

不同輪作制度對後作水稻生產力之影響¹

鄭書杏² 白鏹³

摘要

早期臺灣水田均種植兩期作水稻，然近年來，因消費形態改變，稻米消費量漸減，使得稻米生產過剩。因而稻田轉作、調整資源利用，成為本省農業上急待解決之問題。過去幾年有關於水稻田轉作栽培之試驗研究，大多局限於作物與環境因子之交感，或轉作後之旱作物之表現及其可能遭遇之限制因子。而對於水旱田長期輪作情況下，作物產量及生產力與環境因子之交感作用，以及再恢復種植水稻的相關資料則非常缺乏。因此，本研究之目的在探討雙期作水田經多年施行不同輪作制度後，恢復種植雙期作水稻對水稻生產力之影響。試驗利用台灣省花蓮區農業改良場所施行之連續七年之不同輪作制度試驗，包括：(A).水稻 水稻，(B).落花生 水稻，(C).水稻 大豆及(D).玉米 大豆後之試驗田進行。試驗以 型水稻之臺六號(TK6)供試，原試驗田為雙期作水田，土壤質地為坩質壤土(silt loam)。本試驗恢復種植水稻後，根據兩期作水稻產量之表現，發現在不同作物輪作情形下，落花生 水稻輪作後再種植水稻當期作產量表現高於連續水田，而次期作之水稻產量已經與連續水田之表現相同。水稻 大豆輪作後種植水稻產量表現高於連續水田，而再繼續種植水稻其產量之表現仍高於連續水田。至於連續旱田方式高於其它輪作方式，但二期作產量表現與水稻 大豆輪作區差異不顯著，而以玉米 大豆輪作後之水稻產量表現最佳。水稻之農藝性狀及其產量構成要素，長期不同耕作制度輪作後，一期作水稻株高、穗重、一穗穎花數、一穗結實粒數及千粒重均受不同程度之影響。而二期作水稻株高、穗長、一穗穎花數及稔實率受影響。水稻第一期作由於穀粒重受不同輪作制度後之影響，以玉米 大豆輪作後最高，与其它耕作制度差異顯著，其收穫指數亦高於其它輪作制度；至於二期作，則不受不同輪作制度輪作後之影響。

(關鍵字:輪作制度,水稻,生產力)

¹花蓮區農業改良場研究彙報第 99 號，本文為第一作者碩士論文之一部份，本試驗經費承國科會補助，謹此誌謝。

²花蓮區農業改良場作物改良課助理。

³國立中興大學農藝學研究所所長兼系主任。

前言

現代作物的栽培，偏重周密的整地、肥料的合理使用、病蟲害及雜草的防除、品種的改良等，雖然可以維持相當高之產量，但卻忽略連作的為害。適當的輪作，不但能經濟且合理的利用土壤養分，且能防止病蟲害及雜草的發生與蔓延，而增進生產及改善品質。利用不同的作物輪作，對產量的增進早為人們所熟悉，且已應用數世紀之久，人們可以透過良好的規

劃設計，選擇適當的輪作制度，更有效率地生產食物，同時也能提供一個當環境問題限制生產時的解決方法，並可維護土地的永續生產力(Francis et al., 1989; Crookston et al., 1991)。

臺灣位於亞熱帶，氣候、溫度、日照及雨量等條件適宜周年栽培作物，一年數作的耕作制度行之有年，且非常發達，尤其水田均種植兩期作水稻，部分地區也利用休閒期間種植玉米、大豆、高粱、蔬菜及菸草等作物，增加收益，甚至種植綠肥，增進地力(FFTC, 1974; Chiu, 1987)。然而近年來，因消費形態改變，稻米消費量漸減，使得稻米生產過剩。因此，稻田轉作，調整資源利用，成為本省農業上急待解決之重要問題。但稻田一轉作，亦即改變傳統兩期作水稻之耕作制度，不但影響耕地與農業勞動力之生產效率，更可能改變長期的土壤生產力(蔡等，1992)。又水田轉為旱田，而長期栽種旱作物，使土壤有機質分解較快，恐對地力消耗較大(連及王，1988a；羅及黃，1990)。根據林(1988)在水田連續轉作旱作之研究中指出，經三年九期作後，土壤 pH 值及有機質含量呈下降趨勢，並有隨氮肥使用量增加而降低 pH 值之現象。因此，水田轉作制度應以水、旱輪作之耕作方式較適宜(高，1989；鄭等，1992)。而水旱田狀態交互使用之土地利用方式，因土壤屬還原、氧化不同狀態，將改變土壤中養分之有效性，而影響作物適應性及產量(農文協，1990)。

稻米由於兼具易調理、營養及多樣化等特點，已由長久以來被亞洲地區人民視為主食穀物，一躍而成為目前廣受世界注目之穀類糧食(郭，1994)。然而，過去幾年，有關於水稻栽培之試驗研究，大多注重與環境因子之交感，或者針對轉作後旱田作物之表現及其可能遭遇之限制因子(李，1988；陳，1987；連，1986；連及王，1988b)，但對於水旱田在長期輪作情況下，作物生產力與環境因子之交感作用尚少研究，有必要針對此一方面問題再加以探討。本研究之目的即在探討水田經多年施行不同輪作制度後，再恢復種植水稻，對水稻之產量及農藝性狀之影響。

材料與方法

一、參試品種

本試驗之材料採用梗稻臺梗六號(TK6)，為臺灣省花蓮區農業改良場 80 年 11 月 27 日命名通過之新品種，該品種具有產量高，米質食味良好及適合機械作業之優點(臺灣省農林廳，1991)。

二、試驗地點

本試驗係利用花蓮區農業改良場(位於花蓮縣吉安鄉)已連續施行七年之不同輪作田進行。這些輪作制度包括 A.水稻 水稻，B.落花生 水稻，C.水稻 大豆及 D.玉米 大豆等四種輪作方式。

三、試驗期間

八十二年第一期作，2 月 21 日插秧，7 月 13 日收穫；八十二年第二期作，8 月 4 日插秧，12 月 2 日收穫。

四、試驗方法

田間試驗設計採用逢機完全區集設計(Randomized complete block design, RCBD), 四處理(輪作試驗 A、B、C 及 D), 三重複, 小區面積 22m×4m, 計 88 m²。試驗採用機械插秧, 4 6 本植, 行株距 30×15cm, 每小區共 12 行。水稻一期作施用硫酸銨 600kg / ha, 過磷酸鈣 330kg / ha, 氯化鉀 100kg / ha; 二期作施用硫酸銨 550kg / ha, 過磷酸鈣 330kg / ha, 氯化鉀 100kg / ha, 分別按比例依基肥及追肥二次施用, 其它田間管理按現行栽培法實施。調查水稻產量及農藝性狀包括株高、穗數、穗長、穗重、一穗穎花數、稔實率、千粒重、植株總乾物重、收穫指數、產量、稻穀、糙米容重及碾米率。

五、統計分析

試驗所得資料經變方分析後, 若處理間差異顯著, 則以 LSD(Fisher's least significant difference)測驗法, 比較處理間平均值之差異(SAS, 1987)。

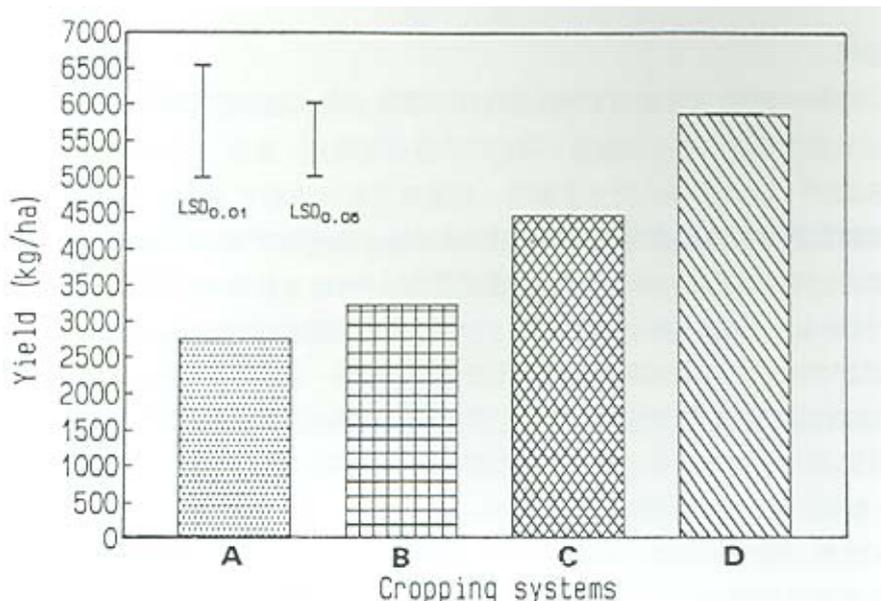
結果

一、不同輪作制度對水稻產量之影響

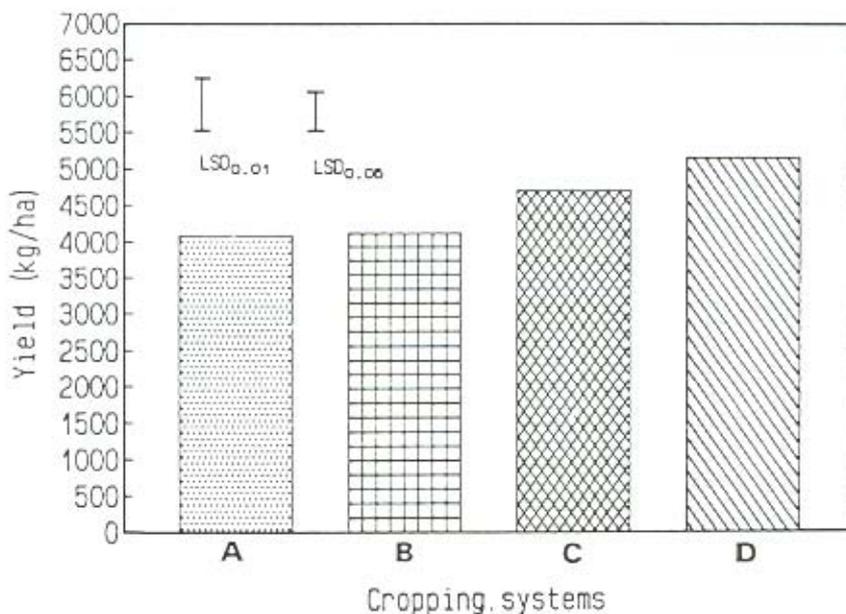
原為雙期作水田但經多年不同之輪作試驗後, 再恢復種植水稻, 其產量受不同輪作制度之影響, 而有不同的表現。在八十二年一期作水稻之產量以輪作制度 D 最高, 每公頃產量為 5,850kg, 其次為輪作制度 C, 每公頃 4,459kg, 再次之輪作制度 B 之 3,222kg / ha, 而對照之輪作制度 A 為每公頃 2,754kg(圖 1)。八十二年二期作之水稻產量仍以輪作制度 D 最高, 公頃產量為 5,146kg, 其次為輪作制度 C, 每公頃 4,703kg, 而輪作制度 B 每公頃 4,119kg, 對照之輪作制度 A 為 4,083kg / ha 則較低(圖 2)。綜合以上結果, 可明顯看出, 雙期作水田在施行多年不同輪作之後, 不論以水旱輪作方式或連續旱作方式, 均對水田之生產力有影響, 而這些影響充分表現在後作水稻產量上。

二、不同輪作制度對水稻農藝性狀之影響

根據本試驗的結果顯示, 雙期作水田經不同輪作制度輪作後, 恢復種植水稻後, 其產量依不同輪作制度而有不同之表現, 因此, 本試驗乃進一步分析其農藝性狀及產量構成要素。八十二年一期作, 不同輪作制度下之水稻農藝性狀表現如表 1。在株高方面, 以輪作制度 D 之 104.4cm 最高, 其次為輪作制度 B 之 102.0cm, 均高於對照輪作制度 A 之 90.7cm, 且達 5 % 顯著水準, 至於輪作制度 C 則與對照差異不顯著, 為 93.8cm。穗重仍以輪作制度 D 之 2.1 公克 / 穗最高, 與對照差異顯著, 至於輪作制度 C 之 1.6 公克 / 穗及輪作制度 B 之 1.5 公克 / 穗均差異不顯著。每穗稔實粒數以輪作制度 D 之 76.0 粒 / 穗最高, 與對照差異顯著, 至於輪作制度 B 及 C 則差異不顯著。水稻之產量構成要素為穗數、一穗穎花數、稔實率及千粒重, 根據本試驗之結果顯示, 八十二年一期作, 不同輪作制度對水稻產量構成要素之影響, 有一穗穎花數及千粒重, 其中以千粒重受影響程度最大。



圖一、不同輪作制度下水稻台梗6號之產量（八十二年一期作）
 Fig. 1 . Yield of rice cultivar TK 6 as affected by various preceding cropping systems (1st crop, 1993).



圖二、不同輪作制度下水稻台梗6號之產量（八十二年二期作）
 Fig. 2. Yield of rice cultivar TK 6 as affected by various preceding cropping systems (2nd crop, 1993).

表一、不同輪作制度下之水稻農藝性狀及產量構成要素(八十二年一期作)

Table 1. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivar TK6 as affected by preceding cropping systems (1st crop, 1993).

Cropping system	Plant height	Panicle weight	No. of spikelets	No. of fertile	1000 grain

	(cm)	(g)	per panicle	grains per panicle	weight (g)
Rice-Rice	90.7	1.4	76.6	50.0	22.3
Peanut-Rice	102.0	1.5	74.2	43.8	24.9
Rice-Soybean	93.8	1.6	72.6	50.7	25.7
Maize-Soybean	104.4	2.1	85.8	76.0	27.8
LSD(0.05)	5.1	0.5	11.9	28.1	3.0

表二、不同輪作制度下之水稻農藝性狀及產量構成要素(八十二年二期作)

Table 2. Agronomic characteristics and yield components of rice cultivar TK6 as affected by preceding cropping systems (2nd crop, 1993).

Cropping system	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	No. of spikelets per panicle	No. of sterility grain per panicle	Seed setting rate (%)
Rice-Rice	100.6	19.9	109.2	27.7	74.6
Peanut-Rice	102.3	19.8	111.8	29.8	73.3
Rice-Soybean	101.2	18.7	92.8	15.5	83.3
Maize-Soybean	106.7	19.4	96.7	20.3	79.0
LSD(0.05)	5.0	0.5	13.8	10.9	6.2

八十二年二期作，不同輪作制度下之水稻農藝性狀及產量構成要素表現如表 2。株高方面，以輪作制度 D 之 106.7cm 最高，其次為輪作制度 B 之 102.3cm，其中僅輪作制度 D 與對照輪作制度 A 之 100.6cm，差異達 5% 顯著水準。穗長方面，以對照輪作制度 A 之 19.9cm 最高，其次為輪作制度 B 之 19.8cm 及輪作制度 D 之 19.4cm，而輪作制度 C 之 18.7cm 最低。此外，一穗不稔粒數，以輪作制度 B 之 29.8 粒最高，其次為輪作制度 A 之 27.7 粒，而輪作制度 C 及 D 分別為 15.5 及 20.3 粒與對照差異顯著。在產量構成要素方面，以一穗穎花數及稔實率受影響較大，尤其在稔實率方面，雖然一穗穎花數以輪作制度 B 最高，但是稔實率卻以輪作制度 C 較高。

綜合以上結果，一期作水稻產量之差異主要受株高、穗重、一穗穎花數、一穗結實粒數及千粒重之影響，其中主要因子為一穗穎花數及千粒重。而二期作水稻產量差異主要受株高、穗長、一穗穎花數、一穗不稔實數及稔實率之影響，其中主要因子為稔實率。

在不同輪作制度下對水稻之穀粒容重、糙米容重及碾米率之影響如表 3。八十二年一期作，不論水稻穀粒容重、糙米容重及碾米率均受不同程度之影響。就穀粒容重而言，以輪作制度 D 之 544.3g / 1 及輪作制度 B 之 538.3g / 1，與對照輪作制度 A 之 522.7g / 1 差異達 5% 顯

著水準。糙米容重仍以輪作制度 D 之 791.7g / l 最高，與對照輪作制度 A 之 776.2g / l 差異顯著，而輪作制度 B 及 C 則與對照差異不顯著。至於糙米率，以輪作制度 D 之 85.9% 最高，與對照輪作制度 A 之 82.3% 比較，達 5% 顯著差異，輪作制度 B 及 C 則不顯著。八十二年二期作僅穀粒容重有差異，以輪作制度 C 最高，但與對照之輪作制度 A 差異不顯著，而與輪作制度 B 則差異顯著。其它如糙米容重及糙米率則不受影響。

在不同輪作制度下調查水稻收穫指數之結果如表 4。八十二年一期作由於穀粒重受不同輪作制度之影響，以輪作制度 D 最高，與其它輪作制度差異顯著，因此其收穫指數均高於其它輪作制度。至於八十二年二期作，則不受不同輪作制度之影響。

表三、不同輪作制度下之水稻糙米特性

Table 3. The milling properties of rice cultivar TK6 as affected by preceding cropping systems (1st and 2nd crop, 1993).

Cropping Systems	1st crop			2nd crop
	Grain volume weight (g/l)	Brown rice volume weight (g/l)	Brown rice rate (%)	Grain volume weight (g/l)
Rice-Rice	522.7	776.2	82.3	543.0
Peanut-Rice	538.3	778.2	82.5	538.3
Rice-Soybean	544.3	785.9	84.0	553.3
Maize-Soybean	555.0	791.7	84.9	549.3
LSD(0.05)	10.1	14.2	2.0	10.5

表四、不同輪作制度下之水稻地上部乾物重及收穫指數

Table 4. Aboveground biomass and harvest index of rice cultivar TK6 as affected by preceding cropping systems(1st crop, 1993).

Cropping Systems	1st crop			
	Straw weight (g/hill)	Grain weight	Total aboveground biomass (g/hill)	Harvest index (%)
Rice-Rice	32.7	20.3	53.0	38.3
Peanut-Rice	31.0	21.6	52.6	41.1
Rice-Soybean	33.1	23.9	57.0	41.9
Maize-Soybean	36.2	32.7	68.9	47.5

LSD(0.05)	NS	5.6	10.9	9.5
-----------	----	-----	------	-----

討論

一、不同輪作制度對水稻產量之影響

人們長久以來便知道利用不同作物輪作可以提高作物產量，一個包含豆科牧草的輪作制度，最容易看出作物輪作所帶來的正面效應。當穀類作物種植在豆科後作，較本身連作或其它穀類輪作有較高的產量表現。同樣地，大豆與禾本科牧草輪作也較大豆本身連作高產 (Francis et al., 1990)。Robinson et al. (1984) 指出玉米種植於大豆之後的產量較連續種植玉米增產 16-17%。Roder et al., (1989) 亦指出大豆與高粱輪作，其產量較本身連作為高。Peterson and Varvel (1989) 另指出高粱連作，不論子粒產量或乾物質產量均比輪作區之高梁對氮肥有較高的反應，氮肥增施有明顯之增產效果，而輪作區則不明顯。在水田方面，根據廖(1991)之報告指出，輪作區之水稻產量較連作區為高，平均一期作約增產 1,000kg / ha，而二期作約增產 800kg/ha。根據本試驗結果，雙期作水田在經過多年不同輪作之後，不論以水旱輪作方式或連續旱作輪作方式，均對水田土壤之生產力有影響，而這些影響充分表現在後作作物產量上。

Croodston et al. (1991) 利用不同年限之玉米 大豆輪作方式，在第一年不論玉米或大豆均可得到最高產量之表現，單一作物連作則明顯減產，而隔年之輪作產量亦高於連作，但比第一年之產量為低。根據本試驗二期作水稻產量之綜合表現，發現在不同作物輪作情形下，落花生 水稻輪作區之當期作水稻產量表現高於連續水田，而次期作之水稻產量已經與連續水田之表現相同。水稻 大豆輪作區之一期作水稻產量表現高於連續水田，而次期作之水稻產量表現仍高於連續水田。至於連續旱田輪作區之後作水稻產量，兩期作均高於其它輪作區，但第二期作產量表現與水稻 大豆輪作區差異不顯著，其主要影響應為種植大豆後之效應。因此在豆科作物如落花生、大豆之後種植水稻，可由水稻產量之不同表現看出其對地力增進之效果，其中以玉米 大豆輪作區之產量表現最佳，此乃因受到輪作之效應外，應與土壤理化性之改變有很大的關係。因此，雙期作水田經多年輪作後，對地力確有增進之效果。

二、不同輪作制度對水稻農藝性狀之影響

根據本試驗的結果顯示，雙期作水田經不同輪作制度輪作後，恢復種植兩期作水稻，產量均優於原本之連續水田，至於影響之程度依不同輪作制度而有不同之表現。本試驗進一步分析其不同輪作制度下水稻之農藝性狀及其產量構成要素，水田不同輪作制度輪作後，一期作水稻株高、穗重、一穗穎花數、一穗結實粒數及千粒重均受不同程度之影響。而二期作水稻株高、穗長、一穗穎花數、一穗不稔實粒數及稔實率受影響。水稻之產量構成要素為穗數、一穗穎花數、稔實率及千粒重。根據本試驗之結果顯示，八十二年一期作，不同輪作制度對水稻產量構成要素之影響，包括一穗穎花數及千粒重(表 1)。在大多數情況下，穀粒的大小直接由穀殼的大小所決定，因此千粒重乃是表現穩定的品種特性(Yoshida, 1981)。本試驗中千粒重之差異，應該是受穗稻熱病之影響。八十二年二期作，以一穗穎花數及稔實率受影響較大，

尤其在稔實率方面，雖然一穗穎花數以輪作制度 B 最高，但是稔實率卻以輪作制度 C 較高。因此，其水稻產量之差異應受稔實率之影響較大。Yoshida and Parao (1976)報告在某些地區及氣候條件下，成穀率可能較單位面積穎花數對產量的限制為大。此外氣候、土壤和肥料的使用等因子以及病蟲害的發生等等，都會影響穎花的稔實與充實的百分率。

根據本試驗對水稻收穫指數之調查結果，八十二年一期作由於穀粒重受不同輪作制度後之影響，以輪作制度 D 最高，與其它輪作制度差異顯著，因此其收穫指數均高於其它輪作制度。至於八十二年二期作，則不受不同輪作制度之影響。改善稻根之生育環境，增強稻根之氧化力及其對營養素之吸收能力，並使稻根能再生使後期維持較高之活力，可提高水稻單位面積產量(吳等，1978；侯及黃，1984)。因此，水田經不同作物輪作後，可改善土壤肥力，減少作物病蟲害，以及土壤物理、化學性質改變，而達到增產之效果。

綜合本試驗結果，水田經多年不同輪作後，一期作水稻產量明顯增加，以輪作制度 D 最高，其次為輪作制度 C；二期作產量變化亦同。在一期作水稻產量構成要素而言，輪作制度 D 之株高、穗重、一穗粒數、稔實粒數及千粒重均高於其它輪作制度。二期作株高變化與一期作相同，而一穗粒數減少，但稔實率增加。在穀容重、糙米容重、收穫指數及植物體有效成分含量方面，一期作明顯受不同輪作制度之影響，而二期作僅稻穀容重仍受影響。

引用文獻

- 1.李子純 1988 轉作玉米田土壤肥力限制因子研究 中華農業研究 37(2):165-176。
- 2.吳育郎 鐘德月 周德雄 楊俊彥 劉文慶 1978 臺灣南部二期作水稻綜合改進 中華農學會報新 103：43-48。
- 3.林滄澤 1988 轉作雜糧作物長期肥培管理試驗 p.12-2475 年度農林廳土壤肥料試驗報告。
- 4.侯清利 黃天成 1984 一、二期稻作土壤環境、根部活力與產量之分析比較 p.45-47 劉大江 謝順景主編 稻作區域性與期作性低產及增產措施之研究。
- 5.高得錚 1989 農藝作物有機栽培法之探討 p.117-132 謝順景謝慶芳主編 有機農業研討會專輯 臺中農業改良場編印。
- 6.連 深 1986 轉作田玉米肥料需要量與土壤肥力之關係 中華農業研究 35(3)：318-334。
- 7.連 深 王鐘和 1988a 田菁中間作與耕耘方式對水稻，玉米輪作田土壤理化性質及玉米產量之影響 中華農業研究 37(4)：416-423。
- 8.連 深 王鐘和 1988b 轉作田玉米生育特性及肥培管理 1.子實收量之期作間和土壤間差異及有關因素 中華農業研究 37(4)：32-46。
- 9.陳世雄 1987 臺灣轉作田土壤物理性限制因子之診斷及改良 國立中興大學博士論文。
- 10.郭益全 1994 美國稻米產銷及品質改良現況簡介 科學農業 42(1.2):1-12。
- 11.臺灣省農林廳 1991 稻台梗 6 號育成經過 p.1-29 稻作改良年報。

12. 蔡俊雄 楊小慈 賴森雄 鄒虎生 1992 p.3-19 耕作制度研究資料的儲存系統分析與應用之探討 p.3-9 水稻旱作輪作制度與土壤理化性病蟲害發生及作物生產力關係試驗報告。
13. 鄭書杏 簡文憲 洪汝煌 1992 水田不同耕作制度與作物生產力之關係 花蓮區農業改良場研究彙報 8 : 1-16。
14. 羅秋雄 黃伯恩 1990 水旱田耕作制度調整對地力維護之探討 臺灣農業 26(4):65-68
15. 農文協 . 1990 . 水田高度と利用技術体系 . pp.231-242 . 稻作大百科 . 栽培様式/管理の實際 . 農山漁村文化協會 .
16. Chiu, C. C. 1987. Evolution of farming systems in Taiwan. FFTC EB 265.
17. Crookston, R. K., J. E. Kurlle, P. J. Copeland, J. H. Ford, and W. E. Lueschen. 1991. Rotational cropping sequence affects of corn and soybean. Agron. J. 83:108-113.
18. FFTC. 1974. Multiple cropping systems in Taiwan. 77p. Taipei, Taiwan, R.O.C.
19. Francis, C. A., and M. D. Clegg. 1990. Crop rotations in sustainable production systems. Soil and Water Conservation Society. U.S.A.
20. Francis, C. A., M. D. Clegg, and S. C. Mason. 1989. Alternatives to monoculture: Sustainable systems for U.S. crop production. FFTC EB 301.
21. Peterson, T.A., and G.E. Varvel. 1989. Crop yield as affected by nitrogen rate. II. Grain soyghum. Agron. J. 81:731-734.
22. Robinson, R.G. 1966. Sunflower-soybean and grain sorghum-soybean rotations versus monoculture. Agron. J. 58:457-477.
23. SAS Institute, Inc. 1987. SAS/STAT guide for personal computers: version 6/E. SAS Institute, Inc., Cary, NC. USA.
24. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI, Los Banos, Philippines.