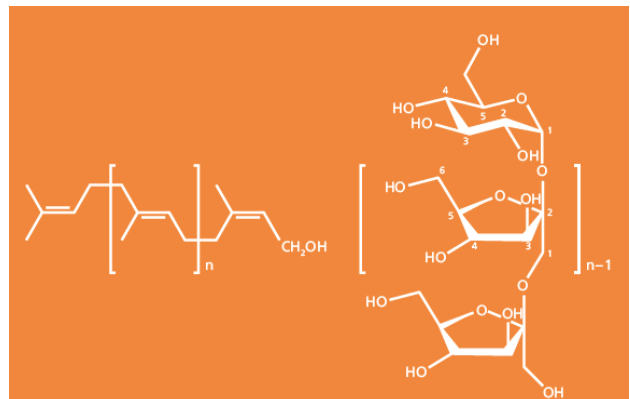


圖 12、俄國蒲公英照片及菊糖之分子式。

每年橡膠全球使用量約 2760 萬公噸，其中 2/3 使用於輪胎。長久以來橡膠生產皆由橡膠樹而來，這些植物生長在熱帶地區，北半球無法生長，因此研究出適合生產橡膠之植物，對北半球的經濟效益很大。如圖 12，目前可由俄國蒲公英(dandelion, *Taraxacum koksaghyz*)之根部萃取乳膠(latex)，其中橡膠佔乳膠之 30%。在製程方面，傳統橡膠製程已經使用 60 年，但仍有改善的空間，IGB 已開發純化乳膠的程序，並將放大。另外利用水熱法，取代原有蒸氣法，可將菊糖(inulin)等果聚糖類萃取出，菊糖在醫藥工業有許多用途，屬高經濟價值，亦是研究方向。

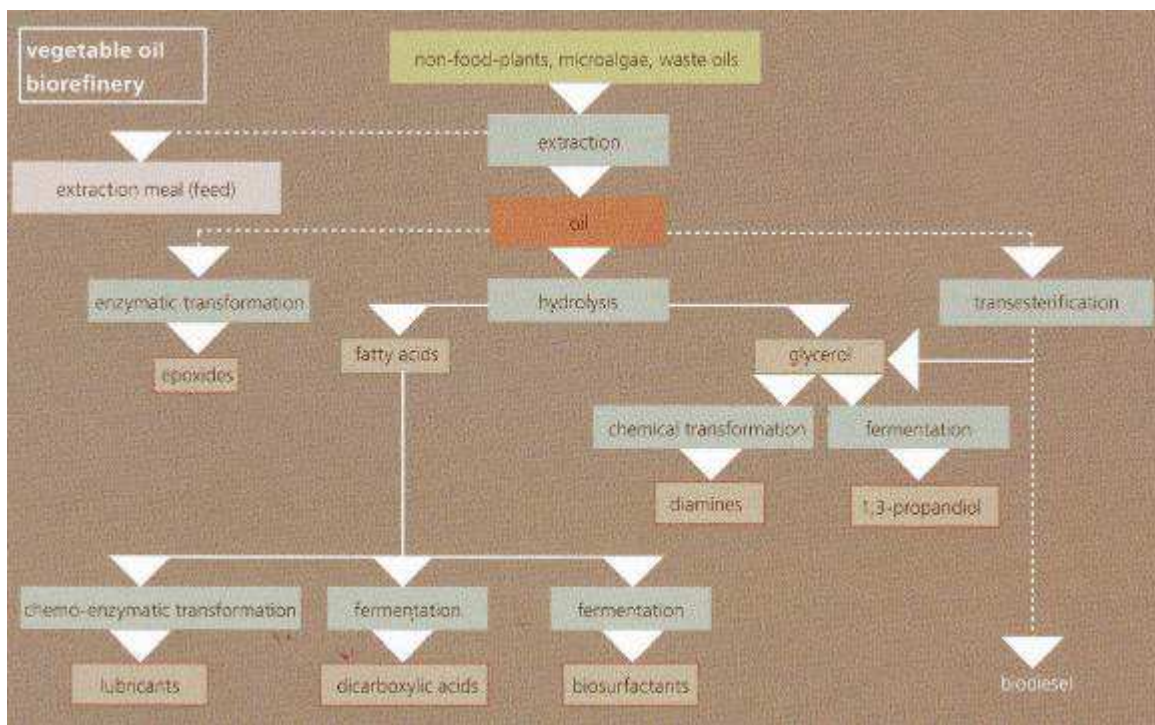


圖 13、油脂生物精煉。

油脂生物精煉(圖 13)乃藉由非食用植物、微藻及廢棄油脂當料源，發展潤滑油、二元酸、生物界面活性劑、二胺、1,3-丙二醇及生質柴油等。含油生質物經萃取，先將可當食物的部分取出，剩餘的油脂，可由三個程序可選擇：一為利用酵素轉化，可

得環氧化物；第二種方式將油脂水解，可得脂肪酸及甘油，脂肪酸經轉化及發酵，可得潤滑油、二元酸及生物界面活性劑，而甘油亦可做為二胺及丙二醇的原料；最後一種方式是大家熟知，將油脂轉酯化，可得生質柴油。

幾丁質(chitin)是地球上含量相當多的生物高分子，他是由 beta-1,4-linked N-acetylglucosamine (NAG)聚合而成，NAG 是一個用途相當廣的糖類，可用於保健食品、生醫原料、化妝品等方面，價值相當高，甲殼動物及昆蟲中含大量的幾丁質，歐洲每年約有 75 萬噸含幾丁質的廢棄物產生，如何經濟有效的將幾丁質由廢棄物中萃取出，是相當有利基的研究。該單位利用微生物，結合分子生物技術，可將幾丁質分解為 NAG，大大提升廢棄物之價值。



圖 14、陳寶東(左一)、Sabine Krieg 小姐(中)、Susanne Zibek 小姐(右)合影。

1.3 高分子介面與材料組

該組計有材料界面、顆粒系統、電漿製程、表面分析等研究領域，目標為開發產品並提供相關之服務。在材料界面研究領域，由材料的合成、材料官能化、鍍膜、鑑定及應用，一貫整合，開發之產品可為薄膜(thin film)、不織布、分離膜、奈米顆粒及奈米碳管等，以分離薄膜為例，開發之無機薄膜可應用於氫的分離及氧的分離，開發之混合材料薄膜可應用於燃料電池及純水的分離。

顆粒系統係開發可改質之核殼(core shell)奈米粉體，可用於藥物釋放與輸送、生物相容與生物可分解之粒子、有機與無機複合材料、生物晶片之感應器、磁性奈米粒子、墨水、酵素之固定化等，相當具有開發的潛力。

電漿製程可用於清洗、殺菌之生醫用途；材料表面之改質，提高物體表面的耐磨力；電漿修飾後之材料則可改變表面的親疏水性，另可減少摩擦力，讓材料有更多的應用性。

表面分析之研究主要提供技術服務(圖 15)，如掃描式電子顯微鏡/能量散射光譜儀、化學分析影像能譜儀/x 射線光電子能譜、接觸角分析儀、多波長干涉儀等，均對了解表面之微觀及巨觀性質有相當大的幫助。



圖 15、表面分析領域研究設備。

1.4 塗料系統及技術組

IPA 依其 5 大應用領域(汽車工業、機械、電子及微系統、能源工業及醫學工程)及 4 大技術(製造、表面、自動化及製程)，分為 14 個組，該單位利用矩陣式的組織，相當具有彈性，並且可以整合不同領域技術。拜訪之部門塗料系統及技術組之主要技術領域為表面技術，提供廠商塗部技術的研發服務，包含(1)顏料及黏結劑的開發、配方開發及最佳化(2)新塗料技術的評估及物理特性分析(3)顏料塗佈及模擬(4)塗佈設備設計及最佳化。目前有進行生質材料作為黏結劑及防腐蝕開發，將染料奈米化可減少用量，並降低成本，認為塗料產品的發展可朝廷長使用壽命，如此即可降低成本並且朝永續的方向發展。該組與產業互動相當多，尤其 Michael Hilt 博士的產業經驗豐富，相關資料可供本所材料部門參考。

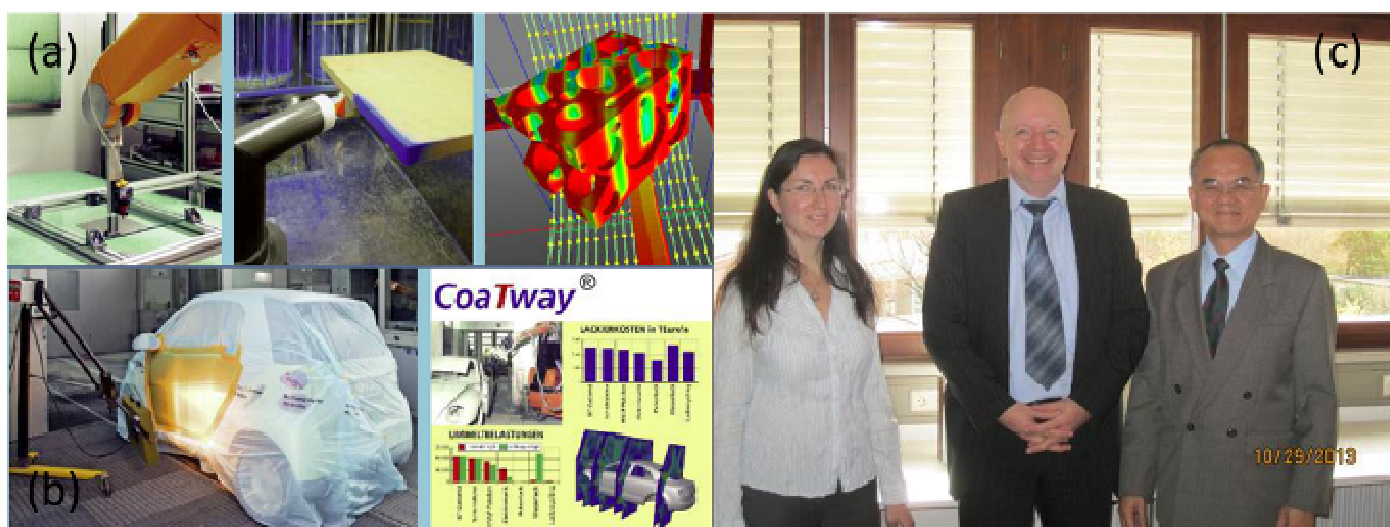


圖 16、(a) 顏料塗佈及模擬技術(b)塗佈設備設計及最佳化(c) Irina Zvonkina

博士(左)、Michael Hilt 博士(中)、陳寶東(右)。

2. 荷蘭 Wageningen University

Wageningen University 為荷蘭著名高等學府，以健康食物及健康居住環境為其主軸，目前有 6500 位教職員及來自 100 個國家的 10000 名學生，是一個相當國際化的大學。R.H. (Rene) Wijffels 教授為該校 Chair of Bioprocess Engineering，著作等身，為藻研究曾發表在著名期刊 Science 上[5]，顯示在微藻領域相當傑出，也因此，計有 ExxonMobil、Neste Oil、Total、BASF、DSM、Unilever 等 19 家國際著名公司參與其提出的研究計畫，目前該實驗室建造一個可同時評估四種自營性微藻生長之研究設施，包含開放式跑道池、水平圓柱光反應器、垂直模組之水平圓柱光反應器、平板光反應器，希望能由實驗室的結果，逐步放大與驗證，預期 10-15 年將微藻產油技術商業化。

2.1 AlgaePARC 簡介

AlgaePARC 全名為 Algae Production And Research Center，建立於 2010 年，花費約 330 萬歐元，目的為開發經濟且永續之戶外微藻養殖方法。其特點為，建立了 2.4 m² 及 24 m² 的各式微藻養殖設施，介於實驗室之基礎研究及示範規模試驗之前(如圖 17, 18)。其研究之流程為，經由實驗室基礎研究，篩選出優良的藻種，不同藻種先在 2.4 m² 的系統試驗，進行營養源的優化並驗證實驗室的培養條件，若成功，則可放大到 24 m² 的系統，進行長時間(1 年)的試驗，可進行培養條件的高精度控制與維持，模擬大規模養殖，獲得之資訊可供大規模微藻養殖設施設計及技術精進之用；若 2.4 m² 培養失敗，則再進行實驗改進，或是不再使用該方法或藻種。

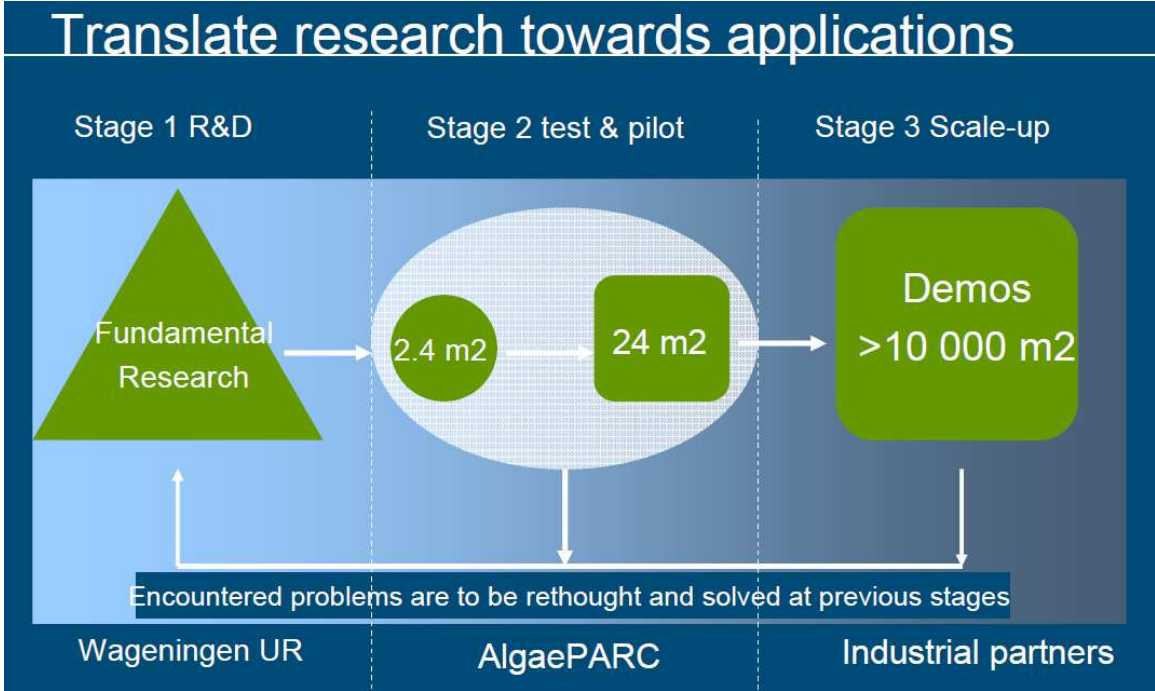


圖 17、AlgaePARC 之研究概念圖[6]。

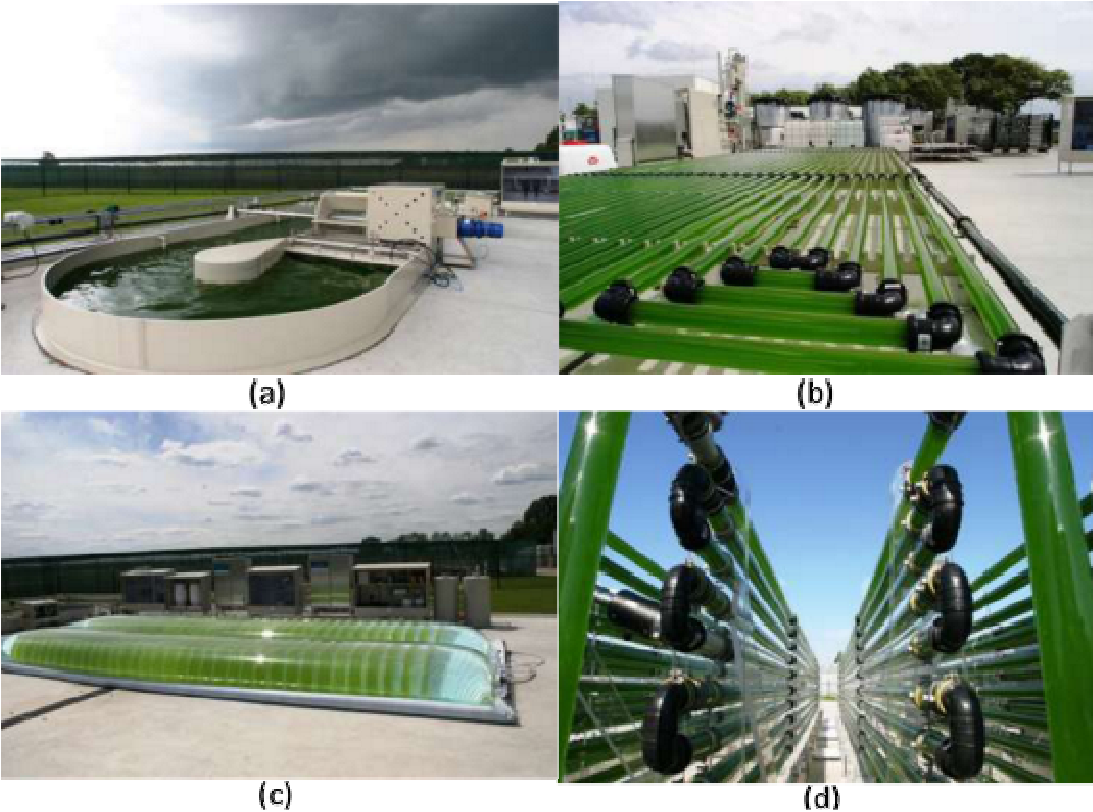


圖 18、AlgaePARC 之 4 種 24m² 微藻養殖設施(a)開放式跑道池(b)水平圓柱光反應器(c)垂直模組之水平圓柱光反應器(d)平板光反應器[6]。

2.4 m² 養殖若成功，進入 24 m² 研究階段，AlgaePARC 有開放式跑道池

(Ingrepro)、水平圓柱光反應器(Paques)、垂直模組之水平圓柱光反應器(Paques)、平板光反應器(ProviAPT system)，因此可同時進行四種培養方式的評估，若有發現問題，可先在實驗室內研究解決方案，成功後再一步一步驗證。表 4 為四種微藻培養方式之比較，目前四種培養方式生產微藻油脂之成本仍高於棕櫚油市價(~0.5 Euro/kg)，未來仍有改進的空間。

表 4、四種微藻培養方式之比較。

	開放式跑道池	水平圓柱光反應器	垂直模組之水平圓柱光反應器	平板光反應器
長度(m)	-	80	80	-
光徑(cm)	20	4.6	4.6	2
養殖體積(m ³)	4.8	0.54	1.22	0.84
可受光面積/養殖體積(m ² /m ³)	5	63.7	61.6	100
優點	1.建造成本較低 2.技術成熟 3.不需溫控	1.控制容易 2.密閉系統 3.生長濃度較高	1.控制容易 2.密閉系統 3.光照較適宜	1.建造材料便宜 2.需溫控 3.生長濃度較高
缺點	1.較易受污染 2.水份蒸發 3.較不易操控 4.生長濃度低	1.光照過高 2.氧氣累積	1.氧氣累積 2.建造成本高	1.設備耐用性較差 2.需曝氣
製造商	Ingrepro	Paques	Paques	ProviAPT system

2.2 該團隊參與之研究計畫

該團隊的研究經費主要來自歐盟第七期架構計畫(European Seventh Framework Programme, FP7)，FP7 為歐盟相當大的科技研究資助計畫，旨在透過研究、教育及創新，使歐盟成為具競爭力的知識經濟體，FP7 徵求 2007-2013 年的計畫書，該團隊透過 FP7，參與了三個大型的研究計畫，分別為 Sustainable PoLymerS from Algae Sugars and Hydrocarbons (SPLASH)[7]、Integrated Sustainable Algae (InteSusAl) [8]、Future European League for Microalgal Energy (FUEL4ME) [9]及 ALGADISK[10]。

2.2.1 SPLASH

SPLASH 總經費 1210 萬歐元，其中歐盟出資 894 萬歐元，為一個四年期的研究型計畫(2012.09.01-2016.08.31)，目標為利用(1)微藻及叢粒藻(*Botryococcus braunii*)發展生質再生材料，如糖類、碳氫化合物及高分子等的技術平台，(2)系統生物學分析微藻，(3)發展萃取及分離技術，(4)產品開發，共有 19 個單位參與，其中 40%來自業界，60%為研究單位。計畫中使用的微藻分為兩個部分，一為利用叢粒藻藻體生產碳氫化合物，二為將叢粒藻基因移轉至衣藻(*Chlamydomonas reinhardtii*)中，生產碳氫化合物。此計畫希望利用微藻生產可合成聚酯(polyesters)及聚烯烴(polyolefins)之單體，主要利用糖(galactose、glucose、rhamnose、rhamnose、fucose)及石油腦(green naphtha)生產單體，如己二酸(adipic acid)可由半乳糖(galactose)轉化而得，2,5-呋喃二甲酸(2,5-furandicarboxylic acid)可由葡萄糖、鼠李糖(rhamnose)、岩藻糖(fucose)轉化而得，乙炔及丙烯可由石油腦轉化而得。

2.2.2 InteSusAI

此計畫由英國 CPI 公司主導，共 6 各單位參與，執行期間由 2011.05.01 至 2015.10.31，目的是要建立一個可工業化且具永續性的微藻示範設施，藉由自營性微藻搭配異營性微藻養殖，建立一個每年每公頃可生產 90-120 噸微藻的整合型設施。

如圖 19 所示，異營性微藻利用甘油當作碳源養殖後，經採收及油脂萃取後，藻體、剩餘營養源及異營發酵產生之二氧化碳供自營性微藻生長，藻油脂則經轉酯化產生生質柴油及甘油，生質柴油可供燃料使用，甘油則可再循環供微藻異營發酵使用；異營微藻油脂萃取後剩下之藻體、剩餘營養源及二氧化碳供自營性微藻生長使用，經採收及油脂萃取剩餘之營養源供自營性微藻生長再使用，微藻油脂則經轉酯化生成生質柴油供燃料用。預計進行生長條件最佳化及降低採收成本、整合跑道池及異營發酵槽、建立一個一公頃的微藻整合養殖設施、規劃一個 10 公頃的示範設施、進行生命週期評估，最後驗證產能，以 90-120 公噸/公頃/年為目標。

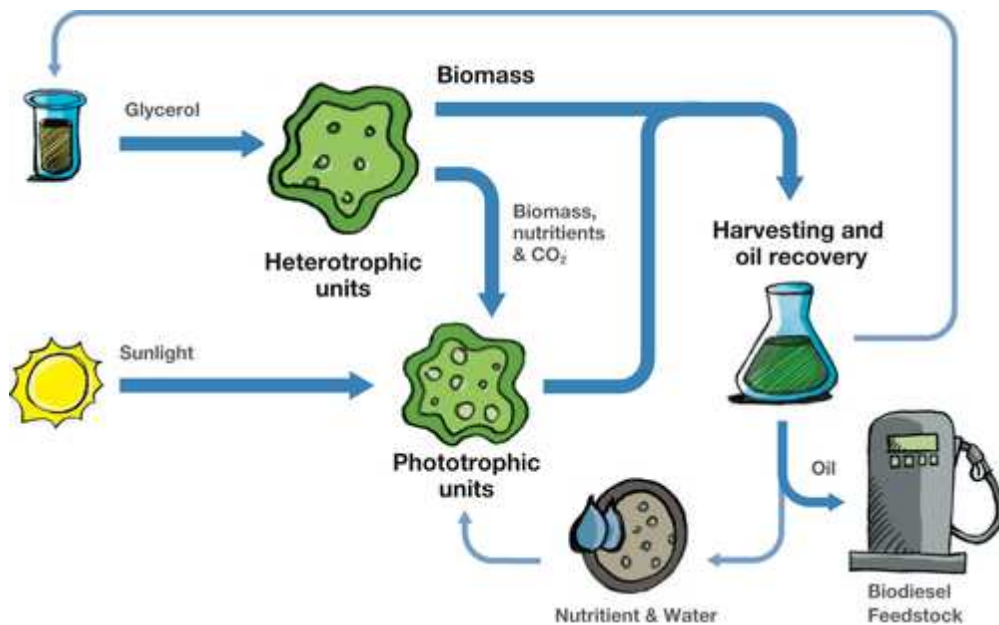


圖 19、InteSusAI 研究概念圖[8]。

2.2.3 FUEL4ME

此計劃執行期間由 2013/01 至 2016/12，為期四年，經費 401 萬歐圓，共 11 個單位參加，是個跨國合作計畫，計有以色列、英國、荷蘭、芬蘭、西班牙、丹麥、奧地利及義大利等國參與，目標為發展經濟可行的連續式微藻產油技術，包含將微藻產油步驟由兩步縮減為一步、開發連續式藻體全株利用方法、整合上述產油及微藻利用方法，包含上游養殖及下游採收萃取之最佳化，此計劃將利用廢水及廢氣生產微藻，並將實際於四個不同國家進行微藻的生產(荷蘭、以色列、義大利及西班牙)，最後相關成果將進行經濟分析及生命週期評估，以了解此整合製程之可行性。

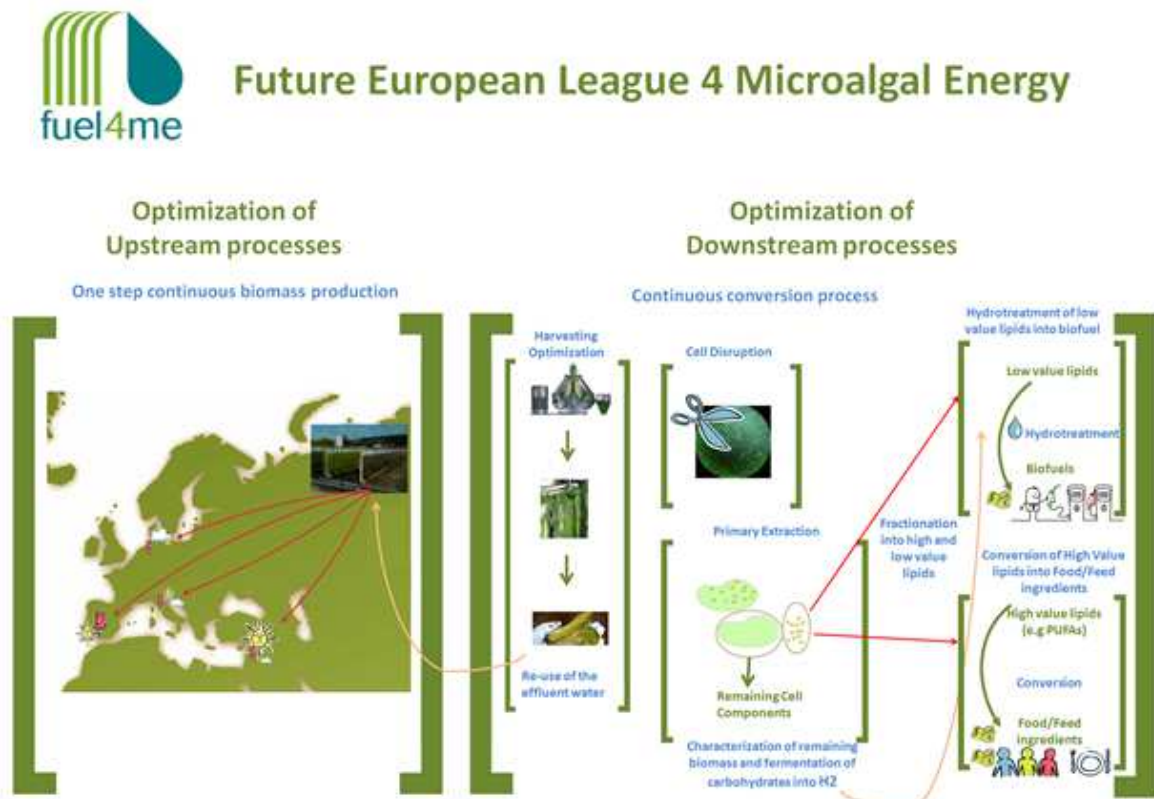


圖 20、FUEL4ME 研究概念圖[9]。

2.2.4 ALGADISK

ALGADISK 目標為建立可模組化、可放大的自動化、低操作成本之薄膜生物反應器(Biofilm reactor)，供歐盟中小企業進行二氧化碳轉化為微藻產品，此系統將可捕捉氣相及在液相的二氧化碳，生長之微藻將被用於生產高價的有機物，同時，將設計自動化連續微藻採收設備，使得二氧化碳固定量最大化。另外，將提供設計軟體，使用者輸入基本資料後，將可提供建造參數、經濟成本評估及環境永續性評估資料。

此計畫期間為 2012.1.1-2014.12.31 共 12 個單位參與，Wageningen University 負責微藻大量生產之研究，包含反應器設計、藻細胞生化研究、質傳模擬。現已測試實驗室內密閉式養殖，並連續監測氧氣及二氧化碳，目前所獲得之產率約 $17 \text{ g/m}^2/\text{d}$ (平板面積)。



Day 1 | Disk after inoculation



Day 8



Day 16 | Before harvesting

圖 21、ALGADISK 之旋轉式反應器[10]。

2.3 微藻技術研討

Wijffels 教授認為海上養藻應是可行的，因海水具有溫度緩衝的功能，目前海上養藻的失敗是因嚴峻的氣候條件，如颱風或颶風的侵襲，此方面問題可利用浮力，當颱風侵襲時，將養殖設施降到海面下，如此即可避免自然災害。Wijffels 教授目前養殖的微藻均以海水養殖為主，但應視藻種選擇適合的培養條件。

微藻養殖以兩階段培養，如此才能讓微藻累積油脂或是醣類，此與微藻的藻種有關，兩階段培養程序為，第一段約 8 天培養後，OD₇₅₀ 可由 0.2 提升至 4.25(200 倍)，此時 Quantum yield 維持在 0.7，接著將藻液以缺氮但含 NaCl 之等滲透壓溶液稀釋約 10 倍(OD₇₅₀ = 0.5)，再培養 8 天，此時可發現 OD₇₅₀ 仍可上升至 2.0，但 Quantum yield 會由 0.7 降至 0.4，此時即是採收最佳時刻，油脂已累積。目前微藻生長速率可達 100 T/ha/y (每年工作天 300 估，約 33 g/m²/d)，以含油量 20%估，則油脂產率約 20 T/ha/y。光合作用效率及 quantum yield 的計算方式可以糖、油脂、蛋白質的比例，用熱值換算，或是利用燃燒法求得熱值，再來估算。

目前四種微藻生產油脂方式皆不經濟，高於 0.5 Euro/kg，尚無法大規模生產微藻油脂。二氧化碳質傳的計算，可以質量平衡的方法來估算。自營性微藻養殖的生命週期評估結果顯示，目前仍需外加能量，未來仍需精進微藻養殖方法，才可達永續性。

微藻體內高價的 FAA/lipid 萃取方法將與廠商合作，大部分廠商關心是最終產品，對製程與藻種較不在意。異營產油是較快的方法，但碳源的來源將是個問題。以異營發酵的方法生產 DHA 是經過約 10 年的開發，才將此方法商業化，因此自營方法生產

油脂，也需再 10-15 年的時間，才有機會。廢水養藻是可行的方法，但會降低油脂的產量。



圖 22、翁埈翔(左)、Wijffels 教授(中)、陳寶東(右)合影。

肆. 心得及建議

4.1 Fraunhofer 現為德國最大，也是歐洲最大的科技應用導向型研究機構，其非營利特性與國內財團法人，如工業技術研究院及金屬工業中心等相當類似。Fraunhofer 為企業開發新技術、新產品及新製程，並致力於開展國際合作，現在美國設有研究中心，在亞洲若干國家設有代表處，未來可多了解其技術能量，引進對公司有利的關鍵技術，以期貢獻公司的獲利。

4.2 歐盟 FP7 是一個鼓勵跨國合作的研發支助機制，國內學界及產業界在其他領域已有參加 FP7 的研究計畫，微藻領域未來亦可評估參與歐盟計畫，如 EU2020 計畫的可行性。

4.3 歐陸大部分的國家，包含德國及荷蘭等，其緯度均較台灣高，平均氣溫亦低於 15 度，且冬天下雪結冰，並不具大規模培養微藻的氣候條件，但微藻領域已持續 16 年以上的研發，並且有許多跨領域的研究；反觀國內雖然有相當優良的微藻養殖產業，但似乎較保守，仍僅固守在微藻食品及微藻原料產業，未來希望能與國內產學界合作，開發綠能環保的微藻培育及利用方式。

4.4 此次出國 8 日，往返路程及移動日共 5 日，佔 62%，建議未來若是到歐洲參加會議，規劃之參訪時間可增加，提高至歐洲參訪的效益。

伍. 參考資料

[1] Bio-reactor for the cultivation of micro-organisms and method for the production thereof, EP 1326959 B1 ◦

[2] Subitec GmbH 網站：

<http://subitec.com/en/laboratory-reactors>

<http://subitec.com/en/fpa-reactor>

<http://subitec.com/en/pilot-plants> ◦

[3]<http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/gsm-sep09/15-AlgaeBiorefineryWorms0909.pdf> ◦

[4]http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dlr.de%2Fft%2FPortaldata%2F41%2FResources%2Fdokumente%2Fess_2013%2FESS2013_DLR_Energetische_Nutzung_Algen_Schliessmann_IGB.pdf&ei=CFG4Uu_kLYXskAXvjGoBw&usq=AFQjCNE0NwCo1Od3laTi-kykz84Lx7Cug ◦

[5] René H. Wijffels and Maria J. Barbosa, An Outlook on Microalgal Biofuels, Science (2010), 329, 13, 796-799 ◦

[6]http://www.phyco.org.tw/caa/0826/Dr%20Wijffels_An%20outlook%20on%20microalgal%20biofuels.pdf ◦

[7] Sustainable PoLymers from Algae Sugars and Hydrocarbons (SPLASH) 網站：

<http://www.eu-splash.eu/>

http://cordis.europa.eu/projects/rcn/104994_en.html ◦

[8] Integrated Sustainable Algae (InteSusAl) 網站：

<http://intesusal-algae.eu/home/> ◦

[9] Future European League for Microalgal Energy (FUEL4ME) 網站：

<http://setis.ec.europa.eu/energy-research/project/future-european-league-4-microbial-energy>

<http://www.wageningenur.nl/en/show/FUEL4ME-Future-European-League-for-Microbial-Energy.htm> ◦

[10] ALGADISK 網站：<http://www.algadisk.eu/> ◦