

作物順序與殘體利用對輪作系統中作物產量與土壤肥力之影響¹

蔡永暉²、羅瑞生³

摘 要

輪作田的生產潛力，取決於輪作系統中作物順序及肥培管理。前作物收穫後地上部殘體或根系回歸於土壤，成爲土壤肥沃度的主要影響因子之一。而前作物種類與殘體性質對後作養分的需要及生育環境亦不無影響。

五年試驗結果顯示，春作水稻欲增產，前作種植玉米比大豆適宜，惟需三年後方有表現；若施用前作物殘體，稻谷反而減產 2 - 3 %。夏作水稻轉作田菁，比傳統水稻，淨耕區後作秋玉米可增產達 7 %，但比稻草覆蓋區減產 8 %，因此田菁的增產效應仍不明顯。

輪作制度由雙期水田改爲單期水田後，平均土壤有機質含量會逐年下降，新的平衡點五年內尚未達成。施用作物殘體，可減緩下降趨勢，但仍無法停止下降。土壤 pH 值及有效性 P、K 含量亦受作物順序影響，前作種植大豆會使後作稻田土壤 pH 值大幅上升；土壤有效性 K 含量與轉作物施肥量有密切關連，施用作物殘體，可增加土壤有效性 K 每公頃約 30 公斤，而土壤有效性 P 含量則受土壤 pH 值影響。

關鍵詞：作物順序、作物殘體、土壤肥力。

前 言

作物栽培之終極目標爲單位面積上作物生產標的物產值達到最大。產值是產量和價格之積，而價格由產物品質來決定。在單位面積上作物產量的潛能決定於作物種類、品種、田間管理與當地的氣候條件。而輪作田生產力除了考慮單位面積的生產潛能外，亦希望在單位時間內單位面積的生產力可趨近最大。不僅如此，隨著栽培時間的增加，單位時間的增產值，也希望逐年增加。

欲達到上述理想，在實施輪作栽培時，需考慮諸多因子，例如輪作田作物順序、土壤肥力增進、作物肥培管理、以及氣候因素的影響等等。

1. 本計畫承農委會經費補助，田間及實驗室分析工作蒙張增金先生、傅秀蘭及鍾秋蓉女士協助，謹此誌謝。

2. 高雄區農業改良場澎湖分場副研究員兼分場主任。

3. 高雄區農業改良場土壤肥料研究室副研究員。

輪作制度並非一定能夠維持地力或對作物生產有利。因為前後作物組合不當，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的生長^(5、6、7、8、9、10)。此外，前作水田的耕作方法，常導致土壤結構劣化，有效磷含量降低，犁底層土壤密度增加，對後作雜糧作物生長極為不利^(1、2、3、4、11)。因此，本文目的即探討輪作田前後作組合順序與殘體利用對作物的生育與土壤肥力之影響。

材料與方法

本試驗自民國73年春作起至77年秋作止，共計五年十五期作。試驗地點在屏東縣竹田鄉南勢村。田間的排列採用裂區設計，主區為三種輪作系統，分別為 S_1 ：春水稻—夏水稻—秋大豆， S_2 ：春大豆—夏水稻—秋玉米， S_3 ：春水稻—夏田菁—秋玉米。副區為土壤管理，設有作物殘體利用區(R)及移除區(CK)。三要素(N： P_2O_5 ： K_2O)每年用量， S_1 輪作系統為238：162：200公斤/公頃， S_2 輪作系統為251：168：204公斤/公頃， S_3 輪作系統為270：114：124公斤/公頃。小區面積 $3 \times 10 = 30$ 平方公尺。試區原為傳統雙期作水田，試驗前土壤pH值為5.6，有機質含量3.7%，有效性磷酐185公斤/公頃，有效性氧化鉀179公斤/公頃，CEC為19.6meq/100g，土壤剖面質地40公分以上為粉質壤土，40公分以下為壤土至細砂質壤土，崇蘭土系(cd)，排水良好。

各期作收穫時，先將小區最外圍的保護行去除，再全面收穫，並換算成公頃產量。每期作種植前與採收後均進行土壤採樣，樣品經風乾後，分析無機養分含量，分析方法依據農林廳編印的作物需肥診斷技術手冊辦理。

結果與討論

一、不同前作物對主作產量之影響

(一)前作物對春作水稻之影響

本省春作第一期水稻以高屏地區單位面積產量最高。在稻田轉作的輪作系統中，第一期作水稻常被優先保留。根據73—77年試驗結果，秋冬裡作種植玉米比種植大豆，第一年導致春作水稻減5%，第二年之後減幅變小，第四年之後稻谷開始增產1%，且第五年亦延續增產1%，顯示秋冬裡作種植玉米與種植大豆一樣對第一期作水稻產量均為有利之影響。惟水稻的增產效應似非得自玉米或大豆殘體的施用。此可由殘體區(R)比移除區(CK)平均五年來水稻減產2%獲得佐證(表1)。

表 1. 不同前作物對春作水稻（台農67號）產量之影響

前作	春作	前作殘體管理	春作（第一期作）水稻產量（kg/ha）						
			73年	74年	75年	76年	77年	平均	（指數）
大豆	水稻	CK	7382	7743	6780	8133	8148	7637	(100)
		R	7204	7643	6653	7770	8131	7480	(98)
玉米	水稻	CK	7033	7527	6630	8187	8227	7521	(99)
		R	6981	7703	6135	8187	8213	7444	(97)

(二)前作物對秋作玉米之影響

表 2 顯示，前作種植田菁時比種植水稻，CK區玉米平均增產 3%，但R區則平均減產 8%，惟年度間產量差異很大。田菁R區比CK區增產玉米 4%；水稻R區比CK區增產玉米15%，顯示前作水稻或田菁R區（殘體利用）對後作玉米均有明顯的增產效應，尤其以稻草覆蓋之效果最為顯著。因此，覆蓋對玉米有增產效果。至於種植田菁的效果並未如預期的可以大幅增加玉米產量，可能與田菁種植後土壤有機質含量不增反降有關，此將在土壤肥力的變化中論及。

表 2. 不同前作物對秋作玉米（台農351號）產量之影響

前作	秋作	前作殘體管理	秋作玉米產量（kg/ha）						
			73年	74年	75年	76年	77年	平均	（指數）
水稻	玉米	CK	5709	6370	5159	2805	5358	5080	(100)
		R	6789	6667	5333	3722	6592	5820	(115)
田菁	玉米	CK	6523	6298	4834	3384	5233	5254	(103)
		R	6810	6253	5000	3384	5633	5416	(107)

二.不同輪作系統中土壤肥力之變化

(一)年度間土壤肥力之變化

1.土壤pH值

各輪作系統，經多年的種植後，土壤肥力發生變化，並趨向新的平衡點。這種過程可由土壤肥力年度間的變化看出來。表 3 顯示，三個輪作系統中，土壤pH值以施肥量最低的S₀ 輪作系統最高，其次為傳統的S₁ 輪作系統；最高施肥量的S₂ 輪作系統為最低。因此，土壤pH值受施肥量的影響。但五年來，三

個輪作系統的土壤pH值均沒有逐年降低的趨勢。顯示施肥量的影響，並未使土壤繼續酸化，且維持平衡在一定的水準上。此外，施用作物殘體對土壤pH值沒有顯著的影響。

表 3. 不同輪作系統下土壤pH值年度間之變化

輪作系統			土壤 管理	土 壤 pH 值					
春作	夏作	秋作		73年	74年	75年	76年	77年	平均
水稻—水稻—大豆 (S ₁)			CK	5.43	5.63	5.17	5.33	5.57	5.43
			R	5.47	5.67	5.17	5.27	5.57	5.43
大豆—水稻—玉米 (S ₂)			CK	5.30	5.57	5.27	5.10	5.53	5.35
			R	5.30	5.60	5.13	5.47	5.33	5.37
水稻—田菁—玉米 (S ₃)			CK	5.80	5.80	5.43	5.27	6.10	5.68
			R	5.77	5.63	5.20	5.53	5.87	5.60

2. 土壤有機質含量

表 4 顯示，在稻田轉作旱作後（S₂ 及 S₃ 輪作系統），土壤有機質含量均明顯降低。年度間的下降趨勢，又以最高產值的 S₂ 輪作系統最為明顯，五年來 CK 區共降低 0.68%，約佔總量的 19%，且新的平衡點仍逐年下降。轉作田施用作物殘體，雖可明顯增加土壤有機質含量，但仍無法停止下降。

表 4. 不同輪作系統下土壤有機質含量年度間之變化

輪作系統			土壤 管理	土 壤 有 機 質 含 量 (%)					
春作	夏作	秋作		73年	74年	75年	76年	77年	平均
水稻—水稻—大豆 (S ₁)			CK	3.51	3.27	3.46	3.42	3.32	3.39
			R	3.58	3.46	3.71	3.55	3.61	3.58
大豆—水稻—玉米 (S ₂)			CK	3.55	3.51	3.24	3.00	2.87	3.23
			R	3.55	3.21	3.35	3.14	3.14	3.28
水稻—田菁—玉米 (S ₃)			CK	3.16	3.12	3.42	3.11	2.97	3.16
			R	3.33	3.28	3.68	3.26	3.31	3.37

3. 土壤有效P含量

表 5 顯示，三個輪作系統中，土壤有效P含量，年度間均沒有明顯的差異。平均含量以S₃ 輪作系統最高。但S₃ 輪作系統全年施P量最低，而其土壤pH值為最高。因此，P含量的增加，可能是土壤pH值提高後，有效性P釋出的結果。此外，轉作田(S₂ 及S₃)施用作物殘體後，土壤有效P含量略為降低。

表 5. 不同輪作系統下土壤有效P含量年度間之變化

輪作系統			土壤 管理	土壤 P ₂ O ₅ (kg/ha)					平均
春作	夏作	秋作		73年	74年	75年	76年	77年	
水稻—水稻—大豆 (S ₁)			CK	234	204	260	243	227	234
			R	232	212	261	248	245	240
大豆—水稻—玉米 (S ₂)			CK	245	239	240	227	250	240
			R	245	287	241	225	256	231
水稻—田菁—玉米 (S ₃)			CK	292	250	293	271	285	278
			R	242	210	265	258	254	246

4. 土壤有效K含量

表 6 顯示，三個輪作系統中，土壤有效性K含量，有逐年降低的趨勢。顯然在含水稻的輪作系統中，K素容易流失，需要大量補充。全年施K量以S₁ 輪作系統最高每公頃為204公斤，S₃ 輪作系統最低每公頃為128公斤，此與土壤K含量高低有明顯關連，即S₁ 輪作系統土壤K含量最高，而S₃ 輪作系統最低。施用作物殘體，可顯著提高土壤有效性K含量，三個輪作系統的增幅大致相同，每公頃約為30公斤。

表 6. 不同輪作系統下土壤有效K含量年度間之變化

輪作系統			土壤 管理	土壤 K ₂ O (kg/ha)					平均
春作	夏作	秋作		73年	74年	75年	76年	77年	
水稻—水稻—大豆 (S ₁)			CK	122	140	135	91	80	114
			R	149	162	193	128	87	144
大豆—水稻—玉米 (S ₂)			CK	153	138	151	95	100	127
			R	171	173	182	115	132	155
水稻—田菁—玉米 (S ₃)			CK	143	114	109	61	60	98
			R	170	150	130	83	95	126

(二)各期作土壤肥力之變化

1.春作試驗前後土壤肥力之差值 (ΔD)

隨著春天的來臨，土壤中微生物活動力開始增強，並消耗土壤中的C源，表7顯示春作不論水田或旱作，土壤有機質含量均普遍減少，而有效性P含量卻增加。

前作玉米比大豆，更容易使春作水田還原，此可由土壤有效性Fe、Mn含量增加，及有效性Ca、Mg含量減少，獲得明證。此外，前作大豆根瘤殘體提供氮源，使土壤浸水後脫氮作用發生，而脫氮作用係耗氫行為，將使土壤溶液pH值上升，此可由稻田土壤pH值大幅上升0.16看出來。

前作玉米區，春作水田或旱田（大豆）的土壤肥力變化有明顯差異。水田區土壤浸水還原，土壤有效性Fe、Mn含量均增加，而有效性K、Ca、Mg含量減少。大豆區在土壤氧化狀態下，土壤pH值、有機質含量、及有效性Fe含量減少，而其餘養份含量均增加。

表 7. 春作試驗前後土壤肥力之變化 (ΔD)

輪作系統	作物別		土壤管理	(ΔD)							
	前作	春作		pH	OM (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO (kg/ha)	Mgo	Fe	Mn
S ₁	大豆	—水稻	CK	+0.16	-0.13	+40	-26	-64	-12	-62	-52
			R	+0.16	-0.10	+37	-40	-706	-51	+40	-30
S ₃	玉米	—水稻	CK	+0.00	-0.16	+35	-19	-210	-62	+274	+97
			R	+0.04	-0.03	+33	-17	-201	-75	+462	+23
S ₂	玉米	—大豆	CK	-0.18	-0.18	+46	+44	+346	+3	-205	+7
			R	+0.10	-0.10	+48	+64	+707	+21	-79	+48

2.夏作試驗前後土壤肥力之差值 (ΔD)

夏作高溫多雨，表8顯示不論夏作為水田或旱田，試驗後土壤有效性P含量均減少。此外，夏作水田區（不論前作為大豆或水稻）試驗後土壤有機質及有效性Fe含量顯著增加，而土壤有效性Mg含量則減少；夏作水稻改種田菁後，土壤pH值及有效性K、Ca含量略增，但土壤有機質及有效性P、Fe、Mn含量卻減少。前曾提及夏作種植田菁對後作玉米並無明顯增產效應，或許與此變化有關。

前作大豆區，後作稻田土壤pH值大幅上升，有效性K、Mn含量下降，而前作作水稻區，後作連續水稻土壤pH值反而下降，有效性K、Mn含量則上升。此

與一般認為，種植水稻後土壤pH值一定會上昇的結果不同。顯示稻田土壤pH值變化受前作物種類的影響，施用前作物殘體反而促使土壤pH大幅下降。因而稻田土壤pH值上升，必然與前作大豆地下根系有密切關連，其中大量的根瘤氮素造成脫N使土壤pH值上升為主要原因。此現象與春作的效應相同。

表 8. 夏作試驗前後土壤肥力之變化 (Δ D)

輪作系統	作物別		土壤管理	(Δ D)							
	前作	夏作		pH	OM (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO (kg/ha)	MgO	Fe	Mn
S ₂	大豆-水稻	CK		+0.18	+0.21	-60	-69	+545	-41	+351	-13
			R	+0.04	+0.35	-38	-81	-466	-3	+243	-38
S ₁	水稻-水稻	CK		+0.08	+0.19	-49	+17	+218	-40	+112	+57
			R	+0.14	+1.26	-38	+28	-116	-40	+319	+56
S ₄	水稻-田菁	CK		-0.02	-0.16	-15	+13	+1	+40	-323	-75
			R	+0.06	-0.06	-16	+41	+107	-7	-502	-48

3. 秋作試驗前後土壤肥力之差值 (Δ D)

秋作氣溫由高而低，雨量逐漸減少。種植旱作後，土壤有效性Ca含量降低，而有效性Mg含量卻增加。

前作田菁區，秋作玉米土壤的有機質、pH值、有效性Fe、Mn含量均增加，而有效性P、K含量降低；前作水稻區，秋玉米土壤肥力的變化則完全相反，如(表9)所示；顯示夏作水田或旱田的經營方式對後作土壤肥力有迥然不同的影響。其中前作田菁造成土壤pH值明顯上升，與其殘體中的高氮含量或有關連。

表 9. 秋作試驗前後土壤肥力之變化 (Δ D)

輪作系統	作物別		土壤管理	(Δ D)							
	前作	秋作		pH	OM (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO (kg/ha)	MgO	Fe	Mn
S ₃	田菁-玉米	CK		+0.14	+0.18	-5	-17	-167	+7	+90	+4
			R	+0.12	+0.01	-16	-44	-61	+83	+150	+69
S ₂	水稻-玉米	CK		-0.08	-0.19	+23	+5	-26	+12	-60	-54
			R	-0.18	+0.04	+1	+1	-421	+1	-43	-67
S ₁	水稻-大豆	CK		-0.12	-0.11	+9	-8	-224	+48	-45	-26
			R	-0.06	-0.21	+5	-15	-239	+53	-290	-37

結 論

輪作雖是一種維持地力及改善連作障礙之理想耕作方式，但優良的輪作系統必須兼顧到作物特性與地力增進等問題。作物特性，首先須了解作物生理習性及前後作順序是否適當等問題。增進地力的因子，有生物性的影響，包括前作殘體的數量與性質，以及中間代謝物的影響等；有化學性的影響，包括前後作的施肥管理、作物養分收支、及土壤肥力變化等；有物理性的影響，包括土壤物理性及田間耕作管理等。上述綜合性的資料，應配合當地的氣候條件，再選出適宜各地區的輪作系統，如此才能真正發揮輪作制度的優點。

參考文獻

1. Carandang, D. A. 1982. Methods of applying fertilizer on upland crops after wetland rice. p. 1-9. IRRI Report of a workshop on Cropping Systems Research.
2. Syarifuddin, A., and H. G. Zandstra. 1981. Soil fertility, tillage, and mulching effects maize grown after rice. IRRI research series No. 66.
3. Syarifuddin, A. 1982. Tillage practices and methods of seeding upland crops after wetland rice. p. 33-42. IRRI Report of a workshop on Cropping Systems Research in Asia.
4. Zandstra, H. G. 1982. Effect of soil moisture and texture on the growth of upland crops after wetland rice. p. 43-54. IRRI Report of a workshop on Cropping Systems Research in Asia. p. 55-60.
5. 高銘木、謝德上·1984·連作物蔗田生產力增進之研究·v.甘蔗殘體對土壤微生物生態及甘蔗生育之影響·台糖研究試驗報告·p. 146-154.
6. 高銘木、謝德上·1985·連作物蔗田生產力增進之研究·v.甘蔗殘體對土壤微生物生態及甘蔗生育之影響·台糖研究試驗報告·p. 127-133.
7. 高銘木、謝德上·1986·連作物蔗田生產力增進之研究·VI. Fusarium oxysporum 與 Trichoderma harzianum 之生理生態及其對甘蔗生育之影響·台糖研究試驗報告·p. 128-134.
8. 高銘木、謝德上·1987·連作物蔗田生產力增進之研究·(7)雜作對蔗田地力及甘蔗生育之影響·台糖研究試驗報告·p. 125-132.
9. 高銘木、謝德上·1988·連作物蔗田生產力增進之研究·(7)雜作對蔗田地力及甘蔗生育之影響·台糖研究試驗報告·p. 42-45.
10. 高銘木·1986·輪作系統中前後作順序對作物生育之影響·興農215:89-93.
11. 蔡永偉·1990·不同耕作法與肥培管理對水稻輪作田生產力之影響試驗·農林廳土壤肥料試驗報告·p. 29-36.
12. 羅瑞生·1990·不同輪作型態下土壤肥力管理研究·農林廳土壤肥料試驗報告·p. 8-28