當今農業對輪作制度應有的認識(一)

輪作制度

的起源、歷史、意義與範圍

◎農試所農化系　譚增偉　王鐘和

一、前　言

農委會為調整國內作物產銷，以因應國內加入世界貿易組織（WTO）對國內作物生產之衝擊，自民國八十七年度起至九十年度止推行「水旱田利用調整計畫」，輔導稻田、蔗田及雜糧田等輪作綠肥或地區性特產，期以更開闊的國際宏觀角度，重新調整國內傳統稻米、雜糧及蔗糖之產業結構，建立前瞻性與永續性的農業體制，以確保國家糧食安全、符合世界貿易組織規範、維護農地永續利用及有效保障農民權益。顯然，未來產業結構的調整，必涉及耕作制度的變化，其中有關輪作制度的利用，有必要作一深入的了解，以明瞭其對土地利用及農業生產的永續影響。

二、輪作制度的起源與歷史

輪作制度的施行，或謂在同一塊土地上，連續種植一序列不同物種的作物方式，在歷史上已存在了數千年之久。此種制度的發展，早年主要因在此措施下，人類對土壤生產力（soil productivity）的經驗而來，依MacRae和Mehuys的報告，早在3000年前的中國漢朝時代就有輪作的施行，早年的農業家，從連續栽種同種作物的方式下得到低產的經驗，因此，在早期歷史上，人類就已意識到為了維持土地生產力，作物輪作制度是必須的，但其中理由安在，卻未必了解。在古羅馬時代，曾依地力的不同，而制定了四種不同作物順序的輪作制度，其中的每一種均包含了豆科作物，即彼時的輪作是在豆科－穀類作物系統下。在紀元前第一世紀時期，義大利的農業亦注意到在耕作系統中綠肥作物尤其是豆科植物的重要性，後隨羅馬帝國的崩潰，作物輪作制度亦漸式微，反而更回到更古老的作物－休閒系統（crop-fallow system），此系統在整個中世紀盛行甚久，到了18世紀則流行英國的諾福克輪作制（Norfolk rotation）及其它類似制度，此制度主要在以4年為週期的蕪菁－大麥－苜蓿－小麥作物順序制，彼時的想法，認為輪作中的每一種作物從土壤中不同的根域位置或部位得到它所需要的養分，這種認知被用來解釋為什麼一序列順序不同作物的產量會比一年又一年種植單一同種作物的產量為高。至於美國最早期的農業，深受英國及蘇格蘭移民的影響，亦盛行類似的輪作制度，到了十九世紀，已發現豆科植物能同化和利用空氣中的氮素，此加強了輪作制度中豆科植物的應用，並証實耕作系統中豆科植物所固定的氮素對後作有益，此至少構成作物輪作制度中優點的部分理由。此一發現，使輪作制度盛行於二十世紀早期，在美國喬治亞州，在玉米、牛豆（cowpea）、燕麥（oat）和棉

作者：譚助理研究員增偉
聯絡電話：(04)3302301轉408

花的輪作系統下，棉花的增產可達100%，且在連續輪作下均能維持生產力的增加。在19世紀末及20世紀早期，特殊耕作系統的選擇主要依農耕者個人的需要，作物對特殊地區的適應力以及氣候的限制，此時期作物輪作的基本需求，不論地區，一是豆科植物的需要以供給後作氮素，一是不同綠肥作物以用來維持土壤的肥力。

在第一次世界大戰前的耕作制度改變較少，但第二次世界大戰後，由於化學肥料的大量產生及便宜，尤其是氮肥的供給，這減低了豆科植物的輪作需求，但在家畜系統的耕作制度是例外，因需要豆科作物作爲飼料來源。因此，在氮肥有效度的增加，殺草劑的控制雜草，及農藥對蟲害、疫病的控制下，減少了原廣泛輪作制度的利用。這些改變，導致單一作物的集約耕作的盛行，如美國的玉米帶，並因而達到增產效果，這其中作物品種的改良亦是增產的主因，雖然如此，此一耕作制度對環境的衝擊漸爲人重視，如有機質含量的減少，土壤構造的劣化，土壤沖蝕的增加，投資的增加，表面和地下水的污染。非利用輪作制度的長期影響並不清楚，但明顯的，大量的投資，能源的耗損，合成化學藥劑的使用是否能永續替代則值得深思。目前輪作制度在美國並沒有被放棄，大約20%的玉米是在連作系統下，但其它的80%是生長在以2年爲週期的大豆輪作制度與苜蓿、棉花、乾豆或它種作物作－2年或3年的輪作，這其中輪作的主要改變是涉及了牧草及綠肥作物。

導致輪作制度增產的許多因子，過程和機制至今尚未完全了解。其中增加氮的供給，土壤養分的有效度、土壤構造、土壤微生物活性，以及雜草控制、蟲害壓力和疫病減少，來自作物殘體的植物毒質(phytotoxic compounds)和生長促進物質(growth-promoting substances)的產生，這些都被証明是構成增產的因子，但目前爲止，沒有任何化學肥料或農藥的應用能完全負擔或解釋輪作制度的影響，而這些個別因子的分析，一般並不能解釋與輪作有關的整個產量效應。與輪作制度有關的因子是如何的產生作用，並貢獻至今尚未定義的〝輪作的影響〞(rotation effect)，顯然仍然是未來的一大挑戰。

三、輪作制度的意義與範圍

輪作制度的意義必須與其相對的連作制度及其他有關的耕作制度相提並論，才能相得益彰。「連作」(continuous cropping)一詞在農業耕作制度上是指在同一土地上經年重複種植相同作物而言。廣而言之，同一土地在種植相同作物期間，種植綠肥作物或休閒者，仍被視爲連作。連作最大益處是增加土地利用率，減低耕作成本，提高利潤。但同一作物連作日久，弊病即生，明顯之特徵即產量降低。有關連作導致減產之問題，中外皆然。早期研究結果均歸因於土壤肥力之耗損，養分之涸竭，或土壤構造之變壞。然由於連作導致土壤物理及化學性質之改變，常干擾土壤微生物，包括土壤病原菌(soil-borne-pathogens)，彼此之交互作用。因此，連作之結果，往往造成所謂「土壤疲乏」(soil fatigue)，而土壤疲乏之形成係因連作引起土壤中養分不平衡，誘發微生物相改變及土壤病蟲害，或有毒物質之積聚。有毒物質是來自作物根分泌物，作物殘體分解產物及微生物代謝產物。毒質之積聚與作物種類及微生物活動均有密切關係。本省糖研所過去對本省連作蔗田生產力減低之理論與改進曾有詳細之研究報導，連作蔗田低產主要原因係宿根萌芽不良生育受阻所致，此現象與宿根根圈眞菌生態不平衡所形成之優勢菌*Fusarium oxysporum*及*Trichoderma harzianum*分泌代謝毒物有關，而秋植甘蔗生育受阻應歸因於甘蔗殘體刺激土壤中上述

優勢菌大量繁殖，此等眞菌分泌代謝物質毒害甘蔗所致。

複作制度(multiple cropping)是集約栽培作物的一種方式，廣義而言，是指在同一塊耕地上，在一年內，按一定順序，種植二種以上作物，這是目前開發中國家傳統的栽培制度，此種制度能夠充分利用耕地、陽光水分及土壤養分，將成爲未來極重要的作物栽培制度。雙作制度(double cropping)爲同一年內，依照順序種植二種作物。接續栽培(relay cropping)，爲在同一耕地上，連續栽種二種以上作物，而此兩種作物的生長期產生明顯重疊現象。宿根栽培(ratoon cropping)，即在作物收穫後，令其基部再萌發成植株的栽種方式，例如甘蔗和多年生牧草，再生稻等栽培方式。在美國，由於現行的栽培技術可有效地運用在其施行的單作制度上，因而忽略上述各種複作制度的重要性。間作制度(intercropping)係指同一季節內，同一塊耕地上，栽種二種作物，其栽種方式，可能在同一行內種植二種作物，或者隔行種植，二種作物呈現相互交錯排列，在低開發國家極爲普遍。複作制度的優點引述如下：

㈠集約栽培可充分利用陽光，雨水和土壤養分。

㈡因作物生長季節的延長和植物的覆蓋，可減少土壤被雨水沖蝕，以不整地栽培更佳。

㈢利用豆類與禾穀類作物的輪作，可節省能源的大量投入如氮肥。

㈣對整個耕作時期而言，作物生產極爲穩定，可獲得水準以上的產量，降低生產成本。

低開發國家農民採用複作制度的主要原因如下：

㈠作物種類多，有助於農民獲得食物營養的平衡。

㈡有效防止耕地雜草。

㈢可減少病蟲害的侵襲。

㈣促進全年農業勞力得到良好的分配和利用。

㈤促進熱帶地區農民，全年均可獲得糧食生產及經濟收入的來源。

對開發中國家而言，複作制度最能提供糧食的來源。在美國許多地區，雖然全年氣溫足夠實行雙作或增加多一季蔬菜等集約栽培，但複作制度並不普遍，所行之耕作制度多爲單一作物之集約栽培，或多年爲一週期的輪作制度。在未來，各種型式的複作制度（包括輪作制度）可降低生產成本，保持水土及達到作物經濟生產等利益，如此可促使主要作物生產地區，獲得穩定而確實的產量或總生產量。

輪作制度自古以來即被認爲較優良且合理之耕作制度，主要是輪作系統中作物種類順序時常交替更換，而不同作物對養分需求各異，此恰可減低造成土壤養分不平衡之問題，維持良好之土壤理化性質。同時輪作本身更可避免因連作所發生之土壤病蟲害問題。因此，輪作制度常被視爲一種維持地力之耕作方式，一般農民樂於採用。但是，若從土壤學與作物生理學之觀點而言，輪作制度並非一定能夠維持地力或對作物有利。一個優良輪作系統必須依賴前後作順序組合適當與否而定。換言之，前後作組合不當，常導致前作收穫後因土壤養分收支不平衡、土壤病蟲害滋長或前作殘體分解產物而抑制後作生長。此外，前作水田耕作方法，常導致土壤構造劣化，磷有效度降低，犁底層密度增加，對後作雜糧生長極爲不利，此方面問題鮮爲人所重視，相關之研究亦甚少。本省即將加入世界貿易組織，廣大之水田亦將面臨利用調整的問題，爲配合政府推行之稻田轉作及水旱田調整政策，稻田到底應當轉作那些作物最理想？是值得重視的問題。我們除考慮作物之經濟價值外，前後作之組合順序亦不容忽視。