

高氮雞糞沼氣的發展

摘要

目前禽類養殖是最具規模化的畜牧業，每天產生的廢棄物也需要妥善處理。以厭氧消化來處理廢棄是常見的方法之一，過程中產生的沼氣可作為生質燃料用於產熱或發電應用。然而禽類糞便中含有高濃度氮氣，使得厭氧消化的效率不佳，本文介紹文獻中雞糞沼氣的相關研究，以及國內外雞糞沼氣電廠的範例。

前言

禽類是全球養殖業中是最具規模化的畜牧業，但每天產生大量的廢棄物如墊料、排泄物、羽毛、蛋殼及病死的屍體，也影響的我們的環境。廢棄物的處理是畜牧場最重要的工作之一，倘若處理不當，將引起環境衛生問題，進而影響畜牧場的生產力。根據國內外文獻統計，平均一隻成年母雞每年可產 14kg 的雞蛋以及 40kg 的雞糞，雞糞若在潮濕的環境下未經妥善處理，會招引蒼蠅及產生惡臭。雞糞中含有豐富的有機物及無機物，目前多數當成農作物的肥料使用，但過量使用也會造成空氣、土壤及水的污染，甚至造成大腸桿菌或沙門氏桿菌超標。在禽類養殖飼料中常添加無機磷(phosphorus)，再加上禽類排泄物中氮氣含量較高，使得廢棄物中累積大量的磷與氮氣，農地上大量地使用雞糞，也是引起水體優氧化的主因。在歐洲國家已有明確規範土地上使用動物廢棄物的限制，來管控其對環境造成的污染。

雞糞的組成

養雞廢棄物是由排泄物、殘料、墊料及羽毛組成。從成份分析來看，水分及碳占大部分，另外還有氮(1.22–1.63 %)、磷(0.89–1.04 %) 及鉀 (1.34–1.7 %)，及微量元素鋅、銅、鐵、氯、鈣、鎂、鈉、錳等。廢棄物的組成跟飼養的品種及飼料配方息息相關。以墊料養殖的方式中，常使用各種農業廢棄物如稻稈、稻殼、

木屑等物質，在飼養過程中，墊料跟排泄物層層混和，直到雞隻更換畜舍或售出後，才一起將廢棄物清理。雞糞中碳、氮、磷及鉀的組成會被微生物代謝、利用及轉化，而微生物的生長受到溫度、pH、濕度及含氧量的影響。雞的飼料中含有高蛋白及胺基酸，且禽類的消化道短，因此未完全消化的食物便會進到雞糞中，也造成新鮮雞糞的高含氮量。新鮮雞糞的總氮中含60~80%的有機氮，以尿酸、蛋白或胺基酸的形式存在，隨著時間及微生物的分解，約有40~90 %的有機氮會轉化成氨氮。氨氮主要有游離的氣態氮(NH_3)及水溶性的離子氮(NH_4^+)， NH_3 會釋放到大氣中，而 NH_4^+ 則透過微生物代謝轉化成硝酸鹽，即硝化作用(nitrification)。養雞廢棄物中也可能含有多種致病菌，例如沙門氏桿菌(*Salmonella sp.*)、葡萄球菌(*Staphylococcus sp.*)及梭菌(*Clostridium sp.*)等(Salminen and Rintal 2002a).除此之外，廢棄物中可能會殘留及累積金屬、藥物及其他化學物質，主要是來自於飼料的添加物及藥物的治療。

雞糞的處理方式

目前規模化的雞隻飼養多以高床式，雞糞則掉落至地板，部分畜牧場會在地上鋪上墊料，形成生物處理床，等到飼養結束後再進行清理。生物處理床具有吸濕、吸臭及分解雞糞的效果，在飼養週期結束時，將混和墊料的雞糞清除，同時進行場地的消毒，避免致病菌的殘留，以維持畜牧場的生物安全性。另外有些畜牧場則不使用墊料，2~3 天清理一次雞糞。

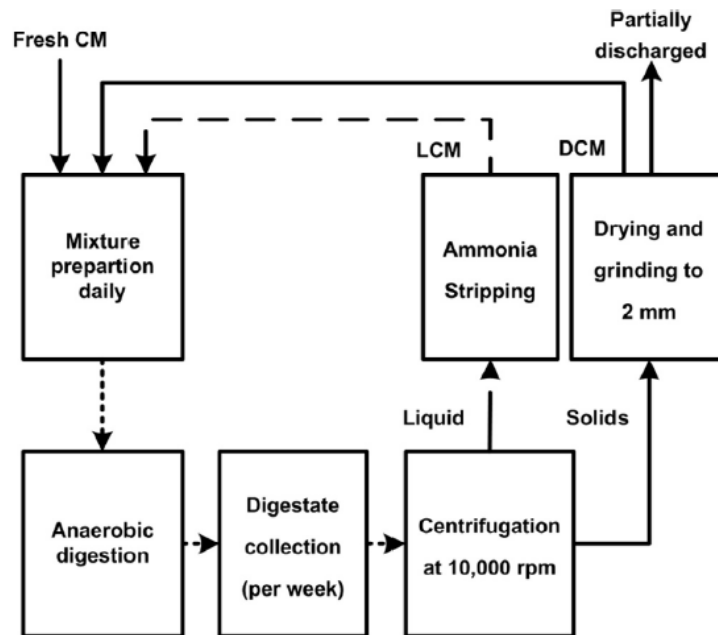
無論有無使用墊料，清理後的雞糞廢棄物都必須妥善的處理。目前主要的處理方式為堆肥，透過翻堆好氧處理，待熟成後做為肥料使用。日本將雞糞收集後以焚化爐處理，可進行燃燒發電。從有機物觀點來看，雞糞是一項很好的沼氣生產原料，每公噸雞糞潛在沼氣產量為 100~200 立方米，如能開發此潛在能量，不僅可以解決廢棄物問題，更可以產生再生能源，實為雙贏的策略。

雞糞沼氣技術

雞糞有機物含量高，非常具有生產沼氣的潛力。然而雞糞中亦含有高濃度的氮源，使得利用雞糞進行厭氧消化遇到了一些瓶頸(Bujoczek et al., 2000)。由於氨氮濃度過高會抑制厭氧消化的效率，尤其是甲烷化的過程。許多文獻表示，游離氨將會抑制甲烷菌的代謝(Calli et al. 2005; Niu et al. 2013; Krakat et al., 2017)。為了解決高氨氮造成的抑制現象，文獻中有許多厭氧消化的操作方法，例如稀釋、共消化、菌株馴化或去除氨氮等。

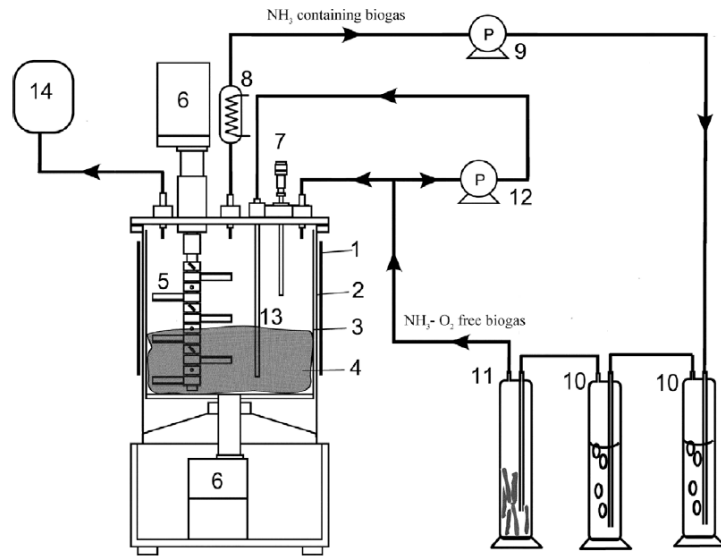
以水或廢水將雞糞稀釋至合適比例，是最直接降低氨氮的方法。Bujoczek 等人(2000)利用水、豬廢水或厭氧沼液來稀釋新鮮雞糞，調整成不同的固體濃度(TS%)，結果發現沼氣的生產效率，隨著 TS 濃度增加而下降，而 TS 濃度越高，其氨氮濃度也越高；在該實驗中，以水稀釋雞糞使 TS 濃度為 5%，初始氨氮濃度約 1,500 mg/L，反應後氨氮上升到 4,000 mg/L。Wang(2012) 等人利用牛糞、雞糞及麥稈進行共消化，當碳氮比 25:1 及 30:1 的時候，最能穩定厭氧槽的 pH 及游離氨的濃度，利用 RSM 方法預測當牛雞糞混和比為 40.3:59.7、碳氮比為 27.2:1 時，甲烷的生成效率最佳。Li 等人(2013)利用玉米秸稈與雞糞進行共消化的測試，該實驗顯示最高甲烷產率為 218.8 mL/g VS，此時玉米秸稈與雞糞的比例為 3:1。另外，該實驗也利用乾式厭氧消化設計，在玉米秸稈與雞糞的比例為 1:1 的情況下，獲得 14.2 L methane/L reactor 的產率。Zhang 等人(2014)將雞糞分別與玉米秸稈、麥稈及稻稈混和，調整 TS 為 8%，於 35℃ 下進行厭氧共消化，結果顯示玉米秸稈組、麥稈組及稻稈組的甲烷產率分別為 383、345 及 378 mL CH₄/g VSremoved。Niu 等人(2015)探討高溫及中溫反應槽對於雞糞沼氣生產的影響，發現高溫反應槽可以耐受 8,000 mg/L 的總氨氮(游離氨 2,000 mg/L)，中溫槽可耐受到 16,000 mg/L 的總氨氮(游離氨 1,500 mg/L)，甲烷的產率可達 0.29 L/gVS，但隨著總氨氮濃度提升而下降。

Nie 等人(2015)以雞糞為單一原料進行沼氣生產測試，他們利用吹脫技術將厭氧出流水的氨氮去除(圖一)，再將處理後的水循環利用，此設計可將厭氧槽的氨氮穩定在 7,700mg/L，沼氣產率可達 0.39 L/g VS。



圖一、Nie 等人設計之雞糞沼氣與去除氨氮系統

Abouelenien 等人設計一套沼氣循環系統(圖二)，他們利用幫浦將產出的沼氣打回厭氧槽中進行曝氣，將產生的氨氣/沼氣再通過稀硫酸槽，通過稀硫酸的氨氣會反應成硫酸銨，沼氣部分則再循環進入集氣裝置。此厭氧槽中的 pH 在 8~9 之間，溫度 55°C，經過 4 天反應後，可去除 82% 的氨氮(Abouelenien et al., 2010)。透過上述裝置降低氨氮濃度之後，沼氣產率可達 195 ml /g VS。



圖二、厭氧消化與沼氣吹脫氮氣設計

國內外雞糞沼氣電廠案例

石安牧場是國內唯一一家利用雞糞生產沼氣的畜牧場。石安牧場飼養 80 萬隻蛋雞，每天可產生 80 噸雞糞，為了解決雞糞的問題，石安牧場建置沼氣綠能系統(圖三、四)，包含 1 座儲氣槽及 3 座 CSTR 厭氧消化槽，設計容量一天可處理 80 噸雞糞、160 噸汙水。先將雞糞以輸送帶集中到水解池去砂，再送至厭氧槽進行發酵，分出甲烷及液態肥料，甲烷用來發電，液肥則給農民施肥。石安牧場目前一天可產生大約 4,400 立方公尺的沼氣，經發電系統產生 9,240KWh/天的電量，2017 年總發電量與自發電量比達到 64.8%。

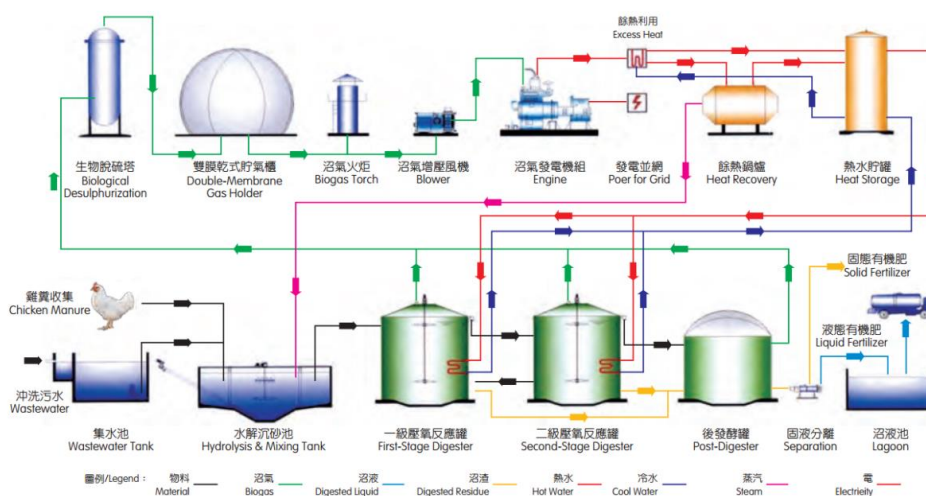


圖三、石安牧場沼氣電廠外觀

資料來源:<https://www.energytrend.com.tw/news/20141229-10214.html>

http://www.shihanfarm.com.tw/csr_1.asp?cat=7

■ 減碳再生綠能系統流程圖



圖四、石安牧場沼氣電廠系統流程

(資料來源:<http://www.shihanfarm.com.tw/index.asp>)

PJSC Oril-Leader 是烏克蘭一家大型的養雞場，飼養全週齡的雞隻，並整合了孵化雞蛋、飼養、屠宰和加工肉雞。該畜牧場於 2012 年開始建置一座歐洲最

大的雞糞沼氣熱電共生廠(圖五)，並在 2015 完成滿載的運轉。此熱電共生廠整合附近農場廢棄物、牧場的雞糞及屠宰場的廢水，將多種原料進行厭氧共消化，每天可解決 900 噸的廢棄物，每年可產生 20,000,000 立方公尺的沼氣，可轉化成 41,000,000 度電，或是 30,000 Gcal 的熱能。此熱電共生廠有 4 座混合槽，6 座水解槽及 4 座厭氧槽，3 座脫硫塔，及 5 座發電機。厭氧消化後的沼液則進行固液分離，作為肥料應用。



圖五、烏克蘭 PJSC Oril-Leader 雞糞沼氣熱電共生廠

資料來源：

<https://www.poultryworld.net/Home/General/2018/4/Europes-first-poultry-manure-biogas-plant-in-action-272769E/>

<https://www.nijhuisindustries.com/references/one-of-the-largest-biogas-plant-of-europe-orel-lider/>

結論

雞糞十分具有生產沼氣的潛力，但與其他原料相比，雞糞含氮量極高，會影響厭氧槽沼氣生產的效率，同時高氮氮的排放水也是另一個需要解決的問題。目前多數雞糞沼氣系統以共消化的方式來解決上述問題，由於國外農場腹地廣大，且為複合式經營，農場生產的飼料及農業廢棄物可供給畜牧場使用，畜牧場產生的廢棄物，則結合沼氣系統，產生電力或熱能供廠區使用，沼液則在施用於農場，形成一個循環產業鏈。對於國內的養雞業來說，如要發展沼氣系統，除了規模需要達到經濟效益之外，整合周遭農場及沼液循環利用的規劃也是重要的課題，需要政府與企業在法規與整合規劃上共同討論。

參考文獻

- Abouelenien, F., Fujiwara, W., Namba, Y., Kosseva, M., Nishio, N., & Nakashimada, Y. (2010). Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. *Bioresource Technology*, 101(16), 6368-6373.
- Li, Y., Zhang, R., Chen, C., Liu, G., He, Y., & Liu, X. (2013). Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions. *Bioresource Technology*, 149, 406-412.
- Belostotskiy, D., Jacobi, H. F., Strach, K., & Liebetrau, J. (2013). Anaerobic digestion of chicken manure as a single substrate by control of ammonia concentration. *AD13 Recovering (bio) Resources for the World*.
- Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R., & Cenkowski, S. (2000). High solid anaerobic digestion of chicken manure. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(1), 51-60.
- Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B., & Yenigun, O. (2005). Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 1285-1292.
- Krakat, N., Demirel, B., Anjum, R., & Dietz, D. (2017). Methods of ammonia removal in anaerobic digestion: a review. *Water Science and Technology*, 76(8), 1925-1938.
- Nie, H., Jacobi, H. F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H., & Liebetrau, J. (2015). Mono-fermentation of chicken manure: ammonia inhibition and recirculation of the digestate. *Bioresource technology*, 178, 238-246.
- Niu, Q., Qiao, W., Qiang, H., & Li, Y. Y. (2013). Microbial community shifts and biogas conversion computation during steady, inhibited and recovered stages of thermophilic methane fermentation on chicken manure with a wide variation of

ammonia. *Bioresource technology*, 146, 223-233.

- Niu, Q., Takemura, Y., Kubota, K., & Li, Y. Y. (2015). Comparing mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of chicken manure: microbial community dynamics and process resilience. *Waste management*, 43, 114-122.
- Webb, A. R., & Hawkes, F. R. (1985). The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium-nitrogen levels. *Agricultural Wastes*, 14(2), 135-156.
- Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., & Han, X. (2012). Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresource technology*, 120, 78-83.
- Zhang, T., Yang, Y., Liu, L., Han, Y., Ren, G., & Yang, G. (2014). Improved biogas production from chicken manure anaerobic digestion using cereal residues as co-substrates. *Energy & Fuels*, 28(4), 2490-2495.