

你施的肥料去哪裡了？

(1) 氮循環及如何提高氮肥利用效率

文／潘佳辰 圖／江汶錦、潘佳辰

近年來農田土壤永續管理的概念逐漸在世界各地擴散，相關土壤管理措施(例如合理化施肥、輪作制度、敷/覆蓋以及減少耕犁)逐漸受到農友接受並導入原本耕作模式，以利土壤永續管理。適度的施用肥料可以有效維護作物產量及提升品質並且維持地力。然而在某些條件下，將會降低肥料有效性，導致施用後未能達到預期的施肥效果，若未能即時改善可能會增加管理成本，更可能導致土壤品質劣化、產品品質無法提升。施用肥料前若能了解肥料特性及影響肥料有效性的原因，將有助於提升施肥效率。本文將以氮循環過程介紹如何提高氮肥利用效率。

氮肥為作物生長所須之大量元素 (Major element)，為合成葉綠素重要的元素。缺乏症狀通常出現在老葉，作物缺乏氮肥時會出現老葉黃化的現象 (如圖一)，葉片或果實偏小，進而造成產量降低。過度施用將造成葉片之葉色濃綠，葉片面積變大、葉片厚度變薄等，果實則可能造成轉色不良等現象。購買肥料時，通常會先了解該商品的氮磷鉀含量各是多少，肥料袋上會印有15-15-15或16-8-12等字樣，如未特別說明數字含意，數字的排序通常為氮、磷酐、氧化鉀各自的

含量。氮肥的來源包括化學肥料及有機質肥料，就讓這趟了解氮肥循環及提高氮肥利用效率的旅程從這邊開始吧！

氮循環-屬於氮肥的旅程

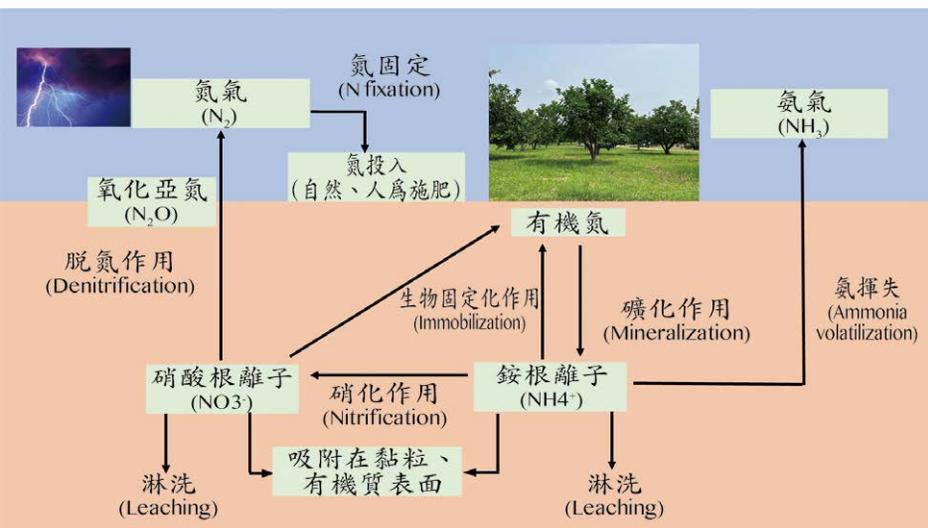
氮肥在環境的旅程中共有七大作用主導著氮的行程 (如圖二)，包括氮固定 (N fixation)、礦化作用 (Mineralization)、硝化作用 (Nitrification)、生物固定化作用 (Immobilization)、脫氮作用 (Denitrification)、銨揮失 (Ammonium volatilisation) 及淋洗 (Leaching)。

氮固定 (N fixation)

氮氣為大氣組成比例最高的氣體 (約佔78%)，然而必須透過將氮氣轉換為被作物使用的硝酸態氮或銨態氮。轉換的方法包括固氮微生物作用、閃電作用以及哈伯法。



圖一、(左) 文旦葉片氮含量較低時，葉色較淺；(右) 葉片氮含量足夠，葉色較深



圖二、氮循環示意圖

固氮微生物廣泛的存在大自然中，較為熟知的包括藍綠菌、放線菌、游離固氮菌、共生固氮菌（或稱根瘤菌），這些微生物透過一系列的生理生化反應，將氮氣 (N_2) 轉變為氨 (NH_3)，再釋放至土壤環境或是提供宿主作物使用。下雨天時的閃電提供高能量將氮氣與氧氣結合，形成氮化合物，再經過下雨來到土壤環境被作物吸收，所以俗諺「落一遍雨卡贏落一遍肥」，其中的原因之一即是雨天的閃電促成了固氮。

礦化作用 (Mineralization)

礦化作用為透過土壤微生物將有機態氮轉化為無機態氮（銨根離子， NH_4^+ ）的過程。有機質肥料或是作物殘體透過礦化作用，將有機態氮轉化為銨根離子。這一過程需要配合足夠的水分及溫度，使土壤微生物完成礦化作用，夏天溫度高，微生物活性高，有機質肥料的礦化速率也會較快。而若是施用化學肥料，施用後幾乎直接以無機態氮進入環境，通常不考慮礦化作用。

硝化作用 (Nitrification)

硝化作用是在氧氣充足的環境下，透過微生物的作用，將銨根離子轉變為亞硝酸根離子 (NO_2^-) 及硝酸根離子 (NO_3^-) 的過程。硝化作用由亞硝化單胞菌屬 (*Nitrosomonas*) 及硝化菌屬 (*Nitrobacter*) 等微生物所參與；亞硝化單胞菌屬將銨根離子轉換為亞硝酸根離子，但作物通常

無法利用亞硝酸根離子，故需要由硝化菌將亞硝酸根離子轉換為硝酸根離子，再被作物吸收。

生物固定化作用 (Immobilization)

生物固定化作用可以視為反方向的礦化作用，即作物根系或是微生物將土壤當中的無機氮（銨根離子或硝酸根離子）吸收後，經過轉換、合成為有機氮的過程。一般來說土壤當中的無機氮需供應微生物及作物使用。但是當施到土壤中的資材碳氮比過高時，可能會引發微生物與作物的搶氮，造成作物出現短暫的缺氮現象。故若有大量且尚未堆肥過的資材，建議可以調整碳氮比及經過堆肥程序後再施用到土壤中。

脫氮作用 (Denitrification)、氨揮失 (Ammonia volatilization) 及淋洗 (Leaching)

脫氮作用、氨揮失及淋洗為無機氮進入大氣或是水體當中的路徑。脫氮作用多發生於厭氧環境下（例如淹水環境），將使得硝酸根離子轉變為氮氣或是氧化亞氮揮發到大氣中；銨

揮失則好發於鹼性環境，鹼性環境將使銨根離子轉換為氨氣揮發到大氣中；淋洗則是氮肥經過灌溉水向下帶動至較深的土層或是地下水體。不論是脫氮作用、銨揮失及淋洗皆會造成土壤中無機氮的流失，降低氮肥效率。

如何提高氮肥利用效率

由氮循環過程可以發現，氮肥有效性受到土壤環境因子影響，以下將介紹如何提升氮肥有效性：

鹼性土壤避免施用銨態氮肥

銨態氮肥（例如硫酸銨）在鹼性土壤可能會造成氨揮失，降低氮肥效率。當土壤酸鹼值大於7時，將會提高氨揮失的風險，故建議可以改用硝酸態氮（例如硝酸鉀）。此外，施用酸性土壤改良資材（例如苦土石灰）後，也應避免立施用銨態氮肥，建議可以相隔7～10天再施用。

水田避免使用硝酸態氮肥

水田環境下氧氣較為不足，容易形成厭氧環境，若使用硝酸態氮肥將促進脫氮作用，不僅降低氮肥有效性，還會增加溫室氣體（例如氧化亞氮）的排放，故水田環境下建議以銨態氮肥取代硝酸態氮肥，或是使用緩釋型肥料延長肥效。

搭配施用緩釋型肥料延長肥效

緩釋型肥料為在肥料表面覆上特殊材料形成多孔的材質，以達到減緩肥料釋放速度（如圖三）。相較於一般化學肥料施用後在1～3天內釋出肥分，緩釋型肥料依據包覆材料的不同，可以將釋放肥料的天數延長至3、5、8個月。部分的緩釋型肥料亦可搭配作物生長曲線，提供作物生長所需的養分。

施用含粗纖維有機質肥料增加土壤保肥能力

氮肥進到土壤中後，一部分會吸附到黏土礦物或是有機質的表面，當土

壤質地偏砂質地或是有機質不足時，容易發生氮肥淋洗。施用含有粗纖維材料（例如菇包、蔗渣等）的有機質肥料，有助於提升土壤有機質含量，亦有助於提升土壤保肥能力，並且增加氮肥儲存在土壤的容量，建議種植前可以將土壤送至改良場所進行土壤肥力分析，了解土壤有機質含量。

結語

過往施肥時常憑著經驗或是感覺在施肥，透過氮循環圖可以了解氮肥進到土壤環境後的路徑，以及氮肥在土壤中的各項作用。建議在施肥前1至2個月將土壤送到各區改良場進行土壤肥力分析，根據分析結果以及作物種類調整氮肥。此外把握氮肥施肥原則，包括鹼性土壤避免施用銨態氮肥、水田避免使用硝酸態氮肥、施用緩釋型肥料以及增加土壤有機質等，皆能提升氮肥利用效率。

隨著農業淨零政策以及農業環境永續發展的推動，如何有效率的使用肥料逐漸受到重視。氮肥做為作物生產必備要素，了解氮肥在土壤環境的循環及反應，將有助於增加我們在施肥時的「眉角」，為維護農業永續環境盡一份力。



圖三、各種緩釋型肥料外觀。施用緩釋型肥料有助於提升氮肥利用率及減緩氮肥流失