農業長期生態系耕作制度對作物生產力之評估[1]

王瑞章、潘佳辰、張錦興、楊藹華 [2]

摘　要

王瑞章、潘佳辰、張錦興、楊藹華。2020。農業長期生態系耕作制度對作物生產力之評估。臺南區農業改良場研究彙報 75：59-76。

為瞭解臺灣幾種不同耕作制度對農業生態系生產力維持之機制，本研究於臺南區農改場雲林分場試驗田探討不同期作、不同耕作制度下的作物品質與產量的變化，並將數據用以維護試驗平臺提供各計畫研究參考。經過 13 年試驗調查結果顯示，高投入之慣行農耕 (Conventional Agroecosystem, CA) 與低投入之永續農耕 (Sustainable driven Agroecosystem, SA) 處理間產量除了 2015 年一期作水稻產量有顯著差異外，其餘產量差異不明顯。田間產量變異性經水旱輪作及水田連作後逐步趨於穩定。因此，無論雙期作水田或水旱輪作田，永續農耕合理減少肥料投入，亦可維持相當於慣行農耕的產量。

現有技術：建立農業長期生態系不同耕作處理試驗田，累積 13 年生態作物產量調查資料。

創新內容：了解臺灣幾種不同耕作制度對農業生態系生產力維持之機制，探求最低投入之最佳農耕管理模式。

對產業影響：提供農業最低投入生產效益，恢復農業生態，以生產安全農產品。

關鍵字：長期生態研究、耕作制度、農業生態系、作物產量

接受日期：2020 年 4 月 20 日

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 519 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員、研究員。712 臺南市新化區牧場 70 號。

前　言

農業生態系有別於自然生態系，因有人為的介入其狀況較自然研究站複雜。全球目前大約有 38 個國家設有長期生態研究站，除了中國大陸 40 個長期生態研究站中含有 16 個農業生態系 (agricultural ecosystem) 研究站外 [16]，其它國家絕大部分以自然生態系 (natural ecosystem) 研究站為主。美國自從 1980 年起開始設立長期生態研究站進行生態研究，如今已有 26 個長期生態研究站 [14]，但亦僅有地處溫帶的 KBS (Kellogg Biological Station ,Michigan State University) 一個農業生態研究站 [15]，臺灣若能建立另一完整的亞熱帶的農業生態研究站，除了可提供國內長期生態研究與研擬管理法則之外，亦可和美國或其他國家研究站進行合作、交流與比較，提供更多元的生態系資訊，有助於減輕人類活動對生態造成的衝擊 [8]。有鑑於此，臺灣在農委會及國科會經費補助下，於 2006 年成立國內第一個長期農業生態研究計畫 [13]，分別於臺南區農業改良場雲林分場之農場 (面積 7 ha)、臺灣農業試驗所嘉義分所之溪口農場 (面積 8 ha) 及荔枝原生種保存圃 (面積 2.5 ha) 等三處建置長期生態研究站 [8]，依續進行 2006 年至 2008 年進行水旱輪作田與旱作連作田以及 2009 年開始至今之雙期作水田與水旱輪作田等與果園生態系等生態系研究 [13]，此研究站為提升學術研究水準及拓展國際研究視野，特別與美國密西根州立大學之 Kellogg Biological Station (KBS) 建立起長期合作關係，更進行研究交流和人員互訪 [12]。此後，2009 年茶業改良場設立茶園研究站、2011 年農試所嘉義分所古坑農場新增荔枝園研究站、2017 年苗栗區農業改良場將苗栗苑裡稻鴨庄農場納入 LTER (Long Term Ecological Research) 試驗站而陸續加入研究團隊。

農業長期生態系研究是一個大型的跨領域研究計畫，第一階段 (2006 ～ 2011 年) 目標著重於臺灣現行幾種耕作制度資材投入對生物多樣性之影響，生態系生產力維持之機制及其對環境衝擊等之研究，探求最佳適應管理模式 [8]。第二階段 (2012 ～ 2017 年) 針對長期觀測氣候變遷對病菌、害蟲與雜草族群生態農作罹病度之影響，及其對農作物水稻、花生與荔枝等生產之衝擊，在研究站內以大面積試驗田進行長期測試，了解各對策對氣候變遷之可調適程度。

在雲嘉南地區不同耕作模式有不同的收益 [6,9]。永續農耕中合理的減少肥料投入，足可提供作物生長所需養分及控制病蟲害之發生，並維持相當於傳統農耕的產量 [4]。本研究為長期農業生態研究計畫的子研究項目，主要以本場雲林分場研究站之長期監測資料，持續探討臺灣幾種不同耕作制度下生態系生產力維持之機制及土壤肥力變遷，探求最低投入之最佳農耕管理模式。

材料與方法

一、試驗時間：2006 年一期作至 2017 年二期作。

二、試驗地點及面積

試區設置於臺南區農業改良場雲林分場之農場，雲林分場研究站氣象環境 (23°38’N, 120°28’E, 海拔高度 36.9 m)：平均雨量 1,727 mm，平均溫度 23.1℃。屬非石灰性砂頁岩沖積土，仁德系和五里林系等複合土系，土壤 pH 4.0 ～ 6.5，質地為砂質壤土。面積為 7.0 公頃。

三、試驗品種：水稻品種為臺南 11 號，花生品種為臺南 14 號，甘藷品種為臺農 57 號。

四、試驗設計

(一) 耕作系統：水旱輪作田 (水稻－甘藷，水稻－花生)。旱田連作 (花生－甘藷)。雙期作水田 (水稻－水稻)。

(二) 投入處理：低投入模式 (永續農耕 Sustainable driven Agroecosystem；簡稱 SA)、高投入模式 (慣行農耕 Conventional Agroecosystem；簡稱 CA)。

(三) 處理重複數：水旱輪作田 3 重複。旱田連作 4 重複。雙期作水田 4 重複。

(四) 處理之原則 ：田間耕犁全面採用中型農機操作。投入處理只考慮肥料與農藥之差別，肥料使用化學肥料，所有作物殘體回歸農田再利用。高投入處理之農藥使用按慣行管理，低投入處理則在病蟲害嚴重時才使用農藥。病蟲害之管理，水稻主要防治稻熱病及二化螟蟲。花生主要防治銹病及葉斑病。

五、試驗方法

試驗規劃 (1) 2006 ～ 2008 年進行水旱輪作田與旱作連作田等兩種生態系研究 (圖 1)，水旱輪作 (水稻、甘藷) 6 區，計 2.88 公頃；旱田系統 (花生、甘藷) 8 區，計 4.12 公頃，合計 7.0 公頃。(2) 2009 ～ 2011 年為雙期作水田與水旱輪作田等兩種生態系研究 (圖 2)，水旱輪作 (水稻、花生) 6 區，計 2.88 公頃；水田系統 (水稻、水稻) 8 區，計 4.12 公頃，合計 7.0 公頃。(3) 2012 ～ 2017 年為雙期作水田與水旱輪作田等兩種生態系研究 (圖 3)，水旱輪作 (水稻、花生) 6 區，計 2.88 公頃；水田系統 (水稻、水稻) 8 區，計 4.12 公頃，合計 7.0 公頃。肥培與田間處理有高投入、低投入兩種。試驗田灌溉期間主要抽取雲林分場內地下井水或水利會溝渠水作為灌溉水來源。

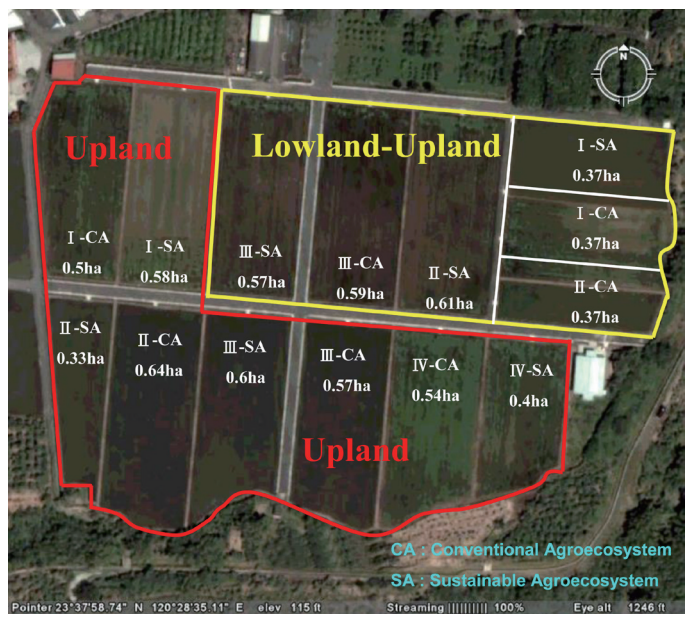


圖 1. 2006 ～ 2008 年雲林分場試驗設計配置圖
(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式； Ⅰ - Ⅳ：重複)

Fig. 1. Experimental design on Yuin-Lin branch station in 2006 ~ 2008
(CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem; I-IV: Replicates)

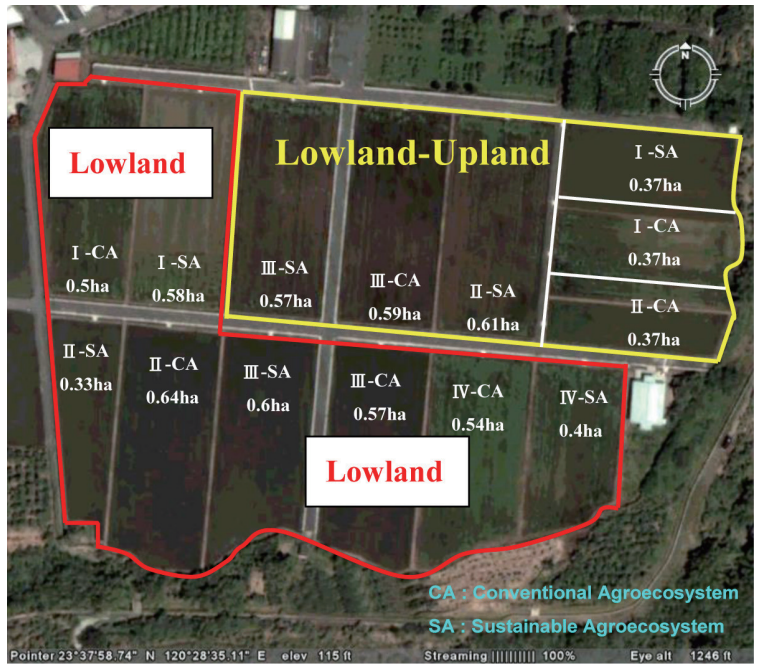


圖 2.　2009 ～ 2011 年雲林分場試驗設計配置圖
(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式； Ⅰ - Ⅳ：重複)

Fig. 2.　Experimental design on Yuin-Lin branch station in 2009 ~ 2011
(CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem; I-IV: Replicates)



圖 3.　2012 ～ 2017 年雲林分場試驗設計配置圖
(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式； Ⅰ - Ⅳ：重複)

Fig. 3.　Experimental design on Yuin-Lin branch station in 2012 ~ 2017
(CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem; I-IV: Replicates)

六、肥培管理標準作業程序 (實際施肥量詳如表 1、2、3、4)

CA：以現行之推薦管理方法進行耕作，參考最新版的作物施肥手冊等 [(2)]。

SA：考慮長遠的最大利益為依歸，不求取現今最大的利益為目標，其管理方法隨時間與環境變動而調整。

七、調查項目

水稻成熟期進行稻穀產量調查。甘藷生成熟期進行塊根產量調查。花生成熟期進行莢果產量調查。稻穀產量調查方法：田區小區產量依採樣規範，水稻成熟時各田區取樣5點，每點100叢稻株，換算為產量。乾穀含水量之測定，係將取樣水稻之濕稻穀置於溫度80℃之通風乾燥箱中，經48小時後秤其乾重後換算所得。

表1. 2006年二期作至2008年二期作試驗期間不同處理之施肥量

Table 1. Fertilizer application of different treatments from 2nd crop, 2006 to 2nd crop, 2008

Treatment	2nd crop, 2006	1st crop, 2007	2nd crop, 2007	1st crop, 2008	2nd crop, 2008
	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$
Paddy-upland rotation cropping					
a.SA plot	42：36：480	100：30：30	60：30：120	100：30：30	60：30：120
b.CA plot	42：36：480	160：72：84	80：45：180	160：72：84	80：45：180
Upland cropping					
a.SA plot	42：36：480	20：15：15	60：30：120	20：15：40	60：30：120
b.CA plot	42：36：480	45：45：50	80：45：180	45：45：80	80：45：180

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem.

表2. 2009年一期作至2011年二期作試驗期間不同處理之施肥量

Table 2. Fertilizer application of different treatments from 1st crop, 2009 to 2nd crop, 2011

Treatment	1st crop, 2009	2nd crop, 2009	1st crop, 2010	2nd crop, 2010	1st crop, 2011	2nd crop, 2011
	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$	$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$
Paddy-upland rotation cropping						
a.SA plot	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40
b.CA plot	160：72：84	45：45：80	160：72：84	45：45：80	160：72：84	45：45：80
Paddy-paddy cropping						
a.SA plot	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30
b.CA plot	160：72：84	160：72：84	160：72：84	160：72：84	160：72：84	160：72：84

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem.

表 3.　2012 年一期作至 2014 年二期作試驗期間不同處理之施肥量

Table 3.　Fertilizer application of different treatments from 1st crop, 2012 to 2nd crop, 2014

Treatment	1st crop, 2012	2nd crop, 2012	1st crop, 2013	2nd crop, 2013	1st crop, 2014	2nd crop, 2014
	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O
Paddy-upland rotation cropping						
a.SA plot	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40
b.CA plot	160：72：84	45：45：80	200：72：84	45：45：80	200：72：84	45：45：80
Paddy-paddy cropping						
a.SA plot	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30
b.CA plot	160：72：84	160：72：84	200：72：84	160：72：84	200：72：84	200：72：84

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem.

表 4.　2015 年一期作至 2017 年二期作試驗期間不同處理之施肥量。

Table 4.　Fertilizer application of different treatments from 1st crop, 2015 to 2nd crop, 2017

Treatment	1st crop, 2015	2nd crop, 2015	1st crop, 2016	2nd crop, 2016	1st crop, 2017	2nd crop, 2017
	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O	N-P_2O5-K_2O
Paddy-upland rotation cropping						
a.SA plot	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40	100：30：30	20：15：40
b.CA plot	200：72：84	45：45：80	200：72：84	45：45：80	200：72：84	45：45：80
Paddy-paddy cropping						
a.SA plot	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30	100：30：30
b.CA plot	200：72：84	200：72：84	200：72：84	200：72：84	200：72：84	200：72：84

CA: Conventional Agroecosystem; SA: Sustainable driven Agroecosystem.

八、生產成本分析：依據農糧署作物生產成本調查分析方法進行分析。

九、統計方法：以 Microsoft Excel 進行獨立 T 檢定 (T test)。

結果與討論

一、作物產量變遷

(一) 水稻產量

1. 水田連作區 (圖 4、5)

2009 年至 2017 年水田連作系統一期作雙期作水田區，水稻低投入處理平均產量為 6,740 公斤 / 公頃至 8,660 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 4.9% 至 15.1%；高投入處理平均產量為 6,680 公斤 / 公頃至 9,860 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 5.3% 至 13.3 %。二期作水稻低投入處理平均產量為 5,370 公斤 / 公頃至 8,700 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 5.5% 至 12.6%；高投入處理平均產量為 4,650 公斤 / 公頃至 8,890 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.6% 至 14%。

2009 年二期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 8,700 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.3%；高投入處理之平均產量為 8,890 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.9%，兩者無顯著差異。

2012 年二期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 8,610 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 5.5%；高投入處理之平均產量為 8,150 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.9%，兩者間無明顯差異。至於一、二期作水稻 CK 處理之差異大，應為灌溉水不同所引起。2012 年一期作水稻因雨水少，大部分係利用雲林分場本身地下井水灌溉，二期作則引用水利會供應之濁水溪的水灌溉。

2013 年二期雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 7,040 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 7.0%；高投入處理之平均產量為 6,450 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.9%，兩者間無明顯差異。本試驗一、二期作水稻坪割稻穀產量以低投入處理較高投入處理高，此與高投入處理較低投入處理稻熱病發生嚴重有關。

2014 年一期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 8,450 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 6.8%；高投入處理之平均產量為 7,970 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 11.1%，兩者無明顯差異。本試驗高投入處理稻穀產量較低投入處理低，此應與一期作水稻生育後期溫度較高，高投入處理部分田區稻熱病發生較嚴重有關。

2015 年一期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 8,660 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 10.8%；高投入處理之平均產量為 9,860 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 9.4%，兩者有明顯差異。本試驗雲林分場 2015 年一期作在水稻花生輪作系統下以低投入 (SA) 處理有利於水稻產量表現。

2015 年二期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 7,930 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 8.8%；高投入處理之平均產量為 7,610 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 11.0%，兩者間無明顯差異。本試驗雲林分場 2015 年二期水稻，8 月 8 日因受蘇迪勒颱風來襲，造成試驗田南側邊竹林倒伏，部分高投入試驗田區有些秧苗受創，影響高投入處理之產量。

2016 年一期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 6,740 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 15.1%；高投入處理之平均產量為 6,680 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 13.3%，兩者無明顯差異。

2016 年二期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 5,370 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 12.6%；高投入處理之平均產量為 4,650 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 14%，兩者間無明顯差異。本試驗二期作水稻坪割稻穀產量，高投入處理較低投入處理低，此應與水稻抽穗期遭受颱風影響有關。

2017 年一期作雙期作水田區水稻低投入處理之平均產量為 8,100 公斤 / 公

頃，CV 之平均值為 7.1%；高投入處理之平均產量為 8,050 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 5.3%，兩者無明顯差異。本試驗雲林分場 2017 年一期作在水稻花生輪作系統下以低投入處理有利於水稻產量表現。此結果與 2012 ～ 2016 年一期作大致相符。

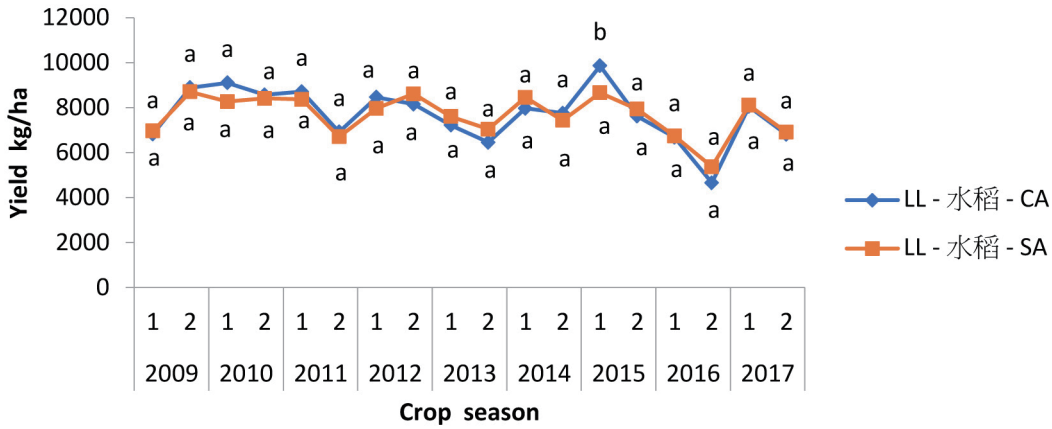


圖 4.　2009 ～ 2017 水田連作系統水稻產量變化

Fig. 4. The yield of rice under paddy-paddy (LL) system in 2009 ~ 2017

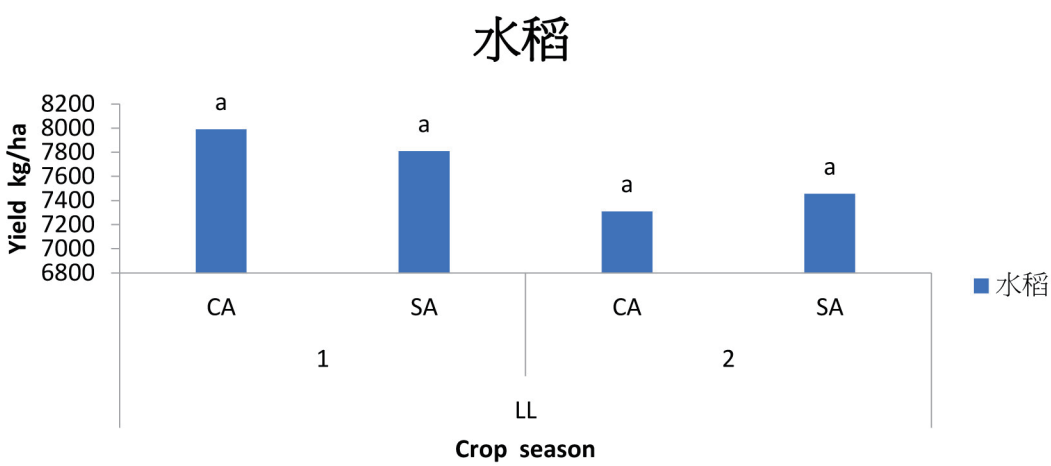


圖 5.　水田連作系統之施肥處理對水稻產量之影響

Fig. 5. The effect of fertilizer on rice yield under paddy-paddy (LL) system

2. 水旱輪作區 (圖 6，7)

2009 年至 2017 年水旱輪作系統一期作水稻低投入處理平均產量為 5,730 公斤 / 公頃至 9,900 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 8.6% 至 15%；高投入處理平均產量為 4,840 公斤 / 公頃至 9,780 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 7.8% 至 19.7%。

2010 年一期作水旱輪作區低投入處理之平均產量為 8,030 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 15.0%；高投入處理之平均產量為 7,550 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 15.0%，兩者無顯著差異。本期作水稻除水旱輪作區，部份高投入處理田區 (前

作為落花生) 有稻熱病發生外，其餘田區水稻植株生育情形大致良好。

2015 年一期作水旱輪作區低投入處理之平均產量為 9,900 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 11.3%；高投入處理之平均產量為 9,780 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 16.4%，兩者無明顯差異。本試驗雲林分場 2015 年一期作在水稻花生輪作系統下以低投入處理有利於水稻產量表現。

2016 年一期作水旱輪作區低投入處理之平均產量為 5,730 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 8.6%；高投入處理之平均產量為 4,840 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 10.8%，兩者有明顯差異。

2017 年一期作水旱輪作區低投入處理之平均產量為 9,090 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 9.5%；高投入處理之平均產量為 8,820 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 8.0%，兩者無明顯差異。

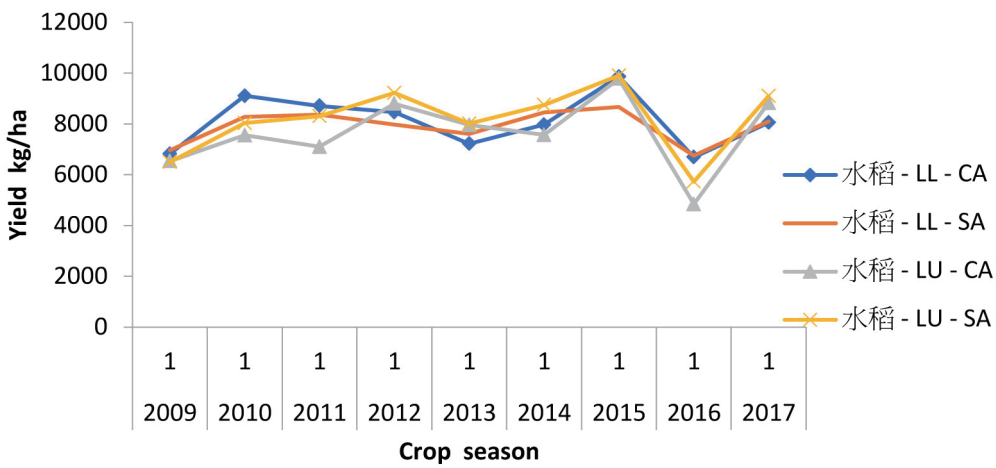


圖 6.　水田連作及水旱輪作系統一期作水稻產量變化

Fig. 6.　The yield of rice in first season under paddy-paddy (LL) and paddy-lowland (LU) system in 2009 ~ 2017

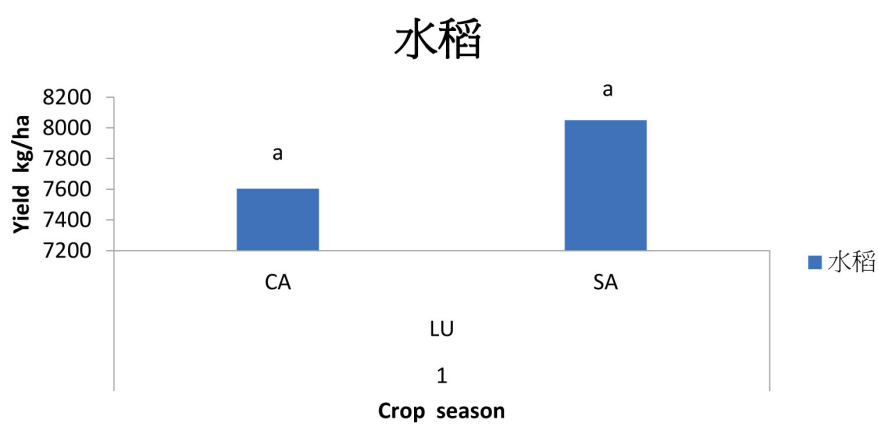


圖 7.　水旱輪作系統之施肥處理對一期作水稻產量之影響

Fig. 7.　The effect of fertilizer on rice yield in first season under paddy-lowland (LL) system

(二) 旱作產量

1. 水旱輪作區甘藷產量 (圖 8，9)

2006 年至 2009 年水旱輪作系統二期旱作甘藷低投入處理平均產量為 29,700 公斤 / 公頃至 31,200 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 13.7% 至 11.4%；高投入處理平均產量 25,800 公斤 / 公頃 至 28,800 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 22.6% 至 30.2%。

2006 年二期旱作甘藷無進行不同施肥處理，肥料施用依農民慣行施肥量，(氯化鉀 80 公斤 / 0.1 公頃、硫酸銨 20 公斤 / 0.1 公頃、過磷酸鈣 20 公斤 / 0.1 公頃)。甘薯產量調查結果，十四個田區產量介於 11,700 公斤 / 公頃～ 21,300 公斤 / 公頃之間，平均產量為 17,400 公斤 / 公頃，十四個田區之 CV 值變域介於 7.7 ～ 30.5% 之間。

2007 年二期水旱輪作區甘藷低投入處理之平均產量為 29,700 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 13.7%；高投入處理之平均產量為 28,800 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 22.6%，兩者無顯著差異。

2008 年二期水旱輪作區甘藷低投入處理之平均產量為 31,200 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 11.4%；高投入處理之平均產量為 25,800 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 30.2%，兩者有顯著差異。

本試驗由 2007 年二期及 2008 年二期甘藷產量得知，在相同耕作系統下，高、低投入量之間產量差異並不明顯，顯示本試驗田區，過高的施肥量並無法提昇甘藷產量。2008 年一期在水稻甘藷輪作系統下，低投入的水稻產量明顯高於高投入。經三次甘藷栽培經驗發現有下列幾項因素造成執行困難，二期作甘藷面積太大在種植、採收全靠大量人力執行上確有困難，產品採收及大宗販售 (不耐貯存) 亦有困難。本分場生態農場西、南邊有 3 ～ 4 區塊試驗田地勢較低，並不適合種植旱作尤其甘藷，加上自然環境影響，斗南鎮接近山區雨水較多。經充分討論後 2009 年計畫內容修改為 4.12 公頃水稻－水稻及 2.88 公頃水稻－落花生。即 2009 年至 2011 年變更為雙期作水田與水旱輪作田兩種生態系研究。

2. 水旱輪作區花生產量 (圖 10，11)

2009 年至 2017 年水旱輪作系統二期旱作花生低投入處理平均產量為 1,600 公斤 / 公頃至 4,910 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 8.6 % 至 26.5 %；高投入處理平均產量 1,560 公斤 / 公頃 至 4,680 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 12.8% 至 38.5%。

2010 年二期作水旱輪作區花生高投入處理之平均產量為 4,450 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 15.1%，顯著高於低投入處理之平均產量為 3,680 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 26.5%。本次試驗於 7-8 月間，因連日午後雷陣雨致田間積水影響種植，延後至 9 月 27 日種植，生育期適逢冬季低溫造成落花生生長緩慢，結莢雖多但充實度不佳。

2012 年二期作水旱輪作區花生低投入處理之平均產量為 3,340 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 24.0%；高投入處理之平均產量為 4,680 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 24.4%，高投入處理平均產量大於低投入處理，兩者間有明顯差異。

2013 年二期落花生種植問題，因連續颱風帶來豪雨，試驗田區長期積水，考量氣候及土壤條件等因素，於 10 月 1 日將落花生改種植綠肥大豆，並於 12 月

24 日翻耕入土壤。

2014 年二期作水旱輪作區花生低投入處理之平均產量為 4,910 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 16.5%；高投入處理之平均產量為 4,620 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 14.6%，兩者間無明顯差異，分別較 (CK) 處理之產量 5,050 公斤 / 公頃，減產 2.7% 及 8.5%。本次試驗落花生坪割莢果產量以 (CK) 處理區較佳，低投入處理次之，高投入處理最差，此應與高投入處理田區氮肥較高，果莢黑腐病發生較嚴重有關。且高投入處理有部分試驗田區，地勢較低，排水不良，田區土壤內濕度高，莢果腐爛嚴重，影響產量及品質至鉅。

2015 年二期作水旱輪作區花生低投入處理之平均產量為 2,630 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 25.5%；高投入處理之平均產量為 2,790 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 38.5%，高投入處理平均產量大於低投入處理，兩者間有明顯差異，分別較 (CK) 處理之產量 1,650 公斤 / 公頃，高出 68.9% 及 59.4%。本試驗雲林分場 2015 年二期作落花生於 8 月 4 日種植，於 8 月 8 日遭受蘇迪勒颱風侵襲造成部分試驗田區，畦面遭受強風豪雨侵襲沖蝕，部分種子腐爛，田區有缺株情形，雖於 8 月 26 日完成補植。然因後續下雨造成試驗田區積水嚴重，成活率仍不佳，於生育期間 9 月 29 日又遭受杜鵑颱風重創，試驗田區淹水造成果莢黑腐病發生嚴重，影響日後落花生產量及品質。

2017 年二期作水旱輪作區花生低投入處理之平均產量為 1,600 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 11.3%；高投入處理之平均產量為 1,560 公斤 / 公頃，CV 之平均值為 13.5%，兩者間無明顯差異，分別較 (CK) 處理之產量 1,970 公斤 / 公頃，減產 18.6% 及 20.9%。本次試驗二期作落花生坪割莢果產量以 (CK) 處理區較佳，低投入處理次之，高投入處理最差，此應與本次落花生種植過程中遭逢下雨，部分試驗田區，於雨後播種成活率欠佳，缺株嚴重造成產量偏低有關。

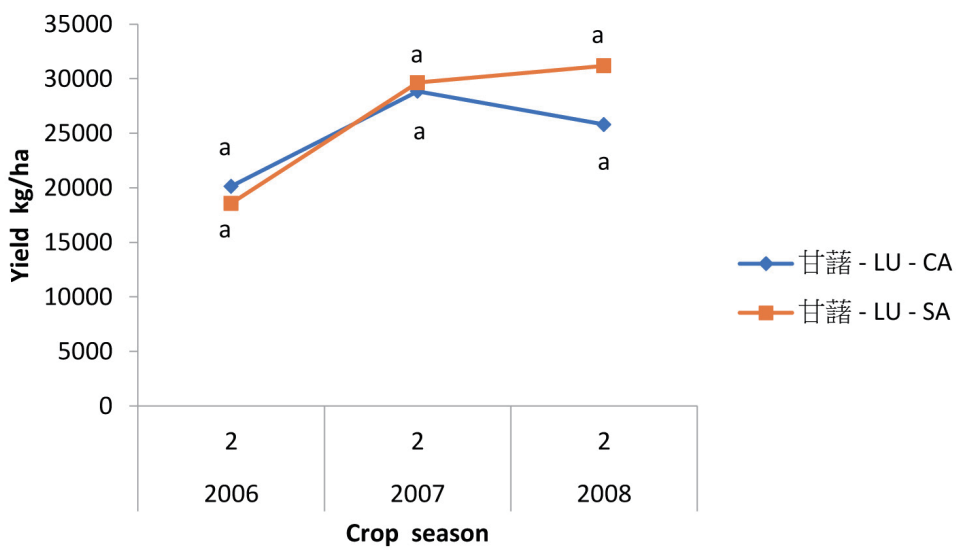


圖 8.　2006 ～ 2008 甘藷產量變化

Fig. 8. The yield of sweet potato under paddy-lowland (LU) system in 2006 ~ 2008

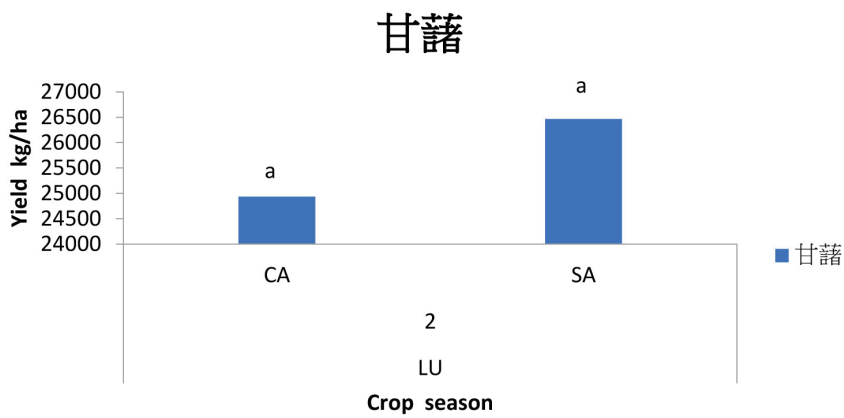


圖 9.　水旱輪作系統之施肥處理對甘藷產量之影響

Fig. 9. The effect of fertilizer on sweet potato yield under paddy-lowland (LU) system

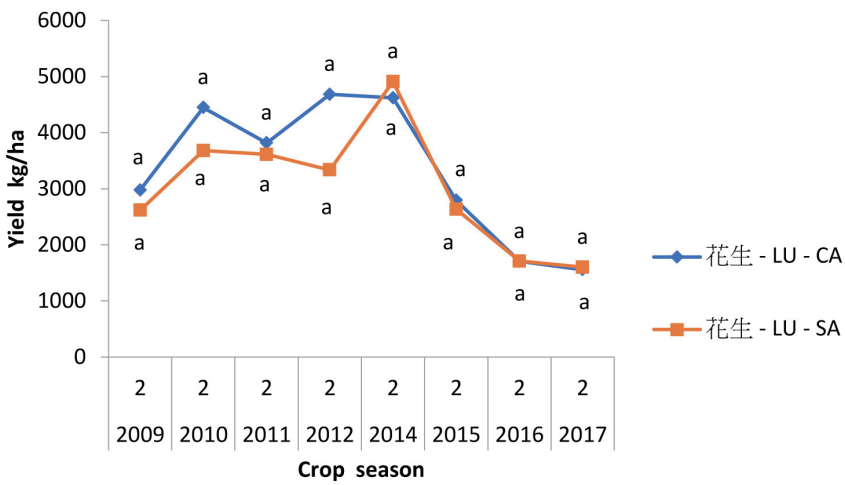


圖 10.　2009 ～ 2017 水旱輪作系統二期作花生產量變化

Fig. 10. The yield of peanut in second season under paddy-lowland (LU) system in 2009 ~ 2017

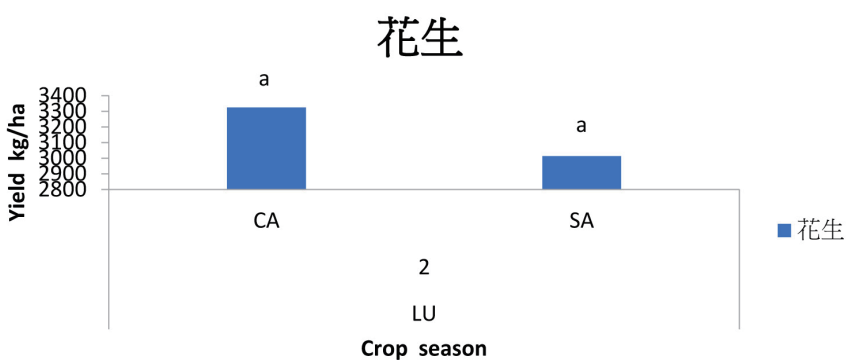


圖 11.　水旱輪作系統之施肥處理對花生產量之影響

Fig. 11. The effect of fertilizer on peanut yield under paddy-lowland(LU) system

二、生產成本與收益分析

(一) 水稻 (圖 12)

2009 年至 2017 年水稻低投入處理每公頃粗收益為 77,052 元至 120,440 元，生產成本為 118,010 元至 135,713 元，淨損為 7,167 元至 48,243 元；高投入處理每公頃粗收益為 70,615 元至 124,908 元，生產成本為 128,474 元至 144,999 元，淨損為 -10,587 元至 -64,762 元。

2013 年二期作水稻高投入處理每公頃粗收益 70,615 元，生產成本 135,377 元，淨損 64,762 元；低投入處理每公頃粗收益 77,052 元，生產成本 125,295 元，淨損 48,243 元。

2015 年一期作水稻高投入處理每公頃粗收益 124,908 元，生產成本 135,495 元，淨損 10,587 元；低投入處理每公頃粗收益 116,871 元，生產成本 125,642 元，淨損 8,771 元。

2017 年一期作水稻高投入處理每公頃粗收益 118,377 元，生產成本 137,260 元，淨損 18,883 元；低投入處理每公頃粗收益 120,440 元，生產成本 127,607 元，淨損 7,167 元。

2007 年～ 2017 年雲林分場水稻生產成本分析，不論高投入或低投入皆產生淨損，但低投入相對淨損較少，因其肥料、農藥投入少，相對成本較節約。

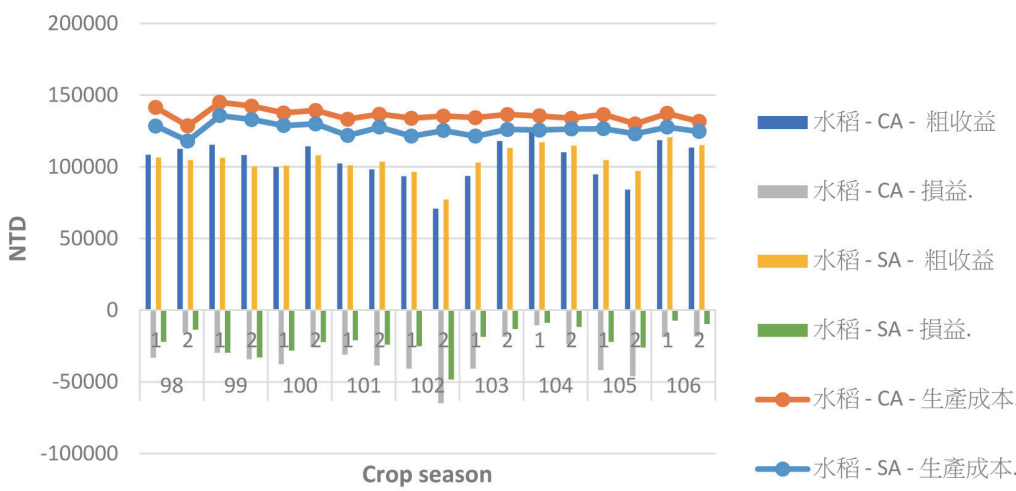


圖 12.　水稻生產成本、粗收益及損益變化

Fig. 12. Changes in production cost, gross revenue, profit and loss of rice

(二) 甘藷 (圖 13)

2007 年至 2008 年甘藷低投入處理每公頃粗收益為 12,413 元至 134,737 元，生產成本為 102,452 元至 104,017 元，損益為 -90,039 元至 30,720 元。高投入處理每公頃粗收益為 12,413 元至 136,789 元，生產成本為 106,328 元至 106,829 元，損益為 -94,416 元至 30,461 元。

2007 年二期作甘藷高投入處理每公頃粗收益 136,789 元，生產成本 106,328 元，淨益 30,461 元；低投入處理每公頃粗收益 134,737 元，生產成本 104,017 元，

淨益 30,720 元。

2008 年二期作甘藷高投入處理每公頃粗收益 12,413 元，生產成本 106,829 元，淨損 94,416 元；低投入處理每公頃粗收益 12,413 元，生產成本 102,452 元，淨損 90,039 元。2007 年因當年市場價格高，不論高投入或低投入皆有淨益。

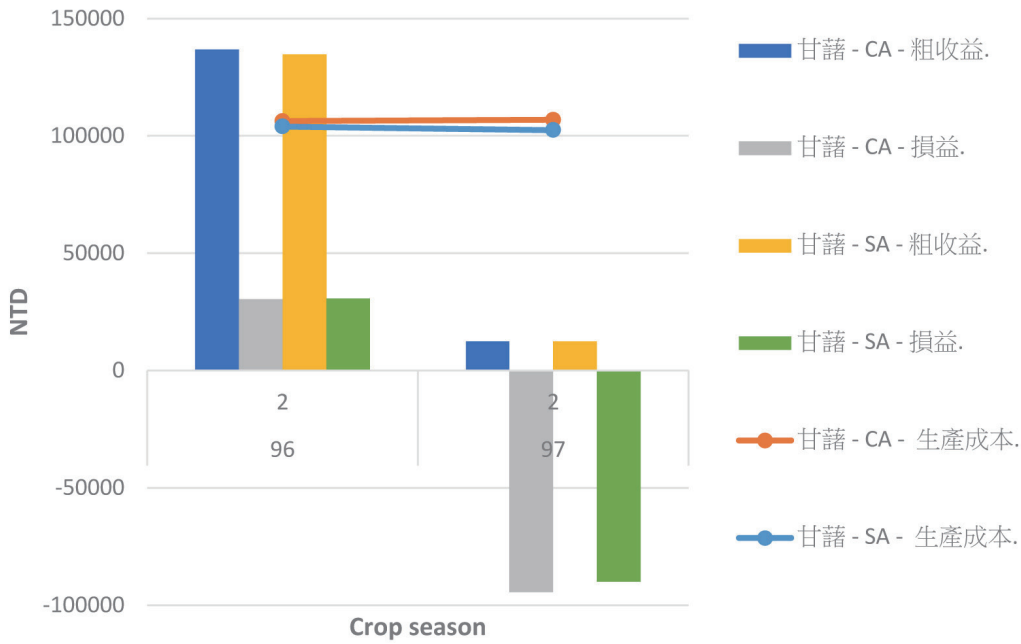


圖 13.　甘藷生產成本、粗收益及損益變化

Fig. 13. Changes in production cost, gross revenue, profit and loss of sweet potato

(三) 花生 (圖 14)

2009 年至 2017 年花生低投入處理每公頃粗收益為 0 元至 110,160 元，生產成本為 113,509 元至 127,202 元，淨損為 5,931 元至 127,202 元。高投入處理每公頃粗收益為 0 元至 105,029 元，生產成本為 118,254 元至 131,859 元，淨損為 -15,928 元至 -131,859 元。

2010 年二期作花生高投入處理每公頃粗收益 0 元，生產成本 126,080 元，淨損 126,080 元；低投入處理每公頃粗收益 0 元，生產成本 121,423 元，淨損 121,423 元。

2011 年二期作花生高投入處理每公頃粗收益 0 元，生產成本 131,859 元，淨損 131,859 元；低投入處理每公頃粗收益 0 元，生產成本 127,202 元，淨損 127,202 元。

2014 年二期作花生高投入處理每公頃粗收益 105,029 元，生產成本 120,957 元，淨損 15,928 元；低投入處理每公頃粗收益 110,160 元，生產成本 116,091 元，淨損 5,931 元。顯示花生生產成本，不論高投入或低投入皆產生淨損，由於產量較低產生虧損狀況較多，低投入因肥料、農藥投入較少而虧損較少。2010 年至 2011 年二期作因花生植株短小，未實際採收出售，無粗收益，虧損嚴重。

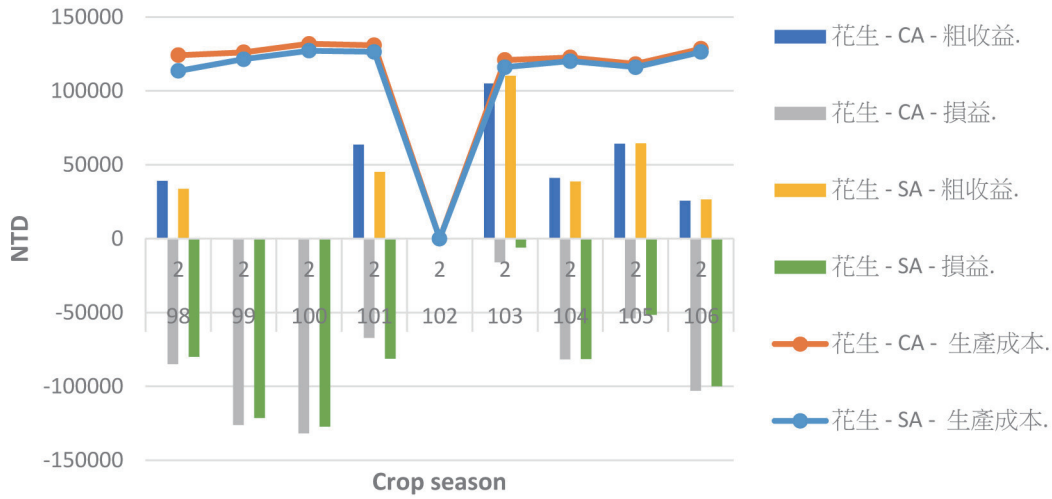


圖 14. 花生生產成本、粗收益及損益變化

Fig. 14. Changes in production cost, gross revenue, profit and loss of peanut

由以上試驗結果得知，2007 年至 2017 年雲林分場水稻生產成本分析，不論高投入或低投入皆產生淨損，但低投入相對淨損較少，因其肥料、農藥投入少，相對成本較節約。落花生生產成本，不論高投入或低投入皆產生淨損，由於產量較低產生虧損狀況較多，低投入因肥料、農藥投入較少而虧損較少。甘藷部分，2007 年因當年市場價格高，不論高投入或低投入皆有淨益，2008 年因採收後未能順利銷售而發生嚴重虧損。顯示永續農耕中合理減少肥料投入，不但可以節省生產成本亦可維持土地生產力。

本試驗擬定幾種不同耕作制度，藉以瞭解耕作制度對生態系生產力維持機制及，同時設計不同施肥模式，探討其土壤肥力變遷，尋求最低投入之最佳農耕管理模式。多年的試驗結果如下：

本研究自 2009 至 2017 年長期調查兩種耕作制度在不同化學物質投入下對產量與病蟲害發生的影響，本試驗在水稻稻熱病之發生頻率上，分別在 2010 年一期作水旱輪作區及 2013 年、2014 年一期作雙期作水田區，高投入處理區稻熱病發生均較低投入處理區較嚴重。此應與一期作水稻生育後期溫度較高有關。在稻穀產量上高投入處理較低投入處理低，然兩者產量上無顯著差異。由調查結果顯示，一期作水稻產量大於二期作，此應與氣象因子有異，二期作易受環境影響有關 [10]。在比較水田連作及水旱輪作系統下水稻產量變化得知水稻產量在水旱輪作系統下有提高產量之效果，在水旱輪作系統下以低投入處理有利於水稻產量表現。本試驗從歷年來花生之產量呈現逐漸下降之趨勢，主要為 2015 年至 2017 年間花生種植過後屢遭受颱風豪雨侵襲，成活率欠佳，缺株嚴重造成產量偏低有關。本研究依據農糧署生產成本計算估算經驗效益，顯示各期作均為淨損，一方面是由於產量較低，另一方面如地租、人工費、農機具與灌溉設施之折舊費用等，較為粗略可能高估所致。本研究如再將淨損回加自家工資及地租，則水稻每公頃農家賺款低投入處理為 -8,961 元至 31,853 元，高投入處理為 -24,536 元至 29,439 元。花生每公頃農家賺款低投入處理為 -102,202 元至 19,069 元，高投入處理為 -106,859 元至 9,072 元。甘藷每公頃農家賺款低投入處理為 -63539 元至 57,220 元，高投入處理為 -67,916 元至 56,961 元。本項生產成本與收益分析屬可見效益，然永續耕

法應有無形效益產生，這些效益必須經過長期維護方能顯現其效益 (5)。

結論與建議

一、水稻施肥量低投入處理一、二期作氮肥僅一般高投入推薦量 62.5%，磷肥僅一般高投入推薦量 41.7%，鉀肥僅一般高投入推薦量 35.7%。又產量上高投入處理乾穀坪割收量與低投入處理差異不大，產量亦未有逐年降低的現象，歷年產量亦皆優於雲林地區年報平均產量 (1)。可見水稻在長期低投入栽培試驗對產量已經逐步趨於穩定。

二、氣候變遷愈劇烈，作物的忍耐性更顯重要，已有眾多的報告 (3,7) 顯示，作物若肥料施用越多，遇到惡劣的氣候變化反而易導致病蟲害發生，造成減產，產量反不如施肥少者，雲林分場水稻部分低投入處理，施肥量約僅一般高投入推薦量一半，產量亦維持一定水準，且病蟲害發生率低，結果實可推薦農民參考利用 (4)。

三、本試驗 2012 至 2017 年雙期作水田與水旱輪作田兩種生態系研究試驗結果顯示，無論在雙期作水田或水旱輪作田系統下，高投入、低投入處理間產量變化不明顯，田間產量變異性經水旱輪作及水田連作後有呈現穩定降低趨勢。在水稻花生輪作系統下以低投入處理有利於水稻產量表現。此結果與第一階段 2006 至 2011 年試驗結果大致相符，顯示永續農耕中合理的減少肥料投入，已可提供作物生長所需養分及控制病蟲害之發生，並維持相當於慣行農耕的產量 (4)。再次證實水稻在長期低投入栽培試驗對產量已經逐步趨於穩定。

四、本試驗在水旱輪作系統下，除 2012 年及 2015 年二期作高投入的花生產量表現優於低投入花生產量外，其餘各年度低投入的花生產量，均較高投入產量為高。顯示作物產量並非隨著施肥量高而提昇，仍可受到其他環境及生物因子影響 (11)。

綜合以上試驗結果得知，本試驗無論雙期作水田、水旱輪作與旱田連作田，皆顯示永續農耕中合理的減少肥料投入，已可提供作物生長所需養分及控制病蟲害之發生，並維持相當於慣行農耕的產量。2007 年至 2011 年二期作，高投入、低投入處理間產量變化不明顯，田間產量變異性頗大，尤其旱作連作區更為明顯，若經水旱輪作及水田連作則大幅降低。本試驗亦發現雙期作水稻田區稻熱病發生情形明顯較水旱輪作區輕微，水旱輪作區前期作為落花生，後期作為水稻時，其後期水稻田稻熱病較易發生，尤其以高投入處理區較為嚴重，此應與高投入處理區因肥份較高加上花生採收後莖稈殘體翻耕後，土壤中氮肥過量導致愈易助長稻熱病發生有關。

引用文獻

1. 行政院農業委員會編印。2018。農業生產 農業統計年報。
2. 中華肥料協會編印。2005。作物施肥手冊 P. 154。
3. 臺中區農業改良場編印。2010。作物合理化施肥專輯—特刊 100 號 p. 433。
4. 王瑞章、孫文章、江汶錦、林晉卿、黃山內。2012。農業長期生態系對作物生產力及土壤肥力的影響。臺南區農業改良場研究彙報 60：48-67。
5. 江秀娥。2012。農場生產成本分析。農業生態系長期生態究與應用－行政院農業委員會

農業試驗所報告書 p. 183-198。
6. 李文輝。1992。耕作制度對土壤肥力及作物產量與收益關係之研究。臺南區農業改良場研究彙報 28 ： 23-37。
7. 陳昇寬、陳國憲、張汶肇、彭瑞菊、張錦興、謝明憲、羅正宗、林棟樑、鄭榮瑞、游添榮。2010。氣候變遷對雲嘉南地區作物生產影響與因應對策。氣候變遷與糧食危機國際研討會 p. 45-52。
8. 陳琦玲、陳炳輝、黃山內、金恆鑣、孫文章、郭鴻裕、陳健忠、林儒宏、楊秋忠、陳尊賢。2009。亞熱帶農業生態系長期生態研究站之建置與研究展望。作物、環境與生物資訊 6(4)：233-246。
9. 詹碧連、王培珊、詹雅勛。2012。雲嘉南地區稻田耕作制度之研究。臺南區農業改良場研究彙報 59 ： 15-25。
10. 劉大江、謝順景 (編)。1979。臺灣二期作稻低產原因及解決方法研討會專集。國科會研討會專集第 2 集。國科會，臺北市。
11. 潘佳辰、王瑞章、江汶錦。2017。農業長期生態系之水田連作對土壤肥力及產量的影響：以雲林分場水田連作試驗區為例。臺南區農業改良場研究彙報 72：41-51。
12. Chen, C. L., B. H. Chen, S. N. Huang T. C.Lin, Z. S. Chen and C. C. Young. 2004. Report for the visit long term ecological research site for agricultural ecosystem.
13. Chen B. H., C. L. Chen. 2006. Assembling the long term ecological research for agricultural systems in Taiwan. In:Proceeding of Workshop on Long Term Ecological Research in Agricultural Ecosystems. March 8, 2006. Taiwan Agricultural Research Institute.Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan ROC. P. 5-10.
14. Mollers Jr. M. C. 2010. Ecology: Concepts and Applications. 5th ed. McGraw-Hill. P. 533-534.
15. Robertson Gp. 2006. Long-term ecological research in agricultural ecology at the Kellogg biological station. In: proceeding of Workshop on Long Term Ecological Research in Agricultural Ecosystems. March 8, 2006.Taiwan Agricultural Research Institute. Wufeng, Taichung Hsien,Taiwan ROC. P.3.
16. Sun B, Z. L. Zhu, D. Niu. 2007. Long-term experimental research on long-term ecological processes in agro-ecosystems: A review.(in Chinese) Soils 39: 849-854.

Evaluation of agricultural long term ecosystem with different cropping system on the productivity of crops[1]

Wang, R. C., C. C. Pan, C. S. Chang and A. H. Yang[2]

Abstract

In order to understand the effect of different cropping systems in Taiwan on the agro-ecosystem, and the mechanism of productivity maintenance, An experiment field was setup at the Yin-Lin Branch Station of Tainan DARES to explore the effect of different cropping season and different cropping system on the yield and quality of crops as well as the change of soil properties. The data collected from the test field was also builded up as a platform for scholars in different styles of study. Results from 13-years study indicated that no yield difference was observed between conventional agro-ecosystem (CA) and Sustainable driven Agroecosystem (SA) cropping systems, except the difference in the rice yield of frist cropping season in 2015. It also showed that all the crops yield were sustainably and gradually stable year after year, no matter what cropping system, even under the continuous cropping system or the rotation of dryland and wetland. It indicated that low-input treatment in fertilizer under rice peanut rotation system is able to benefit both the rices yield and the environment.

What is already known on this subject?
Establish a data platform for different farming systems in agricultural long-term ecosystems, which was a survey of ecological crop yields in 13 years of experimental land.

What are the new findings?
We understood how the mechanism of ecosystem can maintain the productivity by several different farming systems, all the data we got can be used to explore the best agricultural management model with minimum input in Taiwan.

What is the expected impact on this field?
It provided the method to agriculture performance that has the highest production efficiency by the lowest input, to restore the agricultural ecology and biodiversity, and to produce safe agricultural products.

Key words: Long Term Ecological Research, Cropping System, Agricultural Ecosystem, Productivity of Crop

Accepted for publication: April 20, 2020

---

1. Contribution No. 519 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.

2. Assistant Researcher and Researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712, Taiwan, R.O.C.