玉米乾物質生產及氮素利用與產量之關係

姜義展、陳烈夫、魏夢麗、劉大江
臺灣省農業試驗所

摘　要

玉米吐絲前的營養生長可能影響子粒產量表現，本試驗採用玉米品種臺農一號爲材料，以變化栽培密度處理使植株在吐絲期具有不同營養生長量，但吐絲後具有相似生育環境，調查營養生長與子粒充實期間植株乾物質與氮素的累積與分配性狀。於 1991- 1993 年秋作進行試驗，行距均爲 75 cm，1991 年採用株距 11、22 及 44 cm 三種處理，1992 及 1993 年採用 11 與 22 cm 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；在播種至成熟期間連續取樣，分析不同器官之乾物質與氮素累積性狀。對營養生長而言，第十二葉齡以後栽培密度對單株乾物質及氮素累積能力的影響方較明顯，在第十二葉期至吐絲期約一個月生育期間，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% 。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，卻不受環境因子的影響。對生殖生至長而言，玉米植株在吐絲後初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。吐絲期營養生長量較低之植株，在吐絲後 0-24 日及 48-65 日之間的單株乾物質生產量較高，有利於產量表現。在氮素累積性狀方面，吐絲期營養生長及氮素累積量較低者，於子粒充實期間反而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。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、營養生長、子粒充實、乾物質累積、氮素利用。

前　言

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 (Cross, 1990)，但在雄穗開始分化以後，生長速率逐漸增

高，Williams et al. (1965) 以高密度栽培玉米，發現在雄穗抽出前 12 日的作物生長速率可高達 520 kg/ha・day。一般而言，玉米在吐絲期的乾物質累積量僅爲成熟期最終乾物量之 40-50% (Wang et al., 1990)，但營養生長量多寡對子粒產量的直接影響如何，則報告並不多見。

Edmeades and Daynard (1979) 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 (1981) 也指出玉米在雄穗分化始期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 (Simmons and Jones, 1985) 及子粒充實後期的養份供應 (Genter et al., 1970)，也有很高的重要性。

另一方面，Muldoon et al. (1984) 指出營養生長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 (1989) 以溫帶地區玉米進行試驗，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. (1982) 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。

玉米葉片與莖稈貯存礦物元素的功能早經確認，Hanway (1962) 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的 70% 左右，Schrader (1984) 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 (Russelle et al, 1983)，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 (Bullock et al, 1993)。

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，但在吐絲後維持相同的行株距，詳細調查植株生育全期的乾物質與氮素累積性狀，所得結果將有助於瞭解臺農一號玉米品種的田間產量生理表現。

材料與方法

以單雜交玉米品種臺農一號爲試驗材料，於 1991 至 1992 年秋作在臺灣省農業試驗所農場進行田間試驗，三年之播種日期分別爲 9 月 20 日及 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/100 g，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，播種時之行距均爲 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。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

爲 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 (王等，1988) 及吐絲期時，計兩次分別進行與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。兩年試驗之氮肥用量均爲 200 kg N/ha，磷肥與鉀肥用量爲90 kg P_2O_5 與100 kg K_2O/ha，肥料之施用方法及田間栽培管理與王等 (1989) 所述相同。

於植株生育至第四、八、十二與十五葉齡及吐絲期時，進行營養生長期之取樣，又於吐絲後間隔一至三週進行子粒充實期之取樣，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℃ 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 al. (1982)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 22 cm 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，且均顯著高於最密植 (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 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，隨栽培密度之降低而升高。1992 年試驗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，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 年試驗第八葉期以前，於三個處理間均無顯著差異。第十二葉期之氮素累積量以最疏植處理較高，吐絲期之每株氮素累積總量因密植而顯著降低 (表 2)。1992 年試驗玉米植株在第四及第八葉期累積的氮素量較 1991 年試驗結果爲高，但吐絲期的氮素含量反而較爲低 (表 2)。1992 年試驗中第八葉期時單株葉片與全株氮素累積量均以疏植處理較高，莖稈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。

將玉米植株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

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 and1992)

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 yearare not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

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 cornTainung 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 yearare not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

吐絲期，兩個階段之生育日數在 1991 與 1992 年分別爲 35 與 38 日及 28 與 27 日。玉米植株在第一階段的生育緩慢，但自第十二葉期以後則極爲迅速。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，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，亦未顯示處理效應。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 (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 partin the same yearare 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第十二葉期以後的生長轉爲快速，可由表 4 及表 5 資料予以更詳細說明。表 4 資料顯示 1991 年試驗中，玉米作物生長速率隨植株生育期延伸而明顯提高，且受栽培密度極顯著的影響；氮素累積速率的表現相似，自播種後逐漸升高，於吐絲前約二週達到高峰，並以密植處理高於疏植處理。1992 年的試驗結果 (表 5) 表現與 1991 年相同的趨勢，亦即累積速率隨植株之生長而增加，以接近吐絲期最高，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。

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.

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 accumulation rates (kg/ha・day) of hybrid corn Tainung No. 1 at different stages of vegetative growth (fall crop, 1992)

Plant spacing[z] (cm)	Growth 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
11-22	(0.20)	(1.30)	1.94 b	2.42 b	3.36
22-22	0.11 b	0.78 b	2.05 b	3.39 a	3.54
			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 specific plant part are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

進一步計算玉米植株乾物質累積速率與氮速累積速率的比值，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 年之第十二至十五葉期，與 1992 年之第八至第十二葉期，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，其乾物質與氮速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，植株乾物質與氮速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)。

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，植株之乾物質累積量低於自播種開始即維持

22 cm 株距之處理，但至成熟期之差異未達顯著水準 (表 6)。在 1992 年試驗方面，吐絲期全株乾重亦受栽培密度的顯著影響，以株距始終爲 11 cm 之密植區 (株距代號 11-11-11，見表 6) 最低，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，自播種後株距均維持 22 cm 處理 (株距代號 22-22-22) 最高 (表 6)。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；至於吐絲期開始株距即維持 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 6)。

表6. 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 6. 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-kernel weight (g)	Kernel yield (g/plant)
	Silking[y]	Harvest	Silking	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 1991 experiment, 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.

玉米植株於吐絲期及成熟期的氮素含量變化趨勢與乾物質表現相類似 (表 6)。1991 年試驗於吐絲後第 8 日分析，密植植株 (株距 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 6)。

1991 年試驗吐絲前的株距分別爲 11 或 22cm，但如於吐絲後維持相同株距 (22 cm)，則子粒產量並無顯著差異；兩處理的平均百粒重相同，但吐絲前株距爲 11 cm 處理的平均一穗粒數則有較低的趨勢 (表 6)。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，百粒重與一穗粒數亦以前者爲高。比較吐絲後株距同爲 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，但平均百粒重則最高 (表 6)。

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，在子粒充實初期 (吐絲後 0-24 日)，乾物質的增加量大致仍受栽培密度之影響，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。玉米植株於此一期間所累積的乾物質主要集中於果穗，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 7)，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 7. 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 7. 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.

表 7 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高於子粒的乾物質增加量，亦即就光合物質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及穗軸。其他三項處理的單株乾物質生產量不及子粒乾物重的增加量，且苞葉乾物重大幅降低，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 7)。

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；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 7)。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 7)。

表 8 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；子粒部位則持續累積大量氮素，並以充實初期與中期的累積量高於充實後期的累積量 (表 8)。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，且多低於子粒所累積的氮素量，其差異以密植處理最爲明顯。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 8)。

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 8)，以 11-22-22 及 22-22-22 處理最低，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。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多而密植處理較少的趨勢。子粒部位的氮素累積量仍然快速增加，以最疏植處理最高，11-11-22 及 22-22-22 處理其次，密植處理最低。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 8)，顯示極不平衡的氮素供源與積儲關係。

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 (表 9)。氮素利用效率可區分爲氮素吸收效率 (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) 兩項組成因子；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間差異，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 9)。

表 8. 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 8. 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.

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。玉米植株在吐絲後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 9)，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的氮素濃度亦相同。

表 9. 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 9. 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, andsilking. 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: amountof N in plant at harvest; Na: amount of N accumulated after silking; Ng: amount of N in kernels at harvest; units are allin kg/ha.

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近，無顯著倒伏，亦無高密度栽培時可能發生之不孕穗現象 (Tollenaar et al., 1992)。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 (魏等，1994)，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，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，且栽培密度處理間沒有顯著差異，主要原因應爲未能充份利用光能 (Williams et al., 1965a)，另一方面顯示至少在第八葉期以前，植株生長不受所採用栽培密度的影響 (表 1)，作物生長速率主要爲單位面積株數左右。玉米生育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 (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 (1988) 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. (1965a,b) 以每公頃接近 70 萬株之極高密度栽培玉米，在葉面積指數高達 18 的情況下，雖然淨同化速率下降，但就乾物質生產而言，仍未達到最適葉面積指數。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，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 (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。

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。葉片乾重佔全株乾重的比率，自第八葉期之 70% 左右降低至吐絲期之 32% 左右。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 (Simmons nd Jones, 1985)，因此推知第十二葉期以後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關係 (Hanway, 1962)，植株在第十二葉期以後的累積速率才明顯增高，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. (1983) 以發現在十二葉期至吐絲期之間的氮素累積速率可達 92 mg/plant・day；本試驗對應處理 (株距 22 cm) 在同一時期之累積速率爲 72.9 (1991 年) 與 55.5 (1992 年) mg/plant・day，較 Russelle et al. (1983) 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 (1962) 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. (1976) 認爲基因型間具有顯著差異，臺農一號品種的表現有待確定。

Russelle et al.(1983) 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 (Bullock et al., 1993)；以 1991 年試驗爲例，自第十二葉期至吐絲期 (爲時 28 日) 分別的氮素累積量最高可達 161 kg/ha，因此如何適度施肥以提高氮肥施用效率或降低氮肥用量，值得考慮。Russelle et al. (1983) 探討施用氮肥時間的效果，發現如施以重肥，玉米吸收肥料氮素的量以晚施處理較高，如施以輕肥，則以早施處理爲高；提早施用氮肥並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. (1993) 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 (Teare nd Wright, 1990)，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。

1991 年試驗於吐絲期間拔使株距自 11 cm 增大爲 22 cm，至吐絲後第 8 日第一次取樣時，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 6)。1992 年試驗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 6) 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，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，可能爲田間透光度 (light transmission rate) 升高的結果 (Frey, 1981)。

Corke and Kannenberg (1989) 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，一穗粒數都顯著降低 (表 6)，顯示吐絲期的營養生長量的確有影響積儲容積的可能。但是在百粒重與一穗粒數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 (1990) 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，僅有少量累積於營養器官 (表 7)。此一階段是子粒生長遲滯期，穗軸同時快速生長與伸長，有助於增加一穗粒數。Reed et al. (1988) 於玉米吐絲期施以遮蔭處理，導致子粒嚴重不稔實現象，認爲是光合成物質供應不足的結果；Schusslerand Westgate (1991) 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，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即有不足的可能，值得注意。

王等 (1989) 與魏等 (1994) 在玉米吐絲與成熟期分析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。本試驗結果顯示苞葉與穗軸於子粒充實初期的生長極爲快速，可能與子粒競爭光合產物 (表 7)，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, 1982；Ou-Lee and Setter, 1985)，假設本試驗中多數處理植株在子粒充實初期並無多餘的乾物質可累積於莖稈，但子粒的積儲强度不高，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 7)，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；此一處理植株在吐絲期所含的乾物量最低 (表 6)，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 (Edmeades and Daynard, 1979；Hawkins and Cooper, 1981)。

子粒在充實中期對乾物質的需求量最高，依據表 7 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 (Setter and Flannigan, 1986；Simmons and Jones, 1985)，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 7)，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 (Frey, 1981)。本試驗中全株及子粒的乾物重在充實後期 (吐絲後 48-65 日) 持續增加 (表 7)，最值得注意的是 11-11-22 處理，在此一期間保有極高的全株乾物質生產能力及子粒充實速率，可能爲具有較佳的受光態式而延緩葉片老化 (Hashemi-Dezfouli and Herbert, 1982；Tollenaar and Daynard, 1982)，或因一穗粒數降低及百粒重提高 (表 6) 而使子粒有效充實期延長(Poneleit and Egli, 1979)的結果。

玉米植株在不同子粒充實階段的現行同化氮素量均不足以供應各積儲部位的需要，Harder et al. (1982) 發現葉片施肥亦未能改變此一趨勢。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 8，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。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. (1982) 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，本試驗則發現除子粒以外，苞葉與穗軸顯然也是子粒充實初期的氮素積儲器官。

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 (Tsai et al., 1984)；但是 Swank et al. (1982) 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與充實中、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. (1982) 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 9)，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 9)，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 (Williams et al., 1968)，但是並不一定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 9)；Below et al.(1981) 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，玉米自第十二葉期以後，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，栽培密度效應在第八葉期以後方始顯現，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。玉米植株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，吐絲前營養生長量如較低，則子粒充實期間具有較高的生長速率，呈現補償作用。玉米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。

致　謝

本計畫承農業委員會補助部份經費 (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.王强生、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.王强生、林淑雰、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.曹紹徽、王强生、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。1994a。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.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.

6.Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed, and R. H. Hageman. 1981. Availability of reduced N and carbohydrtes for ear development in maize. Plant Physiol. 68:1186-1190.

7.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.

8. 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.

9.Cross, H. Z. 1990. Selection for rapid leaf expansion in early- maturing maize. Crop Sci. 30:1029-1032.

10. 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, ed.). pp. 43-66. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.

11.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.

12.Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21:118-122.

13.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.

14.Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. Agron. J. 54:217-222.

15.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.

16. Hashemi-Dezfouli, A. and S. J. Herbert. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. Agron. J. 84: 547-551.

17.Hawkins, R. C. and P. J. M. Cooper. 1981. Growth, development and grain yield of maize. Exp. Agric. 17:203-207.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

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

24. Schoper, J. B., R. R. Johnson, and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22:1 184-1189.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

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

29. 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.

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

31. 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.

32. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1982. Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Can J. Plant Sci. 62:855-860.

33. 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.

34. 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.

35. Wang, C. S., C. C. Chen, and D. J. Liu. 1990. Growth response to various cultural practices of corn grown in paddy fields. Tech. Bul. No. 120. Food & Fert. Tech. Center, Taipei. 15p.
36. 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.
37. 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.
38. Williams, W. A., R. S. Loomis, W. G. Duncan, A. Dovrat, and F. Nunez. 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. Crop Sci. 8:303-308.

Accumulation of Dry Matter and Nitrogen in Relation to Grain Yield in Corn

Yih-Jan Jiang, Lit-Fu Chan, Meng-Li Wei, and Dah-Jiang Liu

Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung,
Taiwan 41301, Republic of China

Information pertaining to the growth characteristics of corn during vegetative growth is limited. The purpose of this study was to investigate the pattern of dry matter and N accumulation from sowing to silking and its impact on grain yield for corn hybrid Tainung 1. Field experiments were conducted in the fall crops of 1991-1993 with a row spacing of 75 cm. Within - row spacings were 11, 22, and 44 cm, and the spacings were altered by thinning the stand at either tassel initiation or silking stage. The effects of spacing on dry matter and N accumulation were not significant until the 12- leaf stage. From the 12th leaf stage to silking, the amounts of dry matter and N accumulation by the plants accounted for 80-92% and 69-86%, respectively, of the accumulation at silking stage. The ratio between dry matter and N accumulation remained the same among plant spacing treatments, indicating the amount of dry matter production per unit of N was less affected by environmental factors. Dry matter accumulated from silking to 24 days after silking was partitionedrather evenly between kernels and other portions of the ear. Those plants with less vegetative growth at silking tended to have higher dry matter and N accumulation during kernel filling. In most treatments, the rate of N accumulation of the whole

plant was lower than that of the kernels. The N use efficiency was increased by increasing the population density, presumably the result of enhanced N uptake efficiency. The performance of the components of N use efficiency was not affected significantly if the amounts of dry matter and N of corn plants were different at silking stage. Experimental results indicate that physiological activities during kernel filling of corn Tainung 1 was related to the vegetative growth condition, and the buffering capacity it exerted helped to stable kernel yield under unfavorable environmental conditions during the vegetative growth period.