中華農業研究 (Jour. agric. Res. China) 32(3) : 209～218 (1983)

二期作水稻光合成物質的生產、分配及與產量間的關係[1]

楊鵠華[2]　梁文實[2]　魏夢麗[3]　劉大江[3]

摘要：於70年二期作在羅東、臺中與屏東共栽培4個水稻品種，自抽穗期至成熟期間，每十天取樣一次，分析植株不同器官內乾物質、全氮及非構造性碳水化合物 (TNC) 含量變化。以瞭解二期作水稻穀粒充實期間光合成物質的生產能力及分配，對其增產之可能性加以評估，並於不同地區間進行比較。

水稻穀粒充實期間，葉片內的氮濃度明顯下降，莖稈的降低幅度較小，穗部則無顯著變化。葉片 TNC 濃度的變異頗不規則，莖稈部位極顯著的下降，表示有多量碳水化合物向穗部轉移。三個地區的粳稻全株乾物質生產量均在 6-8g 之間，臺中和10號則高達 12g，但與產量的關係並非完全一致，可能與乾物質的分配效率有關。非構造性碳水化合物的淨生產則與產量有密切之關係，臺中地區的兩個和稻品種，每株可增加 14-18g 的 TNC，產量爲 29-33g，其他兩個粳稻品種則分別爲 6-11g 之 TNC 與 16-20g 的穀產量。

羅東地區臺南5號產量最低的原因爲一穗穎花數太少，臺中地區和稻高產則歸因於穗數或一穗穎花數較多。收穫指數介於 0.52-0.67 之間，且產量越高，收穫指數亦高；氮收穫指數 (harvest N index) 也有相同的表現，即產量高時，穗部含氮量佔全株含氮量的比值增高，但二者間之因果關係則未能明瞭。非構造性碳水化合物收穫指數 (harvest TNC index) 高達 0.91-0.97，以羅東臺南5號最低，表示部分葉片所生產的 TNC 儲存於莖稈，未能充份轉運至穗部；而較高產水稻品種殘留營養器官內之 TNC 僅爲3-4%，可能無法充份供應穗部需要，亦即光合成能力成爲產量限制因子。

就乾物質之生產、分佈及 TNC 的累積量與趨向而言，如何提高穀粒充實期間的光合成能力以因應穗部發育的需求，可能對提高二期作水稻產量極爲重要，分配效率亦值得注意，將繼續進行研究。

本所以往的研究報告[11]發現臺中地區一期作水稻單一分蘖之營養器官在成熟期仍貯存有相當穗部總量20%的 TNC，而二期作穗部 TNC 含量則高達全分蘖之96%以上，因此提出假說，認爲欲提高二期作水稻產量，應著重於增加抽穗期後的光合成物質生產能力效率。但以上研究係針對單一分蘖，全株水稻的表現如何？在臺灣不同地區之間是否有差異存在？仍待進一步之研究。

Moss[7]報告小麥抽穗期後的光合成速率和產量間有極大的正相關關係，此種關係亦存在於水稻[12]。Matsushima[6]綜合多人的研究結果，指出抽穗期以後追施氮肥可增加碳固定速率，有利於穗部發育及乾物質累積，因而提高產量。

1.臺灣省農業試驗所研究報告第1102號。本計畫承行政院農業發展委員會補助部份經費，謹致謝意。

2.本所農藝系約僱技術員，現址分別爲國立中興大學農藝系與中央研究院植物研究所。

3.本所農藝系助理與研究員兼系主任。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

謝[2]在南港區試驗，發現淨合成速率（net assimilation rate）爲影響乾物質生產的主要原因，且以二期作爲低。Wei *et al*[11]在臺中區試驗，發現二期作水稻分蘖在穀粒充實期的乾物質生產量低於一期作，兩項報告均建議提高光合成速率可能增加二期作水稻產量。

本試驗在本省北、中與南部代表三種不同環境的地區進行試驗，共採用 4 個不同水稻品種，目的爲研究不同環境下二期稻作的乾物質生產潛能，探討水稻成熟期植株不同器官內乾物質、氮素及非構造性碳水化合物含量與分配效率之變化，對謀求提高二期作稻產量之可能性及其方向提供理論上的解釋。

材料與方法

1980年二期作分在三個地區進行試驗。北部試區位於桃園區農業改良場蘭陽分場（羅東），以手植方式栽培臺南 5 號，行株距 25×20cm，肥料用量 $N : P_2O_5 : K_2O$ 分別爲 100 : 60 : 50kg/ha。中部在霧峰鄉農業試驗所農場，採用臺南 5 號、臺中秈12號與臺中秈10號三個水稻品種，以機插方式栽培，行株距爲 30×15cm，$N : P_2O_5 : K_2O$ ，用量爲 100 : 60 : 50kg/ha 。南部於屏東市屏東農專農場進行試驗，以臺農67號爲材料，採機插栽培，行株距 27×18cm ，施肥量爲 $N : P_2O_5 : K_2O$ = 110 : 60 : 50kg/ha。本試驗採完全逢機區集設計，三重複。

水稻自抽穗期起至成熟期間，每十天採樣一次，每次於各小區採取10株水稻，將地上部分區分爲葉片、莖稈與穗部，成熟期穗部再區分爲充實穀粒、未充實穀粒及枝梗三部分。樣品置於 100°C 通風乾燥箱 2 小時後，以70°C繼續乾燥24小時，烘乾之水稻樣品經測定乾物重後，使用40目篩以Wiley mill 磨粉，供化學分析用。TNC 測定依照 Smith[9] 法進行，樣品磨粉後於 40°C 下以 taka diastase（Clarase 40,000，美國Miles Laboratories. Inc. 出品）水解44小時，然後再依Shaeffer-Somogyi 的 Copperiodometric 法測定還原醣。氮素依 Semi-micro Kjeldahl 法測定。

結 果

屏東、羅東與臺中地區栽培之各水稻品種，抽穗與成熟期的乾物重與氮素及非構造性碳水化合物（TNC）之表現分別列於表 1 至表 5，產量構成要素與一些相關性狀之綜合資料列於表 6 ； 上述試驗結果分項敍述如下。

一、屏東地區水稻臺農67號之表現

表 1 的資料顯示，第二期作於屏東栽培的臺農67號水稻於抽穗期的全株乾物重爲 27.7g ， 收穫時爲 34.9g ，淨增加 7.2g ；抽穗時之乾物重主要由莖稈（15.3 g）與葉片（8.0 g）構成，分別佔全株之55.2%與28.9%，成熟期則以穗部（22.2 g）爲主，葉片與稈之乾重則明顯降低。就成熟期之穗乾物重組成而言，以充實粒重爲主，佔90.1%，不充實穀粒與枝梗之乾重僅爲2.2g。

抽穗時葉片內的氮濃度較高，爲2.73%，成熟時降至1.54%，稈部亦由0.99%減至0.69%。穗部氮濃度在抽穗期爲1.27%，成熟期之充實穀粒爲1.32%，不充實穀粒爲1.23%，差異不大，唯均顯著高於枝梗之0.74%，而稈部氮濃度則與枝梗者相近（表 1）。每株水稻的含氮量方面，抽穗時之總量爲 425 mg，其中營養器官佔 369 mg（86.8%），穗部僅有 56 mg，成熟期之總量爲 390 mg，較抽穗期減少 35 mg ；兩時期間的比較顯示，穀粒充實過程中營養器官損失多量的氮素，而穗部則有極顯著的增加（230 mg），成熟時全株氮素的73%集中於穗部。

葉片 TNC 濃度由抽穗期至成熟期間的變化甚微， 均在 3 %左右，稈部則自抽穗時的16.4%降至成熟時之4.7%，穗部的 TNC 濃度急劇增加，收穫之充實穀粒內爲66.4%，不充實穀粒爲28.9%，枝梗最低，僅及 2.2%。水稻抽穗時全株的 TNC 含量爲 3.2 g，主要集中於稈部（2.5 g），成熟時增加至 14.3 g，以充實穀粒內的 13.3 g 爲最多，而稈部的 TNC 含量則減少 2.0 g，佔抽穗期含量的80%（表 1）。

Table 1. Concentration and amount of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice plant fractions at heading and maturity stages (Tainung No. 67, Pingtung experiment, 2nd crop of 1931)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
Dry weight (g/hill)	Heading	8.0±1.1	15.3±2.5				4.4±1.2	27.7
	Maturity	2.0±0.6	10.7±1.6	20.0 ±5.2	1.2±0.4	1.0±0.1	22.2	34.9
Nitrogen (%)	Heading	2.73±0.13	0.99±0.09				1.27±0.08	
	Maturity	1.54±0.10	0.69±0.12	1.32±0.11	1.23±0.05	0.74±0.04		
TNC (%)	Heading	3.2±0.5	16.4±1.9				8.1±2.8	
	Maturity	3.3±0.5	4.7±3.3	66.4 ±2.1	28.9 ±2.7	2.2 ±0.1		
Nitrogen (mg/hill)	Heading	218	151				56	425
	Maturity	31	73	264	15	7	286	390
	Difference	− 187	− 78				+230	−35
TNC (g/hill)	Heading	0.3	2.5				0.4	3.2
	Maturity	0.1	0.5	13.3	0.4	nil	13.7	14.3
	Difference	− 0.2	− 2.0				+ 13.3	+11.1

二、羅東地區水稻臺南 5 號之表現

穀粒充實階段全株乾物重自 24.9g 增至 32.2g ，增加量爲 7.3g ，與屏東地區臺農67號水稻相同，但成熟時之穗重較輕，僅爲 18.3g ，其中充實粒重佔 16.8g （表2）。此一期間營養器官的乾物重亦有明顯的下降趨勢。

抽穗時葉片的氮濃度較低，爲1.84%，成熟時略降低爲1.47%，稈部的表現相反，自0.44%微升至0.52%；穗部氮濃度在抽穗時爲0.84%，成熟期充實穀粒爲1.08%，有明顯的上升，不充實粒氮濃度爲0.89%，枝梗爲0.58%，各項濃度與其他地區栽培之水稻比較，均有偏低的趨向。抽穗時每株水稻含氮 207 mg，其中葉片部分含有半量（105 mg），稈部佔 68 mg，穗部僅有 34 mg；在試驗過程中，營養器官的含氮量減少 68 mg，穗部增加 159 mg，成熟時之總量爲 298 mg ，較抽穗期增多 91 mg；多數的氮量亦累積於充實的穀粒中（182 mg）。

葉片在抽穗時含有較高的 TNC 濃度（6.6%） ，收穫時則降至1.7%；稈部的變化更爲明顯，抽穗時高達 26.2%，最後濃度爲7.5%。穗部 TNC 濃度最初爲 10.2%，成熟的充實穀粒內則高達 63.0%。在含量方面，每株水稻在抽穗期含有 4.8 g 的 TNC，其中 83%存在於稈部，隨著穀粒的充實，稈部含量降低 3.2 g，穗部含量激增 10.4 g， 唯與其他地區之試驗結果比較，增加量仍爲最少。

三、臺中地區臺南 5 號、臺中秈 12 號與臺中秈 10 號之表現

三個水稻品種的試驗結果分別列於表 3 至表 5 ，各項結果綜合敍述而下。抽穗時的全株乾物重以秈稻的表現較佳，臺中秈12號爲 36.7 g，臺中秈10號 38.9 g，粳稻臺南 5 號最低，累積的乾物質只

Table 2. Concentration and amount of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice plant fractions at heading and maturity stages (Tainan No. 5, Lotung experiment, 2nd crop of 1981)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
Dry weight (g/hill)	Heading	5.7 ±0.9	15.2 ±2.3				4.0±0.8	24.9
	Maturity	3.6 ±0.6	10.3 ±1.6	16.8 ±3.0	0.8 ±0.2	0.7±0.04	18.3	32.2
Nitrogen (%)	Heading	1.84±0.16	0.44±0.09				0.84±0.05	
	Maturity	1.47±0.27	0.52±0.04	1.08±0.15	0.89±0.07	0.58±0.04		
TNC (%)	Heading	6.6 ±0.8	26.2 ±5.3				10.2±2.4	
	Maturity	1.7 ±0.2	7.5 ±4.5	63.0 ±2.3	21.7 ±2.2	1.9±0.3		
Nitrogen (mg/hill)	Heading	105	68				34	207
	Maturity	52	53	182	7	4	193	298
	Difference	−53	−15				+159	+91
TNC (g/hill)	Heading	0.4	4.0				0.4	4.8
	Maturity	0.1	0.8	10.6	0.2	nil	10.8	11.7
	Difference	−0.4	−3.2				+ 10.4	+6.8

Table 3. Concentration and amount of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice plant fractions at heading and maturity stages (Tainan No. 5, Taichung experiment, 2nd crop of 1981)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
Dry weight (g/hill)	Heading	6.0 ±1.2	17.2 ±3.3				6.0±1.4	29.2
	Maturity	2.3 ±0.4	10.4 ±1.6	19.7 ±3.8	1.7±0.2	1.1 ±0.1	22.5	35.2
Nitrogen (%)	Heading	2.27±0.19	0.67±0.11				1.18±0.07	
	Maturity	1.39±0.12	0.51±0.06	1.04±0.07		0.63±0.06		
TNC (%)	Heading	3.1 ±0.6	22.4 ±2.1				9.9±2.4	
	Maturity	7.0 ±0.5	3.5 ±1.5	69.7 ±2.2	25.0 ±1.3	3.1 ±0.2		
Nitrogen (mg/hill)	Heading	136	115				70	321
	Maturity	32	53	205	18	7	230	315
	Difference	−104	−62				+160	−6

Table 3. (Continued)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
TNC (g/hill)	Heading	0.2	3.9				0.6	4.7
	Maturity	0.2	0.4	13.7	0.4	nil	14.1	14.7
	Difference	0.0	− 3.5				+ 13.5	+ 10.0

Table 4. Concentration and amount of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice plant fractions at heading and maturity stages (Taichung sen No. 12, Taichung experiment, 2nd crop of 1981)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
Dry weight (g/hill)	Heading	8.6 ±1.6	19.7 ±3.2				8.4±1.6	36.7
	Maturity	2.6 ±0.5	8.7 ±1.0	28.8 ±4.2	1.5 ±0.3	1.5 ±0.1	31.8	43.1
Nitrogen (%)	Heading	2.11±0.09	0.58±0.05				1.21±0.06	
	Maturity	1.34±0.06	0.47±0.03	1.14±0.06	0.97±0.05	0.52±0.02		
TNC (%)	Heading	3.8 ±0.3	25.1 ±1.8				9.6±2.8	
	Maturity	5.6 ±0.6	3.4 ±1.9	68.3 ±1.8	30.5 ±1.9	2.5 ±0.1		
Nitrogen (mg/hill)	Heading	182	114				102	398
	Maturity	34	41	329	14	8	351	426
	Difference	−148	−73				+249	+28
TNC (g/hill)	Heading	0.3	4.9				0.8	6.0
	Maturity	0.1	0.3	19.7	0.5	nil	20.2	20.6
	Difference	−0.2	−4.6				+19.4	+14.6

Table 5. Concentration and amount of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice plant fractions at heading and maturity stages (Taichung sen No. 10, Taichung experiment, 2nd crop of 1981)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
Dry weight (g/hill)	Heading	8.4 ±1.1	20.3 ±2.2				10.2 ±1.4	38.9
	Maturity	4.0 ±0.7	11.1 ±1.6	33.5 ±5.2	1.6 ±0.2	1.4 ±0.3	33.5	51.6
Nitrogen (%)	Heading	2.09±0.1	0.56±0.03				1.15±0.03	
	Maturity	1.31±0.11	0.44±0.08	1.15±0.06	0.78±0.03	0.51±0.03		

Table 5. (Continued)

Character	Growth stage	Leaf blade	Culm	Panicle				Total
				Filled grain	Unfilled grain	Panicle branch	Total	
TNC (%)	Heading	3.0±0.3	26.4±2.0				10.9±2.1	
	Maturity	3.7±0.6	3.0±0.6	70.0±2.5	22.0±3.4	2.5±0.1		
Nitrogen (mg/hill)	Heading	176	114				118	408
	Maturity	52	49	384	12	7	403	504
	Difference	−124	−65				+285	+96
TNC (g/hill)	Heading	0.3	5.4				1.1	6.8
	Maturity	0.2	0.3	23.4	0.3	nil	23.7	24.2
	Difference	−0.1	−5.1				+22.6	+17.6

有29.2 g。至成熟時的淨增加量，則臺南 5 號與臺中秈12號相似，分別爲每株6.09與6.04 g，臺中秈10號的增加最爲顯著，高達12.7 g而使全株重量增至51.6 g。如就不同器官的變化加以比較，得知臺南 5 號葉片與稈部乾重減少 10.5 g，穗重增 加16.5 g，前者約佔後者之64%；臺農秈12號的稈重減少最多，達11.0 g，葉片乾重亦降低6.0 g，二者合計佔穗重增加量（23.4 g）的72%；臺中秈10號在同一期間穗重增加最多（26.3 g），但營養器官的相對減少量（13.6 g）最低，僅佔前者的50%。

各品種的氮素濃度表現相似，抽穗時的葉片介於 2.09%與 2.27%之間，稈部則爲 0.56—0.67%，成熟時分別降低至 1.31—1.39%與 0.44—0.51%，且濃度的高低似與乾物重有負相關關係存在。穗部的變化幅度較小，品種間表現亦相近似，抽穗時爲1.15—1.21%，充實之穀粒內爲1.04—1.15%；但未充實穀粒的氮濃度則有品種間的差異，以臺南 5 號的1.07%最高，臺中秈12號（0.97%）次之，臺中秈10號最低，僅爲0.78%。

雖然三個品種的氮濃度相近，但由於乾物重差異頗大，每株水稻內的含氮量因之而有不同，抽穗期與成熟期均以乾物重最輕的臺南 5 號含量最低（分別爲 321 mg 與 315 mg），臺中秈 12 號居次（398 mg 與 426mg），臺中秈10號的含氮量最高（408 mg 與 504 mg）。值得注意的是如就兩個生育期之間進行比較，臺南 5 號的含氮量並無顯著變化（減少 6 mg），秈稻品種則增加 28—96 mg，與乾物重的變化量有相同之趨勢存在；穗部的含氮量也有相同的表現。

葉片 TNC 濃度在抽穗時較低，約爲 3 — 4 %，成熟時則升高至 3.7—7.0%之間，稈部自22.4-26.4%降至3.0-3.5%，降低的幅度很大，較屏東與羅東地區之水稻更爲顯著。成熟時充實穀粒含 TNC 的百分比爲68.3-70.0%，三品種極爲接近，但未充實穀粒的濃度差異較大，以臺中秈12號最高（30.5%），臺中秈10號最低（22.0%）。

計算每株水稻 TNC 含量變化的結果顯示，全株的增加量依品種而異，臺南 5 號只有 10.0 g，臺中秈12號爲 14.6 g，臺中秈10號爲 17.6 g，唯上列數值均低於同一時期穗部 TNC 的增加量，亦即 TNC 自營養器官至穗部的轉移，以源自莖稈的轉移爲主，三品種稈部 TNC 的減少量介於3.5 g 至 5.1 g之間，佔抽穗時的90-95%。

四、產量構成要素與其他相關性狀

由表 6 可知在本試驗中，不同地區所栽培之不同水稻品種的每株穗數似無明顯之差異。臺中地區的臺中秈12號最高（14.3），其他各品種維持在10.2—11.5之間。每穗穎花數則以臺中秈10號的133.

Table 6. Yield components and harvest fractions of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates (TNC) of rice cultivars grown in different locations (2nd crop of 1981)

Variety and location	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Seed-setting (%)	1,000-grain weight (g)	Grain yield per hill (g)	Harvest index	HNI[a]	HTNCI[b]	Preheading storage contribution[c] (%)
Tainung 67 (Pingtung)	10.2±2.1	107.2±15.1	78.5±8.1	23.2±1.3	20.0±5.2	0.57	0.68	0.96	11.6
Tainan 5 (Lotung)	11.5±2.0	82.3±13.0	77.4±5.7	23.2±0.7	16.8±3.0	0.52	0.61	0.91	23.1
Tainan 5 (Taichung)	11.5±2.0	100.6±18.7	72.6±4.9	23.9±1.2	19.7±3.8	0.56	0.65	0.93	17.9
Taichung sen 12 (Taichung)	14.3±2.2	96.2±13.4	80.7±4.8	26.3±1.1	28.8±4.2	0.67	0.77	0.96	17.1
Taichung sen 10 (Taichung)	11.4±1.5	133.9±17.7	81.8±4.1	26.8±0.6	33.4±5.2	0.65	0.76	0.97	15.6

a Harvest nitrogen index=amount of N in filled grain/amount of N in whole plant

b Harvest TNC index=amount of TNC in filled grain/amount of TNC in whole plant

c Percent of harvest TNC contributed by TNC stored in vegetative organs before heading, translocation efficiency of 70% was presumed.

9最高，羅東區臺南5號的82.3最低，其他品種介於96.2—107.2之間。結實率與千粒重均以臺中地區的秈稻表現最好，分別爲80.7—81.8%與 26.3—26.8 g ，其他品種稍低，結實率在72.6—78.5%，千粒重在 23.2—23.9 g 之間。每株水稻的稻穀產量亦以秈稻最高 (28.8—33.4 g) ，羅東區臺南5號最低 (16.8 g) ，屏東之臺農67號與臺中之臺南5號介於其間。

收穫指數 (HI) 與產量的變化趨勢相同，秈稻全株乾重的65—67%集中於充實穀粒 ， 羅東區臺南5號較低，但充實粒重仍佔全株乾重的一半以上 (52%) 。氮收穫指數 (HNI) 的變異較大，介於0.61—0.77之間 ， 仍以羅東區臺南5號最低，臺中區之秈稻最高。收穫時充實穀粒內 TNC 含量與全株含量的比值，即 TNC 收穫指數 (HTNCI) ，均在0.9以上，顯示 TNC 向穗部的轉移或聚積高於氮素，品種間比較以屏東區臺農67號及臺中區秈稻最高 (0.96—0.97) ，羅東與臺中區的臺南5號略低 (0.91—0.93) 。

穀粒充實過程中，葉片與莖稈所含之 TNC 可貢獻部分產量，如不考慮呼吸作用的消耗 ， 營養器官內減少之 TNC 量佔充實穀粒含量的16.5—33.0%，假設轉移效率 (translocation efficiency) 爲70%，則抽穗時預貯物質對產量的重要性降低，屏東臺農67號水稻爲11.6%，羅東臺南5號爲23.1%，臺中地區的三個水稻品種表現相似，介於15.6%與17.9%之間。

討　論

水稻不同器官氮素濃度的變化情形以葉片的表現最爲明顯，屏東臺農67號抽穗時之葉片氮濃度爲2.73%，羅東臺南5號最低，僅及1.84%，臺中地區的三個品種爲2.09—2.27%，上項數值與其他報告[3,11]比較，均有偏低的趨向。 Chen *et al.* [3] 並曾指出，二期作稻抽穗期之葉片氮濃度不低於一

期作，認爲氮素的組成較濃度更重要性。本試驗在三個不同地區的試驗結果均顯示極低的氮濃度，是否受不同年份或其他環境因子的影響，值得再予檢討。

隨著穀粒的發育，葉片氮濃度有逐漸下降的趨向，成熟時介於1.3—1.5%之間，地區間的差異並不明顯。 Thom *et al* [10] 報告氮素自葉片向穗部轉移會影響水稻植株的生理活性， Matsushima [6] 也有相同的結論；綜合本試驗的結果（表１—５）發現，成熟時每株水稻葉片的含氮量較抽穗時減少53—187 mg，佔抽穗期含量的 50—80%，大量的氮素損失極可能影響葉片正常的生理功能，唯本試驗未曾就抽穗後不同時間的氮素轉移進行追踪，此外根活性的作用亦極重要 [1] ，因此難以獲致正確而詳細的結論。

作物乾物質的生產是整個生育期間光合成產物累積與消耗的綜合表現，抽穗期每株水稻的平均乾物重以臺中地區的兩個秈稻品種最高（36.7—38.9g）（表４—５），羅東臺南５號的 24.9g 最低（表２），顯示不同品種在不同地區栽植有不同的表現。在30天的穀粒充實期間，乾物質的增加量也不相同，以臺中地區之臺中秈10號最高（12.7g），其他品種的結果則差異不大，均介於 6.0—7.3g之間。謝 [2] 認爲水稻抽穗時之乾物重與產量間有正相關。 Wei *et al* [11] 也曾建議抽穗以後如能維持較高的光合成能力，可能有助於提高產量。但本試驗中的乾物質增加量似未能與產量（表６）有一致的表現，例如羅東臺南５號的乾物重增加 7.3g ，產量爲 16.8g ，臺中地區臺中秈12號的乾物質生產僅爲 6.4g ，而產量卻高達每株 28.8g，顯示除了淨乾物質生產之外，其組成（composition）與分配也是決定產量的重要因子，本項結論可由非構造性碳水化合物（TNC）的生產得到證明，將在稍後加以討論。

葉片內 TNC 濃度的表現頗不一致，但均有隨稻株老化而下降的趨勢；葉片內游離糖濃度對光合成能力具有影響 [8] 但詳細的作用情形則尚未明瞭。抽穗以前水稻莖稈內可貯存多量的有效性碳水化合物，供應稻粒發育的部分需要 [4] 表１—５顯示，除屏東臺農67號抽穗時莖稈內之 TNC 濃度爲16.4%外，其他均超出20%（22.4—26.4%），成熟時的濃度顯著降低，多在４%以下，表示有多量的貯存性（pre-heading storage）碳水化合物爲呼吸作用消耗或轉移至穗部。但羅東臺南５號水稻成熟莖稈內 TNC 濃度較高（7.5%），可能轉運之效率較低。

水稻穀粒充實期間的乾物質生成量與產量間的關係並非完全一致，已如前述；在 TNC 的生成量方面，則顯示較明確的關係，產量最高者爲臺中地區的兩個秈稻，每株爲 28.8—33.5g ，而穀粒充實期的淨 TNC 生產量爲 14.6—17.6 g，反之，產量最低（16.8 g）的羅東臺南５號之 TNC 淨生產爲 6.8 g，屏東與臺中地區之粳稻表現介於二者之間，亦即全株 TNC 合成量高者，產量亦高，表示 TNC 的生產對水稻經濟收穫量（economic yield）的重要性更爲直接，超過全乾物量（total dry matter yield）的影響。

假定預貯性碳水化合物轉流至穗部的效率爲70% [4] ，由表６可知其對產量的貢獻介於11.6%至23.1%之間，以屏東試驗最低，而羅東試驗爲最高。本試驗發現羅東地區之 TNC 淨生產量較低，產量亦不如其他地區，但預貯性 TNC 貢獻產量之百分率則較高，可能是特殊環境因子影響的結果。 Yoshida [12] 亦曾指出，在低日射量與缺肥的不利生長條件下，預貯性碳水化合物對產量的重要性較高。

表６顯示各地區栽培水稻之收穫指數（harvest index）不同，最低爲 0.52，最高可達0.67，而且與產量之表現有密切之關係存在，換言之，乾物質的生產量固然重要，其分配效率亦不容忽視，與 Donald and Hamblin [5] 的結論相似。在氮收穫指數（harvest N index, HNI）方面，如果穀粒產量高，則所含氮量佔全株之比例亦高，如臺中之兩個秈稻品種爲0.76及0.77，其他三個粳稻品種在0.70以下，又以羅東之0.61最低，唯 HNI 與產量之間的因果關係值得注意，可能由於產量高而導致穀粒內含氮量增加，亦即 HNI 是反應產量的一種表現而非其原因。

屏東地區與臺中地區秈稻的非構造性碳水化合物收穫指數（HTNCI）均高達0.9以上（（表６）

，亦即收穫時全株水稻的 TNC 幾乎已完全集中於充實的穀粒內，與 Wei *et al*[11] 研究單一本稻分蘖所獲之結論相同，表示從 TNC 的分配觀點而言，增產應屬不易，如能由增加 TNC 之生成量著手，較爲可行。羅東地區臺南5號的 HTNCI 最低，只有0.91，換言之，仍有9%的 TNC 留存於莖稈內，另一方面又得知預貯性碳水化合物對產量的貢獻最大（23.1%），均足以再次證明產量低落的原因是抽穗後，光合成物質生產不足與轉運效率偏低所致。

本項研究的結果說明不同地區栽培二期作水稻的產量表現有異，低產的最主要原因爲抽穗後非構造性碳水化合物的生產量不足以供應穗部發育的需要。羅東地區水稻生育後期的日射量較少，陰雨日數多，溫度亦低，對光合成物質的轉運也有不利的影響。就二期作環境下水稻的表現而言，謀求增產極爲困難，然如能經由改良品種與栽培方法以維持水稻在抽穗後仍有較旺盛的光合成能力，則二期稻作之增產似非不可能，而有關此方面問題之探討，應爲今後的研究方向。

引 用 文 獻

1.賴光隆・1979・水稻根羣形成的特性與活力之診斷。刊載於「臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集」（謝順景、劉大江主編），行政院國家科學委員會出版。

2.謝昱暐・1979・一、二期作水稻之生長與光合作用構成因子，刊載於「臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集」（謝順景、劉大江主編），行政院國家科學委員會出版。

3. Chen, C. S,. D. D. Huang, M. C. Shen and D. J. Liu. 1980. Carbohydrate, N, P and K status of developing rice (*Oryza sativa* L.) plants grown in the first and second crop seasons in Taiwan. J. Agri. Res. China 29 : 81-92.

4. Cock, J. H. and S. Yoshida. 1972. Accumulation of C-labelled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 41 : 226-234.

5. Donald, C. M. and J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. in Agron. 23 : 361-405.

6. Matsushima, S. 1976. High-yielding rice cultivation. pp. 323-324 University of Tokyo Press, Tokyo.

7. Moss, D. N. 1976. Studies on increasing photosynthesis in crop plants. In CO_2 metabolism and plant productivity (R. H. Burris and C. C. Black eds.). University Park Press.

8. Silvius, J. E., D. F. Kramer and D. R. Lee. 1978. Carbon assimilation and translocation in soyben leaves at different stages of development. Plant Physiol. 62 : 54-58.

9. Smith, D. 1969. Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. Wis. Agr. Exp. Sta. Rep. 41, 11pp.

10. Thom, W. O., T. C. Miller and D. H. Bowman. 1981. Foliar fertilization of rice after midseason. Agron. J. 73 : 411-414.

11. Wei, M. L., M. C. Shen, C. S. Chen and D. J. Liu. 1982. Physiological study of rice tillers. I. Partition of dry matter, nitrogen and total nonstructural carbohydrates during grain-filling. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC (A) : 6 : 190-196.

12. Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 23 : 437-464.

The Relationship between Photosynthetic Production during Grain-filling and Grain Yield of the Second Crop Rice [1]

A. H. Yang, W. S. Liang, M. L. Wei and D. J. Liu[2]

Summary

Experiments were held in the 2nd crop, 1981 at three locations (Lotung, Taichung and Pintung) to investigate the potential of dry matter and total nonstructural carbohydrate (TNC) production and their relationship with grain yield in rice.

Nitrogen concentration in the leaf blades was low at heading and decreased continuously during grain-filling whereas changes in TNC concentration if the leaf blades were erratic during the same period. Culm TNC was over 20% at heading but decreased to 3-4% at maturity, indicating marked retranslocation to the developing panicles. Net dry matter accumulation was about 6-8 g per hill with the only exception of Taichung sen No. 5 grown in Taichung area (12 g). However, no definite relationship was found between grain yield and the amount of dry weight increase during grain filling. In contrary. TNC production was correlated with grain yield and could be used as an index of the efficiency of dry matter distribution.

Low yield of Tainan No. 5 at Lotung area was due to fewer number of spikelets per panicle. The attribution of high grain yield of indica rice at Taichung was more panicle number or spikelet number per panicle. Harvest index (HI) ranged between 0.52 to 0.67 and was positively correlated with yield. Similar result was found on harvest nitrogen index (HNI). However, high HNI was considered as the result of high grain yield rather than the cause of it. Harvest TNC index (HTNCI) was as high as 0.91-0.97. Lowest value of HTNCI was observed on Tainan No. 5 rice at Lotung area, suggesting inefficient translocation of available carbohydrates from vegetative organs to panicles. In general, less than 4% of TNC remained in culms at maturity which indicated that photosynthate production during grain-filling might not be able to meet the demand of panicles.

1. Contribution No. 1102 from Taiwan Agrictural Research Institute.

2. Respectively, Assistant, Assistant, Research Assistant and Senior Agronomist and Head, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.