



● 張志玲

# 跨領域生產丁醇 ——新技術生產新能源

在巴西，已經使用乙醇代替汽油做為車輛燃料；在美國，乙醇也擁有很大的燃料使用市場。然而乙醇會腐蝕車輛的儲油槽與汽油輸送管，而且生產時會耗用大量的糧食作物（註 1），這些問題讓同屬醇類而無上述弊害的丁醇受到青睞。丁醇沒有腐蝕性，燃燒時釋放的熱量比乙醇高，因此科學界倡議以丁醇代替乙醇，並大力研發以再生原料生產丁醇的技術。

早在一百多年前，人們就已利用厭氧菌生產含有丙酮、乙醇與丁醇的混合物，後來因生產技術遇到瓶頸而停頓。今日基因工程技術已經成熟，逢甲大學化學工程系趙雲鵬教授應用基因工程技術，把大腸桿菌（註 2）改質成為具有生產丁醇能力的細菌。再應用跨領域的代謝工程技術，以葡萄糖和木糖為原料，利用大腸桿菌的代謝合成反應生產出品質較單一的丁醇。這項技術已實驗成功並取得專利，相關內容也發表在 2017 年 10 月的《農業和食品化學期刊》（*Journal of Agricultural and Food Chemistry*）。

趙教授表示，丁醇的合成反應很複雜，加上大腸桿菌先天就有「先使用完葡萄糖，再使用木糖」的控制機制，因此必須花費許多時間做基因改殖。而其主要重點有二，一是移除大腸桿菌的先天控制機制；一是拆解與重組合成反應。後者被稱為「雙細菌生產系統」，主要是把兩株大腸桿菌放在同一個容器中培養，其中一株以葡萄糖為原料，負責合成丁酸；



以汽油做為車輛燃料會排放大量的二氧化碳，在減碳排放的呼籲聲中，努力尋找不增加碳排放量的新能源已成為全球議題。

另外一株以木糖為原料，負責把丁酸轉化成丁醇。兩株細菌工作時，需同時調整葡萄糖和木糖的濃度比例，以及兩株細胞的密度比值。

這套技術可在不增加設備費用的情形下，讓丁醇在同時間內增加 1 倍以上的產量。又因為是以葡萄糖和木糖為原料，所以燃燒時不會增加二氧化碳的排放量，甚至使用後的原料也可以回收再利用。

在這裡，葡萄糖和木糖歸屬於生物質，是從植物細胞壁裡的纖維素和半纖維素分解得到，纖維素和半纖維素則由植物與空氣中的二氧化碳行光合作用所形成。從上述循環可知，燃燒丁醇只是把空氣中原本存在的二氧化碳送回空氣中，並未增加二氧化碳的排放量。但是燃燒汽油就不同了，汽油是從石油中提煉出來的，長期埋在地底的石油一旦挖掘出來並燃燒，等於是把地底儲存的碳放在空氣中燃燒，因此必然會增加二氧化碳的排放量。

比較遺憾的是，丁醇的生產成本至今仍比石油高，以其做為替代燃料的誘因依然

不足。趙教授認為，這個問題的原因應該是使用原料的處理成本和丁醇的產量有關。若能針對這一點，改進相關技術，把生產成本降到一定程度以下，就有替代汽油的可能。此外，實驗室內孕育成功的技術必須走出實驗室，進行試量產才能驗證技術的實用性。因此尋找合作業者以提供試量產的設備與場域，也是未來努力的方向。

註 1：巴西甘蔗和美國玉米的產量都很龐大，因此兩國使用甘蔗、玉米生產乙醇。只是人口愈來愈多而糧食愈來愈少時，兩種糧食作物的價格會上漲而讓乙醇的生產成本不穩定。

註 2：大腸桿菌有致病菌和非致病菌之分。實驗室使用的是非致病型大腸桿菌，因此沒有致病疑慮。由於大腸桿菌很容易操作，生長速度很快，生物學家認為是對產業界最友善的細菌。

張志玲

本刊特約文字編輯