

第十六章 有機農場的輪間作制度

王鐘和 譚增偉 黃維廷 江志峰

行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

一、前言

每一種作物都有其最適生長的氣候環境，對於土壤特性之反應也各不相同，已往大家認為可以改良土壤以適應作物，但是，所付出費用成本很大，並難達到滿意程度。因此，對作物於栽培環境之適應性，應先充分瞭解，並予以選擇安排種植適合該地區以及該季節之作物，以達到管理上省工省能源的效果。

連續種植相同或同類之作物，常會導入一些生物問題，例如較多的病、蟲及雜草危害作物生長，以及降低土壤肥力等。輪作將可減少這些問題之發生。輪作即將不同的作物考量其適宜之氣候及土壤環境而順序種植，可增加土壤生物之多樣性。輪作是一種維持地力及改善連作障礙之理想耕作方式，一個優良的輪作系統必須兼顧到作物特性與土壤生產力維持等問題，作物特性；首先需了解作物生理習性及前後作物搭配順序是否適當等問題，輪作田的生產潛力取決於輪作系統中前後作物順序及肥培管理等因素。各期作物收穫後地上部殘體或根系回歸於土壤，成為維持土壤生物活性的重要能源。而土壤生物活性常是土壤肥沃度的主要影響因子。因此，前作物的種類、數量與殘體性質是輪作系統中影響後作物生育表現良窳的指標。

二、影響輪作作物生育之因素

(一) 植物毒物質及相關因子之影響

作物殘體是土壤有機物之主要來源之一，對土壤有機質之維持具有重要的角色，但有時作物殘體在一定面積之土地上積聚過多，或在較不適宜環境下，如低溫、多雨或排水不良等，常會因分解不完全而產生許多有毒中間代謝產物，抑制自身或後作生育，此即所謂「植物毒質」(phytotoxic substances) 問題。這些植物毒質大多來自作物殘體分解物，主要是低分子有機酸、酚酸、胺，及較複雜之類黃素及松烯類等有機化合物。有時這些作物殘體亦能刺激土壤中一些腐生微生物大量繁殖，產生微生物代謝毒質(microbial toxins)抑制作物生長。有關前後作組合不當而引起之植物毒質相剋作用在國內外的例子甚多，表一即列舉一些農藝及園藝作物前後作順序不當所引起之植物相剋作用實例。

表一、前後作組合不當引起之植物相剋作用(Rice, 1984, 平野 1966, Martin, 1962)

Table 1. Plant allelopathy arisen from unfit crop sequence

前作	後作	田間情況	原因
小麥	玉米	玉植株矮小，根系短少，產量大減	前作小麥殘體覆蓋引起真菌（青黴菌）代謝毒物生成，抑制玉米根系生長
大麥 牛草	煙草	植株矮小，品質變劣	前作殘體產生酚酸抑制菸草幼苗根系呼吸作用
花椰菜	萵苣	萵苣種子萌芽率大減，幼苗脆弱	前作殘體產生低分子醋酸、酚酸等抑制萵苣種子萌芽
小麥	大麥	大麥根系不良，減產	前作殘體在較潮濕土壤中產生大量醋酸抑制後作根系伸展
桃樹	無花果	後作幼苗根系生長停頓，果實小而品質差	桃樹根系被微生物分解產生氰化物及苯甲醛，抑制後作根系呼吸作用
枇杷	桃樹	桃樹根系生長受阻	前作根系分泌安息香酸，抑制桃樹根系生長
酸柑	蜜柑	蜜柑果實瘦小	前作酸柑地上部（葉子）殘體分解物產生未知名有機化合物，影響後作生育及產量

(二) 土壤病蟲害消長之影響

以植物病理學之觀點而言，作物與病原菌及害蟲常見有特異性寄主 - 寄生關係 (specific host-parasite relationship)。換言之，任何一種作物對某些病原菌或害蟲具有不同程度之敏感性 (sensitivity) 或抵抗力 (resistance)。許多土壤病原菌及地下害蟲數目在休閒地，或缺乏適當寄主植物時常因飢餓而逐漸減少或形成休眠體，等待適當環境再形萌發與繁殖。因此，一種作物在生長過程中可能誘發土壤中某些病原菌或害蟲之滋長，但由於數目尚未增加至足以危害該作物生育之程度，在該作物本身具有抵抗力之情況下，因而產量不受影響；若其後作對上述增殖之病原菌或害蟲具有敏感性，則後作生育即受抑制。此種現象尤以土壤中一些多寄主性病原菌如 *Fusarium* , *Pythium* , *Rhizoctonia* , *Actinomyces* , *Phytophthora spp.* 及一些線蟲 (nematodes) 等為然，值得留意。輪作系統中，有時會因前後作順序不當，導致前作所誘發之土壤病蟲害影響後作之生育。今以線蟲為例，日本農業專家曾以對胞囊線蟲 (cyst nematode) 具抵抗力植物 (燕麥) 與敏感性植物 (大豆) 做為前後作組合，進行對胞囊線蟲口數消長之研究。結果，胞囊線蟲口數以連續種植抵抗力植物 (燕麥) 者最低，連續種植敏感性植物 (大豆) 者最高，在連續三年試驗觀察中，雖然線蟲口數高低起伏，但每百克土中至少仍有兩百隻之多，與燕麥區之差異極為顯著。此外，若在原來線蟲密度極低之土壤中先種植敏感性植物 (大豆)，線蟲口數則急速增加，接著即使再種植抵抗力植物 (燕麥)，線蟲口數亦僅減低至某一程度而已 (每百克土一百隻)，若接著又種植敏感性植物，線蟲口數再度驟增。由此可見前後作順序不同，影響土壤病原菌或地下害蟲數目之消長甚鉅。

蔬菜種類不同，病蟲害發生不一樣。而相同的蔬菜種類，也可能因品種不同，而有顯著不同。因此，選擇具有抗病性的蔬菜種類或品種，在有機栽培上，可達事半功倍之效。高雄區農改場旗南分場探討 16 種有機蔬菜間作時，各作物間的病蟲害發生，有顯著不同。容易感染 *Rhizotonia* 病害的作物有白菜、莧菜、油菜、菠菜、落葵等，而容易感染 *Pythium* 病害的作物有菠菜、芥菜、茼蒿、萵苣。而主要虫害

有銀葉粉蝨、及蚜虫(偽菜蚜及桃蚜)等二種。另外毛豆、甘藍、田菁、青蔥受斜紋夜盜虫為害，菠菜、毛豆、及田菁受赤葉 為害，甘藍受菜心螟為害，宿根蔬菜及葉用甘藷受猿葉蟲為害，茼蒿受擬尺蠖為害。較不易發生虫害的作物有芹菜、芥菜、落葵等(表二)。因此，有機蔬菜栽培時，應儘量選用病蟲害發生較少的種類種植，如果發現某些病蟲害特別嚴重時，就應暫時放棄該作物，改種其他忌避蔬菜。例如 *Rhizotonia* 或 *Pythium* 特別嚴重時，種植青蔥，可以顯著抑制該類病害發生。

表二、有機蔬菜間作之病虫害發生情形(86年秋作)

Table 2. Occurrences of Insect and disease for organic vegetable crops (1997 fall)

蔬菜種類	病害				虫害			
	菌核病	猝倒病	蚜虫	銀葉粉蝨	夜盜虫	赤葉滿	菜心螟	擬尺蠖
1. 白菜	++			+				
2. 莧菜	++			+				
3. 薺菜	+			+				
4. 油菜	+	+		+				
5. 菠菜	+	++	+	+		++		
6. 芹菜				+				
7. 芥菜		+		+				
8. 茼蒿		++	++	+				+
9. 青蔥				+				
10. 毛豆			++	++	++	++		
11. 落葵				+				
12. 甘藍			+	++	+		+	
13. 高苣		++	++	++				
14. 葉用甘藷			+	+				
15. 蘿蔔			+	+	+			
16. 田菁					++	++		

註：+罹病虫株率 0.1~5%，++罹病虫株率 5~20%，+++罹病虫株率 20%以上。(資料來源：蔡 2001)

(三) 前作對後作產量之影響

各種作物攝取土壤中養分之種類及含量各異。同時,前後作之施肥量亦不同。因此,前作之種類不但直接影響土壤養分消長,而且間接關係後作生育之良窳。例如:瓜類作物(西瓜)時常施用大量有機堆肥,每公頃約一萬至一萬兩千公斤於田間;這些有機肥料除充分供給西瓜生長所需外,可能保留其殘效至後作,理論上對後作生育應有助益。前作若種植豆科作物如大豆或毛豆等因豆科作物,由於其根系根瘤菌能行固氮作用(nitrogen fixation),故可增加土壤中氮素含量,對後作所需之氮肥有所幫助。另一方面,高粱與玉米係消耗土壤地力甚鉅之作物,對氮肥攝取需求甚高,可能影響後作所需養分之收支。根據日本之研究結果發現若以休閒地為對照相較,前作種植陸稻、甘藷、大豆或小米對土壤中三要素攝取量及後作小麥、稞麥或油菜產量均有不同影響(表三)。表三結果顯示前後作組合適當與否,是影響後作產量之主要因子。例如表中所有前作物與稞麥或油菜等後作不同搭配下,均導致後作百分之七至卅二之減產。若以後作小麥而言,前作種植陸稻反而導致小麥百分之十七之減產;若前作改為小米則促進後作小麥百分之廿七增產效果。另一方面,前作若自土壤中攝取較多養分(陸稻),似與導致後作減產有關。因此,從土壤肥力觀點而言,輪作系統中應先瞭解前作對土壤養分之收支情形,再調整後作之適當施肥量,才不致影響後作產量。消耗地力較大之作物應留為後作,接著休閒為宜;若必須做為前作,其後作即需注意酌增施肥量,方能維持正常生育。

表三、前作物攝取土壤養分對後作物產量影響（古川 1957，古谷 1957）

Table 3. Effects of nutrient uptake of previous crops on the yields of subsequent crops

前作物	前作物攝取養分量（公斤／公頃）			後作物收穫量（公噸／公頃）		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	小麥	稞麥	油菜
陸稻	108	26	40	1.29	1.87	1.09
甘藷	87	14	49	1.46	2.26	1.12
大豆	73	4	13	1.76	2.54	1.16
小米	61	12	30	1.97	2.54	1.15
休閒	-	-	-	1.55	2.73	1.38

高雄區農業改良場旗南分場曾經利用網室，於 1997~1999 年種植 16 種不同的有機蔬菜，結果顯示，不同的前作物對後作產量有顯著之影響，如表四所示，以芹菜連作區產量為 100%，若前作種植毛豆、田菁、青蔥、萵苣、菠菜、蕓菜，則後作芹菜產量增產 21~52%，但若種植甘藍反而減產 2%，顯示芹菜有連作問題，其輪作增產原因，與前作物養分吸收量較低，及殘體養分回歸土壤有密切相關。同樣的試驗，以茼蒿連作區產量為 100%，若輪作毛豆、青蔥、芥菜、白菜、萵苣、菠菜、田菁、蕓菜，則茼蒿產量分別增產 11~22%，但若種植落葵則減產 5%，顯然茼蒿亦有連作問題。第三次試驗，以青蔥連作產量為 100%，若輪作田菁、蕓菜、毛豆、白菜、油菜、萵苣、芹菜、茼蒿、莧菜、蘿蔔、葉用甘藷、落葵、芥菜、菠菜、甘藍等，則後作青蔥反而減產 1~26%，顯示青蔥輪作反而減產。以上三次試驗，顯示在有機蔬菜生產體系上，適當的加入蔥科作物，有助於解決連作問題；而豆科及綠肥作物均為良好的輪作作物，對輪作田生產力有明顯的幫助。

表四、不同前作物對後作產量之影響

Table 4. Effects of previous crops on the yield of next crops

前作	後作產量百分率 (%)			前作	後作產量百分率 (%)		
	芹菜	青蔥	茼蒿		芹菜	青蔥	茼蒿
1. 白菜	101	91	118	9. 青蔥	147	100	121
2. 莧菜	105	83	109	10. 毛豆	152	95	122
3. 蕹菜	121	97	111	11. 落葵	100	80	95
4. 油菜	107	91	107	12. 甘藍	98	74	109
5. 菠菜	123	78	116	13. 萵苣	128	88	117
6. 芹菜	100	87	103	14. 葉用甘藷	103	81	109
7. 芥菜	113	79	121	15. 蘿蔔	104	81	107
8. 茼蒿	106	86	100	16. 田菁	149	99	112

(資料來源：蔡 2001)

此外，卓文君氏亦曾以不同葉菜類輪作，發現小白菜、青梗白菜與萵苣對大多後作有促進效果，而蕹菜、莧菜、茼蒿、芫荽、芥藍及芹菜對不同後作葉菜類具有不同程度之抑制，而其中蕹菜經檢驗有較其他葉菜類有多寄生性線蟲，導致連作時，生育受阻，植株矮小，甚至死亡(表五)。

表五、不同葉菜類前作對後作栽培之影響*

Table 5. Effects of previous leaf vegetable crops on the growth of next crops

前作 後作	小白菜	菠菜	蕹菜	芥藍	青梗 白菜	茼蒿	萵蒿	莧菜	高苣	芹菜
小白菜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
菠菜	-	-	-	-	-	○	○	○	○	-
蕹菜	○	-	×	-	-	-	-	×	-	-
芥藍	○	-	-	-	○	-	-	○	○	-
青梗白 菜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
茼蒿	○	-	×	-	○	-	-	-	○	×
萵蒿	○	-	×	-	-	-	-	-	-	×
莧菜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
高苣	○	-	×	-	○	-	-	-	○	×
芹菜	-	○	-	-	○	-	-	○	○	×

*依單株產量為指標依據。 ○:促進 - :無顯著差異 ×:抑制

(資料來源：卓 1998)

(四) 土壤有機質變動之影響

土壤有機物之增減，端視作物殘留在土壤中之總量，及在土壤中分解速率之快慢而定。作物殘留物包括殘莖、枯葉及根系等，其分解速率則受作物種類、成熟度及氣候土壤條件之影響甚大。若其他外界因子不變，作物殘體之碳：氮比 (C/N ratio) 是決定分解速率快慢及有機質 (腐植質) 生成之主要因素。一般而言，作物殘體之碳：氮比愈高，表示含有較多之纖維素 (cellulose) 及木質素 (lignin); 且表示分解緩慢，是形成土壤中有機質之主要來源。反之，碳：氮比較低之作物殘體，在土壤中很快被微生物分解而變成無機態養分為作物所吸收利用。因此，從增加土壤有機質及提高土壤地力之角度來看，應當選擇作物殘體總量多且碳：氮比高之作物為宜。例如表九顯示各種作物

地上部殘留物之碳：氮比，結果發現豆科作物如苜蓿、豌豆等之碳：氮比約在 18 至 30 比 1 之間，而禾本科作物如稻稈及小麥稈則高達 144 至 373 比 1。此外，作物之根系分佈與重量亦與土壤有機物之增加有密切關係。從上述資料說明輪作系統中，前後作有機殘體之數量不但提供土壤有機物之來源，而且可能影響後作之生育。植物毒質問題之發生，除因前後作組合不當外，前後作種植時間之間隔太短，導致前作殘留物因碳：氮比高而引起所謂土壤之氮素固定化作用（nitrogen immobilization），呈短暫缺氮現象，這也是應當注意之處。

表六、豆科及禾本科作物莖葉碳氮比與根系乾重（江原 1975，小倉 1976）

Table 6. C:N ratio in biomass and air-weight in root system of legume and cereal crops

作物	C%	N%	C/N	根系風乾重 (公斤/公頃)
紫苜蓿(牧草)	43.1	2.3	18	7110
豌豆(開花期)	45.3	2.6	17	-
豌豆(成熟期)	44.0	1.5	29	940
稻稈	47.4	0.3	144	1550
小麥稈	44.7	0.1	373	910

三、水旱輪作的影響

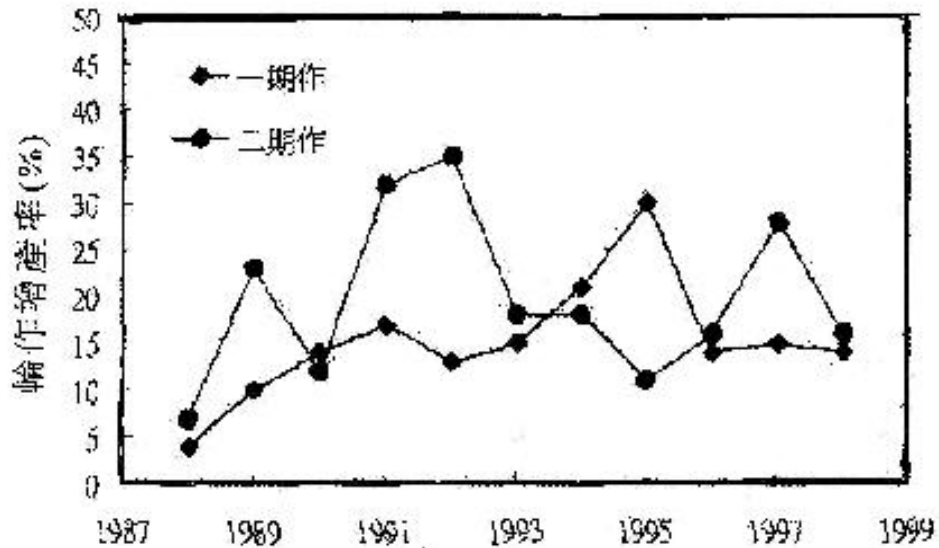
農業耕作制度中涉及水旱田的輪作制度，此種輪作的影響比一般不同旱作種類之輪作，或水田作物之輪作方式更形複雜化，旱田與水田不同，土壤較易酸化，尤其原屬水田者轉作為旱田時更為明顯，如又係連續種植旱作時，土壤酸化頗快，必需經改植水稻才可逐漸回復，可見稻作對肥力維持之重要性。為防止台灣土壤之過度酸化，應儘可能採用包含水稻在內之輪作制度。導致輪作增產的許多因子，過程和機制至今尚未完全了解。其中增加氮的供給，土壤養分的有效度、土

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，和生長促進物質(growth-promoting substances)的產生，這些都被證明是構成增產的因子。

連作亦有所謂旱田連作與水田連作之謂，以往在本省甘蔗連作，時常發生發芽率極差，生長不良而減產情形，並已從土壤化學及生物學方面加以研究。依台糖公司王世中博士等人之研究，可以浸水處理即可恢復，這是因為浸水形成由旱田環境轉換成水田環境，可以造成另一種微生物相，且能淋洗一些微生物代謝物質，減少對作物之毒害，顯著改善甘蔗的生育與產量。

一般認為在浸水狀態下栽培的水稻是最能耐連作的作物。事實上，一般水田已在同一田區連作百年甚至數千年，然而未聞其因連作而有減產的現象。但日本或歐美等國之稻作年僅一年，每作收割後均有很長的休閒或輪作期間。而本省一年兩作水稻，第一期作之前常有較長期間之休閒或輪作，而第二期作則幾乎沒有，因此常有人懷疑第二期作水稻收量之低落，可能和稻田之連作（即插秧前無適當之休閒或輪作）有關。

連作極易導致產量之低產，此又有視於各種農作物之自耐性，水稻之自耐性極強，可連作而不致減產，但如在與旱作輪作的情形下，亦發現輪作區的產量不論一、二期作均較連作區為高，圖 1 為農委會農業試驗所設在該所農場內的長期不同耕作制度試驗田所得的結果，土壤為中質地微酸性砂頁岩沖積土，11 年之試驗結果顯示一期作水旱田輪作區水稻較水稻連作區增產 4~30%，平均增產 15%。二期作則增產 7~35%，平均增產 18%。



圖一. 農業試驗所試驗田區輪作對水稻產量的影響

四、有機農場的輪作要領

有機農業必須採用適合當地條件的輪作制度，其中必須包含豆科作物做為綠肥作物，以維持對主作物氮素之供應。主作物之間以豆科作物相接，可收抑制雜草生長、防止土壤沖刷與供應氮素之利。由於不使用化學肥料，農家必須掌握大量有機物來源，製造堆肥，以充分供應作物所需之養分。如果環境容許，在主作物之前種植綠肥作物，或間作綠肥作物做為覆蓋作物，則可以達成氮素之自給自足，而得到與一般化學肥培法相接近，或更高的收量。

輪作之方式，可以採用水田與旱田之耕作制度的輪替，既可有效的消除病蟲害與雜草之滋生，且可避免旱作連作所引起之土壤酸化及生產力降低等現象；豆科作物與其它非豆科作物之輪作，可以充分利用生物固氮，減少肥料用量；深根性與淺根性作物之輪作，可增加根系生長之深度，有利於通氣與排水性之改善，以及利用較大容積之土壤養分，使作物養分達到均衡之目標；又需肥性多與需肥性少之作物

輪作，可以免除土壤可溶性鹽分累積，造成一般耐鹽性差的作物生長受阻礙之不良現象。輪作制度之實施與土壤肥培管理得當，可以消除許多作物之土壤衍生性病害，並減低許多害蟲之族群與雜草的發生。此外，忌避作物之應用，以及栽培時期之注重，以避免害蟲之啃食，亦是有機農業栽培者常用的手段。

五、有機農場の間作要領

安排間作法之主作物及間作物組合時，必需考慮兩者間對營養元素的吸收與空間位置不互相衝突，及可保持土壤水分，減少土壤浸蝕與減少病蟲害等，例如：芹菜與韭菜間作在生長至茂盛時近芹菜旁韭菜仍可伸直生長，並有享受充足日光的機會。不斷草與菜豆之根群深度互異，可從不同土層處吸取營養及生長。在萵苣與羊角豆時因羊角豆生長較慢，等到需要較大空間時萵苣將可收穫。間作萬壽菊等時植株的根會分泌出鄰近線蟲無法靠近的物質，如曇苔屬作物根會分泌橄欖油，可中和酸性土壤，對線蟲孵化繁殖會抑制，而宜與馬鈴薯、草莓、番茄、薔薇共植發揮其功效。金蓮花與甘藍、胡瓜、番茄、胡蘿蔔、果樹等均可共植，而促進主作物生長。深根作物會將主作物生長必要的礦物質，由下層送上地表層提供更多營養(王，1993)。

植物為抵抗昆蟲的侵襲，而在生理上有著不同的分化，使體內存有多種化合物，具有殺蟲效果，或有避蟲效果，此類植物可稱忌避植物，可安排於間作法中。特列舉 8 種以供參考(楊和劉，1997)。

- (一)大蒜：蔥科一二年生草本植物，別稱胡蒜，原產於中亞細亞，其鱗莖抽出液可驅趕有害飛蟲。
- (二)九層塔：唇形花科草本植物，別稱羅勒，原產於中國、熱帶地區等地，植株具有驅蟲效果。
- (三)皺葉薄荷：唇形花科草本植物，別稱綠薄荷，原產於歐亞北部及澳洲等地，植株具有驅蟲效果。
- (四)大波斯菊：菊科草本植物，別稱秋櫻，原產於墨西哥，植株具有驅蟲效果。

- (五)萬壽菊：菊科草本植物，別稱臭菊，原產於墨西哥，植株具有驅蟲效果。
- (六)香茅草：禾本科多年生草本植物，別稱檸檬芒，原產地未詳，疑是熱帶美洲及亞洲。植株可抽取油精，具有驅蟲效果。
- (七)楝樹：楝科喬木，別稱苦楝、苦苓仔，原產於亞熱帶地區，樹皮、根皮煎汁可驅蟲。
- (八)樟樹：樟科喬木，別稱本樟、香樟，原產於熱帶亞洲、中國、臺灣等地，抽取油精，具有驅蟲效果。

六、結語

要安排一套理想之前後作輪作系統與施肥管理措施，必須充分了解與掌握有機農場土壤之特性、肥力狀況及前後作物之營養生理特性，才能避免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有抑制後作的生長。各別有機農場輪作、間作及肥培管理之成敗，仍需靠農友多方學習、嘗試、累積經驗，久而久之，就能掌握自己的有機農場適宜之輪間作制度及肥培管理要領，達到兼顧生產高品質農產品及環境保育之目標。

