

畜產廢棄物再利用技術研究

撰文/鄭閔謙·蕭庭訓·程梅萍

前言

畜產廢棄物為生物性廢棄物，其中富含營養鹽及有機質，適合各種用途的再利用，宜視為資源，以妥善利用取代廢棄處理，進而發揮循環經濟效益。依據行政院主計總處「綠色國民所得編製報告」，102年農業廢棄物產生量460.3萬公噸，其中97.5%為生物性廢棄物，畜產廢棄物占其中之225.9萬公噸。而農業統計資料顯示，103年畜產廢棄物產生量為227.4萬公噸，其中禽畜糞為219萬公噸，死廢畜禽5萬公噸，畜禽屠宰後廢棄物3.5萬公噸。另依據「農業事業廢棄物再利用管理辦法」第3條，禽畜糞及農業污泥經發酵得做為有機質肥料之原料或栽培介質之原料；屠宰產生之羽毛、豬毛得做為飼料之原料、有機質肥料之原料或羽(豬)毛製品；畜禽屠宰下腳料及斃死畜禽得做為飼料之原料或有機質肥料之原料逕行再利用。因此，農業統計資料指出禽畜屠宰後廢棄物及死廢畜禽多數採化製處理，精鍊為肉骨粉及飼料油；98.7%禽畜糞採堆肥化處理，製成有機質肥料原料再利用。由於以上所述之多項畜產廢棄物及其他農業廢棄物或副產物，皆可做為有機質肥料之原料，在有機質肥料市場有限的狀況下，宜開發多元化再利用技術，拓展再利用用途。

牛糞衍生燃料

牛糞富含纖維，因此除了可為有機質肥料原料

外，也具有做為廢棄物衍生燃料(refuse derived fuel, RDF)之可行性。畜試所收集牛床機械刮糞之牛糞、水車式及逕流式固液分離機之牛糞固形物，分別以太陽能乾燥，產製牛糞固態衍生燃料(圖一)；並進行粒徑、物性與熱值分析。結果顯示機械刮糞、水車式及逕流式固液分離機分離後固形物產製之牛糞固態衍生燃料粒徑大於3.8 mm以上者分別為94.3%、71.8%、43.9%。機械刮糞、水車式分離後產製之固態衍生燃料可進行燃燒，而逕流式分離後之固態衍生燃料粒徑低於3.8 mm以下占56.1%，應進行造粒。機械刮糞、水車式及逕流式分離後之固態衍生燃料之水分、灰分、可燃物及熱值平均分別為14.2%、17.1%、68.7%、4042 kcal/kg及16.0%、15.5%、68.5%、3,974 kcal/kg與13.0%、10.4%、76.6%、4,195 kcal/kg。牛糞衍生燃料之熱值與廢稻桿(4,063 kcal/kg)及家庭垃圾製成的RDF5(densified refuse derived fuel)(4,000—5,000 kcal/kg；萬等，2010)相近，可見牛糞產製固態衍生燃料有做為替代燃料使用之潛力。

牛糞固態衍生燃料經燃燒試驗分析排煙管道之粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物，分析結果機械刮糞、水車式與逕流式固液分離牛糞固態衍生燃料燃燒之排煙管道分別為2590 mg/Nm³、78ppm、571 ppm及1564 mg/Nm³、108ppm、521 ppm與3873 mg/Nm³、88ppm、503 ppm，實測校正值經計算排放標準值，除硫氧化物較行政院環境保護署(2011)



左：水車式固液分離之固形物乾燥產品；右：逕流式固液分離之固形物乾燥造粒產品。

圖一 牛糞固態衍生燃料

公告固定污染源空氣污染物排放標準為低外，餘粒狀污染物、氮氧化物，均高於排放標準。因此，燃燒牛糞衍生燃料時必須以空氣污染防治設備去除粒狀污染物及氮氧化物，始符合環保法規。

燃料油

為了達到節省能源及由廢棄物產製能源之目的，畜試所與金屬中心合作研發熱化學轉換設備，利用畜禽糞做為原料，利用高溫高壓之反應條件(溫度 150°C 至 450°C 之，壓力 1,000 psi 至 3,500 psi)控制，將畜禽糞轉化製成燃料油。依試驗結果，每公斤的豬糞及牛糞分別約可產生 10—15 mL 與 15—20 mL 的燃料油。如再行二次分餾，可得到更優質的燃料油，其淨熱值可達 7,733 kcal/kg，流動性較佳，可取代一般燃料油之用。

禽畜糞碳化產品

禽畜糞含有機質及氮、硫等，堆置時易產生臭味，有機質分解產生甲烷和二氧化碳，亦增加溫室效應。因此，在土地無法短時間內消納大量禽畜糞時，可考慮碳化處理技術，一方面可利用碳化產生電力，另一方面也可固定碳及磷 (Dai *et al.*, 2015)，同時將禽畜糞滅菌並減量。不同溫度下碳化之禽畜

糞有不同的特性，牛糞生物碳 (biochar) 含有最高的揮發性物質、碳及能量，最低的灰分、氮及硫。豬糞生物碳有最高的磷、氮及硫；禽糞生物碳有最高的電導度值 (Cantrell *et al.*, 2012)。牛糞產製之生物碳有吸附鉛等環境污染物的潛力 (Cao and Harris, 2010)。

畜試所使用經水車式固液分離後之牛糞，以不同活化劑 (磷酸與氯化鋅) 探討於碳化溫度 300—700°C 下經不同碳化時間對牛糞製成活性碳之產率、碘值吸附量與比表面積 (BET) 之影響。試驗結果顯示以牛糞產製活性碳 (圖二)，其產率隨著溫度升高而降低，磷酸處理組在碳化溫度 500-600°C 時產率較氯化鋅處理組者高。牛糞以兩種活化劑處理後於碳化溫度 500°C 下，經 30 分鐘碳化時間可得最佳碘值吸附量 (72—946 mg/g) 與比表面積 (58—948 m²/g) 之活性碳產物，氯化鋅處理組之活性碳碘值與比表面積都較磷酸處理組者為高。而利用氯化鋅或磷酸做為牛糞碳化之活化劑，製成之活性碳品質皆與市售活性碳品質相當。

此外，白肉雞場雞糞墊料以上吸式氯化模式，生物碳製成率約 20%，碳化產物之碳含量為 36.7%，比表面積介於 5—45 m²/g，碘值介於 386 mg/g—667 mg/g，亞甲藍 (Methylene blue) 值介於 12.7 mg/g—15.9 mg/g (王, 2014)。



左：牛糞活性碳；右：雞糞生物碳。

圖二 禽畜糞碳化產品

禽畜糞沼氣利用

以禽畜糞經過厭氧消化 (Anaerobic digestion, AD) 生產沼氣 (biogas)，做為發電等用途，為廣泛利用的技術。以水沖洗豬、牛糞產生之廢水，先經固液分離，再以厭氧消化方式產生沼氣，最後以好氧活性污泥法處理，即為畜試所為了因應畜牧業排水標準，結合大專院校專家開發並推廣的三段式廢水處理系統。此套系統臥置式厭氧槽產生之沼氣，經過水洗、化學或生物脫硫，搭配渦輪式發電機，可以延長沼氣發電機的使用期限，102 年已有兩家大型養豬場獲得經濟部能源局補助，各新設 180KW 沼氣發電機。

為了提升沼氣產量，國內已有業者引進歐洲廣泛應用之直立式厭氧消化反應器，以固液分離後牛糞廢水或蛋雞糞混合洗選蛋廢水，進行較高固形物(含固率約 4%) 的厭氧消化。此外，相對於牛糞，雞糞每克乾物質有較高的產甲烷潛力；而相對於禽畜糞，食品、飼料業含油脂廢棄物、發酵及製糖業廢棄物與能源作物有較高之產甲烷潛力。因此，再生能源業者已採禽畜糞與其他高產甲烷潛力廢棄物或能源作物混合進行厭氧共消化 (co-digestion) (Seadi *et al.*, 2008)。畜試所業已設置 100 噸容積直立式厭氧消化反應器，並進行牛糞混合雞糞共消化

試驗，結果在乾基混合比 1:1 及 1:2 試驗中，水力停留時間 10 天，常溫下含固率 2% 有較高的沼氣產量，分別為 340 及 370 m³/g TS，較臥置式厭氧槽沼氣產量高。

污泥花盆及污泥膠布

豬糞尿廢水處理所產生的污泥，除了與豬糞混合發酵，當有機質肥料使用外，亦可將脫水污泥與廢紙漿混合後，製成污泥花盆與穴盤，其具可分解之特性，可取代塑膠盆，且不需回收處理，因而屬可減少污染之環保產品。經研究污泥和紙漿之乾基混合比以 4:6 可達到最佳製盆率；污泥穴盤因穴孔較小，最適合之混合比則是 1:1。污泥花盆應用於種植蘭花、草花及瓜果蔬菜育苗，生長情形良好。以 3.5 吋污泥花盆種植蝴蝶蘭，對蘭花之葉數、葉寬與葉長等生長表現，與塑膠盆比較無顯著差異；但污泥花盆種植開花率可提高 10—20% (台灣省畜產試驗所, 1999)。

另外，污泥經特殊乾燥處理後與聚乙烯 (Polyethylene, PE) 及可分解澱粉混合後製成生質膠布，具有生物分解性及展延性差與易撕裂之特性，可完全取代一般農用聚氯乙烯 (Polyvinylchloride, PVC) 覆膜，種植後之生質膠布不需回收可直接耕入

土中，可節省回收處理之人工與成本。

廢棄蛋及生乳資源化

利用孵化過程中拋棄之中止蛋製成液肥，可提升廢棄中止蛋之附加價值，並減少水禽場廢棄物處生量。畜試所以孵化中止之鵝蛋及鴨蛋為主原料，添加副原料及發酵輔助劑，經過發酵穩定後產製成液肥。試驗結果顯示，鵝中止蛋液肥之氮、磷、鉀含量分別為 6.2、0.8、0.3%；鴨中止蛋液肥之氮、磷、鉀含量分別為 6.9、0.7、0.2%；鵝中止蛋曝氣 20 天之氮、磷、鉀含量分別為 5.6、1.2、0.4%；鴨中止蛋曝氣 12 天液肥之氮、磷、鉀含量分別為 7.6、0.8、0.6%，各項液肥符合雜項有機液肥（品目編號 5-14）標準。

畜試所新竹分所將廢棄生牛乳進行發酵試驗，室溫發酵約 7 個月，結果顯示不論廢棄生牛乳是否經離心或添加微生物肥料、糖蜜或黑糖，發酵期間氮、磷、鉀總量未顯著降低，因此廢棄生牛乳原液可不添加其他基質進行發酵。發酵產物做為液態肥料，於不同季節進行種植高苜施肥試驗，結果廢乳

液態肥料稀釋 30 倍使用效果與化學肥料之相當。建議可直接採用廢棄生牛乳進行發酵，而發酵後施用時必須經過稀釋（李，2012）。

此外，畜試所彰化種畜繁殖場利用中止鵝蛋所製成含與不含蛋殼之廢蛋粉粗蛋白質含量為 23.8 與 25.7%，其總能含量分別為 4.75 及 5.47%，所製成之成本分別為 8.04 及 10.1 元 / 公斤（含基質與電費）。廢蛋粉之蛋白質及能量值均高，具取代部分玉米、黃豆粉或魚粉之功能，產業可運用此技術降低飼料成本（張，2011）。

結語

邁向生物經濟時代，更多生命科學及生物技術之研發，將應用在農業、工業、醫藥等其他產業。應用生物技術將畜產廢棄物轉化為資源、生質能源及生質材料，為更能兼顧有效率符合環境保護、人類需求及資源生態永續之循環經濟型態，值得投入更多研究。

AgBIO

鄭閱謙	行政院農業委員會	畜產試驗所	助理研究員
蕭庭訓	行政院農業委員會	畜產試驗所	副研究員
程梅萍	行政院農業委員會	畜產試驗所	研究員兼組長

參考文獻

1. 行政院主計總處 (2014) 綠色國民所得編製報告。行政院主計總處編印。
2. 萬皓鵬、李宏台 (2010) 廢棄物衍生燃料的使用。科學發展450:34-43。
3. 台灣省畜產試驗所 (1999) 豬糞尿污泥處理與資源化手冊-台灣省畜產試驗所專輯第58號。台灣省畜產試驗所編印。
4. 行政院環境保護署 (2011) 固定污染源空氣污染物排放標準。中華民國100年1月5日行政院環境保護署環署空字第0990119639 號令修正。
5. 李素珍 (2012) 利用廢乳發酵轉化為液體肥料之研究與應用。行政院農業委員會畜產試驗所101年度科技計畫研究報告。
6. 劉主欣 (2010) 利用水禽孵化場廢棄中止蛋產製液態肥料。行政院農業委員會畜產試驗所99年度科技計畫研究報告。
7. 張伸彰 (2011) 鵝廢蛋之資源化再利用。行政院農業委員會畜產試驗所100年度科技計畫研究報告。
8. 王紓愨 (2014) 生物炭於雞場廢棄物處理的應用潛力研究。行政院農業委員會畜產試驗所103年度科技計畫研究報告。
9. Dai L. et al. 2015. Immobilization of phosphorus in cow manure during hydrothermal carbonization. J. Environ Manage. 157:49-53.
10. Cao X. et al. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. Bioresour. Technol.101:5222-5228.
11. Cantrella K.B. et al. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresour. Technol.107: 419-428.
12. Al Seadi T. et al. 2008. Biogas handbook. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.