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.