

出國報告（出國類別：其他）

**參加美國第39屆能源及化學品生技研討會
(Symposium on Biotechnology for
Fuels and Chemicals)**

服務機關：台糖公司研究所

姓名職稱：李岱冀 (化學師)

派赴國家：美國

出國期間：106年4月27日 ~ 106年5月06日

報告日期：106年6月30日

摘 要

本次赴美出差前往美國加州舊金山，行程目的為參加 39 屆 **Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals** (簡稱 SBFC)。SBFC 為全美規模最大之生質能源研討會之一，舉辦會場在市中心城區萬豪飯店(Marriott Hotels)之會議中心，期間自 2017 年 5 月 01 日到 5 月 04 日。今年與會的各界專家學者人數約五百人，共有 93 場演講。另有 239 篇壁報論文發表。議程包羅萬象，涵蓋自學術研究、產業發展乃至於政策走向等。此次會議內容主題以生物精煉(biorefinery)、生物轉化(bioconversion)、醱酵為主軸，探討從上游料源、製程加工處理、到下游能源/化學品等目標產品(target end products)的生產製造。參與此次會議除收集最新技術研發成果及產業動態外，也擴展視野，激發研發構想。本報告針對其中一些主題，就專家學者發表之研究成果及會議見聞整理摘錄分享，並提出心得及建議。

目 次

摘要.....	2
本文	
一、目的.....	4
二、行程.....	4
三、大會議程內容 (Program Contents).....	4
(一)、開場演講 (Opening Lectures).....	5
(二)、大會主題會議 (Plenary Sessions).....	5
(三)、壁報展示 (Poster Sessions).....	17
四、心得與建議.....	24
五、結語.....	26

一、目的

SBFC (Symposium on Biotechnology for Fuels)為美國工業微生物與生技協會(Society for Industrial Microbiology and Biotechnology, SIMB)舉辦之年度研討會，探討工業微生物的現況與未來發展趨勢，包括微生物技術開發應用、微生物特製化學品與綠色能源開發等等，經常發表前瞻性的研究成果，為全美規模最大之生質能源/化學品、生物精煉相關之研討會。本次參加會議旨在瞭解產業的現況與發展趨勢，一窺國際產業動態市場資訊及發展趨勢，收集第一手的相關技術進展，並與與會人員經驗交流，提供公司未來研發之參考。

二、行程

日期	行程及地點	工作摘要
106/04/27	台南→桃園→舊金山	出發
106/04/28-30	舊金山	停留休息
106/05/01	舊金山	1. 大會報到 2. 參加第 1 天開幕式及大會專題講座 (聆聽演講及資料蒐集) 2. 參加招待會(Reception)及壁報研討會 (Poster Session)
106/05/02	舊金山	1. 參加第 2 天大會專題講座 (聆聽演講及資料蒐集) 2. 參加招待會(Reception)及壁報研討會 (Poster Session)
106/05/03	舊金山	1. 參加第3天大會專題講座 (聆聽演講及資料蒐集) 2. 參加特別專題(Special Topics)
106/05/04	舊金山	1. 參加第 4 大會專題講座 (聆聽演講及資料蒐集) 2. 參加大會閉幕晚宴(Evening Banquet)
106/05/05~06	舊金山→桃園	返程
106/05/06	桃園→台南	返程

三、大會議程內容

此行公務出國係參加美國SIMB第39屆Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals(SBFC)，超過5百人參與此盛會。舉辦會場在美國舊金山市中心城區萬豪飯店(Marriot Hotels)會議中心，為期4日(2017年05月01日到05月04日)。議程範圍包羅萬象，含括基礎學理、工程應用、商業化發展乃至於政策走勢，產學特性兼具，歷年皆吸引一些相關

領域學者及全球尖端公司派員與會，議題方向十分切合當前台糖公司發展需求。

研討會議程分為主題會議(plenary presentation)與壁報展示(poster session)兩大部分。主題會議口頭論文宣讀(Oral presentation)部分，共計有14個session(包括2個Special Topics)，共有93場演講。另有239篇壁報論文發表。

(一)、開場演講 (Opening Remarks)

開幕式由大會主席簡短致詞，闡述大會宗旨，據聞往年皆會延請相關產業或重量級學者泰斗蒞會發表開場致辭，描繪產業方向或當今創新突破。今年改以Rapid Fire Poster Showcase，邀請壁報展示人員輪流上台，用1-2分鐘時間簡述個人學經歷背景及研究成果亮點，以鼓勵後進及促進會後交流合作。

(二)、大會主題會議 (Plenary Session)

此次會議主題架構為圍繞以生物精煉(biorefinery)、生物轉化(bioconversion)、醱酵為核心主軸，導向下游能源/化學品等目標產品(target products)的生產製造。探討面向從上游料源、製程加工處理(process)、各種工程技術層面(遺傳工程、酶學、代謝工程、合成/系統生物學等)應用於製程及平台的改善優化，以及生產效益分析等。講題項目內容見表一，大致可歸納下列幾個領域: (1) 可再生料源(Renewable Feedstocks) (2) 料源預處理(Feedstock pretreatment) (3) 酵素(Enzymes or Biocatalysts) (4) 燃油、化學品及生物產品(Fuels, Chemicals, and other Bio-based Products) (5) 品系開發、特性及應用(Strain development, Charaterization & Application) (6) 合成及系統生物學(Synthetic & System Biology)。

表一、大會主題會議(plenary session)內容
Session 1: 預處理 I - 細胞壁改變及轉化影響 (Pretreatment I - Cell Wall Changes & Conversion Impacts)
Session 2: 生物產品 I - 來自糖及木質素之化學品及聚合物 (Bioproduct I - Chemicals and Polymers from Sugars and Lignins)
Session 3: 生物加工及分離 (Bioprocessing and Separation)
Session 4: 預處理 II - 木質素處理及木質素生物產品 (Pretreatment II - Manipulating Lignin and Lignin Products)
Session 5: 酵素 I - 改造與特性分析 (Enzyme I - Engineering and Characterization)
Session 6: 生物產品 II - 非乙醇產品 (Bioproducts II - Beyond Ethanol)
Session 7: 料源 I - 植物細胞壁化學 (Feedstocks I - Impact of Plant Cell Wall Chemistry)
Session 8: 品系 I - 開發、特性及應用 (Strain I - Development, Characterization, and Application)
Session 9: 特別演講 - 尖端生物精煉場商業化進展 (Special topics - IEA task 39)

Cosponsored: Progress in Commercialization of Advanced Biorefineries)
Session 10: 特別演講 - 混合燃料技術 (Special Topics - Hybrid Technologies)
Session 11: 生物產品 III - 各式平台 (Bioproducts III - Diverse Platforms)
Session 12: 品系 II - 合成及系統生物學 (Strains II - Synthetic and Systems Biology)
Session 13: 酵素 II - 協同與結構功能 (enzyme II – Synergy and Structure/Function)
Session 14: 料源 II - 生長、收成、加工之影響 (Feedstocks II – Growth, Harvesting and Processing Impacts)

由於討論主題眾多，難免同一時段有兩個session同時進行，無法兼顧，因此聽講主題挑選重點，聚焦於契合台糖公司當前產業規劃方向切身相關的主題，以及結合部分個人專業興趣，難免有遺珠之憾。茲將本次與會所聆聽之演講內容以及現場討論摘錄彙整後分享。

1、料源 (Feedstocks)

(1) 植物細胞壁化學組成對於料源利用的研究 (Impact of plant cell wall chemistry)

A. 改善生物質料源及加值化之遺傳工程策略 (Genetic engineering strategies for improving biomass feedstocks deconstruction and valorization)

(Aymeric Eudes, *et al.*, Joint BioEnergy Institute, Emeryville, CA, USA)

- (a) 木質素有頑抗分解的特性 (recalcitrance)，不利於農業加工業 (agro-processing industries) 中用作植物生物質料源，或作為可再生糖的來源以生產生物產品。
- (b) 木質素的建構組元 (building blocks) 其代謝合成步驟屬於莽草酸 (shikimate) 和苯丙素途徑 (phenylpropanoid pathways)。
- (c) 減少木質素含量的植物遺傳工程可採用基因敲除 (gene knockout) 或基因沉默 (gene silencing) 技術來抑制其中一種代謝途徑。
- (d) 新策略以特定時空調節 (spatio-temporal control) 方式調控生合成途徑，控制木質素沉積 (lignin deposition)，干擾正常細胞壁木質化 (cell-wall lignification) 過程。
- (e) 此構想已先在阿拉伯芥 (*Arabidopsis thaliana*) 模式植物得到驗證。
- (f) 此策略應用到能源作物 (bioenergy crops) 如楊樹 (poplar) 和柳枝稷 (switchgrass) 時驗證可行。一例是在木質化植物組織中以質體定向表達 (plastid-targeted expression) 生成外源 *qsuB* (bacterial 3-dehydroshikimate dehydratase)，用於干擾木質素合成和原兒茶酸化學前體 (protocatechuate precursor) 的積累。另一例是藉由過度產生 (over-produce) 化學中間體 (intermediate) 代謝物，來回饋抑制 (feedback inhibition) 木質素生合成途徑 (lignin biosynthetic pathway) 的關鍵酶反應步驟。
- (g) 此新穎的基改策略除了改進生物質轉化為可發酵糖類，也使 co-products 和化學前體在植物體內累積，加值生物質之轉化。

B. 優化生物質之多醣組成 (Optimizing polysaccharide composition in biomass)

(Andrew Brandon *et al.*, Joint BioEnergy Institute, Emeryville, CA, USA & University of Melbourne, Melbourne, Australia)

- (a) 生物質主要由植物細胞壁的複雜多醣組成，但細胞壁的五碳糖(C5 sugar, 例如源自半纖維素之木糖和阿拉伯糖)比六碳糖(C6 sugar)(源於纖維素之葡萄糖)，更難轉化成生物燃料/化學品。
- (b) 因乙酸鹽(acetate)是後續生物轉化的酵母之抑制劑，由此若開發改造出具有較高C6/C5 sugars ratio，以及細胞壁中低乙酸鹽含量的基改植物，則有利提供後續生物轉化發酵之料源。
- (c) 鎖定針對半乳聚醣(galactan)和木聚醣生物合成相關的酶和基質轉運蛋白(substrate transporters)基因改造biomass組成。
- (d) 演講者該團隊試驗發現通過過量表達六碳糖多醣(C6 sugar-rich polysaccharides)糖基轉移酶(glycosyltransferases)，或抑制五碳糖多醣(C5 sugar-rich polysaccharides)的合成酶，或藉由調節UDP-Gal和UDP-Xyl transporters的表達，均能改進能源作物植物細胞壁中C6/C5 sugars ratio。
- (e) 此改造的植物在正常生長條件下與野生型外觀無法區分。
- (f) 細胞壁組成改變可能改變逆境適應力(resilience)。當中這些基因改造植物的耐旱性(drought tolerance)增加。

(2) 料源 - 生長、收成、加工處理 (Growth, harvesting and processing impact)

A. Biomass formulation to control feedstock properties for thermochemical conversion

(Charles Edmunds *et al.*, The University of Tennessee, Knoxville, TN, USA)

- (a) 木質生物質(woody biomass)(如森林殘渣和能源作物)為可以促進燃料和化學品持續生產的再生資源。然而這些原料必須既高品質又低成本，以利大型生物精煉廠成功商業化運轉。
- (b) 高灰分含量(ash content)和特定無機物(如鹼金屬和鹼土金屬)不利熱化學轉化過程(thermochemical conversion)，控制這些因子勢在必行。
- (c) 在這項研究利用三種生物質，包括松樹殘渣(pine residues)、全樹混合楊樹(whole-tree hybrid poplar)和柳枝稷(switchgrass)的生物質混合原料，探討控制料源配方(feedstock formulations)可否影響灰分含量和組成。
- (d) 可透過測量灰分含量、無機組成(inorganic composition)、碳含量(carbon content)來分析純料源(pure feedstock)和混合料源(blended feedstock)特性，而另以純料源測量木質素和結構碳水化合物含量(structural carbohydrates content)。
- (e) 使用熱解氣相色譜/質譜(Py-GC/MS)分析這些共混物(blends)的氣相熱裂解(vapor-phase pyrolysis)產物，以評估生物質混合對熱化學轉化的影響。
- (f) 結果顯示特定的無機物(如鹼金屬和鹼土金屬)相較整體灰分含量(overall ash content)，對熱裂解蒸氣產物(pyrolysis vapor products)的影響為大，混合高量松木殘渣產生相對較少的不冷凝氣體(non-condensable gases)和較多的左旋葡聚醣(levo-glucosan)。

(g) 結果表明，混合不同來源的生物質(biomass blending) 以控制料源中灰分和無機物的策略有效。

B. 生物質混合對料源供應及生化轉化效能之衝擊 (Impact of Biomass Blending on Feedstock Supply and Biochemical Conversion Performance)

(Allison E. Ray *et al.*, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID, USA & University of Georgia, Athens, GA, USA)

- (a) 歷來研究開發一直側重於利用農業來源的纖維素料源，而未考慮料源其組成變異 (compositional variability)、可利用性(availability)和供給面(affordability)方面的風險，及其對轉化效能的影響。
- (b) 本講題說明混合料源策略可以解決料源獲取的高成本問題，生物質料源供應系統提供下游生產所需。
- (c) 利用低成本混合料源可避免依賴單一料源資源而產生的高昂成本。
- (d) 本研究中評估了各種草本生物質(herbaceous biomass)、農業廢棄物(agricultural waste)和城市固體廢物(municipal solid waste)二元(binary)或三元(tertiary)混合物的效益和成本。他們開發設計料源/混合物的預測模型可有效地供大規模測試驗證。
- (e) 另外針對生物質混合和生化轉化途徑中細胞壁結構與糖釋放的相關性(correlations)進行了研究。

2、料源預處理 (Feedstocks Pretreatment and Fractionation)

(1) 木質素利用處理及衍生產品(Manipulating lignin and lignin products)

A. 生物精煉概念下的木質素：機會或挑戰？ (Lignin within the biorefinery concept: is it a challenge or an opportunity?)

(Richard P. Chandra *et al.*, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada)

- (a) 在預處理/分餾過程(pretreatment/fractionation process)生物質中的木質素可提供產生 value-added co-products。
- (b) 分餾出分離均勻(homogeneous)、高反應性(highly reactive)、可市售木質素(marketable lignin)經濟上可行。
- (c) 因木質素的干擾，期在低酶量(low enzyme loadings)下生產容易水解的生物質 substrates，仍然是預處理過程的主要挑戰。
- (d) 酸性預處理(如蒸汽)中，木質素通常進行額外的芳香族取代縮合反應(substitution condensation reactions)，損害提取木質素的能力(extractability)。
- (e) 木質素通常在機械預處理後保持不變，但仍然會物理性阻礙酶水解。
- (f) 本講題詳細描述將蒸汽和機械處理過(包括alkaline oxygen、深共熔溶劑DES、磺化和使用碳陽離子清除劑)的substrates，進行改性/除去木質素的各種策略。
- (g) 某些木質素修飾/提取(modification/extraction)，可加值木質素應用，亦減少木本生物質(woody biomass)的抗分解頑固性(recalcitrance)。

- (h) 在蒸汽預處理之前浸漬鹼和氧，可從白楊木中去除58%的木質素，同時將酶水解和半纖維素回收率提高25%。在蒸煮過程(steaming processes)中碳陽離子清除劑(carbocation scavengers)的摻入修飾了木質素，使隨後的木質素萃取提升10-20%，同時將半纖維素回收率提高了20%。

B. 利用木質素衍生之深共熔溶劑進行生物質預處理 (Biomass pretreatment using lignin derived deep eutectic solvents)
(Kwang Ho Kim *et al.*, Joint BioEnergy Institute, Emeryville, CA, USA)

- (a) 深共熔溶劑(Deep eutectic solvent, DES)可作為離子溶劑(ionic liquids, ILs)的廉價替代品。
- (b) 為ILs的一種，它是由不同鹽類混合共熔而成。因此它的熔點較一般單一成份的鹽類為低。
- (c) DES 是以兩種或更多種作為氫鍵供體(hydrogen-bond donors)或氫鍵受體(acceptors)的化合物的混合物，具有 ILs 溶劑特性，介於一般分子溶劑與離子溶劑之間，但在本質上不同於離子溶劑。
- (d) DES 具有具有高黏滯性、低揮發性、不易燃、無毒、生物相容性和生物降解性。
- (e) 此外 DES 其物理性質可透過選擇合適成分(constituents)來客製化修改。
- (f) 本研究調查 DES 可否適用於前處理，分析一系列以木質素再生材料(木質纖維素生物燃料生產過程的主要 byproducts)組合而成的新型 DES。
- (g) 結果發現用木質素衍生酚(lignin-derived phenols)所製備的 DES 對 switchgrass 之預處理有效，可回收高達 85%的葡萄糖。
- (h) 展望: 未來使用 renewable DES 於木質纖維素生物精煉廠的頗具潛力。

3、酵素 (Enzymes)

生物精煉與生物質轉化得力於優良酵素或生物催化劑(biocatalysts)的的焦點針對結構與功能、酶基因工程改造、多酶協同反應三部分演講內容整理摘錄。

(1) 結構與功能探討 (Structure/Function):

本專題彙整議程中宣讀發表的兩篇有關於里氏木黴真菌論文為代表。

A. 里氏木黴纖維二糖水解酶其碳水化合物結合模組(CBM)之分子改造(Molecular engineering of carbohydrate-binding module in *Trichoderma reesei*)
(Xu Fang *et al.*, Shandong Univesity, Jinan, China)

- (a) Cel7A 纖維二糖水解酶(Cel7A)由 catalytic domain (CD)和 carbohydrate-binding module (CBM)以及linker組成。
- (b) CBMs 可識別和吸附纖維素，因此為了提高纖維素酶的水解效率(cellulases hydrolysis efficiency)，需降低CBM對木質素的吸附。

- (c) 該團隊構建融合蛋白(fused protein)，具有來自里氏木黴菌的Cel7A CBM，以Cel7A linker連結綠螢光蛋白(GFP)，命名為GLC (GFP-linked CBM)。
- (d) 利用saturation mutagenesis增加GLC的負電荷，隨著GLC的負電荷增加，GLC對AICS-lignin (Acid Insoluble Corn Stover-lignin) 的吸附降低。
- (e) 當酶與Avicel和AICS-lignin混合時，Cel7As variant的水解效率高於Cel7A的水解效率。
- (f) 該團隊測試添加化學物質來降低GLC對AICS-lignin吸附。選擇了五種添加劑，發現於加入具正電荷的化學物質後，Cel7A's variant的水解效率也增強。

B. 解開里氏木黴纖維二糖水解酶(Cel7A)其O-糖基化之角色(Revealing the role of O-glycosylation in *Trichoderma reesei* Cel7A)

(Antonella Amore *et al.* National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)

- (a) 真菌纖維二糖水解酶(Fungal cellobiohydrolases)屬於糖苷水解酶(glycoside hydrolase Family 7, GH7)，為第二代生質燃料生產的工業製劑配方(formulation)的關鍵成分。
- (b) 其分子結構通常包括大catalytic domain，通過flexible linker連接n和Family 1 carbohydrate-binding module (CBM)。
- (c) 當在真菌宿主中表達時，GH7 cellobiohydrolases 表現出catalytic domain的N-糖基化(N-glycosylation)以及CBM的O-linked糖基化。
- (d) 糖基化攸關里氏木黴真菌Cel7A酶 (TrCel7A)的酶活性和穩定性，其中linker的O-糖基化與結合insoluble substrates (如Avicel、pretreated corn stover)密切關連。
- (e) 為了確定O-糖基化對TrCel7A之linker的影響程度，該團隊通過定點誘變出TrCel7A mutants來了解糖基化對該纖維素酶的作用，
- (f) 分析所有突變體酶活性和結合不同 substrates (avicel、cellulose nanocrystals、pretreated corn stover)的能力。
- (g) 使用質譜、NMR和小角度X射線散射分析(small-angle X-ray scattering analyses)，進一步確定這些O-glycans在酶分子結構上的重要位點。

(2) 酶基因工程與特性分析 (Engineering and characterization)

A. 多醣單加氧酶作用機制之新觀點 (Novel Insight into the mechanism of lytic polysaccharide monooxygenases)

(Bastien Bissaro *et al.*, Norwegian University of Life Sciences, Aas, Norway)

- (a) 自然界和工業中LPMO催化的氧化過程(LPMO-catalyzed oxidative processes)在頑抗分解生物質(recalcitrant biomass)的轉化中起主要作用。
- (b) 多醣單加氧酶(LPMO)是copper-dependent redox enzyme。LPMO利用氧化還原切割糖苷鍵(glycosidic bonds)。其攻擊植物生物質最頑抗降解的部分(recalcitrant parts)，如結晶纖維素(crystalline cellulose)。

(c) 本演講提及其實驗室於 LPMO 功能之研究進展，例如探索解開氧化區域選擇性(oxidative regioselectivity)和基質特異性(substrate specificity)的基礎結構、電子傳遞的途徑和機制等問題，以及催化活性和穩定性的決定因子等。

(d) 未來可從這些基礎研究中用於優化生物質轉化過程。

B. 改善極端環境下纖維素酶功能：克服溫度及酶抑制的阻礙 (Improving cellulase function at the extremes: Overcoming barriers of temperature and inhibition)

(Douglas Clark, UC Berkeley, Berkeley, CA, USA)

(a) 本講題用 metagenomics 方法從極端環境找尋降解纖維素新素材。

(b) 由嗜熱纖維素降解物(thermophilic cellulose degraders)進行 bioprospecting，發現一種獨特的纖維素酶 EBI244，最適溫度為 100°C，其 pH 最適為約 6.0，對可溶性和結晶性(crystalline substrates)的活性。

(c) 比較了在不同宿主中表達的 EBI244 的催化和結構性質。

(d) 結果證明從超嗜熱富集群(hyper-thermophilic enrichment)中發現超嗜熱纖維素酶(hyper-thermophilic cellulase)，並確定超嗜熱古細菌(hyper-thermophilic archaea)可以以結晶纖維素為基質生長。

(e) 另外他們用蛋白質工程方法獲得熱穩定性提升之新纖維素酶，並且找到使外切葡聚糖酶 Cel7A (exoglucanase Cel7A) 最佳熱穩定性所必需的轉譯後修飾(post-translational modification)。

(f) Cel7A 被其產物纖維二糖(cellulobiose)回饋抑制，但其研究結果證實欲同步提升 Cel7A 酶水解活性以及對纖維二糖產物耐受性(解除回饋控制)不可兼得(g) 此外，發現在 Cel7A 的 carbohydrate binding module 和 linker 定點誘變，產生不受木質素抑制的 Cel7A mutant，比 wild-type Cel7A 更具活性。

(3) 多酶協同反應 (Synergy)

A. 藉由製備含 LIPO 之纖維素酶以優化糖化加工條件 (Optimization of process conditions for efficient saccharification of cellulose by LIPO-containing cellulose preparations)

(Gerdt Müller *et al.*, Norwegian University of Life Sciences, Aas, Norway)

(a) 酶促糖化(Enzymatic saccharification)在木質纖維素的生物質轉化角色關鍵。

(b) 近來商業用途之 cellulase cocktails 效率顯著增加，部分原因為添加裂解多醣單加氧酶(lytic polysaccharide monooxygenases, LPMO)。

(c) 由於 LPMO 酶反應需氧，這些 cocktail 在需氧條件下效率更高，但也對 combined saccharification 和發酵過程造成困擾，因為對大型反應器容器供氧困難，微生物和 LPMO 也彼此競爭氧。

(d) 本報告發表以攪拌槽(stirred tanks)進行了一系列糖化實驗，通過調整加工處理條件可顯著提高供氧，可達到更高的 LPMO 活性和更高的糖化速率(saccharification rates)和產率(yields)。

4、生物產品 (Bioproduct - Fuels, Chemicals and other Bio-based Products)

生物產品(bioproducts or bio-based products)主要是指由可再生或循環使用型態的生物質衍生製成的產品。本次大會針對bioproducts主題有多場精彩演講，摘錄數場講題內容如下。

(1) 衍生自醣類及木質素之高分子聚合物 (Chemical & polymer derived from sugar & lignin)

A. 木質素生物分流及修飾以生產高品質之碳纖維 (Biological fractionation and modification of lignin for quality carbon fiber)

(Qiang Li *et al.*, Texas A&M University, College Station, TX, USA)

- (a) 木質素是植物細胞壁中豐富的生物高分子聚合物，是木質纖維素生物精煉和製漿廠(pulping mill)的主要工業廢物。
- (b) 其高碳含量、可再生性(renewability)和低價格，使木質素具有替代石油基碳纖維前體(petroleum-based carbon fiber precursors)的潛力。
- (c) 木質素碳纖維(lignin carbon fiber)在複合材料中的應用仍受限於木質素的高異質性(heterogeneity)和複雜結構引起的低機械性能。
- (d) 本次大會講者Qiang Li 等人發表新的生物技術來分解和修飾木質素，以生產高品質碳纖維。
- (e) 設計laccase-mediator system來分解具不同分子量之木質素，並且可修飾木質素官能基和linkages。分餾的木質素(fractionated lignin)改善了木質素的混溶性(miscibility)及可紡性(spinnability)。
- (f) 機械性能測試發現由分餾的木質素fraction製成的碳纖維，可與航空商業TorayT700®展現相同的彈性模數(elastic modulus)。
- (g) 木質素結構特性分析顯示木質素官能基和連接間鍵合對於碳纖維中的pre-graphitic turbostratic碳結構至關重要，顯著改善木質素碳纖維的結晶(crystallization)和機械性能(mechanical performance)。
- (h) 本研究首次使用生物系統來修改(tailor)木質素，也是首次探討木質素化學結構對碳纖維機械強度(mechanical strength)的影響。
- (i) 展望: 此技術突破有助開發出與商業碳纖維具有相似彈性模數的木質素碳纖維，未來有望以木質素替代聚丙烯腈(polyacrylonitrile)用於生產優質碳纖維。

B. 衍生自桉樹及甘蔗之最佳巨分子 (Best (macro)molecules derived from eucalytus and sugarcane lignins)

(Adilson Roberto Goncalves *et al.*, UNESP, Rio Claro, Brazil)

- (a) 將木質素結構改性修飾(modification)可供多種產品應用。
- (b) 本講題發表通過氧化(O₂-catalyzed)和與PEG共聚(co-polymerization)來修飾桉樹木

(eucalyptus wood)和甘蔗渣/秸稈的木質素。

- (c) 甘蔗秸稈木質素(Sugarcane straw lignin)其HGS結構(有guaiacyl (G), *p*-hydroxyl phenol (H), syringyl(S) lignin basic units)，與報導的甘蔗渣木質素(bagasse lignin)有顯著差異。
- (d) 由於引入木質素結構的羰基(carbonyl groups)具螯合性質(chelating properties)，氧化木質素可應用在纖維素過濾膜(cellulosic filtering membranes)，提高自水溶液中去除重金屬達30-40%。
- (e) 此外將修飾後的木質素引入「纖維素-聚丙烯複合材料(cellulose-polypropylene composites)」中以改變機械性能，可用作緩釋劑(controlled-release formulations) (例如除草劑緩釋製劑)的基質(matrix)，其可根據氧化或共聚化程度(copolymerization grade)調節緩釋的delivery rates。

(2) 非乙醇類之化學品

- A. 以人工真菌-細菌微生物聯盟組合自纖維素生物質統合加工生產乳酸 (Consolidated bioprocessing of lactic acid from cellulosic biomass by a synthetic fungal-bacterial consortium)
(Robert Shahab *et al.*, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)/Bern University of Applied Sciences, Lausanne/Zollikofen, Switzerland)
 - (a) 纖維素生物質的降解需要糖化酶(saccharifying enzymes)，將釋放的糖水解和發酵產出目標產物。
 - (b) 本講題演講者發表一個真菌-細菌聯盟組合(fungal-bacterial consortium)，以木質纖維素生物質料源進行統合生物加工(Consolidated Bioprocessing, CBP)，直接生產乳酸等化學物質的平台技術。
 - (c) 在自然環境中微生物處在mixed consortia中生長，協同完成複雜的生物轉化(biotransformation)。
 - (d) 因此他們借用此生態特性概念，共組一個人工真菌-細菌微生物聯盟組合(consortium)，並非透過基因改造為單一超級細菌(superbug)以生產乳酸。
 - (e) 平台有好氧性里氏木黴真菌(*Trichoderma reesei*)作為纖維素分解酶的生產供應者(cellulolytic enzymes provider)，另以兼性厭氧菌戊酸乳桿菌(*Lactobacillus pentosus*)作為乳酸生成微生物(lactate producer)。
 - (f) 反應器的設計同時兼具有氧和無氧條件，提供創造微生物獨特生態環境棲位(niche)。
 - (g) 發現將微晶纖維素(microcrystalline cellulose)和前處理的櫟木(pretreated beech wood)進行批次發酵(Batch processes)，分別產生高達34.7 gL⁻¹(理論最大值的62%)和15.1 gL⁻¹乳酸(65%)。以微晶纖維素(木糖飼料)進行補料分批(Fed-batch)實驗產生54.6 gL⁻¹乳酸(76%)。
 - (h) 此跨界平台(真菌細菌分屬生物分類系統不同界)進行異源糖混合物(heterogenic saccharide mixtures)發酵，並沒有碳源利用之碳代謝物抑制(carbon catabolite repression, CCR)現象產生。

(3) 源自藻類生物質之生質能源與生物產品 (Bioproduct)

- A. 自藻類生物質整合一體加工程序，生產生質能源及生物產品 (Integrated process for production of both biofuels and bioproducts from algal biomass)
(Philip T. Pienkos, *et al.* National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)
- (a) 講者為在美國能源部NREL服務的Philip T. Pienkos，為當代藻類生質能源研究先驅。
 - (b) 在演說中提及大多數藻類生物質轉化，目前集中在脂質提取(lipid extraction)或水熱液化(hydrothermal liquefaction)。
 - (c) 演講中介紹藻類生物質的整體加工處理(fully integrated processing)，從稀酸前處理(dilute acid pretreatment)開始到細胞裂解，將碳水化合物水解成單糖並分離糖和脂質。
 - (d) 其中糖在連續發酵過程中成琥珀酸(succinic acid)，可達高純度和回收率。
 - (e) 脂質回收加氫處理(hydrotreat)可生產再生柴油混合原料(renewable diesel blendstock)，不需要昂貴的清洗步驟，也說明每個單元操作的產率(yields)及產量(productivity)。
 - (f) 因為缺乏更高價的副產物(valuable co-products)，導致從產品經濟面而言，藻類生質能源的商業化面臨挑戰。
 - (g) 雖然藻類生物質(algal biomass)比木質纖維素生物質(lignocellulosic biomass)生產成本明顯為高，但可因生物質的組成特性差異(木質纖維素生物質有較高加工成本)，此使藻類生物燃料和生物產品仍有商機。
 - (h) 藻類正發展成為有吸引力之微生物細胞工廠候選。因此他也介紹「體學(-omics)」技術(包括基因體學、蛋白質體學、代謝體學等)在微藻系生物產品開發和優化之應用。

5、菌種改造(1) - 品系開發、特性及應用 (Strain Development, Characterization & Application)

- (1) 引進嗜熱乙醇高效生產路徑於熱纖梭菌 (Introducing thermophilic high ethanol-yielding producing pathway into *Clostridium thermocellum*)
(Shuen Hon, *et al.*, Dartmouth College, Hanover, NH, USA)
- (a) 熱纖梭菌(*Clostridium thermocellum*)為革蘭氏陽性菌，具運動性之絕對厭氧嗜熱菌(obligate anaerobic thermophile)。
 - (b) 利用六碳糖碳源。可以直接分解纖維素為乙醇，但乙醇產率較低(50%)。
 - (c) 混合酸發酵(mixed acid fermentation)產出甲酸、醋酸、乳酸、琥珀酸和乙醇。
 - (d) 在熱纖梭菌表面存在纖維小體(cellulosome)，連接纖維素的多個纖維素酶系，形成多酶複合體結構(protein complex)，具有纖維素水解活性。
 - (e) 熱纖梭菌用於木質纖維素生物質的整合生物加工技術(Consolidated Bioprocessing, CBP)，以生產乙醇的候選物種。
 - (f) 工程改造用於提高乙醇產率(ethanol yield)和濃度(ethanol titer)。改造策略為刪除阻斷熱纖梭菌內天然原生、相互競爭代謝途徑(native competing metabolic

pathways)。

- (g) 改造目標為透過工程改造移除有機酸及氫氣產生。
- (h) 講者報告一種替代策略及研究成果，即把熱酵母桿菌 (*Thermoanaerobacterium saccharolyticum*) 高產率的乙醇生成途徑 (ethanol-producing pathway) 移轉於 wild type 熱纖維梭菌基因體。
- (i) 共轉植入其四個基因，包括 NADPH-dependent alcohol dehydrogenase (*adhA*)、NADH-dependent reduced ferredoxin、NADP⁺ oxidoreductase (*nfnAB*)、bifunctional alcohol aldehyde dehydrogenase (*adhE*)，在熱纖維梭菌進行異源功能性表達 (heterologous expression)。
- (j) 與野生型熱纖維梭菌的乙醇產率30%相比較，這些改造菌株的乙醇產率達70%。

6、菌種改造(2) - 合成及系統生物學 (Synthetic and System Biology)

今年大會多個精彩講題、壁報展示討論合成生物學應用於菌種改良。摘錄 CRISPR-Cas9 (CRISPR, Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) 基因體編輯 (genome editing tools) 應用於耶氏解脂含油酵母 (*Yarrowia lipolytica*) 演講內容為例，作為拋磚引玉。*Y. lipolytica* 運用廣泛，在蛋白質生產與分泌的應用漸受重視，也是雙型轉形 (dimorphic transformation) 調控、碳氫化合物及脂肪酸代謝 (lipid metabolism)、以及蛋白質分泌途徑機制等研究的模式生物 (model organism)。其屬安全性菌種 (Generally Recognized as Safe, GRAS)，已經被廣泛研究和設計用於可生產脂質基的燃料和化學品。

- (1) 開發CRISPR-Cas9基因體編輯及基因調節工具供快速基因改造耶氏解脂酵母 (CRISPR-Cas9 genome editing and gene regulation tools for rapid engineering of *Yarrowia lipolytica*)
(Cory Schwartz *et al.*, University of California Riverside, Riverside, CA, USA)
 - (a) *Y. lipolytica* 基因工程進展受限於傳統同源重組 (Homologous Recombination, HR) 和 Cre/LoxP 基因重組系統的低效。
 - (b) 其將化膿性鏈球菌 (*Streptococcus pyogenes*) 的 II 型 CRISPR-Cas9 系統應用到 *Y. lipolytica*。
 - (c) 該系統成功的關鍵是設計出「合成啟動子 (synthetic hybrid promoter)」，能夠轉錄產生高表達量的 mature sgRNAs (single-guided RNAs)，進行 Cas9 targeting。
 - (d) 可轉錄 sgRNA 的最佳「合成啟動子」為 SCR1-tRNA pol III，融合「glycine tRNA 啟動子」及截短型 (truncated)「天然解脂解油桿菌 SCR1 的 Pol III 啟動子 (native SCR1 Pol III promoter)」，其基因破壞率 (gene disruption rate) 高達 92%。
 - (e) 該團隊進一步將 CRISPR-Cas9 系統應用於 *Y. lipolytica* 基因體嵌入 (genomic integration)，找出適合於高效嵌入的幾個基因座 (loci)，使外來異源基因 (heterologous genes) 可以「無標記嵌入 (markerless integration)」方式插入染色體基因座並表達。
 - (f) 該團隊成功運用此當前最火紅的 CRISPR-Cas9 開發工具，驗證可快速嵌入破壞 *Y.*

lipolytica 「半合成番茄紅素生物合成途徑(semi-synthetic lycopene biosynthesis pathway)」。

(g) CRISPR-Cas9這工具可高效促進 *Y. lipolytica* 基因編輯，證明其實用性，未來有助於廣泛應用於 *Y. lipolytica* 脂質基生物產品(lipid-based bioproducts)生產。

7、混合燃料技術 (Hybrid Technologies)

今年大會排入混合動力特別專題，多家公司及科研機構發表此領域最新進展，包括氣體發酵技術(gas fermentation)、天然氣生物轉換技術(Bioconversion of natural gas)、沼氣生物轉化等。

(1) 氣態發酵: 由廢棄物大規模生產有價值產品 (Gas fermentation: waste to value at scale) (Sean Simpson, LanzaTech, Inc., Skokie, IL, USA)

- (a) 本講題由LanzaTech能源公司共同創辦人及科技部門總管Sean Simpson介紹氣態發酵(gas fermentation)近況，及該公司投入此領域研發量產及商業化成果。
- (b) 目前以氣體發酵生產biofuels和平台化學品(platform chemicals)正是快速商轉技術。將源自煉鋼、氣化生物質(gasified biomass)和城市固體廢棄物合成氣(syngas)等轉成多樣化的燃氣流副產物(gas streams byproducts)迄今已驗證可行。
- (c) 以生物處理平台進行碳捕捉(carbon capture)和再利用，開發新型gas-to-liquid技術，利用廢碳(waste carbon)製造低碳(low-carbon)化學品和碳氫燃料(hydrocarbon fuels)，不會衍生相關環境問題。
- (d) 該公司與美國能源部PNNL國家實驗室合作，生產全球第一種源自煉鋼廠廢氣(waste industrial gases)的航空燃油(jet fuel)。其利用 *Clostridium autoethanogenum* 進行氣態發酵，將廢氣中一氧化碳(carbon monoxide)先轉化成乙醇(稱為Lanzanol)，再轉化為航空燃油(jet fuel)。
- (e) 此alcohol-to-jet (AtJ) fuels已經通過燃油性能測試認證，相較於傳統航空燃油生產程序碳排放可減碳65%。
- (f) LanzaTech正將完整一體式的氣體發酵平台(integrated hybrid process)商業化，可大規模從氣體轉化為化學品中間體(intermediates)(例如乙醇)，供持續生產末端碳氫燃料產品(例如jet fuel)。
- (g) 展望: 此模式開啟未來可低成本投資、將在地產生之廢氣資源活用以商轉獲利之可行性，可望在缺電遠離電網(off-grid)社區，可自足供給清潔可靠、符合成本效益的能源(off-grid power/energy)。

(2) 從甲烷到生物高分子: 發酵及工程改造之規模化挑戰 (From methane to biopolymer: challenges of engineering and fermentation at scale) (Molly Morse, Mango Materials, Oakland, CA, USA and Dr. Allison Pieja, MangoMaterials)

由於「沼氣利用」為台糖公司近來發展重點，因此摘錄沼氣利用相關之演講如下。

(a) 大會邀請Molly Morse，其為舊金山灣區新創公司Mango Materials之共同創辦人及

- CEO，介紹該公司沼氣生物轉化平台技術。
- (b) 該公司採用與史丹佛大學合作開發、已獲專利之生物處理程序，從廢料源(waste feedstock)生產出生物材料。
 - (c) 這種甲烷(稱作waste methane gas)產自“廢棄物”來源，例如廢水處理廠、垃圾掩埋場、農業設施甚至廢棄的煤礦。
 - (d) 平台技術以methanotrophic bacteria作為細胞工廠，以環境友善製程於特定條件下轉化生產出PHB biopolymer (powder或pellets形式)。
 - (e) 提及甲烷料源穩定性、scaling-up bioprocesses技術，以及此技術商業運轉進程。
 - (f) Mango Materials的生產設備可與沼氣生產商(waste methane producer)共置(colocate)，工廠管線可直接連結沼氣源(waste methane source)，因此運送成本降低。

8、大會花絮

睽違8年後本次SBFC會議再度蒞臨這座氣候宜人、風景秀麗的舊金山舉辦。會場Marriot Hotels鄰近熱鬧繁華、人潮川流不息的市場街(Market street)，亦離城區地標景點之一聯合廣場(Union square)不遠。大會貼心安排空出第三天(05/03)議程下午空檔(改另安排當晚Special Topics)，提供與會人士閒暇時光，盡情探訪體驗這座海灣城市的風情。

這次會議遇見其他來自臺灣的與會人員，為來自新竹清華大學、嘉義大學的師生，也參與大會活動、發表演講及壁報展示。大會最後一天參加由嘉吉(Cargill)公司贊助、於Marriot Hotels宴會廳舉行的晚宴。晚會中安排大會各種獎項頒獎及特別演講，邀請曾在Alcatraz惡魔島成長的作家Jolene Babyak為banquet speaker，講題為「Growing Up on the Dark Side」，分享該島歷史典故軼事。眾所周知，舊金山灣的Alcatraz惡魔島曾為關押重刑犯的監獄，如今已是旅遊觀光、影視取材著名景點。

SBFCs依慣例會在最後一天晚宴時公布本次大會參與人員屬性(2017 attendance)。今年報名與會人員(Registered attendees)共507人，涵蓋產官學領域專家學者學生，其中161人來自其他23個國家，排行前五大國家為南韓(38人)、巴西(34人)、瑞典(26人)、中國(22人)、丹麥(17人)。晚會中也正式宣布將於2018年4月29日至5月2日，於佛羅里達州Clearwater Beach舉辦第40屆SBFC。

(三)、壁報展示 (Poster Sessions)

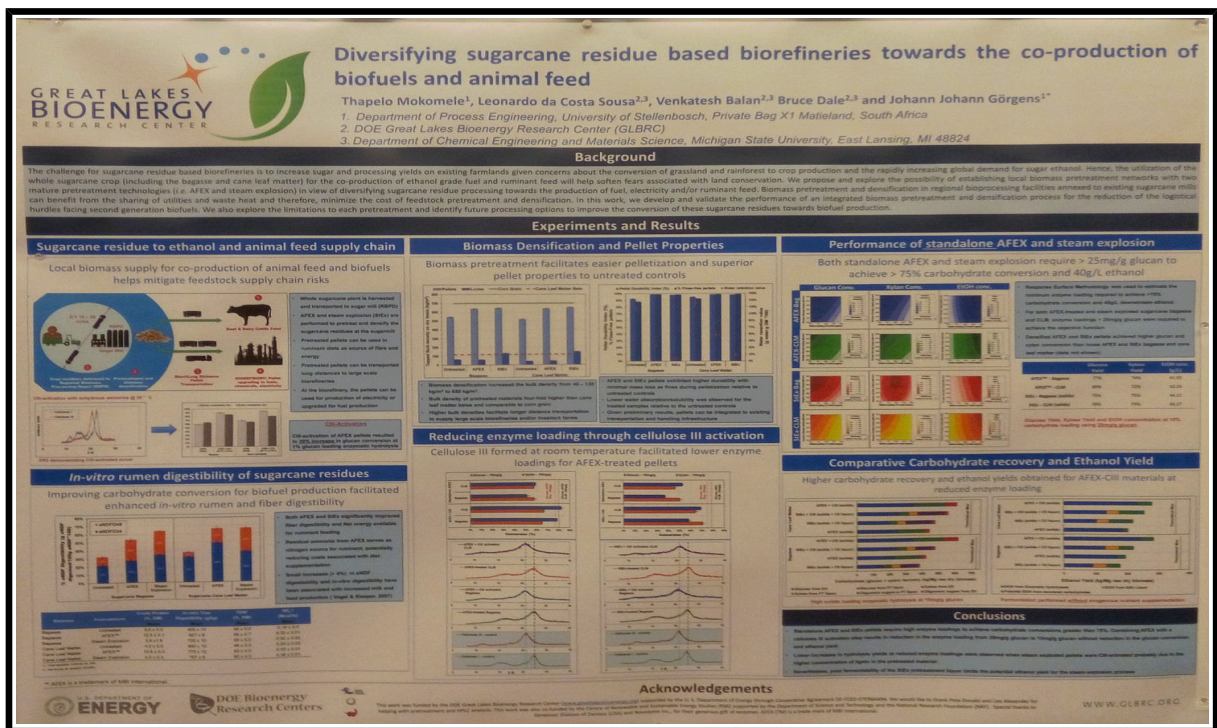
在壁報成果發表方面，SBFC所安排時段是在第一天晚上、第二天全天。共239篇壁報論文發表，以雞尾酒會(Cocktail reception)的形式進行，供與會專家學者在輕鬆自在、隨興的氣氛下瀏覽，交流討論。諸多壁報皆屬上乘之選，令人目不暇給。特別針對甘蔗利用、沼氣利用開發等題材選擇摘錄供參考。

1、甘蔗利用

(1) 蔗渣生物精煉多樣化以共同產出生質能源及動物飼料 (Diversifying sugarcane residue based biorefineries towards the co-production of biofuels and animal feed)

(Thapelo Mokomele¹, Johann Gorgens¹, Leonardo da Costa Sousa², Venkatesh Balan² and Prof. Bruce E. Dale², (1)University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, (2)DOE Great Lakes Bioenergy Research Center, Lansing, MI, USA)

→甘蔗渣(SCB)和甘蔗葉物質(CLM)可用於許多熱帶地區的纖維素生物燃料或動物飼料。然而這些原料有某些不利物理性質，例如堆積密度(low bulk density)低和流動性(flowability)差，對生物質供應鏈物流和下游加工構成挑戰。解決方案是建立「地區預處理庫(regional pre-processing depots)」，其在運送到生物精煉廠之前將生物質在當地集中，再加值為生物燃料或商品(如動物飼料)。本論文分析這些料源的顆粒性質(pellet properties)，比較AFEX和steam-exploded (StEx)預處理甘蔗渣和CLM顆粒的性質，以及它們可否作為纖維素乙醇精煉廠和動物飼料工業進料(input)。此外評估「造粒(pelletization)」對AFEX和StEx預處理甘蔗殘渣的酶水解和發酵的影響，以深入了解生物質濃縮密化(biomass densification)對「集中式生物精煉廠(centralized biorefinery)」的乙醇產量。最後比較了AFEX和StEx處理的甘蔗渣和CLM相對於未處理對照組的體外瘤胃消化率(rumen digestibility)，了解這些貯庫用以共同生產、供應動物飼料和/或纖維素乙醇工業料源的潛力 (見圖一)。

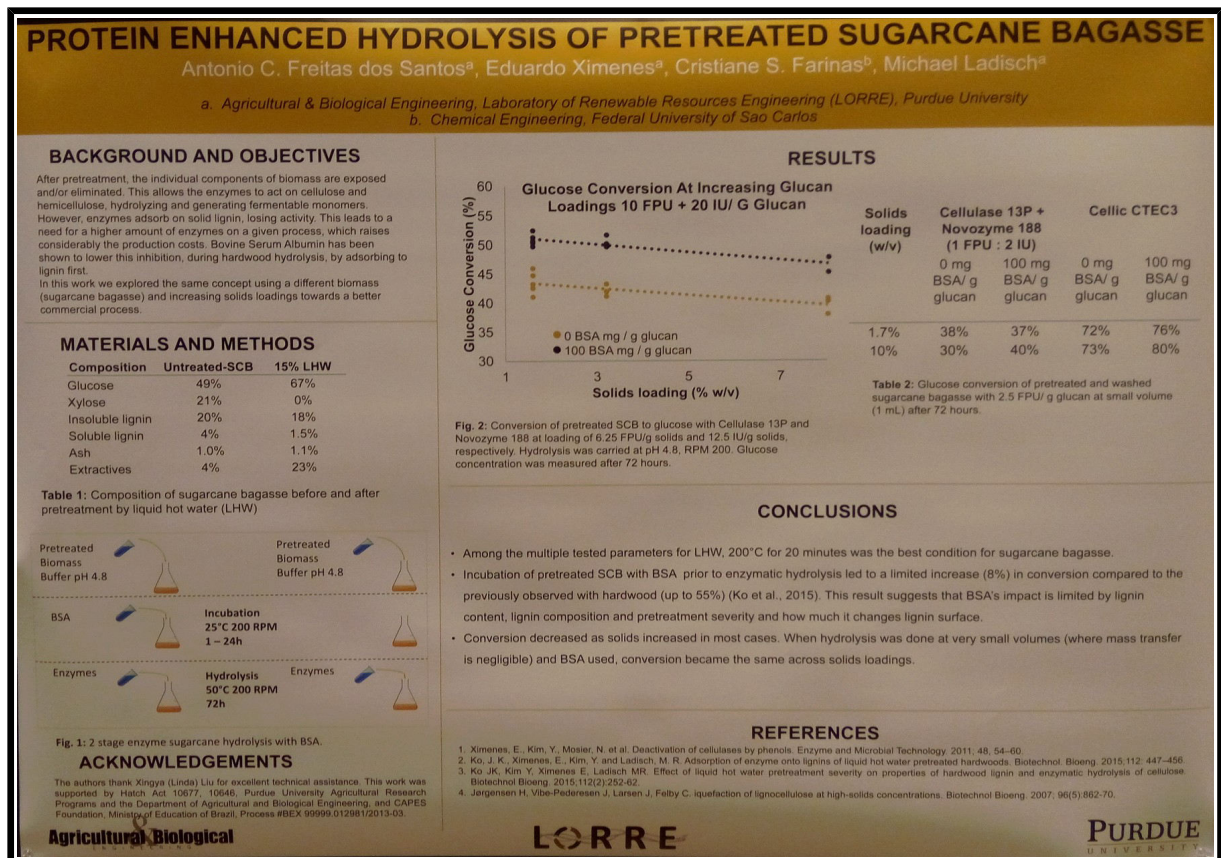


圖一. 甘蔗利用-壁報1

(2) BSA蛋白質增加預處理蔗渣之水解 (Protein enhanced hydrolysis of pretreated sugarcane bagasse)

(Antonio Carlos Freitas Dos Santos¹, Cristiane S. Farinas², Eduardo Ximenes¹ and Michael R. Ladisch¹, (1)Purdue University, West Lafayette, IN, USA (2)Chemical Engineering, Federal University of Sao Carlos, São Carlos, Brazil)

→木質纖維素預處理可打開結構以允許酶作用於纖維素和半纖維素，但也形成「可溶性酚(soluble phenols)」和「不溶性固體」，透過酶的失活，抑制和吸附來抑制水解。這導致水解時有酶高量需求的負擔和更高的生產成本。雖然通過洗滌可以消除可溶性酚，但是不溶性木質素仍然存在。本論文探討其他可行方法，利用「牛血清白蛋白(BSA)」與「預處理之甘蔗渣(pretreated SCB)」接觸，以便在纖維素酶水解時阻止固體木質素吸附酶。當BSA存在可增強蔗渣的轉化。然而當甘蔗渣固體物料量(SCB/ L)從15g增加到80g時，轉化率仍然降低。本文討論解釋水解改善和增加固體負載(solids loading)轉化率降低的機轉(見圖二)。



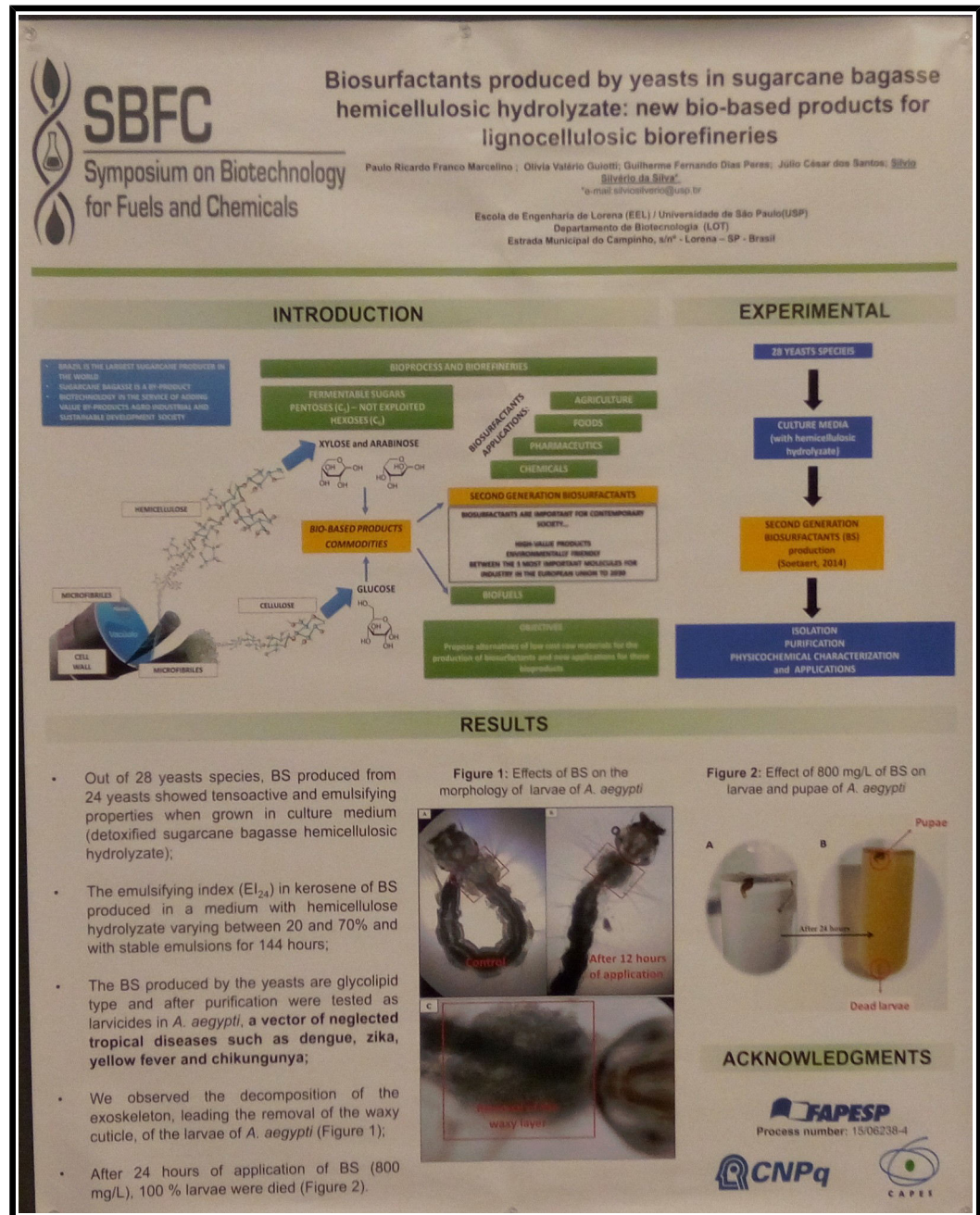
圖二. 甘蔗利用-壁報2

(3) 酵母利用甘蔗渣半纖維素水解產物生產生物表面活性劑: 木質纖維素生物精煉場之新生物產品(Biosurfactants produced by yeasts in sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolyzate: new bio-based products for lignocellulosic biorefineries)

(Paulo R. F. Marcelino¹, Silvio Silverio Silva¹, Ms. Olívia Valério Guiotti¹, Mr. G uilherme Fernando Dias Peres¹ and Dr. Júlio C. Santos², (1)University of São Paulo, Lorena, Brazil (2)University of São Paulo - School of Engineering of Lorena, Lorena, Brazil)

→本論文探討甘蔗渣水解產物(SCB hydrolyzate)作為酵母生產「生物表面活性劑 (Bio-surfactant, BS)」的substrate，及其未來以木質纖維素煉製生產BS的潛力。BS是源自微生物具有乳化(emulsifying)和表面活性(tensioactive)性質的化合物。這些化合物可用

作生物防治中的生物殺蟲劑(biopesticides)，它具抗蚊媒熱帶疾病(如登革熱和Zika等)功效，然而成本高昂，其生產仍然是一個挑戰。該實驗室報導找到五個木糖發酵酵母(xylose-fermenting yeasts)，在含有甘蔗渣半纖維素水解物(sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolyzate)的培養基可生產BS。分離的bioproducts產物特性分析顯示為醣脂(glycolipids)，可能是cellobiose-lipid或槐醣脂型(sophorolipid)，以及高乳化劑(emulsifiers)性質。此外證明這些化合物作為埃及班蚊等熱帶疾病媒介的殺蟲劑的可行性(見圖三)。

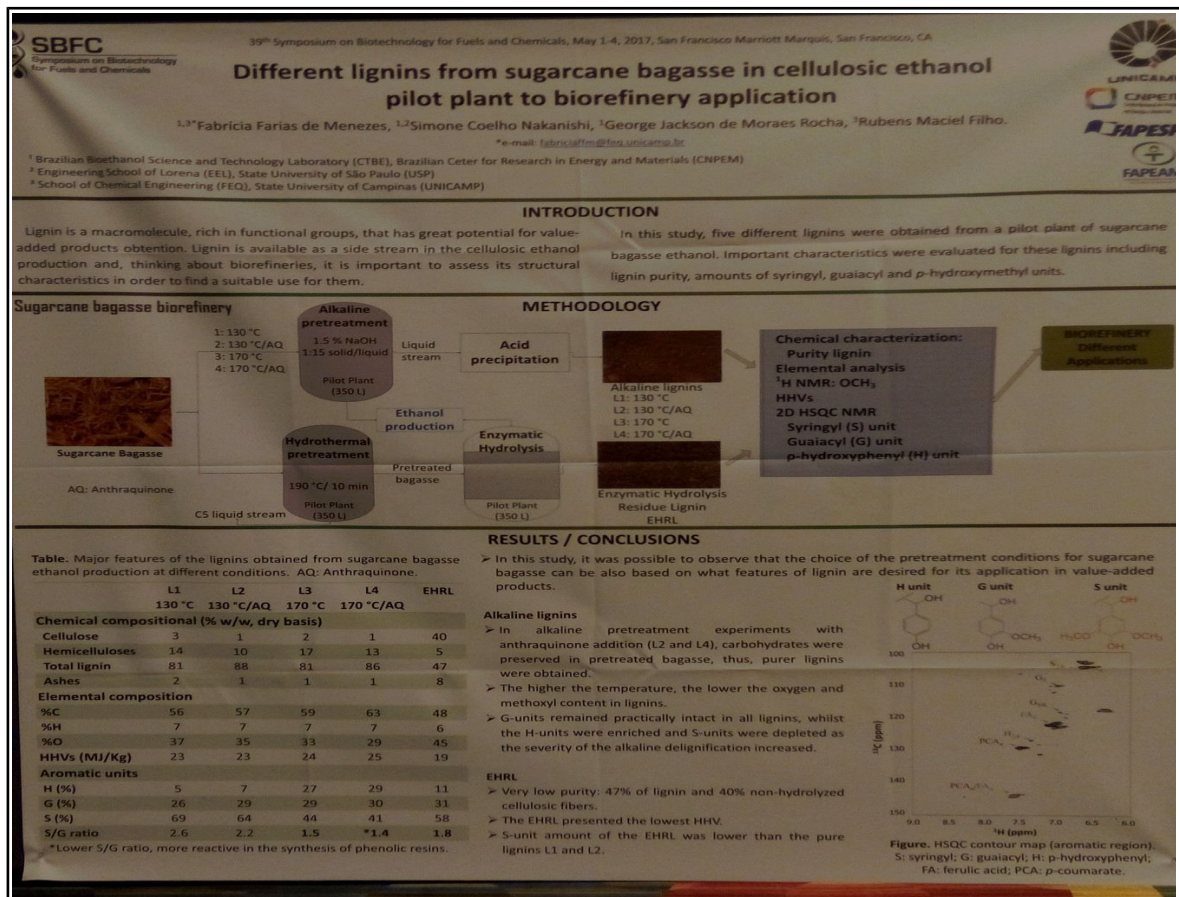


圖三. 甘蔗利用-壁報3

(4) 於纖維素酒精先導工廠以來自蔗渣之不同種木質素生產酚樹脂 (Different lignins from sugarcane bagasse in cellulosic ethanol pilot plant to phenolic resin production) (Fabricia Menezes¹, Simone Nakanishi², George Jackson de Moraes Rocha³ and

Rubens Maciel Filho¹, (1)School of Chemical Engineering, State University of Campinas, Campinas, Brazil (2)Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), Campinas, Brazil (3)EEL-USP, Lorena, Brazil)

→本篇主旨為評估不同種木質素結構特性(structural characteristics)以便找到它們合適的用途。木質素的重要特性包括木質素純度、HGS單元(*p*-hydroxymethyl、guaiacyl、syringyl units)含量。依據預處理的程度(130 °C or 170 °C with or without anthraquinone)，評估纖維素乙醇先導工廠中蔗渣預處理(NaOH 1.5%，30分鐘)後所產生的四種鹼性木質素。隨著鹼性預處理的程度增加，回收的木質素組成呈現出較高量的 *p*-hydroxymethyl unit 和較少量的 syringyl unit。加入蒽醌(anthraquinone)可得到純木質素。木質素可替代一些石油基反應物(petroleum-based reactants)。在170°C用蒽醌獲得的木質素有最低syringyl unit含量，使其在酚醛樹脂(phenolic resins)中對甲醛具有較高反應性。通過水熱法(hydrothermal process) (190 °C，10分鐘)預處理，甘蔗渣酶水解的殘餘蒸氣，獲得具有非常低純度的其它木質素(47%木質素和40% non-hydrolysed cellulosic fibers)。該木質素的syringyl/guaiacyl ratio為1.8，可用於以纖維素纖維(cellulosic fibers)強化的酚醛複合材料(phenolic composites)。了解結構特性，未來可基於木質素的不同特性，於纖維素乙醇工廠選擇特定加工條件生產所需的木質素。例如木質素類酚醛樹脂(phenol formaldehyde resins)等(見圖四)。



圖四. 甘蔗利用-壁報4

(5) 加入大豆蛋白於酵素混合物改善蔗渣水解 (Addition of soybean proteins to enzymatic cocktails improved the hydrolysis of sugarcane bagasse)

(Camila Florencio¹, Mariana Brondi¹, Vanessa M. Vasconcellos¹, Alberto Colli Badino² and Cristiane S. Farinas³, (1)Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Instrumentation, São Carlos, Brazil (2)Federal University of São Carlos, São Carlos, Brazil (3)Chemical Engineering, Federal University of Sao Carlos, São Carlos, Brazil)

→減輕木質素對水解酶吸附的策略是在水解反應介質中加入「木質素封阻劑(lignin-blocking agents)」。然而此添加劑用於酶生物質水解過程需符合成本效益。本篇作者評估最便宜的蛋白質之一：大豆蛋白可否作為經過預處理的蔗渣進行後續酶水解的替代添加劑(alternative additives)。大豆蛋白使用於蔗渣水解，與使用來自曲霉(*A. niger*)和里氏木黴(*T. reesei*)固態發酵製得enzymatic cocktails相對照，水解增加約2倍。使用大豆蛋白效果與BSA相當。顯示大豆蛋白是一種經濟有效的酶水解替代添加劑，有助於開闢不同類型木質纖維素原料的糖化利用。

2、沼氣利用

(1) 建構高效篩選平台以找出增進厭氧醱酵效率之策略 (High-throughput screening platform to identify strategies for improved anaerobic digestion)

(Lyndsey Marsh and Dr. Matthias Hess, University of California, Davis, Davis, CA, USA)

→厭氧醱酵(AD)效率和所得到的產品面(product profile)取決於從料源組成(feedstock composition)到加工條件的各種參數。這些參數影響醱酵容器中繁殖微生物群落(microbial community or microbiome)的組成以及各種微生物之間的複雜相互作用。

牛的瘤胃(rumen)是已知最有效的厭氧消化系統之一，可將植物材料轉化成甲烷、二氧化碳、揮發性脂肪酸(volatile fatty acids)和其他中間體。作者利用天然的瘤胃微生物組合設計建立一種人造實驗室規模的「瘤胃系統(artificial/in-vitro laboratory-scale rumen system)」，在厭氧醱酵過程中監測生物、物理和化學參數，因此它可作為平台快速高效篩選和評估料源組成、生化成分以及發酵效率加工條件。結果有助於提高發酵終產品(end products)的產量，並制定改善策略以減少AD過程的環境衝擊。

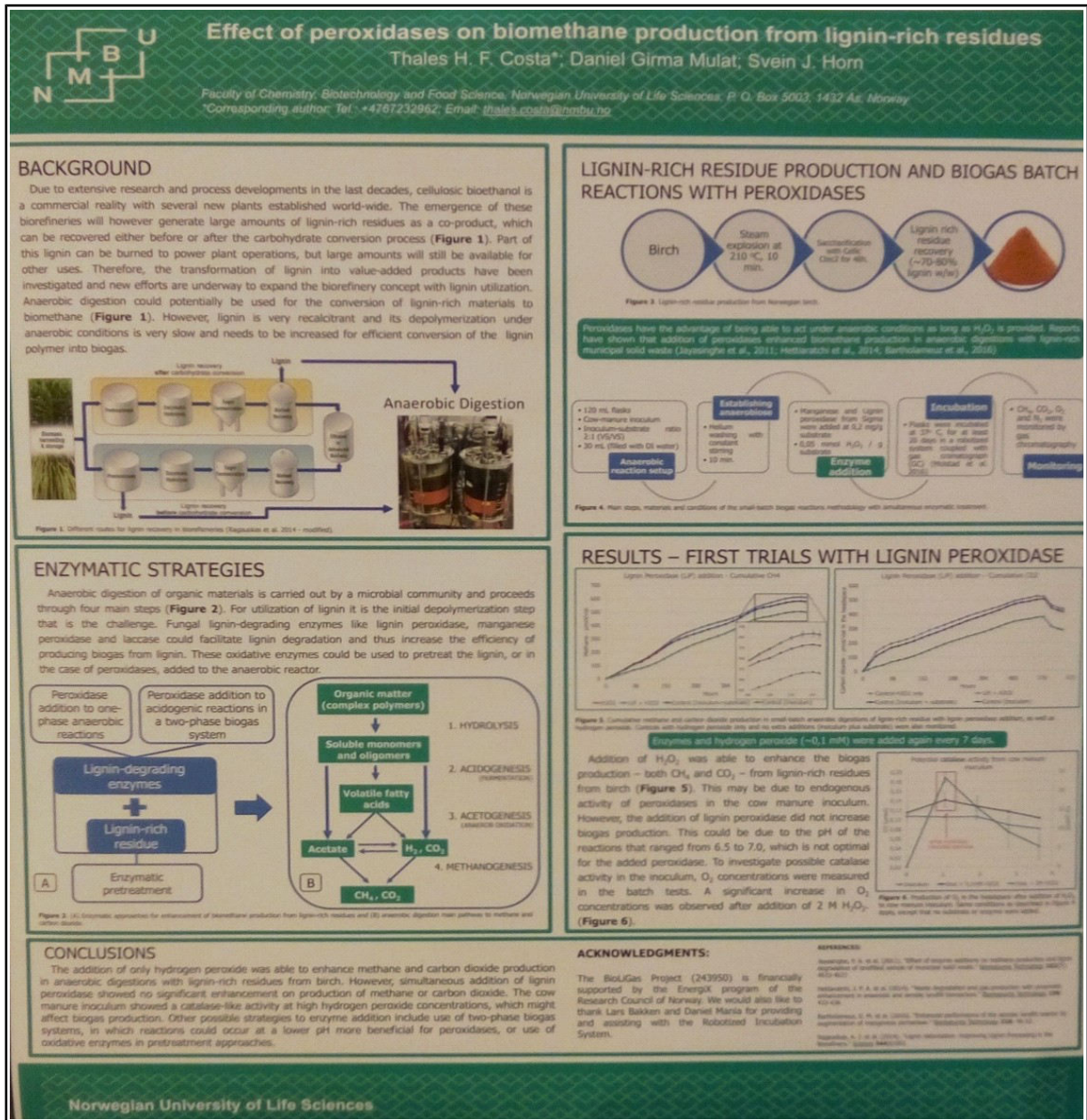
(2) 木質素及錳過氧化氫酶對由富含木質素之殘渣產出生物甲烷的影響 (Effect of lignin and Manganese peroxidases on biomethane production from lignin-rich residue)

(Thales Costa, et al., Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway)

→本篇主旨說明纖維素生物乙醇工業常產生大量的富含木質素的殘餘物，通常用於燃燒發熱。然而，這些殘留物可以進一步加值以改善生物煉製的效益。厭氧發酵可用於將富木質素轉化為生物甲烷(biomethane)增加廢木質素的價值。然而，木質素非常頑抗分解(recalcitrant to degrade)，其在厭氧條件下的解聚非常緩慢。

先前已知於厭氧發酵槽中加入過氧化氫(hydrogen peroxide)，「木質素過氧化物酶(lignin peroxidase, LiP)」和「錳過氧化物酶(Manganese peroxidases, MnP)」，可以自富含木質素廢棄物(lignin-rich waste)產生更多甲烷。通過蒸汽爆破樺木(steam-exploded birch wood)的酶糖化，可製備得到富含木質素的fraction。作者評估了LiP和MnP對「水

解自樺木木質素(birch hydrolysis-lignin) (含超過80%木質素w/w)厭氧生物發酵產生甲烷的影響 (見圖五)。

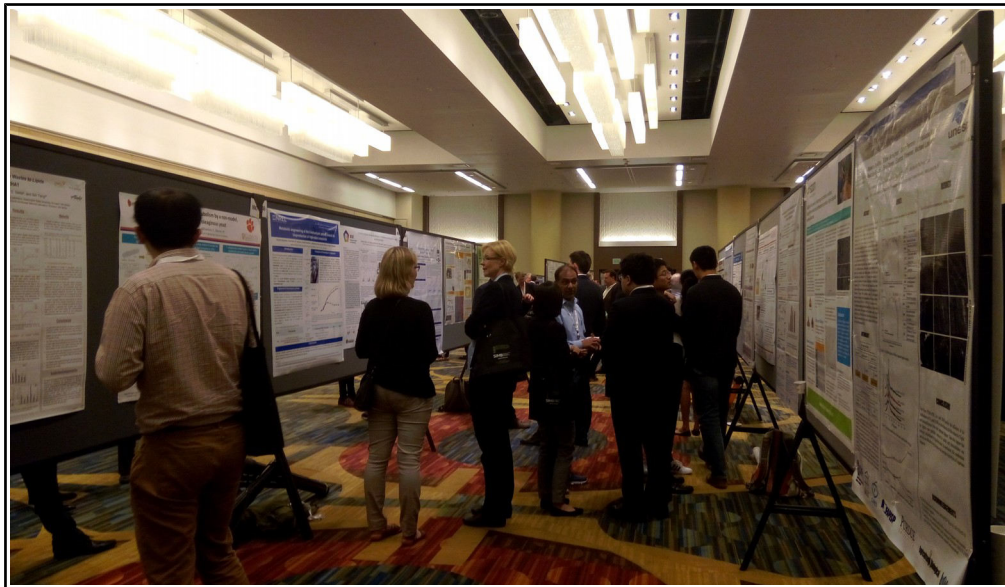


圖五. 沼氣利用

3、壁報會場照片(圖六 & 七)



圖六. Reception及壁報會場一隅



圖七. Reception及壁報會場一隅

四、心得與建議

當今「循環經濟」為台糖公司的理念核心。發展「全農業」(full agriculture)，提升農經、全蔗、全豬之利用。鎖定「5F+2B」事業發展策略: 食物(Foods)、飼料(Feeds)、肥料(Fertilizers)、能源(Fuels)、時尚(Fashion)、生質材料(Bio-materials)、仿生(Bio-mimicry)。本次SBFC會議諸多主題及參展壁報論文涵蓋上述幾個面向，顯見上述這些議題已是主流共識，接軌國際主流產業趨勢。參加本次會議也獲得諸多實用資訊，當可從中思索找到切入的利基，整合公司優勢與善用資源，再創台糖公司風華。

(一)、高分子纖維開發

木質素在農業木質纖維素殘渣(agroindustrial lignocellulosic residues)的生物轉化和利用愈顯重要。在木質纖維素原料相關的產品中，「木質素基(lignin-based)碳纖維」前景看好。碳纖維作為先進尖端複合材料(例如碳纖維複合材料carbon fiber composite)最重要的增強體，廣泛用於紡織、航太、汽車交通運輸、能源、高端運動休閒以及工業生產等領域。當前全球對於碳纖維之需求逐漸增加，全球碳纖維需求量在2020年可達13萬噸，年複合成長率約為16% (依據Frost & Sullivan的研究報告)，顯見全球碳纖維市場需求迫切。

木質素來源豐富，在植物的組成含量僅次於纖維素和半纖維素，是自然界中含量最豐富的自然芳香族高分子，且碳含量高，是製備碳纖維的理想原料。傳統其為造紙工業的主要副產物，但尚未有效開發利用。以木質素為原料生產碳纖維，不僅加值化木質素的利用，亦充分利用可再生資源，減輕對化石燃料的依賴，實踐循環經濟理念。近來歐盟正啟動「木質素基碳纖維複合材料專案計畫(LIBRE)」即為一例。(註: Frost & Sullivan. 2014. High-Value Opportunities for Lignin: Ready for lift off. Frost & Sullivan.)

Bio-materials 開發與生技醫藥等應用有關。利用可再生原料生物質 (renewable biomass)製造Bio-materials為生技材料未來發展重心之一。從「循環經濟」角度及「生物精煉」著眼，木質素周邊及下游產品開發是台糖公司可著墨發展的機會點。台糖公司本質為農林型態、生物煉製發跡的公司，不乏諸多農林廢棄物之取得及大面積平地造林，可提供各類型木質纖維素原料，早期亦曾參與造紙工業，對此領域應不陌生，因此在整個木質素原料生產製造到轉化衍生為高值化產品之「木質素產業價值鏈」中，思考可切入之商機。

(二)、氣態發酵及沼氣生物轉化

本會議有多家廠商針對氣態發酵(gas fermentation)產氣轉化領域發表專題演講，例如沼氣與合成氣的轉化技術。生質沼氣開發利用為台糖公司實踐循環經濟當前發展重點。現階段在國內生質沼氣生成利用方面，面臨沼氣提純/純化廠(脫硫純化)規模過小及成本高之問題，沼氣利用也受限於發電產熱製冷用途。實質上臺灣環境潮濕炎熱，較無沼氣發電產熱提供民生保暖需求。沼氣發電效率較低，沼氣多經燃燒後部份變成廢熱排放。故國內沼氣發電尚未衍生更佳正面經濟效益。上述諸多問題均是國內沼氣利用面臨的挑戰，亟待積極擴大沼氣利用，引進或開發周邊及下游產業。

「氣態發酵」技術漸趨成熟，其利用各種氣態料源，包括任何類型的氣化有機物質(源自城市固體廢物、工業廢物、生物質和農業廢棄物)或工業廢氣(源自鋼鐵廠或加工廠)，生產biofuels和平台化學品(platform chemicals)。氣態發酵技術正快速商業化，商轉模式已啟動，例如Mango Materials公司發表的沼氣生物轉化平台技術，開發出PHB biopolymer產品。因此台糖公司或可考慮規劃引進，將沼氣轉化生產碳氫燃料(hydrocarbon fuels)或化學品。亦可參考此概念及策略，針對本地沼氣運用特性，自行開發或產學合作，發展類似氣態料源轉化技術，擴大沼氣的利用效益。

(三)、合成生物學之應用

大會主題及與會學者討論另一聚焦方向為菌種改良(strains improvement)之技術發展現

況。除了有傳統遺傳工程或基因重組技術的論文發表。合成生物學之應用成果日益豐碩。工業微生物應用成為一門顯學，工業、環境、醫藥保健及能源方面應用廣泛，現代大規模的工業微生物發酵，跨足胺基酸、酵素、抗生素、藥物、色素、化學品、生質能源等產品製造生產，全球業者與科研機構莫不積極投注此領域開發新產品，提升產品附加價值。傳統誘變篩選，雖然無需了解過多菌種遺傳背景就能取得成效，但往往亂槍打鳥，耗時費力。有方向目的、通過菌種改良獲得高產菌種是有效的手段。

微生物菌體可視作細胞工廠(**cell factory**)，其效能改良優化可從「系統」角度看待，如何化腐朽為神奇，「**Garbage in, money/value out**」，需有明確改造策略改進轉化系統(細胞工廠)。近來合成生物學熱潮方興未艾，可用以開發改造、量身訂做微生物細胞工廠。其藉由遵循「**理性設計(rational design)**」，選擇具特定結構或功能性之建構單元(**building blocks**)及模組(**module**)，輔以適當的基因體重組編輯工具、計算工具(**computational tools**)和數據庫應用，進行改造，可在「**chassis microorganism**」重新設計導入或再格式化(**re-format**)整體系統之「**基因迴路(genetic circuit)**」，調控細胞特定功能。例如從代謝調節角度，設計一個通往終產物(或目標產物)生產的最佳化路徑，重新佈線(**re-wire/ reroute**)細胞代謝流(**metabolic flow**)，進行工程改造後，將可大幅提高產物生產的最大代謝通量(**flux**)。

本次會議中合成生物學有關的論文形形色色，從建構單元(**building blocks**)/模組(**module**)的功能設計，例如各種基因啟動子(**promoter**)或調控單元(**regulatory unit**)設計與選擇，到基因體編輯技術，例如近來熱門的**CRISPR-Cas9**分子剪刀工具(**Scissor tool**)，其可精準定位改造基因，操作簡易、成本低廉。合成生物學技術範疇跨領域，已成「**典範(Paradigm)**」的變革，勢必引領包括醫藥、化工、能源、材料、農業等不同領域的發展，已由以往生命層次解析，到掌握生命運作密碼、創造生命的可能，是否打開「**潘朵拉之盒**」、一如當今「**人工智慧**」產生的衝擊，未來仍不得而知。雖然尚有法規及倫理的疑慮、爭議與衝擊，但仍不宜自我設限，宜關注此領域的進展。台糖公司以往在發酵科技累積許多寶貴經驗，諸多研究開發與微生物發酵應用有關，宜適當善用合成/系統生物學策略，增進發酵轉化能力或提升目標產物的產量，高值化或開發擴展下游產品線(**products spectrum**)。

四、結語

SBFC為生質能源最具規模的研討會之一，有幸參與第**39**屆**SBFC**研討會，歷經四天的議程，享受知識盛宴洗禮。增進產品研發、技術發展及市場資訊產業趨勢之瞭解，及在循環經濟、生物精煉綠色能源等應用，有助提供日後公司產業發展之參考資訊。當今雖然網路通訊連結發達，資訊獲得容易，但對於產業脈動、交流合作、議題方向的選擇，仍需臨場激盪引發火花共鳴，因此經驗交流不可或缺，所謂他方之石，足以攻錯，仍應鼓勵積極參與各型國際研討會，借鑑取經，在全球多變產業環境掌握先機。明年第**40**屆**SBFC**預定擴大規模舉辦，建議國內相關產官學研單位宜躬逢其盛，規劃人員赴會。今年此行經驗彌足珍貴，獲益匪淺。最終感謝台糖公司對於本次出訪參加**SBFC**會議之經費贊助和支持。