

# 有機質肥料之合理化施用

林毓雯、張庚鵬、黃維廷

行政院農業委員會農業試驗所

## 前言

自人類歷史進入農耕時代以來，有機資材在田間的使用即非常普遍。尤其在早期化學肥料尚未普及以前，環境中所能取得的有機資材，就是肥田的唯一物料，諸如作物殘體、動物糞尿等都是廣為使用的資材。化學肥料價格便宜以後，因為肥效迅速、體積小、施用方便，因此有機資材的使用被大量取代。一直到最近，由於環保意識抬頭，廢棄物的妥善處理受到重視，再加上化學肥料長期不當施用後，常造成部分養分的累積及微量元素之缺乏等土壤劣化的現象，有機資材的使用又再度受到重視，在各種作物栽培上廣為應用。

有機資材大多具有體積澎鬆、富含有機成分的特性，施用到田間可改善土壤物理性、化學性或生物性，進而促進作物的生長。然有機資材種類繁多，成分各異，不同資材養分釋出特性不同，即使商品名稱相同之有機質肥料，其肥效也會隨原料成分而異。因此在施用前有必要對其肥分進一步了解，並充分配合作物的生理需求及土壤環境特性，方可確實掌握其施用技術，達到增加收益、提高品質、減少環境污染的目的。

## 有機資材的分解及氮礦化

有機資材添加到土壤中以後，由於其含有微生物所需的營養，微生物繁殖時會從有機資材中取得養分，其中以碳及氮最為重要，除了用來合成微生物體之外，另一方面是供應新陳代謝所需的能量。因此，有機資材的成分會隨著微生物的活動而分解，部分轉化為微生物體質，部分變成二氧化碳及水散失到空氣中，部分轉成無機養分釋放到土壤中。分解的過程中有機成分漸漸減少、體積變小、氮及無機養分的百分率增加。此種養分由有機型態轉為無機型態的過程，即稱為礦化作用。

一般微生物於繁殖個體及活動所需消耗的能量，是經由有機資材

中的碳轉變為二氧化碳而來，而作為能源所需的碳約為個體繁殖的兩倍，亦即合成1公克的微生物體，需另外消耗2公克的碳作為能源，總共需要3公克有機資材的碳。又以一般微生物體的碳氮比約為10來看，則合成1公克的微生物體，需要0.1公克的氮。因此，有機資材的碳氮比大約需維持在30左右，則其所含氮經過微生物分解後，才可充分供給微生物生長<sup>(6)</sup>。如果碳氮比低於30時，則會有多餘的氮釋放到環境中，此即氮的礦化作用；反之碳氮比大於30時，則微生物必須從環境中吸收氮藉以合成體質，此即氮的同化作用，會造成施用初期土壤有效態氮的下降。

## 常用有機資材的氮礦化特性

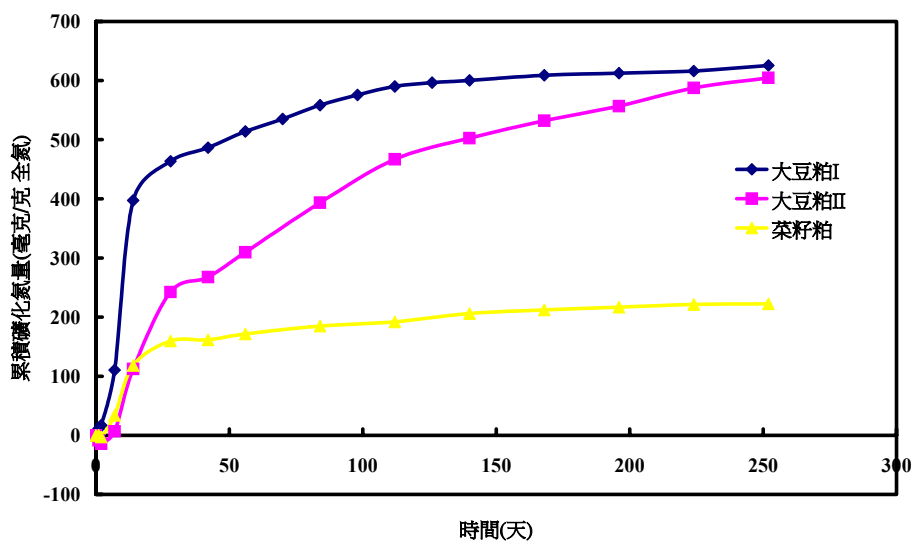
有機資材中的氮絕大多數為有機態，必須先經過微生物分解後釋出無機態氮，才能供作物吸收利用。由於有機資材的肥效主要決定於氮的供應量，因此，其氮礦化特性與資材的施用技術有密切的關聯。根據以往筆者對有機資材氮礦化特性的研究資料，在36週試驗期間，有機資材氮礦化特性可大略區分為三類：

### 一、快速礦化型資材

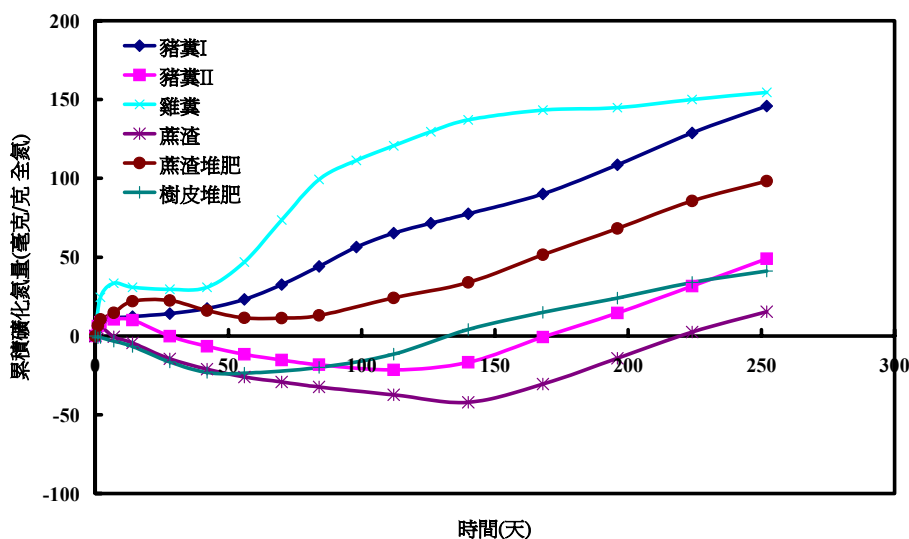
此類資材主要為含氮量高的油粕類資材，諸如大豆粕、芝麻粕、菜籽粕等，其氮礦化特性為施用初期會有一段微生物分解的遲滯效應，無機氮釋出極少，這段時間大約維持數天至一週，之後氮就會大量放出，一直持續到數週後釋出量才漸漸減少，最後達到一個平衡點，氮幾乎不再釋出（圖一），總計前四週氮釋出量幾乎占36週釋出量的一半以上。

### 二、緩慢礦化型資材

此類資材包含大部分的糞尿類、堆肥及蔗渣資材，其礦化特性為在施用初期有少量（部分資材甚至沒有）無機氮釋出，大約1到2週後可達到高峰，之後維持一段時間（長短因資材而異）無機氮增加極少或甚至降低，之後會有第二波的氮釋出，此波氮釋出量較多且較穩定，可持續長達數個月以上（圖二）。



圖一 快速礦化型資材孵育 36 週氮礦化特性曲線



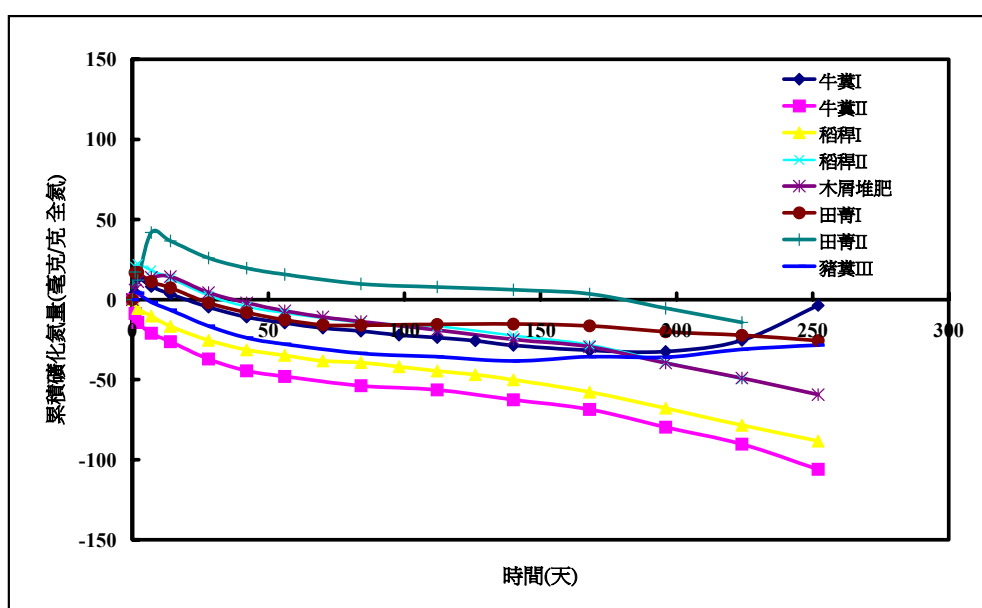
圖二 緩慢礦化型資材孵育 36 週氮礦化特性曲線

### 三、極緩慢礦化型資材

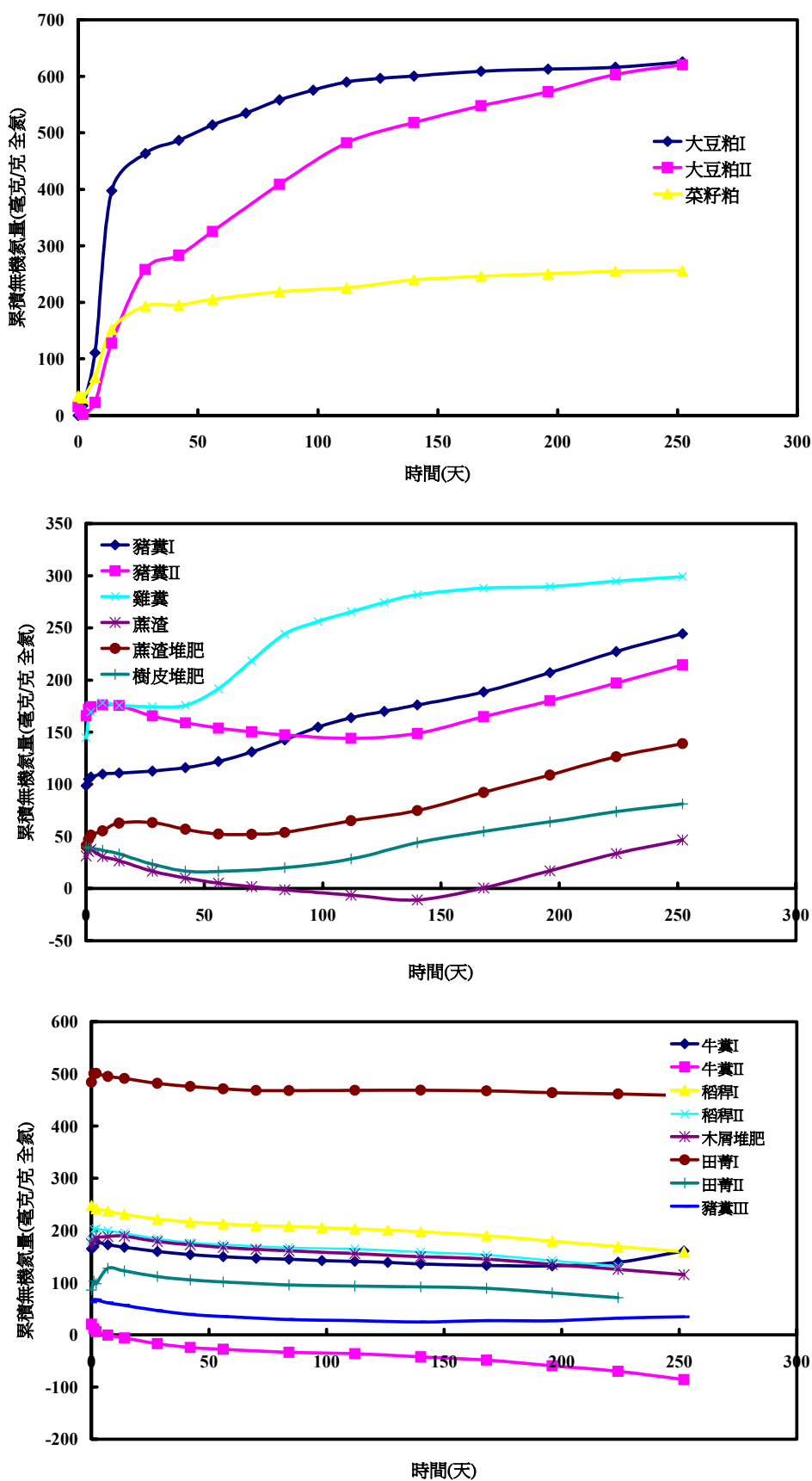
此類資材主要包括含纖維質高的有機資材如：稻草、木屑、牛糞等，其氮礦化特性為自施用後皆呈現無機氮減少的現象，表示這類資材不但不能供應作物氮，還會用掉土壤中的氮，必須經過很長的時間才有氮的礦化（圖三）。在36週的試驗期間，八個供試資材中，僅有兩個開

始有氮的礦化現象。

值得注意的是，糞尿類資材中的牛糞及綠肥中的田菁，其氮礦化特性卻屬極緩慢礦化型資材，與田間實際肥分表現似有出入。推測其原因可能係因氮礦化特性曲線僅將資材由有機氮礦化為無機氮的部分列入計算，而未計入資材原含有的無機態氮。如果將資材原始無機氮計入礦化特性曲線中，另外繪製資材的累積無機氮量圖（圖四），則可發現，極緩慢礦化型資材原始無機態氮量普遍較高，或可由此推斷，極緩慢礦化型資材的氮肥分主要係來自於原始所含無機態氮，因此，施用後後期的氮肥分則可能稍嫌不足。然而，由於在有機物分解過程中，碳不斷以二氧化碳形式擴散入大氣中，氮則轉變入微生物細胞體內，碳氮比逐漸下降，因此，即使高碳氮比的資材，經過微生物長時間轉化之後，亦可能有氮的礦化<sup>(3)</sup>，故此類資材長期連用之後，其多作所殘餘肥分的累積應會逐次提高。其次，快速礦化型資材則幾乎完全不含原始無機氮，因此其氮肥皆來自於有機氮的礦化，由於礦化速度快且可持續數週，一般而言氮肥分高、肥效迅速，然而後作殘餘肥效較低，亦需留意初期肥分可能過高的問題。至於緩慢礦化型資材，一般含有一定量的原始無機態氮，加上會有一段為期不短的氮穩定釋出期，因此其氮肥的供應應屬於穩定且持續型。



圖三 極緩慢礦化型資材孵育 36 週氮礦化特性曲線



圖四 有機資材孵育 36 週之無機氮量累積圖

## 影響氮礦化的因素

有機資材的分解會受許多因子的影響，包括資材本身的成分及其他環境因子如：溫度、水分、空氣、無機養分等。

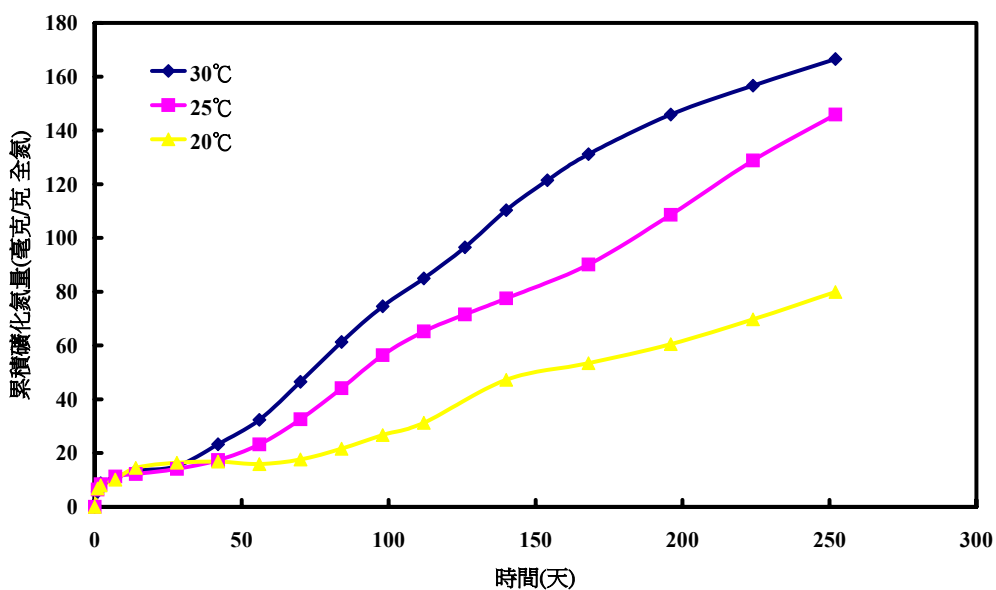
### 一、環境因子

一般來說，在自然環境下，溫度越高分解越快（圖五）；而水分是微生物生長所需的，但水分太多通常會造成通氣不良，影響好氣微生物分解有機物，因此需要有適當的水分；其次除了有機碳源外，微生物生長也需要其他無機養分，因此土壤中無機養分含量高也會加快分解速率，其中又以氮最為重要。

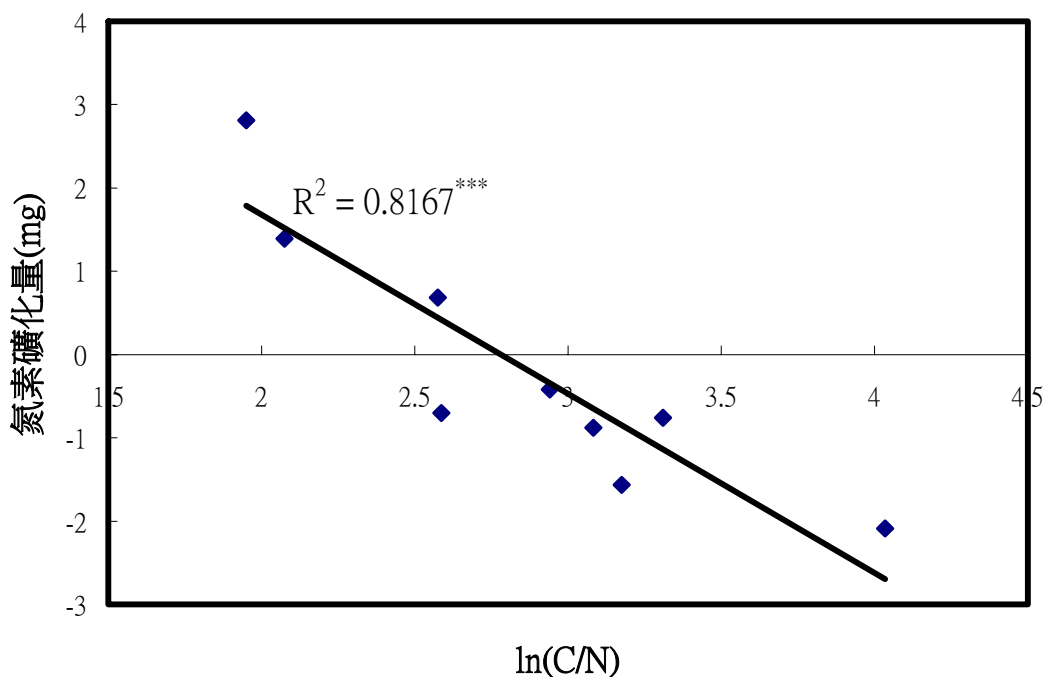
### 二、資材的成分

若對資材的成分加以分析，可發現氮礦化特性與資材本身的組成分有相當大的關聯。由於微生物需要從資材中獲取碳及氮源以合成體質，且其體質本身的碳及氮有一定比例，因此資材的氮含量及碳氮比（圖六），常左右資材分解過程可否有多餘的氮釋出，一般氮越高及碳氮比越低者氮越易礦化。

除了資材中的氮含量之外，許多的研究也顯示氮礦化與有機資材中含氮化合物的組成有很大的相關，資材中較難分解的含氮化合物量越高，則礦化速率越慢。有相當多的研究結果指出，資材中的木質素及多酚類化合物的含量，是很重要的影響成分，有一部分學者發現氮的礦化（或資材的分解）和木質素含量成反比，也有發現和木質素和氮的比值（lignin/N）成反比、和木質素加多酚與氮的比值（(lignin+polyphenol)/N）成反比。另外，其他較難分解的成分如蠟類、纖維素、半纖維素等，也會降低資材中氮的礦化。



圖五 不同孵育溫度下豬糞堆肥氮礦化特性曲線



圖六 有機資材氮礦化量與碳氮比相關圖

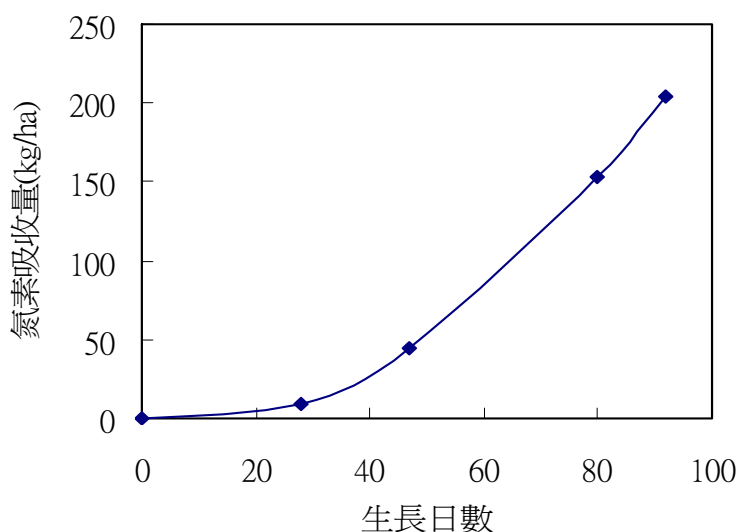
### 作物的養分需求

不同作物之生長期及養分吸收特性不同，不同時期之氮素礦化量對不同作物的影響各異，大部分作物在生長初期都需要氮素的供應，但由

於植株矮小，需要量並不大，對於中長期作物而言，其氮素吸收高峰期則多在發芽後一個月至兩個月之間。

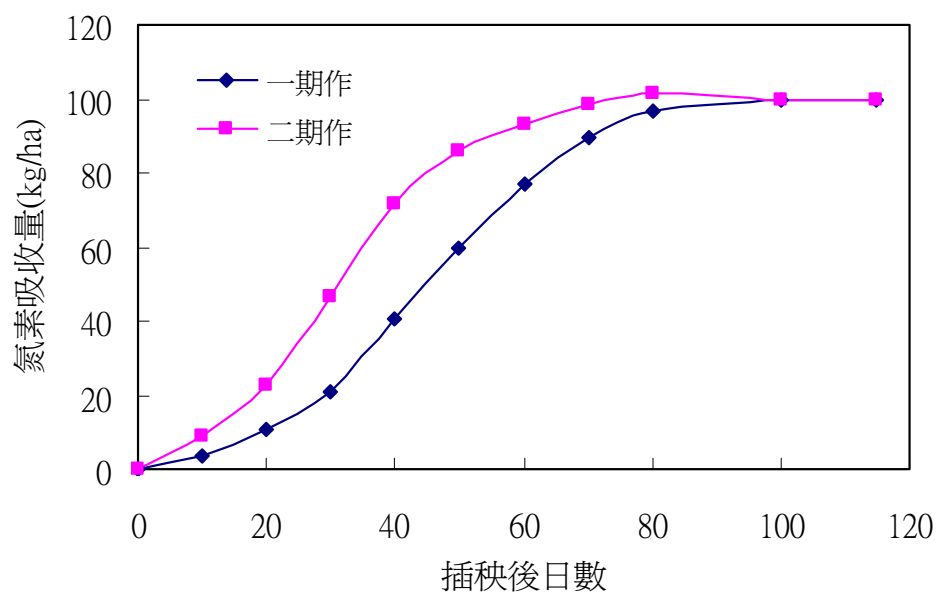
以個別作物來看，大部分蔬菜作物由於生長期較短，具有在短時間內吸收大量養分及水分的生理特性（圖七）。尤其葉菜類蔬菜之生育期更短，除了初期生長較緩，養分吸收較少外，隨後即快速的生長及吸收養分至收穫為止。根菜類蔬菜由於生長中後期根部肥大時，原地上部植株所含之營養要素可再轉移至收穫部位，因此除了生育初、中期對三要素肥料的需求外，生育中、後期更需有充分之磷、鉀吸收促進根部肥大，葉菜類蔬菜之結球菜類亦是類似情形。果菜類蔬菜由於開花後有一段時間是營養生長及生殖生長同時進行，因此除了生育初期對三要素的需求，生長中、後期的養分供給亦相當重要，尤其是與開花結果有密切相關之磷、鉀肥之施用。豆類蔬菜如接種根瘤菌時，因有固氮之功能，故氮素肥料量可減少，以利發揮固氮的功能。

穀類作物則初期植株小，養分吸收少，到了生育中期，營養生長旺盛，養分吸收量大幅增加，至於生育後期之生殖生長期，養分大量由葉轉移至子實，由土壤中吸收的養分又降低。以本省的水稻而言，氮肥吸收高峰期一期作約在插秧後 30 至 60 天，二期作則在 20 至 50 天（圖八）。玉米之氮素吸收高峰期則在膝高期至雄穗抽出期之間，以台農 351 而言，約為播種後 30 至 60 天之間（圖九）。

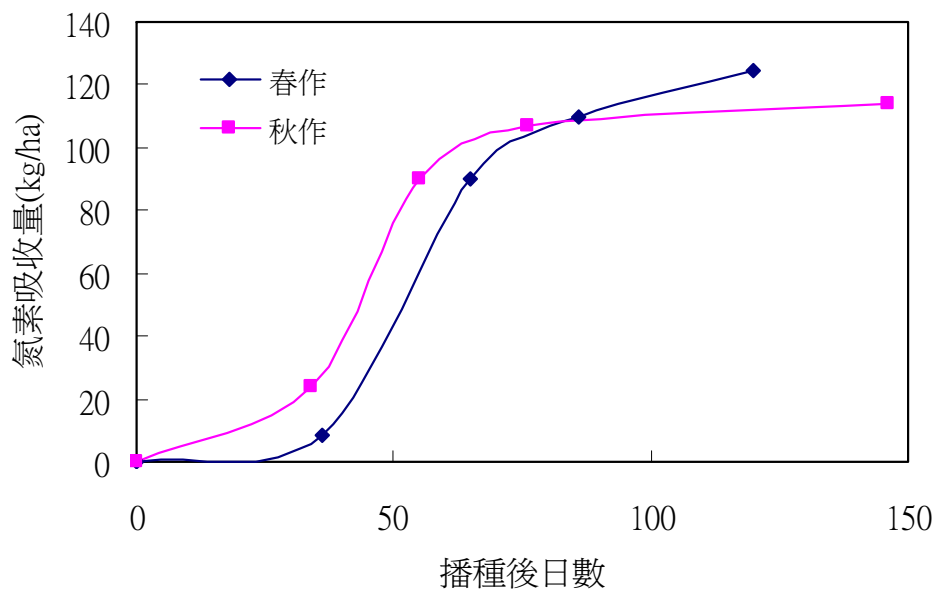


圖七、甘藍之氮素吸收特性（資料來源：連，1974）





圖八、水稻之氮素吸收特性（資料來源：王，1975）



圖九、玉米(台農 351)之氮素吸收特性（資料來源：王，1993）

## 有機資材施用技術

### 一、資材的選擇

施用有機資材的目的各不相同，有為了增進土壤肥力，也有為了改善土壤物理性、生物性等，因此，要先對不同有機資材的成分及分解礦化特性加以了解，再配合田間實際需求加以選擇。一般可以資材的碳氮比作為選擇參考。若為提供氮素者，需選碳氮比在 30 以下的資材。由於有機資材的全碳含量約佔有機質的 40%—50%，農民可以肥料袋上的全氮及有機質含量自行計算，計算方法為將有機質含量除以 2 得到全碳含量，再除以全氮含量，即可得到粗估的碳氮比。例如：以有機質含量 60%、全氮量 1.5% 的資材而言，其碳氮比約為  $60 \div 2 \div 1.5$ ，大約為 20 左右。

此外，亦可以一般資材特性作為選擇依據。大體而言，若為了增加土壤肥力，則應選用含肥料成分高者，如：乾燥禽畜糞、禽畜糞堆肥、綠肥、油粕等易分解的資材；若是為了改善土壤通氣、排水等物理性，則應選用含肥分少、疏鬆的資材，如：蔗渣、泥炭、樹皮堆肥等；如果是為了改善土壤的微生物相，則可視需求選用各種添加微生物菌體的有機資材，諸如添加固氮菌、溶磷菌、菌根菌等有機資材。一般若為了增加土壤肥力，則應選用含肥料成分高者，如：乾燥禽畜糞、禽畜糞堆肥、綠肥、油粕等易分解的資材；若是為了改善土壤通氣、排水等物理性，則應選用含肥分少、疏鬆的資材，如：蔗渣、泥炭、樹皮堆肥等；如果是為了改善土壤的微生物相，則可視需求選用各種添加微生物菌體的有機資材，諸如添加固氮菌、溶磷菌、菌根菌等有機資材。

### 二、施用量

有機資材的肥效主要決定於氮素的釋放量。不同資材氮素的釋放特性不同，而且不同作物之生長期及養分吸收特性也不同，因此對於施用量的決定要謹慎，並非所有資材對同一種作物都有同樣的肥效，而同一種資材對不同作物肥效也不會相同。

一般豬糞堆肥肥效的估算，是以所含總氮素的二分之一為可釋出氮量，牛糞堆肥氮素釋出較少，故可以總氮的三分之一來估算。泥炭等

資材由於含氮量低，一般多用來改善土壤物理性，可不必考慮其肥分，但施用量大時，也要把化學氮肥酌量減少。

另外，有機資材一般作為基肥一次施用，且部分有機資材在製成的過程會添加或產生相當量的無機氮素，因此除了考慮其總氮量外，對於無機氮素的量也必須留意，以免一次太多無機氮素造成對種子及幼小植株的傷害。

### 三、施用方法

- (1)基肥:基肥通常都於種植前施下，水稻及葉菜類採全面撒施後耕犁；瓜果類或根菜及結球菜類可以按一定距離條施，以耕耘機或培土機作畦後種植，或於作畦後在畦中央開溝施下有機肥，覆土後種植於畦兩邊；大型瓜果類蔬菜穴施混土之效果佳；果樹則可採全園撒施或環施。
- (2)追肥:短期性作物施用化學肥料時，多數使用基肥即足夠其全期生長之需要，但一些長期性作物或者栽培有機蔬菜，亦有施用有機質肥料為追肥。追肥使用量視作物種類和生長時期而不同，短期葉菜採取撒施在地面距離基部約 10cm 左右；條狀種植的作物如瓜果類或根菜及結球菜類、糧食作物的玉米、高粱等，則條施於植株基部附近；果樹則可採全園撒施或環施。如果使用含氮較高之油粕類有機資材或油粕液肥則可獲得較快效果。

### 四、施用注意事項

- (1)作物的每一生長時期對養分之需求量不同，故理想的施肥方法要能配合作物的生長時期，適時適量的施用肥料。有機質肥料施於土壤中需經過分解過程始可釋出作物所需養分，即使是充分腐熟的堆肥，也不能克服適時適量供應作物足量的養分之困難。故有機質肥料的施用若能配合適量化學肥料，更符合經濟效益。
- (2)未經腐熟的有機資材施用之後，必須經過分解才能釋出有效養分，且在分解過程會釋出對作物根系有害物質（如有機酸），因此有必要提前施用，使經過部分分解後再種作物，以免造成對作物的傷害或

是初期養分不足的現象。例如豆粕、綠肥等資材，必須於作物種植兩週前即施用。

- (3) 有機質肥料不能與石灰資材混合一起施用，以免所含之氮素在鹼性環境中，以氨氣型態揮散。其次，排水不良的土壤應避免一次施用多量有機質肥料，造成土壤在嫌氣狀態下，引起作物根部的傷害。
- (4) 有機資材必須經過分解才能釋出養分，假如每年添加到土壤中資材的量超過被分解的量，久而久之會造成有機質及養分的蓄積，影響耕地及地下水的品質，因此施用時不能只考慮單作的需要量，應該把前作的殘留量也一併計算。其次，有機資材的施用量一般均以氮素含量來推估，但許多資材中含有相當量的磷鉀（如禽畜糞堆肥），磷鉀移動性不如氮素大，長期施用也會造成養分失衡，所以使用此類資材時，有必要搭配適當化學氮肥或高氮素有機資材一起使用。
- (5) 市售有機質肥料由於部分原料來源含有重金屬，如禽畜糞中通常含有來自飼料添加物中的銅、鋅。重金屬在土壤中的移動性很低，長期施用會造成重金屬的累積。因此在資材的選用上最好能以不同原料者互相搭配（如作物殘體、禽畜糞、豆科綠肥），以減低對環境的衝擊。