S20.51
#1842

ISSN 0376—477X

中華農業研究

第四十四卷　　第一期

目　次

水稻穗構成性狀與粒質關係之研究……吳永培… 1

近紅外線分析技術定量甘藷塊根之一般成分…吳永培　賴永昌　利幸貞　陳一心… 9

氮肥用量對玉米農藝性狀組合力及雜種優勢
表現之影響……謝光照　何千里　盧煌勝…15

栽培密度對玉米生育及產量之影響
I. 營養生長期 ……魏夢麗　陳烈夫　姜義展　劉大江…26
II. 子粒充實期 ……姜義展　魏夢麗　陳烈夫　劉大江…37

柿品種評估暨改良……溫英杰…49

水芋葉面積與乾物質生產之關係……陳烈夫　呂秀英　呂椿棠　賴吉雄…59

人工模擬酸霧對三種冬季葉菜之傷害……姚銘輝　漆匡時　蔡金川　梁連勝…72

人工模擬酸雨對大豆葉片之不同反應(英文)……姚銘輝　陳　述　蔡金川
范明仁　梁連勝…81

中華民國八十四年三月

臺灣省農業試驗所出版

中華民國 臺灣省 臺中縣 霧峰鄉

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：1～8（1995）

水稻穗構成性狀與粒質關係之研究[1]

吳　永　培[2]

摘要：本試驗以37個水稻品種（系）爲材料，進行一年二期作試驗，主要目的在探討稻穗構成性狀與米品質間的關係，結果如下所述：

1. 未熟粒率、糙米千粒重二期作一般較一期作高；腹白粒率以一期作較高；心白粒率兩期作差異不大。
2. 穗構成性狀與米粒品質間的關係因期作而不同，一期作未熟粒率與枝梗數間呈負相關；腹白粒率以穗重類型者有較高的趨勢；心白粒率與穀粒數、稔實特性間皆有相關。粒長與心白粒率呈負相關，與糙米千粒重呈正相關；粒寬與腹白粒率、心白粒率、糙米千粒重間均呈正相關；而粒厚僅與心白粒率呈負相關；粒形（粒長與粒寬比值）亦僅與糙米千粒重有正相關。
3. 在二期作中未熟粒率與二次枝梗數及其穀粒稔實百分率有相關存在；腹白粒率、心白粒率分別與一次枝梗數、一次枝梗粒數呈正相關；糙米千粒重與一枝梗粒數有正相關，但與稔實因子間皆呈負相關。粒長與腹白粒率、心白粒率、糙米千粒重間均有相關性；而粒寬與腹白粒率、心白粒率、被害粒率間亦均呈正相關；粒厚僅與糙米千粒重間均呈正相關；粒形與糙米千粒重、心白粒率間分別呈正、負相關。

關鍵詞：水稻、穗構成性狀、穀粒粒質。

水稻是本省主要糧食作物，良質且產量穩定品種之育成，乃當前育種所追求目標，而由於稻穗形態特性與穀粒產量有密切關係，在育種選拔過程水稻材料穗型之表現常爲選拔與否的主要因素，唯以往水稻育種在以產量爲選拔目標時，此種選拔方式可達到育種目的，但隨著經濟快速發展，人民生活水準提高，對於稻米之品質要求愈高，因此育成高品質之品種便成爲目前育種主要目標，而在育種過程中是否選拔到良質潛能之材料，則爲良質米育種成功與否的主要關鍵因素，因此探討穗形構成性狀與米質特性間的關係，並藉此提升選獲良質材料之機率，使良質米選拔效率提高，則爲當前良質米育種重要之課題。筆者曾就不同穗著粒密度和穗重類型之分類及其與穗構成性狀、單株產量間之關係進行探討，並對穗著粒密度、穗重、單株產量與穗構成性狀間的關係已有較完整的解析[2,3,4]，唯對於上述性狀與米粒品質間的關係研究仍少，基此，本研究擬就稻穗構成性狀與粒質特性間的相關性進行探討，提供良質米育種選拔時之參考。

材料與方法

一、試驗材料

使用37個水稻品種（系）爲材料，於民國82年第一期作至82年二期作種植於嘉義農業試驗分所試

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第1763號。
2. 本所嘉義農業試驗分所助理。臺灣省　嘉義市。

驗田，試驗採逢機完全區集設計（randomized complete block design），每品種種植 4 行，每行 6 株，三重複，行株距20×25公分，各品種（系）選取中間行 4 株收穫調查，每株逢機取 4 穗調查穗構成性狀，即每品種每重複共調查16穗。栽培期間的管理按嘉義地區慣行法行之。

二、調查項目及方法：

穗重（A）、穗長（B）、穗軸長（C）、一次枝梗總長度和（D）、一次枝梗數（E）、一次枝梗平均粒數（F）、二次枝梗數（G）、二次枝梗總粒數（H）、每穗粒數（I）、千粒重（J）、稔實百分率（K）、穗著粒密度（L）、單株產量（M）等性狀之定義與調查方法如吳等[4]所述。其餘性狀如下所述：

㈠穗數（N）：每一稻株有效分蘗稻穗數目。

㈡一次枝梗稔實百分率（O）：每單穗一次枝梗上（扣除二次枝梗者）之稔實穀粒數除以其所有穎花數乘100之值。

㈢二次枝梗稔實百分率（P）：每單穗二次枝梗上之稔實穀粒數除以其所有穎花數乘100之值。

㈣粒長（Q）、粒寬（R）、粒厚（S）、粒長/粒寬（T）：每重複取60粒穀粒調查之。

㈤未熟粒率（U）：每重複取10克糙米調查未熟粒率（含青死米）。

㈥心白粒率（V）：每重複取10克糙米調查心白米粒發生之百分率（不考慮心白面積大小問題）。

㈦腹白粒率（W）：每重複取10克糙米調查腹白米粒發生之百分率（不考慮腹白面積大小問題）。

㈧被害粒率（X）：每重複取10克糙米調查被害米粒。包括畸型粒、非青米之有色粒、死米、乳白米等。

糙米千粒重（Y）：取1,000粒完整糙米所秤得之重量（g）。

糙米外觀品質的調查係在穗構成性狀調查完畢後，將每重複 4 株稔實穀粒混合脫殼後，所得糙米再供米質特性調查之用。並以各品種其三重複之平均值進行穗構成性狀與糙米外觀品質間之相關分析[9]。

結果與討論

一、粒質特性期作間之變化

各參試材料米粒品質表現如表 1 所示。未熟粒率二期作多較一期作有較高的趨勢，原因可能係二期作成熟後期之低日照及短日環境條件，使得光合能力低，光合產物減少，而影響穀粒的充實，造成未熟粒率有較高的趨勢。而腹白粒率則與未熟粒率呈現相反的趨勢，除臺粳育5824號外，所有品種其一期作腹白粒率均高於二期作，原因可能是一期作一般成熟期平均溫度較二期作高，而水稻在開花期後20-30天若遇高溫易形成腹白之故。心白粒率則兩期作差異不大。至於被害粒率其品種在期作間並無一定之變化，此乃因此性狀影響因素頗多且十分複雜，爲綜合性之表現值，然就所有品種之平均值而言，仍以一期作發生之比率較高。而糙米千粒重與穀粒千粒重一樣，均以二期作較一期作有較重的現象，此結論與萬[8]所得結果相同。再者，就上述結果來看，二期作之未熟粒率多較一期作高，因此應選拔或選用二期作未熟粒率較低品種栽培，以免影響稻米品質之表現；至於一期作其腹白米粒比率有較二期作高的趨勢，此性狀因具有高遺傳率[5]，因此在育種選拔時應於早期世代淘汰腹白粒出現高之材料，藉以降低一期作腹白粒出現之比率。此外，一期作亦應設法提高糙米千粒重之表現。

表1. 供試材料品種（系）名稱及其八質特性表現

Table 1. List of rice entries used and their performances of grain quality

Entry	Season	Unmature grain (%)	White belly (%)	White core (%)	Damaged grain (%)	1000-grain weight (brown rice, g)
Tainung 67	1st	6.49	67.32	4.96	15.55	19.16
	2nd	17.60	54.59	7.58	7.13	20.13
Tainung 70	1st	11.51	19.05	4.03	14.73	19.20
	2nd	9.61	11.87	1.77	6.82	20.46
Tainung 72	1st	19.31	28.15	1.79	11.03	19.11
	2nd	11.55	11.38	2.83	11.23	19.27
Taiken 2	1st	8.27	20.38	7.27	10.22	21.02
	2nd	12.91	12.51	6.96	11.86	21.05
Taichung 189	1st	4.71	63.34	5.45	8.44	18.85
	2nd	8.04	58.04	4.55	7.97	20.13
Taiken Yu 1005	1st	13.91	22.06	2.14	13.04	19.33
	2nd	8.19	13.00	5.99	3.81	21.34
Taiken Yu 3732	1st	8.75	53.32	5.16	13.05	19.98
	2nd	7.69	37.01	6.93	6.96	21.13
Taiken Yu 4052	1st	1.30	19.87	1.30	3.24	20.21
	2nd	10.17	10.18	10.02	4.95	21.28
Taiken Yu 4406	1st	3.90	17.48	1.62	4.43	18.23
	2nd	3.16	3.60	1.27	4.39	18.36
Taiken Yu 5031	1st	3.54	42.02	9.17	10.97	18.31
	2nd	14.17	14.40	9.62	10.21	19.13
Taiken Yu 5103	1st	5.49	23.05	9.83	10.78	18.38
	2nd	15.40	14.36	7.94	13.35	19.06
Taiken Yu 5107	1st	6.50	36.65	13.99	9.96	18.79
	2nd	18.18	14.10	9.56	12.50	18.60
Taiken Yu 5109	1st	2.84	38.38	15.71	14.90	18.47
	2nd	15.28	13.94	6.86	13.77	18.64
Taiken Yu 5514	1st	5.03	71.75	3.11	15.21	21.63
	2nd	7.68	29.93	1.56	10.57	22.17
Taiken Yu 5824	1st	9.23	40.42	3.17	11.45	20.76
	2nd	13.95	44.13	2.35	11.79	22.68
Taiken Yu 6287	1st	7.09	24.41	3.78	9.23	20.89
	2nd	13.46	6.47	3.27	27.10	20.85
Taiken Yu 6695	1st	11.51	52.94	5.93	7.74	21.12
	2nd	16.21	19.88	8.37	8.57	20.90
Taiken Yu 6698	1st	3.94	13.87	6.71	18.06	18.01
	2nd	13.33	6.94	9.95	10.47	18.42
Taiken Yu 6773	1st	2.85	22.36	9.30	11.68	18.31
	2nd	13.21	19.95	10.94	10.12	18.52
Taiken Yu 6781	1st	7.96	36.60	11.35	6.70	18.72
	2nd	19.48	10.34	10.57	10.70	18.677
Taiken Yu 7415	1st	5.57	70.12	4.18	21.23	21.98
	2nd	11.44	47.44	8.65	11.74	24.67
Taiken Yu 8324	1st	10.01	44.54	11.69	13.94	20.51
	2nd	13.18	20.01	5.43	12.72	21.07

Entry	Season	Unmature grain (%)	White belly (%)	White core (%)	Damaged grain (%)	1000-grain weight (brown rice, g)
Taiken Yu 8383	1st	14.38	52.14	4.37	11.93	21.61
	2nd	13.41	24.70	3.13	11.57	21.38
Taiken Yu 8472	1st	12.47	20.81	4.00	20.21	19.14
	2nd	9.05	12.08	7.74	7.62	21.03
Taiken Yu 9473	1st	1.23	16.39	1.37	30.78	20.50
	2nd	18.66	17.20	6.27	14.32	22.00
Taiken Yu 10044	1st	6.51	52.40	6.36	16.89	20.07
	2nd	7.86	36.55	6.47	10.28	21.18
Taiken Yu 13365	1st	10.51	46.73	4.74	10.91	21.90
	2nd	7.33	31.21	4.57	10.03	21.87
Taiken Yu 13635	1st	16.75	12.85	3.76	12.00	20.51
	2nd	5.08	7.36	2.36	5.00	22.04
Taiken Yu 13671	1st	7.25	21.26	4.50	9.27	18.33
	2nd	11.63	7.30	2.04	6.04	19.71
Taiken Yu 13733	1st	6.55	16.53	9.03	9.79	18.43
	2nd	6.06	13.34	4.92	6.20	19.99
Taiken Yu 16477	1st	15.02	43.97	1.70	15.78	18.86
	2nd	15.33	4.21	1.50	6.30	20.12
Taiken Yu 14467	1st	12.06	40.88	0.62	11.83	20.73
	2nd	7.33	23.96	2.76	3.94	20.75
Taiken Yu 10298	1st	7.29	36.48	4.84	8.07	19.99
	2nd	14.75	12.04	4.94	8.19	18.82
Taiken Yu 17731	1st	9.20	52.67	8.40	7.56	19.69
	2nd	10.05	41.22	4.76	8.28	19.97
Taiken Yu 13281	1st	5.14	73.10	3.23	13.81	18.31
	2nd	9.29	46.74	7.67	10.45	18.25
Taiken Yu 13441	1st	2.57	55.11	11.37	8.51	22.06
	2nd	16.24	14.37	6.27	9.48	21.13
Taiken Yu 19351	1st	7.69	16.50	2.57	14.40	21.13
	2nd	8.59	9.32	3.86	6.34	21.83
Mean	1st	7.95	37.45	5.74	12.36	19.79
	2nd	11.74	20.96	5.74	9.53	20.45

二、穗構成性狀與粒質之關係

由穗構成性狀與米粒外觀品質間相關分析（表 2）中發現，一期作中未熟粒率（U）與一次枝梗數（E）、二次枝梗數（G）間相關係數均達顯著水準；腹白粒率（V）與穗重（A）、二次枝梗數（G）、穗數（N）間亦有相關關係存在，相關係數分別爲0.367*、0.364*、−0.417**，顯示以穗重愈重，二次枝梗數愈多，穗數較少之穗重型材料其腹白粒發生率較高；心白粒率（W）則與穗重（A）、一次枝梗粒數（F）、二次枝梗總粒數（G）、每穗粒數（I）、稔實百分率（K）、穗著粒密度（L）、一次枝梗穀粒稔實百分率（O）間均存在顯著水準以上的相關性，可見以穗重愈重，粒數因子（F，G，I）愈多、穗著粒密度愈密、稔實百分率與一次枝梗穀粒稔實百分率愈高等具穀粒數較多之材料者，其心白粒發生率有較多之趨勢。至於被害粒率與一次枝梗粒數（E）、稔實百分率（K）、二次枝梗穀粒稔實百分率（P）間亦有負相關存在；糙米千粒重與穗長（B，C）、千粒重（J）間有正相關存在。

表2. 穗構成性狀與米粒品質間相關分析結果

Table 2. Correlation analysis between the constructed characters of the panicle and grain quality

Character	Season	Unmature grain (%)	White belly (%)	White core (%)	Damaged grain (%)	1000-grain weight (brown rice, g)
Panicle weight (A)	1st	−0.174	0.367*	0.404**	0.285	0.117
	2nd	0.308	0.154	0.138	0.133	0.241
Panicle length (B)	1st	−0.082	0.236	−0.144	0.128	0.430**
	2nd	−0.163	0.157	−0.290	0.450**	0.093
Length of rachis (C)	1st	−0.248	0.224	−0.043	0.154	0.391*
	2nd	−0.057	0.073	0.099	0.376*	0.085
Total length of primary	1st	−0.181	0.091	−0.238	0.208	0.194
branches (D)	2nd	0.049	0.104	−0.084	0.156	0.178
Number of primary	1st	−0.372*	−0.029	0.089	0.193	−0.109
branches (E)	2nd	0.295	−0.066	0.616**	−0.117	0.334*
Grain number of per	1st	0.032	0.306	0.549**	−0.345*	−0.083
primary branch (F)	2nd	−0.233	0.410**	−0.290	0.470**	−0.409**
Number of secondary	1st	−0.362*	0.364*	0.146	−0.141	−0.241
branches (G)	2nd	0.410**	−0.146	0.364*	−0.594**	0.365*
Grain number of	1st	−0.232	0.271	0.381*	−0.302	−0.266
secondary branches(H)	2nd	0.194	−0.050	−0.024	−0.498**	0.045
Grain number of per	1st	0.199	0.313	0.489**	−0.196	−0.175
panicle (I)	2nd	0.248	0.038	0.170	−0.384*	0.068
Weight of thousand	1st	0.058	0.173	−0.252	0.232	0.913**
grains (J)	2nd	−0.251	0.293	−0.311	−0.011	0.980**
Filled-grain	1st	0.193	0.066	0.441**	−0.373*	−0.083
percentage (K)	2nd	−0.442**	0.166	−0.512**	0.474**	−0.520**
Panicle density (L)	1st	−0.120	0.246	0.593**	−0.275	−0.280
	2nd	0.177	−0.051	0.185	−0.514**	−0.077
Grain yield per hill(M)	1st	−0.036	0.278	0.242	−0.086	0.071
	2nd	−0.196	0.145	−0.165	0.183	−0.120
Panicle number (N)	1st	0.276	−0.417**	−0.311	0.152	−0.305
	2nd	−0.111	−0.082	−0.401**	−0.194	−0.190
Filled-grain percentage	1st	0.245	0.300	0.465**	−0.250	−0.061
of primary branches(O)	2nd	−0.205	0.271	−0.381*	0.475**	−0.475**
Filled-grain percentage	1st	0.115	−0.128	0.305	−0.396*	−0.111
of secondary branches(p)	2nd	−0.471**	0.133	−0.538**	0.417**	−0.514**

*, ** Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

二期作中則發現未熟粒率（U）與二次枝梗數（G）呈正相關，與稔實百分率（K）、二次枝梗穀粒稔實百分率（P）成負相關，顯示二期作較未熟米粒率係二期作光合產物不足，使得二次枝梗數多者，充實不良而造成未熟粒發生率較一期作高。腹白粒率僅與一次枝梗數有極顯著之正相關，因此二期作選用此性狀較少之材料其腹白粒發生比率可減少。而心白粒率則與一次枝梗粒數（F）有正相關關係，但與穗數（N）、稔實因子（K，O，P）間均呈極顯著之負相關關係，由此可知二期作可以降低一次枝梗粒數、提高稔實性作爲降低心白粒方法。至於被害粒與調查性狀均存在相關關係（B，C，F，G，H，I，K，L，O，P）。顯示影響因子頗多，因此欲降低被害粒比率時宜作不同考慮。此外，糙米千粒重與一次枝梗數（E）二次枝梗數（G）、千粒重（J）均呈正相關關係，而與一次枝梗粒數（F）、稔實因子（K，O，P）則呈極顯著負相關關係。

由上述結果了解穗構成性狀與粒質間關係密切，且關係會因期作有所不同，而本省育種選拔穗型表現與單株產量高低常爲選拔與否重要因素，因此在以良質爲育種目標時，良質材料常會因農藝性狀表現稍遜而遭淘汰，致使選出之材料粒質之表現無法突出，因此在選拔時似應根據不同期作穗構性狀與粒質間的關係加以進行，以提高良質材料選育效率。

三、粒型與粒質之關係

由表 3 可知在兩期作中粒型與未熟粒率間所有的相關係數均不顯著，而在一期作中則發現稻穀粒長（Q）與心白率呈顯著的負相關，顯示粒長愈長心白粒發生率較低，而與糙米千粒重間爲極顯著正相關，表示粒長愈長者其粒重愈重；粒寬（R）則與腹白粒率、心白粒率、糙米千粒重均呈顯著水準以上之相關性，表示粒寬愈寬，腹白米率、心白米率愈高且糙米千粒種愈重；至於粒厚（S）僅與心白粒率呈極顯著負相關，表示粒厚愈厚心白米愈少；粒形（T）則僅與糙米千粒重有極顯著正相關。另外，二期作中亦發現粒長與腹白粒率、心白粒率、糙米千粒重間有顯著水準以上之相關性，可知本期作其粒長愈長者，腹白粒率、糙米千粒重均有較高的趨勢，但心白粒率反而較低；而粒寬與腹白粒率、心白粒率、被害粒率均成顯著之正相關，表示此期作粒寬愈寬者，腹白粒、心白粒、被害粒之發生率會較高；粒厚則僅與糙米千粒重呈極顯著正相關；此外，粒形與心白粒率、糙米千粒重分別呈極顯著的負、正相關關係，顯示粒形愈大其心白粒率愈低、但糙米千粒重愈重。

表3. 穀粒性狀與米粒品質特性間之相關係數

Table 3. Correlation coefficients beween grain dimensions and grain quality of rice

Character	Season	Unmature grain (%)	White belly (%)	White core (%)	Damaged grain (%)	1000-grain weight (brown rice, g)
Grain length (Q)	1st	0.110	0.225	−0.385*	0.217	0.782**
	2nd	−0.213	0.320*	−0.367*	−0.080	0.861**
Grain width (R)	1st	−0.031	0.555**	0.340*	0.096	0.486**
	2nd	0.225	0.355*	0.379*	0.332*	0.304
Grain thickness (S)	1st	0.098	−0.211	−0.568**	0.112	0.317
	2nd	0.068	−0.012	0.146	0.034	0.692**
Grain shape (T=Q/S)	1st	0.070	−0.106	−0.243	0.302	0.580**
	2nd	−0.310	0.078	−0.524**	−0.254	0.575**

*, ** Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

本研究與林(1)所指出粒寬與腹白有相關性存在之結論相符，但在粒長、粒厚、粒形與粒質間的關係上，本研究所得與林[1]及劉[6,7]兩人所得結果不盡相同。究其原因，可能係所用材料不同或本研究所用之品種（系）數較多，較能看出性狀間關係之故。再者，由上述相關分析可知水稻糙米千粒重與粒長、粒寬（一期作）、粒厚（二期作）、粒形間均有極顯著正相關存在，似可經由粒型的改良作爲增加水稻糙米產量的手段，唯期作間相關性有差異，應分別加以考慮，且粒型與粒質間關係極爲密切，因此若經選育粒長較長者作爲稻穀產量提升之手段，其雖可能使心白粒發生率降低，但在二期作亦可能同時使得腹白米率增高。同理，若以增加粒寬來提升稻穀產量，則在兩期作均可能會使腹白、心白粒發生率都提高。至於一期作減少粒厚雖可降低心白粒率，但仍不宜大幅度降低，因粒厚與糙米千粒重之相關係數接近顯著水準，過分降低粒厚恐將影響糙米千粒重之表現。而若以提高粒形爲目標似乎對粒質影響較小，其僅二期作與心白粒率有相關性，且呈負相關，似爲增加稻穀產量並維持良好粒質表現較可行的方式。

四、粒質特性間的關係

由表 4 顯示未熟粒率與心白粒率間在一期作呈負相關，二期作呈正相關，與被害粒率間在二期作

亦呈顯著正相關，這表示一期作未熟粒率愈低，其心白粒率愈低，但二期作未熟粒率愈高，心白粒率與被害粒率也愈高；至於其他特性彼此間之相關係則均不顯著。上述分析可知粒質特性中除未熟粒率外彼此無相關存在，因此在育種選拔過程應可同時進行不同粒質特性之改良。

表4. 米粒品質特性間相關分析結果

Table 4. Correlation matrix among grain quality of rice

Character	Crop Season	Unmature grain (%)	White belly (%)	White core (%)	Damaged grain (%)	1000-grain weight (brown rice, g)
Unmature grain (%)	1st	1.000	−0.076	−0.325*	−0.032	0.158
	2nd	1.000	−0.090	0.450**	0.460**	−0.208
White belly (%)	1st	−0.076	1.000	0.078	0.036	0.301
	2nd	0.090	1.000	0.074	−0.003	0.287
White core (%)	1st	−0.325*	0.078	1.000	−0.173	−0.241
	2nd	0.450**	0.074	1.000	0.133	−0.246
Damaged grain (%)	1st	−0.032	0.036	−0.173	1.000	0.104
	2nd	0.460	−0.003	0.133	1.000	0.014
1000-grain weight	1st	0.158	0.301	−0.241	0.104	1.000
(brown rice, g)	2nd	0.208	0.287	−0.246	0.014	1.000

*, ** Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

誌 謝

本試驗承蒙行政院農業委員會經費補助（83科技-2.1-糧-52），謹此誌謝。

引用文獻

1. 林再發。1988。水稻穀粒外部性狀與白堊質相關之研究。臺中區農業改良場研究彙報。20：33-40。
2. 吳永培、陳一心、陳隆澤。1993。水稻穗著粒密度之研究 I、穗著粒密度類型、預測模式之建立及其相關性狀之探討。中華農業研究 42：111-120。
3. 吳永培、陳一心、陳隆澤。1993。利用主成份分析法探討水稻穗重與其構成因素間的關係。中華農學會報 新162：1-10。
4. 吳永培、羅正宗、陳一心。水稻穗著粒密度之研究 II、稻穗構成性狀與單株產量間之關係。中華農業研究 43：135-142。
5. 郭益全、劉清。1988。米粒白堊質遺傳。稻米品質研討會專刊。153-163頁。臺中區農業改良場。
6. 劉村明。1984。秈粳稻粒型及粒質特性研究。中華農學會報 新125：23-30。
7. 劉村明。1986。稻作水田與旱田栽培之粒重、粒型及腹白之差異。中華農學會報 新134：59-63。
8. 萬雄。1979。總摘要。9-13頁。臺灣二期稻作低產原因及其解決方法研討會專集。行政院國家科學委員會，臺北。
9. SAS Institute Inc. (1985) SAS/STAT Guide for Personal Computers. Version 6 Edition. Carry, NC. U.S.A.

Studeies on the Relationship between Characters of Panicle and Grain Quality of Rice (*O. sativa* L)[1]

Yong-Pei Wu[2]

Summary

Thirty seven rice entries were used as materials to study the relationships between the constructed characters of panicle and grain quality. Experiments were conducted in the 1st crop and 2nd crop seasons of 1993 at Chaiyi Agricultural Experiment Station, TARI. Results were showed as follows: 1. The percentage of unmature grain and 1000-grain weight of brown rice in the 1st crop season was lower than those in the 2nd crop season. The percentage of white belly of the 1st crop rice was higher than that of the 2nd crop rice. The difference of the percentage of white core between two crop seasons was not significant. 2. The relationships between characters of panicle and grain quality in the two crop rices were different. In the 1st crop season, it was found that the percentage of unmature grain was negatively correlated with number of branches. The entries with heavy panicle were higher in the percentage of white belly. The percentage of white core was correlated with grain numbers and fertility. Moreover, grain length was negatively correlated with percentage of white core, and positively correlated with 1000-grain weight of brown rice. Grain width was positively correlated with percentage of white belly, white core and 1000-grain weight of brown rice. Grain thickness was negatively correlated with percentage of white core. Grain shape (grain length/width ratio) was positively correlated with 1000-grain weight of brown rice. 3. In 2nd crop season, the percentage of unmature grain was correlated with number of secondary branches, and fertility. The percentage of white belly and white core were positively correlated with number of primary branches and grain number of per primary branches, respectively. Meanwhile, 1000-grain weight of brown rice was positively correlated with grain number of per primary branches, and negatively with fertility. Moreover, grain length had a relationship with percentage of white belly, white core and 1000-grain weight of brown rice. Grain width was positively correlated with percentage of white belly, white core and damaged grain. Grain thickness was correlated with 1000-grain weight of brown rice. Grain shape was negatively correlated with percentage of white core, and positively correlated with 1000-grain weight of brown rice.

Key words : Rice, Characters of Panicle, Grain Quality.

1. Contribution No. 1763 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Research Assistant, Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：9～14（1995）

近紅外線分析技術定量甘藷塊根之一般成份[1]

吳永培　賴永昌　利幸貞　陳一心[2]

摘要：本研究用近紅外線光譜儀測定甘藷塊根4種化學成份，結果發現除了澱粉一項外，此種分析方法可有效測定甘藷塊根之蛋白質、可溶性醣、灰分含量，此三種成份迴歸模式之複迴歸決定係數（R^2）均達0.94以上，且此三種成份在20個品系的測定中，近紅外線光譜儀與傳統分析法測定值間的差異小，標準偏差亦小，顯示建立之蛋白質、可溶性醣、灰份迴歸模式具有實用價值，可用於需要分析大量樣品之育種工作。

關鍵詞：近紅外線分析技術、甘藷塊根、成份分析。

甘藷是熱帶重要的糧食作物，主要的食用部位爲儲藏根，每公頃產量高達17噸以上，近數十年來因社會和經濟結構的變遷和人民生活水準的提升，目前甘藷改良重點著重於食用品質、加工品質、營養價值等的改進，以提高產品利用和經濟價值。基此，食用品質優良或適合加工用的甘藷品種便成爲當前育種主要的目標(1)，而由於育種過程所需篩選後代品系數目均相當龐大，尤其針對甘藷理化成份之篩選，若以一般傳統化學分析方式進行，非但費時費工，且實際執行上亦有困難，因此本分所乃嚐試利用近紅外線分析技術分析有關甘藷品質之各項成份。由於此種分析法賅快速、簡易、省力、正確的分析等特性，並可同時有效分析同一樣品之多種成份，係快速且實用的方法。若能發展適合甘藷應用之化學成份分析公式，對本省甘藷品質育種或化學成份分析將有極大的幫助。

近年來由於近紅外線分析儀器性能之改良、連線電腦功能之提升及相關軟體之開發，已使得此種分析方法之準確性及應用範圍開始擴大，無論在農產品、食品加工、乳類與乳製品、糖果相關業、肉類與肉製品及發酵與飲料業等均有相當程度之應用(2)。在農產品應用方面，諸如稻米、小麥、大麥、燕麥、大豆、向日葵種子、茶葉、菸葉等作物均有學者以其進行作物成份測定(3,4,5)，顯然近紅外線分析技術已成爲食品工業與作物成份普遍分析之工具。因此本研究乃以本省甘藷常用之育種材料分析同一樣品中四種主要成份，並建立各項化學成份分析迴歸方程式，且與傳統化學分析法比較，以評估此種分析法應用於甘藷分析之可行性。

材料與方法

一、試驗材料

爲涵蓋成份變異，擴大所建立檢量線應用範圍，選用不同性質或來源之甘藷（*Ipomoea batatas*）爲供試材料，試驗材料包括10個台農57號實生系，5個台農66號實生系，20個甘藷多交雜種第一代（F_1）實生系，53個以人工雜交所得雜種第一代（F_1實生系，兩品種或品系間雜種），32個利用多交育種法所選育初級產量比較試驗的實生系。所有材料於民國82年春、夏及秋裡作種植於本分所試驗田。

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第1764號。
2. 本所嘉義農業試驗分所助理、助理、助理、研究員。臺灣省　嘉義市。

二、樣品調製

根據供試材料塊根採收適期分別收穫後，削去塊根表皮製簽再於100°C烘箱中烘乾至水份含量 7～8 %左右，所得材料採用高速磨粉機研磨成粉末以 100mesh 篩網過篩使達到顆粒均勻效果。每一粉末樣品至少10克以上。

三、儀器設備

本分所使用 Bran & Lubbe 公司販售的 InfraAlyzer 450型，其近紅外光學系統的原理係利用19個特定波長（specific wavelengths）的濾光片組（spectrophotometer grating）及積分球面（integrating Sphere）內置有二片硫化鉛（lead sulphide）感應器（detector）來測定透過試樣後的擴散及反射光（diffuse-reflectance light）。本儀器組有簡易操作觸控面（touch-sensitive panel），並可與個人電腦連線利用該機專用資料分析軟體 IDAS（InfraAlyzer Data Analysis Software）進行資料管理與分析[10]，此套裝軟體具有資料收集、分析與鎖鍊程序（chain procedure）等項功能。若樣品有顆粒不一或混合不均現象，可利用重複測量（repack calculatino）以平均值來解決變動。另有相容之統計分析專用程式如判別分析（discrimi-nation）、挑選（picks）及光譜分析（spectra analysis）等項的功能設計。

四、調查項目及分析法

㈠蛋白質：採用 Semi-micro Kjeldal method 法定量[4]。

㈡灰份：仿A.O.A.C灰份定量方法，秤取 1 克甘藷塊根粉末於550°C的灰化爐中灰化 3 小時後剩餘灰化物之重量[4]。

㈢可溶性醣：以Yosihida *et al.* (1972) [11]之方法定量之。

㈣澱粉：以 Yosihida*et al.* (1972) [11]之方法定量之。

五、分析步驟

將所蒐集之240個材料逢機分成兩群，分別於近紅外線分析儀中讀取吸光值後，樣品在各波長之吸收光值以專用軟體IDAS中Picks功能挑選欲進行傳統手工化學分析之樣品，每群挑選出60個樣品進行化學成份後，並依各項成份分方法每一樣品重複分析二次，重複分析值差異較大時，則再分析一次，分析值以較接近值的平均爲成份含量值。將分析所得之成份含量值輸入連線電腦中進行各成份檢量線的製作與校正，並檢測其再現性與準確度。

結果與討論

一、檢量線之精確度

傳統化學分析法分析作物成份，需將蛋白質、可溶性醣類、澱粉及灰分分別定量，而利用近紅外線分析儀定量時，在完成上述成份檢量線製作後，可經一次分析同時完成 4 種成份的測定。惟分析結果的準確性，端賴所製作檢量線好壞，因此若能製作優良檢量線，則數十秒內便可完成作物數種成份之測定，其效率當較傳統分析法宏大。基此，本分所於八十二年開始進行甘藷一般成份檢量線製作，結果如表 1 所示，其中蛋白質、可溶性醣、灰分之檢量線的 R^2 值均在0.94以上（表1），已具有實際運用價值，而就運用範圍來看，所有檢量線所用材料成份含量的變異範圍，蛋白質在1.55～9.48%，可溶性醣在4.82～28.79%，灰分則在2.15～5.46%之間。所有檢量線涵蓋之成份變化範圍廣，顯示所有檢量線具有相當的代表性。澱粉檢量線 R^2 值僅達0.65，標準機差高達2.04，顯示分析之精確度較差。此外，理論上近紅外分析儀不具有測定無機成份之功能，但實驗結果顯示此法定量甘藷灰分，其 R2 值仍達0.94，應已具實際應用價值。此現象在毛豆、穀類作物和醬油分析中亦曾發現[7,8,9]，其原因有待進一步研究。

表1. 用近紅外線分光儀測定四種甘藷塊根成份各迴歸方程式之統計指標

Table 1. The prediction statistics of calibration equation fonr constituents of sweet potato tuber

Constituent	No. of filter	Content range (%)	R^2 of calibration curve	SEP of calibration test[y]
Protein	6	1.55～9.48	0.99 (N=40)	0.17
Soluble sugars	6	4.82～28.79	0.96 (N=40) [z]	0.17
Starch	7	59.67～75.90	0.65 (N=46)	2.04
Ash	7	2.15～5.46	0.94 (N=46)	0.25

[z] Value in parentheses indicates the number of samples used.

[y] Standard error of prediction of calibration test.

二、成份檢量線迴歸方程式

近紅外線區域內發生之吸光現象主要爲含有氫原子結合基造成之吸收，與紅外線區域相比，其吸收較弱，並因多數結合基存在，其倍振動或結合振動之吸收會相互重疊，而形成複雜之光譜。然亦因其吸收較弱之特性，分析試料不須經稀釋即可進行測定，因此只要掌握含氫原子之結合基量，即可了解分析試料中大部分有機化合物之實際情況。至於相互重疊吸收則可藉用電腦與統計分析方法加以處理，利用試料在多個固定波長之吸光值，運用統計方法對傳統化學分析或成份值進行迴歸模式製作，進而組成複迴歸方程式[3]。表 2 所列係甘藷塊根各成份其19個波長吸光值經IDAS套裝專用軟體分析所得之迴歸方程式係數與波長，其中蛋白質、可溶性醣在選用 5 個波長之迴歸模式其複迴歸決定係數（R^2）值雖分別高達0.98、0.95以上。然爲增加迴歸模式之解釋能力，仍選用含六個波長的迴歸模式。至於灰分，則需選用七個波長方能有較滿意的結果。澱粉之檢量線由於複相關係數（R^2）值不高，雖選用七個波長仍無好的結果，此檢量線無法精確推估澱粉含量，僅能作澱粉估量概估用。其他成份之三條檢量線則可實際運用。惟應用表 2 所列之檢量線，會因近紅外線分析儀之機型、機齡不同及機器所在環境不同，在分析樣品成份時會有偏差（bias）產生，因此在利用時先做偏差校正即可。

表2. 用近紅外線分光儀測定四種甘藷塊根成份之迴歸方程式

Table 2. The regression equation of four constituents detormination in sweet potato tuber by NIRS

Constituent	F_0	F Value (wavelength, nm)			
Protein	5.78	−155.20(1,778) 324.74(2,310)	−64.44(2,139) −337.47(2,348)	1,637.88(2,180)	−824.79(2,208)
Soluble sugars	14.94	36,292.74(1,722) 3,757.29(2,270)	−40,210.64(1,734) −3,193.05(2,310)	3,201.88(1,778)	120.52(1,940)
Starch	92.52	1,494.10(1,940) 4,146.97(2,208)	−2,113.45(1,982) 2,047.02−(2,230)	1,026.68(2,100) −665.28(2,270)	−1,965.04(2,139)
Ash	−4.16	1,134.89(1,734) −480.35(2,180)	−1,935.32(1,759) −697.84(2,270)	905.09(1,818) −308.10(2,336)	44.12(1,940)

此外，以傳統化學分析法及表 3 之各成份檢量線分析20個甘藷塊根樣品各成份含量，並進行兩種分析法分析結果的比較。結果發現以兩種分析法在分析20個樣品所得成份平均值、標準偏差間之差異，除澱粉的標準偏差較大外，其餘差異不大，可見利用近紅外線光譜儀分析結果可靠，至於澱粉的標準偏差較大，顯示此成份檢量線分析結果較不精確。

表3. 甘藷塊根成份用近紅外線分析技術及傳統化學手工分析法測定之比較

Table 3. Comparison of the conventional chemical method and the NIRS for determination of sweet potato tuber constituents

Constituent	NIRS[z] (A)	Conventional method (B)[z]	Difference[y] (A−B)	Standard[x] (error)
Protein	3.397	3.678	0.055	0.258
Soluble sugars	12.679	12.834	0.154	0.683
Starch	68.801	68.747	−0.183	2.333
Ash	3.455	3.404	0.020	0.343

[z] Mean of twenty samples.

[y] Difference between means for conventional methods and NIRS values.

[x] The standard error of differences.

近紅外線分析技術具有諸多優點，不但快速、省工，且操作簡易，操作人員不需經特殊訓練即可運用，惟此一機器應用上仍有多項條件的限制，首先必須先建立良好的檢量線，此工作十分繁重，因近紅外線分析技術係一間接分析法，其精確度與可靠程度，需以傳統化學分析法爲基礎。所以若傳統化學分析法結果不夠精確，結果再現性變異高時，便無法以其製作優良之檢量線。爲提高傳統手工化學分析法之精確度，對每一樣品應重複分析，並剔除重複不良之樣品，以減少人爲誤差。再者，建立檢量線所用之材料若數目過少，則所建立之檢量線會因無法涵蓋該成份之變異範圍，而降低將來應用之價值與範圍，應多方蒐集不同期作、不同品種（系）或不同來源之各種材料。且並非所有化學成份均能製得優良之檢量線。仍有些化學成份可能因其對近紅外線有不同的吸收特性，而不易或無法製得優良的檢量線。如 Samson (1991) [7]曾以毛豆進行澱粉分析，其所得之檢量線有不錯之結果。然本試驗以甘藷所進行者之精確度卻較差，因此近紅外線分析技術的利用是否會因作物或分析方法不同而造成差異，仍有待進一步探討。再者，由於近外線分析技術對於樣品之前處理的一致性要求得高，而臺灣目前普遍所用之樣品多係經研磨之乾粉末，粉末之顆粒大小、均勻程度會影響樣品之吸光情況，對分析結果影響頗巨，因此樣品前處理應保持固定一致的方式，並盡量採用高速模粉機研磨樣品，原則上以研磨的愈細，干擾愈低，效果愈好。尤其欲直接利用本試驗建立之檢量線時，樣品前處理應盡可能與上述材料與方法之方式相同。

由於近紅外線分析技術具有上述優點，對於需大量分析樣品之研究機構相當有用，本分所自檢量線建立後，即開始利用它代替傳統化學分析法進行甘藷品系成份分析，節省不少人力、物力；由於目前甘藷育種對加工用品種需要迫切，尤其適製藷條之低可溶性醣含量品種，因此本分所嘗試利用可溶性醣之檢量線於雜交或多交雜種集團後代進行低可溶性醣材料篩選，並因此選出數個低可溶性糖含量之品系，其效率較傳統手工分析法宏大、迅速。至於對於鮮食品種之選育，則需待對食味與化學成份間之關係釐清、了解後，以其關係並配合所建立之檢量線，方能進一步加以利用，甚至仿水稻食味計建立方式，進一步開發甘藷食味計。

近紅外線分析技術在食品及農產品上的應用用範圍日益增廣，目前美國食品工業與飼料製造界之品管已逐漸採用此法，美國、加拿大均分別以此法作爲小麥蛋白質的標準分析法[2]，可見其爲一可接受之分析技術。因此若能善用此種分析技術，對本省作物品質育種計畫之實施將有很大之幫助。

誌 謝

本試驗蒙賴秋恩小姐協助化學分析與資料整理，謹此致謝。

引用文獻

1. 李　良、廖嘉信。1994。臺灣甘藷品種改良之成就與展望。根莖作物生產改進及加工利用研討會專刊。11-28頁。
2. 許駿發、袁守方。1984。農產品品質管理的儀器化、自動化與電腦化。I、應用近紅外線反射光譜分析儀測定穀物、奶粉、菸葉與茶葉之主要成份。行政院科技顧問組研究報告。1-43頁。
3. 三浦剛。1989。近紅外線分析儀在食品加工製造管理上之應用。食品資訊　48：17-24。
4. Association of official Analytical Chemist. 1984. Official methods of analysis. 14th edition. Washington, D. C., USA.
5. Hymow, A., W. F. McClure and W. W. Weeks. 1974. Estimations of protein and oil concent-ration in corn, soybean, and oat seed by near infrared light reflectance, Crop Sci. 14:731-743.
6. Iwamoto, M., N. Kongseree, J. Uozumi and T. Suzuki. 1986. Determination of ash content in homegrown wheat flour in Japan by near infared diffuse refectance analysis. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 33:842-847.
7. Tsou, Samson, C. S. and T. L. Hong. 1991. Compositional analysis of vegetable soybean by nera infrared reflectance spectroscopy, J. Chinese Agri. Chem. Soc. 29:26-32.
8. Williams, P. C. and B. N. Thompson. 1978. Influence of wholemeal of granularity on analysis of HRS wheat for protein and moisture by near infared reflectance spectroscopy. Cereal Chemistry 55: 1014-1037.
9. Williams, P. C. 1975. Application of near infared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grains and oilseed. Cereal Chemistry 51:561-576.
10. IDAS-pc User's reference manual. 1989. NC:α Bran & Lubbe, Washington, D. C., USA.
11. Yosihida, S., D. A. Foron, J. H. Cock and K. A. Gonez. 1972. Laboratory Manual for Phys-iological Studies of Rice. 2nd edition, International Rice Research Institute, Philippines.

Compositional Analysis of Sweet Potato Tuber by Near Infrared Reflectance Spectroscopy[1]

Yong-Pei Wu, Yung-Chang Lai, Hsin-Chen Lee and Yi-Sin Chen[2]

Summary

The analysis of sweet potato tuber compositions was carried out by the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). It was found that, except of starch, the contents of protein, soluble sugars and ash can be measured by the NIRS technique. The R2 values of predictions for these three compositions were all higher than 0.94. Also, the differences and the stand errors of measurements using the conventional chemical method and the NIRS were small in the twenty entries of this study. It indicated that the NIRS with the regression equations can be used as a mass screening tool for breeding programs.

Key words : Near Infrared reflectance spectroscopy, Sweet potato, Compositional analysis.

1. Contribution No. 1764 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research Assistant, Research Assistant, Research Assistant and Senior Agronomist, Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：15～25（1995）

氮肥用量對玉米農藝性狀組合力及雜種優勢表現之影響[1]

謝光照　何千里　盧煌勝[2]

摘要：本試驗以六個自交系及其十五個 F_1 雜交種爲材料，在不同氮肥等級（分爲60，120，180，240N kg/ha）下進行，目的在評估氮肥用量對玉米農藝性狀組合力及雜種優勢表現之影響。試驗結果如下：氮肥處理對各種性狀均未達顯著差異，可能係由於各基因型對氮肥之需求量不同，相互抵消所致。而各種性狀基因型間呈現極顯著之差異。同一氮肥用量下各種農藝性狀在自交系之一般組合力（GCA）效應有明顯差異；而不同氮肥用量間，大部份自交系之一般組合力及 F_1 雜交種之特定組合力呈現一致的效應。各性狀基因之顯性度，僅果穗比率及 TDN 易受氮肥用量改變外，其餘性狀不易受氮肥用量所影響，皆以超顯性爲主。每穗子粒數、百粒重及子粒產量則以高氮肥（120～240）下有較高之雜種優勢值（H_1）。

關鍵詞：玉米、氮肥用量、組合力、雜種優勢。

玉米屬 C_4 型植物，在氮素利用上被認爲具有較高效率。而作物乾物質生產爲生理作用之綜合表現，因此亦受氮素供應適當與否所直接影響，一般氮肥施用量增加，鮮草及乾物質產量隨之增加[8]；同時氮素對玉米子粒重的增加有著顯著的促進作用[20,21,22]。故一般在經濟栽培時，如欲獲得高子粒產量，常以提高氮肥供給量爲手段[6]。但玉米植株對氮肥累積的型式[19]、硝酸的吸收與利用效率[12]及最高子粒產量下之需肥量[16]常因基因型不同而有明顯差異。而這些性狀的表現受基因控制，根據學者研究指出玉米開花期、吐絲期、行數、每行粒數、百粒重及單株葉面積以累加性（additive）基因佔較大比例，其子粒產量的表現則以非累加性（non-additive）佔較重要[1,13]。

雜種優勢在玉米上的利用極爲重要且普遍，但環境因子如溫度、肥料及密度對雜種優勢的影響常被忽略，有報告指出在不良環境下會有較佳之雜種優勢值[3,23]。但另外學者則認爲在肥料供應充足及營養份適當環境中雜種優勢才可發揮其最大潛力[6,11]。究竟在何種氮肥用量之生長環境下，玉米雜種優勢才有最大的表現，是一個值得深討的問題。本試驗目的即在探討氮肥施用量對玉米青割、子粒產量及其他農藝性狀組合力及對雜種優勢表現之影響。

材料與方法

本試驗所使用的自交系代號、譜系、來源及粒型如表 1 所列。三個馬齒種及三個硬粒種之半互交

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1765 號。
2. 本所農藝系助理研究員、助理研究員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

的15個 F_1 及 6 個親本，在1991年 9 月19日播種於農試所試驗田。田間土壤之含氮量爲40 kg/ha。田間試驗採逢機完全區集之裂區設備，三區集，N 肥等級爲主區分爲60，120，180，240kg/ha四級，逢機排列於各區集內之主區，品系爲副區，逢機排列於副區。肥料分基肥及追肥兩次施用。基肥以臺肥39號複合肥料（N：P_2O_5：K_2O=12：18：12）每公頃施500kg，於播種前施入土內。其餘氮肥量以硫酸銨（N=21%）於齊膝期培土時施用。小區行長 4 公尺，行株距70×25公分，三行區。每穴兩粒播，出土 2 星期後間拔僅留一株，田間管理包括除草、中耕、培土及灌溉，均依照一般玉米栽培方法進行。各性狀之調查方法如下：

表1. 六個參試自交系之背景資料

Table 1. Backgrounds of the six inbred lines evaluated.

Code	Inbreds	Pedigree	Origin	Kernel type
A	Hi 25	(B14A x MV source) BC_4	Hawaii, USA	Dent
B	Hi 31	(B68 x MV source) BC_5	Hawaii, USA	Dent
C	Hi 33	(Mo17 x MV source) BC_5	Hawaii, USA	Dent
D	Antigua-D	Antigua	Caribbean	Flint
E	Sw 654	Suwan-1	Thailand	Flint
F	TA80-2598-44	(TA80-2598 x Suwan-1) BC_5	TARI, Taiwan	Flint

一、開花期（days to tasseling）：係指由播種日起至小區中50%植株達雄穗始花所需之日數，以日表示。

二、吐絲期(days to silking)：由播種日起至小區中50%植株雌穗開始吐絲所需之日數，以日表示。

三、葉面積（leaf area per plant）：於吐絲後一星期每小區的中間行逢機調查10株，由頂端下數第八片葉的長度與寬度的乘積，再乘以0.75及9.39所獲的 cm^2 數值之平均值[17]。

四、乾物重（dry weight）：於吐絲後35天，每小區取三株，在70°C下烘乾七天後，稱其乾重以 g 表示。

五、果穗比率（ear percentage）：上述取樣之植株及果穗分別烘乾，其中果穗佔整株乾物重之比率，以%表示。

六、總營養消化率（TDN%－total digestable nutrient percentage：青割玉米 TDN 測定比照日本 Pioneer Hybrid company[12]之下列公式計算之：

$$\frac{(\text{莖葉加苞葉乾重}\times 0.582)+(\text{穗乾重}\times 0.85)}{(\text{莖葉加苞葉乾重}+\text{穗乾重})}\times 100=\text{TDN}\%$$

七、每穗子粒數（kernel number per ear）：由上述 5 穗之每穗子粒數。

八、百粒重（100－kernel weight）：5 穗脫粒後，逢機取100粒種子之重量，以g 表示。

九、直線生長速率(LGR－linear grain filling rate)：由子粒充實期，每一取樣時期所測之子粒重，求直線充實期間，充實日數與子粒重迴歸方程式，其回歸係數即爲 LGR(mg/kernel-day)。

十、子粒產量（grain yield）：每小區採取中間一行之五株子粒產量之平均值，以 g／5 plant 爲單位。

試驗所得數據，先進行合併之變方分析及平均值顯著性測驗。再分別以 Griffing[10]模式 I 方法二進行全互交分析。同時估算各性狀在各種氮肥等級下之雜種優勢〔heterosis, $H_1=(F_1-\overline{MP})/\overline{MP}\times100$〕與純雜種優勢〔Heterobeltiosis, $H_2=(F_1-HP)/HP\times100$〕[9]。

結　果

本試驗所獲數據之變方分析列於表 2，顯示氮肥處理對所有性狀，均未達顯著差異，而基因型間在所有性狀皆達極顯著差異。調查性狀中，僅單株葉面積、子粒直線生長速率（LGR）、乾物重及子粒產量具有氮肥與基因型之交感作用。由表 3 之平均值，可看出所有性狀之氮肥施用量處理雖沒有顯著差異，但在單株葉面積呈現隨著氮肥施用量之增加而增加的趨勢。而子粒產量之表現，在氮素60～120kg/ha 之間效果較明顯，而當氮肥超過120kg/ha 時，則沒有效果。一般自交系比其 F_1 雜交種較晚開花及吐絲之現象，F_1雜交種中以 A×B，D×E，D×F 及 E×F 較晚開花及吐絲。單株葉面積在自交系中，則以 D 及 E 具有較大的葉面積，而雜交種中，也可看出親本爲 D 或 E 之一者，具有較大之葉面積。青割乾物重，自交系中以 D 及 E 較大；而雜交種中則以 B×D，C×D，D×E，D×F 及 E×F 等較重。果穗比率，自交系中以 A、C、F 較大；而雜交種則以 A×D，A×E，A×F 及 C×E 等較大。每穗子粒數，呈現自交系較 F_1 雜交種來得少，而雜交種中以 C×D，C×F，D×E，D×F 等每穗具有較多的子粒數。百粒重的小大呈現自交系較 F_1 雜交種小，而雜交種中以 A×E，B×E，C×E 三者較大。子粒直線生長速率，一般以自交系較 F_1 雜交種小，而 F_1 雜交種中，則以 A×D，A×E，A×F，B×E，C×F 較大。子粒產量在自交系間以 D 及 F 較大，而 B 呈現極低之子粒產量；F_1 雜交種中以 A×E，B×E，C×E，D×E，E×F 等較高產。綜合觀之，在自交系中，以硬粒種較馬齒種佳；而 F_1 雜交種中，以硬粒重×馬齒種及硬粒種×硬粒種之組合內，有較高青割乾物重及子粒產量之組合出現。

表2. 六個自交系及半全互交 F_1 雜交種在四種氮肥用量下之均方值

Table 2. Mean squares of six inbreds and their half-diallel hybrids evaluated at four nitrogen rates.

Source of Variation	Degree of freedom	Mean squares									
		Days to tsaaeling	Days ot silking	Leaf area per plant	Dry weight	Ear Percentage	TDN	Kernel number per ear	100-kernel weight	LGR	Grain yield
Block	2	4.19	1.03	939	1.18	29.4	2.36	818	1.42	1.31	127
N rate	3	1.38	5.86	767	0.44	26.7	1.36	326	1.72	2.55	54
Main plot error(Ea)	6	1.36	3.54	285	4.81	17.1	8.07	301	3.97	1.13	65
Genotype	20	138.83**	197.37**	9,405**	193.74**	108.5**	7.39**	6,805**	227.02**	19.64**	2,675**
N×Genotype	60	0.86	1.68	359**	5.36*	24.3	1.71	193	4.38	3.18**	41*
Error(Eb)	160	1.15	1.88	249	4.38	20.3	1.51	173	3.84	1.98	30

*, ** Significant at 5% and 1% level of probability, respectively.

表3. 不同氮肥等級與基因型之各種農藝性狀之平均值

Table 3. Means for agronomic characteristic of nitrogen rates and genotypes.

Source	Days to tasseling (day)	Days to silking (day)	Leaf area per plant (㎠)	Dry weight (g/3-plant)	Ear percentage (%)	TDN (%)	Kernel number per ear(No.)	100-kernel weight (g)	LGR (mg/kernel -day)	Grain yield (g/5 plant)
60	58.9	62.5	4,576	503	33.7	67.2	343	24.8	7.46	412
120	59.0	62.6	4,634	500	35.2	67.6	360	24.5	7.70	431
180	59.1	62.4	4,630	499	34.1	67.3	356	24.4	7.41	433
240	58.8	62.4	4,828	497	34.1	67.4	353	24.7	7.11	431
$LSD_{(0.05)}$	0.5	0.8	232	30	1.8	0.4	24	0.8	0.46	35
AA	59.8	65.7	3,183	272	38.0	68.4	211	20.7	7.31	182
AB	59.8	66.1	3,719	301	35.7	67.7	227	24.4	6.66	235
AC	54.5	58.5	4,714	450	35.1	67.5	364	23.3	7.10	381
AD	55.3	58.2	5,257	509	37.0	68.0	333	26.3	9.14	426
AE	55.8	57.5	5,428	570	38.7	68.6	393	32.2	9.06	607
AF	56.2	58.3	4,526	514	37.9	68.3	381	24.3	9.09	443
BB	65.8	69.8	3,476	336	29.9	66.2	202	21.9	6.25	179
BC	57.4	61.4	5,109	562	32.9	67.2	382	25.7	6.78	474
BD	58.8	63.1	5,794	624	34.0	67.3	396	27.8	8.57	562
BE	58.7	60.4	5,668	645	29.6	66.1	398	31.5	9.27	612
BF	57.4	59.4	4,921	564	33.0	67.0	384	27.0	7.50	505
CC	60.4	65.3	3,603	315	36.7	68.0	271	17.8	5.30	205
CD	55.8	59.3	5,100	623	32.7	67.0	460	23.1	7.26	526
CE	55.6	57.4	5,730	494	38.5	68.5	373	32.0	9.05	582
CF	55.8	58.8	4,445	500	35.1	67.5	416	22.4	6.44	495
DD	65.8	70.0	4,534	483	31.6	66.6	325	17.3	5.76	280
DE	59.6	63.6	5,559	689	30.9	66.4	453	24.3	6.62	548
DF	58.8	63.7	4,523	616	33.5	67.0	412	25.0	6.87	514
EE	63.3	65.8	4,762	514	30.3	66.5	362	23.5	6.34	426
EF	59.3	61.8	5,280	615	31.2	66.5	403	28.4	6.74	584
FF	64.1	67.9	2,677	299	36.9	68.1	272	17.4	5.39	220
$LSD_{(0.05)}$	0.8	1.1	403	57	3.6	1.0	33	1.6	1.13	48
$LSD_{(0.01)}$	1.1	1.4	532	75	4.8	1.3	44	2.1	1.50	63

基因型間在不同氮肥施用量下，其青割乾物重之表現趨勢並不相同，隨著氮肥施用量的增加而遞增的有 A×C，E×F 等組合。當氮肥施用量由60增加到180kg/ha 時達到最高點，然後呈現下降的組合有 A×A，A×B，A×D，A×E，B×D，B×E，C×C，C×F 等。當氮肥增加至120kg/ha 時，青割乾物重爲最大，然後呈下降現象的有 A×F，B×B，B×F，C×D，D×D 等基因型。而氮肥施用量由60至240kg/ha 之間，其青割乾物重呈現下降或持平的有 B×C，C×E，D×E，D×F，E×E 及 F×F 等組合。由此可看出基因型不同，達到最高乾物重之氮肥需求量亦有異(表 4)。

表4. 不同氮肥用量下各基因型之青割乾物重（吐絲後35天）及子粒產量（成熟期）之平均值

Table 4. Means for dry weight (35DAP) and grain yield (maturity) at various nitrogen rates.

Source	Dry weight (g/3-plant)				Grain yield (g/5-plant)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
AA	267	253	324	244	171	165	182	209
AB	302	285	333	284	213	225	272	230
AC	407	402	411	509	383	413	393	333
AD	486	542	543	465	406	433	452	413
AE	531	578	594	575	605	624	629	569
AF	540	561	411	544	438	499	384	451
BB	316	348	323	356	185	181	186	164
BC	607	559	514	568	484	488	438	488
BD	567	651	657	621	505	584	599	563
BE	603	680	683	614	534	616	619	681
BF	544	584	567	561	485	563	487	486
CC	294	287	399	282	208	170	226	218
CD	652	667	606	565	557	535	527	485
CE	534	449	478	516	582	590	595	562
CF	464	492	544	502	385	501	544	551
DD	454	484	457	536	261	285	262	313
DE	754	737	601	664	491	552	566	584
DF	644	612	627	581	495	485	540	537
EE	562	473	531	490	457	419	446	382
EF	617	595	592	658	542	502	597	634
FF	348	273	281	295	270	233	170	209
$\bar{X}$	503	500	499	497	412	431	429	431
$LSD_{(0.05)}$	11	12	11	11	8	10	10	11

子粒產量在不同氮肥用量下，基因型間之表現趨勢也有所不同。氮肥施用量由60至240kg/ha 之間，其子粒產量呈現增加的有 A×A，B×E，C×F，D×E，E×F 等組合。氮肥用量由60增至180 kg/ha 時達到最高產量，然後呈下降之趨勢的有 A×B，A×C，A×D，A×E，B×B，B×D，C ×E，D×F。氮肥施用量在120kg/ha 即達最高產量，隨後快速下降或持平的組合有 A×F 及B×F 。氮肥用量由60至240kg/ha 之間其子粒產量呈持平或下降者有 B×C，C×C，C×D，E×E 及 F× F 等基因型，由此可看出基因型不同，達到最高子粒產量之氮肥需求量也有所不同（表 4）。

不同氮肥用量下，各種農藝性狀組合力分析之均方值，如表 5 所示。可看出當氮肥由60至240kg /ha 間，開花期之一般組合力（GCA）及特殊組合力（SCA）均方均達極顯著，且其 GCA 均方與 SCA 均方比值接近於 1，表示開花期是由累加性與非累加性基因共同控制。吐絲期在不同氮肥處理間，其 GCA 及 SCA 均達極顯著，而其 GCA／SCA 比值除60氮肥接近 1 外，其餘小於 1，表示在 60kg/ha 下，GCA 與 SCA 同等重要，而在120至240kg/ha 氮肥時，控制吐絲期之基因成份以非累加性佔較大比例。單株葉面積之 GCA 及 SCA 均方均達極顯著，在60kg/ha 氮肥時之 GCA／SCA 比值接近 1，而在120至240kg/ha 間其比值均大於 1，顯然在較高氮肥下，其累加性佔較大比例。青割乾物重，其 GCA 及 SCA 均方在各種氮肥等級下均達極顯著，同時其 GCA／SCA 比值均大於 1 ，表示以累加性佔較大比例。果穗比率及 TDN，在四種氮肥處理下，顯示均以累加性均方佔較大比例。每穗子粒數之 GCA 及 SCA 均方均達極顯著，同時其 GCA／SCA 比值均大於 1，顯然也以累加性基因佔較大部份。百粒重，在四種氮肥等級下，其 GCA 及 SCA 均方均爲極顯著，在60及180 kg/ha 時之 GCA／SCA 比值大於 1，而在120及240kg/ha 氮肥時，其比值則接近 1。子粒直線生長速率（LGR）在不同氮肥處理下，組合力表現略不同，在60kg/ha 氮肥時僅 SCA 達極顯著且其 GCA 及 SCA 比值小於 1；120kg/ha 時 GCA 及 SCA 均方均達極顯著，其比值大於 1；氮肥爲180 kg/ha 下，其GCA 及 SCA 均達極顯著，由 GCA／SCA 比值近於 1，顯然由累加性與非累加性共同

控制；在氮肥爲240kg/ha 時，GCA 均方達顯著，而 SCA 均方亦達極顯著，GCA／SCA 比值小於1，顯然在氮肥爲240kg/ha 時以非累加性基因佔較大部份。成熟期子粒產量的表現，其 GCA 及 SCA 均方均達極顯著，顯然由非累加性及累加性共同控制子粒產量之表現，而在120氮肥時，則以非累加性基因佔較大部份。

表5. 六個自交系及其半全互交 F_1 雜種農藝性狀組合力分析之均方值

Table 5. Mean squares for combining ability of agronomic characteristic at six inbreds and their half-diallel hybrids.

Nitrogen rate	Source of variation	Df	Days to tasseling	Days to silking	Leaf area per plant	Dry weight	Ear percentage	TDN	Kernel number per ear	100-kernel weight	LGR	Grain yield
60	GCA	5	10.29**	14.54**	806**	296**	29.7**	1.82**	670**	25.0**	1.25	220**
	SCA	15	8.94**	15.39**	846**	137**	11.7*	0.78*	235**	16.4**	3.48**	174**
	Error	40	0.94	0.69	62	15	5.4	0.37	49	1.1	0.86	7
	GCA/SCA		1.15	0.94	0.95	2.16	2.54	2.33	2.85	1.52	0.36	1.26
120	GCA	5	11.03**	10.88**	956**	306**	30.7**	2.13**	957**	17.4**	1.83**	203**
	SCA	15	9.94**	20.06**	536**	179**	7.5	0.61	705**	18.2**	1.37**	257**
	Error	40	0.48	0.78	94	19	7.4	0.55	55	1.1	0.49	12
	GCA/SCA		1.11	0.54	1.78	1.71	4.09	3.49	1.36	0.95	1.33	0.79
180	GCA	5	12.95**	14.47**	1,813**	211**	16.9	1.19	874**	35.5**	2.04**	304**
	SCA	15	12.49**	18.68**	780**	122**	10.7	0.79	659**	20.7**	2.25**	225**
	Error	40	0.30	0.53	126	16	7.5	0.63	79	1.0	0.55	12
	GCA/SCA		1.03	0.77	2.32	1.73	1.58	1.51	1.32	1.71	0.91	1.35
240	GCA	5	12.90**	11.07**	1,595**	243**	40.1**	2.75**	914**	21.2**	2.00*	269**
	SCA	15	12.10**	18.64**	751**	139**	11.1*	0.75	521**	18.3**	3.53**	240**
	Error	40	0.20	0.50	64	15	5.6	0.45	53	1.9	0.72	15
	GCA/SCA		1.06	0.59	2.12	1.75	3.61	3.67	1.75	1.16	0.56	1.12

*,** Significant at 5% and 1% level of probability, respectively.

不同氮肥等級下，自交系各種農藝性狀之一般組合力（GCA）效應詳列於表 6。由表中可看出在各種氮肥等級下，開花期的 GCA 效應，A 及 C 爲負效應（早開花），其餘自交系爲正效應（晚開花）。吐絲期 A,C,E 呈負效應（早吐絲），B 及 D 爲正效應（晚吐絲），F 自交系在氮肥60及120 kg/ha 下爲負效應，而於高氮肥180及240kg/ha 下則表現出正的 GCA 效應。單株葉面積及青割乾物重，在 A,B,C,F 爲負效應，而 D 及 E 呈正效應。果穗比率及 TDN 兩性狀，自交系 B,D,E 爲負效應，而 A,C 爲正效應；自交系 F 在60至180kg/ha 爲正效應，但在240kg/ha 時則轉變爲負效應。每穗子粒數的表現，在自交系 A 及 B 爲負效應，而 C,D,E,F 等則爲正效應。百粒重方面，自交系 C, D 及 F 爲負效應，其餘自交系則爲正效應。LGR 的表現，A 及 E 爲正效應，而 C 及 F 爲負效應；B 自交系在低氮肥下60及120kg/ha 爲極低的負效應，在高肥下轉爲正效應；D 自交系僅氮肥爲120 kg/ha 時爲正效應，其餘氮肥處理下皆爲負效應。成熟期子粒產量，自交系 A,B 及 C 呈負效應，而 D,E,F 則爲正效應。綜合顯示，各種性狀在同一氮肥用量下，自交系間之 GCA 效應，有明顯差異存在；而在不同氮肥等級間各種性狀之表現，大部份自交系之GCA 效應呈現相一致的效應。大部份 F_1 雜交種之特定組合力效應（SCA），在不同氮肥用量，呈現一致之負效應（表省略）。

表6. 在不同氮肥用量下自交系各種農藝性狀一般組合力效應

Table 6. Genernal combining ability effect for agronomic characteristics at various nitrogen rates.

	Days to tasseling (day)				Days to silking (day)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
A	−1.43	−1.47	−1.00	−1.61	−0.98	−0.79	−0.90	−0.93
B	0.40	1.36	1.87	1.30	2.05	1.00	1.80	1.48
C	−1.39	−1.43	−1.75	−1.57	−1.32	−1.45	−1.56	−1.43
D	1.27	0.57	0.71	0.85	1.26	1.71	1.34	1.03
E	0.65	0.61	0.42	0.34	−0.65	−0.33	−0.82	−0.68
F	0.48	0.36	0.12	0.68	−0.36	−0.12	0.13	0.53
S.E. (gi-gj)	0.48	0.35	0.27	0.22	0.41	0.44	0.36	0.35
Source	Leaf area per plant (cm^2)				Dry weight (g/3plant)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
A	−224	−296	−416	−409	−81	−78	−69	−76
B	−168	−25	−53	−48	−33	−6	−11	−14
C	31	−68	−41	−122	−24	−45	−17	−31
D	432	297	298	382	61	84	57	61
E	341	576	755	667	80	60	65	66
F	−381	−434	−542	−469	−2	−14	−23	−5
S.E. (gi-gj)	124	154	178	126	19	22	20	20
	Ear percentage (%)				TDN (%)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
A	2.59	1.65	1.68	4.32	0.66	0.42	0.48	1.10
B	−1.86	−2.82	−1.52	−1.34	−0.54	−0.72	−0.36	−0.31
C	1.84	2.19	0.30	0.32	0.46	0.61	−0.11	0.18
D	−0.52	−0.86	−1.14	−1.83	−0.17	−0.28	−0.27	−0.49
E	−2.16	−1.29	−1.04	−0.73	−0.40	−0.32	−0.23	−0.24
F	0.12	1.12	1.71	−0.74	0.00	0.28	0.49	−0.24
S.E. (gi-gj)	1.16	1.36	1.37	1.19	0.30	0.37	0.39	0.23
	Kernel number per ear (No.)				100-kernel weight (g)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
A	−45	−46	−44	−38	0.08	0.10	0.00	−0.27
B	−22	−37	−32	−45	0.63	1.01	1.23	1.18
C	3	8	7	13	−0.71	−1.17	−1.13	−1.96
D	19	36	33	27	−1.57	−1.19	−1.73	−0.96
E	32	31	34	35	3.13	2.39	3.56	2.58
F	14	8	2	9	−1.57	−1.14	−1.93	−0.55
S.E. (gi-gj)	11	12	14	11	0.53	0.52	0.49	0.68
	LGR (mg/kernel-day)				Grain yield (g/5 plant)			
	60	120	180	240	60	120	180	240
A	0.57	0.27	0.72	0.85	−59.8	−62.6	−73.8	−75.2
B	−0.06	−0.08	0.27	0.11	−34.2	−22.9	−37.2	−30.1
C	−0.34	−0.54	−0.40	−0.49	−15.0	−19.2	−19.4	−20.8
D	−0.32	0.54	−0.53	−0.11	13.7	17.2	28.0	23.0
E	0.40	0.38	0.31	0.13	92.7	87.5	121.7	96.3
F	−0.26	−0.58	−0.37	−0.49	2.6	0.5	6.7	6.8
S.E. (gi-gj)	0.46	0.35	0.37	0.42	13.4	17.5	18.0	19.4

性狀遺傳基因之成份，主要分爲累加及非累加性兩部份，本試驗所調查的性狀中，除果穗比率及TDN 兩項之 SCA 在氮肥用量爲120，180，240kg/ha下不顯著外，其餘性狀在各種氮肥等級下，皆達極顯著。而基因顯性程度可分爲超顯性、顯性、部份顯性等。性狀的非累加性基因部份在各種氮肥等級下，是以何種顯性程度之基因佔優勢，由表 7 可看出開花期及吐絲期之雜種優勢及純雜種優勢在各種氮肥用量下均爲負值(生長速快)，表示以超顯性基因爲主，且呈現提早開花及吐絲之效應。果穗比率在120kg/ha氮肥時爲超顯性，其餘氮肥等級下皆爲部份顯性爲主。TDN 的表現在60及120kg/ha氮肥時爲超顯性，而在180及240kg/ha氮肥時則轉變爲部份顯性。單株葉面積、青割乾物重、每穗子粒數、百粒數、子粒直線生長速率及子粒產量等性狀，在各種氮肥等級下皆爲正的雜種優勢(H_1)及純雜種優勢估值（H_2），顯然是由超顯性基因所控制，且呈現增加之效應。

表7. 不同氮肥用量下各種農藝性狀之雜種優勢(H_1%)[z] 及純雜種優勢(H_2%)[y]

Table 7. Heterosis (H_1%)[z] and Heterobeltiosis (H_2%)[y] for agronomic characteristics at four nitrogen rates.

Nitrogen rate	Days to tasseling	Days to silking	Leaf area per plant	Dry weight	Ear percentage	TDN	Kernel number per ear	100-kernel weight	LGR (mg/kernel)	Grain yield
					H_1[z]					
60	−9.14	−9.13	49.3	52.9	2.83	−0.002	24.8	30.5	37.3	87.8
120	−8.92	−11.03	30.0	60.7	−6.80	−1.089	49.7	34.5	17.8	111.6
180	−9.58	−10.69	43.0	46.4	5.56	0.660	53.4	35.7	21.9	113.7
240	−9.76	−10.32	33.0	55.7	9.50	1.076	43.7	35.1	52.2	108.4
LSD(0.05)	0.77	1.65	17.8	11.9	13.80	1.888	25.4	4.7	31.4	23.8
					H_2[y]					
60	−11.54	−11.32	33.56	28.3	−6.18	−1.282	12.4	20.0	20.3	52.2
120	−11.66	−12.46	15.84	37.3	−15.00	−2.129	27.9	25.5	5.5	82.0
180	−11.84	−12.78	20.38	22.5	−4.97	−0.753	32.6	23.6	6.3	73.6
240	−12.10	−12.17	15.26	29.5	−0.21	−0.027	23.2	23.9	36.6	73.9
LSD(0.05)	0.48	1.25	17.02	12.1	12.34	1.771	17.2	4.6	29.2	25.5

[z] $H_1=\frac{F_1-\overline{MP}}{\overline{MP}}\times 100$ [y] $H_2=\frac{F_1-\overline{HP}}{\overline{HP}}\times 100$

大部份性狀之雜種優勢估值（H_1），在不同氮肥用量間未能表現較一致之趨勢，但可看出所調查的性狀中，每穗子粒數、百粒重及子粒產量均以高氮肥（120-240kg/ha）下具有較高的雜種優勢值（表 7）。

討 論

氮素爲構成植物蛋白質與葉綠素的主要成份，與各項生理活性、子粒重及子粒產量，乃至於乾物質產量的表現有密切關係，故氮肥施用量的多少，會影響農藝性狀的表現，本試驗所使用的氮肥用量分60，120，180，240N-kg/ha四種，試驗結果顯示各性狀之氮肥處理效果未達顯著差異，可能所使用之基因型有21個，而不同基因型對氮肥的吸收與利用效率有明顯差異[8,13]及各基因型在最高子粒產量下之需肥量不同[19]造成互相抵消，再者可能由裂區設計主區效應減低，以致未見氮肥之處理效果。但在60與120氮肥之間，子粒產量的表現乃可看出氮肥有促進作用。一般氮肥與玉米子粒產量之關係，學者認爲當土壤氮肥由零漸漸增加至某一定量時，其子粒產量隨著施肥量的增加而升高，但超過

某一範圍則不再增加，反而有下降趨勢[4,5,7,18]；同時基因型不同達到最高子粒產量的需肥量也有所不同[16]，本試驗之結果顯示不同基因型間，青割乾物重及子粒產量之需肥量有所差異，有的基因型在60至240N-kg/ha之間其產量之反應呈直線增加之趨勢；有的在120或180N-kg/ha即已達最高點，然後隨著氮肥施用量的增加而下降；有的基因型對氮之需求量在60～240N-kg/ha間呈現持平或下降之反應趨勢，與 Smicklas and Below[19]及Moll *et al.*[16]之結果相符合。而各基因型在同一氮肥用量下之子粒產量的表現也有所差異，可能與基因型間氮肥、乾物重及子粒產量等之累積型式及利用效率不同有關[8,13]。

通常玉米子粒產量受積儲、供源、氮素分配等多種因子所影響，一般積儲的大小受每穗子粒數、子粒大小及每株穗數所構成；供源的大小由單株葉面積及光合作用活性所構成，因此供源與積儲的大小對子粒產量影響很大[4,14]，而這些性狀係基因控制，由 GCA／SCA 均方比值，可知單株葉面積、百粒重、每穗子粒數以 GCA 均方佔較大比例，而子粒產量表現則以 SCA 均方佔較重要[1,13]，而這些性狀遺傳組成分，即累加性與非累加性之比例，是否會因氮肥用量的不同，而改變其重要性。本試驗顯示不同氮肥用量下，各種農藝性狀組合力分析之結果，可看出吐絲期、單株葉面積、百粒重、直線生長速率及子粒產量等性狀之 GCA／SCA 比值，易受氮肥用量改變其比值；然而開花期、青割乾物重、果穗比率、TDN、每穗子粒數等則較不易受氮肥用量而有所改變。其中自交系之一般組合力效應，在不同氮肥用量間，大部份自交系呈相當一致的正負效應，顯示一般組合力效應不易因氮肥用量之不同而大幅改變其效應值。各種性狀之非累加性基因之表現，即雜種優勢值（H_1）在不同氮肥用量間亦有差異，與許多學者[3,6,11,23]指出雜種優勢的表現潛力常因環境因子而改變之結果相符合。本試驗於不同氮肥用量處理下，大部份農藝性狀之雜種優勢值並未隨氮肥之施用量而呈現一致之趨勢，但仍可看出每穗子粒數、百粒重及子粒產量等性狀，在氮素60至180kg/ha時其雜種優勢值（H_1）呈現增加趨勢，但當氮肥施用量達240kg/ha時，則其雜種優勢值稍微下降，與黃等[2]指出玉米子實重在氮素160kg/ha比240kg/ha下具有較高之雜種優勢值相類似。可能由於部份氮肥流失，致使本試驗所使用的六個自交系所得的 F_1 雜交種之每穗子粒數、百粒重及子粒產量之雜種優勢的表現，在較高氮肥用量下（如120～240 kg/ha）呈現較大，這與 Burkholder and McVeigh[6]所提的結論相符合，彼等認爲在營養份充分供給時，雜種優勢表現呈增加現象。而氮肥用量對雜種優勢之影響，可能因性狀而異。

控制各項農藝性狀表現之基因，其顯性度的大小當因性狀之不同，其受氮肥用量之影響程度略有不同，本試驗所調查的性狀中，僅果穗比率、及總營養消化率（TDN）之顯性度較易受氮肥用量所影響，而開花期、吐絲期、單株葉面積、青割乾物重、每穗子粒數、百粒重、子粒直線生長速率及子粒產量等性狀在不同氮肥用量下皆爲超顯性，顯然此等性狀較不易受氮肥用量而大幅影響其顯性度。

綜合上述之結果，顯示各性狀在氮肥用量間之平均表現趨勢不明顯，可能由於土壤內每公頃已具有 40kg 氮素及不同基因型需肥量之不同而相互抵消所致，但由此次之結果仍可看出，大部份性狀由累加性及非累加性基因共同控制，且均以累加性基因佔較大部份。其中自交系之一般組合力效應較不易受氮肥用量而大幅改變效應值。而每穗子粒數、百粒重及子粒產量之雜種優勢值在某一氮肥用量內有隨著用量之增加而遞增之趨勢。各項性狀基因顯性度的表現除果穗比率及總營養消化率(TDN)易受氮肥用量而大幅改變其顯性度外，大部份性狀在不同氮肥用量下皆相當一致，呈現超顯性。

引用文獻

1. 呂宗佳、謝光照、何千里、莊周瑞。1986。馬齒種及硬粒種玉米自交系雜種優勢及組合力之全互交分析。中華農業研究 35：145-164。

2. 黃懿秦、彭雲明、曾美倉。1991。氮肥用量與栽培密度對玉米雜種優勢的影響。中華農藝 1：115-130。

3. Allard, R. W., and A. D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype-environment interaction in applied plant breeding. Crop Sci. 4 : 503-508.
4. Balko, L. G., and W. A. Russell. 1980. Response of maize inbred lines to N fertilization. Agron. J. 72 : 723-728.
5. Bundy, L. G., and P. R. Carter. 1988. Corn hybrid response to nitrogen fertilization in the northern corn belt. Prod. Agric. 1 : 99-1044.
6. Burkholder, P. R., and I. McVeigh. 1940. Growth and differentiation of maize in relation to nirogen supply. Am. J. Bot. 27 : 414-424.
7. Carlone, M. R., and W. A. Russell. 1987. Response to plant densites and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. Crop Sci. 27 : 465-570.
8. Chevalier, P., and L. E. Schrader, 1977. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. Crop Sci. 17 : 987-901.
9. Frankel, R. 1983. Monographs on theoretical and applied genetics, Vol.6 Heterosis. Springer-Verlag Berlin Heideberg.
10. Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian J. Boil. Sci. 9 : 463-493.
11. Griffing, B., and E. Zsiros. 1971. Heterosis associated with genotype-environment interaction. Genetics. 68 : 443-455.
12. Japan pioneer hybrid Co. Ltd. 1986. Handbook for field experiment. The Company, Tokyo.
13. Katsantonis, N., A. Gagianas, and N. Fotiadis. 1988. Genetic control of nitrogen uptake, reduction and partitioning in maize (*Zea mays* L.) . Maydica 33 : 99-108.
14. Lemcoff, J. H., and R. S. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. Crop Sci. 26 : 1017-1022.
15. Lian, S. 1986. Characteristics of corn production in the drained paddies and their fertility managements in Taiwan. Soils and Fertilizers in Taiwan 1986 : 65-92.
16. Moll, R. H., E. J. Kamprath, and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factor which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74 : 562-564.
17. Pearce, R. B., J. J. Mock, and T. B. Bailey. 1975. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. Crop Sci. 15 : 691-694.
18. Rending, V. V., and F. E. Broadbent. 1979. Protein and Amino acid in grain of maize growth with various levels of applied N. Agron. J. 71 : 509-512.
19. Smicklas, K. D., and F. E. Below. 1991. Influence of heterotic pattern on nitrogen use and yield of maize. Maydica 35 : 209-213.
20. Tsai, C. L., I. Dweikat, and C. Y. Tsai. 1991. Effect of source supply and sink demamd on the carbon and nitrogen ratio in maize kernels. Maydica 35 : 391-397.
21. Tsai, C. Y., D. M. Huber, and H. L. Warren. 1978. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. Crop Sci. 18 : 399-404.
22. Tsai, C. Y., D. M. Huber, and H. L. Warren. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sink in maize. Plant Physiol.60 : 330-333.
23. Ulger, A. C., and H. C. Becker. 1989. Influence of year and nitrogen treatment on the degree of heterosis in maize. Maydica 34 : 163-170.

The Effect of Nitrogen Rate on the Conbining Ability and Heterosis in Maize Traits[1]

Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung-Shung Lu[2]

Summary

This experiment was conducted to evaluate the effect of nitrogen on the performances of combining ability and heterosis of agronomic characteristics in maize using a six-parent half diallel cross as experimental materials under four nitrogen levels (60, 120, 180, and 240 N kg/ha) . The results of ANOVA showed that the effect of nitrogen on the performances of agronomic characteristics were nonsignificant, and however, the effect of genotypes were significant, respectively. This nitrogen-offsetted situation might be due largely to the different needs of various genotypes. The tendencies of general combining abilities (GCA) of agronomic characteristics under the same nitrogen level were significant different. However, there were consistent tendencies in specific combining abilities (SCA) and GCA for most of inbreds under various nitrogen levels. The degree of dominance estimated was overdominance for the agronomic characteristics evaluated and was not affected by nitrogen amount used with a exception of ear percentage. In general, the kernel number/ear,100-kernel weight, and grain yield/5 plant showed a high heterosis (H_1) at higher nitrogen rate (120 to 240 N kg/ha) .

Key words : Maize, Nitrogen rate, Combining ability, Heterosis.

1. Contribution No. 1765 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant Agronomist, Assistant Agronomist and Senior Agronomist, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 44(1)：26～36 (1995)

栽培密度對玉米生育及產量之影響

I. 營養生長期[1]

魏夢麗[2] 陳烈夫[3] 姜義展[2] 劉大江[2]

摘要：玉米吐絲前的營養生長可能影響子粒產量表現，本試驗以玉米品種臺農一號爲材料，調查營養生長期間植株物質與氮素的累積與分配性狀，同時探討栽培密度的作用，以對其產量生理有進一步的瞭解。於 1991 及 1992 年秋作進行試驗，行距均爲 75 cm，1991 年採用株距 11、22 及 44cm 三種處理，1992年採用11與22cm 兩種株距，又於雄穗分化始期將部份植株株距自 11 cm 間拔爲 22 cm；在播種至吐絲期間連續取樣，分析不同器官之乾物質與氮素累積性狀。自第十二葉齡以後，栽培密度對臺農一號單株乾物質及氮素累積能力的影響方較明顯，葉片乾物質與氮素含量佔全株總量的比值快速下降，而莖稈乾物質與氮素含量佔全株總量的比值相對快速升高。玉米植株在第十二葉期至吐絲期約一個月生育期間，具有極旺盛的同化作用，植株所累積的乾物質量佔吐絲期總乾物量的 80～92 %，所累積的氮素量佔吐絲期總含氮量的 69～85 %，於密度處理間比較，則以最密植處理之比值較低。玉米植株自播種至吐絲期，生長速率持續上升，尤以吐絲前約二週之速率最高，乾物質累積速率最高可達389 kg/ha. day，氮素累積速率最高達 6.4 kg/ha. day，隨株距之增加而顯著降低。在營養生長全期，乾物質累積速率與氮素累積速率的比值有逐漸上升的趨勢，但在栽培密度處理間則多無顯著差異，顯示以單位氮素爲基準的乾物質累積速率，在不同生育階段雖然有異，但在本試驗栽培密度條件下，並不受環境因子的環境。

關鍵詞：玉米、栽培密度、營養生長、乾物質累積、氮素累積。

作物的營養生長與產量有密切的關係，就玉米而言，在吐絲以前的生長以葉片與莖稈爲主，其中建立葉面積的速率[7]與葉片生產乾物質的效率[12,19]是同化作用的基礎與決定吐絲期乾物質產量的必要條件，而莖稈則具有支持與貯藏等功能，所蓄積的養分對於果穗的分化、形成及子粒充實均具有相當的重要性[5,15,16]。

玉米在營養生長初期累積乾物質的速率緩慢，主要受限於葉面積指數，但在雄穗開始分化以後，生長速率逐漸增高，Williams et al.[22]以高密度栽培玉米，發現在雄穗抽出前12日的作物生長速率 (crop growth rate)可高達 520 kg/ha. day，顯示具有極高的乾物質生產能力。一般而言，玉米在吐絲期的乾物質累積量僅爲成熟期間最終乾物量之 40～50 %[21]，但對產量表現仍可能具有重要意義；Edmeades and Daynard[8]認爲如果玉米植株的營養生長旺盛，在吐絲期具有較高的葉面積指數與光合作用能力，則對提高每穗子粒數目具有助益。Hawkins and Cooper[11] 也指出玉米在雄穗分化

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1766 號。
2. 本所農藝系助理、約僱技術員及研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
3. 本所農場管理室助理。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

始期（tassel initiation）至吐絲期之間的全株生長速率，可經由影響每穗粒數而作用於子粒產量。此外，莖稈內預貯性碳水化合物對於提高穎花稔實率[15]及子粒充實後期的養份供應[9]，也有很高的重要性。

玉米葉片與莖稈貯存礦物元素的功能早經確認，Hanway[10]指出吐絲期營養器官內的氮素與鉀素累積量可高達成熟期總累積量約70%左右，Schrader[14]也報告多數玉米品種吸收與同化氮素的主要時期爲吐絲以前的營養生長階段，最高可達總量的80%以上，這些養分於吐絲後會大量被轉移至發育中的子粒。玉米植株在營養生長期間累積氮素的速率，與乾物質累積速率之間有密切的關係[13]，因此如何選擇適宜的肥培管理技術，提高氮肥施用效率，增進營養生長，進而提高產量，也是在玉米生產方面受到重視的課題[6]。

以往有關玉米產量生理的研究，多半偏重吐絲後子粒充實期間的表現，吐絲前營養生長全期方面的試驗資料較少，國內相關的研究尤爲缺乏。本研究採用目前主要玉米栽培品種臺農一號爲材料，施以栽培密度處理，於營養生長及子粒充實期間連續取樣，詳細調查乾物質與氮素累積性狀，解析產量表現，所得結果或可供爲改進栽培技術的參考資料，以有助於發展完整的玉米綜合經營管理策略。本文內容以吐絲期以前的營養生長階段爲主，子粒充實期的試驗結果將另文報告。

材料與方法

以單雜交玉米品種臺農一號爲試驗材料，於 1991 及 1992 年秋作在臺灣省農業試驗所農場進行田間試驗，兩年之播種日期分別爲9月20日與9月21日；試區前作均爲水稻，土壤爲坋質壤土，1992年試驗進行前分析土壤 pH 值爲 5.8，有機質含量爲 2.0 %，CEC 爲 9.7 meq/100g，有效性磷與有效性鉀之濃度分別爲 28 與 133 ppm，銨態氮及硝酸態氮濃度分別爲 17.9 與 22.2 ppm。

試驗係採用栽培密度爲處理，行距均爲 75 cm。1991年試驗之株距分爲三種，即 11、22 與 44 cm，合每公頃 121,212、60,606 與 30,303 株。1992年試驗之株距分爲 11 與 22 cm 兩種，部份株距爲 11 cm小區之植株在播種後30日玉米生育至第九葉期，即相當於雄穗分化始期[1]予以間拔，使株距爲 22 cm。試驗採用逢機完全區集設計，小區爲 8 行區，行長 8 m，重複 4 次。施用氮素量均爲 200 kg/ha，P_2O_5 用量爲 90 kg/ha，K_2O 用量爲 100 kg/ha，肥料施用方法及田間栽培管理與王等[2]之方法相同。

於植株生育至第四、八、十二與十五葉齡及吐絲期時，分別進行取樣，每次自每一小區逢機選取8～12 株爲樣品，區分爲葉片與莖稈，吐絲期之莖稈並包含果穗部位。樣品於送風乾燥箱中以 80°C連續烘乾 72～96 小時，秤量乾物量，隨後經40目篩（mesh）磨粉，以 semi-micro Kjeldahl 方法測定氮素濃度，以氮素濃度及乾物重之乘積估算氮素累積量，並計算各生育階段之乾物質與氮素累積速率。

試驗所得各項資料均經變方分析，並以 Duncan's New Multiple Range Test 分析處理間之差異顯著性。

結　果

1991 年試驗係採用 11、22 與 44 cm之株距播種，臺農一號玉米植株在生育至第八葉期時，葉片、莖稈及全株乾重於處理間均無顯著差異；第十二葉期時，最疏植（株距 44 cm）處理之乾重則較其他兩個密植處理爲高，但其後株距 22cm 處理植株乾物重增加迅速，至十五葉期與吐絲期時，與最疏植處理間已無差異，但均顯著高於最密植（株距 11 cm）處理（表1）。

1992 年試驗係採用 11 及 22 cm 兩種株距播種，在植株生育至雄穗分化始期前後，將部份 11 cm 株距之小區間拔，增大株距至 22 cm，合計亦爲三種處理。調查本年度試驗中栽培密度對植株各部位

乾物質累積性狀的影響（表1），其結果與 1991 年試驗相似，在第八葉期以前並未顯示處理效應，第十二葉期至吐絲期之間各次取樣則以疏植（株距 22 cm）處理較高。於雄穗分化始期進行間拔之處理，植株乾物質累積量在第十二葉期時與其他兩種處理並無顯著差異，但其後則呈現高於密植但低於疏植處理之趨勢（表1）。

表 1. 栽培密度對玉米臺農1號植株營養生長期乾物質累積（g/plant）的影響（1991與1992年秋作）

Table 1. Plant-spacing effect on the dry weight (g/plant) of hybrid corn Tainung No. 1 at different stages of vegetative growth (fall crops of 1991 and 1992)

Plant part	Within-row spacing[z] (cm)	Growth stage				
		4th leaf	8th leaf	12th leaf	15th leaf	Silking
		1991				
Leaf blade	11—11	0.10 a[y]	1.56 a	6.08 b	17.72 b	27.14 b
	22—22	0.13 a	1.64 a	5.99 b	22.21 a	34.21 a
	44—44	0.10 a	1.53 a	6.99 a	21.40 a	36.52 a
Stalk[x]	11—11	0.05 a	0.53 a	3.00 b	12.01 b	47.87 b
	22—22	0.06 a	0.61 a	2.78 b	14.92 a	60.44 a
	44—44	0.05 a	0.60 a	3.73 a	14.35 a	63.58 a
Whole plant	11—11	0.15 a	2.09 a	9.09 b	29.72 b	81.11 b
	22—22	0.19 a	2.24 a	8.78 b	37.12 a	104.57 a
	44—44	0.15 a	2.13 a	10.72 a	35.75 a	116.12 a
		1992				
Leaf blade	11—11	0.36 a	3.76 a	8.48 b	16.81 c	22.37 c
	11—22	(0.36)	(3.76)	9.66 b	20.10 b	28.84 b
	22—22	0.41 a	4.52 a	10.62 a	24.89 a	34.78 a
Stalk[x]	11—11	0.15 a	2.08 a	4.37 a	14.62 c	42.25 c
	11—22	(0.15)	(2.08)	5.21 a	17.30 b	60.14 b
	22—22	0.17 a	2.44 a	5.07 a	27.86 a	72.23 a
Whole plant	11—11	0.52 a	5.84 a	12.85 b	31.43 c	64.62 c
	11—22	(0.52)	(5.84)	14.87 ab	37.40 b	88.98 b
	22—22	0.57 a	6.96 a	15.69 a	52.75 a	107.01 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

表 1 資料同時顯示，臺農一號玉米植株於吐絲期之單株總乾物質累積量，1991 年試驗株距 11、22 及 44 cm 三個處理分別爲 81.1、104.6 及 116.1g，隨栽培密度之降低而升高。1992 年試驗之數值則較 1991 年結果爲低，株距 11 cm 處理爲每株 64.6 g，株距 22 cm 處理爲每株 107.0 g；至於雄穗分化始期行間拔處理之植株，在吐絲期之全株乾物重爲 89.0 g，介於其他兩處理之間，且差異均達顯著水準。

在播種後的生育初期，玉米植株累積之氮素量甚微，1991 年試驗第四葉期時不超過每株 10 mg

，第八葉期時亦不過每株 100 mg 左右，於三個處理間均無顯著差異（表2）。第十二葉期之葉片、莖稈及全株氮素累積量以最疏植處理較高，第十五葉期以最密植處理較低，吐絲期之每株氮素累積總量則明顯受到栽培密度處理之影響，株距 11、22 與 44 cm三個處理分別爲 1,671、2,278 及 2,613 mg，差異均達顯著水準（表2）。

表 2. 栽培密度對玉米臺農 1 號植株營養生長期氮素累積（mg/plant）的影響（1991與1992年秋作）

Table 2. Plant-spacing effect on the N accumulation (mg/plant) of hybrid corn Tainung No. 1 at different stages of vegetative growth (fall crops of 1991 and 1992)

Plant part	Within-row spacing[z] (cm)	Growth stage				
		4th leaf	8th leaf	12th leaf	15th leaf	Silking
		1991				
Leaf blade	11—11	5.1 a[y]	75.0 a	235.8 b	558.7 b	979.8 b
	22—22	6.7 a	77.4 a	241.8 b	749.6 a	1,266.6 a
	44—44	5.1 a	72.3 a	278.7 a	726.2 a	1,385.2 a
Stalk[x]	11—11	2.0 a	24.3 a	103.6 b	272.3 b	691.1 c
	22—22	2.5 a	28.6 a	102.9 b	361.9 a	1,011.1 b
	44—44	2.0 a	28.6 a	128.0 a	366.6 a	1,228.1 a
Whole plant	11—11	7.1 a	99.3 a	339.4 b	831.0 b	1,670.9 c
	22—22	9.2 a	106.0 a	344.7 b	1,111.5 a	2,277.7 b
	44—44	7.1 a	100.9 a	406.7 a	1,092.8 a	2,613.3 a
		1992				
Leaf blade	11—11	18.4 a	123.2 b	257.5 c	498.2 c	796.3 c
	11—22	(18.4)	(123.2)	304.8 b	604.3 b	978.5 b
	22—22	20.6 a	156.4 a	347.2 a	798.3 a	1,153.4 a
Stalk[x]	11—11	6.3 a	62.1 a	114.4 b	191.5 b	404.7 c
	11—22	(6.3)	(62.1)	136.1 a	315.5 a	716.9 b
	22—22	6.9 a	64.9 a	144.8 a	364.0 a	825.4 a
Whole plant	11—11	24.7 a	185.3 b	371.9 c	689.7 c	1,201.0 c
	11—22	(24.7)	(185.3)	440.9 b	919.8 b	1,695.4 b
	22—22	27.5 a	221.3 a	492.0 a	1,162.3 a	1,978.8 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

1992 年試驗所栽培的玉米植株，在第四及第八葉期累積的氮素量有較 1991 年試驗結果爲高的趨勢，但吐絲期的氮素含量反較 1991 年結果爲低（表2）。1992年試驗中第八葉期時疏植處理單株葉片與全株氮素累積量均以疏植處理（株距 22 cm）較高，莖稈之氮素含量在處理間則無差異。第十二葉期以後，大致呈現疏植植株含有較多量氮素的趨勢，而雄穗分化始期行間拔處理植株之氮素累積量，則多介於疏、密植兩項處理之間。吐絲期株距 11 與 22cm 植株氮素總含量分別爲 1,201 與 1,979 mg /plant，低於 1991 年試驗所得結果，而間拔處理爲 1,695 mg/plant（表2）。

將玉米植株營養生育粗分爲兩個階段，其一爲播種至第十二葉期，其二爲第十二葉期至吐絲期，兩個階段之生育日數雖因年度而略有不同，但仍極爲接近，在 1991 與 1992 年前者分別爲 35 與 38 日，後者爲 28 與 27 日。玉米植株在第一階段的生育較爲緩慢，所累積之乾物質與氮素量較爲有限，但自第十二葉期以後所記錄之生長則極爲迅速。由表3資料得知於第二生育階段所累積的乾物量與吐絲期總乾物量的比值，以葉片部位較低，但亦在 62～83 %之間以上，1991 年試驗於處理間沒有顯著差異，且其數值高於 1992 年試驗的比值。同一生育階段莖稈部位累積的乾物量最爲明顯，佔吐絲期莖稈乾物量的 90 %以上，最高可達 95 %，兩個年度之間的表現較爲相近，未顯示處理效應。就全株而言，雖然第二生育階段的持續日數較第一生育階段爲少，但卻可累積超過吐絲期總乾物質量的 80 %以上，除 1992 年試驗株距 11 cm 處理的比值低於株距 22 cm 處理外，其他均無顯著差異存在(表3)。

表 3. 玉米臺農1號植株於第十二葉期至吐絲期間乾物質及氮素累積量與吐絲期總含量之比值 (%)
(1991與1992年秋作)

Table 3. Ratios (%) of the amounts of dry matter and N accumulated between the 12th leaf stage and silking to the amounts of dry matter and N accumulated at silking stage for hybrid cornd Tainung No.1 under different planting densities (fall crops of 1991 and 1992)

Item	Within-row spacing[z] (cm)	Plant part		
		Leaf blade	Stalk	Whole plant
		1991		
Dry matter	11—11	77.6 a[y]	93.7 a	88.8 a
	22—22	82.5 a	95.4 a	91.6 a
	44—44	80.9 a	94.1 a	90.8 a
Nitrogen	11—11	75.9 b	85.0 b	79.7 b
	22—22	80.9 a	89.8 a	84.9 a
	44—44	79.9 a	89.6 a	84.4 a
		1992		
Dry matter	11—11	62.1 b	89.7 a	80.1 b
	11—22	66.5 ab	91.3 a	83.3 ab
	22—22	69.5 a	93.0 a	85.3 a
Nitrogen	11—11	67.7 a	71.7 b	69.0 b
	11—22	68.9 a	81.0 a	74.0 a
	22—22	69.9 a	82.5 a	75.1 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.
[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

在第十二葉期至吐絲期之第二生育階段期間，玉米植株亦可吸收大量氮素，佔吐絲期總含量的 75 %以上。就各器官而言，1991 年試驗葉片所累積的氮素量佔吐絲期葉片氮素總含量的 77.6～82.5 %，處理間無差異；1992 年試驗的比值較低，爲 62.1～69.5 %，密植處理並有偏低的趨勢 (表3) 。在莖稈方面，第二生育階段累積氮素量佔吐絲期含氮量的比值則較葉片部位更高，各處理於兩個年度分別介於 85.0～89.8 %及 71.7～82.5 %之間，以 1992 年之數值較低，除了株距 11 cm處理的比值較低外，其他處理間的差異均不顯著 (表3) 。

臺農一號玉米植株在播種後生育初期的生長較爲緩慢，自第十二葉期以後的生長則較爲快速，此一現象可由表4及表5資料予以更詳細說明。表4資料顯示，1991 年試驗過程中，玉米的作物生長速率隨植株生育期之延伸而明顯提高，而且受到栽培密度極顯著的影響。就每日每公頃的乾物質累積速率而言，最密植（株距 11 cm）處理在播種至第四葉期之間僅爲 1.3 kg，第八至十二葉期爲 84.9 kg，第十二至十五葉期增加至 208.4 kg，而吐絲前約二週期間更高達 389.3 kg，亦即愈接近吐絲期，則作物生長速率愈高；較疏植的兩個處理（株距 22 與 44 cm）在各生育期之間也表現相近的趨勢，但以單位面積爲基準計算之作物生長速率均顯著低於密植處理。

1991 年試驗中植株在各生育期的氮素累積速率資料亦列於表4，其表現與乾物質累積速率相同，自播種後逐漸升高，並以密植處理高於疏植處理。在第八葉期以前，不論栽培密度如何，氮素累積速率均低以 1 kg/ha. day；在密植條件下，第十二葉期以後的氮素累積速率維持於 5 kg/ha. day 以上，吐絲前約二週的期間最高，達 6.36 kg/ha. day，同一期間株距 22 與 44 cm兩處理分別爲 4.42 及 2.88 kg/ha. day（表4）。

表 4. 栽培密度對玉米臺農1號營養生長期間乾物質與氮素累積速率（kg/ha. day）的影響（1991年秋作）

Table 4. Plant-spacing effect on the dry matter (DM) and N accumulation rates (kg/ha. day) of hybrid corn Tainung No.1 at different stages of vegetative growth (fall crop, 1991)

Plant spacing (cm)	Gwowth stage				
	0—4th leaf	4th—8th leaf	8th—12th leaf	12th—15th leaf	15th leaf to silking
	Dry matter				
75×11	1.3 a[z]	21.4 a	84.9 a	208.4 a	389.3 a
75×22	0.8 b	11.3 b	39.6 b	143.1 b	255.5 b
75×44	0.3 c	5.5 c	26.0 c	63.2 c	152.2 c
	Nitrogen				
75×11	0.06 a	1.02 a	2.91 a	4.97 a	6.36 a
75×22	0.04 b	0.53 b	1.44 b	3.88 b	4.42 b
75×44	0.02 c	0.26 c	0.93 c	1.73 c	2.88 c
	Ratio of DMA/Ration of NA				
75×11	21.3 a	21.0 a	29.2 a	42.0 a	61.2 a
75×22	20.6 a	21.2 a	27.5 a	36.9 b	57.8 ab
75×44	21.9 a	21.1 a	28.1 a	36.5 b	52.9 b

[z] Means with the same letter of a column for a specific item are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

1992 年試驗分析植株乾物質與氮素累積速率的結果（表5），趨勢表現與 1991 年試驗相同，亦即累積速率隨植株之生長而增加，以接近吐絲期之速率最高，並以密植（株距 11 cm）處理高於疏植（株距 22 cm）處理；於雄穗分化始期將密植植株予以間拔，使栽培密度與疏植處理相同，其乾物質與氮素累積速率雖有低於疏植處理的趨勢，但在第十五葉期至吐絲期之間的差異已未達顯著水準。在兩個年度之間比較，1992 年試驗第十二葉期以前的乾物質累積速率與第八葉期以前的氮素累積速率，均高於 1991 年試驗結果，但在第十二葉期至吐絲期之間，乾物質與氮素累積速率則反較 1991 年試驗所得數值爲低（表4與表5）。

進一步計算玉米植株乾物質累積速率與氮素累積速率的比值，發現株距爲 11 及 22 cm兩處理之

間，在播種至吐絲的各生育期多無顯著差異，僅有的例外爲 1991 年之第十至十五葉期，與 1992 年之第八至十二葉期，亦即栽培密度並不影響乾物質與氮素的相對累積速率（表4與表5）。1991 年試驗株距 44 cm處理植株生長至第十二葉期以後，其乾物質與氮素累積速率的比值顯著較最密植處理爲低（表4），顯示在增大生長空間的最疏植條件下，更有利於合成乾物質。1992 年試驗於雄穗分化始期將株距自 11 cm 增加至 22 cm後，植株乾物質與氮素累積速率的比值於第十二至十五葉期較低，但在吐絲前約兩週的期間內，與其他兩處理已無差異（表5）。

表 5. 栽培密度對玉米臺農1號營養生長期間乾物質與氮素累積速率（kg/ha. day）的影響（1992年秋作）

Table 5. Plant-spacing effect on the dry matter (DM) and N accumlation rates (kg/ha · day) of hybrid corn Tainung No.1 at different stages of vegetative growth (fall crop, 1992)

Plant spacing[z] (cm)	Gwowth stage				
	0—4th leaf	4th—8th leaf	8th—12th leaf	12th—15th leaf	15th leaf to silking
	Dry matter				
11—11	4.2 a[y]	43.0 a	106.2 a	187.7 a	287.4 a
11—22	(4.2)	(43.0)	68.4 b	113.8 b	223.3 b
22—22	2.3 b	25.8 b	66.1 b	187.2 a	234.9 b
	Nitrogen				
11—11	0.20 a	1.30 a	2.83 a	3.21 a	4.43 a
11—22	(0.20)	(1.30)	1.94 b	2.42 b	3.36 b
22—22	0.11 b	0.78 b	2.05 b	3.39 a	3.54 b
	Ratio of DMA/Ration of NA				
11—11	21.0 a	33.1 a	37.5 a	58.5 a	64.9 a
11—22	(21.0)	(33.1)	35.3 ab	47.0 b	66.5 a
22—22	20.9 a	33.1 a	32.3 b	55.2 a	66.4 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter of a column for a significantly plant part are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

討 論

本試驗藉由株距處理，以不同密度栽培玉米，每公頃最高種植 121,212 株，植株生育正常，吐絲日期與其他疏植處理相同（1991年）或僅提早1～2日（1992年），無顯著倒伏，亦無高密度栽培時可能發生之不孕（barren）穗現象[20]。1991 年株距爲 11、22 及 44 cm 處理之子粒產量分別爲 9.23、7.44 及 5.35 mt/ha，1992 年株距 11 與 22 cm 處理之產量爲 9.05 與 7.56 mt/ha，於雄穗分化始期間拔使株距由 11 cm 增加至 22 cm，子粒產量爲 6.76 mt/ha[3]，顯示臺農一號爲耐密植栽培之玉米品種。

作物如能保有適度的葉面積指數（leaf area index, LAI），即可維持較高的生長速率，本試驗中玉米植株在播種後初期之生長甚爲緩慢，且栽培密度處理之間沒有顯著差異，主要原因應爲未能建立足夠的葉面積，無法充份利用光能[22]，另一方面顯示臺農一號玉米至少在第八葉期以前，植株生長不受本試驗所採用各種栽培密度的影響（表1），作物生長速率主要爲單位面積株數左右。玉米隨植株之發育而生長速率逐漸增高，第十二葉期以後顯現栽培密度效應，單株的乾物質累積量以密植處

理最低（表1），推測株間已開始產生競爭作用，但單位面積的作物生長速率則持續以密植處理爲高，並於吐絲期前達到最高峰（表4與表5），顯示株間雖有競爭環境資源現象，葉面積指數仍可能爲決定乾物質累積的重要因子。Tetio-Kagho and Gardner[18]指出在臨界葉面積指數（critical LAI）內，玉米的葉面積指數、吸收光能量及光合作用量之間呈直線關係；Williams et al.[22]以每公頃接近70萬株之極高密度栽培玉米，測得雄穗抽出12日之作物生長速率可達520 kg/ha. day，在葉面積指數高達18的情況下，雖然淨同化速率（net assimilation rate）下降，但就乾物質生產而言，卻仍未達到最適（optimum）葉面積指數[23]。上述極高栽培密度與葉面積指數可能在吐絲後的子粒充實期間產生負面作用，並不適合推薦於實際栽培，但可以說明玉米營養生長特性。本試驗採用之最高密度處理爲每公頃約12萬株，最高的作物生長速率出現於吐絲前二週內（389.3 kg/ha. day）（表4），顯示在密植條件下，臺農一號玉米品種仍能維持較高的生長速率；此外，試驗過程中雖未測定葉面積指數，但分析營養生長期各栽培密度處理間乾物質累積量的變化趨向，可能仍未到臨界葉面積指數。

臺農一號玉米植株在播種至吐絲期之間，乾物質累積速率雖因植株生育階段及栽培密度處理而有顯著差異，但如重行分析表1資料，得知乾物質於葉片及莖稈之間的分配比率，則完全未顯示栽培密度效應，兩個年度試驗都有類似表現。葉片乾重佔全株乾重的比率，在1991年試驗自第八葉期之73％左右降低至吐絲期之32％左右，在1992年試驗自第四葉期之70％降至吐絲期之33％。自第十二葉期至吐絲期之間，乾物質累積量極高（表3），其中第十二葉期至第十五葉期的生長以葉片部位爲主，第十五葉期至吐絲期則以莖稈部位爲主（表1），具有特定的生長模式。玉米莖稈在吐絲期以前累積大量非構造性碳水化合物，可以對子粒充實產生一定的作用[15]，因此推知第十二葉期以後，尤其是吐絲前兩週，應爲玉米莖稈累積預貯性碳水化合物的最主要時期。

玉米在營養生長期間的氮素累積與乾物質累積間有一定的關係[10]，植株在生育初期的氮素累積量極低，第十二葉期以後的累積速率逐漸增高，吐絲期之前達到高峰，與乾物質累積模式有相似的表現（表2、4與5）。Russelle et al.[13]以每公頃6萬株之密度栽培玉米，發現在十二葉期至吐絲期之間的氮素累積速率最高，其數值可達92 mg/plant. day；本試驗對應處理（株距22cm）在吐絲前約兩週的累積速率爲72.9（1991年）與55.5（1992年）mg/plant. day，1991年試驗最疏植處理的氮素累積速率爲95.0 mg/plant. day，一般而言，較Russelle et al.[13]之試驗結果略低，但尚在正常範圍內。

葉片是玉米植株在吐絲期以前累積氮素的主要器官，分析表2資料，得知在第四葉期時，葉片的含氮量約爲全株之75％，其後逐漸下降，吐絲期時仍在55％以上，顯著較莖稈所佔比率爲高。吐絲期時，葉片氮素含量佔植株總含氮量之比率以密植處理高於疏植處理，而莖稈部位則有相反的表現，顯示在密植條件下，氮素分配有優先集中於葉片的趨勢，與乾物質的表現不儘相同。Hanway[10]指出吐絲期以前玉米所含氮素在器官之間沒有顯著的轉移現象，吐絲後營養器官氮素轉移至子粒的時序，則以莖稈先於葉片。與疏植處理比較，本試驗密植植株吐絲期莖稈的氮素含量更低於葉片氮素含量，對子粒充實期間的氮素需求是否有所影響，值得注意；唯 Beauchamp et al.[4]認爲基因型間具有影響差異，臺農一號品種的表現有待確定。

Russelle et al.[13]指出第十二葉期至吐絲期爲營養器官累積氮素的重要時期，本試驗也獲得相似結果（表2），並以吐絲前約兩週內的累積速率最高（表4與表5）；於栽培密度處理間比較，雖然累積量具有差異，但同化氮素能力隨生育期之延伸而提高，其趨勢則完全相同。瞭解玉米植株在不同生育階段所吸收的氮素量，可以提供肥培管理所需之重要參考資料[6]；以1991年試驗爲例，株距11、22及44 cm 處理在第十二葉期以前（播種後35日）植株吸收的氮素量分別爲41、21與12 kg/ha，第十二葉期至吐絲前（爲時28日）分別爲161、117及67 kg /ha，亦即播種後35日期間累積之氮素量僅爲吐絲期總量之20％左右，因此如何適度施用基肥與追肥，以提高氮肥施用效率或降低氮肥用

量，值得予以考慮。Russelle et al.[13]探討於播種及第四、八與十六葉期施用氮肥的效果，發現如施以重肥（180 kg N/ha），玉米吸收肥料氮素（fertilizer N）的量以晚施處理較高，如施以輕肥（90 kg N/ha），則氮肥吸收效率以早施處理爲高；提早施用氮肥可增加吐絲期營養器官氮素含量，有助於子粒充實後期累積氮素的能力。另一方面，Bullock et al.[6]指出土壤肥力較高時，施用基肥與否對玉米成熟期全株總乾物質及子粒產量並無影響，不具經濟效益。雖然不同玉米品種對氮肥施用方法的反應有異[17]，但如能瞭解臺農一號玉米品種與氮素累積有關的性狀，配合土壤分析資料，應有可能提高其氮素利用效率，降低生產玉米時之氮肥用量，有益於降低生產成本及環境保育。

本試驗探討玉米臺農一號自播種至吐絲期間之乾物質與氮素累積性狀表現，以及對栽培密度的反應，發現自第十二葉期以後，乾物質與氮素累積速率快速增加，並於吐絲期之前約二週達到高峰。栽培密度在玉米生長至第八葉期以前並無顯著效應，但密植處理可以提高第十二葉期至吐絲期之間的單位面積乾物質與氮素累積量，在整個營養生長期間，乾物質與氮素累積速率逐漸升高的模式則不受栽培密度影響。玉米植株在第十二葉期至吐絲期所累積的氮素量，爲吐絲期含氮量的 80 %以上，其間第十五葉期至吐絲期的累積量即佔吐絲期含氮量的 50 %以上，可以供爲決定如何提高肥培管理效率的部份依據。

誌 謝

本計畫承農業委員會補助（81農建—12.2—糧—47— 3 及82科技—2.1—糧—33— 3），謹致謝意。

引用文獻

1. 王強生、王碧玉、劉大江。1988。玉米對溫度與光週期之生長反應。中華農業研究 37：379—388。
2. 王強生、林淑霧、劉大江。1989。玉米產量及相關生理性狀對栽培密度的反應。刊載於「玉米生理遺傳與育種研討會論文集」（謝昱暐、劉大江、朱德民、黃懿秦合編）。中央研究院植物研究所專刊第7號，第99—118頁。臺北市。
3. 魏夢麗、姜義展、陳烈夫、劉大江。1994。玉米營養生長期光合物質及氮素累積性狀與產量關係之研究。中華農業研究 43：143—154。
4. Beauchamp, E. G., L. W. Kannenberg, and R. B. Hunter. 1976. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. Agron. J. 68：418—422.
5. Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed, and R. H. Hageman. 1981. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development in maize. Plant Physiol. 68：1186—1190.
6. Bullock, D. G., F. W. Simmons, I. M. Chung, and G. I. Johnson. 1993. Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. Crop Sci. 33：112—117.
7. Cross, H. Z. 1990. Selection for rapid leaf expansion in early-maturing maize. Crop Sci. 30：1029—1032.
8. Edmeades, G. O. and T. B. Daynard. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. Can. J. Plant Sci. 59：585—601.
9. Genter, C. F., G. D. Jones, and M. T. Carter. 1970. Dry matter accumulation and depletion in leaves, stems and ears of maturing maize. Agron. J. 62：535—537.
10. Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, and their distribution in different plant parts during the growing season. Agron. J. 54：217—222.
11. Hawkings, R. C. and P. J. M. Cooper. 1981. Growth, development and grain yield of maize. Exp. Agric. 17：203—207.
12. Nevado, M. E. and H. Z. Cross. 1990. Diallel analysis of relative growth rates in maize synthetics. Crop Sci. 30：549—552.

13. Russelle, M. P., R. D Hauck, and R. A. Olson. 1983. Nitrogen accumulation rates of irrigated maize. Agron. J. 75 : 593—598.

14. Schrader, L. E. 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: Nitrogen in Crop Production (R. D. Hauck, ed.) . Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.

15. Simmons, S. R. and R. J. Jones. 1985. Contribution of presilking assimilate to grain yield in maize. Crop Sci. 25 : 1004—1006.

16. Swank, J. C., F. E. Below, R. J. Lambert, and R. H. Hageman. 1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiol. 70 : 1185—1190.

17. Teare, I. D. and D. L. Wright. 1990. Corn hybrid-starter fertilizer interaction for yield and lodging. Crop Sci. 30 : 1298—1303.

18. Tetio-Kagho, F. and F. P. Gardner. 1988. Responses of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agron. J. 80 : 930—935.

19. Tollenaar, M. and T. W. Bruulsema. 1988. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. Agron. J. 80 : 580—585.

20. Tollenaar, M., L. M. Dwyer, and D. W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. Crop Sci. 32 : 432—435.

21. Wang, C. S., C. C. Chen, and D. J. Liu. 1990. Growth reponse to various cultural practices of corn grown in paddy fields. Tech. Bul. No. 120. Food & Fert. Tech. Center, Taipei. 15p.

22. Williams, W. A., R. S. Loomis, and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. Crop Sci. 5 : 211—215.

23. Williams, W. A., R. S. Loomis, and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf-area index. Crop Sci. 5 : 215—219.

The Effects of Planting Density on the Growth and Yield of Corn

I. Vegetative Growth Phase[1]

Meng-Li Wei[2], Lit-Fu Chan[3], Yih-Jan Jiang[2] and Dah-Jiang Liu[2]

Summary

Information pertaining to the growth characteristics of corn during vegetative growth is limited. The purpose of this experiment was to investigate the patterm of dry matter and N accumulation of corn hybrid Tainung 1 from sowing to silking and to study their responses to plant spacing treatments. Field experiments were conducted in the fall crops of 1991 and 1992 with a row spacing of 75 cm. Within-row spacings were 11, 22, or 44 cm in 1991, and 11 or 22 cm in 1992. In 1992, the spacing was altered from 11 cm to 22 cm in part of the plots by thinning the stand at tassel initiation. The effects of plant spacing on dry matter and N accumulation were not significant until the 12th leaf stage. From the 12th leaf stage to silking, the proportion of dry matter and N accumulated by the leaf blade decreased while that by the stalk showed an increasing trend. During this period, the amounts of dry matter and N accumulation by the plants accounted for 80~92% and 69~85%, respectively, of the accumulation at silking stage. Dense planting resulted in lower ratios as compared to other treatments. The growth rate increased continuously and peaked as the plants approached silking. The highest accumulation rates were 389 kg/ha. day for dry matter and 6.4 kg/ha. day for N, and decreased with decreasing population density. During the entire vegetative growth phase, the ratio of dry matter accumulation rate to N accumulation rate increased continuously, however, no significant difference was recorded among plant spacing treatments. This indicate that the amount of dry matter accumulated per unit of tissue N was different according to developmental stage but was less affected by environmental factors.

Key words : *Zea mays,* plant spacing, vegetative growth, dry matter accumulation, N accumulation.

1. Contribution No. 1766 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research Assistant, Assistant, and Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：37～48（1995）

栽培密度對玉米生育及產量之影響

II.子粒充實期[1]

姜義展[2]　魏夢麗[2]　陳烈夫[3]　劉大江[2]

摘要：本試驗採用玉米品種臺農一號爲材料，以吐絲期具不同營養生長量但吐絲後具有相似生育環境之處理，探討子粒充實期間植株產量生理性狀表現。於 1991 及 1992 年秋作進行田間試驗，行距約爲 75 cm，株距分爲 11 與 22 cm兩種處理，第一年試驗於吐絲期將部份小區株距自 11 cm間拔爲 22 cm，第二年於雄穗分化始期與吐絲期進行相同處理，又於吐絲期將部份小區株距自 22 cm間拔至 44 cm，分析子粒充實期間不同器官之乾物質與氮素累積性狀，解析對產量的影響。密植栽培降低植株在吐絲期之營養生長量；吐絲後如維持相同株距，則吐絲期營養生長量較低之處理，植株在子粒充實前期（吐絲後 0～24日）及後期（48～65日）的單株乾物質生產量較高，但分配至子粒之比率則較低。子粒充實前期所生產的光合物質平均分配於子粒及果穗其他部位，器官間可能有競爭現象，以疏植區最爲明顯。吐絲期營養生長量較低之植株於充實中期，及吐絲期營養生長量較高之植株於充實後期，其全株光合物質產量不足以供應子粒充實之需。在氮素累積性狀方面，吐絲期氮素累積量較低者，於子粒充實前期與中期（吐絲後24～48日）有較高的氮素同化能力。多數處理於子粒充實全期之全株氮素累積速率低於子粒氮素累積速率，以充實中期的差異最爲顯著；但吐絲期營養生長量與氮素累積量最低之處理，可同化較多量氮素，反而表現較佳之供需平衡關係。玉米植株氮素利用效率因密植而升高，主要受氮素吸收效率影響。如吐絲期營養生長與氮素累積量不同，而吐絲後維持相同之行株距，其氮素利用效率與多數組成因子之表現並無顯著差異，顯示臺農一號玉米品種之氮素利用對栽培密度呈現較爲穩定的反應。吐絲期乾物質與氮素累積量較低之處理，植株在吐絲後具有較高的光合物質與氮素同化作用能力，對子粒產量具有明顯的補償及緩衝作用。

關鍵詞：玉米、栽培密度、子粒充實、乾物質累積、氮素累積、氮素利用。

玉米葉片生產光合物質的供源能力，與果穗子粒累積乾物質的積儲能力，是決定子粒產量的重要因子[26]；部份熱帶品種[17]與早熟品種[8]及逆境條件下一般高產品種[13]的供源能力均可能不足，產量會因爲子粒充實受到影響而降低。雖然在良好的栽培環境中，莖葉等營養器官於吐絲前貯藏之養分對產量的重要性不大[24]，但如果吐絲後葉片光合能力不足以因應子粒充實需要，則此類預貯性養分可被大量轉移至子粒，以維持基本的產量表現，對子粒充實中、後期的養分供應尤其重要[23]。此外，玉米莖稈在雄穗分化始期至吐絲期之間貯存碳化化合物的能力，對於提高穎花稔實率[24]、每穗粒數[10,14]都有密切關係，顯示玉米吐絲期以前的營養生長在產量生理方面仍具有相當的重要性。

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1767 號。
2. 本所農藝系約僱技術員、助理及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

有關玉米吐絲前營養生長多寡對子粒產量直接影響的報告並不多見，Muldoon et al.[16]指出營養生長（播種至吐絲）持續時間與葉面積指數呈正相關，有助於增大供源能力及提高產量潛能；Corke and Kannenberg[7]以溫帶地區之玉米進行試驗，報告較長的營養生長期可以增加子粒數目，具有增產效應；但是兩項研究並未檢討營養生長量對產量表現的確切作用。Schoper et al.[21]於玉米營養及子粒充實期間間拔植株，以增大供源能力，發現吐絲前二至三週處理之單株子粒增產幅度高於吐絲期或其後進行之處理，此一結果雖然顯示營養生長的重要性，但由於間拔處理後栽培密度已有改變，並不能以單株產量解釋群落產量表現。

本研究採用目前主要玉米栽培品種臺農一號爲材料，施以變化栽培密度處理，使植株於吐絲期具有不同的乾物質與氮素累積量[5]，但在吐絲後維持相同的行株距，曾發現在所採用的試驗條件下，吐絲期的營養生長量對最終子粒產量並不具有決定性作用[4]，但是對子粒在不同生育階段的充實性狀，以及植株供源與積儲關係等方面，都產生不同程度的影響，這些資料有助於瞭解臺農一號玉米品種的田間產量生理表現，因此提出報告，以期在探討藉由改進栽培方法以提高生產效率的過程中，能提供有價值的參考資料。

材料與方法

以單雜交玉米品種臺農一號爲材料，於 1991 及 1992 年秋作在臺灣省農業試驗所農場進行田間試驗，兩年之播種日期分別爲 9 月20日與 9 月21日；試區前作均爲水稻，土壤爲坋質壤土，1992年試驗進行前分析土壤 pH 值爲 5.8，有機質含量爲 2.0%，CEC 爲 9.7 meq/100g，有效性磷與鉀的濃度分別爲 28 與 133 ppm，銨態氮及銷酸態氮濃度分別爲 17.9 與 22.2 ppm。

試驗係採用栽培密度爲處理，行距均爲 75 cm，株距分爲兩種，即 11 與 22 cm，合每公頃 121,212 及 60,606 株。1991 年試驗於植株生長至吐絲期時，將部份株距爲 11 cm之小區間拔 22 cm，合計爲兩種處理；1992 年試驗在播種後30日玉米生育至第九葉期，即相當於雄穗分化始期[1]及吐絲期時，分兩次進行與1991年相同的間拔處理，又於吐絲期將部份株距爲 22 cm 小區間拔爲株距 44 cm，使每公頃株數爲 30,303 株。試驗採用逢機完全區集設計，小區爲 8 行區，行長 8 m，重複 4 次。兩年試驗氮肥用量均爲 200 kg N/ha，磷肥與鉀肥用量爲 90 kg P2O5/ha 與 100 kg K2O/ha，肥料之施用方法及田間栽培管理與王等[2]所述相同。

1991 試驗於玉米吐絲後第 8 、18、32、49及68日取樣，1992 年試驗於吐絲期及其後第 24、48 及 65 日取樣，但由於 1991 年試驗之設計較爲簡單，本報告有關子粒充實各階段之性狀變化僅以 1992 年試驗結果爲主。每次取樣係自每一小區逢機選取 8～12株爲樣品，區分爲葉片、莖稈、苞葉、穗軸及子粒等部位，於送風乾燥箱中以80°C連續烘乾72～96小時，秤量乾物重，隨後經40目篩（mesh）磨粉，以 semi-micro Kjeldahl 方法測定氮素濃度，以氮素濃度及乾物重之乘積估算氮素累積量，計算各生育階段之乾物質與氮素累積速率，並依據 Moll et at.[15]之定義與公式計算氮素利用效率（N use efficiency）及其組成因子。又於成熟期選取20株爲樣品，調查子粒產量與其構成要素。

試驗所得各項資料均經變方分析，並以 Duncan's New Multiple Range Test 分析處理間之差異顯著性。

結　果

1991年試驗於玉米吐絲期進行間拔處理，將部份植株株距自 11 cm 增大至 22 cm，至吐絲後 8 日第一次取樣調查時，植株之乾物累積量爲 100.5 g/plant，亦即其營養生長量低於自播種開始即維持 22 cm 株距之處理（129.3 g/plant），但至成熟期時，雖然前者之乾物重仍有較低的趨勢，但兩個處理之間的差異未達顯著水準（表 1）。在 1992 年試驗方面，吐絲期全株乾重亦受栽培密度（株

距）的顯著影響，以株距如約爲 11 cm之密植區（株距代號11-11-11，見表 1 ）最低，僅有 64.6 g/plant，播種時株距爲 11 cm，但雄穗分化始期間拔株距至 22 cm 之處理（株距代號11-22-22）次之（89.0 g/plant），自播種後株距均維持 22 cm處理（株距代號22-22-22）最高，可達 107.0 g/plant（表 1 ）。至成熟期時，栽培密度的作用仍然非常明顯，以11-11-11密植植株的全株乾重最低，吐絲期將 22 cm株距間拔爲 44 cm之處理（22-22-44）最高，後者在此一期間的乾物質累積量爲前者的2.3倍；至於吐絲開始株距即維持 22 cm 的三個處理，11-22-22 與吐絲期時始將株距自 11 cm間拔爲 22 cm（株距代號 11-11-22）兩處理之間並無顯著差異，但均低於 22-22-22 處理（表 1 ）。

玉米植株於吐絲期及成熟期的氮素含量變化資料亦列於表 1 ，處理間的趨勢表現與乾物質表現相類似。1991 年試驗於吐絲後第 8 日的分析結果，密植植株（株距爲 11 cm）的總含氮量顯著低於較疏植植株（株距 22 cm），但在成熟期則無顯著差異。1992 年試驗吐絲期植株總含氮量的高低順序亦依 22-22-22、11-22-22 與 11-11-11 排列，成熟期仍以 22-22-44 處理最高，11-11-11 處理最低，前者爲後者之3.4倍，高於乾物質累積量的比值；對吐絲後株距均維持 22 cm的三個處理而言，其氮素含量介於上述兩處理之間，但相互間的差異則未達顯著水準（表 1 ）。

表1. 栽培密度對玉米臺農一號乾物質（DMA）與氮素（NA）累積及子粒產量性狀的影響（1992年秋作）

Table 1. Effects of planting density on the accumulation of dry matter (DMA) and N (NA) and yield characters of corn hybrid Tainung No. 1 (fall crop, 1992)

Within-row spacing[z] (cm)	DMA (g/plant) at		NA (mg/plant) at		Kernel no. per ear	100-kermel weight (g)	Kernel yield (g/plant)
	Silking[y]	Harvest	Silking[y]	Harvest			
1991 experiment							
11-22	100.5 b[x]	248.9 a	1,779 b	2,834 a	557 b	22.6 a	125.8 a
22-22	129.3 a	263.9 a	2,403 a	2,992 a	605 a	21.6 a	130.7 a
1992 experiment							
11-11-11	64.6 c	151.9 d	1,199 c	1,690 c	340 d	22.0 c	74.7 d
11-11-22	(64.6)	232.7 c	(1,199)	2,510 b	436 c	27.0 a	117.6 bc
11-22-22	89.0 b	227.7 c	1,696 b	2,568 b	504 b	22.1 c	111.6 c
22-22-22	107.0 a	255.9 b	1,981 a	2,861 b	487 b	25.6 b	124.8 b
22-22-44	(107.0)	308.4 a	(1,981)	3,645 a	579 a	27.1 a	156.7 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and silking for 1991experiment, and at planting, tassel initiation, and silking in 1992 experiment. Between-row spacing was 75 cm.

[y] 8 days after silking for 1991 experiment.

[x] Means with the same letter within a column are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT

1991 年試驗兩個處理的子粒產量相近，雖然吐絲前的株距分別爲 11 或 22 cm，但如於吐絲後維持相同的株距（22cm），則子粒產量並無顯著差異；兩個處理的平均百粒重相同，但吐絲前株距爲 11cm 處理的平均一穗粒數則有較低的趨勢（表 1 ）。1992 年試驗的單株子粒產量以最疏植之 22-22-44處理最高，最密植之 11-11-11 處理最低，兩者分別爲 156.7 及 74.7 g/plant，百粒重與一穗粒數亦以前者爲高。比較吐絲後株距即爲 22 cm的三個處理，22-22-22 處理的單株產量與 11-11-22 處理相近，但高於 11-22-22 處理；於吐絲期始將株距自 11 cm間拔爲 22 cm，其一穗粒數最少，但平均百粒重具最高（表 1 ）。

詳細分析 1992 年試驗玉米植株各器官在不同子粒充實期間的乾物質累積量變化，其結果列於表

2。在子粒充實初期（吐絲後 0～24日），乾物質的增加量介於 52.5～78.0 g/plant 之間，大致仍受栽培密度之影響，但最特殊者爲 11-11-22 處理，植株在吐絲期的乾物量最低，但將株距自 11 cm擴大至 22 cm後，所增加的乾物量卻最高。玉米植株於吐絲後 0～24日期間所累積的乾物質，主要集中於果穗，在多數處理中，約一半分配於子粒，一半分配於苞葉及穗軸；但 11-11-22 處理亦爲一例外，所增加的乾物質有 25.8％分配於莖稈（表 2），顯示在吐絲後的子粒充實階段，營養生長仍明顯的持續進行。

表 2 資料同時顯示在子粒充實中期（吐絲後24～48日）以 22-22-22 及 22-22-44 處理的單株乾物質生產量最高，一方面高於子粒充實初期的累積量，另一方面也高於子粒的乾物質增加量，亦即就光合物質生產而言，供源能力有超過積儲能力的表現。在疏植（22-22-44處理）條件下，仍有乾物質明顯分配於莖稈（stalk）及穗軸（cob）。其他三項處理的單株乾物質生產量較子粒充實初期爲低，且不及子粒乾物重的增加量；在此一期間，苞葉的乾物重大幅降低，可能爲供源能力不足以因應此子粒快速充實需求的結果（表 2）。

表2. 臺農一號玉米植株各器官於不同子粒充實階段之乾物質累積量變化（1992年秋作）

Table 2. Changes in the amounts of dry matter accumulated by different plant organs of corn hybrid Tainung No.1 at stages of kernel-filling as affected by planting density treatments (fall crop,1992)

Days after silking	Within-row spacing[z] (cm)	Dry matter accumulation (g/plant) in plant part			
		Whole plant	Kernel	Leaf+stalk	Husk+cob
0～24	11-11-11	52.5 c[y]	24.8 c	5.5 b	22.2 c
	11-11-22	78.0 a	28.7 b	20.1 a	29.2 b
	11-22-22	64.0 b	30.0 ab	3.9 b	30.1 b
	22-22-22	56.1 bc	32.7 a	−8.8 c	32.2 b
	22-22-44	75.4 a	34.8 a	1.1 b	39.5 a
24～48	11-11-11	29.5 d	35.1 d	−1.1 b	−4.5 bc
	11-11-22	43.3 c	53.9 bc	−4.9 c	−5.7 c
	11-22-22	40.0 c	49.0 c	−2.1 bc	−6.9 c
	22-22-22	64.4 b	61.8 b	4.4 a	−1.8 b
	22-22-44	99.8 a	85.1 a	7.7 a	7.0 a
48～65	11-11-11	5.3 d	14.8 c	−7.9 c	−1.6 a
	11-11-22	46.7 a	35.0 a	8.6 a	3.1 a
	11-22-22	34.8 b	32.5 ab	1.3 b	1.0 a
	22-22-22	28.4 bc	30.3 b	0.3 b	−2.2 a
	22-22-44	26.2 c	36.8 a	−1.9 b	−8.7 b

[z] Figures represent, in order, spacings at planting, tassel initiation, and silking. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific growth duration are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

與子粒充實中期比較，玉米植株在子粒充實後期（吐絲後48～65日）的乾物質累積量，以 11-11-11、22-22-22 與 22-22-44 三個處理的降幅最大，其餘兩項處理的差異較小；在絕對增加量方面，以於雄穗分化始期及吐絲期將植株間拔爲株距 22 cm的兩項處理（11-22-22 及 11-11-22）最高（表

2）。分析乾物質於器官間的分配，11-11-22 處理的全株乾物質生產量高於子粒乾物質累積量，另有約25%的乾物質分配於其他器官（主要爲莖稈）。11-22-22 與 22-22-22 兩處理之全株與子粒乾物質增加量相近，11-11-11 與 22-22-44 處理於子粒充實後期的全株乾重增加幅度則不及子粒部位，前者以營養器官（莖稈）乾重的降低爲主，後者則以苞葉與穗軸的下降較爲顯著（表 2）。

表 3 資料爲玉米植株各器官在不同子粒充實階段的氮素含量變化。各處理所表現的共同趨勢，爲營養器官氮素含量在子粒充實全期均持續降低；苞葉與穗軸部位的含量在充實初期上升，充實中期顯著下降，在充實後期的降幅大爲縮小；子粒部位則於充實全期持續累積大量氮素，並以充實初期與中期的累積量高於充實後期的累積量（表 3）。在子粒充實初期，植株同化的氮素總量隨栽植密度之升高而降低；對多數處理而言，同化量低於子粒所累積的氮素量，其差異以密植處理最爲明顯；而苞葉與穗軸的氮素含量同時增加，增幅以疏植處理最高。於吐絲後株距爲 22 cm的三個處理之間進行比較，吐絲期植株含氮量最低的爲 11-11-22 處理，在子粒充實初期的表現爲全株氮素累積量較高，子粒、苞葉與穗軸的氮素累積量較低，而營養器官含氮量的降幅也最小（表 3）。

表3. 臺農一號玉米植株各器官於不同子粒充實階段之氮素累積量變化（1992年秋作）

Table 3. Changes in the amounts of N accumulated by different plant organs of corn hybrid Tainung No. 1 at stages of kernel-filling as affected by planting density treatments (fall crop,1992)

Days after silking	Within-row spacing[z] (cm)	N accumulation (mg/plant) in plant part			
		Whole plant	Kernel	Leaf+stalk	Husk+cob
0～24	11-11-11	277 d[y]	478 d	−335 bc	134 d
	11-11-22	628 bc	576 c	−125 a	177 c
	11-22-22	571 c	670 b	−287 b	188 c
	22-22-22	641 b	795 a	−414 c	260 b
	22-22-44	788 a	769 a	−283 b	302 a
24～48	11-11-11	192 c	492 c	−149 a	−151 a
	11-11-22	388 b	754 b	−189 a	−177 a
	11-22-22	91 d	555 c	−247 b	−217 b
	22-22-22	85 d	717 b	−313 c	−319 c
	22-22-44	493 a	1,172 a	−378 d	−301 c
48～65	11-11-11	22 e	180 d	−157 ab	−1 b
	11-11-22	295 b	434 bc	−152 ab	13 a
	11-22-22	210 c	471 b	−208 c	−53 c
	22-22-22	154 d	372 c	−168 b	−50 c
	22-22-44	383 a	550 a	−110 a	−57 c

[z] Figures represent, in order, spacings at planting, tassel initiation, and silking. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific growth duration are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

玉米植株在子粒充實中期的氮素同化量，在處理之間有極大的差異（表 3），以 11-22-22 及 22-22-22 處理最低，不及 100 mg/plant，是否爲取樣變異，或其他因素所致，尚難判定；最疏植之

22-22-44 處理仍爲最高，但所有處理之全株氮素累積量均不及充實初期之累積量。此一期間營養器官及苞葉與穗軸的氮素含量顯著降低，其降低量大致呈現疏植處理較高而密植處理較低的趨勢。子粒部位的氮素累積量仍然快速增加，以最疏植之 22-22-44 處理最高，達 1,172 mg/plant，11-11-22 及 22-22-22 處理其次，密植處理最低。在子粒充實中期，全株氮素累積量極顯著低於子粒的氮素需求量，計算兩者之比值，最密植之 11-11-11 處理約爲 39 %，最疏植之 22-22-44 處理約爲 42%。表現最極端的爲 11-22-22 及 22-22-22 處理，在 16%，以下（表 3），顯示極不平衡的氮素供源與積儲關係。

除了 11-22-22 與 22-22-22 兩處理外，玉米植株在子粒充實後期的全株氮素同化量都明顯降低（表 3）；與子粒充實初期及中期比較，相同者爲 22-22-44 及吐絲期氮素含量最低之 11-11-22 處理的同化量較高。在充實後期，子粒部位雖然仍繼續累積氮素，但已有減少趨勢，營養器官氮素含量的降幅縮小，苞葉與穗軸的變化也較不顯著。比較全株及子粒氮素累積量的差異，前者低於後者 158～261 mg/plant，以 11-22-22 及 22-22-22 處理的差異較大。

如以玉米子粒產量與施用的氮素肥料量的比值（Gw/Ns）代表氮素利用效率，在 1991 年試驗的兩個處理間沒有顯著差異，1992 年試驗以最密值之 11-11-11 處理最高（45.3），最疏植之 22-22-44 處理最低（23.7），其餘三個處理之間則無顯著差異，其數值界於 33.8～37.8 之間（表 4）。氮素利用效率可區分爲兩項主要組成因子，即氮素吸收效率（植株總含氮量與施用氮素肥料量的比值，Nt/Ns），與氮素利用效率（子粒產量與植株總含氮量的比值，Gw/Nt）；1991 年試驗氮素吸收效率與利用效率及 1992 年試驗之氮素利用效率均未呈現處理差異，1992 年試驗之氮素吸收效率以密植（11-11-11）處理最高，疏植（22-22-44）處理最低，其餘三個自吐絲期開始株距均爲 22 cm的處理間則無差異，與 1991 年試驗的結果相同（表 4）。

表4. 栽培密度對玉米臺農一號氮素利用效率及其組成因子的影響（1992年秋作）

Table 4. Nitrogen use efficiency and its component factors for corn hybrid Tainung No. 1 as affected by plant spacing treatments (fall crop,1992)

Within-row spacing[z] (cm)	Components of N use efficiency[y]							
	Gw/Ns	Nt/Ns	Gw/Nt	Gw/Ng	Ng/Nt	Na/Nt	Ng/Na	Tw/Nt
1991 experiment								
11-22	38.1 a	0.86 a	44.4 a	67.9 a	0.65 a	0.37 a	1.76 b	87.8 a
22-22	39.6 a	0.91 a	43.7 a	70.3 a	0.62 a	0.20 b	3.16 a	88.2 a
1992 experiment								
11-11-11	45.3 a	1.02 a	44.2 a	64.9 a	0.68 a	0.29 b	2.34 a	89.9 ab
11-11-22	35.6 bc	0.76 c	46.9 a	66.7 a	0.70 a	0.52 a	1.47 c	92.7 a
11-22-22	33.8 c	0.78 bc	43.4 a	65.8 a	0.66 a	0.34 b	1.95 b	88.7 ab
22-22-22	37.8 b	0.87 b	43.6 a	66.2 a	0.66 a	0.31 b	2.14 ab	89.5 ab
22-22-44	23.7 d	0.55 d	43.0 a	62.9 a	0.68 a	0.46 a	1.50 c	84.6 b

[z] Figures represent, in order, spacings at planting, tassel initiation, and silking. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Gw : grain yield ; Tw : total plant dry weight at harvest ; Ns : N supplied ; Nv : amount of N in plant at silking ; Nt : amount of N in plant at harvest ; Na : amount of N accumulated after silking ; Ng : amount of N in kernels at harvest ; units are all in kg/ha.

在氮素利用效率的二次組成因子方面，子粒產量與子粒氮素含量的比值（Gw/Ng）及子粒氮素含量與植株總含氮量的比值（Ng/Nt），在兩年試驗的處理間均無差異（表 4），前者表示在本試驗條件下，栽培密度對子粒氮素濃度沒有影響，後者表示對氮素收穫指數（N harvest index）的作用不顯著。玉米植株在吐絲累積的氮素量與成熟期總含氮量的比值（Na/Nt），以疏植（22-22-44）處理及吐絲期進行間拔使株距爲 22 cm之處理（1991年之11-22與1992年之11-11-22處理）較高。子粒內氮素含量與吐絲後植株累積氮素量的比值（Ng/Na）代表子粒充實過程中的氮素供需關係，1991 年試驗以 22-22 處理較高，1992 年試驗以 11-11-11、11-22-22 與 22-22-22 處理較高，顯示氮素供源不足的程度較爲嚴重。以全株氮素含量爲基準的乾物質生產效率（成熟期全株乾重與氮素含量之比值，Tw/Nt），在多數處理間表現相同，僅有的差異爲 1992 年試驗的 22-22-44 處理低於 11-11-22 處理（表 4），亦即對多數處理而言，植株每一單位氮素含量的乾物質生產能力相近，以全株爲基準計算的氮素濃度亦相同。

討　論

1991 年試驗採用 11 及 22 cm兩種株距播種，於吐絲期針對部份小區進行間拔，使株距自 11 cm 增大爲 22 cm，至吐絲後第 8 日第一次取樣時，兩處理玉米植株的營養生長量有顯著差異，但成熟期之子粒產量相同，顯示吐絲期之間拔處理及營養生長量對產量的影響並不顯著（表 1）。1992 年試驗中玉米單株子粒產量隨栽培密度升高而降低，但即使在極高栽培密度下，植株生育並無異常現象，單位面積產量仍呈現增加的趨勢，與王等[2]的報告相同。於雄穗分化始期及吐絲期分別將株距自 11 cm 增大爲 22 cm，三個處理（11-11-22、11-22-22 及 22-22-22，見表 1）在吐絲期的營養生長量各異，成熟期的子粒產量僅以 22-22-22 高於 11-22-22 處理（表 1），與 1991 年試驗的結果相似，間拔處理與吐絲期營養生長量對產量的作用多不明顯。推究其直接原因，吐絲期植株乾物質與氮素累積量較低之處理，在子粒充實全期表現較佳的同化能力，本試驗雖然未測定吐絲期之葉面積與葉片立體性結構，但推測可能爲田間透光度（light transmission rate）升高的結果[11]。

Corke and Kannenberg[7]指出玉米在吐絲期以前如果能具有較佳的營養生長，可以經由提高子粒數目而表現增產效應；本試驗於吐絲期以間拔方式將株距自 11 cm增大至 22 cm，與播種時株距即爲 22 cm之處理比較，在兩個年度的試驗中，一穗粒數都顯著降低（表 1），顯示吐絲期的營養生長量的確有影響積儲容積的可能。但是在百粒重方面，1991 年試驗並無處理效應，1992 年試驗間拔處理的百粒重則顯著上升，亦即一穗粒數與百粒重兩項產量構成因子間具有互補作用，假如供源充足，並不一定影響產量；曹等[3]以控制授粉方式使臺農三五一號玉米一穗子粒數目減少約30%，即曾發現平均百粒重可提高 22 %，因而降低減產之幅度。

玉米植株在子粒充實初期（吐絲後 0 ～24日）所生產的乾物質，大致平均分配於子粒及果穗其他部位（苞葉與穗軸），僅有少量累積於營養器官（葉片及莖稈）（表 2）。此一階段是子粒生長遲滯期（lag phase），穗軸同時快速生長與伸長，明顯的累積乾物質，應有助於增加一穗粒數。Reed[20]於玉米吐絲期施以遮蔭處理，導致子粒嚴重不稔實（abortion）現象，認爲是光合成物質供應不足的結果；Schussler and Westgate[22]以斷水及遮蔭處理降低玉米於吐絲後三週內的光合成能力，也指出一穗子粒數目呈比例下降。兩項報告均認爲子粒充實初期光合能力可以影響一穗粒數，本試驗發現在吐絲後24日內，臺農一號玉米具有很高的乾物質生產能力，在部份處理（11-11-11、11-11-22 及 11-22-22）中甚至超過子粒充實中期的表現，但得以分配至營養器官的乾物量極少，是否顯示供源能力在子粒充實初期有不足的可能，值得注意。

王等[2]以臺農三五一號玉米爲材料，魏等[4]以臺農一號玉米爲材料，在吐絲與成熟期兩次分析各器官的非構造性碳水化合物濃度或乾物質分配性狀，指出在臺灣中部地區栽培秋作玉米，供源能力都

顯著超過積儲需求，但並未詳細分析不同充實階段的表現。由本試驗結果得知，苞葉與穗軸於子粒充實初期的生長極爲快速，即使在最疏植（22-22-44 處理，表 2）條件下，仍可能與子粒競爭光合產物，但對實際產量是否具有影響，有再予考量的必要。玉米果穗的子粒數目及子粒內胚乳細胞數目在充實前期被決定，Duffus and Cochrane[9]報告授粉後 9～19日以細胞分裂及膨大爲主。Ou-Lee and Setter[18]指出玉米子粒在授粉後10～23日之間，細胞快速蓄積水分與增大體積，但是乾物質累積與澱粉合成作用較不明顯。假設本試驗中多數處理植株在子粒充實初期（吐絲後 0～24日）並無多餘的乾物質可累積於莖稈，但子粒的積儲強度（sink strength）不高，除子粒外，乾物質主要集中於苞葉及穗軸，在以整個果穗爲主要積儲器官的前提下，對產量的影響可能並不明顯，亦即並不能據以確定供源能力不足以因應子粒充實需要或導致減產。

各處理中僅有之例外爲 11-11-22 處理，在子粒充實初期累積的乾物量超過其他所有處理（表 2），這些乾物質平均的分配於子粒、苞葉與穗軸及莖稈等三個部位，顯示供源能力大於果穗需求；此一處理植株在吐絲期所含乾物量最低（表 1），一穗穎花數可能因而較少，但吐絲後具有較大的生長空間（株距由 11 cm 增大至 22 cm），在供源充足的情況下，有助於維持一穗粒數，裨益產量表現[10,14]。

子粒充實中期相當於直線充實階段，子粒對乾物質的需求最高，依據表 2 資料，吐絲期營養生長量較低的植株（11-11-11、11-11-22 及 11-22-22 處理）在此一期間的全株乾物質增加量，顯著低於子粒所累積的乾物量，表示碳水化合物自其他器官再轉移至子粒[23,24]，並以源於苞葉的再轉移爲主，莖稈居次，穗軸部位的乾重變化並不明顯（資料未列出）。至於吐絲期營養生長量即已較高的植株（22-22-22 及 22-22-44 處理），子粒充實中期的光合成能力旺盛，所生產的乾物質除供應子粒充實需求外，仍有部份分配於莖稈與穗軸（表 2），其供源能力充裕，與前述三個處理的表現不同。

玉米子粒在直線充實期以後，仍然以較低之速率累積乾物質[11]。本試驗中全株及子粒的乾物重在充實後期（吐絲48～65日）持續增加（表 2），除最密植（11-11-11）與最疏植（22-22-44）處理外，其他三個處理植株仍具有較爲平衡的光合產物供需關係。最值得注意的是11-11-22處理，在子粒充實後期保有與充實中期相當的全株乾物質生產能力，以及較高的子粒充實速率，可能爲具有較佳的受光態式而延緩葉片老化[13,26]，或因一穗粒數降低及百粒重提高（表 1）而使子粒有效充實期延長[19]的結果。

玉米植株在不同子粒充實階段的氮素同化及分配性狀之表現較爲單純，一般而言，現行同化氮素（concurrent assimilated N）量均不足以供應各積儲部位的需要，Harder et al.[12]試圖以葉片施肥降低玉米子粒充實對再轉移性氮素的需求，卻未能改變此一趨勢，甚至導致減產。玉米在充實初期依序以子粒及穗軸爲主要積儲，莖稈與葉片同爲再轉移性氮素的主要來源；充實中期再轉移性氮素量的多寡，依序爲穗軸、葉片、莖稈與苞葉；充實後期則葉片幾乎爲唯一之再轉移性氮素來源（表 3，部份資料未列出）。上述結果顯示在吐絲至成熟期間，玉米植株各器官氮素含量的動態變化，似有一定的距離性及功能性方向。事實上，穗軸與苞葉可視爲再轉移性氮素的中繼或暫時儲存器官，對產量生理的意義可能較低，目前也缺少可資參考的研究資料。Swank et al.[25]指出葉片在吐絲期以後，莖稈則自吐絲後12日開始，都持續將所含之氮素轉移至子粒，本試驗也獲得相似結論，但除子粒以外，苞葉與穗軸顯然也是子粒充實初期的氮素積儲器官。

玉米子粒的氮素累積量以充實中期最高，初期次之，後期雖然較少，但仍佔子粒總含氮量的 20 %左右，以密植之 11-11-11 處理最低（15.7%），11-11-22 與 11-22-22 處理最高（24.6與26.8%）（表 2 與表 4），顯示後者子粒的充實持續時間較長，與上述乾物質累積的表現相同，Poneleit and Egli[19]亦曾指出栽培密度對子粒充實持續時間具有影響，Tsai et al.[28]也認爲子粒蓄積氮素與光合物質間有一定的關係。經計算本試驗中子粒乾物質與氮素累積量之間的比值，發現在充實前期較低（小

於50），充實中、後期則顯著較高（大於70），亦即充實前期的氮素相對累積速率高於乾物質相對累積速率；玉米子粒中的含氮化合物以 zein 蛋白質爲主，其含量多寡具有調節子粒累積醣類與乾物質的功能[28]；但是 Swank et al.[25]分析玉米子粒乾物質與氮素累積速率的比值，卻未能發現一定關係，因此認爲累積碳水化合物與氮素的過程是互相獨立的。在這一方面，本試驗結果肯定充實前期的充實中、後期的表現有異，又於栽培密度處理間有頗爲一致的表現，對子粒乾物質累積性狀而言，應仍具有特定的意義，有待深入探討。

Moll et al.[15]以玉米子粒產量（Gw）與施用氮素肥料量（Ns）之比值代表氮素利用效率（表 4），由於田間栽培之玉米植株所能吸收的肥料氮素量，受環境條件與肥料種類的影響極大，其實用意義尚有爭議。本試驗中各處理之單位面積產量與氮素累積量都因密植栽培而提高，氮素利用效率及其組成因子氮素吸收效率（Nt/Ns）因而表現相同的趨勢；但是植株每一單位氮素含量所能生產的子粒（Gw/Nt）與乾物質（Tw/Nt）在處理間多無顯著差異（表 4），顯示栽培密度雖可能改變葉面積、葉片立體結構等與光合成有關的性狀[29]，但是在本試驗條件下，並不能改變成熟期植株體內氮素所代表的乾物質及子粒生產能力。此外，在有關氮素利用效率的其他的組成因子方面，子粒產量（Gw）與子粒含氮量（Ng）的比值，及子粒含氮量與全株含氮量（Nt）的比值，各處理的表現相同，前者與子粒氮素濃度有關，後者代表氮素收穫指數，都不受栽培密度的影響。綜合上述結果，推測臺農一號玉米品種在氮素吸收與利用方面，對栽培密度可以呈現較爲穩定的反應。

玉米植株在吐絲後同化的氮素量佔全株總含氮量的比值（Na/Nt），以密植處理較低，相對的，子粒氮素含量與植株在吐絲後同化氮素量的比值（Ng/Na），則以密植處理較高（表 4）；Below et al.[6]指出玉米在吐絲後同化氮素的能力因基因型與環境因子而有所差異，對產量極爲重要，在謀求增產時，設法提高植株吐絲後累積氮素的能力，比提高再轉移性氮素的量更爲可行與有效。本試驗於吐絲後具有相同株距的三個處理中，以吐絲期氮素含量最低之處理（11-11-22）表現較高的 Na/Nt 及較低的 Ng/Na 值，能維持較高的氮素同化能力，應爲此一處理植株在子粒充實階段乾物質及子粒產量較高的原因之一。

綜合本試驗各項結果，認爲吐絲前的營養生長狀況可影響吐絲後植株累積乾物質與氮素的能力與模式。在吐絲前營養生長量較低的情況下，玉米植株於子粒充實期間具有較高的生長速率，並且可以持續至子粒充實後期，呈現補償作用，可能爲田間群落透光度增加的結果；雖一穗子粒數目降低，但光合物質與氮素的供給與需求關係較爲平衡，子粒充實期間延長，平均百粒重提高，因此減產的幅度並不顯著。玉米植株在子粒充實初期的光合產物平均分配於子粒及果穗其他部位，並以疏植條件下的競爭現象最爲明顯，此一階段爲決定一穗粒數與積儲容積的重要時期，有必要探討光合物質的生產與分配及環境的影響，以瞭解影響玉米產量表現的因子。玉米植株在子粒充實期間的氮素供源嚴重不足，但間拔疏植處理植株仍具有較高的氮素同化能力，顯示此一性狀具有變異性，如能經由改變栽培方法與環境因子而加以改善，對穩定玉米子粒產量將有助益。

誌　謝

本計畫承農業委員會補助（81農建—12.2—糧—47— 3 及82科技—2.1—糧—33— 3），謹致謝意。

引用文獻

1. 王強生、王碧玉、劉大江。1988。玉米對溫度與光週期之生長反應。中華農業研究 37：379—388。
2. 王強生、林淑雯、劉大江。1989.玉米產量及相關生理性狀對栽培密度的反應。刊載於「玉米生理遺傳與育種研討會論文集」（謝昱嶂、劉大江、朱德民、黃鑿秦合編）。中央研究院植物研究所專刊第 7 號，第99—

118頁。臺北市。

3. 曹紹徽、王強生、劉大江。1990。控制授粉對玉米臺農351號果穗及子粒生育性狀的影響。中華農業研究 39：165—173。
4. 魏夢麗、姜義展、陳烈夫、劉大江。1994。玉米營養生長期光合物質及氮素累積性狀與產量間關係之研究。中華農業研究。43：143—154。
5. 魏夢麗、陳烈夫、姜義展、劉大江。1995。栽培密度對玉米生育及產量之影響 I .營養生長期。中華農業研究。44：26—36。
6. Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed, and R. H. Hageman.1981. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development in maize, Plant Physiol. 68 : 1186—1190.
7. Corke, H. and L. W. Kannenberg. 1989. Selection for vegetative phase and actual filling period duration in short season maize. Crop Sci.29 : 607—612.
8. Cross, H. Z. 1991. Leaf expansion rate effects on yield and yield components in early-maturing maize. Crop Sci. 31 : 579—583.
9. Duffus, C. M. and M. P. Cochrane. 1982. Carbohydrate metabolism during cereal grain development. In : The Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination (A. A. Khan, de.). pp. 43—66 Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.
10. Edmeades, G. O. and T. B. Daynard. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. Can. J. Plant Sci. 59 : 585—601.
11. Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21 : 118—122.
12. Harder, H. J., R. E. Carlson, and R. H. Shaw. 1982. Corn grain yield and nutrient response to foliar fertilizer applied during grain fill. Agron. J. 74 : 106—110.
13. Hashemi-Dezfouli, A. and S. J. Herbert. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. Agron. J. 84 : 547—551.
14. Hawkins, R. C. and P. J. M. Cooper. 1981. Growth, development and grain yield of maize. Exp. Agric. 17 : 203—207.
15. Moll, R. H., E. J. Kamprath, and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J 74 : 562—564.
16. Muldoon, J. F., T. B. Daynard, B. van Duinen, and M. Tollenaar. 1984. Comparisons among rates of appearance of leaf tips, collars, and leaf area in maize (Zea mays L.). Maydica 29 : 109—120.
17. Muleba, N., T. G. Hart, and G. M. Paulsen. 1983. Physiological factors affecting maize (Zea mays L.) yields under tropical and temperate conditions. Trop. Agric. 60 : 3—10.
18. Ou-Lee, T. M. and T. L. Setter. 1985. Effect of increased temperature in apical regions of maize ears on starch-synthesis enzymes and accumulation of sugars and starch. Plant Physiol. 79 : 852—855.
19. Poneleit, C. G. and D. B. Egli. 1979. Kernel growth rate and duration as affected by plant density and genotype. Crop Sci. 19 : 385—388.
20. Reed, A. J., G. W. Singletary, J. R. Schussler, D. R. Williamson, and A. L. Christy. 1988. Shading effects on dry matter and nitrogen partitioning, kernel number, and yield of maize. Crop Sci. 28 : 819—825.
21. Schoper, J. B., R. R. Johnson, and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22 : 1184—1189.
22. Schussler, J. R. and N. E. Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential. II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Sci. 31 : 1196—1203.
23. Setter, T. L. and B. A. Flannigan. 1986. Sugar and starch redistribution in maize in response to shade and ear temperature treatment. Crop Sci.26 : 575—579.
24. Simmons, S. R. and R. J. Jones. 1985. Contribution of presilking assimilate to grain yield in maize. Crop

Sci. 25 : 1004—1006.

25. Swank, J. C., F. E. Below, R. J. Lambert, and R. H. Hageman.1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiol. 70 : 1185—1190.
26. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1982. Effect of source-sink ration dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Can J. Plant Sci. 62 : 855—860.
27. Tollenaar, M., L. M. Dwyer, and D. W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. Crop Sci. 32 : 432—435.
28. Tsai, C. Y., D. M. Huber, D. V. Glover, and H. L. Warren. 1984. Relationship of N deposition to grain yield and N response of three maize hybrid. Crop Sci. 24 : 277—281.
29. Williams, W. A., R. S. Loomis, W. G. Duncan, A. Dovrat, and F. Nunez.1986. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci. 8 : 303—308.

The Effects of Planting Density on the Growth and Yield of Corn

II. Grain-Filling Period[1]

Yih-Jan Jiang[2], Meng-Li Wei[2], Lit-Fu Chan[3] and Dah-Jiang Liu[2]

Summary

The purpose of this experiment was to investigate the pattern of dry matter and N accumulation by corn hybrid Tainung No. 1 during kernel-filling and its influence on yield performance for plants with differed vegetative growth at silking. Field experiments were conducted in the fall crops of 1991 and 1992 with a row spacing of 75 cm and within-row spacings of 11 and 22 cm. The spacing was altered from 11 to 22 cm in part of the plots by thinning the stand at silking (1991) and at tassel initiation and silking (1992). In 1992, thinning was also performed to enlarge the spacing from 22to 44cm. Dense-planting tended to decrease the vegetative growth at silking. With the same population density, plants with less vegetative growth at silking could produce more dry matter during the early (0～24 days after silking, DAS) and late (24～48 DAS) kernel-filling periods. However, partition of dry matter to the kernel was less significant as compared to other treatments. The amount of dry matter accumulated during 0～24 DAS was evenly distributed to kernel and other parts of the ear, indicating possible competition between organs. The phenomenon was most significant for the low-spacing treatment. The amount of dry matter produced by plants with less and more vegetative growth could not meet the demand by the developing kernels during the middle and late kernel-filling periods, respectively, which suggests a very complex source-sink relationship as a result of plant-spacing treatment. The assimilation rate of N was lower for the whole plant than for the kernels throughout the entire kernel development phase, especially during the period of 24～48 days after silking. However, plants with less vegetative growth and N accumulation at silking exhibited higher N assimilation ability and hence better source-sink relationship in N during this period. The N use efficiency (NUE) increased with increasing population density, due completely to higher uptake efficiency. The NUE and most of its components were similar among treatments in spite of the different amounts of dry matter and N accumulated at silking. This implies a stable response in N utilization to population density for corn hybrid Tainung No. 1. Under the current experimental conditions, kernel yield was not significantly affected by the status of vegetative growth at silking beacause of the buffering ability of the plants in terms of dry matter and N assimilation during kernel-filling.

Key words : *Zea mays*, plant spacing, kernel-filling, dry matter accumulation, N accumulation, N use efficiency.

---

1. Contribution No. 1767 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant, Research Assistant, and Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：49～58（1995）

柿品種評估暨改良[1]

溫　英　杰[2]

摘要：本省以往栽培的柿子品種，都是採收後需要人工脫澀處理方可食用的澀柿品種。經由國外引入能在樹上自行脫澀的甜柿品種，在不同海拔地區試種，以觀察其對本省氣候環境的適應性。試驗結果顯示，〝富有〞、〝松本早生富有〞、〝次郎〞、〝伊豆〞、〝駿河〞等甜柿和〝刀根早生〞、〝祇園坊〞等品種，果實果形大、品質佳、果色美，具有形成產業的潛力。〝富有〞甜柿在海拔800～1,200公尺的山坡地表現良好，〝次郎〞甜柿適應性較廣，在500公尺以上之山坡地都可結出碩大的果實。栽培於超過1,500公尺的高山上之甜柿容易有澀味殘留，栽培於低於500公尺之地，所結果實較小，果肉質地較粗，褐斑亦較多。在授粉樹的篩選方面，〝赤柿〞配合〝禪寺丸〞或〝正月〞可以作爲〝富有〞和〝松本早生富有〞的授粉品種。在育種方面，選出適應低海拔氣候的4個完全甜柿和3個完全澀柿品系。

關鍵詞：柿、評估、品種改良。

柿爲柿樹科之落葉果樹，爲落葉果樹中最喜好溫暖的，原產於我國大陸，野生柿在四川、湖北、江蘇、浙江等省皆有分布(2)。柿子在漢朝已有栽培記載，推斷其栽培歷史至少在1800年以上(1)，隨著栽培和利用方法的改進，栽培日廣。西元860年段成式在他所寫的酉陽雜俎中，讚美柿有七絕：一、多壽，二、多陰，三、無鳥巢，四、無蟲蠹，五、霜葉可玩，六、佳實可啖，七、落葉肥大可以臨書。從這段記載，可知柿在我國自古以來就受到多數人民的重視和喜愛。

柿子的品種很多，以往依其果實在樹上成熟時能否自然脫澀，分爲澀柿與甜柿兩大類。近年來對柿子的研究日多，上述之分類方法已不足使用，因此再根據授粉後果肉是否有褐斑生成，再細分出不完全甜柿及不完全澀柿(9,10)。

柿子果實成熟時在樹上不能自行脫澀，須在採收後經人工脫澀處理才可食用者稱爲澀柿，授粉後果肉有褐斑生成者爲不完全澀柿，無褐斑生成者爲完全澀柿。完全甜柿因果實在樹上成熟時，可溶性單寧含量已降至0.5%以下，因此不需經過脫澀即可食用，且果肉不因種子之產生而發生褐斑。不完全甜柿其果實的甜與澀決定於果實內種子的含量，而且種子附近的果肉會有褐斑生成(9,10)。

本省以往栽培的柿品種，都是先民由華南地區引入之澀柿(4)，這些柿子都需要經過人工脫澀後才能食用，以牛心柿而言，目前大多數農友採用石灰水浸泡脫澀成脆柿供食，這種脫澀方法很容易造成柿果因二氧化碳休克而腐爛，而且本省經濟栽培之柿品種不多，產期集中，且果形較小，果皮黃綠，盛產期間價格低落，凡此種種都影響柿農之收益。因此，本省柿子品種亟待改良與多樣化，以提高品質，降低生產成本和分散產期來增加柿農收益。

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第1768號。
2. 本所作物種原室副研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

甜柿能在樹上自行脫澀，而且果形大、果色美、糖度高，無論在生產或運銷上，都較澀柿爲優。本省以往多次引進甜柿試種[4]，但或因砧木選擇不當，或對甜柿之病蟲害及生長習性未能掌握，而未能有經濟規模之生產。

利用引種及雜交育種方式，引進或育成不需人工脫澀即可食用之甜柿品種，或果實品質佳、脫澀容易、產期不同之澀柿品種，使柿子品質提升、品種多樣化，可達到改善柿農收益之目的。本文報導在柿子品種選育方面之成果。

材料與方法

由國外引進優良甜柿品種及具有雄花之授粉品種，在本省不同海拔地區試種，試種苗木皆採嫁接繁殖，所用砧木爲臺東豆柿（*Diospyros oldhami*）。生育期間調查植株及果實特性，調查項目基準如下：始花期：約有5%的花開花。末花期：約有75%的花落瓣。開花期：從始花到末花的天數。成熟期：50%果實達到商業採收程度。果實發育日數：從末花期到成熟期之日數。

育種工作以下列三個途徑進行：(1)以早年引進本省，已經馴化於本省低海拔氣候之甜柿品種作爲育種親本，與引進之〝富有〞甜柿雜交。(2)以不完全甜柿品種與〝富有〞甜柿雜交。(3)將已馴化於低海拔氣候之甜柿自交。雜交果實成熟後，取出種子以億力（Benlate）消毒30分鐘後，再用潮濕的蛭石包埋，置於5°C中打破休眠。種子打破休眠後，待下胚軸伸出約 2 公分時，取出種植於以 2 份消毒土壤、2 份蛭石、1 份泥炭土所配成的培養土中培育，每星期定期施以彼得肥（Peters）肥料（N：P：K＝20：20：20）一次。實生苗於溫室培育到150公分左右時，移到田間以1×4公尺的密度栽培，生育期間定時施肥及防治病蟲害。

結　果

一、柿種原之收集與試種評估

快速提昇柿果品質直接、有效的方法就是搜集國外優良柿種原，加以試種評估。本省並無甜柿種原，間或有農友零星自日本引進栽培，但或因引種年代久遠，或因輾轉相傳，來源與品種名稱竟無一可考。民國76年起由日本、美國等國家陸續引進柿子品種，分別在農業試驗所萬豐農場（海拔90公尺）、臺中縣東勢鎮（海拔500公尺）、臺中縣和平鄉烏石坑（海拔850公尺）以及梨山地區環山部落（海拔1,400公尺）等地區嫁接試種，所用砧木爲臺東豆柿（*Diospyros oldhami*）。至民國82年止共完成 9 種甜柿、10種不完全甜柿、1 種完全澀柿和 3 種不完全澀柿的特性調查與評估，這些柿子品種的果實性狀及成熟期詳如表1，試種地點全年之月平均溫及年均溫詳如表2。

引進之柿子品種中，部份品種果實品質較本省原有栽培品種優良，值得進一步推廣，以形成產業。茲詳述其植株及果實特性如下：

〝富有〞（Fuyu）：爲目前本省栽培面積最廣之甜柿品種，在中部海拔850公尺地區，果實於11月上旬成熟，屬於晚生品種，果實大，平均果重260公克左右，最大果重可達600公克。果肉細而緻密，褐斑少且細，果汁多，糖度15°Brix，成熟果果皮橙色。果實在 8 月底已脫澀，成熟時果實無澀味殘留。本品種樹勢中等，到達結果樹齡之期間短，豐產，隔年結果性小，但單爲結果性弱。栽培在本省中部海拔500公尺以下的地方，所結果實的果形較小（平均果重175公克，果實採自農試所萬豐農場，20果平均）、果皮較粗糙而且轉色困難、果肉質地較粗、褐斑也較大，但脫澀較早，八月上旬即已脫澀完全。在梨山地區（海拔1,400公尺），所栽培的〝富有〞甜柿，果實碩大、果色橙紅，但是

果實無法完全自行脫澀，11月上旬果實成熟時仍有澀味殘留。〝富有〞甜柿在經濟生產上的缺點，在於果實十分容易發生萼下裂果，果實越大，越容易發生，果重超過300公克之果實，完全沒有裂果者，十不得一。有萼下裂果之柿果，果實容易遭病原菌侵入軟化而降低商品價值。因此在栽培上，以控制生產250公克大小之果實，可以降低損失，提高果實貯運壽命。本品種對炭疽病、落葉病及白粉病的抗性差，若放任生長或管理不當，容易造成早期落葉及落果。

表1. 引進柿品種之果實特性及成熟期

Table 1. The fruit characteristics of persimmon that introduced from Japan

Varieties	Group[y]	Fruit weight[z] (gm)	Fruit shape	Skin color	Gender	Harvest date
Fuyu	PCNA	260	round/oblate	orange-red	female	early November
Matsumoto wase fuyu	PCNA	240	round/oblate	orange	female	late September
Jirou	PCNA	280	square/oblate	orange-red	female	early October
Hazegosho	PCNA	260	round	yellow	monoecious	mid November
Okugosho	PCNA	150	oblate	orange	monoecious	late October
Hanagosho	PCNA	300	round	orange	monoecious	mid November
Izu	PCNA	180	oblate	orange	female	mid September
Suruga	PCNA	230	dome	orange-red	female	early November
Gosho	PCNA	165	oblate	orange	monoecious	mid November
Amayotsumizo	PVNA	150	conical	orange-yellow	monoecious	mid October
Amahyakume	PVNA	420	round	orange-yellow	monoecious	early November
Kyara	PVNA	350	round	orange-yellow	monoecious	late October
Egosho	PVNA	270	round dome	orange	monoecious	mid October
Gofuu	PVNA	255	round dome	orange	female	late October
Kaoru	PVNA	260	round	orange	female	late October
Zenjimaru	PVNA	90	round	orange	monoecious	early October
Nishimura wase	PVNA	110	round dome	orange	monoecious	mid August
Shougatsu	PVNA	280	dome	yellow	monoecious	mid December
Akagaki	PVNA	70	round	orange	monoecious	late August
Hiratanenashi	PVA	270	oblate	yellow	female	early December
Tonewase	PVA	250	oblate	orange-yellow	female	early September
Atago	PVA	200	conical	orange	female	early Nonember
Gionbou	PCA	310	conical	orange	female	early December

[z] Mean of twenty fruits that harvested from Wu-shih-ken.

[y] PCNA : Pollination constant non-astringent.
PVNA : Pollination variant non-astringent.
PVA : Pollination variant astringent.
PCA : Pollination constant astringent.

表2. 試種地點1993年全年之月平均溫及年均溫（單位：°C）[z]

Table 2. Month and year mean temperature of four testing fields in 1993 (°C)

	Jan.	Fed.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Hwan-shan	8.6	10.3	12.1	14.7	17.4	18.6	20.2	20.1	18.6	16.0	14.8	10.9	15.2
Wu-shin-ken	12.3	16.2	16.5	19.6	22.5	24.2	24.9	24.7	23.7	21.1	19.7	15.2	20.1
Dong-shyh	12.8	16.7	18.6	22.3	25.7	27.6	28.9	28.8	27.1	24.4	21.4	15.8	22.5
Wan-feng	15.0	17.7	19.1	22.0	25.4	27.2	28.6	28.1	26.7	23.8	22.0	17.6	22.8

[z] Data came from climatological data annual report of Central Weather Bureau 1993.

[y] Data came from the nearest weather station-Shuang-chyi.

〝松本早生富有〞（Matsumoto Wase Fuyu）：爲在〝富有〞品種上發現之早生枝條變異品種，在中部海拔850公尺地區，果實於10月中旬成熟，屬於早生品種，果實較〝富有〞小，平均果重240公克，除上述兩性狀外，其餘特性與〝富有〞並無差異。

〝次郎〞（Jirou）：較〝富有〞甜柿耐熱，因此能作經濟栽培之地區較〝富有〞廣，在臺灣中部海拔400到1,000公尺的地區試種，都得到良好的結果。果實成熟期由海拔400公尺的10月上旬到850公尺的10下旬，較〝富有〞的成熟期早。果實甚大，平均果重280公克，較〝富有〞大。果實扁方形，縱切面近長方形，橫切面則爲方形。成熟時果皮橙紅色，果粉多，果肉黃紅色，褐斑粒子極細，糖度17°Brix，肉質細緻而稍硬，果汁含量較〝富有〞少。果實脫澀較晚，果皮未轉色前，仍有澀味殘留。〝次郎〞果實容易有果頂裂果發生，而且貯藏性較〝富有〞差，爲其缺點；但是對炭疽病的抗性強，隔年結果性小，以及單爲結果性強，樹勢強健、管理容易爲其優點。

〝伊豆〞（Izu）：於中部海拔850～1,000公尺地方試種結果，果實在 9 月中旬成熟，爲試種甜柿品種中最早熟者。平均果重180公克，果形扁平，外觀及品質均優。果皮橙紅色，肉質緻密柔軟多汁，糖度16°Brix。〝伊豆〞的雌花花蕾較小，且柱頭突出，形成特有的蕾開型花，易於與其他品種區分。經過 4 年的觀察〝伊豆〞在本省的氣候環境下，對炭疽病的抗性極弱，而且單爲結果力差，種子形成力亦弱，容易造成樹勢衰弱及結果不安定。此外栽培於通風不良之處，易生果皮有黑漬的污染果，成熟時樹上軟果比較多，以及貯藏性較差等等，都是經濟生產上應該特別注意的地方。

〝駿河〞（Suruga）：本品種在原產地日本爲晚生品種，產期較〝富有〞約晚20天；但在本省中部海拔850公尺地區試種結果，產期與〝富有〞差不多，也在11月上旬成熟。果實中大，平均果重230公克，果皮橙紅色而有光澤。果實圓錐形，果頂部稍尖。果肉濃紅色，致密而黏，褐斑細小。糖度高達17°Brix。單爲結果性強，結果穩定且豐產，果實貯藏性亦佳。

〝西村早生〞（Nishimura wase）：爲所有引進柿品種中成熟最早者。在農試所萬豐農場（海拔90公尺），果實於 8 月上旬成熟；種植於海拔850公尺的烏石坑，則約晚二星期，於 8 月下旬成熟。本品種屬於不完全甜柿，需充分授粉後，方可成爲甜柿。自身具雄花，但雄花量不足供經濟栽培上授粉所需，需混植雄花量較多，且花期一致之授粉樹，以使充分授粉。果實扁圓形、果頂部較尖，平均果重110公克，屬小形果，栽培上需要徹底疏蕾或疏果，使果實肥大，增高商品價值。肉質粗、脆硬、果汁較少，褐斑粗大，糖度14°Brix。

〝伽羅〞（Kyara）：在本省中海拔地區10月下旬成熟之不完全甜柿品種，果形甚大，平均果重350公克。果形圓形，成熟時果皮橙黃色，果頂易生輕微星形裂痕。果肉淡紅，褐斑粗大，肉質柔軟

多汁而甜，糖度達19°Brix，但甜而不膩，風味甚佳。自身具雄花，但數量少且不安定，經濟生產上需混植授粉樹，以防止半澀果及澀果的產生。

〝正月〞（Shougatsu）12月下旬成熟之晚熟不完全甜柿，平均果重280公克之大果品種。果實圓頂形，高腰、頂部尖，果實著色差，成熟時果皮黃色。果肉淡黃色，褐斑粗大且密集，肉質脆硬，果汁較少，糖度16°Brix。果實貯藏性甚佳，冬季可置於室溫下 3 星期而不會降低果實品質。本身具雄花且花粉量多，爲有名之授粉樹品種。

〝刀根早生〞（Tonewase）：品質極佳之不完全澀柿。在低海拔地區果實於 9 月上旬成熟。果實扁方形，平均果重250公克。果皮橙黃而有光澤，外觀甚美。果肉淡黃色，肉質細緻，柔軟多汁，糖度15°Brix左右。豐產，單爲結果力強，種子形成力弱，無隔年結果現象。值得注意的是，本品種嫁接在臺東豆柿（*Diospyros oldhami*）上，矮化情形十分明顯，利用此一特性，在栽培上可以密植而且管理方便。目前在柿樹尚未有確實有效的矮性砧木之報導[5]，本試驗結果對柿樹的矮化栽培有其重要性。

〝祇園坊〞（Gionbou）：於中海拔地區12月下旬成熟之晚生澀柿。果形甚大，平均果重310公克，最大果重可達500公克。果肉細緻多汁，品質極佳，脫澀後平均糖度達20°Brix。果實長圓錐形，果頂部微尖，有四條明顯側溝，橫切面方形，果皮呈明亮的橙黃色而無其他雜斑。樹勢強健，單爲結果性強，產量高，無隔年結果現象，與〝刀根早生〞同爲值得推廣的澀柿品種。

其餘試種品種，或因本身有重大缺點，或因已有更好的選擇，不建議作爲商業栽培品種，茲將原因說明如下：

〝裂御所〞（Hazegosho）、〝晚御所〞（Okugosho）、〝御所〞（Gosho）、〝花御所〞（Hanagosho）：與臺東豆柿的嫁接親合性極差，嫁接三年後成活率爲零。

〝甘四溝〞（Amayotsumizo）：果形太小。

〝甘百目〞（Amahyakume）：果形太大，充分授粉後仍有部分果肉無法脫澀。

〝繪御所〞（Egosho）：果面輪紋明顯。

〝御富〞（Gofuu）：果面雜斑太多。

〝Kaoru〞：萼下裂果十分嚴重。

〝平核無〞（Hiratanenashi）：對角斑落葉病抗性極差，在低海拔地區成熟時果實轉色困難。

〝愛宕〞（Atago）：品質比牛心柿差。

二、授粉品種的篩選

許多經濟生產的柿子品種只有雌花[9,10]，因此單爲結果性弱的品種，如〝富有〞、〝松本早生富有〞、〝伊豆〞等，經濟栽培上需混植有雄花的授粉品種，以提高結果率及安定生產[9]。根據試種觀察結果顯示，在本省的氣候環境下，〝富有〞及〝松本早生富有〞，若未經授粉或環狀剝皮，早期落果非常嚴重，最嚴重者可達100%。因此，混植授粉樹或人工授粉，可以減少落果，使結果確實，產量穩定。至於雌雄花同株的品種，一般可以自交結果，但若混植有雄花較多的其他品種，結果率會更好[3,7]。尤其在雄花少或雄花開花不穩定的品種如〝裂御所〞、〝西村早生〞、〝伽羅〞等，效果更明顯。良好的授粉樹必需具備有：雄花多、花粉量多及雄花花期與商業栽培品種之雌花早及重疊度大等條件[8]。

民國82年在農試所萬豐農場調查結果顯示，〝富有〞與〝松本早生富有〞的花期大約一致，兩者的始花期同爲 4 月14日，終花期爲 4 月21日。〝赤柿〞雄花始花期爲 4 月10日，而於20日結束。〝禪寺丸〞雄花花期與〝富有〞及〝松本早生富有〞的花期相同。〝正月〞的雄花開放較晚，始花期爲 4

月16日，末花期爲 4 月24日（圖 1）。〝赤柿〞的雄花數量較〝正月〞及〝禪寺丸〞多，而且雄花花期早，十分合適作爲〝富有〞及〝松本早生富有〞的授粉樹，但是花期較早結束，對於〝富有〞及〝松本早生富有〞的晚花，無法發揮授粉功能。〝禪坊丸〞和〝正月〞的花期較晚，與〝赤柿〞搭配可以構成一個〝富有〞及〝松本早生富有〞完善的授粉系統。〝正月〞的樹勢強健，雌花果實經濟價值高，但是雄花開花量不穩定，適合作爲輔助的授粉品種。

試種的不完全甜柿如〝西村早生〞等，需要充分授粉才可成爲甜柿，雖然本身爲雌雄同株，但其自身的雄花不足供其所需，仍需混植授粉樹以防止半澀果的產生。〝西村早生〞的雌花花期始於 4 月11日，而於 4 月17日結束；雄花花期較早且長，始於 4 月 9 日，而於 4 月18日結束。依據試驗觀察，在本省〝赤柿〞爲〝西村早生〞的理想授粉品種。

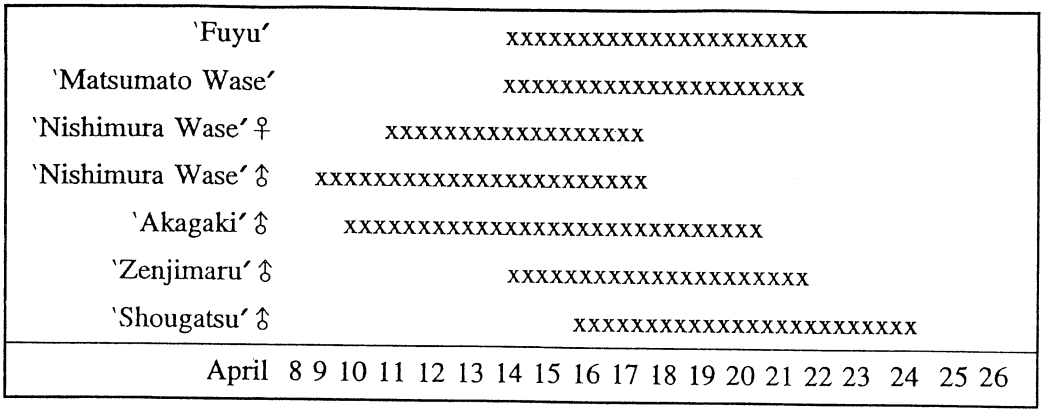


圖 1． 所調查 6 個柿品種之開花期

Fig. 1. Flowering time of six persimmon varieties.

三、雜交育種

雜交育種以下列參個方式進行：(1)以引進品種中具有雄花之完全甜柿和早年引進本省低海拔地區，適應良好且具有雄花的完全甜柿爲父本，〝富有〞爲母本進行雜交。(2)以不完全甜柿〝繪御所〞爲父本，〝富有〞爲母本進行雜交。(3)將適應低海拔氣候之完全甜柿自交。根據池田等人[12]，對於柿子甜澀遺傳的研究結果顯示，父、母本皆爲完全甜柿，後代大部分（95.7%）爲完全甜柿，若一親不是完全甜柿或雙親都不是完全甜柿，則後代出現完全甜柿的比率甚低。以完全甜柿爲母本，不完全甜柿爲父本爲例，其後代出現完全甜柿、不完全甜柿、不完全澀柿及完全澀柿的比率分別爲3.4%、46.5%、18.7%、和28.5%，其餘2.9%未確認。

適應低海拔氣候之完全甜柿的花粉，取自臺中縣豐原市公老坪地區，此品種栽培已達25年以上，爲園主先人自日本引入，確實引進時間及品種名均已不可考。這個品種果實中大，平均果重200公克，果肉細緻多汁，褐斑少，果色橙紅，有雄花但量少，樹勢中等，產期早，10月上旬果實成熟。

花粉採自即將開放之雄花花蕾，花藥取出後，置於乾燥之室溫下讓花粉散出，再將花粉收集在硫酸紙袋內，裝入含乾燥劑之玻璃瓶中密封，置於－20°C貯藏，直到使用時再取出。民國76年 5 月完成雜交，11月雜交果實成熟時，取出種子以億力（Benlate）消毒30分鐘，後置於5°C打破休眠。民國77年12月雜交後代於溫室培育至150公分高時，移到田間以1×4公尺的密度定植。民國81年起雜交後

代陸續越過幼年期，就已開花結實之後代，選出4個完全甜柿和3個完全澀柿品種，其果實特性詳載表3。

表3. 七個優良選系之果實特性及成熟期

Table 3. The fruit characteristics of 7 persimmon selections that show promise for advanced tests

Selections	Fruit weight[z] (gm)	Fruit shape	Souble solid (°Brix)	Skin color	Gender	Harvest date
PCNA-1	160	oblate	17	orange-yellow	female	late September
PCNA-2	220	round	18	orange-yellow	monoecious	late September
PCNA-3	180	oblate	16.5	orange-yellow	female	early October
PCNA-4	180	oblate	16.5	orange-yellow	female	early October
PCA-1	225	square	19	orange-yellow	monoecious	early November
PCA-2	275	round	16	orange-yellow	female	late September
PCA-3	240	ovary	17.5	orange-yellow	female	late September

[z] mean of 20 fruits for PCA, 5 fruits for PCNA.

PCNA-1：選自〝富有〞×〝裂御所〞的雜交後代，果實中大，平均果重160公克，果實扁圓形，果皮橙黃，糖度17°Brix，果肉緻密，9月下旬果實成熟，樹勢中等。

PCNA-2：同樣選自〝富有〞與〝裂御所〞的雜交後代，中等樹勢，有雄花，果實大，平均果重220公克，果實圓形，果皮橙黃，糖度18°Brix，果肉緻密，果實於9月下旬成熟。

PCNA-3：親本爲〝富有〞×〝繪御所〞，10月上旬成熟的完全甜柿，樹勢中等，果實中大、扁圓形，平均果重180公克，糖度16.5°Brix，果肉細致多汁，成熟時果皮橙黃色。

PCNA-4：爲低海拔完全甜柿的自交後代，樹勢中等，果實扁圓形，平均果重180公克，糖度16.5°Brix，果汁較少，肉質脆硬。

以下三個澀柿選系皆由〝富有〞與〝繪御所〞的雜交後代選出。

PCA-1：果形大，平均果重225公克，果實高四方形，植株生長勢強健，雌雄同株，豐產果實甜而多汁，糖度達19°Brix，11月上旬成熟的晚生品種。

PCA-2：果形極大，平均果重達275公克，果實圓形，果肉細緻多汁，糖度16°Brix，果頂有輕微輪紋，果實9月下旬成熟，樹勢中等。

PCA-3：樹勢強健，果實長橢圓形，平均果重240公克，果肉細，纖維少，果汁多，糖度17.5°Brix，9月下旬成熟。

這些選系較本省低海拔地區原來栽培的四周柿及牛心柿，有果形較大、果色豔等優點，值得進一步觀察其他性狀，如砧木親合性、產量高低等，以作爲將來推廣之依據。

討　論

依據臺灣省82年度農業年報統計，柿子的栽培面積有1,446公頃[6]，除了少量的甜柿外，一千餘公頃的面積，只有三個主要栽培品種—四周柿，牛心柿和石柿。有限的品種造成產期集中，價格無法提高。引進之甜柿品種，除了果形大、果色美、而且毋需脫澀即可販售，廣受消費者和生產者的喜好，但是試種結果顯示，甜柿的適應性不廣，局限於海拔600～1,000公尺的山區。適合本省低海拔地區

優良澀柿及甜柿品系的育成，可以增加低海拔地區柿子種原，對方分散產期，提高柿農收益有一定的助益。

低海拔地區栽培的〝富有〞甜柿，較在中海拔地區栽培者果形小的原因，不能歸因爲果實發育日數較短所致。民國82年10月22日，同時採收的〝富有〞柿，20果平均果重分別爲190（農試所萬豐農場，低海拔）和280公克（臺中縣摩天嶺，海拔1,000公尺）。以〝富有〞柿在平地開花期早中海拔地區10天左右，低海拔地區的〝富有〞柿反而有較長的果實生育期。造成低海拔甜柿果形較小的原因可能較爲複雜，推測可能原因之一，爲平地甜柿葉片的蒸散率較高，導致果實肥大時可供用之水分較少，此點可由低海拔甜柿的果實較硬得到證明。此外，平地日夜溫差較小，夜間呼吸作用高，導致光合作用產物的累積較少，以及平地病蟲害發生較頻繁等，都是可能的原因。

在果樹育種人員進行甜柿育種工作當中，對於柿樹植株及果實特性如成熟期[13]、甜與澀[12]、子代雄花著生率[14]等遺傳行爲的瞭解，都有相當程度的累積，對於育種工作的執行有很大的幫助。甜柿品種的育成主要經由完全甜柿的互相雜交，品種育成的困難點在於品質優良的甜柿品種都無雄花，優良的母本只能與品質較差的父本雜交，限制了雜交後代品質提升的速度[15]。因此搜尋〝富有〞、〝次郎〞等優良甜柿品種具有雄花著生之植株，對於育種速度的提昇，有很大的幫助。本省主要澀柿品種都無雄花，使品種改良工作無法進行。本試驗利用完全甜柿與不完全甜柿雜交，於雜交後代中選拔品質優良的澀柿品種，證明爲一可行而有效的方法。完全甜柿與不完全甜柿的雜交組合也是獲得完全甜柿的來源之一，站在擴大完全甜柿種質來源的觀點，實爲一個重要途徑。

誌　謝

本研究承行政院農業委員會經費補助，日本友人土屋七郎、太田信義、中垣文頌提供試驗所需之種原，謹誌無上謝忱。

引用文獻

1. 佟屏亞。1983。果樹史話。農業出版社。119—130頁。北京。
2. 吳耕民。1984。中國溫帶果樹分類學。農業出版社。320—338頁。北京。
3. 吳耕民。1993。中國溫帶落葉果樹栽培學。浙江科學出版社。565—642頁。浙江。
4. 康有德。1980。農家要覽—柿。豐年社。843—846頁。臺北。
5. 蔡平里。1983。柿之旅。臺大農學院推廣手册第14號。8—11頁。臺北。
6. 農林廳。1993。臺灣農業年報。126頁。南投。
7. 華南農業大學。1991。果樹栽培學各論。農業出版社。444—445頁。北京。
8. 松本善守。1983。授粉樹の選定と配置。農業技術大系果樹篇。4、かき基本技術篇。22—23。農山漁村文化協會。東京。
9. 遠藤融郎。1982。かきの品種と栽培。11—15頁。農山漁村文化協會。東京。
10. 遠藤融郎。1986。かき品種名鑑。日本果樹種苗協會。東京。
11. Bellini, E., Villa, S. and Giannelli. 1992. Obtaining new PCNA cultivars of oriental persimmon. Acta Hort. 317 : 225—233.
12. Ikeda, I., Yamada, M., and Karihara, A., 1985. Inheritance of astringence in Japanese persimmon. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 54 : 39—45.
13. Ikeda, I., Oohata, T., Nishida, T. and Hirose, K. 1975. The inheritance of certain characters in Japanese. 3. Inheritance of ripening date. Bull. Fruit Tree Res. Stn., Japan, B2 : 1—20.
14. Oohata, T., Ikeda, I. and Nishida, T. 1964. The inheritance of some characters in Japanese persimmon. 2. The inheritance of bearing habit of staminate flowers. Bull. Hort. Res. Stn., Japan, B3 :

51—66.

15. Oohata, T., Nishida, T. and Ikeda, I. 1963. The inheritance of some characters in Japanese persimmon. 1. A suggestion for discriminating good parent varieties and their desirable combinations in the breeding of persimmons. Bull. Hort. Res. Stn., Japan, B2 : 65—78.
16. Yamada, M., Yamane, H. and Hirabayashi, T. 1986. Studies on breeding Japanese persimmon by hybridization. Ⅲ. Genetic and environmental variation of fruit characters in varietal populations of PCNA persimmon studied in a third breeding experiment. Bull. Fruit Tree Res. Stn., Japan, E 6 : 1—10.
17. Yamada, M., Yamane, H. and Hiradayashi, T. 1986. Studies on breeding Japanese persimmon by hybridization. V. Variation in hetasuki. Bull. Fruit Tree Res. Stn., Japan, E 6 : 21—30.

Evaluation and Improvement of Persimmon[1]

Ien-Chie Wen[2]

Summary

All Taiwan commercial persimmon varieties belong to pollination-constant astringent (PCA) type that fruits need post-harvest treatment to remove astringency before eating. Evaluated 23 persimmons varieties that introduced from Japan included 4 different type- PCNA, PVNA, PCA and PVA for testing the adaptation in different sea levels. The fruits of 'Fuyu'、'Matsumoto wase Fuyu'、'Jirou'、'Isu'、'Suruga'、'Tonewase' and 'Gionbou' had bigger size 、better quality and color than those of native commercial cultivars showed potential to become a industry. The best areas for planting 'Fuyu'in Taiwan located in 800 -1200 M sea levels. The fruits of 'Fuyu' that harvested from areas below 500 M sea level had smaller size、more fiber、harder flesh and more brown spots than those of harvested from 800-1200 M mountain areas. 'Jirou' had better adaptation than 'Fuyu' can grow in 500-1200 M mountain areas with good results. The fruits of 'Fuyu' and 'Jirou' that harvested from 1400 M can not become non-astringency naturally. 'Akagaki' with 'Zenjimaru' or 'Shougat-su' was the best pollinator varieties for 'Fuyu' and 'Matsumoto wase fuyu'. Four PCNA type and three PCA type persimmons was selected from hybridization breeding program for advanced tests.

Key words : Persimmon, Evaluation, Improvement.

1. Contribution No. 1768 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Associate Research Fellow, Crop Genetic Resources Laboratiory, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：59～71（1995）

水芋葉面積與乾物質生產之關係[1]

陳烈夫[2]　呂秀英[3]　呂椿棠[3]　賴吉雄[2]

摘要：物質生產之預測對芋作物收穫計畫及製粉操作非常重要，本研究之主要目的在利用葉面積指數來探討及預測臺灣水田栽培檳榔心芋的乾物質生產。本研究分別於1991及1993年秋作在臺灣省農業試驗所試驗田區進行兩年試驗，自移植日起至收穫爲止，每隔一個月逢機調查10株芋植株，測量各株之葉面積、地上部乾物重（UDW）及球莖乾重（CDW），並估算不同時期的葉面積指數（LAI）、淨同化速率（NAR）及作物生長速率（CGR）。試驗結果得知，水芋LAI在移植後第3個月起開始快速增加，於移植後第6、7個月時LAI曲線有一明顯的尖峰，隨後LAI即降下，但不同年度試驗之LAI曲線受到氣象因素影響而有變化，在移植後第4至7個月期間倘逢高溫及多日照，可提高LAI的增加速度及最大值，此爲生理上影響乾物質生產增加之重要原因。水芋的LAI與乾物質生產之間的關係則表現相當一致，並不受年度或氣象之差異影響而異。水芋在LAI達最大值之前，地上部乾物重及球莖乾重均可因LAI之增加而增加，且與NAR並無明顯的負相關關係，但倘LAI大於最大值，則NAR及CGR值會顯著下降；當累積葉面積指數（CLAI）達到某一臨界值之前，水芋之乾物質生產可利用CLAI之直線迴歸函數來預測，但該臨界值及所估得之迴歸估值會隨著環境條件不同而異。

關鍵詞：芋、葉面積指數、乾物質生產、淨同化速率、作物生長速率。

芋屬天南星科（Araceae）多年生草本植物，一種球莖（corm）類作物，爲本省古老民食、傳統健康食品及夏季重要蔬菜，養分價值高，用途廣泛。芋品種依栽培所需的環境不同，可分爲旱芋及水芋兩類，依栽培收穫目的不同，有母芋用、子芋用、母子芋兼用及葉柄用等類品種。水芋栽培是臺灣目前種植面積最多的一種栽培方式，且長久以來一般農民幾乎均採用檳榔心芋品種爲主（約佔93%），其他品種則甚少見。檳榔心芋品種具有適應性廣與品質佳之優良特性，頗受芋農與消費者所喜愛。本品種最顯著的特徵是芋頭的白肉中散佈著紫紅色的筋脈，好像成熟的檳榔種子，故叫做檳榔心芋。有關芋作物生產力的基礎研究，國內至今仍頗爲闕如。作物生產力的研究，應著重在作物群落（community）物質生產的生理生態學的研究。光合作用之大小是決定作物產量之主要因素之一[11]。而有關芋作物之生長發育與光合產物之生產及分配等對產量關係之研究，顯然較其他根莖作物如甘藷、馬鈴薯爲少，目前尚缺乏詳盡資料與瞭解，尤其在本省之環境條件下，所得之研究資料更爲缺乏。

葉片爲光合作用主要之器官，因而葉面積被認爲是量度光合作用最好之單位，至少比葉片重量爲佳[1,9,12]。因此單位面積土地上所有葉面積之總和，即葉面積指數（leaf area index, LAI），可以量

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1769 號。
2. 本所農場管理室助理與副研究員兼主任。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農藝系副研究與助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

度作物群落之光合作用大小。當然LAI並不是一個完整無缺之量度單位，因爲除了植株的葉片以外，其他部位如莖或穗亦可進行光合作用，不過以LAI最常用來作爲植物生長之指標，及植物生理研究上評估同化及蒸散速率，該介量並最適合用來進行乾物質生產（dry biomass production）之研究[2,3,6,7,8,9,13,15,16,17,19,20,21,25]。乾物質生產之預測對芋作物收穫計畫及製粉操作非常重要，在考慮每單位時間單位土地面積上乾物重增加之速率（crop growth rate, CGR）時，必須同時考慮葉面積與光合成系統之效率。植物體之乾物質約有90%以上爲直接或間接來自光合作用之產物[24]。光合成系統之效率可以淨同化速率（net assimilation rate, NAR）表示，NAR係指每單位時間內每單位同化物質（葉面積）所增加的植物體乾物質重。本研究之目的在(1)探討水田栽培檳榔心芋LAI及乾物質生產隨生長時間之變化，(2)探究其LAI與地上部及球莖之乾物重、NAR、CGR之間的關係，(3)在不同年度栽培下瞭解氣象因素對LAI及乾物質生產之影響，(4)利用LAI預測水芋之乾物質生產。

材料及方法

試驗材料爲檳榔心芋，分別於1991及1993年秋作（10月中旬）在本所試驗田間進行，以水田栽培形式種植，整地與種植水稻相同，先將田面充分灌水，然後以牽引機迴轉犁及水田整平器耕耘耙平，使本田呈水平狀態，隔天種植。行株距70×30公分，每行30株，共15行。肥料種類爲硫酸鋅、過磷酸鈣及氯化鉀，其每公頃施用氮素700公斤、磷酐200公斤及氧化鉀600公斤，均分於整地及前六個月內施完。芋苗成活後，芋田保持淺水 3 至 5 公分，以後隨植株生長水位漸次加深至10公分左右，後期田間保持濕潤狀態。生長期間雜草之控制，以種植後 1 至 3 天，每公頃均施 5 %丁基拉草粒劑30公斤，並保持 3 至 5 公分淺水 3 天，種植後一個月再以同量施用一次。生育期間於 3 個月及 5 個月各剷除子芋一次，並適時加以45%三苯醋錫可濕性粉劑防治福壽螺，每公頃每次施藥量0.6至1.2公斤，及噴施45%一品松乳劑防治捲葉蟲及蚜蟲，每公頃每次施藥量1.2至1.5公升，稀釋倍數1,000倍。自移植當天後於生長期間每隔一個月，自田間逢機取出10株芋植株，至翌年 7 月收穫爲止，共調查 9 次，剪下各株之葉片、地上部及球莖，先利用葉面積測量儀（Model LI-3000, LI-COR Co., U.S.A.）測量各株之實際全株葉面積，然後置於送風乾燥箱中以100°C烘乾 2 小時及80°C烘乾72小時，再秤量地上部乾物重（UDW）及球莖乾物重（CDW）。所得之試驗資料估算不同時期的葉面積指數、淨同化速率及作物生長速率，其估算方法如下[5,10,14]：

一、葉面積指數（LAI）

每單位土地面積之葉面積，即

$$LAI = A/P$$

式中A爲全株葉面積（cm^2），P爲單株所佔土地面積＝2,100cm^2。

二、淨同化速率（NAR）

每單位時間內每單位葉面積所增加的植物體乾物質重（$mg/cm^2 \cdot day$），即

$$NAR = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \cdot \frac{\log_e A_2 - \log_e A_1}{t_2 - t_1}$$

式中W_1, W_2各爲時間t_1, t_2（day）下之乾物質重（mg），爲地上部乾物重（UDW）或球莖乾重（CDW）；A_1, A_2各爲時間t_1, t_2下之全株葉面積（cm^2）。

三、作物生長速率（CGR）

每單位時間單位土地面積上乾物重增加之速率（$mg/cm^2 \cdot day$），即

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{P}$$

式中W_1, W_2, t_1, t_2, P之定義同前述。

結果與討論

一、試驗期間氣象之變化

圖1爲1991年11月至1992年7月與1993年11月至1994年7月兩不同年度試驗期間在臺灣省農業試驗所各月份之平均日溫（°C）、每月累積雨量（mm）及每月累積日射量（MJ）之變化。平均日溫方面，顯示除了1994年3月較1992年3月略低以外，本試驗秋作水芋生長中期之1月至4月間（移植後第3至6個月）的氣溫，第二年均較第一年爲高，生長後期三個月內之平均日溫則兩年相近；1994年的梅雨季節發生較晚，故其3、4月之雨量極少而日射量甚高，雨量主要集中在5至6月間，但因已入夏，日射量仍高，而1994年7月則因颱風較多於1992年同季，日射量較低。綜合本研究試驗地點兩年之氣象因素的差異比較，1994年1至2月之平均日溫以及3月至4月間之日照均高於1992年同一時期。

二、LAI及乾物質重隨生長時間之變化

如圖2-A所示，水田栽培檳榔心芋之LAI在移植後隨生長時間而增加，達到一高峰後即開始降低。第一年試驗水芋從移植到收穫止，其LAI大多小於2，而且約有一半的時間其LAI都很低，即LAI值小於1，LAI曲線之高峰在翌年4月（移植後第6個月），其最大值僅爲2.1，隨後LAI下降的速度較慢，顯然該試驗時期水芋在生長時期並沒有充分地利用太陽能；第二年試驗在翌年1月（移植後第3個月）以前的LAI與第一年試驗所得者相差無幾，但隨後LAI曲線則急速增加，於翌年2月中旬起其LAI都在2以上，且在1994年5月（移植後第7個月）時有一非常明顯的尖峰，最大LAI值約爲3.8；兩年試驗在最後收穫時的LAI都降到1.7左右。按該兩年試驗之LAI表現在2月至6月間之所以有如此極大差異，推測爲第二年試驗期間2月之氣溫較高且3、4月之日射量高於第一年所致（圖1），此段時期恰好是水芋葉片生長最旺盛的時期。由於水芋LAI保持爲最大值的時間很短，欲使作物乾物重（或產量）達於最大，則必須使LAI爲最大值之時間與最適於光合作用之時間相互配合。例如6、7月之氣象環境最適合光合作用進行，但本研究秋作試驗是在10月中旬移植，水芋LAI爲最大值時正好爲翌年4、5月左右，如果LAI之最大值能延後兩個月，則水芋達最大產量應無問題，換言之，以最高單株產量而言，一年當中水芋最適栽植期應在12月中下旬。

葉片爲光合作用主要之器官，光合成系統（葉面積）之大小是決定作物產量之主要因素之一。因此，兩年試驗之LAI曲線不同的變化將影響乾物質之生產。如圖2-B所示，第一年試驗水芋之地上部乾物重（UDW）於生長後期較重於第二年試驗，按此可能是因爲移植後第3至7個月期間溫度較低，球莖充實受阻，因而乾物質的分配較無效率所致，此點可由比較兩年試驗不同取樣期的CDW/UDW比值得到證實，兩年試驗之CDW/UDW比值列於表1，第一年試驗各取樣期的CDW/UDW均小於第二年試驗，而且在移植後第7個月之後其CDW/UDW不但未增加，反而降低，顯示出生長後期球莖充實有明顯受阻的現象。如圖2-C所示，水芋球莖乾重（CDW）於第二年試驗之生長後期則較第一年所得者高出甚多，且生長速度也較快，同時在7月收穫時第二年試驗之球莖產量爲最大，但第一年之球莖乾重則已開始呈下降趨勢；於收穫時，第一年試驗期間最大球莖乾重產量爲每株184g，而第二年試驗中則可高達每株354g，約爲第一年所得者的兩倍重。由此可見，LAI是生理上影響水芋球莖產量增加之重要原因，LAI的保持能夠持續，大有利於產量；而影響LAI之氣象因素，主要是生長中期的氣溫及日射量，該時期水芋正是葉片生長發育最旺盛的階段，倘若碰到低溫寡日照，會降低LAI的增加速度並使LAI提前達到最大值，反之，高溫多日照則不但可提高LAI的增加速率，保持LAI較久，其LAI最大值也較高。

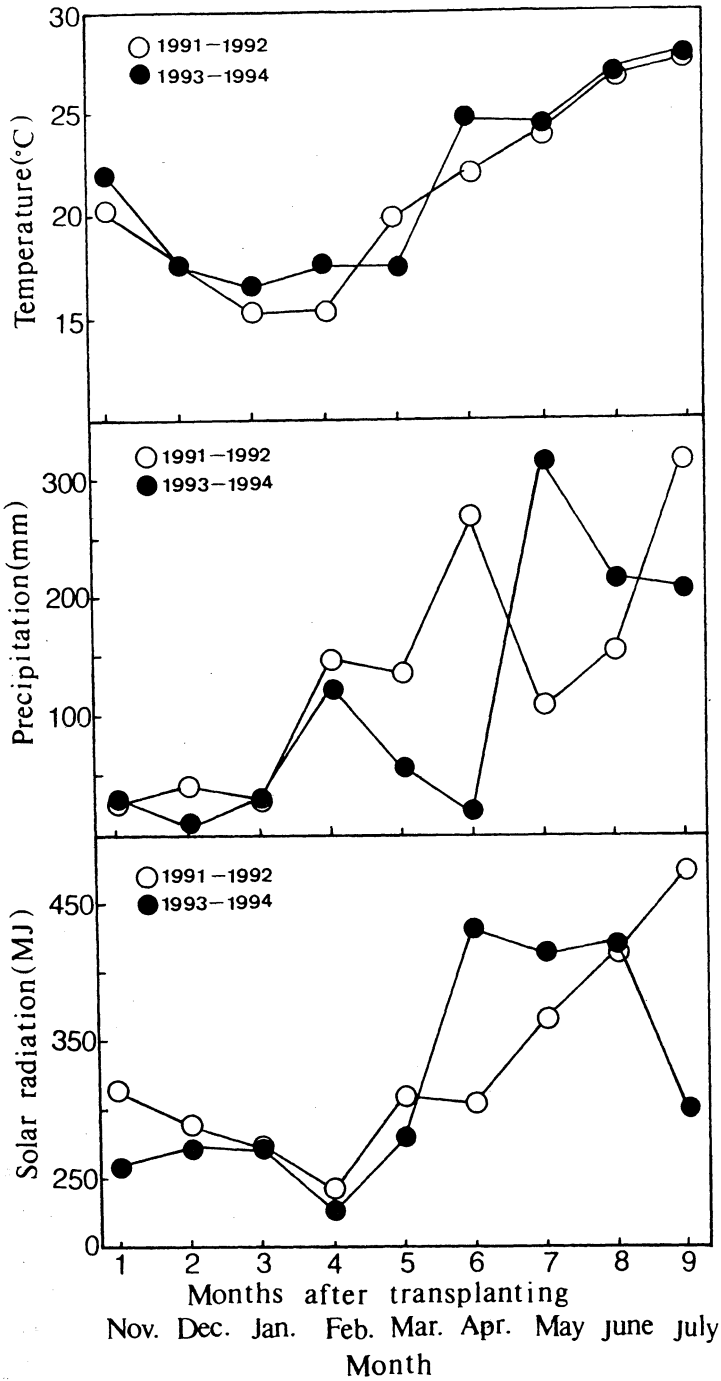


圖1. 1991至1994年栽培期間在臺灣省農業試驗所的每月平均日溫、累積雨量及累積日射量

Fig. 1. Daily mean temperature, monthly precipitation and monthly solar radiation at Taiwan Agricultural Research Institute for the 1991-1994 cropping seasons.

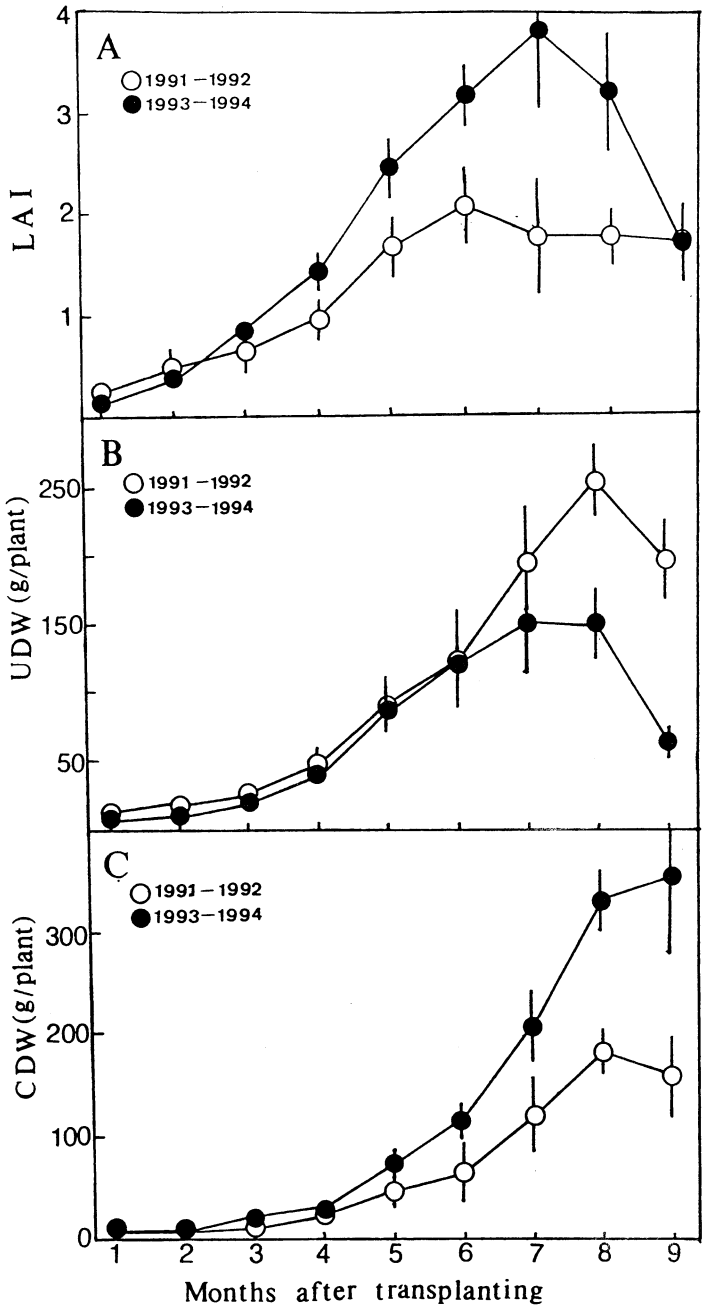


圖2. 芋葉面積指數（LAI）、地上部乾物重（UDW）及球莖乾重（CDW）之生長變化

Fig. 2. Changes in leaf area index (LAI), upper plant dry weight (UDW) and corm dry weight (CDW) during the growth course of taro.

三、LAI與乾物質重、NAR、CGR之間的關係

由圖 3 顯示，水田栽培檳榔心芋地上部乾物重及球莖乾重之高低與LAI有關，在LAI達最大值前，無論是地上部乾物重或球莖乾重均可因葉面積或LAI之增加而增加，此後產量雖急速增加但與葉面積無關，此關係不因年度或氣象之不同而異。因此一般栽培制度以增加葉面積來促進產量的措施，例如施用氮肥，對水田栽培檳榔心芋而言，早期較晚期的施用效果爲大，而且由於水芋之LAI達最大值的時間約在移植後第 6 、 7 個月，因此在移植後第 5 個月以前施肥才有效，之後的效果則不彰。一般水芋慣行栽培管理要求在移植後 6 月內完成肥料施用，由此可知應該是合理的作法。

由圖 4 顯示，水田栽培檳榔心芋地上部乾物重（UDW）之高低與其淨同化速率（NAR）無關，但球莖產量（CDW）則隨著其NAR之增加而增加，此等關係不因年度或氣象之不同而異。

假如LAI與NAR沒有關係存在，則作物生長速率（CGR），可隨著LAI之增加呈無限制之增加。但實際上當LAI值增加時，由於葉片增加，葉與葉之間常會遮蓋，此會影響光合成之效率（NAR）。因此，一般當LAI值很高時，LAI與NAR常有一負相關之關係存在，即LAI值越大，NAR值越小[1]。但由圖 5 可知，水芋之LAI在達到最大值之前，其與NAR並無明顯的負相關關係，按此可能是水芋葉片甚少且呈環狀排列生長，植冠覆蓋可更有效地截取日光能量，但一旦LAI近於最大值，由於此時葉片很大，彼此之間遮蓋程度變大亦將影響光合作用效率，NAR因而降低，此也可以解釋爲什麼水芋之CGR隨著LAI增加而增加，但在LAI接近於最大值時，CGR值顯著下降（圖 6）。因此，如何維持最適的LAI爲提高芋生產力的有效途徑之一，在栽培管理上特別值得注意，此與 Satou *et al.*[18]所得結果相符。

綜合上述得知，水田栽培檳榔心芋在不同年度試驗之LAI曲線雖然會受到氣象因素之差異影響而有變化，生長中期即葉片生長最旺盛時期，如逢高溫及高日射量，則可提高LAI的增加速度及最大值，但是LAI與乾物質重、NAR、CGR之間的關係則仍表現相當一致，不會因年度或氣象之不同而異，此表示任何外界環境因素對LAI、乾物質重、NAR及CGR之影響爲同一方向，換言之，能提高LAI之環境條件，也能提高乾物質生產。

四、利用LAI預測乾物質生產之估算式

由上述結果得知，在LAI達最大值之前，水田栽培檳榔心芋地上部乾物重及球莖乾重與LAI之間呈正相關，此後相關性降低。因此，在LAI達最大值之前，應可建立以LAI預測水芋乾物質生產的估算式。Wilson[23]指出，不論水芋或旱芋，利用LAI預測水芋產量的準確程度，會隨著葉面積測量的生長階段不同而異，如 Bourke and Perry[4]發現芋作物在移植後第 6 至38週內之LAI與產量間之相關性最高，而Ezumah[7]也發現在葉片生長快速時期，芋之LAI與產量具有最高之相關，一旦LAI達到最大值，預測效果變差，LAI在高峰後之降低階段，預測則無效。這些結果與本研究試驗所得者均相當一致。

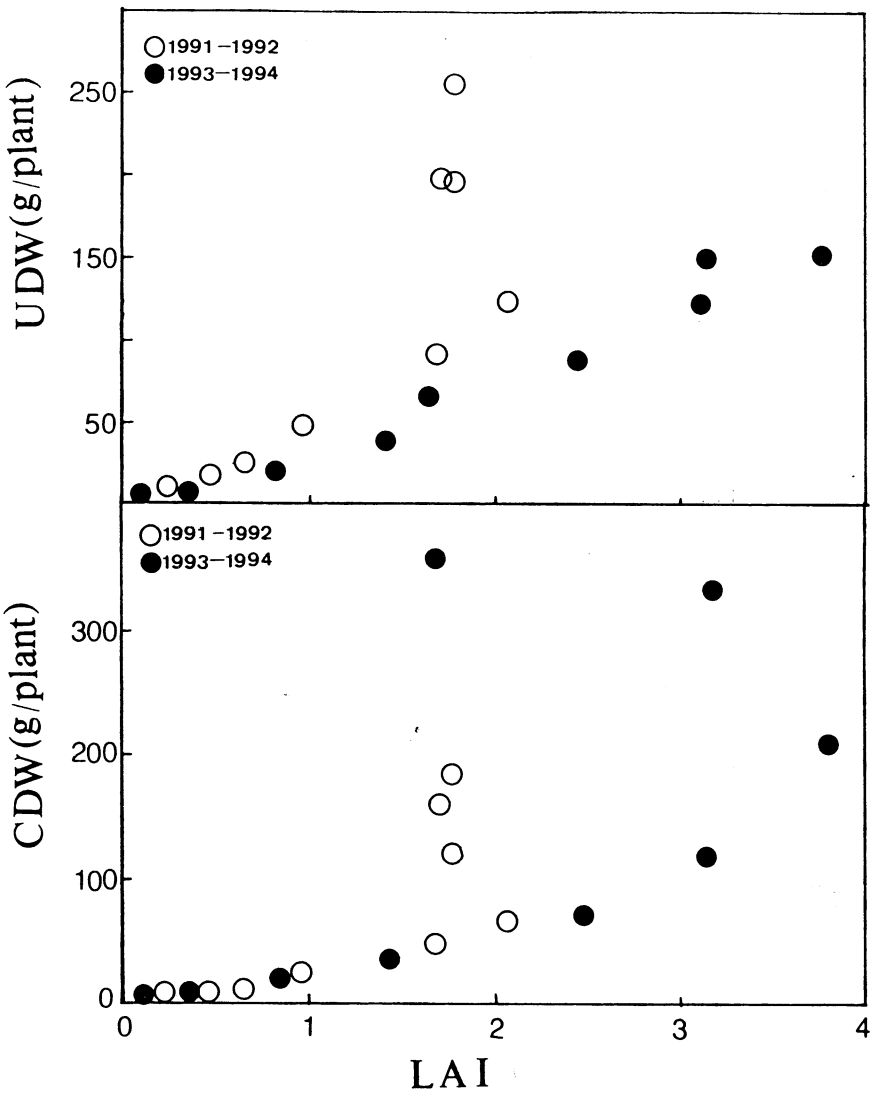


圖3. 芋葉面積指數（LAI）對地上部乾物重（UDW）及球莖乾重（CDW）之影響

Fig. 3. The effect of leaf area index (LAI) on upper plant dry weight (UDW) and corm dry weight (CDW) in taro.

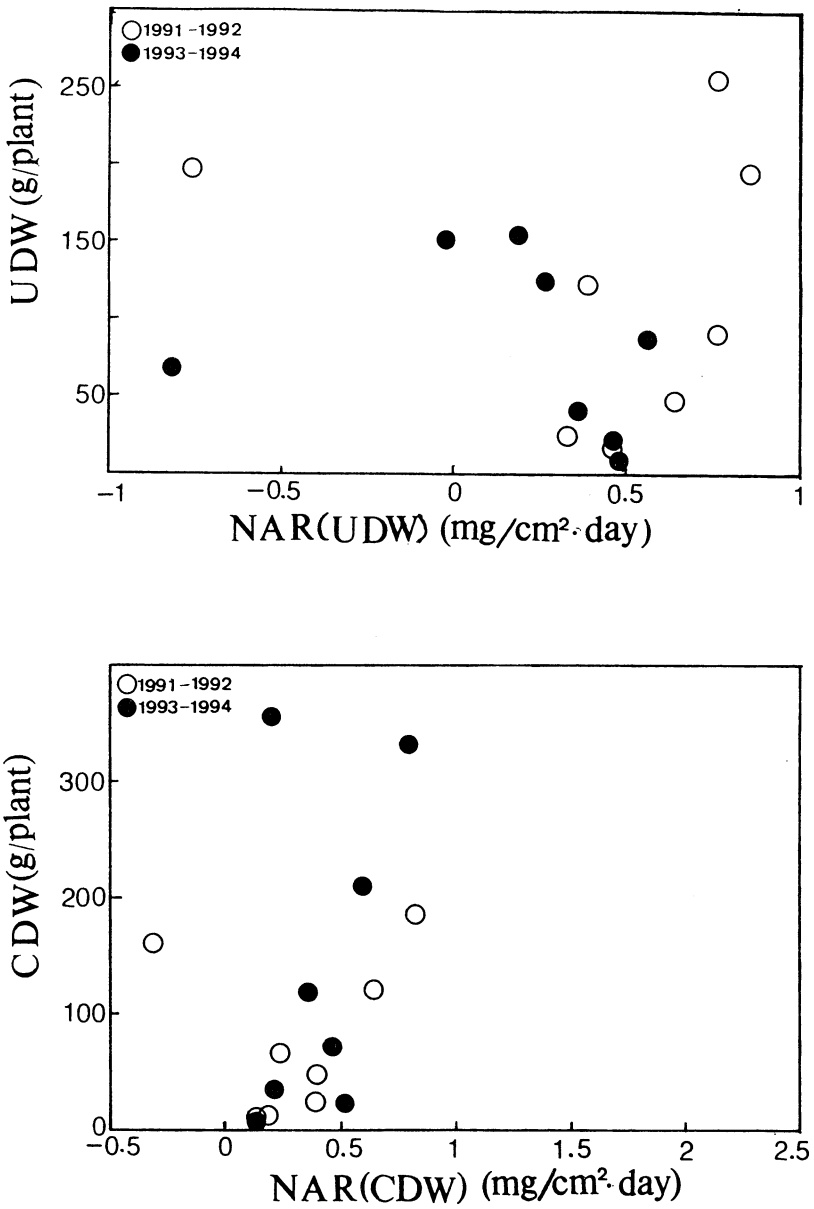


圖4. 芋地上部乾物重 (UDW) 及球莖乾重 (CDW) 與其淨同化速率 (NAR) 之關係

Fig. 4. The relation of upper plant dry weight (UDW) and corm dry weight (CDW) to their net assimilation rate (NAR) in taro.

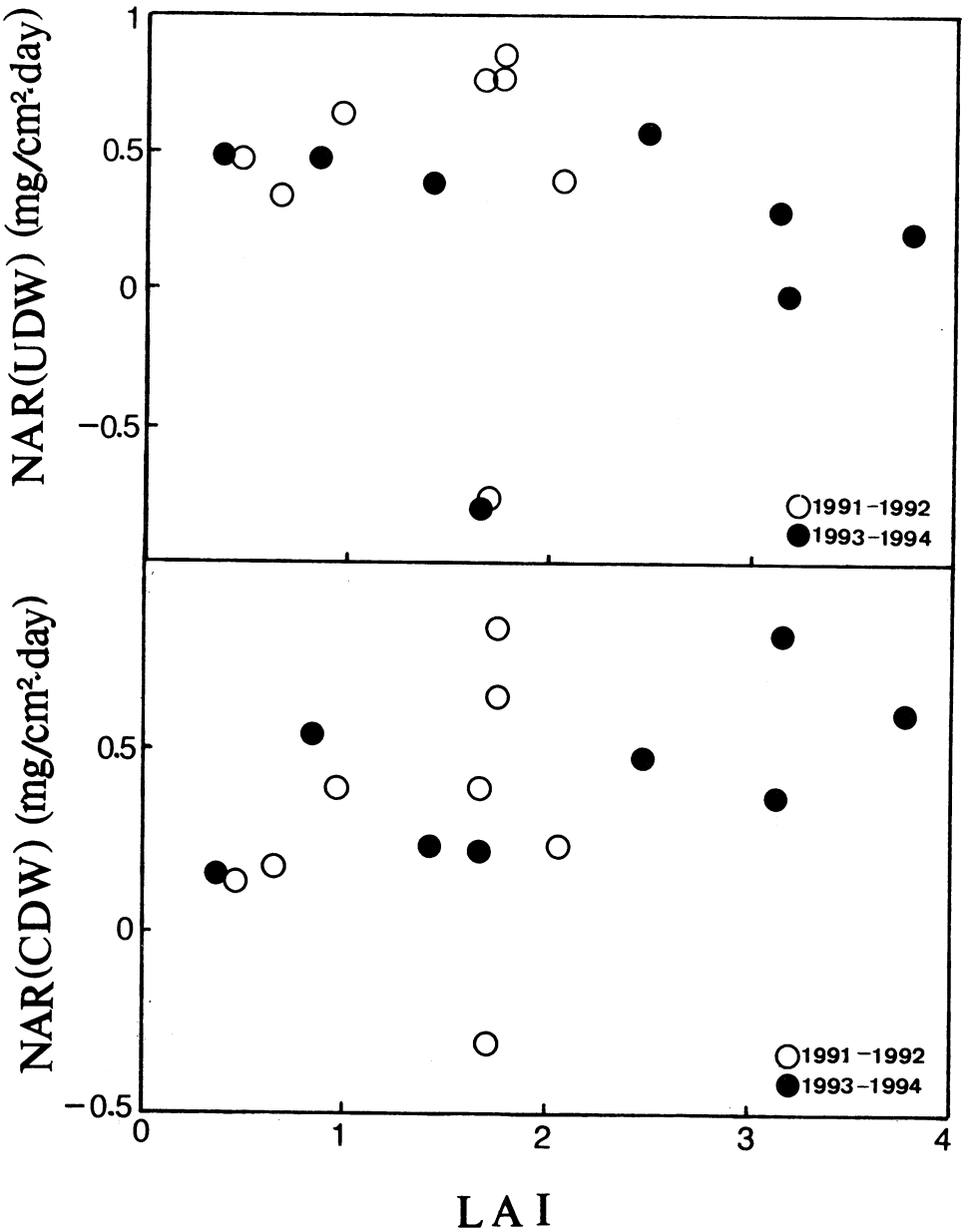


圖5. 芋葉面積指數（LAI）與乾物重之淨同化速率（NAR）之關係

Fig. 5. The relation of leaf area index (LAI) to net assimilation rate (NAR) of dry weight in taro.

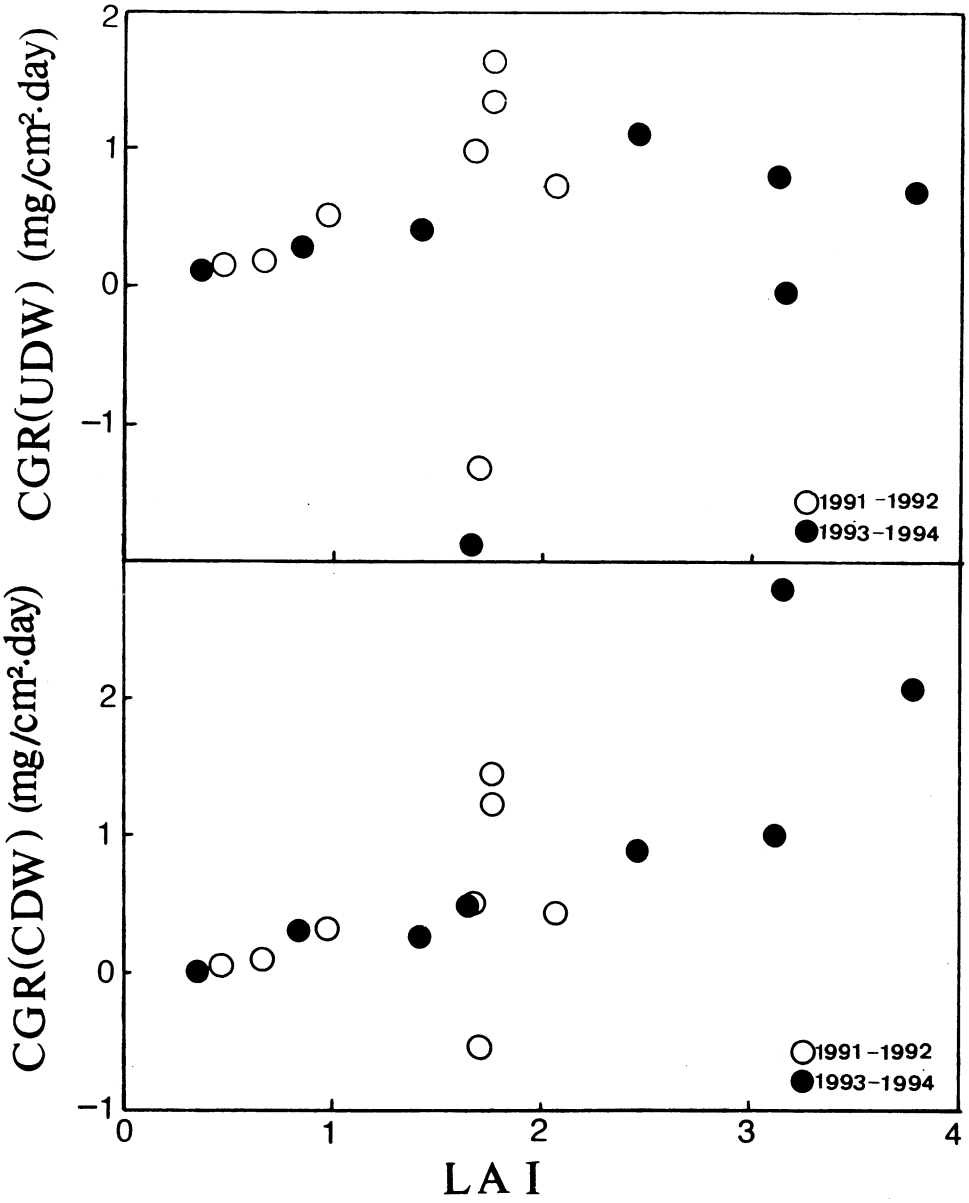


圖6. 芋葉面積指數 (LAI) 與乾物重之作物生長速率 (CGR) 之關係

Fig. 6. The relation of leaf area index (ALI) to crop growth rate (CGR) of dry weight in taro.

表1. 芋不同取樣期間之全株地上部乾物重（UDW）、全株球莖乾重（CDW）、累積葉面積指數（CLAI）及球莖與地上部之乾重比值（CDW/UDW）

Table 1. Upper plant dry weight (UDW), corm dry weight (CDW) per plant, cumulative leaf area index (CLAI) and the CDW/UDW ratio of taro at the different sampling times

	Time after transplanting (month)								
	1 Nov.	2 Dec.	3 Jan.	4 Feb.	5 Mar.	6 Apr.	7 May	8 June	9 July
1991-1992									
UDW(g/plant)	9.6±3.8	16.5±5.0	24.8±5.3	47.5±12.0	91.0±25.5	122.9±41.5	194.8±47.7	254.1±36.3	195.9±45.6
CDW(g/plant)	3.8±2.0	5.9±1.9	10.2±2.9	24.1± 7.2	46.7±15.2	65.8±31.3	119.8±39.2	183.9±28.6	160.1±42.8
CLAI	0.2±0.1	0.7±0.2	1.4±0.2	2.3± 0.2	4.0± 0.3	6.1± 0.4	7.8± 0.6	9.6± 0.3	11.3± 0.3
CDW/UDW	0.4±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1	0.5± 0.1	0.5± 0.1	0.5± 0.2	1.0± 0.2	0.7± 0.2	0.8± 0.1
1993-1994									
UDW(g/plant)	2.3±0.7	7.1±1.2	19.1±2.9	37.5± 4.9	85.3±11.4	120.1± 9.6	150.8±39.6	148.1±31.8	64.6±11.8
CDW(g/plant)	6.1±1.8	7.6±4.0	20.8±4.2	32.1± 8.6	72.0±16.5	117.2±17.5	208.8±35.5	332.2±32.0	354.3±86.7
CLAI	0.1±0.0	0.5±0.1	1.4±0.1	2.8± 0.2	5.3± 0.3	8.4± 0.3	12.2± 0.8	15.3± 0.6	17.0± 0.4
CDW/UDW	2.7±1.0	1.1±0.4	1.1±0.1	0.9± 0.2	0.8± 0.1	1.0± 0.2	1.4± 0.3	2.2± 0.5	5.5± 0.6

Shin and Gascho[20]曾以LAI及時間之函數關係來研究甘蔗（sugarcane）的乾物質累積速率，發現乾物質累積速率與累積葉面積指數（cumulative leaf area index, CLAI）之間呈正比例關係，其比例值並隨著作物種類不同而異。某一時期CLAI值爲自移值後起至該時期止所有時期之平均LAI的總和。本研究水田栽培檳榔心芋兩年秋作試驗不同時期之全株地上乾物重（UDW）、全株球莖乾重（CDW）及CLAI值列於表1，第一年試驗在CLAI小於10及第二年試驗在CLAI小於12以前，UDW及CDW各與CLAI之間有極顯著之正相關關係，所估得之直線迴歸式及其決定係數（coefficient of determination, R^2）如下：

1991～1992 UDW＝－ 7.7+25.5CLAI R^2=0.98

CDW＝−14.1+17.8CLAI R^2=0.93

1993～1994 UDW＝ 3.8+12.9CLAI R^2=0.98

CDW＝－ 4.8+16.3CLAI R^2=0.98

當CLAI大於10或12，UDW及CDW卻因老化而增加有限，甚至開始下降。換言之，當本地水田栽培檳榔心芋之CLAI達到此一臨界值時，可獲致最大球莖生產。Shin and Synder[22]以南佛羅里達州（southern Florida）之當地芋品種爲試驗材料，指出當其CLAI達到10時可得最大產量，但CLAI達到10之時間會隨著年度或環境不同而改變，此亦由本試驗結果獲得印證。同時，根據本試驗結果進而可知，CLAI之臨界值不但會因年度或氣象之影響而多少有異，如第一年試驗爲10，第二年試驗爲12，其所估得之迴歸估值也會隨著環境條件之不同而改變。

引用文獻

1. 高景輝、湯文通。1977。植物生長與分化。國立臺灣大學農學院印行。第142—149頁。

2. Aase, J. K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. Agron. J. 70:563-565.

3. Ashley, D. A., D. A. Doss, and O. L. Bennet. 1965. Relation of cotton leaf area index to plant growth and fruiting. Agron. J. 57:61-64.
4. Bourke, R. M. and C. H. Perry. 1976. Influence of sett size on growth and yield of taro (*Colocasia esculenta.*). Papua New Guinea Agric. J. 27:115-120.
5. Bullock, D. G., R. L. Nielsen, and W. E. Nyquist. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Sci. 28:254-258.
6. Chapman, T. 1964. A note on the measurement of leaf area of the tannia (*Xanthosoma pagittifolium*) . Trop. Agric. 41:351-352.
7. Ezumah, H. C. 1972. The growth and development of taro, *Colocasia esculenta* (L.) Schott, in relation to selected cultural management practices. Ph. D. Diss., Univ. of Hawaii, Honolulu, 197p.
8. Heilman, J. L., E. T. Kanemasu, and G. M. Paulsen. 1977. Estimating dry matter accumulation in soybean. Can. J. Bot. 55:2196-2201.
9. Hodges, T. and E. T. Kanemasu. 1977. Modeling dry matter production of winter wheat. Agron. J. 69: 974-978.
10. Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold Ltd, London. 248p.
11. Lieth, J. H., J. P. Reynolds, and H. H. Rogers. 1986. Estimation of leaf area of soybeans grown under elevated carbon dioxide levels. Field Crops Res. 13:193-203.
12. Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philos. Trans. R. Soc. Lond. 281:277-294.
13. Pearce, R. B., R. H. Brown, and R. E. Blaser. 1965. Relationship between leaf area index, light interception and net photosynthesis in orchardgrass. Crop Sci. 5:553-556.
14. Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop Sci. 7:171-175.
15. Ramos, J. M., L. F. Garcia del Moral, and L. Reclade. 1983. Dry matter and leaf area relationships in winter barley. Agron. J. 75:308-310.
16. Rhoads, F. M. and M. E. Bloodworth. 1964. Area measurement of cotton leaves by a dry weight method. Agron. J. 56:520-522.
17. Satou, T., M. Kawai, and T. Fukuyama. 1978. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott) . Japan. J. Crop Sci. 47:425-430. (Japanese with English summary) .
18. Satou, T., E. Miyauchi, and H. Sugimoto. 1988. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott) . Japan. J. Crop Sci. 57:305-310. (Japanese with English summary) .
19. Sharrett, B. S. and D. G. Baker. 1985. Alfalfa leaf area as a function of dry matter. Crop Sci. 26:1040-1042.
20. Shin, S. F. and G. J. Gascho. 1980. Relationship among stalk length, leaf area, and dry biomass of sugarcane. Agron. J. 72:309-313.
21. Shih, S. F., G. J. Gascho, and G. S. Rahi. 1981. Modeling biomass production of sweet sorghum. Agron. J. 73:1027-1032.
22. Shin, S. F. and G. H. Snyder. 1984. Leaf area index and dry biomass of taro. Agron. J. 76:750-753.
23. Wilson, J. E. 1984. Cocoyam. pp589-605. *In* P. R. Goldsworthy and N. M. Fisher. (eds.) ,'The Physiology of Tropical Field Crops'. John Wiley & Sons, Nwe York.
24. Zelitch, I. 1975. Improving the efficiency of photosynthesis. Science 188:626-633.
25. Zrust, J., E. Partykova, and J. Necas. 1974. Relationships of leaf area to weight and length in potato plants. Photosynthetica (Prague) 8:118-124.

Relationship Between Leaf Area and Dry Biomass Production in Wetland Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott][1]

Lit-Fu Chan[2], Hsiu-Ying Lu[3], Chun-Tang Lu[3] and Chi-Hsiung Lai[2]

Summary

The prediction of biomass production is important for scheduling harvest and milling operations in taro. The objective of this study was to evalute and predict the dry biomass production of wetland taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] based on leaf area index information. Two experiments were conducted in the fall crop of 1991 and 1993 at Taiwan Agricultural Research Institute. A total of 10 plants was randomly sampled at one-month intervals starting at transplanting and ending at harvest. The total leaf area, upper plant dry weight (UDW) and corm dry weight (CDW) of each plant were measured to estimate the leaf area index (LAI) , net assimilation rate (NAR) and crop growth rate (CGR) of dry biomass. The results revealed that the LAI of taro increased greatly with time starting from 3 months after transplanting, and reached a maximum value at 6 or 7 months after transplanting, and declined thereafter. Climatic variation can lead to significant difference in LAI curve of taro. The rate of increase and maximum value of LAI increased with high temperature and high solar radiation during the growth periods from 4 to 7 months after transplanting. The effects of LAI on dry biomass production were the same between different years and different climatic variation. Before LAI reached a maximum value, UDW and CDW of taro increased markedly as LAI increased. No significant negative correlation between NAR and LAI was found before LAI reached its maximum. On the contrary, NAR and CGR decreased immediately when maximum LAI was achieved. Dry biomass was linearly related to the cumulative leaf area index (CLAI) in taro until CLAI reached a critical value. This linear relationships could be useful for predicting taro biomass production, however, the critical value and regression coefficient used to estimate biomass production might vary with diverse environmental conditions.

Key words : Taro, Leaf area index, Dry biomass production, Net assimilation rate, Crop growth rate.

1. Contribution No. 1769 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research Assistant and Agronomist, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Respectively, Research Statistician and Assistant, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(1)：72～80（1995）

人工模擬酸霧對三種冬季葉菜之傷害[1]

姚銘輝　漆匡時　蔡金川　梁連勝[2]

摘要：本試驗目的主要是探討酸霧對田間種植三種冬季蔬菜（茼蒿、芥藍、菠菜）的葉片構造傷害及其生理機能障礙的影響。處理之 pH 值爲1.6，2.6，3.6，4.6及5.6（對照組）等五種，播種後28天開始噴灑酸霧，經三週處理，每週噴灑0.3公厘霧量三次，整個生育期共 9 次處理。酸霧對三種蔬菜之傷害主要在葉片，受害最嚴重爲pH1.6處理，而pH3.6酸度以上則無傷害。芥藍之葉面積以pH1.6降低最多，但仍較同一酸度其他二種蔬菜的損失少20%。菠菜和茼蒿在高酸度時，由於表層臘質分解使上表皮氣孔導度增高及葉片水份含量減少。滴定均質葉片所測定緩衝能力的結果，以芥藍緩衝能力最強。至於其他測定包括植株高度、莖部乾物重及下表皮氣孔導度並無明顯差異。

關鍵詞：酸霧、緩衝能力、上表皮氣孔導度、下表皮氣孔導度。

近年來關於酸雨的研究報告指出，大氣中酸雨污染的酸度並不如「想像」中嚴重，例如 Chen 等人[3]自民國79年至82年四年間測定臺灣10個地區雨中酸度的結果，發現不論都市或郊區及內陸或海邊，雨中pH值皆在4.0以上。而在酸雨對農作物生長的研究中，pH4.0以上的酸度，並無法引起植物的受害[8,16]。但粒徑較細的霧則是值得重視的問題，由於微細粒子有較大表面積，能吸附多量硝酸根及硫酸根離子，這些離子在光線和臭氧（O_3）作用下可形成硝酸及硫酸[18]，所以酸霧的酸度常高於酸雨10～100倍[17]。在美國加州洛杉磯地區發現pH2.9酸霧，而在工業污染嚴重地區甚至出現pH1.69的觀測報告[4]，歐洲地區最低酸霧值爲pH2.5，並被認爲是引起森林衰退的主因，事實上，霧的頻度和強度與森林衰退有相關性（r＝0.651）[7]。

酸霧的來源可分爲二類：一爲自然發生，如火山爆發所噴出的硫化物和懸浮固體。土壤微生物和水中藻類所釋放之硫化氫及動植物死亡後所分解的有機酸等，另一來源則爲工業發展所帶來的污染的，如燃油或火力電廠、交通運輸工具所排廢氣等。當污染源的懸浮粒子形成具有吸水性的凝結核，漂浮在夜晚所形成逆溫層的大氣中，在每秒 2 ～ 3 公尺微風吹拂下，便易形成近地面的酸霧，這種霧將持續一段時間，直到太陽升高地面受熱後才逐漸消去。

至於酸霧對農作物的傷害，主要是葉表臘質的改變。葉片表層臘質及角質層的結構及型態是植物降低葉片水份蒸散至大氣中的最後防線，酸霧的酸度足以溶解或破壞葉片臘質，使水分過度蒸散而導致葉片枯萎，並產生白色或褐色斑點。酸霧中氫離子進入細胞內部消耗 OH-基，並降低細胞液pH值，pH 值改變將使細胞內生理代謝混亂。另氣孔內腔酸化將干擾光合作用酵素對光線的反應[5]，這將直接或間接影響葉綠素進行光合作用。

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1770 號。
2. 本所農工系助理、助理研究員、副研究員、系主任。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

臺灣中南部農業生產區的霧，主要是以輻射霧爲主。冬季濕空氣從廣大水面平流至陸地，到了夜晚因陸地輻射冷卻效應而形成霧。由於霧之形成受局地性之控制最顯著，所以有關霧的氣象資料取得困難，且測得資料也僅限於能見度[1]，至於霧的強度及化學組成分並無相關資料。酸霧對農作物傷害的研究甚少，本試驗是利用人工模擬酸霧處理冬季葉菜類蔬菜，茼蒿、芥藍及菠菜等三種，茼蒿葉片則屬多肉且易脆，菠菜葉片較小且薄，而芥藍葉片較大且厚，希望藉由處理三種不同型態葉片的蔬菜，探討酸霧對冬季蔬菜的葉片傷害程度及相關生理性狀的影響。

材料與方法

本試驗自民國82年12月至83年2月於臺中縣霧峰鄉本所試驗田進行，採用三種冬季葉菜蔬菜：茼蒿（*Chrysanthemum coronarium* L.），芥藍（*Brassica oleracea* L.）及菠菜（*Spinacia oleracea* L.）。栽培以每小區行長3公尺，畦寬1.2公尺，種植行株距爲30×15公分，合每小區60株。採用逢機完全區集設計，重複四次。播種以條播方式，出土後依株距適度間拔。種植前施用肥料用量，基肥包括每0.1公頃雞糞300公斤，硫酸銨80公尺，過磷酸石灰120公尺及氯化鉀60公尺，播種後一個月施追肥每0.1公頃，硫酸銨40公尺，氯化鉀20公斤，酸霧處理前噴灑殺菌劑及殺蟲劑共四次，處理後不再噴施藥劑。

酸霧處理分pH5.6（CK：蒸餾水），4.6，3.6，2.6及1.6等五種，後四種配製以硝酸：硫酸＝2.5：1（莫耳比），用手持式噴霧器噴灑，於植株上方30公分處噴灑，使霧粒自由落下，利用此種噴霧方式可減少霧粒等葉片的直接衝擊，而噴施以葉片表層完全濕潤原則。霧粒徑以水試紙測定，約爲10～50μm。每小區每次噴施量約200毫升，約等於是0.3公厘的霧量，於清晨8時噴施，每次噴施約可維持葉片完全濕潤20分鐘，連續三週，每週3次（每週之星期一、三及五，若遇雨天則順延一天），整個生育期共9次，總共酸霧量爲2.7公厘。

以葉片的臘質含量、病斑面積、氣孔導度、相對水份含量、緩衝能力及葉綠素含量，作爲探討酸霧處理後葉片的傷害程度。測定時間除病斑面積於收穫期調查外，其他於酸霧處理後當天下午進行，共測定6次，至於各性狀之測定方法如下所述：

一、臘質含量測定，係依據 Mayeux 等人[6]方法修飾而成，取直徑2公分之葉圓片10片，用蒸餾水沖洗二次後加入30毫升 chloroform，在室溫下浸15分鐘，再將溶液倒入預先稱重之燒杯中，放入烘箱內以50°C烘乾後，經稱重並減去燒杯重即爲臘質含量。

二、葉片病斑於收穫時測定，由同一人以目測方式判定，將所得判定分數加以平均（n＝20），並以統計上對比方式加以分析處理間差異。

三、葉片上表皮及下表皮氣孔導度係以 LI-1600 steady state pormeter（LICOR Inc. Nebraska USA）測定，於每次噴霧處理後3～4小時測定，每小區選生長一致的葉片5片測定，將測得數據取平均值。

四、相對水份含量（relative water content; RWC）是將完整葉片剪下稱鮮重（Fresh weight；FW）後，浸於蒸餾水至完全吸水後取出，表面水分用試紙吸乾稱重即爲膨壓重（turgor weight; TW），後將樣品烘乾稱重得乾物重（dry weight; DW），並依下列公式計算即得相對水分含量：

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100\%$$

五、葉片緩衝能力測定係依據 Pfanz 和 Heber[11]方法測定，取1.5至2.0克重之蔬菜葉片，用蒸餾水清流二次後，吸乾水分並加液態氮磨成粉末狀，加10毫升蒸餾水攪拌成均質水溶液。酸鹼度滴定是將均質水溶液以 KOH 調至pH10，再用0.1 NHCI 滴定，記錄 HCI 用量及pH 值變化，並繪成滴定曲線圖。

六、葉綠素測定是取直徑 1 公分之葉圓片 3 片，放入試管中，加 5 毫升95%（v/v）酒精在黑暗中萃取48小時，用光電比色計在665,649,470nm波長下測吸光度[19]。

並於收穫期測定株高、葉面積及乾物重。

結果與討論

一、酸霧對葉片構造的傷害與生理機能的障礙

酸霧對葉菜類蔬菜最直接的作用部位在葉片表層（cuticular）。表層是由果膠層（pectin），角質層（cutin），臘層（wax）及表層臘質層（epicuticular wax）所構成，可保護植物免受環境中化學及物理的傷害，及防止蔬菜體內水份的蒸散。表層的最外側爲表層臘質，乃是葉表對抗酸霧及大氣污染的主要屏障。本試驗僅以表層臘質含量作爲受酸霧傷害的調查對象。

由表 1 得知，三種冬季蔬菜（茼蒿、芥藍、菠菜）在酸度pH2.6及1.6時臘質出現下降現象，茼蒿在兩種酸度（pH2.6及1.6），菠菜在pH1.6皆與對照（CK）呈現顯著性差異，芥藍則無差異，似乎種間對於酸度的感受性有差異。Olszyk[10]等指出酸霧對大部份植物受害酸度皆在pH3.0以下。這種傷害是由於硫酸及硝酸等酸性物質能使表層臘質進行化學分解，臘質上的長鏈脂肪酸產生游離及組成結構發生改變，進而使臘質分解而破裂[16]，並造成臘質含量的減少[17]，由酸霧試驗中，臘質含量減少多寡常能反應植株受害程度。

表1. 酸霧對茼蒿、芥藍及菠菜葉片傷害情形

Table 1. Effects of acidic fog on foliar injury of garland chysanthemum, kale and spinach.

Treatment effect	Wax content (g/m^2)	Leaf area necrotic (%)	Leaf area (cm^2)	Relative water content (%)	Chlorophyll content (g/m^2)
kale					
pH 5.6 (C.K)	12.7a*	···	500a	93.3a	0.99a
pH 4.6	13.8a	···	516a	94.2a	1.06a
pH 3.6	12.1a	3.6a	408b	92.2a	0.99a
pH 2.6	11.7a	10.1a	386b	93.0a	1.00a
pH 1.6	10.5a	35.8b	375b	91.6a	0.90b
garland chrysanthemum					
pH 5.6 (C.K)	13.8a	···	449a	92.2a	0.61a
pH 4.6	12.7a	···	404b	91.4a	0.62a
pH 3.6	13.5a	8.8a	398b	92.0a	0.61a
pH 2.6	8.4b	17.6b	258c	87.7b	0.60a
pH 1.6	6.4b	40.2c	230c	86.1b	0.55b
spinach					
pH 5.6 (C.K)	15.9a	···	413a	87.5a	1.03a
pH 4.6	15.0a	···	417a	88.0a	1.03a
pH 3.6	13.8a	8.6a	396a	87.9a	1.00a
pH 2.6	11.8a	21.2b	250b	88.3a	0.92b
pH 1.6	7.4b	43.3c	236b	83.1b	0.73c

* Means followed by dissimilar letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range test.

酸霧對葉面的臘質有如此的侵蝕作用，使葉片的構造受到傷害，發生龜裂現象，甚至在葉片上產生白色或褐色的壞死組織（necrosis）、斑點及黃化現象。葉片受害程度與pH值的高低有關，一般而言，農作物在pH3.5以下受害，而本試驗結果如表 1，pH3.6時三種冬季蔬菜葉片皆出現壞死組織，且酸度愈高傷害愈嚴重，其中菠菜最嚴重。至於葉面積方面，唯茼蒿在pH4.6的處理時出現減低，並與對照組有顯著性差異，這是否因葉片發生萎縮（atrophy），還有待研究。其他芥藍與菠菜都在

pH3.6或以下的處理，葉面積才有下降，這與壞死組織的出現情形頗爲一致。因葉片構造被破壞，氣孔易爲臘質所覆蓋，同時由於酸霧侵入組織內，致使保衛細胞（guard cell）的離子平衡被破壞，氣孔的張閉機能受阻礙。但本試驗有關酸霧處理，圖 1 所示，下表皮氣孔導度於不同酸度處理下並無差異，而上表皮氣孔導度在生育初期並無差異，茼蒿及菠菜則在pH2.6及1.6處理下於生育後期（播種後44及48天）則有昇高現象。

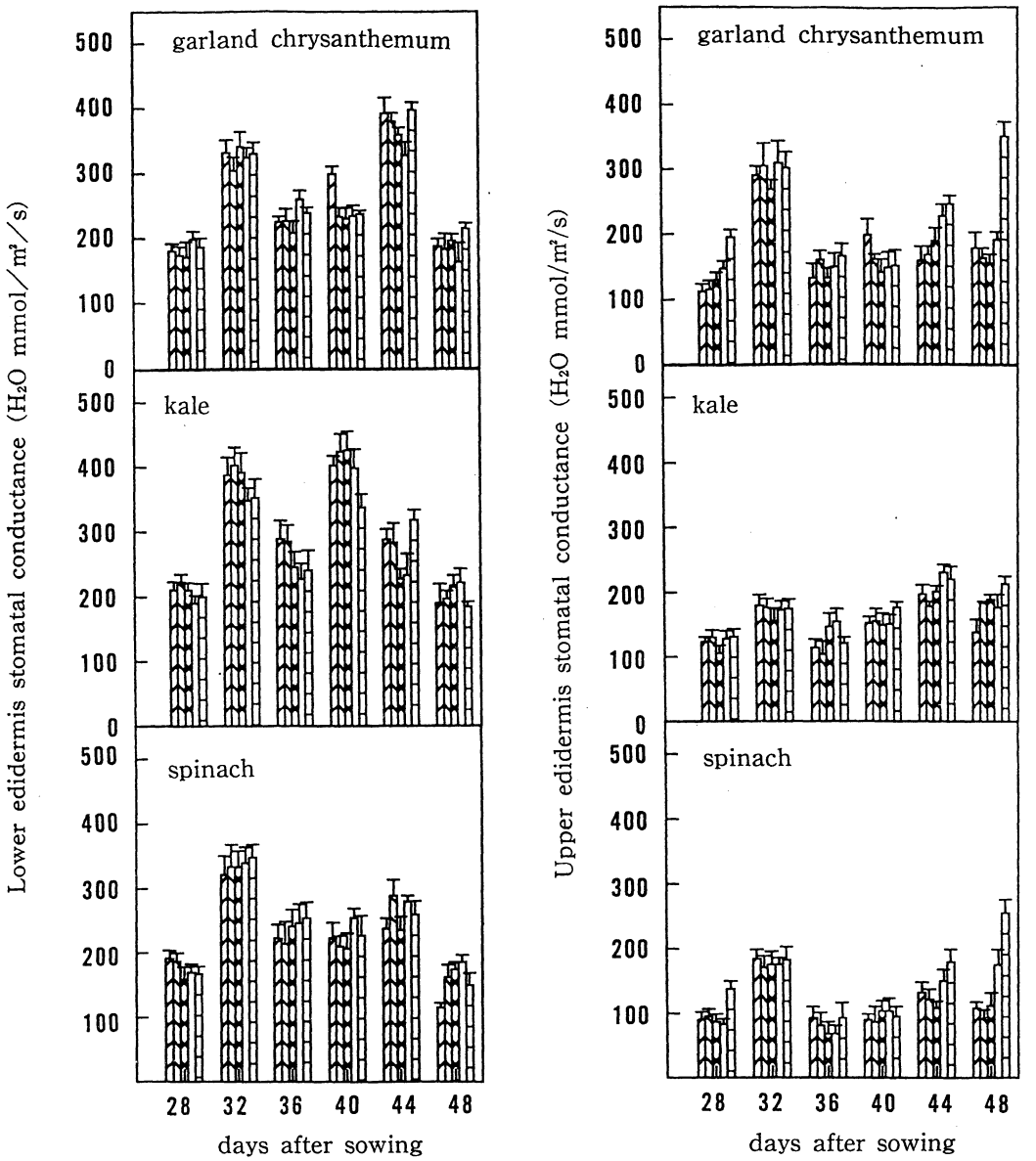


圖 1. 不同酸霧處理下葉片氣孔導度及表層導度變化情形

Fig. 1. Influence of different acidic fog treatments on lower and upper edidermis stmatal conductance. Bars indicated the standard error.

綜合這些葉片構造受傷害及機能受阻礙的情形，植物體的水分狀態會有惡化，及對病蟲害的抵抗性亦會減低的可能。由試驗結果（表1）得知，茼蒿在pH2.6及1.6之處理下，相對水份含量（%）出現下降並呈顯著性差異，芥藍與菠菜則於pH1.6的處理亦有降低，唯後者有顯著性差異。植物體光合作用不可缺的綠色色素即葉綠素，茼蒿及芥藍在pH1.6的處理，菠菜於pH2.6及1.6之處理下其葉綠素的下降呈現顯著性差異。而這些因高酸度的處理而降低葉綠素含量是否影響光合作用能力，本試驗無測定，唯從光合作用的最終產物營業器官（葉、莖）的乾物重變化作探討。

Adams 等人[2]用不同pH值的酸雨（pH5.6，3.6，3.0）分別處理三種植物葉片，發現停留在葉片表面上的雨滴pH值在處理75分鐘後逐漸上昇，另一方面，植物表層臘質部份的pH值則有下降現象，顯然葉片表面的分泌物質可中和酸度，也就是葉片本身對酸雨具有緩衝能力（buffering capacity）。爲了解物種間對酸霧的緩衝能力，將等重量的蔬菜葉片，經研磨後加蒸餾水使均質，再用稀鹽酸滴定，繪成滴定曲線（圖2），由圖中可知在pH5.5至3.5間，芥藍對酸性緩衝能力最強，其次

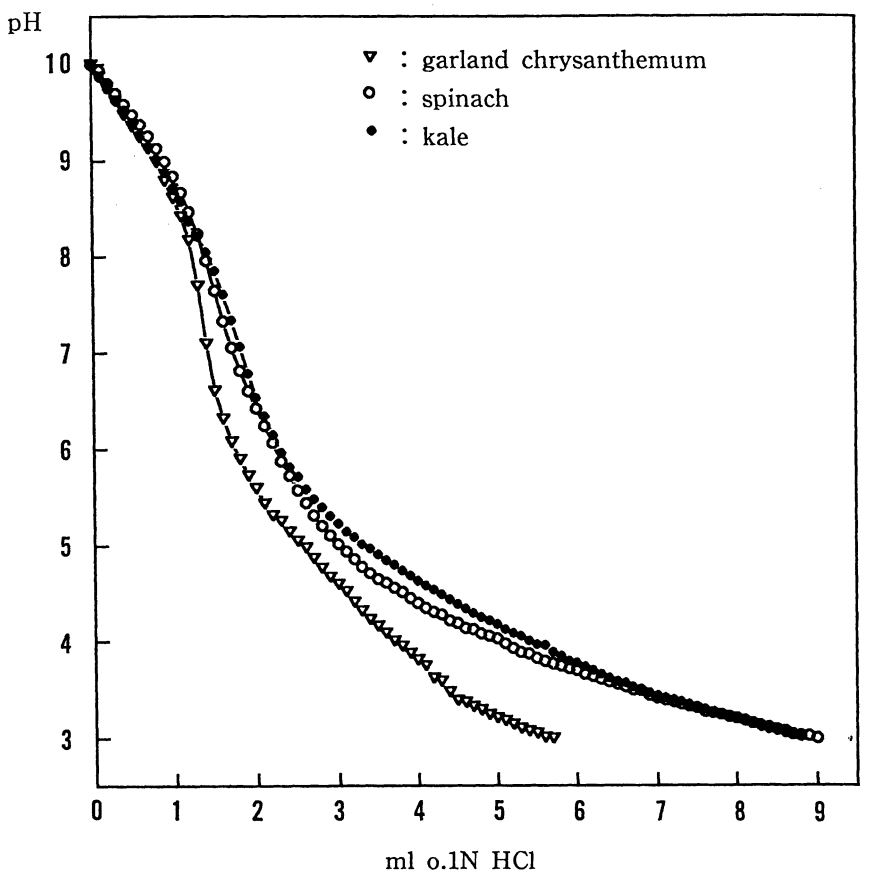


圖 2. 茼蒿、芥藍及菠菜均質液之滴定曲線

Fig. 2. Titration curves of homogenates of garland chrysanthemum, kale and spinach leaves.

爲菠菜及茼蒿。上述表1在pH1.6時臘質、葉綠素及相對水份含量，芥藍皆居高，其次是菠菜及茼蒿，而壞死葉面積亦是芥藍最小，表示芥藍對酸霧具有較強的抵抗性，這意味著蔬菜對酸霧抵抗性有種間差異，與酸霧的緩衝能力種間差異頗爲一致。事實上由於葉片各組織及細胞間緩衝能力並不相同[11,14]，利用此方法是打破細胞間格位（intracellular compartmentalization）直接測定細胞液（cell sap）pH值的方式[15]，雖然不能代表細胞質內pH值，但卻是對外界反應pH值最常用且簡單的方式[8]，另細胞液pH通常低於5.5，其中緩衝物包括 bicarbonate, phosphate compounds 和有機酸等，是決定緩衝能力大小的重要因子[11]。是否可應用於蔬菜育種作篩選抗酸霧較強的品種還需進一步研究。

二、酸霧對株高及葉、莖之乾物重的影響

基於上述酸霧對三種冬季蔬菜葉片構造之傷害，其生理機能受到障礙。如臘質、葉面積、葉綠素、相對水份含量的減少，及壞死葉面積的增大等。這些原因當會影響光合作用的最終產物乾物重或產量。由表2得知，三種蔬菜的葉片乾物重在 pH2.6及1.6處理後有顯著性減少趨勢。這亦與 Olszyk 的報告[10]酸霧對大部份農作物受害酸度皆在pH3.5以下，而導致產量減少者pH值大都在2.0以下，頗爲相似。另茼蒿及芥藍pH4.6處理之葉片乾物重較對照組 pH5.6高，此與大豆及豌豆的研究有相似結果[8,15]，乃田間酸霧可提供額外的硝酸態氮（nitrates）和硫肥（sulfates），雖然所提供僅微量，但卻有助於植物短期生長之用。至於莖部乾物重及株高，雖菠菜在pH1.6的處理與對照組出現顯著性差異，其餘處理大部份無明顯差異。

表2. 酸霧對茼蒿、芥藍及菠菜生長之影響

Table 2. Effects of acidic fog on garland chrysanthemum, kale and spinach growth.

Treatment effect	Leaf dry wt. (g)	Stem dry wt. (g)	Plant height (cm)
kale			
pH 5.6	2.07a*	1.33a	29.9a
pH 4.6	2.44a	1.31a	28.1a
pH 3.6	1.63b	1.32a	27.2a
pH 2.6	1.54b	1.26b	25.8a
pH 1.6	1.51b	1.08b	24.8a
garland chrysanthemum			
pH 5.6	0.94a	0.42a	14.0a
pH 4.6	1.44b	0.41a	15.5a
pH 3.6	0.88b	0.42a	16.1a
pH 2.6	0.65c	0.36a	13.4a
pH 1.6	0.59c	0.38a	13.0a
spinach			
pH 5.6	1.34a	1.23a	28.6a
pH 4.6	1.28a	1.06a	26.6a
pH 3.6	1.24a	0.99ab	25.2a
pH 2.6	1.05a	1.05bc	22.9ab
pH 1.6	0.83b	0.90c	20.1b

* Means followed by dissimilar letter within each column are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range test.

結　論

本試驗各項結果顯示：處理酸度在pH2.6以下才有受害徵狀，而三種葉菜類蔬菜間以葉片較厚的芥藍最具耐酸性，茼蒿及菠菜則對酸霧較爲敏感。酸霧的傷害主要以葉片爲主，包括斑點的產生及表層臘質的減少，斑點產生使葉綠素含量減少，將影響光合作用進行；臘質減少則上表皮氣孔導度增加，水份由葉表蒸散量增大，使葉片水份含量減少，至於下表皮氣孔導度在試驗測定中並無差異，顯然酸霧的傷害是直接集中在葉片上表皮。三種蔬菜間對酸霧氫離子的緩衝能力並不相同，芥藍所需滴定量較其他二種蔬菜多，表示芥藍的耐酸性除受葉片型態影響外，葉片表層的組成物及內含物對減少酸霧傷害也具有重要性。

誌　謝

本研究之化學分析部份，承蒙本所農藝系劉大江博士慨允提供儀器及場地使試驗得以順利進行，謹此致謝。

引用文獻

1. 陳孟青、戚啓勳。1988。初步探討臺灣之霧。氣象學報 34：308—314。
2. Adams, C. M., N. G. Dengler, and T. C. Hutchinson. 1984. Acid rain effects on foliar histology of *Artemisia tilesii*. Can. J. Bot. 62：463—474.
3. Bhen, J. H., K. H. Chang, and F. T. Jeng. 1993. The acid rain in Taiwan area. International conference on regional environment and climate change in East Asia. Taipei. Taiwan. RPC. p. 28
4. Hileman, B. 1983. Acid fog: New findings widen the range of acid deposition phenomena. Envir. Sci. Technol. 17：117—120.
5. Leegood, R. C., Y. Kobayashi, S. Neimanis, D. A. Walker, and U. Huber. 1982. Cooperative activation of chloroplast fructose 1.6-biphosphatase by reduction, pH and substrate. Biochem. Biophys. Acta. 682：168—178.
6. Mayeux, J. R., W. R. Jordan, R. E. Meyer, and S. M. Meola. 1981. Epicuticular wax on goldenweed (*Isocoma* spp.) leaves: variation with species and season. Weed Science. 29：389—393.
7. Mengel, K., A. M. R. Hogrebe, and A. Esch. 1989. Effects of acidic fog on needle surface and water relations of *Picea abies*. Physiol. Plant. 75：201—207.
8. Mengel K., M. Th. Breininger, and H. J. Lutz. 1990. Effect of simulated acidic fog on carbohydrate leaching, CO_2 assimulation and development of damage symptoms in young spruce trees (*Picea abies* L. Karst) .Envir. Exp. Bot. 30：164—173.
9. Musselman, R. C. and J. U. Sterrett. 1988. Sensitivity of plants to acidic fog. J. Env. Qual. 17：329—333.
10. Olszyk, D. M., A. Bytnerowicz, and B. K. Takemoto. 1989. photochemical pollution and vegetation: Effects of mixture of gases, fog and particles. Environmental Pollution. 61：11—29.
11. Pfanz, H. and V. Heber. 1986. Buffer capacities of leaves, leaf cells, and leaf cell organelles in relation to flux of potentially acidic gases. Plant Physiol. 81：597-602.
12. Pylypec, B. and R. E. Redmann. 1984. Acid-buffering capacity of foliage from boreal forest species. Can. J. Bot. 62：2650-2653.
13. Riding, R. T. and K. E. Percy. 1985. Effect of SO_2 and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on needles of *pinus strobus* and *pinus banksiana*. New Phytol. 99：555—563.
14. Smith, C. R., B. L. Vasilas, W. L. Banwart, D. B. Peters, and W. M. Walker. 1990. Lack of physiological

response of two corn hybrids to simulated acid rain. Envir. Exp. Bot. 30 : 435—442.

15. Smith, F. A. and J. A. Raven. 1979. Intercellular pH and its regulation. Annu. Rev. Plant. Physiol. 30 : 289—311.
16. Temple, P. J. 1988. Injury and growth of jeffrey pine and giant sequsia in response to ozone and acidic mist. Envir. Exp. Bot. 28 : 323—333.
17. Turunen, M. and S. Huttunen. 1990. A review of the response of epicuticular waxes of conifer needles to air pollution. J. Env. Qual. 19 : 35—45.
18. Waldman, J. M., J. W. Munger, D. J. Jacob, and M. R. Hoffmann. 1982. Chemical composition of acid fog. Science. 218 : 677—680.
19. Winterman, J. H. and A. DeMots. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll and their pheophytins in ethanol. Biochem. Biophys. Acta. 109 : 448—453.

Damage on Three Leafy Vegetables in Winter by Simulated Acidic Fog[1]

Ming-Hwi Yao[2], Kung-Shy Chi[2], Jin-Chuan Tsai[2] and Lien-Sheng Liang[2]

Summary

The primary objectives were to determine the acidic fog stress cause alternation in the vegetables growth. physiological and foliar injury responses. Field plots of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.). Kale (*Brassica oleracea* L.) and spinach (*Spinacia oleracea* L.) were exposed to three 0.3mm simulated fog episodes per week at specific acidities from pH 1.6, 2.6, 3.6, 4.6 and 5.6 treatments. For all three vegetables, foliar injury was assessed to determine damage response levels, The most severe injury occurred near pH 1.6, and no injury was observed above appoximately pH 3.6, Decrease of leaf area of kale was also most severe at pH 1.6 but was appoximately 20% less severe than those of spinach and garland chrysanthemum at this acidity. In spinach and garland chrysanthemum, highly acidic fog enhanced upper edidermis stomatal conductance and depressed relative water content via the disintegrated of the epicuticular wax layer. Homogenates of leaves were titrated and buffer capacities were determined as a function of pH, kale, as the most alkaline leaf. There were no detectable effects of acidity on plant height. stem dry weight and lower adidermis stomatal conductance.

Key words : Acidic fog, Buffering capacity, Upper edidermis stomatal conductance, Lower edidermis stomatal conductance.

1. Contribution No. 1770 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant, Assistant Researcher, Associate Researcher, Head, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

Jour. Agric. Res. China (中華農業研究) 44(1) : 81~91 (1995)

Differential Responses of Soybean Foliage to Simulated Acid Rain[1]

Ming-Hwi Yao[2], Shu Chen[3], Jin-Chuan Tsai[2],
Ming-Jen Fan[3] and Lien-Sheng Liang[2]

Abstract : The primary objectives were to determine the acidic rain stress cause alternation in the soybean foliar injury responses. potted soybean (*Glycine max*.L. cv. "Tainung 15" and "Kaohsiung select 10") were exposed to two 1 mm simulated rain episodes per week at specific acidities from pH 2.0, 3.0, 4.0 and 5.6 treatments. Each treatment was exposed to 0.5hr spraying in the morning between 8 : 00 and 9 : 00 on consecutive days for 5 weeks after anthesis (R2) stage. Acid rain treatment at pH 2.0 induced the formation of pale brown necrotic spots on the leaves within 2 weeks after exposure. The electrolyte leakage of the first trifoliate leaf to acid rain of pH 2.0 for 1 week was significantly greater than that from the other treatments. cuticular stomata exposed to the acid rain of pH 2.0 showed a smaller aperature and did not follow diurnal changes. However, acidity of rain had no effect on stomatal conductance of the soybean. After 2 weeks of exposure, in pH 2.0 and pH 3.0 treatments, soluble protein and chlorophyll content of "Tainung 15" showed a significant decrease. However, "Kaohsiung selection 10" was not significantly affected by pH 3.0 episode.

Key words : Acidic rain, Soybean, *Glycine max* L., Electrolyte leakage, Cuticular conductance.

INTRODUCTION

Acid precipitation has often been defined as precipitation with pH values less than 5.6 [2,12]. A pH of approximately 5.6 is the equilibrium pH for the dissolution of ambient atmospheric level of carbon dioxide (approximately $320\mu LL^{-1}$) in water, a reaction that produces carbonic acid. Measured pH values of precipitation in Taiwan were often lower than 5.6, because of the large amount of sulfur and nitrogen oxides in the atmosphere.

There have been many reports on the occurrence of visible injury induced by acid rain treatment. Since Shriner et al. (1974) first reported the findings of their acid rain study. Jacobson (1980) reported that the threshold for foliar injury development was among pH3.0 and pH 4.0. Hosono and Nouchi (1994) found that simulated acid rain at pH 3.0 or below produced visible injury on leaves of six species. Bean leaves exposed to acid rain from

1. Contribution No. 1771 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Assistant, Associate Researcher, Head, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Assistant, Head, Department of National Plant Genetic Resources Center, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

sulfuric acid at pH 3.0 and below showed necrotic spots[9]. Kohno and Kobayashi (1989) showed that simulated acid rain treatment at pH 3.0 or higher did not induce significant adverse effects on the growth of soybean seedlings, but acidic rain treatment at pH 2.0 significantly reduced leaf area, dry matter accumulation and root nodule prodution.

Acid rain experiments on agricultural crop species in Taiwan have not been investigated to any extent. The aim of this study is to measure the physiological response and leaf injury of *Glycine max* after exposure to simulated acid rain solutions under greenhouse conditions.

MATERIALS AND METHODS

Plants material and growing conditions

Soybean seeds ["Tainung 15" (TN15) and Kaohsiung select 10:(SSC10)] were sown in plastic pots (3 seeds to a pot, pot size: 18 cm in diameter x 25 cm in depth) filled with 2L of loamy soil. Seedlings were thinned to one plant per pot 7 days after seedling. Fertilizer containing N, P and K was applied to the soil at a rate of 80:100:100 kg ha^{-1} as $N:P_2O_5:K_2O$ prior to seeding. The experimental plants were grown located under greenhouse that served as ambient rain exclusion shelters for the delivery of simulated acid rain.

Aced treatments

The pH of the rain solution was adjusted to 5.6, 4.5, 3.0 and 2.0 with a mixture of H_2SO_4 and HNO_3(2.5:1). Solution in a PVC supply canister was pressurized with hand and forced through a small orifice of a commercial stainless steel rain nozzle. Where it impinged on the tip of a J-shaped pin, and was broken into particles with a mean stain diameter of 1.0mm (Fig. 1). Spraying was done carefully to wet the leaf surface evenly and completely, so that

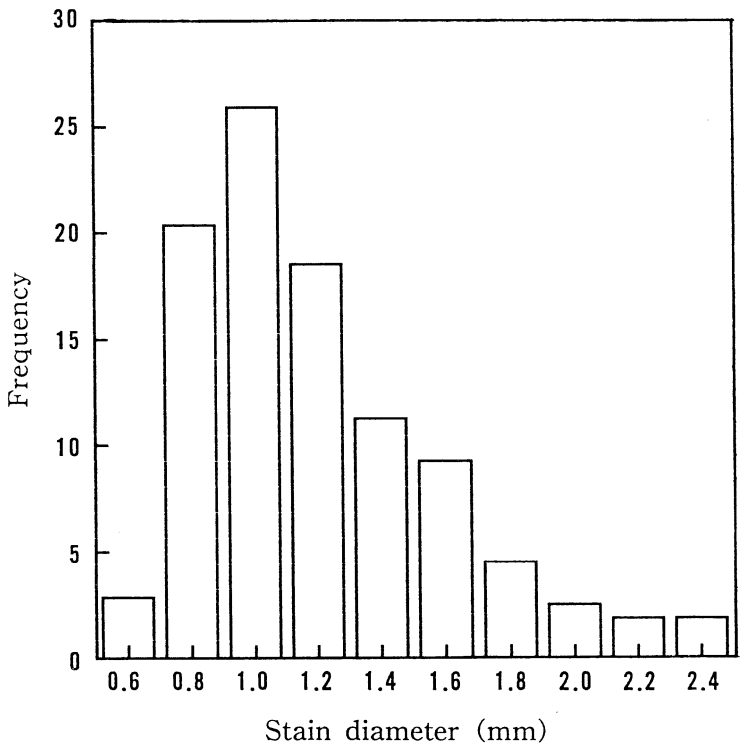


Fig. 1. Drop stain distribution for simulated acid rain exposure system.

no spray reached stems, petioles, soil surface, opposite leaves, or other parts of the plant. Each treatment was exposed to 0.5hr spraying in the morning between 8:00 and 9:00 twice a week on consecutive days for 5 weeks after anthesis (R2) stage (approximately R3-R6 stage, seed filling period).

Analysis

Chlorophyll and soluble protein: Measured on subsamples of fully expanded leaves from the upper half of four plants per treatment, six discs of 1.0 cm in diameter were taken from interveinal region of leaves. The measurement followed the method of Arnon (1949) and Bradford (1976).

Wax content : Twenty discs of 1.0cm in diameter were taken from interveinal region of leaves, epicuicular waxes were removed by stirring the leaves in 30ml chloroform for 15 seconds[13].

Electrolyte leakage : The leaves were placed in 50ml plastic tube and incubated at ambient temperature, conductivity of the suspending solutions was measured after 24 hrs and again after autoclaving at 121°C for 10 min (taken as 100 % electrolyte leakage).

Stomatal and cuticular conductance : Measured on the terminal leaflet of the fully expanded leaf with a steady-state porometer (Model LI-1600, Licor Crop., Lincoln, NB).

Relative water content (RWC): The fresh weight (Wf) was measured immediately after the leaf tissue was collected and the fully turgid fresh weight (Wt) was measured after the leaf tissue had been brought to fully turgor by floating the cut leaves in water for 2h. The dry weight (Wd) was determined by heating the leaf samples at 100°C until the weight no longer decreased. RWC is expressed as $RWC(\%)=100\times(Wf-Wd)/(Wt-Wd)$.

Ultrastructure of leaf surface : In R5 growth period, samples of exposed leaves were taken for investigation of the epicuticular wax layer by scanning electron microscopy.

Statistics

Analysis of variance were carried out on all data. Probabilities were determined using the standard Student's t-test. The data shown are means of 12-15 independent replicates ± SEM.

RESULTS

Acid rain treatment at pH 2.0 induced the formation of pale brown necrotic spots on the leaves within 2 weeks after exposure. Necrotic symptoms first apperared along the vein and spread gradually into the interveinal areas. When young leaves were exposed to acid rain at pH 3.0, only slight injury was observed in the form of necrotic spots, mature leaves showed no visible symptoms of acid rain injury at pH 3.0 and greater. However, necrosis was severe enough to result in abscission at pH 2.0. Abscission occurred after the initial exposure to pH 2.0, but plants initiated new laterals to continue vegetative growth. Lateral regrowth appeared to be less sensitive to injury than primary or secondary leaf tissue.

The electrolyte leakage of the first trifoliate leaf from soybean plant exposed to acid rain of pH 2.0 for 1 week was significantly greater than the from the other treatments (Fig. 2.). Compared to Tainung 15 exposed to acidic rain, Kaohsiung select 10 treated with pH 3.0 rain exhibited significantly higher electrolyte leakage levels. But, no difference was found in electrolyte leakage between pH4.0 and 5.6 even after 5 weeks exposure.

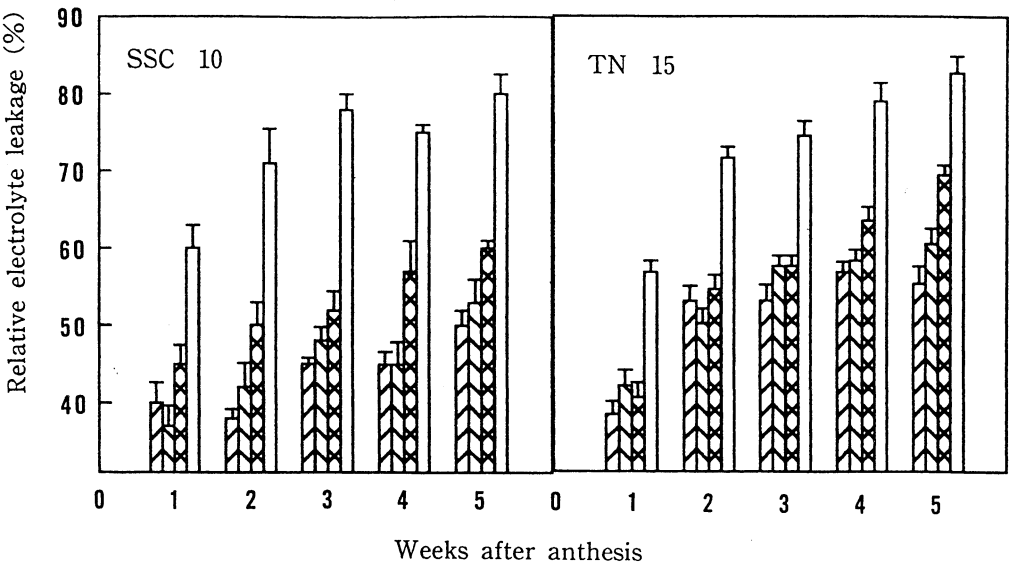


Fig. 2. Changes of relative electrolyte leakage of soybean leaf in simulated acid rain during seed filling period.
SSC 10 : c.v Kaohsiung select 10 TN 15 : c.v Tainung 15
Bars indicat standard error.

After 2 weeks of acid rain treatment, the cuticular conductance of leaf at pH2.0 was significantly less than that at pH 5.6, otherwise there were no significant difference among any of the three acid rain treatments. After 5 weeks of exposure, the cuticular conductance was not significantly different among four pH treatments (Fig. 3.). On September 17, daily time courese of cuticular conductance of leaves were measured. Cuticalar stomata exposed to the acid rain of pH 2.0 showed a smaller aperture and did not following diurnal changes (Fig. 4.). However, acidity of rain had no effect on stomatal conductance of the soybean (data not shown). At the end of the experimental period the quantity of leaf relative water content are shown in table 1. Relative water content was not significantly affected by acid rain treatments at pH 3.0 or higher; that at pH 2.0 was significantly less than that of the control at pH 5.6.

Fig. 5. shows the change of soluble protein of leaf exposed to different pH episodes after anthesis stage. After 2 weeks of exposure, in pH 2.0 and pH 3.0 treatments, leaf soluble protein of Tainung 15 showed a significant decrease. However, Kaohsiung select 10 was not significantly affected by pH 3.0 episode. The chlorophyll content of soybean leaves showed similar results with the change of soluble protein (Fig. 6).

Acid rain of pH 2.0 had a detrimental influence on the epicuticular wax layer which showed numerous lesions and melted appearance (Fig. 7.). In contrast, the epicuticular wax layer of the pH 5.6 is characterized by a dense stand of small threads. The quantity of cuticular wax was shown in Table 1. Damage symptoms of epicuticular stomata were observed in the leaf after application of acidic rain (Fig. 7.).

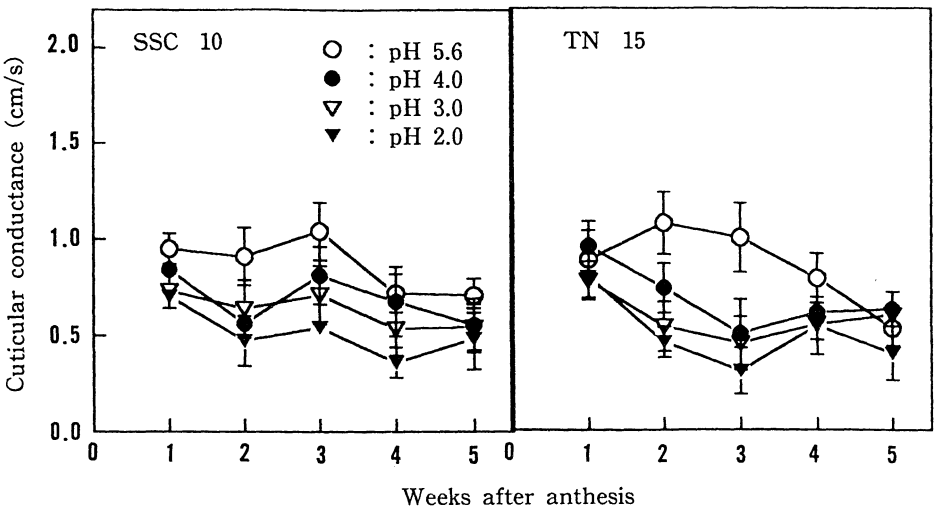


Fig. 3. Changes of cuticular conductance in the soybean leaf in simulated acid rain during seed filling period.
Bars indicat standard error.

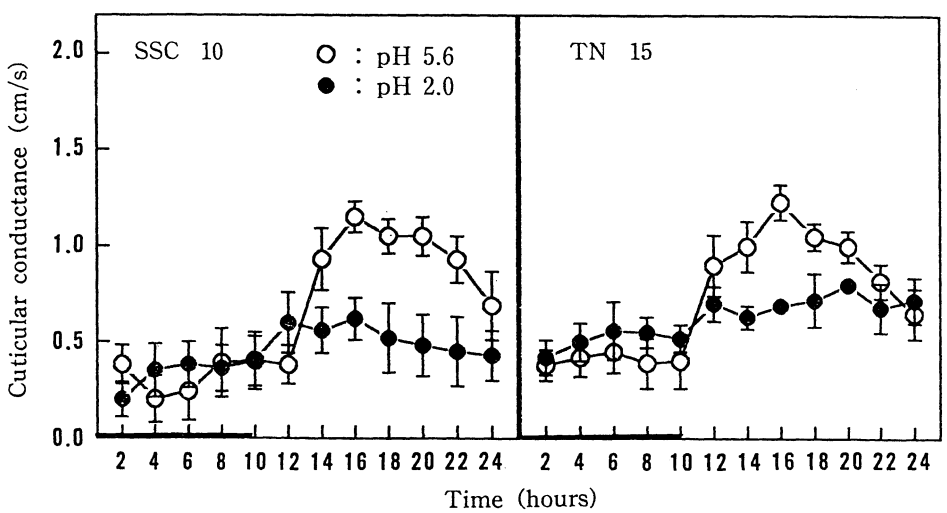


Fig. 4. Time-course-changes of cuticular conductance in the soybean leaf in simulated acid rain during seed filling period.
(september 17. mean temp. 25.6°C , relative humidity 78%) .
Bars indicat standard error.

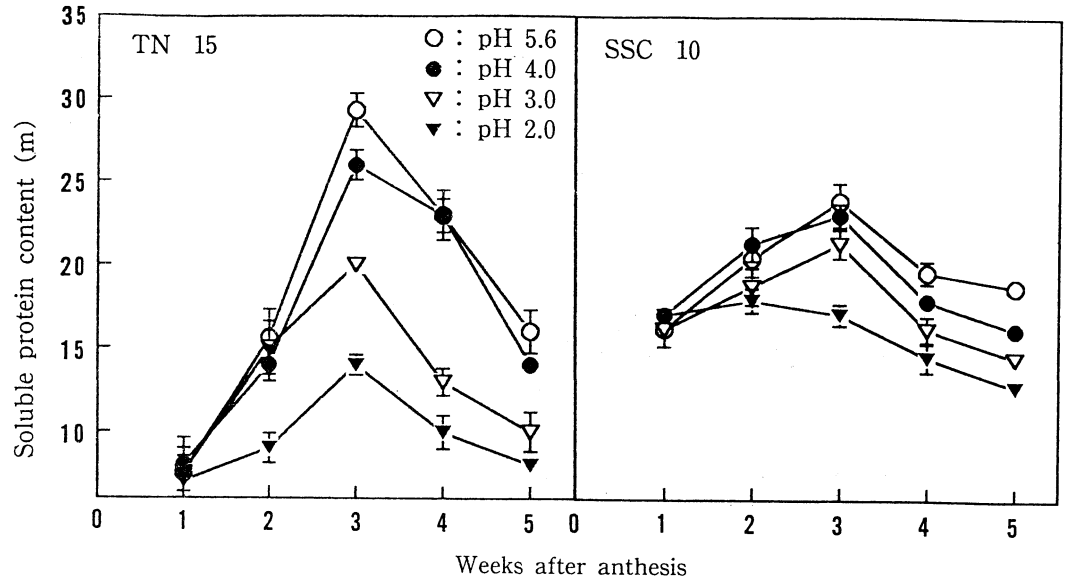


Fig. 5. Changes of soluble protein content of soybean leaf in simulated acid rain during seed filling period.
Bars indicat standard error.

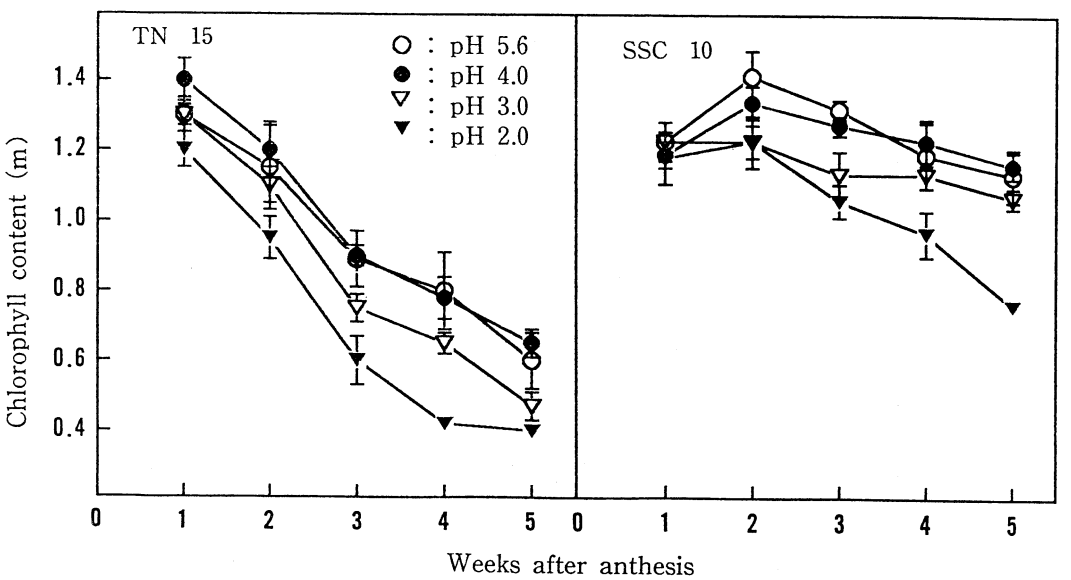
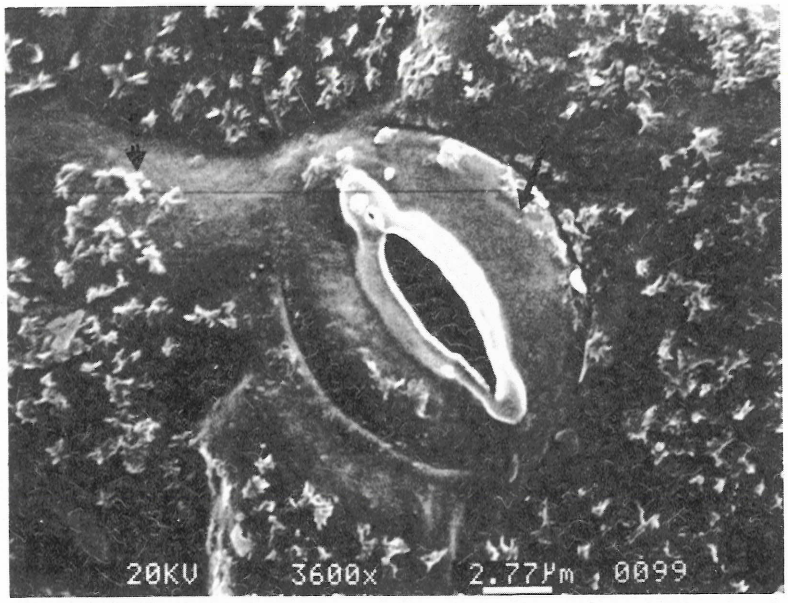


Fig. 6. Changes of chlorophyll content of soybean leaf in simulated acid rain during seed filling period.
Bars indicat standard error.

A



B

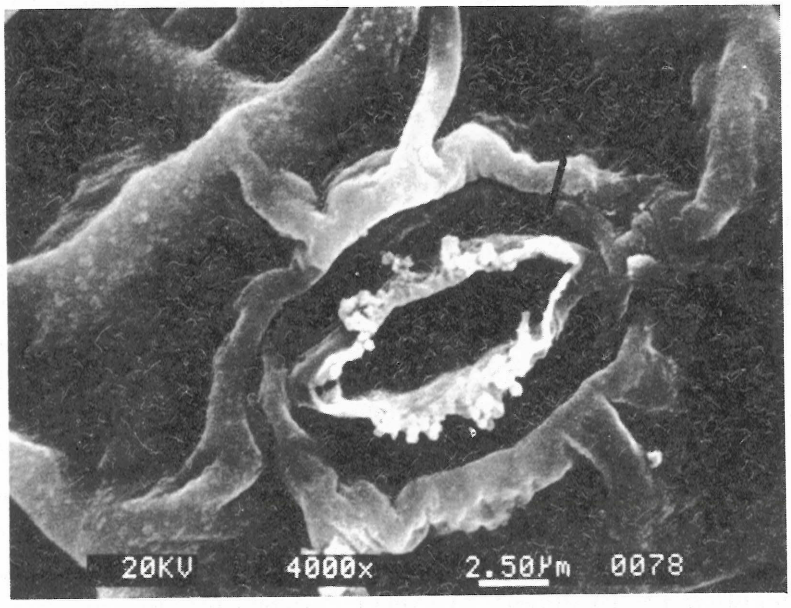


Fig. 7. Scanning electron micrographs of the stomata (solid arrows) and cuticular wax (dash arrow) structure in soybean leaf during two weeks exposure. A : After application of control rain (pH5.6) .B : After application of acidic rain (pH2.0)

DISCUSSION

The phytotoxicity of acidic rain is mainly due to the direct deposition of acidic compounds on plant surface, which can ultimately result in structural injury[3,14,20]. The effect of acidic rain on injury growth and yield has been determined for a wide variety of crops[17]. In soybean, plants are adversely affected only by pH levels of 3.0 or lower[22]. Injury (necrotic lesions) began to appear on leaves, stems and fruit at pH 2.8 or lower. More acidic rain of pH 2.0 or lower are required for growth or yield decreases[11]. According to Kobayashi et al. (1991), the exposure of simulated acid rain at pH 2.0 caused the reduction of dry weight growth and seed yield of soybean plant due to acute damage of leaf area growth. In our study, leaves of two cultivars were damaged by acidic condition at pH 3.0 or lower. The acid treatments of pH 2.0 seriously affect the leaves, causing bleached and necrotic lesions. Some of the photosynthesizing area of the leaves was damaged and chlorophyll was reduced or absent from these lesions. Tainung 15 exposed to pH 3.0 rain exhibited reduced chlorophyll content (compared to responses in plants exposed to pH 5.6 rain), but Kaohsiung select 10 was not significantly altered, With respect to other physiological changes, acidic rain effects on soluble protein responses were of similar magnitude to alternations in chlorophyll in the present study (Fig. 6.).

According to Tukey (1970), leaves continually excrete small amounts electrolyte molecules. Beginning at the lst week of rain application in soybean, leaching rates of the control plants were much lower than those of the plants exposed to pH 2.0 rain. The higher leaching rates in the acidic rain treatment may be explained by the detrimental effect of acidic rain on the cuticle. However, it is also possible that the protons of the acidic rain may have exchanged Ca^{2+} from the surface of the plasmamembrane. Mengel et al. (1990) reported that protons may exchange metallic cations from *Picea abies* leaves, in which, ions, particularly Ca^{2+}, were exchanged at the beginning of the exposure to acidic fog. As can be seen from Fig. 2., leaching rates increased with time. This increase was significant and indicated that the permeability of the membrane of the cuticle or both became higher.

The disintegration of the epicuticular wax layer brought about by acidic rain (Fig. 7, Table 1) has also been previously reported. In addition, our investigation provided evidence that the epistomatal wax layer was heavily damaged by acidic rain. This observation is in good agreement with the results of Mengel et al. (1989), who reported that acidic fog brings about a cracking of the epistomatal wax props.

According to Jeffree et al. (1971), the epicuticular waxes on the stomatal cavity of spruce provide excellent protection against water loss. Consequently damage or even loss of the epistomatal waxes will lead to a disturbance in the water status of plants. Trumble and Walker (1991) reported that stomatal resistance increased significantly in *Phaseolus lunatus* following exposure to pH 2.5 and pH 3.0 acidic fog. Damaged cuticle and guard cell should have and impact on the cuticular stomatal fluctuation of soybean, as were shown in our study. but Knittel and Pell (1991) reported that acidity of rain had no significant effects on the cuticular or stomatal conductance of the corn cultivar at pH 3.0 treatment. There are

several possible explanations for the apparent lack of response of cuticular conductance to acidic rain. Other cuticular stresses could mask effects of acidic rain. Wind, relative humidity, temperature, light intensity, and insects or leaf microflora could all affect cuticular conductance. in addition, This differential results were dependent upon plant species, leaf surface, characterisitics and amount of acid input.

A damaged cuticule should have and impact on the water holding capacity of plants, as was shown in this paper. Soybean with a degraded epicuticular wax layer are susceptible to water stress and their protection mechanism against water loss is affected since even with stomatal closure water may be lose by cuticular transpiration. It can there be assumed that the decline of spruce trees widely occuring in central Europe could to a large extent be caused by cuticle damage that leads to water stress, particularly in dry years[18,19].

Moskowitz et al. (1985) estimated that if acid deposition in the United States were reduced by 10% in 1982, the yield of field grown soybean cultivars would have been greatly increased. However, they suggested that the effects of acid precipitaiton might be less important than those of dry deposition such as O_3 and other environmental stress such as water stress. Thus, further research is needed to assess long term interactive effects of acidic precipitation and other environmental factors on soybean and othere agricultural crops.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study would have been impossible to complete without the assistance of Dr D.J. Liu who provided laboratory facilities at the Taiwan Agriculture Research Institute of the Department of Agronomy. We are also indebeted to National Plant Genetic Center for its support of scanning electron microscopy and technical assistance.

REFERENCES

1. Arnon, D.I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts. Polyphenloloxidase in *Beta vulgaris*. plant Physiol. 24:1-15
2. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Ana. Biochem. 72:248-254.
3. Evans, L.S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation : A review. Environ. Exp. Bot. 22(2):155-169
4. Evans, L.S. and T.M. Carry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. Amer. J. Bot. 66:953-962
5. Hosono, T. and I. Nouchi. 1994. Effects of simulated acid rain on growth, yield and net-photosynthesis of several agricultural crops. J. Agr. Met. 50(2):121—127.
6. Jeffree, C. E., R.P.C. Johnson and P.G. Jarvis. 1971. Epicuticular wax in the stomatal antechamber of Sitka spruce and its effects on the diffusion of water vapor and carbon dioxide. Planta. 98:1 -10.
7. Jacobson, J.S. 1980. The Influence of Rainfall Composition on the Yield and Quality of Agricultural Crops, Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip. SNSF project, pp.41-46, Oslo, Norway. 11-14 March. Sandefjord, Norway.
8. Knittel, R. and E. J. Pell. 1991. Effects of drought stress and simulated acidic rain on foliar conductance

of *Zea mays* L. Environ. Exp. Bot. 31(1) : 79-90.

9. Kobayashi, T., Y. Kohno and K Nakayama. 1991. The effects of simulated acid rain on the growth and yield of soybean. J. Agr. Met. 47(2):83-90.
10. Kohno, Y. and T. Fujiwara. 1981. Effect of Acid Rain on the Growth of Radish and Kidney Bean, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) Report 481008. Komae City, Tokyo 201, Japan.
11. Kohno, Y., and T. Kobayashi. 1989 a. Effect of simulated acid rain on the growth of soybean. Water, Air, and Soil Pollut. 43:11-19.
12. Kohno, Y., and T. Kobayashi. 1989 b. Effect of simulated acid rain on the yield of soybean. Water, Air, and Soil Pollut. 45 : 173-181.
13. Likens, G.E. and F.H. Bormann. 1974. Acid rain : A serious regional enviromnental problem. Science. 84:1176-1179.
14. Mayeux, H.S.JR., W.R. Jordan., R.E. Meyer and S.M. Meola. 1981. Epicuticular wax on goldenweed *(Isocoma spp.)*leaves; variation with species and season. Weed Science. 29:389-393.
15. Mengel, K.A., M.R. Hogrebe and A. Esch. 1989. Effect of acidic fog on needle surface and water relations of *Picea abies*. Physiology Plantarum. 75:201-207.
16. Mengel, K., M.TH. Breininger and H.J. Lutz. 1990. Effect of simulated acidic fog on carbohydrate leaching, CO_2 assimilation and development of damage symptoms in young spruce tree *(Picea abies* L. Karst). Environ. Exp. Bot. 30:165-173.
17. Moskowitz, P.D., W.H. Medeiros, N.L. Oden, H.C. Jr. Thode, E.A. Coveney, J.A. Jacobson, R.E. Rosenthal, L.S. Evans, and F.L. Allen. 1985. Effects of acid deposition on agricultural production. BNL 51889, Brookhaven National Laboratory. Upton, NY, U.S.A.
18. Olszyk, D.M., A. Bytnerowicz and B.K. Takemoto. 1989. Photochemical oxidant pollution and vegetation: Effects of mixtures of gases, fog and particles. Envir. Pollut. 61:11-29.
19. Rehfuess, K.1985. On the causes of decline of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. in Central Europe. -Soil Use and Management. 1:20-31.
20. Schuten H. R., N. Simmleit and K.E. Murray. 1987. Differentiation of wool and spruce waxes affected by environmental influences using fingerprinting by soft ionization mass spectrometry. Fresenius Z. Analyst. Chem. 327:235-238.
21. Sheppard, L.J., J.N. Cape and I.D. Leith. 1993 . Influence of acidic mist on frost hardiness and nutrient concentrations in red spruce seedling.II. Effects of misting frequency and rainfall exclusion. New Phytol. 124:607-615.
22. Shriner, D.S., M.S. Decot, and E.B. Cowling. 1974. Simulated acidic precipitation causes direct injury to vegetation. Proceedings of the American Phytopathological society. 1:112.
23. Trites, L.F. and R.G.S. Bidwell. 1987. Effect of acidic precipitation on bean plants. Can. J. Bot. 65:1121 -1126.
24. Trumble, J.T. and G.P. Walker. 1991. Acute effects of acidic fog on photosynthetic activity and morphology of *Phaseolus lunatus*. HortScience. 26:1531-1534.
25. Tukey, H.B.JR. 1971. The leaching of substances from plants. Ann. Rev. Plant physiol. 21:305-324.

人工模擬酸雨對大豆葉片之不同反應[1]

姚銘輝[2] 陳述[3] 蔡金川[2] 范明仁[3] 梁連勝[2]

摘要：本試驗目的主要是探討酸雨對大豆葉片傷害。塑膠溫室內以盆缽方式種植大豆，於開花期後（R3）開始噴施不同酸度（pH2.0，3.0，4.0和5.6）的雨水，每週噴施1公厘雨量2次，連續5週。試驗結果顯示，pH2.0酸雨噴施葉片2週後，出現白色及褐色斑點，pH3.0有少量斑點出現，至於pH4.0及5.6則不受影響。葉片電解質滲漏量於pH2.0噴施1週後迅速增高，顯示葉片細胞受到傷害。強酸使表層導度下降且無日變化，氣孔導度則各處理間並無差異。「臺農15號」葉片之可溶性蛋白質和葉綠素於 pH2.0及3.0處理2週後開始下降，「高雄選10」號則祇有 pH2.0處理有下降趨勢。

關鍵詞：酸雨、大豆、電解質滲漏量、表層導度。

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1771 號。
2. 本所農業工程系助理、副研究員、系主任。台灣省 台中縣 霧峰鄉。
3. 本所作物種原室助理、系主任。台灣省 台中縣 霧峰鄉。

中華農業研究

第四十四卷　第一期

中華民國八十四年三月出版

發行人：杜金池

總編輯：廖慶樑

編審委員：

農藝組：盧煌勝（主審）
王強生　呂秀英　郭益全　陳一心
楊純明　劉大江　劉新裕　蔡新聲

園藝組：蕭吉雄（主審）
王德男　沈再發　林昭雄　施昭彰
徐信次　曹幸之　劉政道　歐錫坤

農化組：連深（主審）
吳繼光　郭鴻裕　劉慧瑛

植病組：彭金騰（主審）
王惠亮　林正忠　張清安　程永雄
黃秋雄　蔡武雄

昆蟲組：羅幹成（主審）
王清玲　何琦琛　周樑鎰　陳炳輝
陳健忠　鄭允　鄭清煥

農機組：梁連勝（主審）
陳加忠　黃禮棟　顏欽崇

另聘請農業評議委員或各大學院校有關學者專家擔任審查委員。

Vol. 44, No. 1 Mar. 1995

JOURNAL OF
AGRICULTURAL RESEARCH OF CHINA

PUBLISHER : Director, Chisn-Chyu Tu

EDITOR IN CHIEF : Chin-Liang Liaw

EDITORIAL BOARD :

Shen Lian (Agri. Chemistry)
Lien-Sheng Liang (Agri. Machinery)
Kang-Chen Lo (Applied Zoology)
Hung-Shung Lu (Agronomy)
Jin-Torng Peng (Plant Pathology)
Chi-Hsiung Hsiao (Horticulture)

EDITORIAL ADVISORY BOARD :

Chin-An Chang
Bing-Huei Chen
Chia-Chung Chen
Chien-Chung Chen
Yi-Shin Chen
Ching-Huan Cheng
Edward Yun Cheng
Yung-Hsiung Cheng
Liang-Yih Chou
Horng-Yuh Guo
Chyi-Chen Ho
Hsin-Tszu Hsu
Chiou-Hsiung Huang
Li-Duhng Huarng
Yih-Chuan Kuo
Cheng-Chung Lin
Chao-Hsiung Lin
Tsung-dao Liou
Dah-Jiang Liu
Huey-Ing Liu
Sin-Tie Liu
Hsiu-Ying Lu
Shyi-Kuan Ou
Tzay-Fa Sheen
Jau-Chang Shih
Tsai-Wang Tsai
Wu-Hsiung Tsai
Shing-Jy Tsao
Hsin-Sheng Tsay
Chan-Sen Wang
Chin-Liang Wang
Der-Nung Wang
Chi-Guang Wu
Chwen-Ming Yang

Reviewers of Related Fields are Invited from Universities, other Research Organizations, and the Evaluation Committee of Agricultural Researches, Taiwan Provincial Department of Agriculture and Forestry.

統一編號
030853830077

Vol. 44, No. 1 Mar. 1995

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH OF CHINA

(Formerly Journal of Taiwan Agricultural Research)

CONTENTS

Studies on the Relationship between Characters of Panicle and Grain Quality of Rice (*O. sativa* L) .....Yong—Pei Wu··· 1

Compositional Analysis of Sweet Potato Tuber by Near Infrared Reflectance Spectroscopy .....Yong-Pei Wu, Yung-Chang Lai, Hsin-Chen Lee and Yi-Sin Chen··· 9

The Effect of Nitrogen Rate on the Combining Ability and Heterosis in Maize Traits .....Guang-Jauh Shieh, Chan-Lee Ho and Hung-Shung Lu···15

The Effects of Planting Density on the Growth and Yield of Corn

I. Vegetative Growth Phase .....Meng-Li Wei, Lit-Fu Chan, Yih-Jan Jiang and Dah-Jiang Liu···26

II. Grain-Filling Period .....Yih-Jan Jiang, Meng-Li Wei, Lit-Fu Chan and Dah-Jiang Liu···37

Evaluation and Improvement of Persimmon .....Ien-Chie Wen···49

Relationship between Leaf Area and Dry Biomass Production in Wetland Taro 〔*Colocasia esculenta* (L.) Schott〕 .....Lit-Fu Chan, Hsiu-Ying Lu, Chun-Tang Lu and Chi-Hsiung Lai···59

Damage on Three Leafy Vegetables in Winter by Simulated Acidic Fog .....Ming-Hwi Yao, Kung-Shy Chi, Jin-Chuan Tsai and Lien-Sheng Liang···72

Differential Responses of Soybean Foliage to Simulated Acid Rain .....Ming-Hwi Yao, Shu Chen, Jin-Chuan Tsai, Ming-Jen Fan and Lien-Sheeg Liang···81

Published by
THE TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE
Taichung, Taiwan, Republic of China