

畜殖排泄物對環境生態之影響及其防治策略

高銘木 *

——長期大量施用動物排泄物除增加土壤中氮素外，也造成磷、鉀過量累積，不但降低作物品質，而且可能危害動物健康。此外，土壤中大量氮素以揮發氨及脫氮形態釋放到大氣中或以硝酸態氮淋溶到地下水，導致養分的損失。

動物排泄物本身也可能引起一些環境問題，例如惡臭氣味及產生含氮氧化物到大氣層中，造成空氣污染；或大量的有機質、氮、磷、鉀滲入湖泊及河川，形成優養化，改變水生生境環境及水質變劣——

前 言

動物堆廐肥 (animal manures) 系指任何家畜、家禽糞尿排泄物混合稻草、麥稈等作物殘體堆積醱酵所製成的有機肥料而言，農民使用動物堆廐肥提高土壤地力及促進作物生長早已被確認其功效。過去由於化學肥料短缺及家禽、家畜飼養並不集中，這些動物排泄物 (animal waste) 一直被視為作物不可或缺的養分，常有供不應求的現象。然而，今日家禽、家畜大多採用企業化經營，大量集中飼養管理，因而動物所排泄的大量糞尿水若無適時適地予以消納，恐將造成重大的環境災害，值得我們留意與省思。

動物排泄物的處理與利用，近年來已提升為環境及公共衛生的問題，舉凡來自這些動物排泄物所散發的惡臭氣味或直接、間接造成的水質污染等問題，尤其是糞尿水中氮、磷、鉀等養分在生態環境中所造成的衝擊，更不能等閒視之。

此外，動物排泄物的處理與利用也涉及土地利用、生產力及企業化利潤等經濟與社會問題。因此，未來動物排泄物的使用勢必與生產成本、社會價值及如何提高對作物養分效率的技術上發生十分密切的關係。

* 台灣糖業研究所工程師

動物排泄物的處理、儲存及通送

動物排泄物從動物飼養欄舍中到施用於農田以前大多必須經過適當處理、儲存及運送等過程。一般動物排泄物（糞便與尿液）先經固液分離技術，分為固態糞便及液態糞尿水兩部份，前者通常經添加適量稻草等作物殘體混勻後，高溫發酵製成堆肥；後者經好氣及嫌氣酸酵處理後，去除臭味、降低生化需氧量、產生甲烷燃料或排放到農田及河川中。這些處理過程無形中增加生產成本及投資設備。

從事畜牧生產事業不可能不產生動物排泄物。因此，動物排泄物的處理、儲存與運送費用必須計算在總生產成本中，但以儘可能節省此方面的開支為度。如今唯一可行的途徑是如何有效利用動物排泄物做為作物生長所需的肥料。然而，問題並不單純是肥料養分而已，還需考量如何避免動物排泄物惡臭發生及可能的環境污染問題。因此，在大量施用動物排泄物之前，必須事先考慮其對作物養分的供應能力，是否會造成空氣或水質污染，未雨綢繆，避免二次公害的發生。

動物排泄的化學組成與營養

動物排泄物的化學組成因所飼養動物的種類、年齡、及所餵食飼料配方不同而異，而自畜牧場所排放的畜牧廢水更因處理方式、沖水量不同而有更大的差別。一般而言，雞隻排泄物比豬或牛隻排泄物含有較高比例的鉀素（前者約0.6~1.1%，後者約0.2~0.5%）、磷素（前者約0.6~0.7%，後者約0.1~0.2%）及氮氣（前者約1.5~1.7%，後者約0.4~0.7%）。就養分效應而言，牛隻排泄物屬於較短效應型態，豬及雞隻排泄物則為長期效應型態。所有動物排泄物施用於農田時，必須考慮到三要素間質量平衡，尤其是氮氣。在施用時，必須決定其中一種養分，通常是氮素，做為限制因子，然後允許其他養分可能過剩或不足。假設我們施用動物排泄物到種植某種作物的農田中，若調整氮素含量到完全滿足該作物生長時，在這種情況下導致磷素過剩，而鉀素也可能稍多。如此，過剩的磷素可能會導致地下水的污染。因此，基本上在施用動物排泄物做為作物養分時，應當考慮以引起養分過剩的要素（磷素）為限制因子，將動物排泄物的施用量以滿足磷素需要為原則，不足的氮氣或鉀素，則以多次施用予以補足。如此不但能滿足作物所需的三要素，而且也能避免危害環境到最低程度。

養分進入農業耕作系統的總量能夠從肥料使用量、動物排泄物或植物殘體施用到田間的數量而計算出來。至於養分被作物攝取及損失到空氣或水質的數量則較不易計算，但也能夠做合理的預測。由於氮、磷、鉀三要素的理化特性及作物需要量各異，必須予以個別的考量。

氮素屬於短效性肥料，施用時儘可能講求效率，任何無機態氮素殘留在土壤中除部份以銨態氮被土壤粒子吸附外，大部份均氧化成硝酸態氮而淋失或再脫氮而逸散到大氣中。長期

施用動物排泄物，必然增加土壤總氮量及礦質化作用，因而造成硝酸態氮大量累積。土地上種植作物，尤其是牧草，將可攝取部份硝酸態氮，降低硝酸態氮污染水源的嚴重性。當動物排泄物暫停施用時，土壤總氮量很快下降，因此，如何減低氮素損失到最低及增加氮素利用率，是氮素使用的最高原則。

磷素也是作物生長不可或缺的主要養分，磷素在土壤中不易移動，當動物排泄物施用到土壤時，很快被礦質化而變成無機態磷。部份磷素被土壤吸附而累積，增加土壤肥力。但，隨著每年不斷施用大量動物排泄物後，土壤吸附磷素能力逐漸飽和，導致土壤上層的磷素向下移動，而磷素向下移動速率與土壤吸附能力大小有關。

動物排泄物中的鉀素容易被作物所攝取，過量的施用可能導致作物攝取過量，以致造成養分不平衡。然而，鉀素在粘重土壤中易被保留，在輕質地土壤中不易保存，很快被淋洗而流入地下水中，形成水質污染。

豬飼料中常添加定量的銅與鋅，因而豬隻排泄物施用於土壤中導致此兩種元素的增加。根據英國研究人員調查發現，在北愛爾蘭地區連續八年中一塊農田每公頃共施用一千七百噸豬隻排泄物，則土壤中銅含量由原來的 16 pp m ，增加到 38 pp m (表土層)，因此，獲知在某特定地區，連續施用大量動物排泄物數年後，土壤中銅含量將累積到某種危險程度，如果降低動物排泄物的施用量，祇能延緩達到銅毒害所需的時間而已，主要因子還是在於如何控制特定地區所飼養的豬隻頭數，因此，治本的良策是當某特定地區的土壤中已不缺鋅或銅時，在該地區所飼養豬隻的飼料中絕不可添加此兩種微量元素。反之，在極度缺乏銅的土壤地區，則反而需要在飼料中添加適量的銅，以增加土壤銅含量。運用之妙，存乎一心。

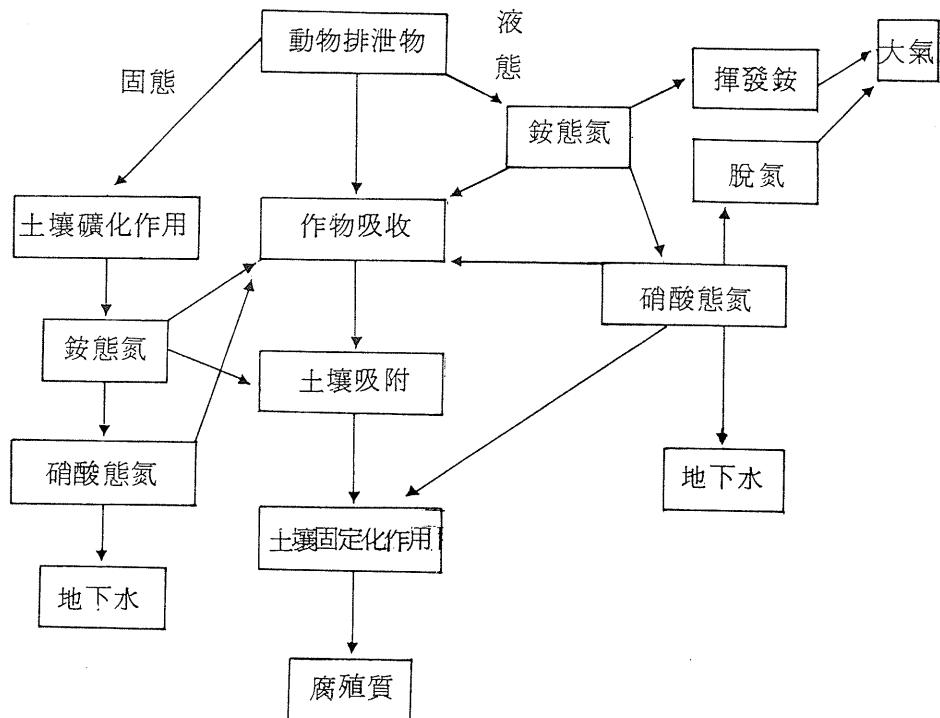
動物排泄物對土壤性質的影響

同一地區連續多年施用動物排泄物，通常會導致土壤中總碳、氮、可溶性磷及交換性鉀含量累積，尤其在表土層十五公分為然，特別是可溶性磷素，幾乎比未施用動物排泄物地區者高出十倍以上，交換性鉀也高出四倍以上。其中磷素大多累積在表土層，交換性鉀則可深達表土下七十五公分處，仍有顯著差異。然而，長期施用動物排泄物確有提高作物產量正面效果。

磷素在土壤中的行為非常複雜，瞭解磷素在不同土壤質地、構造及 P H 的理化特性，將有助於控制磷素在土壤中的變化。

氮素循環與氮素在田間的損失

動物排泄物施用於土壤後，以氮素的變化最為顯著。基本上，動物排泄物、作物及土壤微生物三者間形成十分複雜的關係，動物排泄物中的氮素（有機態與無機態氮）循環如圖一所示：首先動物排泄物施入土壤後，有機態氮立即被土壤微生物所分解而轉變為銨態氮或再氮



圖一動物排泄物在土壤中的轉變過程

化爲硝酸態氮，其中部份銨態氮及硝酸態氮被土壤固定或作物吸收，部份銨態氮揮發變成氨氣逸散到大氣中，部份硝酸態氮被雨水淋洗到地下水或脫氮作用以氮氣形態跑到大氣中。至於動物堆肥方面，有機態氮除部份經由微生物礦質化作用轉變爲銨態或硝酸態氮外，部份與作物殘體經由土壤氧化觸媒聚合反應，形成十分安定的腐殖質，增進土壤地力。

大氣中揮發氨的存在主要來自動物排泄物、工業及家庭燃燒煤炭所致。最近調查發現某些特定地區的空氣中揮發氨含量偏高的原因係來自大量表面施灌動物排泄物的農田中。這些揮發氨有些被作物葉片再吸收、有些被雨水淋洗或被空中固體顆粒吸附再度沉降到地面。雖然經由動物排泄物或工業及家庭燃煤所產生揮發氨的比例，無法正確的估算出來，根據研究結果指出，在正常大氣中，雨水所含的銨態氮應低於 0.05 ppm ，在工業區上空雨水中銨態氮含量即可達到 $0.27 \sim 1.7 \text{ ppm}$ 的紀錄，在施灌動物排泄物的農田地區，雨水中銨態氮濃度有高達 8.5 ppm 者，在這些雨水中銨態氮含量偏高的地區，大約每年每公頃土地要接受 10.7 到 28.4 公斤的銨態氮。這些銨態氮中百分之八十五係來自動物排泄物，因此，如何控制動物排泄物中氮素轉化為揮發氨的損失是當前重要的課題，因為揮發氨不但造成動物排泄物養分損失，而且導致空氣污染，尤其是可能形成酸雨，危害作物及降低土壤的緩衝能力。

脫氮作用是農業土壤氮素循環中一個常見的過程，主要係藉著厭氣性微生物在缺氧（還

原)狀態下將硝酸態氮還原而形成氮素或一氧化二氮(N_2O)。大量的動物堆肥或糞尿水可能造成厭氣狀態，有利於脫氮作用的發生。硝化作用期間，有機質對氮素或氧化氮的產生是否具有重大影響，目前仍不甚瞭解。因此，到底動物排泄物的施用方式應以铵態氮較佳呢？抑或以硝酸態氮較好呢？目前仍無法確定；是否需要使用硝化作用抑制劑，也值得審慎研究。

脫氮作用對農民而言，是一種植物養分的損失。然而就環保立場而言，過多的硝酸態氮會導致水質污染，而脫氮作用剛好能夠除去部份或所有過剩的硝酸態氮，或減低污染程度。但脫氮作用減少動物排泄物中的養分價值，因此在缺氮的土壤應注意維持適當的通氣狀態，以免硝酸態氮因厭氣而脫氮逸失。

硝化作用進行迅速的地區，動物排泄物的氮素很快轉變為硝酸態氮而累積，當作物無法全部攝取時，過量硝酸態氮即隨著雨水或灌溉水向下淋洗到地下水中。因此，如何有效利用硝酸態氮及如何控制硝酸態氮在土壤中的濃度，係值得我們深入探討的課題。

如何避免造成環境污染

施用動物排泄物做為作物生長的養分或以土地消納處理動物排泄物可能導致嚴重的環境污染問題，特別是使用不當時，更會造成不良後果。動物排泄物主要導致揮發氨或氧化氮逸散到大氣中及硝酸態氮淋洗到地下水中，同時引起惡臭氣味，影響家居的生活品質。因此，施用動物排泄物到土地時，必須考慮到土地的最大容納量，不能超過最大極限。此外，應設法儘量減少揮發氨、硝酸態氮的損失及避免淋入地下水系統的策略。分別要述如下：

一、減低動物排泄物中揮發氨產生的方法：

動物排泄物中的尿液主要成份為尿素，而糞便中含有大量有機態氮，這些物質經微生物分解後均能產生铵態氮，當環境中的酸鹼度(PH)呈中性或微鹼性時，铵態氮即迅速轉變為揮發氨而散失於大氣中。有人曾經使用尿素分解酶抑制劑，阻止尿素被轉化為铵態氮，但祇獲短暫效果。

為了防止動物排泄物或糞尿水中的PH趨向鹼性，添加酸性物質或吸附劑（如土壤粘粒）於動物排泄物中降低其PH值，也是一條可行的途徑。例如添加磷酸、硫酸、焦磷酸或土壤粘粒以減低揮發氨的產生雖屬可行，但却不經濟。有人建議以充分好氣及酸化法處理豬糞尿水，藉此減少揮發氨的形成，方法是添加硫酸或磷酸於糞尿池中沈澱含蛋白質的糞便固形物而獲得上層澄清液，過度的酸再被中和。問題是酸化後的糞便污泥變成懸浮凝聚狀態，物理特性改變。同時酸化後的豬糞尿施用於田間不但增加土壤酸度而且更造成磷素過剩，導致養分不平衡的缺點。因此，最好的辦法還是將動物排泄物不經酸化直接施入田間或以地下管路灌入田裡最為經濟可靠，又可避免養分損失。

二減少硝酸態氮損失的良策：

動物排泄物在通氣狀態下的土壤中，銨態氮被氧化為亞硝酸，然後變成硝酸態氮。其中亞硝酸祇是短暫存在，主要以硝酸態氮存在，而這兩種物質均容易因淋洗或脫氮而損失。利用硝化作用抑制劑如N—serve，dicyanodiamide，或Nitrapyrin能有效抑制土壤中銨態氮轉化為亞硝酸態，但却無法有效抑制動物排泄物處理池中的銨態氮硝化作用。因此，仍需再尋找更有效的硝化作用抑制劑，抑制糞尿處理池中的硝化作用。

硝化作用與脫氮作用過程中所產生的含氮氧化物是大氣中重要的化合物，因為它經由一連串化學反應而生成硝酸態氮氧化物(nitric oxide)。而硝酸態氮氧化物與二氧化氮是控制大氣中臭氧(ozone)濃度及分佈的主要因子。因此，含氮氧化物濃度增加，將影響臭氧的濃度。並非所有含氮氧化物全部逸散到大氣中，因為有些被土壤吸附或被雨水淋溶，然而經由動物排泄物所形成的含氮氧化物逸散到大氣層的濃度必須確實測定。雖然研究調查結果顯示大氣中含氮氧化物主要來自海洋或自然土壤，剩下的才來自施肥及農業用土壤。

三氮素淋溶到地下水系統的控制

氮素污染地下水或排水系統主要是由於動物排泄物中一些可溶性物質無法被土壤吸附而淋洗出來，特別是硝酸態氮及一些結構上有缺陷、裂縫的農工建築設施。例如，當豬糞尿在夏季施用於牧草地時，因缺乏大量水份稀釋，在施用後一天內施灌區滲漏水的生化需氧量(BOD)、氮、磷含量急速升高，數天後才能恢復正常。推測其因是土壤結構有缺陷，導致動物排泄物很快滲入地下水。此外，當豬糞尿水施灌到兩種不同排水系統，一為以土壤堆積而成1.25公尺的排水管道，另一為以石頭排列而成0.5公尺的排水管道時，由這兩種排水管道中所收集滲漏水發現前者所含的有機質、氮、磷均比後者減少。因此，有關動物排泄物在不同土壤質地、構造及理化性質下的吸附、轉化、移動及淋失情形均需深入研究，做為今後施用於田間的參考。

當豬糞尿在秋冬季施用時，常導致增加水質及排水系統的污染程度，特別是硝酸態氮，因為豬糞尿行表面施灌時，由於冬天氣溫很低，豬糞尿分解速率很慢，直到早春時才開始加速反應，以致硝酸態氮的濃度在春季達到最高峯。因此，豬糞尿中硝酸態氮的產生受季節變化而增減，今後應研擬一套如何預估在不同季節中硝酸態氮在灌溉水或地下水中的臨界濃度，避免造成水質污染到最低程度。

結 語

畜牧業的集中飼養管理已迫使對動物排泄物的收集、貯存及施用也必須採取極為審慎的處理態度。由於家畜集中大量飼養，所產生大量排泄物已超過鄰近土地所能長期消納的極限，以致這些過剩的動物排泄物必須設法處理後再運送到其他需要增添植物養分的土地上。

以動物排泄物做為作物養分時，通常以氮素需要量為依據而施用，因而常導致磷素過剩，有時也會引起鉀素過量。

大量施用動物排泄物雖然能夠增加土壤中總氮量，但並無法實際有效被作物全部吸收，因為有些氮素變成揮發氨、脫氮逸散到大氣中或形成硝酸態氮淋失到地下水中。而磷素幾乎全部被固定累積在表土中，鉀素過多對動物健康有害並導致作物養分不平衡。因此動物排泄物中的氮、磷、鉀經由不同途徑進入水質系統中，若未經嚴格監測，不得做為飲用水。

今後應發展一套模式預測動物排泄物中三要素在土壤中的行為，訂定最安全的施用方法，不但經濟有效的供給作物所需的養分，而且避免造成環境污染與危害動物健康，達到無公害污染的境界。