

土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响

白莉萍<sup>1</sup>, 隋方功<sup>2</sup>, 孙朝晖<sup>2</sup>, 葛体达<sup>2</sup>, 吕银燕<sup>2</sup>, 周广胜<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 2. 莱阳农学院, 山东莱阳 265200)

**摘要:** 未来气候变化可能加剧的干旱化将对我国主要粮食和最重要的饲料作物玉米产生严重影响。为增进玉米对干旱化响应与适应的理解及制定应对策略, 利用大型活动遮雨棚及池栽对玉米进行了全程水分控制试验研究。对不同土壤水分胁迫下的玉米形态表征、生长发育及产量的分析表明, 玉米受干旱胁迫的影响程度因受旱轻重、持续时间以及生育进程的不同而不同, 受旱越重, 持续时间越长, 影响越甚。大喇叭口期前, 玉米株高和生物产量受有限供水或轻度干旱影响不算很大, 但从大喇叭口期后直至抽雄和灌浆期, 轻度干旱胁迫持续久了也会对株高和生物产量产生较大不良影响。严重干旱胁迫则从拔节始至灌浆期均对株高和生物产量影响更为不利。进而引起果穗性状恶化, 穗粒数和百粒重减小, 最终导致经济产量大幅下降。说明玉米生育前期(大喇叭口期前)进行有限的控水可行。而玉米生育前期干旱胁迫将使生育进程明显延缓, 严重干旱胁迫可使抽雄、吐丝期较水分充足滞后 4 d 左右, 并引起成熟期推迟。

**关键词:** 水分胁迫; 玉米; 形态; 产量; 气候变化

Effects of soil water stress on morphological development and yield of maize

BAI Li-Ping<sup>1</sup>, SUI Fang-Gong<sup>2</sup>, SUN Zhao-Hui<sup>2</sup>, GE Ti-Da<sup>2</sup>, LÜ Yin-Yan<sup>2</sup>, ZHOU Guang-Sheng<sup>1\*</sup>

(1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Laiyang Agricultural College, Laiyang, Shandong 265200, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1556~1560.

**Abstract:** Aridification might be enhanced under climatic change in the future, and it might seriously affect maize, one of main food and the most important forage crop in China. Understanding the possible responses of maize to drought is very important for making scientific strategies in order to mitigate negative effects of climatic change. Thus, simulating experiment on the responses of maize (*Zea mays*) to different soil water stress levels was conducted by pond cultivation at neutral loam, meadow soil. The soil water levels were designed as three levels by relative water content (RWC): 75 % (control, full water supply or well-watered), 55 % (moderate water stress) and 35 % (severe water stress) from maize seedling to maturity by controlling irrigation and the mobile rain shelter. The morphological characteristics, growth, development and yield of maize under different soil water levels and different growth stages would be analyzed in this paper. The results indicated that the intensities of the drought stress effects on maize rely on its drought intensity, drought duration and growth stage. The longer and more severe the water stress is, the more serious the effects on crop are. Moderate water stress would not change significantly its plant height and biomass production before the big flare period of maize; however, it would seriously decrease its height and biomass from big flare to tasselling as well as filling periods. Severe water stress would seriously affect its height and biomass production from shooting to filling periods. It would deteriorate its ear characteristics, and decrease significantly ear kernel number and 100-kernel weight as well as economic yield of maize. It implied that limited controlling water (moderate water stress) is feasible before big flare period of maize. The results also showed that drought stress before big flare period of maize would postpone obviously growth process of maize. Especially, severe water stress would delay 4 days or so for tasselling and

基金项目: 国家重大基础研究规划资助项目(G1999043407); 国家自然科学基金资助项目(40231018, 49905005, 40231018)

收稿日期: 2003-06-09; 修订日期: 2003-11-10

作者简介: 白莉萍(1969~), 女, 博士, 主要从事旱农和全球变化对农业影响研究。

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhoughs@public2. bta. net. cn

**Foundation item:** National Key Basic Research Specific Foundation (G1999043407) and National Natural Science Foundation of China (No. 40231018, 49905005, 40231018)

**Received date:** 2003-06-09; **Accepted date:** 2003-11-10

**Biography:** BAI Li-Ping, Ph. D., mainly engaged in arid land farming and effect of global change on agriculture.

silking stage compared to that under control treatment, and resulted in the postponement of its maturation.

**Key words:** water stress; maize; morphology; yield; climate change

文章编号:1000-0933(2004)07-1556-05 中图分类号:Q143 文献标识码:A

玉米是我国主要粮食和最重要的饲料作物。随着我国人口增加,对农产品需求日益增加,而提高玉米产量已成为亟待解决的问题。然而,我国特别是北方地区水资源严重不足,已日渐成为限制农业可持续发展的瓶颈。以气候变暖为标志的全球变化,亦将可能加剧水资源的短缺。玉米是需水较多的作物,弄清玉米对于水分变化的响应与适应机理,是制定应对全球变化对策的关键。尽管已有水分胁迫对玉米生长发育,如雌穗和产量等影响的研究<sup>[1~10]</sup>,但试验多为盆栽,较为限制作物根的生长空间,难以推广到大田作物,且多数试验为某个生育阶段的水分控制或胁迫处理,而在大田条件下,出苗后进行全程水分控制的尚不多见。因此,极有必要研究水分胁迫对北方地区主要作物玉米在不同生育阶段的生长发育动态、形态表征以及产量的影响,为制订适应与减缓干旱化不良影响的对策与措施提供依据。

1 材料和方法

试验采用池栽,面积 4 m<sup>2</sup>,深 1.5~2.0 m,四周用水泥层隔离。池内埋有铝管,用于分层测定土壤含水量(用美国 503DR 型中子仪分层测定)。用大型活动遮雨棚隔绝雨水。土壤类型为潮土,土壤质地为中壤,土壤田间持水量 25%,容重 1.34 g/cm<sup>3</sup>。供试品种为农大 108,播种期 6 月 15 日,收获期 10 月 4 日。种植密度 5.25 株/m<sup>2</sup>,施肥量、施肥时期及田间管理同高产田。播种时每池浇灌相同水量,以保证出苗齐全。三叶期至成熟期进行全程水分控制,并以占田间持水量的百分比计算。

试验设 3 个处理:水分充足(H 土壤相对含水量 75%,为对照);轻度干旱或有限供水(L 土壤水分 55%);严重水分胁迫(D 水分 35%)处理,随机排列,4 次重复。试验按 0~120 cm 土层土壤水分含量进行均衡供水,约 7 d 测定补充 1 次水(抽雄前期),抽雄至灌浆期为玉米耗水高峰期,适时缩短补水日期。生育期内调查不同阶段的株高(每个处理每个重复 15 株)、茎粗(测定其地上第 3 节中部的横位直径,每个处理每个重复 6~10 株)、抽雄和吐丝株数(从抽雄头天起,连续两周观察)、生物产量(测定典型植株地上部鲜重)以及最终的果穗性状和产量,并取其平均值。

2 结果与分析

2.1 土壤水分胁迫对玉米株高的影响

玉米生育期间,株高的变化趋势无不随生育进程的推进而提高,但增加幅度因土壤水分的差异而表现不同(表 1)。玉米株高在各生育阶段均为 H>L>D。玉米大喇叭口期之前,H 和 L 处理间株高差异不算很明显,但从大喇叭口期后,株高便开始拉开距离,并呈显著差异;而 D 和 H 之间,株高从拔节期始起,直至灌浆中期均达到极显著水平。譬如,灌浆中期 D 处理株高仅占 H 的 76.9%。由此说明,玉米生育前期主要的营养生长阶段,株高受轻度水分胁迫的影响不是很大;当玉米营养生长向生殖阶段过渡,直至抽雄、灌浆期,轻度水分胁迫对株高影响不良。而在各生育阶段,玉米株高受严重水分胁迫的影响则更为不利。

表 1 玉米生育期间不同水分处理的株高(cm)\*

Table 1 The plant heights of different water treatments during maize growth and development(cm)*							
处理 Treatment	拔节期 Shooting period	小喇叭口期 Small flare period	大喇叭口期 Big flare period	孕穗期 Booting stage	抽雄初期 Early stage of tasselling	灌浆初期 Early period of filling	灌浆中期 Middle period of filling
H	47.02a,A	54.81a,A	70.37a,A	97.90a,A	130.10a,A	180.87a,A	182.85a,A
L	43.93b,A	52.40b,A	64.03b,B	86.83b,B	107.40b,B	157.00b,B	163.21b,B
D	38.40c,B	47.32c,B	54.37c,C	70.90c,C	92.87c,C	137.90c,C	140.53c,C

\* H 水分充足(对照,土壤相对含水量 75%);L 轻度受旱或有限供水(土壤相对含水量 55%);D 严重水分胁迫(土壤相对含水量 35%);采用 Newman-Keul(q 检验)多重范围检验法,以小写字母标记 0.05 显著水平,大写字母标记 0.01 显著水平;字母相同表示差异不显著,字母不同表示差异显著(以下相同) H represents full water supply or well-watered(control, the soil relative water content is 75%); L represents limit water supply or mild water stress(the soil relative water content is 55%), and D represents severe water stress(the soil relative water content is 35%); The results by Newman-Keul's multiple range test(q test)show that small and big letters respectively represent significant at 0.05 and 0.01 probability levels. Same letter shows not significant difference and different letter shows significant at 0.05 or 0.01 probability levels (the same below)

2.2 土壤水分胁迫对玉米植株茎粗的影响

在抽雄至灌浆中期,恰为营养转向生殖生长,同时进入开花授粉阶段,达到灌浆高峰期。这期间作物体内新陈代谢旺盛,茎秆和叶片等的大量营养物质需向籽粒转移。抽雄初期,H 的茎粗高于 L 和 D 处理,其中 D 的茎粗比 H 的竟细小 7.2 mm 之多(表 2),表明干旱胁迫对作物同化物质积累和储藏极为不利,进而影响营养物质传输与再分配。另外,抽雄初期至灌浆中期,玉

米植株茎粗均在减小,减小幅度因水分条件不同而有所差别。譬如,H 的茎粗降低幅度为 5.4 mm,明显大于 L(降低幅度 3.3 mm)和 D(降低幅度 1.3 mm),D 的茎粗减小最少。说明水分充足条件下,茎秆营养物质向籽粒转移量大,有限供水次之,而重旱胁迫下,茎秆营养物质向籽粒的转移量小且迟缓。由此影响到玉米果穗性状和产量。

2.3 土壤水分胁迫对玉米抽雄、吐丝株数的影响

随生育期的推进,L 和 D 较 H 处理明显表现出抽雄、吐丝期延缓的迹象(表 3)。按照一般玉米田,群体抽雄、吐丝株数达 60%(10.8 株)作为进入该生育期的标志,L 与 H 间差异不大,但 D 的抽雄、吐丝期较水分充足明显滞后了约 4 d,说明玉米与小麦不同(干旱胁迫一般使其生育期提前),土壤水分胁迫对玉米生育期进程有明显的滞后作用。

表 3 土壤水分胁迫对玉米抽雄、吐丝株数的影响

Table 3 Effect of soil water stress on the plant numbers of maize tasseling and silking

处理 Treat ment	株数 Plant number	日期 Date													
		10. Aug	11. Aug	12. Aug	13. Aug	14. Aug	15. Aug	16. Aug	17. Aug	18. Aug	19. Aug	20. Aug	21. Aug	23. Aug	25. Aug
H	抽雄 Tasseling	1.0	1.3	2.0	3.0	4.0	5.7	6.5	8.7	10.5	12.8	14.0	15.8	17.3	18.3
	吐丝 Silking	0.0	0.0	0.5	0.7	1.3	3.7	5.3	5.3	6.8	8.0	10.5	12.5	15.3	18.0
L	抽雄 Tasseling	0.0	0.3	1.0	1.0	2.8	3.0	4.8	6.3	9.5	10.8	12.5	14.8	17.0	18.0
	吐丝 Silking	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3	1.8	2.3	3.0	5.8	6.5	9.3	11.3	15.0	17.5
D	抽雄 Tasseling	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	1.7	1.7	4.7	5.3	5.7	7.3	11.3	14.7
	吐丝 Silking	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	1.3	3.0	3.5	5.5	6.3	8.3	12.0

2.4 土壤水分胁迫对玉米生物产量的影响

水分胁迫明显影响玉米的生物产量。在不同生育阶段,各水分处理的玉米生物产量均为 H>L>D(表 4)。拔节期至大喇叭口期,生物产量在 D 与 H 之间的明显差异就已凸现出来,这期间 D 与 L、L 与 H 之间的差异均未达到极显著水平。但大喇叭口期后,不同水分处理间都呈现极显著差异。由此说明,土壤水分胁迫无论轻重均对玉米的生长发育有所阻碍,重旱在生育前期就已表现,轻旱则在大喇叭口期后才予以呈现,继而导致玉米生物产量大幅降低。

表 4 土壤水分胁迫对玉米生物产量的影响(地上部鲜重,g/株)\*

Table 4 Effect of soil water stress on biomass production of maize(fresh weight over ground, g/plant)

处理 Treatment	拔节期 Shooting period	大喇叭口期 Big flare period	抽雄初期 Early stage of tasselling	灌浆初期 Early period of filling
H	41.17a,A	155.00a,A	410.12a,A	777.67a,A
L	29.00b,AB	99.33b,AB	322.15b,B	601.33b,B
D	21.57b,B	50.00c,B	173.16c,C	244.33c,C

2.5 土壤水分胁迫对玉米果穗性状及经济产量的影响

无论果穗性状特征,还是经济产量,均表现为 D<L<H(表 5)。D 的穗粒数及经济产量分别仅为 H 的 60.2%和 40.8%;且与 H 相比,D 的穗长、穗粗及百粒重分别减少了 5.18 cm、0.84 cm 和 5.09 g。而 L 的损失次之。由此可见,生育期间连续的干旱胁迫,将使果穗建成受到严重影响,亦即果穗体积减小,导致库容量不足,无法贮存较多的干物质,以至于穗粒数和百粒重降低,产量大幅下降。

3 讨论

玉米各生育阶段遭遇干旱胁迫无疑将导致植株矮化,生长发育受阻,果穗性状恶化,以至于生物和经济产量大幅下降等,此结论与前人研究结果相符<sup>[1~12]</sup>。但玉米受干旱胁迫的影响程度,因受旱轻重、持续时间以及生育进程的不同而有所差别,受旱越重,持续时间越长,受之影响就越甚。

表 5 土壤水分胁迫对玉米果穗性状及经济产量的影响

Table 5 Effect of soil water stress on the ear characteristics and economic yield of maize					
处理 Treatment	穗长 Ear length (cm)	穗粗 Ear diameter (cm)	穗粒数 Ear kernel number	百粒重 100-kernel weight(g)	经济产量 Economic yield (g/m <sup>2</sup> )
H	18.33a,A	4.11a,A	339a,A	28.77a,A	665.58a,A
L	16.72b,B	3.88b,A	298b,A	27.98a,A	529.78b,B
D	13.15c,C	3.27c,B	204c,B	23.68b,B	271.74c,C

玉米大喇叭口期之前,经受轻度干旱胁迫,亦即一定的干旱锻炼,对植株株高和生物产量影响不是很明显,但大喇叭口期后,直至抽雄和灌浆期,轻度干旱胁迫持续久了,也会对株高和生物产量产生较大的不良影响。在各生育阶段,严重干旱胁迫则使株高和生物产量均受其影响更为不利。进而使玉米的生长发育严重受阻,并影响到果穗性状变差,穗粒数和百粒重降低,最终导致经济产量大幅下降。

由此说明,在北方尤其华北地区,水资源日益匮乏的情形下,玉米生育前期(大喇叭口期前)进行适时控水可行,但应有限度,即保持土壤相对含水量下限为 55%。尽管如此,在这一阶段亦务必加强田间管理,尽量减少土壤蒸发,可谓夏玉米节水技术的一项重要举措。否则,严重水分不足必然导致植株矮小等一系列负效应,并以此延续到灌浆期。因此,从玉米大口期至灌浆期,最好不要使作物土壤水分缺乏。若在大喇叭口期,玉米仍遭受哪怕是轻度的持续干旱缺水,也必定造成后患,尤其抽雄至灌浆阶段恰为作物体内新陈代谢旺盛时期,一定要满足作物的水分条件,这期间为玉米需水的临界期。

此外,由于玉米生育前期遭受干旱胁迫,致使生育进程明显延缓,严重干旱胁迫可使抽雄、吐丝期较水分充足滞后 4 d 左右。此结论在相关文献中已有所提及<sup>[10,13,14]</sup>,但尚不多见。这与小麦受干旱胁迫影响成熟期提前明显不同。这种生殖生长滞后作用将引起成熟期推迟,加之持续干旱对同化物质积累不利如茎粗减小,同时也影响到营养物质的传输与再分配,茎秆的营养物质向籽粒转移迟缓,可能是导致产量严重下降的主要原因之一。对华北地区而言,小麦与玉米套种是当地主要的种植方式,特别是当前缺乏早熟高产且抗逆性强的玉米良种的情景下,若成熟期推迟势必引起下茬作物冬小麦整地播种时间的仓促,进而可能对农业生产及耕作制度均带来不良影响;另外,北方秋季常遇低温年景,成熟期推迟则意味着籽粒灌浆不足,含水量偏高,而玉米含水量是影响玉米品质的最主要因素之一,尤其加入 WTO 后,随着我国取消对玉米出口的补贴,以及国外廉价优质进口玉米的冲击,将可能使国际市场竞争中本来就处于不利地位的我国玉米品质雪上加霜,由此也将对我国玉米育种提出新的要求。

References:

[1] Guan Y X, Dai J Y, Xu S C, *et al.* Effects of soil Drought during flowering and rewatering on plant compensative growth and yield of maize. *Acta Agronomica Sinica*, 1997,**23** (6): 740~745.

[2] Liang Z S, Kang S Z, Shao M A, *et al.* Growth rate and water consumption of maize plant in soil alternate drying-wetting. *Transactions of the CSAE*, 2000, **16** (5): 38~40.

[3] Wang Y Y, Wang X, Zhao S M, *et al.* Relationship between corn yield and soil water in different growing stages. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, **16** (1): 100~105.

[4] Li S M, Dong X W, Chen J H. Effects of different target water content in soil on photosynthetic property and yield of summer -sowing corn. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1999,**14** (3): 55~59.

[5] Zhang Y P, He W Q, Han J. Effects of water stress on physiologic ecologic properties of corn. *Water Resource & Water Engineering*, 1999,**10** (3): 18~21.

[6] Liu L, He R T. Effects of drought stress on photosynthesis and grain yield of maize. *Journal of Guangxi Agricultural University*, 1995, **14**(4): 263~268.

[7] Song F B, Dai J Y, Huang G K. Injurious effect of water stress at booting stage on the female inflorescence of maize. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1996, **18**(4): 1~6.

[8] Song F B, Dai J Y. Effects of drought stress on growth and development of female inflorescence and yield of maize. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2000,**22**(1): 18~22.

[9] Sun J S, Xiao J F, Duan A W, *et al.* The effect of water consuming law and water stress on growth, development and yield of summer maize. *Journal of Maize Sciences*, 1999,**7**(2): 45~48.

[10] TAO 万方数据 W, Zhang H Y, *et al.* Effects of soil water stress on the regular degree of plant properties of summer corn. *Acta Botanica Boreali.-occidentalia Sinica*, 2000, **20** (5):812~817.

- [11] Godfrey L D, Holtzer T O, Norman J M. European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) tunneling and drought stress: effects on corn yield. *Journal of Economic Entomology*, 1991, **84** (6): 1850~1860.
- [12] Sobrado M A. Drought responses of tropical corn 1. Leaf area and yield components in the field. *Maydica*. 1990, **35** (3): 221~226.
- [13] Ribaut J M, Hoisington D A, Deutsch J A, *et al.* Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize 1. Flowering parameters and the anthesis-silking interval. *Theoretical and Applied Genetics*, 1996, **92** (7): 905~914.
- [14] Weerathaworn P, Thiraporn R, Soldati A, *et al.* Yield and agronomic characters of tropical maize (*Zea mays* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1992, **168**(5): 326~336.

#### 参考文献:

- [1] 关义新,戴俊英,徐世昌,等. 玉米花旗干旱及复水对植株补偿生长及产量的影响. 作物学报,1997,**23**(6): 740~745.
- [2] 梁宗锁,康绍忠,邵明安,等. 土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响. 农业工程学报, 2000, **16**(5): 38~40.
- [3] 王延宇,王鑫,赵淑梅,等. 玉米各生育期土壤水分与产量关系的研究. 干旱地区农业研究,1998, **16**(1): 100~105.
- [4] 李素美,东先旺,陈建华. 不同土壤目标含水量对夏玉米光合性能及产量的影响. 华北农学报, 1999,**14**(3): 55~59.
- [5] 张英普,何武权,韩健. 水分胁迫对玉米生理生态特性的影响. 西北水资源与水工程,1999,**10**(3): 18~21.
- [6] 刘灵,何若天. 干旱胁迫对玉米光合和产量的影响. 广西农业大学学报,1995,**14**(4): 263~268.
- [7] 宋风斌,戴俊英,黄国坤. 水分胁迫对玉米雌穗的伤害作用. 吉林农业大学学报,1996,**18**(4): 1~6.
- [8] 宋风斌,戴俊英. 水分胁迫对玉米雌穗生长发育和产量的影响. 吉林农业大学学报,2000,**22**(1): 18~22.
- [9] 孙景生,肖俊夫,段爱旺,等. 夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响. 玉米科学,1999,**7**(2): 45~48.
- [10] 陶世蓉,东先旺,张海燕,等. 土壤水分胁迫对夏玉米植株性状整齐度的影响. 西北植物学报,2000,**20**(5): 812~817.

\*\*\*\*\*

## 欢迎订阅 2005 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物育种栽培研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的全国性学术刊物。主要刊登农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、生态、种质资源、谷物化学、贮藏加工以及与农作物有关的生物技术、生物数学、生物物理、农业气象等领域以第一手资料撰写的学术论文、研究报告、简报以及专题综述、评述等。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》为月刊,2005 年 136 页/期,定价:25 元/册,全年 300 元。可通过全国各地邮局订阅,刊号:ISSN 0496-3490,CN11-1809/S,邮发代号:82-336。也可向编辑部直接订购。

编辑部地址:北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农科院作物所《作物学报》编辑部(邮编:100081)。联系电话:010-68918548,传真:010-68978616。

银行汇款:交通银行北京分行农科院分理处,户名:中国作物学会,帐号:060435018001069607

E-mail:xbzw@chinajournal.net.cn      zwx301@mail.caas.net.cn