

# 土壤有機物與稻米生產之關係

譚增偉

農業試驗所

農友常認為施用有機質肥料的農作物生長會比施用化學肥料好，但事實上，產量與養分管理有關，錯誤施用有機質肥料對作物及環境的傷害，其實不亞於使用化學肥料。本文針對土壤有機物與稻米生產之關係提出幾個觀點，冀希引導讀者多元與深入思考。

## 土壤有機質的界說及定義

土壤中所有的有機物質，包括活的及死的，新鮮的或腐朽的，簡單的或複雜得有機化合物，都是土壤有機質的成分。一般言之，土壤有機質包括植物的死根，植物或動物殘體各階段之分解產物，腐植質，微生物及任何有機化合物(例如微生物及其他生物之排洩物等)。至於生活於土壤中之大型可見的動物及活的植物根，常不列入土壤有機質的範圍內，但是各種活的微生物仍列入土壤有機質之內，因為這些活的微生物是無法與土壤中死的有機化合物分離的。

若要對土壤有機質下一個明顯定義是頗為困難的，如果可能的話，為實用目的起見，土壤有機質最好分為有機殘體及腐植質二部分。前者包括植物及動物已死部分及動物排洩物等之各階段分解產物；後者為黑色的土壤有機物，其化學成分及物理性質頗為穩定，唯其承受分解不及前者之迅速。

## 土壤有機物與水田土壤之生產力

土壤有機物對於土壤生產力之維持有決定性的影響力，一般土壤學教科書都有相當大的篇幅敘述綠肥，廐肥、堆肥等之特性及功能，並推薦包含綠肥作物之輪作制度。另一方面自從Liebig之無機營養說獲得實驗證實之後，由完全以無機化合物配製之培養液中栽培至成熟，由是可見在作物之生產中有機物並非絕對不可缺的。於是有些人認為土壤生產力之維持，並不需要有機物，如能精確估計土壤中每種要素之有效量，並以施肥方式補

充不足之要素，應可使作物正常而獲得高收量，目前各地土壤生產力差異甚大，施肥技術進步，尚不能使其差距縮小，歸因於有效性要素量之估計不能做得十分精確，而施肥技術尚不能適時彌補土壤中有效養分量之不足，故尚不能使各地土壤之生產力改善到同一高產量之水準。

那麼一般所承認的有機物之功用何在？從植物營養觀點而言，其功用無非是其所含各種營養要素，尤其是氮之功能。有機物本來就是植物體，含有植物所必須之所有營養要素，在土壤中分解時這些要素均無機化而成為有效。故有機物多的土壤，在一般情形下比較肥沃，作物之產量亦高。有機物供應養分之功用，縱使因施肥技術的進步而為肥料所取代，它還有維持良好土壤物理性的功能，使作物根系環境改善而發育良好。無機肥料之連年使用使土壤有機物含量降低，土壤物理性劣化而阻止作物之正常生長，是土壤學的基本常識。

### 土壤氮素對水稻生長之重要性

土壤有機物與稻米之生產關係頗為複雜，許多肥料試驗結果示，水稻因施肥而增產之幅度在一般作物中是屬於較低的一種。亞洲蔬菜研究中心早年土壤研究室之前任主任吉田堯博士曾將作物依據其對肥料之效應分等級如下表：

對水稻而言，只有對氮肥之效應較為顯著，對磷、鉀之效應不高。作物對肥料之效應常以收量指數(Yield index)表示，即以完全肥料區區之收量為100，缺肥區之收量與其比較所得之百分率，稱之謂收量指數；肥效愈高，則收量指數愈小，收量指數愈高，則肥效愈低，表示作物所吸收之氮大部分來自於土壤。水稻對氮之收量指數一般來說約為75%，早年，張守敬先生所列舉東南亞各國之氮肥試驗表示其收量指數更高，在80%以上。

這些結果表示稻米之生產上，土壤氮素比肥料氮素占較重要的角色。如土壤氮素供應量少，則縱使因氮肥之施用而收量增加1、2倍，仍較肥沃土壤不施肥時所給收量為低。另收集15N試驗結果，計算水稻之土壤氮素吸收率，即使在施肥量極多的現在，水稻由土壤吸收的氮素(68%)，還是比由肥料吸收的為多；所以，水田土壤之氮素肥力仍很重要，是故要想提高稻米之產量，必須先考慮如何提高土壤氮素之供應量。

## 土壤氮素與易分解性有機物

土壤中氮素絕大部分是成為有機態存在。故討論土壤氮素則不能不牽涉到土壤有機物。又土壤氮素之功能，必須經微生物作用將其轉變為氨態氮(稱為氨化作用)，或更進一步氧化成硝酸態氮(稱謂硝化作用)後，才能發揮；亦即土壤有機物必須分解，釋放其所含氮素，其所含之氮始能為作物吸收利用。

土壤有機物之分解為微生物之作用，故受土壤水分含量，土壤溫度，pH值，有機物量等因素之影響。土壤經乾燥後加水成濕潤狀態，則有機物之分解較未經乾燥者加速甚多。其所含之氮素之無機化作用亦加快。經乾土操作，或加熱，改變pH，攪拌等之前處理均可使有機物之分解加快，經這種前處理而加速分解的有機物，名為易分解性有機物，但不包含一些容易分解的糖類等。這些有機物不需要前處理也分解很快。

## 土壤管理對易分解性有機物之分解及水稻生長之影響

水田收穫後常常排水乾燥，次作開始前始放水犁田翻土，加以整地，這些操作均是引發「易分解性有機物」促進分解的前處理，插秧後水田中因「易分解性有機物」之分解急速發展還元之狀態，同時有氨態氮之形成，使秧苗獨得它所需要的氮素。第一期插秧時氣溫尚低，故土壤雖受到了種種前處理，其中「易分解性有機物」之分解速度尚不很高，土壤還元狀態亦徐徐發展。水稻生長期間，氣溫上升，分解速度隨之加快，水稻生長亦隨著氣溫上升而加快，故水稻之生長與土壤氮素礦化作用平行發展，水稻乃可以做良好生長。但在第二期作時，插秧時氣溫甚高，插秧前的曬田、翻土、整地等前處理觸發土壤有機物之急速分解，使土壤呈現強烈的還元狀態。此時有機氮之礦化作用亦可能很盛。水稻在 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度高的土壤溶液，根系容易木質化(老化)，而減弱其養份吸收能力。此時高度之還原狀態下可能有低分子量的有機物出現，如各種有機酸及酚酸，它們對於老化的根可能發生毒害作用，更使養分之吸收受到阻害，而使水稻生長受阻。故加於土壤之種種操作必須顧及隨之而起之土壤中有機物之加速分解對於水稻之影響而做正確的判斷後實施。水稻栽培初期之中耕除草，實有促進「易

分解性有機物」之分解之作用，加速土壤氮氣釋放速度之功能。生長中期之排水曬田，亦除了排除毒性物質增加氧氣之供應外，尚有隨之而起之「易分解性有機物」之加速分解及氮之釋放，對水稻之生長有極大之幫助。

早年，二期水稻之不耕地，不整地栽培以及直播栽培，經中南部各地區之初步試驗實常有提高二期作產量之效果。此乃由於未經前述之前處理「易分解性有機物」未引起加速分解，故在高溫下仍未使強烈的還原狀態出現，有利於稻根之正常發展。

### 水稻依賴土壤氮素較重之理由

水稻生長中土壤氮素之吸收量較肥料氮素為多，但為何如此則尚不甚明瞭。不管是土壤氮素或肥料氮素，如成為 $\text{NH}_4\text{-N}$ 則應對水稻有同樣的效果。日本學者利用 $^{15}\text{N}$ 標識的肥料研究土壤氮素及肥料氮素經水稻吸收對乾重之生產效率，結果亦示二者相差不多，亦即如吸收1公克之土壤氮產生的乾重為100公克的話，吸收1公克的肥料氮產生的乾重亦約為100公克。故問題在於肥料氮供應的時間，在土壤中之濃度及停留時間，是否對水稻生長有利。

土壤氮之釋放，在水田狀態下與溫度有密切關係溫度在 $15^\circ\text{C}$ 以下幾無釋放作用，溫度高於 $15^\circ\text{C}$ ，則愈高愈快。水稻之生長亦受溫度之影響，在 $25\sim 35^\circ\text{C}$ 之間，溫度愈高生長亦隨之加快。對氮及其他要素之要求供應之速度常常平行增減，氮之供應因有自動調整之功效。故土壤氮素較多時此項調整功能可使水稻隨時得到其所需之氮素，使其在不同年次之生產不致於有大幅的增減。也就是說產量較為穩定。如以肥料供應水稻之需之大部分氮素，則土壤中氨態氮濃度因其加入而驟然增高，但隨即因被吸收、脫氮、流失及微生物之有機化作用而消失。土壤中氮濃度忽高忽低，均對水稻之生長有不利之影響。

水稻在稻田中灌滿水的狀態生長，在土中硝酸態氮即亦被脫氮作用消失，故水稻所吸收的氮絕大部分是氨態氮。許多作物如單用氨態氮供應則其生長遠不如單以硝酸態供應下生長來得良好。水稻雖適應於氨態氮之吸收利用但如氨態氮供應之濃度提高，仍有氮中毒而生長受阻之可能。以水耕法栽培水稻時，如經常更換培養液(1~2天即行更換)，以維持一定的氨態

氮濃度，則在20~40 ppm  $\text{NH}_4\text{-N}$ 之供應下水稻幼穗形成受阻，抽穗遲延，而老葉一面枯死新分蘖一面增加，形成稻草不生米的局面。此時根部木質化進行。呈灰橙色，與硝酸態氮之供應下生長者比較，顯示其根部活性相差甚遠。如有丁酸等低及有機酸存在，則此種根系無抗拒其能力，使其進入水稻體內，因而產生中毒現象。以硝酸態氮培養者，此時卻無中毒現象，或中毒情形較為輕微。

吉田堯博士表示，以氨態氮低濃度供應水稻，則水稻缺氧，而此時稻根情形因缺氮而木質化，細胞老化而減低其生理機能，而同樣容易受其他毒性物質之侵害，因此，若以氨態氮栽培作物時必須以低濃度供應，以避免氮過多而引發中毒現象，但同時須源源不斷地供應大量的氮素，使作物能長大而達到高產之目的。作物能安全貯存於其體內之氨態氮濃度不高，超過却有毒害；不足時却易發生缺乏(因貯存量不高)。相反的，植物可大量貯存硝態氮而不致於發生毒害現象，故以硝酸態供應植物時，過多亦不易為害，供應缺少後因存量既多，不會即時發生缺乏而限制生長。由此可見，以氨態氮供應作物，則需準確符合作物之需要，不能過多過少，方可奏效而收到高產的目的，否則效果不大或甚減產。因水田中脫氮作用、流失現象等因時、地、氣候、管理等而異，同一施肥量在同一田中未必使土壤溶液中氨態氮之濃度達到相同的濃度，可見要以施肥維持土壤溶液中氮之濃度及供應量符合水稻之最適應條件，實在很不容易。這就是為何土壤氮素被水稻吸收之分量較肥料氮為多的主要原因。

對水稻而言，理想的肥料應具備：

- (一)難溶性，以避免土壤溶液中濃度高。濃度高則危害水稻，且流失量大而損失多。
- (二)遲效性：像土壤氮素，可因微生物的作用徐徐釋放氨態氮，維持土壤溶液中低的氨態氮濃度但持久不變。

依此方向之研究已發展出種種的緩效性肥料，但到目前尚未有完全符合水稻要求的理想肥料出現。在此理想的緩效性肥料出現而大家能夠經濟利用之前，稻田肥力之增加仍必須考慮有機肥料之合理施用使有可能。

## 稻田施用有機肥料應注意的問題

新鮮有機物在水田中分解，極易造成極度之還元狀態，產生許多還元性物質，例如醋酸、丙酸、丁酸等低分子有機酸，各種酸酚，以及硫化氫。這些物質如聚集於水中，則會阻止水稻根呼吸作用以及其他生理作用之進行，而發生中毒現象，使水稻生育不良，研究時發生種種病徵，因非由寄生病原體發生，故稱之謂生理病。施於稻田之有機物料，以往通常製成堆肥，先經發酵作用使易分解的有機物迅速消失，成為腐熟的堆肥後才加入於稻田中，而避免初期的劇烈分解作用引起的種種不良後果。

研究人員指出，稻草直接加入於土壤，雖可免除製造堆肥的麻煩，却也因新鮮有機物之初期急速分解所引起之有害作用，需要格外小心。好在毒性物質之聚集通常在高溫下才容易發生，且僅在其初1~2星期之內，過此時期，則毒性物質亦因繼續分解或經排水而消失。故施用稻草後過2~3星期，才插水稻秧苗，則可避免受到受傷。

新鮮稻草之施用，除了毒性物質之產生外，又有因其碳氮之過高之缺點，之分解初期吸收土壤中之無機態氮而成有機物(稱謂有機化作用)，使水稻吸收不到氮素而成黃綠色，生長不良。堆肥之製造中長加氮肥以降低碳氮比，故稻草之直接施用亦宜同時加用氮肥以降低碳氮比。不過稻草與氮肥同時加入稻草中，則必須引起脫氮作用而損失；實際上有機化而成為土壤氮素之肥料之量將因土壤、施用量及方法等而不同，其最好的條件仍需就各地土壤條件個別檢討而求出。施稻草之效果亦因地、時、方法等而不同，尚有待更進一步的研究。

## 有機肥料是否為必需？

我國早年雖有稻作競賽，但從未對競賽優勝者的水田土壤加以詳細的研究，故達成高收量之土壤條件為何，土壤有機物是否絕對需要之問題。無法提出確切的答案。根據日本多年來的研究結果表示競賽優勝者每年都施用大量之堆肥，並逐年加深耕土之深度，且努力客土(多半客入山高富有鐵質的紅壤)，以阻止水田之老鈣化，栽培中注意灌水排水，避免還原性毒素聚集，並藉以調節土壤氮素之釋放速度。故雖然不能證明要達到收量是否絕對需要有機物，但大量腐熟堆肥之連年施用有利於收量之提高。值得

注意的是「地力」的提高需漸進，不能操之過急。腐熟堆肥之加入亦不能一次加入多量，而須逐年增加施用量；耕土之深度亦須逐次加深(每年增加2~3公分之程度)，如此繼續5年之後，參加競賽有獲勝的希望。

多量堆肥之連年使用，除了物理性改善外，最主要仍是其所含之養分(特別是氮素)經礦化作用而釋放出來，謂水稻吸收而產生的。有機物量加多，則分解量亦加多，故土壤有機物含量之增加並不大。繼續加入有機物，則土壤有機物含量升高一定水準後，不再增加。此時每年加入有機物量等於每年分解量，而有機物含量未必提高很多。但因加入量等於分解量，故其所含之養分可視為有效性者，故在適當的排水條件使毒性物質不致於聚集，水稻之生育較佳，使可以想像得到的。

## 結語

上述為針對土壤有機物對水稻之增產為不可或缺的觀點所提出的種種理由，唯目前尚不知道以何種方法取代這些有機物所扮演的功能。故在代替有機物之功能之方法尚未被尋獲以前，我們要提高稻米之生產量，仍不能不重視如何增加土壤氮素之問題。

表 1. 普通作物之收量指數

作物	平均收量 公噸/公頃	收量指數(%)				
		無肥區	缺氮區	缺磷區	缺鉀區	完全肥料區
水稻(單作)	3.9	65	73	97	99	100
水稻(加裏作)	4.3	73	77	97	89	100
大麥	5.8	40	52	66	72	100
裸麥	3.1	31	44	70	68	100
小麥	3.2	30	46	69	72	100
陸稻	2.3	39	46	66	90	100
甘藷	16.8	67	93	93	63	100
馬鈴薯	16.5	37	47	47	70	100

表 2. 各國稻米產量(張守敬, 1975)

國 名	試驗 年次	試 驗 地數目	品 種	稻米產量公噸/公頃	
				無氮區	氮肥區,50~80 (公斤/公頃)
韓國	1965				
山谷冲積地		34	當地品種	4.6(84)	5.5(100)
河川冲積地		175	當地品種	3.9(85)	4.6(100)
菲律賓	1964~1969	155	IR-8	4.6(74)	6.2(100)
		143	BPI-76	3.8(81)	4.7(100)
		787	當地品種	3.1(82)	3.8(100)
臺灣	1930~1942				
第一期作		256	當地品種	2.9(83)	3.5(100)
第二期作		293	當地品種	2.6(86)	3.0(100)
	1953~1955				
第一期作		82	當地品種	2.6(74)	3.5(100)
第二期作		91	當地品種	2.6(84)	3.1(100)
泰國	1960~1968				
北部		236	當地品種	3.1(87)	3.5(100)
中部		461	當地品種	2.4(83)	2.9(100)
東北部		318	當地品種	1.7(77)	2.2(100)
南部		120	當地品種	2.4(85)	2.8(100)
越南	1961				
中部		114	當地品種	2.6(84)	3.1(100)
南部		78	當地品種	1.9(76)	2.5(100)