

玉米對浸水的反應

吳炳奇 蔡秀隆 朱德民

Response of Corn to Waterlogging

Biing-Chyi Wu
Shiow-Long Tsai and Teh-Ming Chu

中華農業氣象第一卷第四期抽印本
中華民國八十三年十一月

Reprinted from Chinese Journal of Agrometeorology

Vol. 1(4)

November 1994

玉米對浸水的反應

吳炳奇 蔡秀隆 朱德民

台南區農業改良場，國立屏東技術學院農園系及國立中興大學農藝系

摘要

1984年秋作及1985年春作田間生長的玉米台農351號，分別在齊膝期(1984年9月29日，1985年4月19日)及雄花抽穗期(1984年10月25日，1985年5月16日)遭受人工浸水3~5天，結果產量分別減少12~31%，浸水期間愈長，減產愈嚴重，齊膝期浸水傷害較大。產量之減少，主要是每穗粒數的減少，百粒重影響較小。同時浸水明顯降低果穗直線生長速率，對果穗有效充實期影響較小。浸水不但減少產量，亦降低子粒內氮素含量，主要由於浸水降低植株氮素吸收能力，以致植株莖、葉內氮素濃度減少，並相對地減少氮素運轉至子粒內。

關鍵詞：玉米，浸水，氮素，生長，產量。

Response of Corn to Waterlogging

Biing-Chyi Wu, Shiow-Long Tsai and Teh-Ming Chu (Tainan District Agricultural Improvement Station, Tainan, Taiwan, ROC, Department of Plant Industry, National Pingtung Polytechnic Institute, Pingtung, Taiwan, ROC and Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: Field-grown corn cv. Tainung 351 plants were subjected to 3 or 5 days waterlogging at knee-high and tasselling stage, respectively. The yield production was reduced 12-31% depending on growth stage, cropping season and waterlogging duration. The yield reduction was mainly due to decrease in kernel number per ear. Total plant dry weight and linear ear growth rate were also dramatically reduced after waterlogging treatment. In addition, nitrogen concentration of kernel was decreased resulted from inhibition of nitrogen uptake and translocation into kernel under waterlogging condition.

Key words: Corn (*Zea mays* L.), Waterlogging, Nitrogen, Growth, Yield.

前言

玉米與其他旱作相比較，較具有耐淹性，主要是玉米在浸水下能誘導具有通氣組織 (aerenchyma) 的不定根形成，可以進行部分有氧呼吸作用 (朱與蔡，1992)。然而在較長時間浸水下，玉米植株生長仍

然受到抑制，葉片黃化、產量驟減，尤其是在發芽期對浸水特別敏感 (鄭與朱，1988)。在玉米種子發芽期間只要遭受幾小時浸水即可明顯抑制發芽及幼苗的出土。

台農351號為本省推行稻田轉作的玉米重要品種之一，具有高產特性；惟在本省地區栽培常易遭受到梅雨、颱風之侵襲及浸水的危害，影響植株生長與發育甚鉅。本文主要探討玉米台農351號在齊膝期 (knee-high stage) 及雄花抽穗期 (tasselling stage) 遭受人工浸水後產量及生長

收到稿件 (Received) : 1 Sept. 1994.

接受刊登 (Accepted) : 30 Sept. 1994.

本試驗承行政院農委會 (75農建-2.2-糧-20(8)) 補助經費。

的一些反應，以做為改進栽培之參考。

簡略詞：LEGR = 果穗乾重對果穗直線生長日數之迴歸係數值。

EEFD = 成熟果穗乾重 ÷ LEGR。

材料與方法

以玉米台農 351 號 (*Zea mays*, cv. Tainung 351) 為供試品種，分別於 1984 年秋作 (1984 年 9 月 5 日 ~ 1984 年 12 月 29 日)、1985 年春作 (1985 年 3 月 16 日 ~ 1985 年 7 月 11 日) 在中興大學試驗農場 (台中校內) 進行田間試驗。小區面積 3x4m，行株距 75 × 25cm，每小區種植 4 行，逢機完全區集設計，每一處理重複三次。肥料用量 N:P:K=200:150:100 kg ha⁻¹，其中 N 肥分三等份，分別做為基肥、追肥及穗肥。追肥於播種後一個月施用，P 肥與 K 肥全做基肥施用。栽培管理按照本省玉米栽培方式進行之。玉米植株生長至齊膝期 (1984 年 9 月 29 日，1985 年 4 月 19 日) 和雄花抽穗期 (1984 年 10 月 25 日，1985 年 5 月 16 日) 分別進行人工浸水 3 天或 5 天，浸水深度高出田間土面約 10 cm，處理後立刻排水，並以不浸水處理為對照。

果穗充實期調查果穗直線生長速率 (linear ear growth rate)，及果穗有效充實期 (ear effective filling duration)。收穫時測定植株乾物質累積量及乾物質分配率 (partitioning: 作物直線生長速率 ÷ LEGR)。每一小區逢機採 20 株，估算小區子粒產量。每小區再逢機取 5 個果穗，調查其農藝性狀，並分析子粒內 N (凱氏法)、P (鉬黃法)、K (焰光比色法)、Ca 和 Mg (原子吸光法) 含量 (Yoshida *et al.* 1972)，同時於處理後 2 星期測定植體莖和葉片含 N 量。

中興大學試驗農場土壤為砂頁岩沖積土，pH 在 4.6 左右，在人工浸水之後，pH 分別升至 6.1 和 6.5；土壤氧化還原電位約為 470 mV，人工浸水 3 ~ 5 天後，下降至 211 ~ 150 mV。所有資料均進行變方分析，達顯著水準再依 LSD 法進行顯著性測驗。

結果與討論

1. 浸水對玉米產量、產量成分及子粒內礦物元素濃度的影響

1984 年秋作玉米於齊膝期浸水三天和

Table 1. Effect of waterlogging at knee-high and tasselling stages on yield and its components of corn cv. Tainung 351.

Cropping season	Growth stage	Waterlogging duration (day)	Kernel yield (kg plot ⁻¹)	Kernel weight per ear (g)	Kernel no. per ear	100-kernel weight (g)
Fall crop (1984)	Knee-high	Control	8.21 ^a	171.7 ^a	619 ^a	27.9 ^a
		3	6.96 ^b	145.0 ^b	558 ^b	26.3 ^a
		5	5.60 ^c	116.9 ^c	488 ^c	26.0 ^a
	Tasselling	Control	8.27 ^a	172.3 ^a	640 ^a	27.0 ^a
		3	7.27 ^b	151.4 ^b	609 ^a	24.9 ^a
		5	6.33 ^c	131.9 ^c	506 ^b	26.4 ^a
Spring crop (1985)	Knee-high	Control	8.29 ^a	172.7 ^a	669 ^a	25.9 ^a
		3	5.55 ^b	115.7 ^b	527 ^b	22.2 ^b
		5	5.23 ^b	109.0 ^b	505 ^b	21.8 ^b
	Tasselling	Control	8.51 ^a	177.4 ^a	696 ^a	25.7 ^a
		3	5.84 ^b	121.8 ^b	556 ^b	22.3 ^b
		5	6.24 ^b	180.1 ^b	579 ^b	22.6 ^b

Values followed by the same letter in each column for the same growth stage are not significantly different at 0.05 level LSD.

五天，產量分別減少 15.2 和 31.7% (表 1)，雄花抽穗期浸水則產量減少 12.1 和 23.4%，浸水天數增加，產量減少愈嚴重，而齊膝期浸水，產量的減少較雄花抽穗期嚴重。產量的減少主要是每穗粒數的減少，百粒重的影響較小。

1985 年春作玉米遭受浸水後產量減少的反應如同 1984 年秋作玉米，惟減產的幅度較秋作為大，此是因為春作後期遭受颱風的侵襲，部分植株發生倒伏。春作玉米不但每穗子粒數目減少，百粒重亦有減少的現象。

遭受浸水不僅影響玉米的產量，亦影響玉米子粒的品質。由表 2 分析玉米子粒內 5 種礦物營養元素得知，1984 年秋作齊膝期浸水 3 天就顯著降低子粒內 N 濃度，由對照的 1.77% 降低至 1.39%，其他元素的濃度則未受到浸水處理的明顯影響。雄花抽穗期淹水 3 天以上，除了 N 濃度下降外，Ca 及 Mg 濃度有下降的現象。

然而 1985 年春作齊膝期浸水 3 天，玉米子粒內 N 與 K 明顯的降低，分別由 1.85% 降低至 1.51% 與由 0.59% 降低至 0.48

%。浸水 5 天，子粒內 Ca 與 Mg 濃度亦減少，而子粒內 P 濃度則不受浸水影響。雄花抽穗期浸水，除了 P 和 K 外，其他元素濃度都有下降。由上述結果可知，玉米子粒內 N 濃度在二個期作的浸水處理下都明顯的減少，P 不受影響，Ca 及 Mg 略受影響。Chaudhary 等 (1975) 曾指出浸水可以減少玉米子粒內 N、P 濃度，但 K 濃度沒有變化。氏等認為減少子粒內 N、P 濃度，不僅減少植株對養分的吸收，也減少元素自營養器官轉移至子粒內。

2. 浸水對玉米植株生長的影響

為了瞭解浸水如何影響玉米產量，分別調查植株全乾物重，並於果穗充實期間調查 LEGR、EEFD 及乾物質分配百分率，其結果列於表 3。1984 年無論在齊膝期或雄花抽穗期進行人工浸水，均明顯降低植株乾物重，LEGR 亦明顯的減少。浸水對 EEFD 影響較小，除了齊膝期浸水五天有明顯縮短充實期外，其他時期浸水處理對充實期沒有影響。但是浸水可以提高乾物質分配百分率，較多的乾物質分配至果穗。

Table 2. Effect of waterlogging at knee-high and tasselling stages on nutrient concentration of kernel of corn cv. Tainung 351.

Cropping season	Growth stage	Waterlogging duration (day)	Nutrient concentration (%)				
			N	P	K	Ca	Mg
Fall crop (1984)	Knee-high	Control	1.77 ^a	0.18 ^a	0.43 ^a	0.0062 ^a	0.1062 ^a
		3	1.47 ^b	0.16 ^a	0.32 ^a	0.0058 ^a	0.0969 ^a
		5	1.39 ^b	0.17 ^a	0.33 ^a	0.0058 ^a	0.1009 ^a
	Tasselling	Control	1.65 ^a	0.16 ^a	0.38 ^a	0.0065 ^a	0.1000 ^a
		3	1.56 ^{ab}	0.17 ^a	0.28 ^b	0.0054 ^b	0.0884 ^b
		5	1.51 ^b	0.16 ^a	0.22 ^b	0.0054 ^b	0.0844 ^b
Spring crop (1985)	Knee-high	Control	1.85 ^a	0.18 ^a	0.59 ^a	0.0073 ^a	0.1087 ^a
		3	1.51 ^b	0.18 ^a	0.48 ^b	0.0062 ^{ab}	0.0949 ^{ab}
		5	1.48 ^b	0.15 ^a	0.43 ^b	0.0058 ^b	0.0884 ^b
	Tasselling	Control	1.82 ^a	0.18 ^a	0.52 ^a	0.0065 ^a	0.1012 ^a
		3	1.76 ^a	0.17 ^a	0.53 ^a	0.0051 ^b	0.0858 ^a
		5	1.60 ^b	0.17 ^a	0.53 ^a	0.0058 ^{ab}	0.0946 ^a

Values followed by the same letter in each column for the same growth stage are not significantly different at 0.05 level LSD.

Table 3. Effect of Waterlogging on total dry weight, LEGR and EEFD of corn cv. Tainung 351.

Cropping season	Growth stage	Waterlogging duration (day)	Total dry weight (g plant ⁻¹)	LEGR (g plant ⁻¹ day ⁻¹)	EEFD (day)	Partitioning (%)
Fall crop (1984)	Knee-high	Control	321.3 ^a	3.96 ^a	53.8 ^a	73.4
		3	247.0 ^b	3.20 ^b	52.2 ^a	84.5
		5	202.6 ^c	2.78 ^c	47.1 ^b	97.2
	Tasseling	Control	342.5 ^a	3.78 ^a	60.8 ^a	66.1
		3	257.3 ^b	2.78 ^b	60.4 ^a	84.7
		5	219.4 ^c	2.25 ^c	61.7 ^a	104.2
Spring crop (1985)	Knee-high	Control	392.5 ^a	5.14 ^a	42.7 ^a	86.6
		3	279.6 ^b	3.75 ^b	42.6 ^a	94.4
		5	257.9 ^c	3.81 ^b	37.5 ^b	115.7
	Tasseling	Control	410.5 ^a	4.41 ^a	50.9 ^a	65.5
		3	335.6 ^b	3.72 ^b	49.5 ^a	69.6
		5	285.3 ^c	3.52 ^b	47.0 ^b	113.1

LEGR: Linear ear growth rate; EEFD: Ear effective filling duration. Values followed by the same letter in each column for the same growth stage are not significantly different at 0.05 level LSD.

實際測定乾物質分配至各器官的百分率，發現分配至莖部及穗軸部位減少（資料未列）。1985年春作人工浸水對植株乾物重、LEGR、EEFD及分配百分率類似秋作植株。惟由於期作之間環境條件的差異，春作玉米植株全乾物重高於秋作，果穗生長速率亦高於秋作，但是EEFD卻較秋作縮短10天左右，況且春作乾物質分配百分率亦較秋作為低。雖然兩個期作玉米生長型式略有不同，但對浸水的反應卻為一致，只是反應幅度不同而已。

又在本試驗中無論在春、秋作，在同一期作下，齊膝期人工浸水對玉米傷害要大於雄花抽穗期處理。Singh及Ghildyal(1980)也有同樣的發現，據氏等推測在雄花抽穗期，植株已累積充足的光合產物，供給積儲之用，所以在雄花抽穗期植株受傷害較小，而且植株對浸水適應能力也較大。

浸水引起玉米產量減少，自有其生理背景。Wallace及Zobel(1982)指出作物產量的生理基礎為作物乾物質生產和分配兩個因素。本試驗明顯發現無論春作、秋

作人工浸水均明顯地降低乾物質生產。一些學者包括Luxmoore及Stolzy(1968)、Shear及Leyslon(1976)和Drew(1980)都發現浸水會減少玉米植株乾物重。此外，本試驗亦發現浸水處理可以提高乾物質分配率，浸水日數愈久，分配率提高也愈大，兩個期作的反應都一致。雖然如此，但是仍然無法補償浸水所造成的產量損失。

就玉米果穗乾物重而言，基本上亦受兩個因子控制，一為果穗乾物質累積速率，一為果穗乾物質累積期間，這兩個因子在作物產量決定過程中往往是對立的。本試驗結果明顯顯示浸水可以降低LEGR，但對EEFD影響不大。顯然地在浸水下，光合產物供給受限為造成產量減少的主要原因。本試驗雖然沒有測定光合產物供給能力，但許多報告中均指出浸水下，玉米植株的葉片易發生老化，葉片凋萎，氣孔關閉，光合作用減少(Chang, 1978; Kuo and Chen, 1980; Moon, 1982)相對地減少光合產物的供給。

3. 浸水對玉米莖、葉氮素濃度的影響

由於浸水明顯降低玉米子粒內含N量，

Table 4. Effect of waterlogging at knee-high and tasselling stages on nitrogen concentration of leaf and stem of corn cv. Tainung 351 (two weeks after treatment).

Cropping season	Growth stage	Waterlogging duration (day)	Nitrogen concentration (%)	
			Leaf	Stem
Fall crop (1984)	Knee-high	Control	2.80 ^a	0.91 ^a
		3	2.61 ^a	0.71 ^b
		5	2.21 ^b	0.62 ^b
	Tasselling	Control	2.91 ^a	0.90 ^a
		3	2.83 ^a	0.57 ^b
		5	2.70 ^b	0.48 ^b
Spring crop (1985)	Knee-high	Control	2.85 ^a	1.67 ^a
		3	2.21 ^b	1.55 ^b
		5	2.04 ^b	1.41 ^b
	Tasselling	Control	2.80 ^a	0.91 ^a
		3	2.71 ^a	0.67 ^b
		5	1.91 ^b	0.52 ^b

Values followed by the same letter in each column for the same growth stage are not significantly different at 0.05 level LSD.

收及 N 在植株內的運轉。本試驗於浸水後二星期測定葉片及莖稈內含 N 量，無論是秋作或春作，在齊膝期或雄花抽穗期浸水都能明顯降低 N 的含量，浸水時間愈久，減少量愈大（表 4）。Lal 及 Taylor(1970) 在田間研究浸水對玉米各種礦物元素吸收，發現 N、P、K 吸收減少，Ca、Mg 不受影響。其他學者的報告 (Chaudhary *et al.*, 1975; Drew and Sisworo, 1977; Drew *et al.*, 1980; Singh and Ghildyal, 1980; Trought and Drew, 1980; Wenkert *et al.*, 1981) 均指出浸水會減少植株對 N 的吸收。浸水下 N 吸收減少的原因，一般認為土壤因缺少氧氣，發生脫氮作用，部份為滲漏損失以及根部生長受抑制而減少 N 吸收的能力。Drew 及 Sisworo(1977) 指出浸水抑制 N 吸收作用相當迅速，氏等在大麥幼苗浸水二天，土壤中氧氣濃度降至 2% 以下時，N 吸收立刻明顯降低。同時老葉中 N 再轉移至新葉供給生長，以致老葉發生缺 N 黃化、枯死。本試驗在浸水後，葉片 N 濃度減少，下部葉片亦發生加速老

化，均可說明浸水抑制玉米植株對 N 的吸收與運轉，因而間接影響到子粒內含 N 量。

引用文獻

- 朱德民、蔡秀隆 1992 浸水與玉米生長發育。中華農藝 2:43-56。
- 鄭美淑、朱德民 1988 水害對玉米生長和產量的影響。I、水害對玉米種子發芽的影響。中華農學會報 141:7-18。
- Chang, C. W. 1978. Effect of flooding application on tomato. AVRDC. Shanhu, Tainan.
- Chaudhary, N. T., V. K. Bhatnaga and S. S. Priger. 1975. Corn yield and nutrient uptake as affected by water-table depth and soil submergence. Agron. J. 67:745-749.
- Drew, M. C. and E. T. Sisworo. 1977. Early effects of flooding on nitrogen deficiency and leaf chlorosis in barley. New Phytol. 79:567-571.
- Drew, M. C., A. Chamel, J. Garrec and A. Fourcy. 1980. Cortical air spaces (aerenchyma) in roots of corn subjected to oxygen stress. Plant Physiol. 65:506-511.
- Kuo, C. G. and B. W. Chen. 1980. Physiological responses of tomato culti-

- vars to flooding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:751-755.
- Moon, J. S. 1982. Effect of flooding on physiological and morphological changes of sweet potato and tomato. AVRDC. Shanhua, Tainan.
- Singh, R. and B. P. Ghildyal. 1980. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth, and yield of five corn cultivars. *Agron. J.* 72:737-741.
- Trought, M. C. and M. C. Drew. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedling. I. Shoot and root growth in relation to changes in the concentration of dissolved gases and solutes in the soil solution. *Plant and Soil* 54:77-94.
- Wenkert, W., N. R. Fausey and N. D. Watters. 1981. Flooding responses in *Zea mays* L.. *Plant and Soil* 62:351-366.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock and K. A. Gomez. 1972. Laboratory manual for physiological studies of rice. 2nd ed. IRRI. Los Banos, Philippines.