

开花期干旱胁迫对不同基因型玉米 生理特性和产量的影响

彭云玲,赵小强,任续伟,李健英

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室/甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:以耐旱性不同的 3 份玉米自交系为材料,在花期进行干旱胁迫处理,研究了耐旱系廊黄和昌 7-2 与早敏感系 TS141 的花期耐旱性差异。结果表明,花期干旱胁迫后,3 份玉米自交系的生长受到抑制,地上部和地下部鲜重以及株高下降,枯叶率升高,相对含水量下降,相对电导率升高,渗透调节剂脯氨酸、可溶性糖含量、保护酶 SOD 和 POD 活性增加。但是各个指标在不同自交系内变化的幅度不同。与早敏感系 TS141 相比,耐旱系廊黄和昌 7-2 的生长受抑制程度较小;叶片相对含水量下降、相对电导率升高幅度较小;脯氨酸和可溶性糖含量、保护酶 SOD 和 POD 活性升高的幅度较大。干旱胁迫后,3 份玉米自交系的开花时间间隔(ASI)延长,雄穗一级分枝数减少,产量降低。与早敏感系 TS141 相比,耐旱系廊黄和昌 7-2 的 ASI 延长时间较短,雄穗一级分枝数减少的幅度较小,产量下降幅度较小,特别是单穗重和穗粒数表现更为明显。

关键词: 干旱胁迫;玉米自交系;开花期;生理生化指标;产量

中图分类号: S513.034 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)03-0009-06

Genotypic differences in response of physiological characteristics and grain yield of maize inbred lines to drought stress at flowering stage

PENG Yun-ling, ZHAO Xiao-qiang, REN Xu-wei, LI Jian-ying

(Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science; Gansu Key Lab of Crop Improvement and Germplasm Enhancement;
College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Flowering stage is a critical period which influences the production of maize, and identifying traits related to drought tolerance of maize at flowering stage is of significance for drought-resistant breeding and germplasm improvement. In this study, we analyzed differences between drought-tolerant inbred lines (Langhuang and Chang7-2) and a drought-sensitive inbred line (TS141) of maize at flowering stage. The results are as follows. Drought inhibited maize growth, with leaf relative water content decreased whereas senesced leaf rate, relative conductivity rate, proline and soluble sugar content, and antioxidative activities increased. Compared with drought-sensitive line TS141, drought-tolerant lines Langhuang and Chang7-2 was slightly inhibited, with larger contents of leaf relative water, proline and soluble sugar, higher activities of antioxidative enzymes like SOD and POD, and lower relative electric conductivity. After drought stress, anthesis-silking-interval (ASI) of three inbred lines was prolonged, and tassel branch level and yield was reduced. Langhuang and Chang7-2 had shorter ASI extension and less reduction in tassel branch level and yield, especially weight per ear and kernel number per ear.

Keywords: drought stress; maize inbred lines; flowering stage; physiological and biochemical parameters; yield

玉米是我国的第二大粮食作物,每年的种植面积在 2400 万 hm^2 ,其中 50%以上种植在东北、西北、西南等旱地。干旱是导致我国玉米产量波动的主要因素,一般可使玉米减产 20% ~ 30%,严重时达 50% 以上^[1]。玉米的耐旱性是指玉米对干旱的适应性和抵抗能力,即在土壤干旱或大气干燥条件下,玉米所具有受伤害最轻、产量下降最少的能力,受多个基因控制的强遗传性性状^[2]。耐旱育种是提高玉米

收稿日期:2013-10-24
基金项目:国家自然科学基金项目(31260330,31301333);教育部博士点基金(20126202120001);甘肃省科技支撑计划项目(1011NKCA076);甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放课题(GSCS-2010-10)
作者简介:彭云玲(1978—),女,河南南阳人,副教授,博士,研究方向为玉米抗逆生理及分子生物学研究。E-mail: pengyunlingpyl@163.com。

品种的耐旱性、减少干旱带来损失的有效途径^[2]。

玉米对干旱的反应取决于新陈代谢能力、形态结构和生育时期^[3]。苗期对水分胁迫的抵抗力较强,适度干旱处理可起到蹲苗作用;拔节期干旱使根系和植株生长发育受阻,影响形态建成;开花期对水分胁迫反应最敏感,使抽丝延迟,花粉活力降低,产量严重下降^[4-6]。抽雄到吐丝时间间隔(ASI)在干旱条件下具有较高的遗传力且与产量高度相关,被认为是进行耐旱性选择时较理想的性状之一^[7]。目前干旱胁迫对玉米苗期生长的影响已有许多报道^[8-10],关于玉米开花期耐旱性的报道多以杂交种为材料在温室内研究其耐旱机制^[11-14],而以耐旱性不同自交系为材料在大田条件下进行耐旱生理及产量的研究鲜见报道。因此,本试验以耐旱性不同的 3 份玉米自交系作为材料,在花期进行干旱胁迫,研究不同玉米自交系开花期耐旱性的差异,以期为玉米耐旱机理研究和耐旱育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和种植方法

本试验于 2012 年在甘肃农业大学试验田进行。供试材料为耐旱玉米自交系廊黄、昌 7-2 和早敏感玉米自交系 TS141^[15]。试验地土壤肥力中等,前茬为玉米。播前整地施尿素 75 kg·hm⁻²。2012 年 4 月 24 日播种,人工除草 2 次,9 月 26 日收获。播种前先将试验田划分成两个小区,再将每个小区划分成三个二级小区,每二级小区内随机排列廊黄、昌 7-2 和 TS141 玉米品种,每个二级小区面积 3 m²,行距 50 cm,株距 20 cm,每行 10 株。

1.2 干旱胁迫处理

试验分干旱胁迫和正常浇水两种处理,正常浇水为对照。干旱胁迫参照杨杰等^[10]的处理方法与标准,并略作修改进行。干旱胁迫区开花前 10 d 开

始停止浇水,18 d 后恢复灌水;对照区每隔 7~10 d 灌水一次,直到成熟。在干旱胁迫处理 13 d 后以穗位叶为试材,进行生理生化指标测定。

1.3 指标测定

1.3.1 形态指标测定 干旱胁迫处理复水后第 3 天破坏性取样,每处理选取 10 株,用直尺测定株高,并把植株分为地上部和地下部,分别称鲜重;同时,计算各自交系的枯叶率。

1.3.2 生理指标测定 参照张宪政等^[16]的方法测定相对含水量、相对电导率、脯氨酸、可溶性糖含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性。

1.3.3 花期性状测定 每处理选取具有代表性的各自交系植株 10 株,记录下抽雄时间、吐丝时间,然后计算抽雄到吐丝时间间隔(ASI)。以抽雄第 4 天为标准,测定雄穗一级分枝数。

1.3.4 产量性状测定 每处理选取具有代表性的玉米各自交系 10 株,收获风干进行室内考种,分别测定各自交系的单穗重、穗轴重、穗粒数、百粒重。

1.4 数据处理

所有实验数据使用统计软件 SPSS 16.0 进行处理。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对不同耐旱性玉米自交系生长的影响

由表 1 可知,正常浇水时,3 个自交系的地上部鲜重、地下部鲜重都较大,随着干旱胁迫加重,3 个自交系的地上部鲜重、地下部鲜重降低,水旱差值在不同自交系间差异显著。总体来看,耐旱系廊黄和昌 7-2 下降的幅度小,早敏感系 TS141 下降的幅度大。干旱胁迫时,耐旱系廊黄和昌 7-2 的地上部鲜重和地下部鲜重分别下降了 35.0%、17.9% 和 33.2%、3.40%,而早敏感系 TS141 分别是 41.56%、39.61%。

表 1 干旱胁迫对不同玉米自交系生长指标的影响

Table 1 Effect of drought stress on growth parameters of different maize inbred lines

指标 Parameters	玉米自交系 Maize inbred line	不同水分处理 Different water treatment		水旱差值 Difference between control and drought
		正常浇水 Controll	干旱胁迫 Drought stress	
地上部鲜重 Fresh weight of the aboveground	廊黄	220.36 ± 11.87A	143.22 ± 2.68B	77.14 ± 1.12B
	昌 7-2	208.20 ± 6.80B	139.03 ± 14.39AB	69.17 ± 5.93B
	TS141	229.87 ± 1.24A	134.34 ± 9.68A	95.53 ± 5.53A
地下部鲜重 Fresh weight of the under ground	廊黄	61.23 ± 4.96B	50.28 ± 1.24B	10.95 ± 1.70B
	昌 7-2	50.82 ± 4.10B	49.09 ± 1.24B	1.73 ± 0.64C
	TS141	116.93 ± 3.09A	70.61 ± 1.80A	46.32 ± 1.97A

注:同列测定值间不同大写或小写字母为 1% 或 5% 水平差异显著。下同。

Note: Different capital letters or lowercase letters in the same column indicated significant difference at 1% or 5% level. The same as below.

2.2 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系株高和枯叶率的影响

由表 2 可知,干旱胁迫后,3 个玉米自交系的株高呈下降趋势,而枯叶率呈上升趋势,各自交系间水旱差值差异显著。与耐旱系廊黄和昌 7-2 相比,早

敏感系 TS141 变化更加明显。干旱胁迫后,TS141 的株高仅为对照的 81.15%,廊黄和昌 7-2 分别是对照的 91.12%和 92.37%;TS141 的枯叶率是廊黄的 1.81 倍,是昌 7-2 的 1.57 倍。

表 2 干旱胁迫对不同玉米自交系株高和枯叶率的影响
Table 2 Effect of drought stress on plant height and senesced leaf rate in different maize inbred lines

玉米自交系 Maize inbred line	株高 Plant height/cm		水旱差值 Difference between control and drought	枯叶率 Withered leave rate/%		水旱差值 Difference between control and drought
	正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress		正常浇水 Normal	干旱胁迫 Drought stress	
廊黄 Langhuang	83.55 ± 5.38B	76.13 ± 4.02C	9.42 ± 1.19B	15.63 ± 0.91B	21.77 ± 2.87B	- 6.14 ± 0.16A
昌 7-2 Chang7-2	87.18 ± 3.43B	80.53 ± 1.67B	6.64 ± 0.22C	16.42 ± 2.57B	25.06 ± 1.33B	- 9.64 ± 0.55B
TS141	102.28 ± 4.17A	83.00 ± 1.68A	19.28 ± 0.73A	18.83 ± 2.88A	39.36 ± 2.63A	- 20.53 ± 0.87C

2.3 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系相对电导率和相对含水量的影响

由表 3 可知,在正常浇水条件下,3 个玉米自交系的相对电导率较低;干旱胁迫处理后呈上升趋势,水旱差值差异显著。与耐旱系廊黄和昌 7-2 相比,干旱胁迫后,早敏感系 TS141 升高的幅度最明显,相

对电导率增加 36.04%,而廊黄和昌 7-2 分别增加 23.17%和 18.05%。在正常供水时,3 个玉米自交系叶片的相对含水量均保持在较高水平;但干旱胁迫后,廊黄、昌 7-2 和 TS141 的相对含水量分别下降了 14.35%、14.17%和 31.10%,早敏感系 TS141 下降的幅度大于耐旱系廊黄和昌 7-2。

表 3 干旱胁迫对不同玉米自交系相对电导率和相对含水量的影响
Table 3 Effect of drought stress on relative conductivity rate and relative water content of leaf for different maize inbred lines

玉米自交系 Maize inbred line	相对电导率/% Relative electric conductivity		水旱差值 Difference between control and drought	相对含水量/% Relative water content		水旱差值 Difference between control and drought
	正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress		正常浇水 Normal	干旱胁迫 Drought stress	
廊黄 Langhuang	46.83 ± 1.38B	57.68 ± 1.45C	- 10.75 ± 0.41A	93.60 ± 0.80A	80.17 ± 1.10A	13.43 ± 0.83B
昌 7-2 Chang7-2	54.28 ± 1.85A	64.08 ± 2.19B	- 9.80 ± 0.52A	92.61 ± 1.13A	79.49 ± 1.25A	13.14 ± 0.20B
TS141	56.13 ± 1.54A	76.36 ± 0.95A	- 20.23 ± 1.48B	88.20 ± 3.82B	60.77 ± 0.92B	27.43 ± 1.30A

2.4 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系脯氨酸和可溶性糖含量的影响

由表 4 可知,正常浇水条件下,3 个玉米自交系叶片的脯氨酸含量较低。干旱胁迫后,3 个自交系叶片中的脯氨酸含量急剧升高,但升高的幅度不同,自交系间水旱差值差异显著。廊黄、昌 7-2 和

TS141 中脯氨酸含量分别是对照的 4.07、2.85 和 1.82 倍。干旱胁迫后,3 个玉米自交系中的可溶性糖含量也趋于增加。但是早敏感系 TS141 增加的幅度较小,仅为对照的 2.40 倍,而耐旱系廊黄和昌 7-2 增加幅度较大,分别是对照的 4.03 和 3.28 倍。

表 4 干旱胁迫对不同玉米自交系脯氨酸和可溶性糖含量的影响
Table 4 Effects of drought stress on proline and total soluble sugar contents of leaf for different maize inbred lines

玉米自交系 Maize inbred line	脯氨酸含量/(μg·g ⁻¹) Proline content		水旱差值 Difference between control and drought	可溶性糖含量/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar content		水旱差值 Difference between control and drought
	正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress		正常浇水 Normal	干旱胁迫 Drought stress	
廊黄 Langhuang	21.14 ± 0.25A	86.13 ± 0.30A	- 64.99 ± 4.33A	20.10 ± 0.22C	81.01 ± 0.64A	- 60.91 ± 1.01C
昌 7-2 Chang7-2	21.25 ± 0.87A	60.49 ± 0.95B	- 39.24 ± 0.46B	22.23 ± 0.32B	72.94 ± 0.090B	- 50.71 ± 0.74B
TS141	17.48 ± 0.90B	31.83 ± 0.22C	- 14.35 ± 0.88C	26.20 ± 0.34A	63.00 ± 0.11C	- 36.80 ± 0.94A

2.5 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系保护酶活性的影响

由表 5 可知, 正常浇水条件下, 3 个玉米自交系中的保护酶活性较低, 但是有不同程度的差异, 这可能是品种的差异引起的。干旱胁迫后, 3 个玉米自交系保护酶的活性升高, 但是不同自交系上升的幅度不同, 水旱值差异显著。总体来看, 耐旱系廊黄和昌 7-2 上升的幅度较大, 而早敏感系 TS141 上升的幅度较小。与对照相比, 干旱胁迫后, 廊黄和昌 7-

2 的 SOD 活性分别是对照的 3.84 和 3.54 倍, 早敏感系 TS141 是对照的 3.23 倍。干旱胁迫后, 3 个玉米自交系的 POD 酶活性也呈上升趋势, 但是上升的幅度也不同。与对照相比, 耐旱系廊黄和昌 7-2 的 POD 活性分别上升 12.32% 和 20.86%, 而早敏感系 TS141 上升 9.49%。说明在干旱胁迫下, 耐旱系廊黄和昌 7-2 保持了较高的抗氧化酶活性, 具有较强的活性氧清除能力。

表 5 干旱胁迫对不同玉米自交系保护酶活性的影响

Table 5 Effects of drought stress on protective enzyme activities of leaf for different maize inbred lines

玉米自交系 Maize inbred line	SOD 活性 SOD activity/(U·g ⁻¹)		水旱差值 Difference between control and drought	POD 活性 POD activity/(U·g ⁻¹)		水旱差值 Difference between control and drought
	正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress		正常浇水 Normal	干旱胁迫 Drought stress	
廊黄 Langhuang	197.27 ± 7.52A	758.18 ± 3.28A	- 560.91 ± 1.81C	121.75 ± 1.69A	136.75 ± 2.07B	- 15.00 ± 0.12B
昌 7-2 Chang7-2	208.21 ± 1.85A	737.37 ± 6.03B	- 529.14 ± 1.47B	122.06 ± 1.41A	147.52 ± 2.06A	- 25.46 ± 1.14C
TS141	167.28 ± 6.68B	540.15 ± 6.21C	- 372.87 ± 2.11A	113.75 ± 1.41B	124.54 ± 2.54C	- 10.79 ± 0.99A

2.6 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系花期性状的影响

花期缺水将会造成雄穗花粉量减少, 雌穗小花分化受阻、退化, 生长发育减慢, 对后期产量影响极大。从表 6 可以看出, 正常浇水条件下, 3 个玉米自交系抽雄到吐丝时间间隔都较短。花期干旱胁迫后, 3 个自交系抽雄到吐丝时间间隔均显著延长, 不

同自交系间水旱差值差异显著; 耐旱系廊黄和昌 7-2 抽雄到吐丝时间间隔平均延长了 1.3 d 和 1.1 d, 早敏感系 TS141 延长了平均 6.7 d。3 个玉米自交系的雄穗一级分枝数在干旱胁迫后均呈减少的趋势; 干旱胁迫后, 与耐旱系廊黄和昌 7-2 相比, 早敏感系 TS141 的雄穗一级分枝数减少幅度较大。

表 6 干旱胁迫对不同玉米自交系花期性状的影响

Table 6 Effects of drought stress on flowering traits in different maize inbred lines

玉米自交系 Maize inbred line	抽雄到吐丝时间间隔/h Anthesis - silking interval		水旱差值 Difference between control and drought	雄穗一级分枝数/个 Tassel branch number		水旱差值 Difference between control and drought
	正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress		正常浇水 Normal	干旱胁迫 Drought stress	
廊黄 Langhuang	4.9 ± 0.3C	6.2 ± 0.6B	- 1.3 ± 0.16A	21.40 ± 1.96B	19.10 ± 1.37A	2.30 ± 0.34B
昌 7-2 Chang7-2	4.4 ± 0.5B	6.5 ± 0.5B	- 2.1 ± 0.04B	22.30 ± 1.06A	20.20 ± 1.75A	2.10 ± 0.11B
TS141	4.3 ± 0.5A	11.0 ± 0.7A	- 6.7 ± 0.12C	21.20 ± 1.99B	16.60 ± 1.51B	4.60 ± 0.13A

2.7 干旱胁迫对耐旱性不同的玉米自交系产量的影响

由表 7 可知, 花期干旱胁迫后, 3 个玉米自交系的单穗重、穗轴重、穗粒数和百粒重均下降, 但是早敏感系 TS141 下降幅度大于耐旱系廊黄和昌 7-2。与对照相比, 早敏感系 TS141 的单穗重、穗轴重和穗粒数分别下降了 56.37%、53.52%、68.09%, 而耐旱系廊黄和昌 7-2 分别只有 23.51%、20.17%、25.85% 和 17.88%、36.38%、11.25%。从产量构成来看, 干旱胁迫后, 百粒重、单穗重的下降幅度均小于穗粒数的下降幅度, 说明在干旱胁迫下, 穗粒数的

下降是导致最终产量降低的主要原因, 而百粒重和单穗重是影响产量的间接原因。

3 结论与讨论

3.1 玉米自交系耐旱性鉴定指标

开花期是玉米生长发育和产量形成的关键时期, 对该时期干旱胁迫后各种生理生化指标的测定可以为玉米耐旱性鉴定提供一定的理论基础^[13]。本研究结果表明, 干旱胁迫后, 相对电导率、相对含水量、可溶性糖含量、脯氨酸含量、SOD 和 POD 活性均可作为玉米耐旱性鉴定的参考指标。

表 7 干旱胁迫对不同玉米自交系产量指标的影响

Table 7 Effects of drought stress on yield parameters in different maize inbred lines

产量因素 Yield factors	玉米自交系 Maize inbred line	不同水分处理 Different water treatments		水旱差值 Difference between control and drought
		正常浇水 Control	干旱胁迫 Drought stress	
单穗重/g Weight per ear	廊黄 Langhuang	47.52 ± 5.10C	36.35 ± 2.11B	11.17 ± 5.96B
	昌 7-2 Chang7-2	55.04 ± 2.42B	45.20 ± 2.02A	9.84 ± 2.54B
	TS141	81.55 ± 2.31A	35.58 ± 1.16B	45.97 ± 1.33A
穗轴重/g Cob weight	廊黄 Langhuang	5.80 ± 0.39B	4.63 ± 0.19B	1.17 ± 0.47B
	昌 7-2 Chang7-2	6.68 ± 1.03B	4.25 ± 0.25B	2.43 ± 0.78B
	TS141	27.58 ± 0.52A	12.82 ± 0.58A	14.77 ± 0.27A
穗粒数/个 Kernel number per ear	廊黄 Langhuang	285.00 ± 11.79B	211.33 ± 8.62B	18.33 ± 3.22B
	昌 7-2 Chang7-2	266.67 ± 4.04B	236.67 ± 6.03A	30.00 ± 3.61B
	TS141	406.33 ± 10.41A	129.67 ± 6.03C	276.67 ± 15.04A
百粒重/g Weight of 100 kernels	廊黄 Langhuang	16.28 ± 0.16C	14.64 ± 0.37B	3.59 ± 0.42B
	昌 7-2 Chang7-2	18.24 ± 0.70B	12.69 ± 0.27C	5.54 ± 0.83A
	TS141	20.10 ± 0.12A	19.02 ± 0.13A	1.09 ± 0.16C

细胞膜透性是反映质膜破坏程度的重要指标。玉米叶片的相对含水量越高,则耐旱性越强;反之则耐旱性越弱;叶片的相对电导率越小耐旱性越强,反之耐旱性弱^[15]。本研究中,干旱胁迫条件下,耐旱系廊黄和昌 7-2 的叶片相对含水量较高,相对电导率增幅较小;早敏感系 TS141 的叶片相对含水量较低,相对电导率增幅较大,说明耐旱系品种能更好地保护叶片细胞免于受到伤害,早敏感系细胞膜被破坏的程度最大,有较弱的耐旱性。脯氨酸和可溶性糖参与植物的渗透调节,使植株易于维持正常的膨压,以减轻干旱胁迫造成的危害。正常条件下,含量很低;干旱胁迫时,可比原始量增加几十倍到几百倍^[17-19]。本研究中,干旱胁迫后,3 个玉米自交系的脯氨酸和可溶性糖含量上升。与早敏感自交系 TS141 相比,廊黄和昌 7-2 上升幅度较大,有较高的脯氨酸和可溶性糖含量,表明耐旱系廊黄和昌 7-2 有较快适应干旱胁迫的调节能力。SOD、CAT 和 POD 是生物体内的保护性酶,在清除生物自由基上担负着重要功能。季孔庶等^[20]研究发现不同基因型植物的 SOD、CAT 和 POD 活力有一定差别,耐旱性强的基因型,在干旱胁迫后活性较高,能有效地清除活性氧,阻抑膜脂过氧化。张继澍等^[21]研究表明耐旱植物在适应的条件下 SOD 活性通常增高,表明清除活性氧的能力增强,CAT 和 POD 活性的变化表现出与 SOD 相同的趋势。本研究中,廊黄和昌 7-2 表现出较强的耐旱性与它们在干旱条件下能维持较高的 SOD、POD 活性有关,这与前人的结果相一致^[22-25]。

3.2 花期性状与玉米耐旱性的关系

Duplessis 等^[26]最早报道干旱胁迫能引起 ASI 延长。胡彦民等^[27]研究表明,玉米杂交种的散粉期与吐丝期、吐丝周期、花丝活力呈极显著正相关;同时吐丝期与吐丝周期、花丝活力以及吐丝周期和花丝活力也呈极显著正相关;而散粉周期与散粉期和吐丝期呈负相关关系。张凤路等^[28]指出玉米开花期植株出现水分亏缺导致花丝伸长受到强烈抑制,雌穗吐丝延迟,花期严重不遇,受精结实率降低,穗粒数和有效穗数减少,籽粒库容量减小,限制了籽粒灌浆和产量形成。刘成等^[29]研究也发现,在开花期受到水分胁迫后,玉米雌穗生长减缓,吐丝期延迟,散粉到吐丝时间间隔增大。本研究中,花期干旱胁迫下,3 个玉米自交系抽雄到吐丝时间间隔期延长,但是耐旱性强的自交系廊黄和昌 7-2 的抽雄到吐丝时间间隔期明显短于早敏感自交系 TS141。干旱胁迫后,3 个玉米自交系的雄穗一级分枝数减少,花粉量减少,严重制约了玉米产量的提高,但是耐旱自交系廊黄和昌 7-2 减少的幅度小于早敏感自交系 TS141。所以干旱胁迫时对产量进行间接选择时,抽雄到吐丝时间间隔期、雄穗一级分枝数是可供利用的重要的耐旱指示性状。

3.3 干旱胁迫下玉米自交系产量因素分析

郑根昌等^[30]报道在干旱胁迫下,穗粒数的下降是影响产量的主要因素,百粒重是影响产量的间接因素。本研究同样表明在花期干旱胁迫对玉米后期产量具有重要的影响。花期干旱胁迫后,3 个玉米自交系单穗重、穗轴重、穗粒数、百粒重均下降,而穗

粒数的下降是导致最终产量降低的主要原因,而百粒重和单穗重是影响产量的间接原因。

植株外部形态表现、生理生化指标的变化和大田产量最终决定玉米品种的耐旱性。本研究中耐旱性不同的玉米自交系花期干旱胁迫后,引起各自交系最终产量的下降,这可能与干旱胁迫下各自交系膜系统的破坏、营养生长的抑制、渗透调节物质和保护性酶的积累、雌雄穗发育不良等因素有关。但是耐旱性不同的自交系表现不同,耐旱系廊黄和昌-2的产量高于旱敏感系 TS141,特别是单穗重和穗粒数表现明显,这可能与干旱胁迫条件下耐旱系各个指标的变化幅度较小有关。

参 考 文 献:

[1] 李运朝,王元东,崔彦宏,等.玉米耐旱性鉴定研究进展[J].玉米科学,2004,12(1):63-68.

[2] 黎 裕,王天宇,刘 成,等.玉米耐旱品种的筛选指标研究[J].植物遗传资源学报,2004,5(3):210-215.

[3] Ribaut J M, Hoisington D A, Deutsch J A, et al. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. I. Flowering parameters and anthesis-silking interval[J]. Theoretical and Applied Genetics,1996,92:905-914.

[4] 宋凤斌,戴俊英,张 烈,等.水分胁迫对玉米花粉活力和花丝受精能力的影响[J].作物学报,1998,24(3):368-372.

[5] 孙宝成,刘 成,王天宇,等.转基因玉米株高、ASI和穗部性状与耐旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2012,49(11):1961-1965.

[6] 张凤路, Kirubi D. 玉米雌雄穗开花间隔与产量关系研究[J].作物学报,2002,28(1):76-78.

[7] 赵丽英,邓西平,山 仑.渗透胁迫对玉米幼苗水分状况及生长的影响[J].华北农学报,2005,33(1):17-19.

[8] 贾俊香,贾炜珑.转基因玉米苗期耐旱性生理生化指标及综合评价的研究[J].山西农业大学学报, 2005,25(4):331-333.

[9] 宋 碧,曾永德,左乾勇,等.不同玉米品种萌芽期耐旱性研究[J].贵州农业科学,2005,33(1):17-19.

[10] 杨 杰,雷志刚,梁晓玲,等.新疆玉米新自交系耐旱性鉴定与评价[J].西北农业学报,2011,20(12):66-71.

[11] 袁佐清,张建勇.水分胁迫对玉米大喇叭口期生长的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):235-237,242.

[12] 王 静,杨德光,马凤鸣,等.水分胁迫对玉米叶片可溶性糖和脯氨酸含量的影响[J].玉米科学,2007,15(6):57-59.

[13] 马秀芳,沈秀瑛,杨德光,等.不同耐旱性玉米品种对干旱的生

理生化反应[J].沈阳农业大学学报,2002,33(3):167-170.

[14] 宋凤斌,戴俊英.干旱胁迫对玉米雌穗生长发育和产量的影响[J].吉林农业大学学报,2000,22(1):18-22.

[15] 彭云玲,王 涛,李 燕,等.干旱胁迫对玉米耐旱自交系与旱敏感自交系苗期生理特性的影响[J].草业科学,2012,29(9):1401-1406.

[16] 张宪政,陈凤玉,王荣富.植物生理学试验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.

[17] Bowler C, Montagu M V, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Review Plant Physiol and Plant Molecular Biology,1992,43:83-116.

[18] 刘学师,任小林,苗卫东,等.游离脯氨酸与植物耐旱性[J].河南职业技术学院学报,2002,30(3):35.

[19] 王宝山.水分胁迫对春小麦幼苗细胞透性膜脂过氧化及保护酶系统的影响[C]//中国植物生理学会秘书处.中国植物生理学会第四次全国会议论文摘要汇编,上海:中国植物生理学会,1986.

[20] 季孔庶,孙志勇,方 彦.林木耐旱性研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(16):123-128.

[21] 张继澍.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2006:422-425.

[22] Liu F, Stüttgen H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus spp.*) in response to drought stress[J]. Scientia Horticulturae,2004,102:15-27.

[23] 徐炳成,山 仑.苜蓿和沙打旺苗期需水及其根冠比[J].草地学报,2003,11(1):78-82.

[24] Li Hongsheng, Li Fengmin, Xu Hao. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerant spring wheat[J]. Agriculture Water Management, 2004,64:41-48.

[25] Lucero D W, Grieu P, Guckert A. Effects of deficit and plant interaction on morphological growth parameters and yield of white clover and ryegrass mixtures[J]. European Journal of Agronomy, 1999,11:167-177.

[26] Duplessis D P, Dijkhuis F J. The influence of time lag between pollen-shedding and silking on the field of maize [J]. South African Journal of Agricultural Science,1967,10:667-674.

[27] 胡彦民,吴 欣,李翠香,等.玉米制种花期相关性状的 QTL 分析[J].南京农业大学学报,2008,3(1):11-16.

[28] 张凤路, Bolanos J. 玉米的雌雄穗开花间隔研究进展[J].河北农业大学学报,2002,(S1):24-25.

[29] 刘 成,申海兵,石云素,等.水分胁迫后玉米雌雄穗开花间隔时间(ASI)与产量和耐旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2008,45(4):609-612.

[30] 郑根昌,邢彭龄,武日莲.玉米抽雄期干旱胁迫对产量构成因素的影响[J].中国农学通报,2001,17(5):24-26.