

氣象因素對宜蘭地區水稻產量之影響¹

李祿豐²

摘要

為探討氣象因素對宜蘭地區第一、二期稻作產量差異懸殊之影響，就 1987 年至 1996 年在蘭陽分場試驗田進行水稻豐歉預測試驗之氣象紀錄加以整理分析。結果得知，在水稻孕穗、抽穗及穀粒充實前期等三個重要時期之降雨量、日射量及氣溫等，兩期作之間均呈現顯著差異。

經分析氣象因素與結實率及產量之相關結果得知，第二期作孕穗期間之平均最高氣溫與結實率及產量之間呈顯著相關，前者之相係數 $r=0.639^*$ ，後者 $r=0.678^*$ 。由上述結果得知，宜蘭地區第二期稻作在生殖生長期間因降雨量太多，使得日射量減少，氣溫下降，導致結實率低、穀粒充實不飽滿，最後影響稻穀產量，比一期作減少 41.2%。

(關鍵字：氣象因素、產量、結實率、豐歉預測、日射量、相關係數)

¹花蓮區農業改良場研究報告第 154 號

²花蓮區農業改良場蘭陽分場副研究員

前言

台灣全島之農作物以稻米為主作，由於氣候溫暖，雨量充沛，一年可兩作稻米。第一期作水稻生育期由較低溫、低日射量至高溫、高日射量的條件下生長，其稻穀生產量每公頃平均可達到 5 公噸以上。第二期稻作生長初期自高溫、多日射量到收穫期之低溫、少日射量(圖 1 至 6)，因此兩期作不同的氣象環境的差異，必然影響稻作生理反應，對土壤中有機物質之分解速度，病蟲害發生種類，為害時期及損失程度等等，進而造成一、二期作產量有鉅大差異。

資料顯示台灣第二期稻作之平均產量低於第一期稻作約 25%；據黃(1979)指出，係因第二期稻作之單位面積有效穗數減少，結實率降低，粒重較輕所致。穗數減少之原因，據林(1976)報告，係生育初期氣溫過高，抑制有效分蘖數為其限制因素。結實率低，則係第二期作孕穗開花期常遇低溫為主因；湯與高(1972)認為係受氣溫，尤其低溫之影響，林與蘇(1976)依據光合作用率結果指出，生育後期日照不足為其限制因素。林等(1979)則認為二期作抽穗期延長，再逢日照量不足，導致結實不良而影響粒重減輕，直接使產量降低，有密切關係。李(1990)研究氣象因子對產量構成因素之影響，指出影響兩期作的氣象因子不同，實為一、二期作產量差異最根本原因。

本文為比較宜蘭地區一、二期作間之氣象因素差異，並探討氣象因素影響結實率及產量之原因。期能獲得降低產量之原因，供未來改進生產技術之依據。

材料及方法

本研究之數據取自 1987 年至 1996 年花蓮區農業改良場蘭陽分場之水稻豐歉預測試驗之氣象資料，及歷年來均未變動之供試品種台農 67 號之稻穀產量記錄。豐歉試驗之田間設計採逢機完全區集法，三重複，每小區 10 平方公尺，行株距為 30×15 公分，肥料施用量為每公頃 N:P₂O₅:K₂O，120：60：60 公斤，灌排水依水稻各生育期的需水量及雨量多寡而定，分蘖盛期進行曬田，病蟲及鳥害則事先預防。水稻調查項目包括株高、穗數、一穗粒數、結實率、千粒重、稻穀單位面積產量，其他尚有天然災害狀況，病蟲發生情形，發生種類，為害程度等。

本文根據李(1990)之研究結果，針對下列三個重要時期進行統計分析：

1. 孕穗期間(自抽穗前第 17 天至抽穗前第 4 天)合計 14 天之氣象記錄加以統計，並分析與結實率間之關係。
2. 抽穗期間(自抽穗前第 3 天至抽穗後第 3 天)合計 7 天之氣象記錄並分析與結實率及產量間之關係。
3. 穀粒充實前期(自抽穗後第 4 天至第 17 天)之氣象記錄與結實率及產量之間進行相關分析。

結果

一、兩期作水稻全生育期氣象因素之差異比較：

(一)氣溫之差異：據圖 1.可知宜蘭地區第一期作自播種育苗期間之氣溫係在 15 左右逐漸上升至 17，插秧期亦在低溫狀態下慢慢上升至開花期間之 25 及成熟期之 29 左右。第二期作之氣溫，則從 7、8 月間之 30 高溫狀態下插秧及移植，但開花期，氣溫下降至 21 左右，至成熟期又再降至 18。亦即一、二期作水稻生長之氣溫條件完全相異。

圖 2 顯示第二期作抽穗期及穀粒充分前期之氣溫較一期作為低，且呈極為明顯之差異。

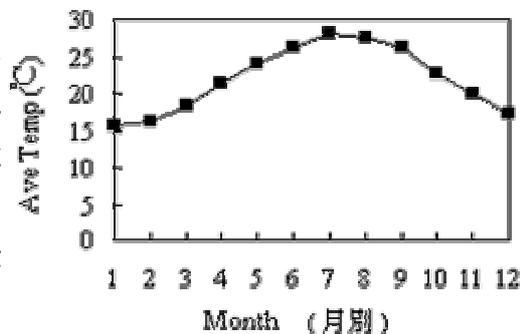


圖1.宜蘭地區平均氣溫變化
Fig1.Change of monthly means of air temperature in I-Lan area.(1987-1996).

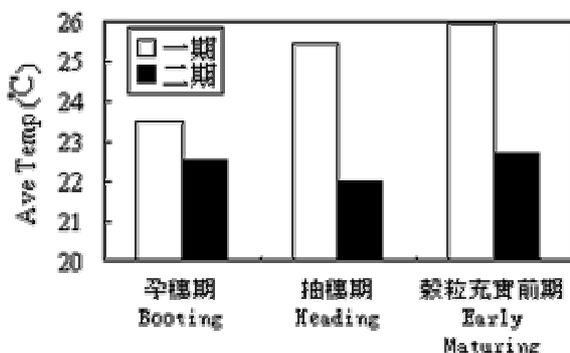


圖2.宜蘭地區第1、2期作水稻生殖生長期月平均氣溫之變化
Fig2.Means of air temperature during the reproductive phase of the 1st and the 2nd crops of rice in I-Lan area.

(二)降雨量之差別：由圖 3 可知宜蘭地區第一期稻作係在少雨、多日照之良好氣象條件下生長發育。但第二期作自 9 月份即開始增加降雨量，10、11 月降雨日數亦隨之增加，即第二期作之降雨量及降雨日數，二倍於第一期作。由於雨天日數增加，雨量較多，此即造成日照不足之最主要原因。

另由圖 4 得知，第一、二期作降雨量在孕穗期間和穀粒充實前期之明顯差異，可明瞭降雨量對第二期作水稻產量無法提高有密切關係。

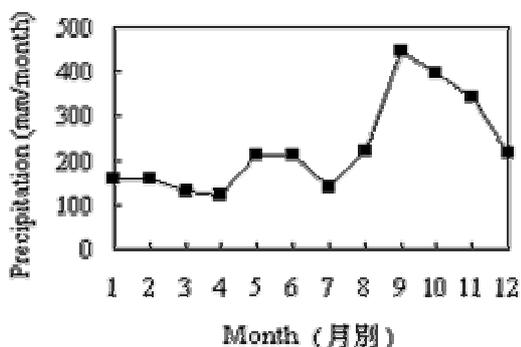


圖3.宜蘭地區月降雨量分布狀況
Fig3.Change of monthly means of precipitation in I-Lan area.(1987-1996)

(三)日照時數之差別：由圖 5 可瞭解宜蘭地區全年日照時數變化，亦類似氣溫之狀態；第一期作由 2 月份之短日、少照逐漸增加至長日、多日照之氣候。第二期作則由 7 月份之長日照逐漸減少至 11 月份的短日照之環境，對第二期稻作之穀粒充實不利。

由圖 6 顯示，日射量在第一、二期作水稻生殖生長期之變化明顯，即一期作之日射量均比二期作多 50 至 100mj/m² 以上，由此可明瞭第二期作日照時數減少，為影響產量之重要因素之一。

二、兩期稻作生殖生長期間氣象因素之差異：

第一、二期稻作孕穗期間(抽穗前 17 天至 4 天)之氣溫、日射量及降雨量，經統計分析比較得知，兩期作在氣溫方面無顯著差異。但日射量及降雨量等二項，在第一、二期作之間呈現顯著及極顯著差異。此一現象，可能是引起第二期稻作生理性狀改變，進而影響產量構成因素的因子。

表一、宜蘭地區第一、二期間稻作孕穗期氣象因素之比較 (1987-1996)

Table1.Comparison of the climatic factors during the booting stage of the 1st and 2nd rice crops from 1987 to 1996 in I-Lan area.

Booting stage	Air temp catne ()			Solar radiation (mj/m ²)	Pricipitation (mm)
	Mini	Ave	Max		
1st	20.79±0.55 ^{n.s}	23.5±0.57 ^{n.s}	27.6±0.65 ^{n.s}	173.47±13.87*	97.04±15.1**
2nd	20.45±0.49	22.53±0.70	25.82±0.87	121.36±13.25	305.76±63.60

*and** : Significant difference between the two crop seasons at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

另據表二得知，第一、二期稻作抽穗期間(抽穗前第 3 天及抽穗當日與抽穗後第 3 天共計 7 天)之氣溫、日射量及降雨量等三項氣候因素，均表現顯著及極顯著之差異。顯示宜蘭地區兩期稻作抽穗期之氣候條件，有鉅大而明顯差異，進而影響抽穗開花速度及結實率高低以及稻穀產量。

表二、抽穗期之主要氣象因素比較結果

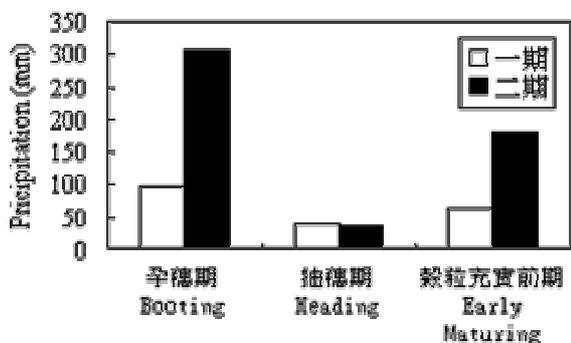
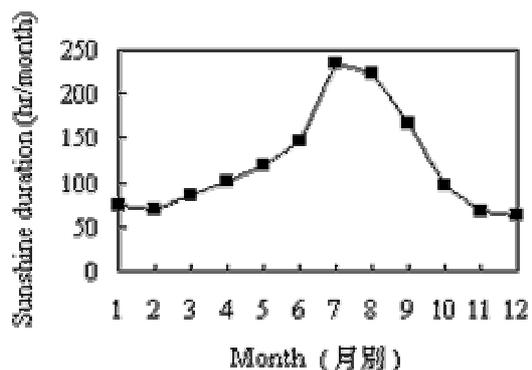


圖4.宜蘭地區第1、2期作水稻生殖生長期累積降雨量之變化

Fig4.Means of pricipitation during the reproductive phase of the 1st and the 2nd crops of rice in I-Lan area.



(1987-1996)

Table2.Comparison of the climatic factors during the heading stage of the 1st and 2nd rice crops from 1987 to 1996 in I-Lan area.

圖5.宜蘭地區每月日照時數變化
Fig5.Change of monthly means of sunshine duration in I-Lan area.(1987-1996)

Crop season	Air temp ()			Solar radiation (mj/m ²)	Pricipitation (mm)
	Mini	Ave	Max		
1st	21.9±0.65*	25.44±0.79*	29.82±1.31**	110.88±9.26**	38.63±15.65*
2nd	19.4±0.68	22.02±0.65	25.53±0.93	57.85±5.33	38.10±13.1

*and** : Significant difference between the two crop seasons at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

由表三、兩期作穀粒充實前期(自抽穗後第 4 天至第 17 天共計 14 天)之主要氣象因素比較結果，平均氣溫(最低、最高)及日射量等二項，呈現極顯著差異，而雨量則無顯著差異。顯示不同期作間在穀粒充實前期的日射量及氣溫，也是造成一、二期作產量差異的因素之一。表三、穀粒充實前期之主要氣象因素比較表(1987-1996)

Table3.Comparison of the climatic factors during the early maturing stage of the 1st and 2nd rice crops from 1987 to 1996 in I-Lan area.

*and** : Significant difference between the two crop seasons at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

Early maturing stage	Air temp ()			Solar radiation (mj/m ²)	Pricipitation (mm)
	Mini	Ave	Max		
1st	22.85±0.48**	25.94±0.67**	30.17±0.715**	209.5±13.41**	64.95±21.35 ^{n.s}
2nd	18.72±0.54	22.72±0.58	24.02±0.78	102.63±13.71	180.73±73.36

綜而言之，十年來宜蘭地區一、二期作水稻生殖生長期間，氣象環境的差異，依序而論；

- 1.在孕穗期以降雨量差異最大，呈現極顯著，其次為日射量差異顯著。此期間兩期作之氣溫則無顯著差異。
- 2.抽穗期則以日射量及氣溫等二項差異極顯著，降雨量則表現顯著差異。
- 3.穀粒充實前期則以氣溫及日射量二項呈現極顯著差異，降雨量則無顯著差別。

三、兩期作水稻產量構成因素的差異比較：

自表四、可看出第一、二期作水稻的穗數、結實率及平均產量等三項有顯著的差異，其中每公頃的稻穀產量一期作為 4,757 公斤，二期作平均為 2,795 公斤；即最近 10 年來二期作

之產量僅有一期作的 58.8%。究其原因，為第二期稻作的結實率低(60.97%)，每叢穗數較少(11.69 支)，兩項產量構成因素顯著減少，是導致宜蘭地區第二期稻作產量較低的主要因素。表四、第一、二期作產量構成要素差異比較

Table4. Comparison of yield and yield component between the 1st and the 2nd crop from 1987 to 1996. in I-Lan area.

Crop season	Panicle per hill	Spikelet per Panicle	1000-grain weight(g)	Ripen rate (%)	Average Yield(kg/ha)
1st crop	13.86±3.29*	88.75±2.87 ^{ns}	23.89±0.59 ^{ns}	81.52±2.84*	4,757±260.0*
2nd crop	11.69±0.55	98.66±5.36	22.18±0.70	60.97±3.58	2,795±182.2

*and** : Significant difference between the two crop seasons at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

四、期作間氣象因素影響結實率的相關分析

由表五，氣象因素與水稻台農 67 號結實率之相關分析結果可看出，在氣溫、日射量、雨量等主要氣象因素中，與結實率之相關達顯著程度者，依孕穗、抽穗及穀粒充實前期等而異：

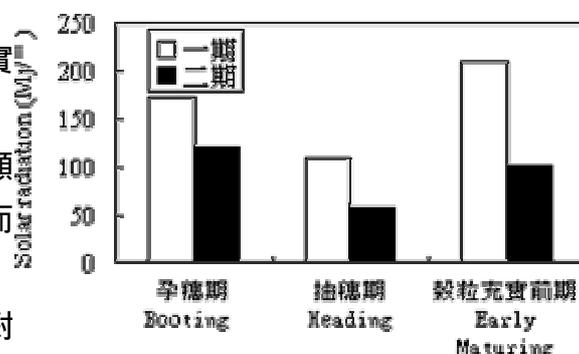


圖6. 宜蘭地區第1、2期作水稻生殖生長期累積日射量之變化

Fig6. Solar radiation during the reproductive phase of the 1st and the 2nd crops of rice in I-Lan area.

(1)一、二期作孕穗期之「最高平均氣溫」對結實率之相關係數前者為 0.657*，後者為 0.639*，表示在宜蘭地區，水稻孕穗期間之每日最高氣溫(相當於晝溫)愈高，結實率亦顯著數較高，兩期作之趨勢相似。

(2)一期作穀粒充實前期(出穗後第 4 天至第 17 天)的「最低氣溫及最高氣溫」與結實率間，其相關係數前者為 0.807**，後者為 0.677*。表示在宜蘭地區之第一期作穀粒充實前期的氣溫與結實率之間關係密切，即溫度愈高，結實率亦愈高，呈顯著正相關。

表五、氣象因素與水稻台農 67 號結實率之相關分析結果(1987-1996)

Table 5. Correlation of the climatic factors and the ripen rate of rice cultivar-Tainung No.67 (1987-1996).

Item		Correlation coefficient	
		1st crop	2nd crop
Booting stage	Mini air temp()	0.47 ^{n.s}	0.375 ^{n.s}
	Max air temp()	0.657*	0.639*
	Solar radiation(mj/m ²)	0.361 ^{n.s}	0.319 ^{n.s}
	Pricipitation(mm)	-.561 ^{n.s}	-.093 ^{n.s}

	Raining days(day)	-0.278 ^{n.s}	0.038 ^{n.s}
Heading stage	Mini air temp()	0.351 ^{n.s}	0.334 ^{n.s}
	Max air temp()	0.178 ^{n.s}	0.464 ^{n.s}
	Solar radiation(mj/m ²)	-0.003 ^{n.s}	0.086 ^{n.s}
	Pricipitation(mm)	0.181 ^{n.s}	0.186 ^{n.s}
	Raining days(day)	0.145 ^{n.s}	-0.268 ^{n.s}
Early maturing stage	Mini air temp()	0.807**	0.375 ^{n.s}
	Max air temp()	0.667*	0.108 ^{n.s}
	Solar radiation(mj/m ²)	0.215 ^{n.s}	-0.276 ^{n.s}
	Pricipitation(mm)	-0.157 ^{n.s}	-0.165 ^{n.s}
	Raining days(day)	0.054 ^{n.s}	0.458 ^{n.s}

* and ** : Significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

五、第一、二期作氣象因素與稻穀產量的相關分析：

自表六，可瞭解在不同期作間的氣象因素對稻穀產量的相關分析顯示：

- (1)第一期作孕穗期之「降雨日數」與產量呈顯著負相關($r = -0.678^*$)。在抽穗期間的「最低氣溫和最高氣溫」與產量呈顯著相關，相關係數分別為 0.662^* 及 0.633^* 。表示不同年度之間，第一期作孕穗期之降雨日數愈少，抽穗期之氣溫愈高，產量愈高。
- (2)第二期作在孕穗期間的「最高氣溫」與稻穀產量呈顯著相關($r=0.678^*$)。亦即「氣溫」一項，無論一、二期作，在孕穗期及抽穗期，對稻穀產量或稻株結實率而言，均呈現正相關。即孕穗期至抽穗期間，溫度較高時，有助於產量之提升。

表六、民國七十六年至八十五年氣象因素影響水稻台農 67 號稻穀產量的相關分析

Table 6. Correlation of the climatic factors and the yield of rice cultivar-Tainung No.67(1987-1996).

Item		Correlation coefficient	
		1st crop	2nd crop
Booting stage	Mini air temp()	0.229 ^{n.s}	0.284 ^{n.s}
	Max air temp()	0.547 ^{n.s}	0.678*
	Solar radiation(mj/m ²)	0.442 ^{n.s}	0.461 ^{n.s}
	Pricipitation(mm)	-0.585 ^{n.s}	-0.104 ^{n.s}
	Raining days(day)	-0.678*	-0.167 ^{n.s}
Heading stage	Mini air temp()	0.662*	0.444 ^{n.s}
	Max air temp()	0.633*	0.601 ^{n.s}
	Solar radiation(mj/m ²)	0.407 ^{n.s}	0.181 ^{n.s}

	Pricipitation(mm)	-.290 ^{n.s}	0.167 ^{n.s}
	Raining days(day)	.407 ^{n.s}	-.242 ^{n.s}
Early maturing stage	Mini air temp()	0.409 ^{n.s}	0.186 ^{n.s}
	Max air temp()	0.318 ^{n.s}	0.085 ^{n.s}
	Solar radiation(mj/m ²)	-.015 ^{n.s}	-.302 ^{n.s}
	Pricipitation(mm)	0.164 ^{n.s}	0.024 ^{n.s}
	Raining days(day)	0.118 ^{n.s}	0.180 ^{n.s}

*.*** : Same as Table 5.

討論

蘭陽平原位處本省東北隅，係雙季稻作栽培區，同時本地區稻田灌溉圳渠星羅棋布，排水系統設施完整，加之田間重劃完成，地下水水位高，全年不虞缺水，素有台灣北部糧倉之譽。多年來宜蘭地區的第一季稻作生長期間，據蔡(1994)指出係由低溫，少日射量，漸漸上升至孕穗開花期間的高溫、多日射量及少雨之環境，此一最佳氣候條件，極符合水稻之生長環境。依本試驗結果第一期稻作之公頃產量平均可達到 4,757 公斤，與本省一般高產地區之產量毫無遜色。惟歷年來，其第二期稻作之公頃單位面積產量僅有 2,795 公斤，兩期作之間的產量相差達 1,962 公斤之多，即減產率高達 41.2%，可謂相差極為懸殊(表四)。此一結果與黃(1979)、謝等(1979)、林等(1995)報告，在台北地區之第二期稻作產量比一期作減少 20-29%之研究結果又獲一證實。

第二期稻作產量減產之原因，據上述許多專家之報告由產量構成要素分析結果，係單位面積內的每株穗數減少，穎花結實率偏低，穀粒千粒重減輕等為主因。穗數減少之原因，據林、陳等(1976)、林(1976)、陳等(1996)指出，二期稻作插秧初期之 7、8 月間，是在高氣溫、高水溫下，開始伸長、分蘖。高溫是抑制分蘖數的主要原因。依據本試驗結果顯示，第二期作之一株穗數比一期作少 2.2 支(13.86 - 11.69 支)，僅達一期作的 84.3%而已(表四)，此一結果與前述各位專家學者報告亦相符合。

至於第二期作結實率偏低之原因，據本試驗氣象因素影響水稻台農 67 號結實率之單相關分析結果(表五)，在孕穗期的最高平均氣溫與結實率呈顯著相關(0.639*)，表示氣溫在第一、二期作孕穗期間對結實率之影響極為重要。由於生殖生長期是水稻產量之決定時期，也是水稻全生長期中，溫度對產量影響最敏感的一段時間，據張與林(1991)指出，開花前 14-7 天，低溫(15-20)對小孢子分裂初期，減數分裂期係最敏感之階段。亦即幼穗分化期至孕穗期低溫，常常引起不稔率增加，此一結果與林等(1979)、李(1979)、李(1990)報告，溫度低至 20 時，半數以上水稻無法抽穗相同。張(1995)指出，台灣北部地區第二期作水稻生長至孕穗、抽穗開花期間，穗的發育極易受環境(溫度及日照)的影響，此一見解與本報告相同。

有關雨量對水稻台農 67 號產量之影響，據張等(1994)報告，是在抽穗後氣象因素之平均最低氣溫及雨量對之生產力會有影響，據陳等(1996)依據台灣省農業試驗所全省禾更 稻區域試驗多年來之產量分析結果指出，宜蘭地區第二期作水稻在生育中、後期，因受連續性陰雨影響產量降低，推測亦係因降雨量多、降雨日數長，直接使得日照減少，溫度也降低而使得產量明顯減少。此一推測與本報告(表一、二及圖 4)第二期作孕穗及穀粒充實前期降雨量較多之見解一致。綜上所述，宜蘭地區第二期稻作之氣象條件，依據最近 10 年來之記錄(1987-1996)，可歸納為：

- 1.自孕穗期開始，降雨量太多，日照時數少，導致結實率減少，對穀粒充實具不良影響。
- 2.自抽穗後最低氣溫逐日下降至 20 以下(表二及表三)，而且總降雨量增加，結實率愈低，產量更減低。

今後提高第二期稻作產量之建議簡述如下；

- (1)選種方面，當以採用早熟品種(如台梗 11 號、高雄 141、142 號)，可提早抽穗避免低溫影響結實率。
- (2)種植時期方面，第二期稻作必須在 7 月底以前完成插秧才不失農時。
- (3)栽培技術方面，以密植或直播方式可增加有效穗數。
- (4)施肥量方面，以 39 號複合肥料全層施肥或氮肥分次施用方式，可減少稻株倒伏，有效提高穀粒充實度，以及稻穀產量。
- (5)病蟲防治方面，精密防治害蟲及預防病害之發生，相信可減少損失，有利於提高產量。

誌謝

本論文資料分析採用中興大學翁仁憲教授設計之常用統計套裝程式，初稿並蒙中興大學農藝系林俊隆教授細心指正、校對，本場林學詩博士並提供寶貴意見，圖表並由林淑敏小姐協助製作，特致謝忱。

參考文獻

- 1.林秀雄 1976 高水溫對於台灣二期水稻生理生態之影響 中華農學會報 95:24-35。
- 2.林安秋、陳建山 1976 一、二期作水稻之分蘖特性比較 科學發展月刊 4(10)53-70。
- 3.林安秋、蘇新 1976 一、二期水稻群落光合作用之比較 科學發展月刊 4(11)，5-21。
- 4.林安秋、洪黎明 1979 溫度與日照強度對水稻抽穗及結實之影響 中華農學會報 108:24。
- 5.林安秋、賴光隆、李祿豐 1979 一、二期作水稻抽穗特性之研究 中華農學會報 107:17-24。
- 6.林孟輝、黃振增、陳素娥、林芳洲、張學琨 1995 桃園地區 81 年第二期作水稻在氣象因素影響下減產原因之探討 中華農業氣象 2(2):47-96。
- 7.李祿豐 1979 日本稻作冷害及抗低溫育種研究概況 台灣農業 13(3)p81-96。
- 8.李蒼郎 1990 氣象因子對水稻產量構成因素之影響及產量估計模式 國立中興大學農藝學研究所碩士論文。

- 9.陳烈夫、魏夢麗、鄭統隆、廖大經、陳正昌、劉大江 1996 台灣水稻產量的一些生理問題 台灣省農業試驗所專刊 第 56 號 p.79-88。
- 10.黃真生 1979 台灣水稻第二期作低產之原因 台灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 P.29-36。
- 11.鄔宏潘、廖雲英、錢美華、林燦隆、陳一心、王銀波、蔡國海、吳來貴、張萬來、林富雄、吳育郎 1975 第二期稻作低產原因之探討 科學發展月刊 3(10):5-39。
- 12.蔡金川、沈美珍、陳建山、劉大江 1984 日射量對水稻抽穗期、營養要素濃度、乾物質生產與產量的影響 台灣省農業試驗所特刊 16 號 p.83-98。
- 13.蔡金川 1994 台灣不同期作水稻產量與氣象因素之關係 中日農業氣象應用研討會論文專輯 中央氣象局編 P.29-48。
- 14.湯文通、高景輝 1972 溫度對水稻生育之影響 中華農學會報 77:16-25。
- 15.張旭、林道宣 1991 水稻低溫生態與耐冷育種。pp.217-379。水稻生態育種，張旭等編著，農業出版社出版。北京 ISBN7-109-01387-1/s.981。
- 16.張英勝 1995 從植物氣候學探討台灣水稻之產能，台大農業化學研究所博士論文 84 年 6 月。
- 17.張素真、余士銘、許誌裕 1994 重要氣象因素對中間作水稻產量之影響 中日農業氣象應用研討會論文專輯 中央氣象局編