

干旱胁迫对不同玉米自交系苗期渗透调节的影响

裴二芹^{1,2}, 石云素², 刘丕庆¹, 宋燕春², 王天宇², 黎裕²

(¹广西大学农学院, 南宁 530005; ²中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要:以5个抗旱性不同的玉米骨干自交系黄早四、掖478、郑58、早21、齐319为试验材料,对持续水分胁迫下玉米幼苗的叶片相对含水量、渗透调节能力(OA)、脯氨酸含量和可溶性糖含量的变化规律进行了研究。结果表明:随着干旱胁迫的加重,叶片相对含水量呈现下降的趋势,渗透调节能力和可溶性糖含量呈现先上升后又下降的趋势,脯氨酸含量呈现持续上升的趋势;在持续干旱条件下,不同自交系各个指标的变化幅度不同,说明不同种质资源对干旱胁迫的响应方式不同,渗透调节能力也有差异。在水分胁迫的前7d中,渗透调节能力逐渐增加,第7天时达到最大值,OA从大到小的排列顺序为齐319>郑58>掖478>早21>黄早四;但此后,除早21外,其余4个自交系的OA都随之下降。早21和齐319以可溶性糖和脯氨酸为主要的渗透调节因子,黄早四则以脯氨酸为主要的渗透调节物质。

关键词:水分胁迫;玉米;渗透调节

Effect of Drought Stress on Osmotic Adjustment in Different Maize Inbred Lines at Seedling Stage

PEI Er-qin^{1,2}, SHI Yun-su², LIU Pi-qing¹, SONG Yan-chun², WANG Tian-yu², LI Yu²

(¹ College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530005; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Changes of relative water content (RWC), osmotic adjustment capacity (OA), proline content and soluble sugar content in leaves of five important maize inbred lines (i. e. Huangzaosi, Ye 478, Zheng 58, Han 21, and Qi 319) under drought stress were investigated. The results showed that RWC decreased, OA and soluble sugar content firstly increased and then decreased, and proline content increased gradually under drought stress. Moreover, the traits changed differently among these inbreds, indicating that different germplasm responded to drought stress differently. For instance, they had different OA capacity under drought. During the first seven days, OA increased gradually, with the order of Qi 319, Zheng 58, Ye 478, Han 21 and Huangzaosi. However, OA decreased afterwards in all of the inbred lines except Han 21. Soluble sugars and proline were the major osmolytes in Han 21 and Qi 319, while proline was the major osmolyte in Huangzaosi.

Key words: Drought stress; Maize; Osmotic adjustment

玉米是我国的主要粮食作物之一,但由于主要种植在我国干旱、半干旱以及雨水分布不均的地区,因此玉米生产受到干旱的严重影响^[1]。玉米在应答干旱等逆境胁迫时,涉及到形态发育适应与自我调控、生理调控、气孔调节、激素调节等多种抗旱性相关的生理生化机制。研究发现,渗透调节与气孔

开闭、光合作用、植物生长及干物质积累都有密切关系,因此渗透调节也是植物适应干旱等逆境胁迫的一个重要机制^[2]。在环境胁迫下,细胞本身主要是通过降低渗透势,提高渗透调节能力来实现渗透调节。其中必然涉及到渗透调节物质,后者主要分为两种不同类型:其一是细胞内积累的有机溶质,包括

收稿日期:2008-12-04

修回日期:2009-12-29

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2006CB101700);国家高技术研究发展计划项目(2006AA100201);国家自然科学基金(30730063)

作者简介:裴二芹,在读硕士,研究方向为作物种质资源

通讯作者:刘丕庆,博士,教授, E-mail: liupq@gxu.edu.cn;黎裕,博士,研究员, E-mail: yuli@mail.caas.net.cn

脯氨酸 (proline, Pro)、可溶性糖 (soluble sugar, SS)、甜菜碱 (betaine) 等;其二是由细胞外进入的无机离子,包括 K^+ 、 Na^+ 等^[3]。

近年来,国内外学者在小麦^[4]、高粱^[5]、水稻^[6]、鹰嘴豆^[7]等许多作物上对干旱胁迫下的渗透调节进行了大量的研究。结果表明,在干旱胁迫下,在细胞内还会不断地积累一些如 Pro、SS、 K^+ 等渗透调节物质,作物会降低渗透势、维持细胞膨压,从而对外界环境的胁迫作出应答。相对于干旱耐受能力较低的种质资源,水分胁迫耐受能力强的品种在渗透调节能力以及渗透调节物质如 Pro、SS、甜菜碱等的含量上,均体现出明显的优势^[4,6]。

尽管渗透调节在作物应对水分胁迫中具有重要作用,但是在玉米种质资源的抗旱性相关研究中,类似的报道相对较少,仅有的一些报道也都集中在玉米品种生育期的中后期^[8]。这些研究结果表明,抗旱性强的品种,其渗透调节能力也较强,并且这种调节能力在不同的器官中也体现出一定的差异,根系明显高于叶片^[9]。在高粱与玉米苗期的对比研究中^[5],发现这两种作物在苗期均存在明显的渗透调节,并且前者主要以 SS 和可溶性蛋白作为主要的调节因子,而后的渗透调节因子则主要集中为 Pro 与 K^+ 。

苗期抗旱能力强的玉米种质资源在水分不足的环境下也可以为后期的正常生长发育以及产量提供可靠的保障。由于渗透调节在玉米抗旱相关研究中报道较少,本研究选取分属玉米不同杂种优势群的 5 个骨干自交系为材料,分析了干旱胁迫下苗期叶片相对含水量 (relative water content, RWC)、渗透调节能力 (osmotic adjustment, OA) 以及两个渗透调节因子 Pro 与 SS 在不同的水分胁迫程度下的变化规律,从而揭示不同玉米种质资源的渗透调节能力差异和生理机制,为玉米抗旱性的机制解析和品种改良提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选用抗旱性不同的黄早四、掖 478、郑 58、早 21 和齐 319 为试验材料(早 21 由本所王国英教授提供),这些种质资源材料都是我国的优良骨干自交系,对水分胁迫具有不同程度的耐受性。其中,早 21 是由美国杂交种 P78599 选育的二环系,抗旱性较强^[10];黄早四为塘四平头群的典型代表系,郑 58 与齐 319 则分属于瑞德群与 P 群,这 3 个骨干

系对干旱的耐受性则相对较差^[11];掖 478 为瑞德群的典型代表系,对水分胁迫最敏感^[12]。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2007 年 8 月 14 日在中国农业科学院作物科学研究所自动防雨棚内进行。首先从各材料中选取子粒饱满且大小一致的种子播在装有蛭石的塑料盒内,浇水后覆盖滤纸,让种子充分吸胀,置于 28℃ 的恒温培养箱里进行催芽 36h。待种子萌动后,播种到营养盒 (63cm × 43cm × 15cm) 里。播前每个营养盒中统一装土 37kg (土质均匀,肥力一致),播种后覆土 5kg。每 12 盒为 1 组,共 6 组。

每组设水旱两区,采用完全随机区组设计,每区包括 6 个重复。于 9 月 1 日 (5 叶 1 心期) 第 1 次取样。取样后,水区正常供水,旱区则持续干旱胁迫到第 5 天时第 2 次取样,以后每 2d 取样 1 次,共取 6 次。在取样的过程中,用土钻采集土样,每盒 3 次重复,测定小区土壤含水量。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤质量含水量 (SWC) 采用称重烘干法^[10]。水分胁迫期间不同处理的土壤含水量见表 1。

表 1 水分胁迫下土壤含水量的变化

Table 1 Change of soil water content under drought (%)

处理 Treatment	胁迫天数 (d) Days of stress					
	0	5	7	9	11	13
水区	15.09	13.01	11.13	12.64	13.63	13.66
旱区	15.09	5.27	4.67	3.55	3.31	3.11

1.3.2 叶片相对含水量 (RWC) 叶片相对含水量的测定采用饱和称重法。具体方法是:取玉米叶片 (长 7cm, 宽 1cm) 迅速称其鲜重 (W), 放在 10ml 的离心管中用蒸馏水泡 4h, 取出用吸水纸吸干叶片表面水分, 称饱和重 (TW); 置烘箱中于 80℃ 下烘干 24h 至恒重, 称其干重 (DW), 利用下面公式计算 RWC:

$$RWC(\%) = \frac{W - DW}{TW - DW} \times 100$$

1.3.3 饱和渗透压及渗透调节能力的计算 早上 7:00 ~ 8:00 取玉米心叶迅速放入蒸馏水中浸泡 8h, 取出后用吸水纸吸干叶片表面水分, 放入样品袋中密封, 迅速置于 -20℃ 冰箱冰冻预处理 10h 以上备用。取出预处理样品, 室温下解冻 30min, 用 25ml 的医用注射器挤压出汁液, 用 Vapro 5520 渗透压计 (美国 Wescor 公司) 测定饱和渗透压^[8]。按下式计

算渗透调节能力(OA)^[13]:

$$OA = \varphi_{\text{对照}}^{100} - \varphi_{\text{处理}}^{100}$$

其中: $\varphi_{\text{对照}}^{100} = -0.1013 R \times T \times iC$,式中 R 为气体常数,取 0.08314; T 为凯氏温度, $T = 273 + t$, t 为测定时的摄氏室温; iC 为仪器显示的渗摩尔浓度(Osm/kg, H₂O)。

1.3.4 脯氨酸含量的测定 采用酸性茚三酮比色法^[14]。

1.3.5 可溶性糖含量的测定 采用蒽酮比色法^[15]。

1.4 试验数据整理分析

利用 SAS 9.0 软件对不同材料、不同处理数据进行方差分析,并在 EXCEL 中对各处理进行图示分析。

相对值为该指标在水分胁迫下数值与对照条件下数值之比。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫下叶片 RWC 的变化

方差分析结果表明,RWC 在不同自交系间 ($F = 33.27, P < 0.0001$)、不同取样时间 ($F = 2117.48, P < 0.0001$)、不同处理间 ($F = 40436.4, P < 0.0001$)、自交系与取样时间的交互作用 ($F = 3.62, P < 0.0001$) 均达到极显著水平。对不同自交系 RWC 进行多重比较,在 0.05 水平上,早 21、黄早四的 RWC 最高;齐 319 的 RWC 中等,但与前两个自交系没有达到显著差异;RWC 最低的是掖 478 和郑 58。在 0.01 水平上,早 21、黄早四与其他 3 个自交系的 RWC 含量达到显著差异。水分胁迫不同时期 RWC 的动态变化如图 1。在正常水分条件下,抗旱性不同的 5 个材料的 RWC 在不同阶段均保持在同一水平上,没有达到显著差异水平;在持续水分胁迫下,随着水分胁迫程度的加重,5 个不同基因型材料 RWC 也随之下降。干旱胁迫 5d 时,黄早四相对

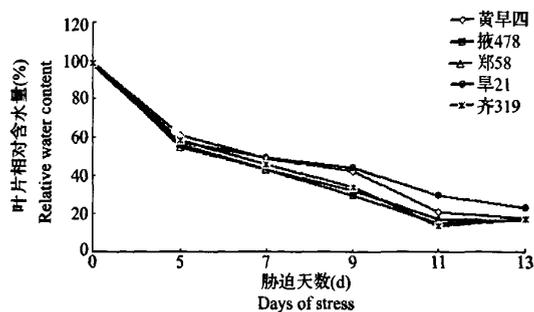


图 1 水分胁迫下叶片相对含水量(RWC)的变化

Fig. 1 Change of leaf relative water content (RWC) under water stress

含水量最高;干旱胁迫 7~9d 时,黄早四和早 21 相对含水量较高;干旱胁迫 11~13d 时,早 21 相对含水量最高。总体来看,抗旱材料的 RWC 下降比较慢,敏感材料的 RWC 下降比较快。

2.2 水分胁迫下 OA 的变化

方差分析结果表明,不同自交系间 OA ($F = 23.75, P < 0.0001$)、不同取样时间的 OA ($F = 82.11, P < 0.0001$)、自交系与取样次数交互作用 ($F = 14.49, P < 0.0001$) 均达到极显著水平。对不同自交系 OA 进行多重比较,在 0.05 水平上,早 21 的 OA 最强;齐 319 的 OA 平均值大于黄早四,但没有达到显著差异;掖 478 和郑 58 的 OA 最弱;在 0.01 水平上,早 21 与其他 4 个自交系的 OA 达到显著差异。水分胁迫不同时期 OA 的动态变化如图 2。可以看到,早 21 的渗透调节对水分胁迫不敏感,一直处于比较平稳的状态,说明早 21 有较强的渗透调节能力。在其他材料中,黄早四的渗透调节能力在整个干旱胁迫期间均较低,齐 319、郑 58 和掖 478 在中度胁迫时(第 7~9 天)相对较高,但在第 7 天后急剧降低,第 13 天时几乎丧失。

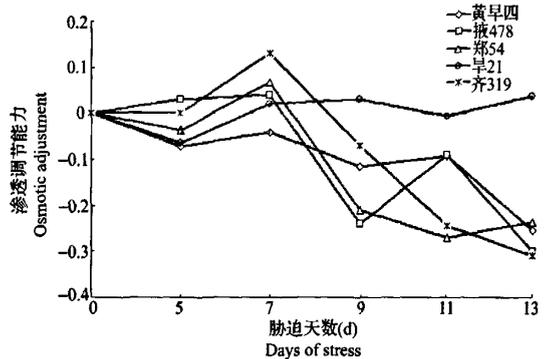


图 2 水分胁迫下渗透调节能力(OA)的变化

Fig. 2 Change of osmotic adjustment(OA) under water stress

2.3 水分胁迫对脯氨酸的影响

方差分析结果表明,不同自交系间脯氨酸含量 ($F = 20.52, P < 0.0001$)、不同取样时间的脯氨酸含量 ($F = 45.18, P < 0.0001$)、自交系与取样次数交互作用 ($F = 6.12, P < 0.0001$) 均达到极显著水平。对不同自交系脯氨酸进行多重比较,在 0.05 和 0.01 水平上,早 21 和齐 319 的脯氨酸含量平均值最大,与其他 3 个自交系差异较大;掖 478 最弱。水分胁迫下不同时期脯氨酸含量的动态变化如图 3。从图 3 可以看出,在正常水分条件下,随着作物的生长,不同材料的脯氨酸含量没有明显的增加;干旱胁迫

下,随着水分胁迫程度的逐渐加重,脯氨酸含量逐渐增加。在水分胁迫第 5 天的时候,不同材料累积的脯氨酸含量没有显著的差异;随后,这种差异逐渐扩大,第 7 天时脯氨酸含量从高到低的顺序是:齐 319 > 黄早四 > 早 21 > 郑 58 > 掖 478;早 21 累积的脯氨酸含量在第 9 天时超过了黄早四,第 11 天时超过了齐 319。抗旱性强的材料脯氨酸含量增加比较少,敏感型材料的脯氨酸含量增加少。

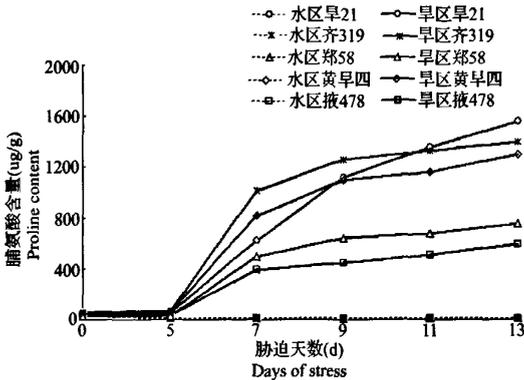


图 3 水分胁迫下脯氨酸含量的变化

Fig. 3 Change of proline content under water stress

2.4 水分胁迫对可溶性糖含量的影响

方差分析表明,不同自交系间可溶性糖含量 ($F = 20.52, P < 0.0001$)、不同取样时间的可溶性糖含量 ($F = 45.18, P < 0.0001$)、处理间 ($F = 419.52, P < 0.001$)均达到极显著水平。对不同自交系可溶性糖含量进行多重比较,无论在 0.05 水平还是在 0.01 水平上,早 21 > 齐 319 > 掖 478 ≈ 黄早四 ≈ 郑 58。水分胁迫下不同时期可溶性糖含量的动态变化如图 4。从图 4 可以看出,随着水分胁迫的加重,可溶

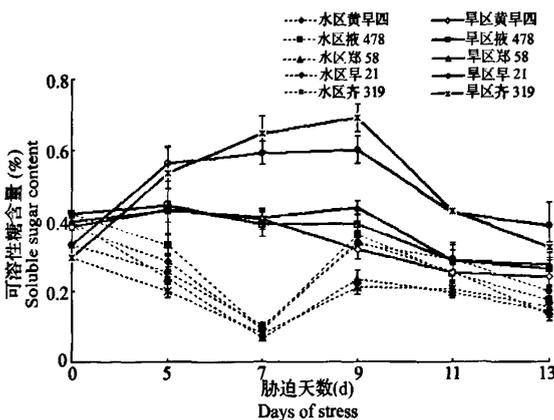


图 4 水分胁迫下可溶性糖含量相对值的变化

Fig. 4 Change of relative value of soluble sugar content under water stress

性糖含量的变化趋势是先上升再下降。由可溶性糖含量得出的相对值在水分胁迫第 7 天的时候各个材料的可溶性糖含量都达到了最大值。总体来看,在干旱胁迫过程中,抗旱性强的自交系(早 21 和齐 318)维持较高的可溶性糖含量,抗旱性弱的自交系则相对较少。

3 讨论

3.1 水分胁迫下 RWC 的变化规律与抗旱性的关系

RWC 是植物在逆境胁迫下保持组织水分状况的重要标志,在多种植物的渗透调节相关研究中均有报道^[16]。在水分胁迫下,保持较高的 RWC,有利于植物气孔开闭、光合作用等生理生化代谢的正常进行,保持植株的正常生长发育^[17]。国内外学者一致认为,抗旱性强的材料,其 RWC 也相对较高;而抗旱性弱的材料,其 RWC 则相对较低^[18-19]。本文结果表明,在干旱胁迫第 13 天的时候,早 21 在不同的水分胁迫下仍能保持相对较高的 RWC 相对值(0.23),表现出了最强的抗旱性;掖 478 在不同的水分胁迫下,其 RWC 的相对值(0.171)则均处于最低水平,表现出了对干旱胁迫较低的耐受性,抗旱能力最弱;而另 3 个自交系,在干旱胁迫下,其 RWC 则均保持在中间水平。研究表明,RWC 可作为 5 个不同玉米基因型苗期抗旱能力强弱的鉴定指标,所得出的结果与前人所报道的结果基本一致,表明利用 RWC 作为玉米苗期抗旱能力强弱的鉴定指标是可行的。

3.2 水分胁迫下渗透调节能力的变化规律与作物抗旱性的关系

渗透调节是作物适应干旱等逆境胁迫的重要机制。不同研究者在很多作物上进行了相关研究,结果得出两种截然不同的观点:一些学者认为 OA 与品种的抗旱性有关,即抗旱性强的品种渗透调节能力也相对较强,而抗旱性弱的品种,其渗透调节能力也弱。Flower 等^[20]研究发现对水分胁迫具有强耐受性的高粱品种,其渗透调节能力明显高于耐受性弱的品种。刘桂如等^[21]在小麦的研究中观察到渗透调节能力与小麦品种的抗旱性呈正相关。与此相反,另外一些学者认为 OA 与品种的抗旱性之间并不存在显著关联。如 Jones 等^[22]研究发现两个抗旱性不同的高粱品种,在水分胁迫下,其渗透调节能力并没有显示出显著差异。

本研究针对 5 个不同的玉米基因型在苗期实行

不同程度的水分胁迫,结果发现,玉米苗期的渗透调节能力与其抗旱性强弱之间存在显著相关,即渗透调节能力强的材料,其抗旱能力也相对较强,这一结果与第一种观点是一致的。然而,本研究结果还体现出了一定的差异,即抗旱性较强的自交系早21在不同程度的水分胁迫下一直保持比较平缓的状态,但在干旱胁迫第9天后,其渗透调节能力显著高于其他4个自交系。而另外4个自交系在干旱胁迫第7天时渗透调节能力达到最大值,随后,不同的自交系渗透调节能力出现了不同程度的下降。造成这种现象的原因,可能在于不同材料在应答干旱胁迫时,其渗透调节作用有一定的局限性,当干旱胁迫程度严重超过材料本身所能忍耐的极限后,渗透调节能力就会下降甚至消失^[23-24]。这一方面说明渗透调节在玉米幼苗抗旱性中的作用与胁迫强度有关,另一方面也说明不同材料的抗旱机制存在差异,例如早21的高渗透调节能力在重度干旱胁迫下发挥了重要作用,而其他自交系中渗透调节仅在中度干旱胁迫下发挥作用。

3.3 水分胁迫下渗透调节物质的变化规律与作物抗旱性的关系

尽管前人研究结果表明在水分胁迫条件下脯氨酸含量的累积对作物应答干旱胁迫具有很重要的作用^[25],但是脯氨酸含量的积累是否与研究材料的抗旱性强弱之间存在显著正相关,还没有形成定论。在植物体内,脯氨酸含量的高低与植物对干旱耐受能力的强弱之间的关系,存在两种不同的看法,一种认为水分胁迫下脯氨酸含量的积累与抗旱性存在正相关,游离脯氨酸的含量可以作为抗旱性鉴定的指标^[26];另一种认为脯氨酸含量的积累与抗旱性不相关,不能作为抗旱性鉴定的指标^[27]。本文的研究结果发现在水分胁迫的第9天之前,不同材料体内积累的脯氨酸含量相对值呈现出齐319 > 黄早四 > 早21 > 郑58 > 掖478的趋势;到水分胁迫第11天的时候,5个不同的基因型材料又表现出齐319 > 早21 > 黄早四 > 郑58 > 掖478;到水分胁迫第13天的时候,发现早21 > 齐319 > 黄早四 > 郑58 > 掖478。由此可见,脯氨酸含量的累积与材料的抗旱性是相关的,与前人的研究结果基本一致。但这种脯氨酸含量的积累与胁迫程度有一定关系,作为抗旱性鉴定指标需要慎重考虑。

可溶性糖是植物在逆境胁迫下积累的另外一种重要的有机渗透调节物质,它在植物体内的积累,不仅可以降低植物组织的冰点,增加细胞内溶质的浓

度,同时还可以防止植物组织过度脱水,增强其保水能力,进而提高植物对水分胁迫的耐受性^[28]。本研究结果表明,在水分胁迫下,可溶性糖含量在不同基因型的玉米幼苗中逐渐增加,在水分胁迫第7天时达到了最大值,随着干旱胁迫的加重,以后慢慢减少,这可能是植物受到逆境胁迫时的一种适应性反应。

3.4 不同程度的水分胁迫对玉米渗透调节的影响

作物的抗旱性是一个多基因控制的、受多种环境条件共同影响的复杂性状。不同的作物或同一种作物不同品种应答干旱的机制是不同的^[29]。渗透调节是适应干旱等逆境的一种重要机制。本文通过水分胁迫对5个抗旱性不同的玉米材料苗期渗透调节影响的研究,发现在水分胁迫第7天以前,渗透调节能力随着胁迫程度逐渐地增加,达到最大值,渗透调节能力从大到小的排列顺序为:齐319 > 郑58 > 掖478 > 早21 > 黄早四;7d以后,除早21外其余4个自交系的渗透调节能力都随之下降。早21和齐319以可溶性糖和脯氨酸为主要的渗透调节因子,黄早四则以脯氨酸为主要的渗透调节物质。不同的基因型应对干旱胁迫的反应不同,渗透调节能力也存在差异,其可能原因是由于不同种质资源的等位基因不同,在水分胁迫后,控制渗透调节物质的基因表达存在差异,导致其代谢过程和强度不同;此外,在严重水分胁迫时,作物体内可能启动了其他的调节机制,如积累了另外的渗透调节物质如甜菜碱、多胺、K⁺等。前人研究证明:甜菜碱与作物的抗逆性关系密切^[29-30]。因此,在今后的渗透调节研究中,有必要进一步监测其他各种渗透调节物质的动态变化,通过与抗旱性进行相关分析,深入了解种质资源在不同程度干旱胁迫下对抗旱性有贡献的渗透调节机制。

参考文献

- [1] 景蕊莲. 作物抗旱节水研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 1-5
- [2] 黎裕. 植物的渗透调节与其它生理过程的关系及其在作物改良中的应用[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(5): 377-385
- [3] Chaves M M, Oliveira M M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits; prospects for water saving agriculture [J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 55: 2365-2384
- [4] 武玉叶, 李永华, 李世杰, 等. 土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节能力与光合作用[J]. 作物学报, 1999, 25(6): 752-758
- [5] 邵艳军, 山仑, 李光敏. 干旱胁迫与复水条件下高粱、玉米苗期渗透调节及抗氧化比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 68-70
- [6] 朱维琴, 吴良欢, 陶勤南. 干旱逆境对不同品种水稻生长、渗

- 渗透调节物质含量及保护酶活性的影响[J]. 科技通报, 2006, 22(2):176-181
- [7] Basu P S, Berger J D, Turner N C, et al. Osmotic adjustment of chickpea (*Cicer arietinum*) is not associated with changes in carbohydrate composition or leaf gas exchange under drought [J]. *Annals of Applied Biology*, 2007, 150:217-225
- [8] Chimenti C A, Marcantonio M, Hall A J. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases [J]. *Field Crops Research*, 2006, 95:305-315
- [9] 王玮, 李德全, 李春香, 等. 水分胁迫对抗旱性不同的玉米品种根、叶渗透调节能力及渗透调节物质的影响[J]. 华北农学报, 2000, 15(增刊):8-15
- [10] 武斌, 李新海, 肖木崧, 等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4):665-676
- [11] 樊荣峰, 王建林, 张宝石, 等. 主要温带玉米自交系杂种优势群的划分[J]. 作物杂志, 2008, 1:21-25
- [12] 刘宗华, 王庆东, 赵武英, 等. 优良玉米自交系的杂种优势类群划分研究[J]. 华北农学报, 2005, 20(4):49-53
- [13] 李永华, 王玮, 马千全, 等. 干旱胁迫下抗旱高产小麦新品系早丰 9703 的渗透调节与光合特性[J]. 作物学报, 2003, 29(5):759-764
- [14] Bates L S, Waldren R P, Teare I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies [J]. *Plant Soil*, 1973, 39:205-207
- [15] 赵合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化技术实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000:195-197
- [16] Morgan J M. Osmoregulation and water stress in higher plants [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1984, 35:299-319
- [17] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and association metabolism in relation to water deficits in higher plants [J]. *Plant Cell Environ*, 2002, 25:275-294
- [18] Morgan J M, Hare R A, Fletcher R J. Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheat and its relationship to grain yield in a range of field environment [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1986, 37:449-457
- [19] 李德全, 邹琦, 程炳嵩. 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质[J]. 植物生理学报, 1992, 18(1):37-44
- [20] Flower D J, Usha Rani A, Peacock J M. Influence of osmotic adjustment on the growth, stomatal conductance and light interception of contrasting sorghum lines in a harsh environment [J]. *Aust J Plant Physiol*, 1990, 17:91-105
- [21] 刘桂如, 陈秀珍, 段文倩. 水分胁迫下小麦渗透调节能力与品种抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2):1-3
- [22] Jones M M, Turner N C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits [J]. *Plant Physiol*, 1978, 61:122-126
- [23] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社, 1994
- [24] 鲍恩伟. 水分胁迫对蚕豆叶片渗透调节能力的影响[J]. 浙江师大学报(自然科学版), 2001, 24(2):198-201
- [25] Xin Z G, Li P H. Relationship between proline and ABA in the induction of chilling tolerance in maize suspension-cultured cells [J]. *Plant Physiol*, 1993, 103:607-613
- [26] Yamada M, Morishita H, Urano K. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress [J]. *J Exp Bot*, 2005, 56(417):1975-1981
- [27] 王贺正, 李艳, 马均, 等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. 作物学报, 2007, 33(9):1523-1529
- [28] 左宝峰, 冀支林, 姚延梅. 越冬时期雪松叶片中 SOD、CAT 及可溶性糖的变化[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2007, 27(3):238-240
- [29] 朱学海, 宋燕春, 赵治海, 等. 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1):62-67
- [30] 孟凤, 郁松林, 郑强卿, 等. 甜菜碱与植物抗逆性关系之研究进展[J]. 植物生理科学, 2008, 4(24):225-228
- [31] Patakas A, Nikolaou N, Zioziou E, et al. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought stressed grapevines [J]. *Plant Science*, 2002, 163:361-367

《植物遗传资源学报》创刊 10 周年同贺单位

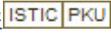
(排名不分先后)

中国农学会、中国作物学会、中国农学会遗传资源分会、中国农学会期刊分会、中国期刊协会农业期刊分会、北京科学技术期刊学会、中国科学院自然科学期刊编辑研究会

《作物学报》、《遗传学报》、《园艺学报》、《果树学报》、《棉花学报》、《中国农业科学》、《中国草地学报》、《中国水稻科学》、《中国南方果树》、《中国蔬菜》、《中国瓜菜》、《中国棉花》、《中国稻米》、《中

国麻业科学》、《中国农村小康科技》、《生物技术通报》、《分子植物育种》、《遗传》、《玉米科学》、《大豆科学》、《武汉植物学研究》、《华北农学报》、《草业学报》、《核农学报》、《农业图书情报学刊》、《果农之友》、《北京农业》、《蔬菜》、《北方园艺》、《农业科技通讯》、《种子世界》、《种子科技》、《种子》、《种业导刊》、《作物杂志》

干旱胁迫对不同玉米自交系苗期渗透调节的影响

作者: 裴二芹, 石云素, 刘丕庆, 宋燕春, 王天宇, 黎裕
作者单位: 裴二芹(广西大学农学院, 南宁, 530005; 中国农业科学院作物科学研究所, 北京, 100081), 石云素, 宋燕春, 王天宇, 黎裕(中国农业科学院作物科学研究所, 北京, 100081), 刘丕庆(广西大学农学院, 南宁, 530005)
刊名: 植物遗传资源学报 
英文刊名: JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES
年, 卷(期): 2010, 11(1)

参考文献(31条)

1. Chaves M M;Oliveira M M Mechanisms undeying plant resilience to water deficits:prospects for water saving agriculture 2005
2. Morgan J M;Hare B A;Fletcher R J Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheat and its relationship to grain yield in a range of field environment 1986
3. Lawlor D W;Comic G Photosynthetic carbon assimilation and association metabolism in relation to water deficits in higher plants 2002
4. Morgan JM Osmoregulation and water stress in higher plants 1984
5. 赵合生;孙群;赵世杰 植物生理生化技术实验原理和技术 2000
6. Bates L S;Waldren R P;Teare I D Rapid determination of free proline for water-stress studies 1973
7. Patakas A;Nikolaou N;Zioziou E The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought stressed grapevines 2002
8. 孟凤;郁松林;郑强卿 甜菜碱与植物抗逆性关系之研究进展 2008(24)
9. 王玮;李德全;李春香 水分胁迫对抗旱性不同的玉米品种根、叶渗透调节能力及渗透调节物质的影响[期刊论文]-华北农学报 2000(增刊)
10. Chimenti C A;Marcantonio M;Hall A J Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (Zea mays L.) in both early growth and flowering phases 2006
11. Basu P S;Berger J D;Turner N C Osmotic adjustment of chickpea(Cicer arietinum) is not associated with changes in carbohydrate composition or leaf gas exchange under drought 2007
12. 朱维琴;吴良欢;陶勤南 干旱逆境对不同品种水稻生长、渗透调节物质含量及保护酶活性的影响[期刊论文]-科技通报 2006(02)
13. 邵艳军;山仑;李光敏 干旱胁迫与复水条件下高粱、玉米苗期渗透调节及抗氧化比较研究[期刊论文]-中国生态农业学报 2006(01)
14. 武玉叶;李永华;李世杰 土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节能力与光合作用 1999(06)
15. 黎裕 植物的渗透调节与其它生理过程的关系及其在作物改良中的应用 1994(05)
16. 朱学海;宋燕春;赵治海 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究[期刊论文]-植物遗传资源学报 2008(01)
17. 左宝峰;冀支林;姚延涛 越冬时期雪松叶片中SOD、CAT及可溶性糖的变化[期刊论文]-山西农业大学学报(自然科学版) 2007(03)
18. 王贺正;李艳;马均 水稻苗期抗旱性指标的筛选[期刊论文]-作物学报 2007(09)
19. Yamada M;Morishita H;Urano K Effects of free proline accumulation in petunias under dreught stress 2005(417)

20. [Xin Z G;Li P H Relationship between proline and ABA in the induction of chilling tolerance in maize suspension-cultured cells](#) 1993
21. [鲍思伟 水分胁迫对蚕豆叶片渗透调节能力的影响](#)[期刊论文]-[浙江师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(02)
22. [刘祖祺;张石城 植物抗性生理学](#) 1994
23. [Jones M M;Turner N C Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits](#) 1978
24. [刘桂如;陈秀珍;段文倩 水分胁迫下小麦渗透调节能力与品种抗旱性的关系](#)[期刊论文]-[河北农业大学学报](#) 2002(02)
25. [Flower D J;Usha Rani A;Peacock J M Influence of osmotic adjustment on the growth, stomatal conductance and light interception of contrasting sorghum lines in a harsh environment](#) 1990
26. [李德全;邹琦;程炳嵩 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质](#) 1992(01)
27. [李永华;王玮;马千全 干旱胁迫下抗旱高产小麦新品系旱丰9703的渗透调节与光合特性](#)[期刊论文]-[作物学报](#) 2003(05)
28. [刘宗华;王庆东;赵武英 优良玉米自交系的杂种优势类群划分研究](#)[期刊论文]-[华北农学报](#) 2005(04)
29. [樊荣峰;王建林;张宝石 主要温带玉米自交系杂种优势群的划分](#)[期刊论文]-[作物杂志](#) 2008(1)
30. [武斌;李新海;肖木辑 53份玉米自交系的苗期耐旱性分析](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 2007(04)
31. [景蕊莲 作物抗旱节水研究进展](#)[期刊论文]-[中国农业科技导报](#) 2007(01)

引证文献(1条)

1. [曾秀华,叶少萍,白昌军,辛国荣,罗仁峰 接种丛枝菌根真菌\(AMF\)及施磷量对狗牙根抗旱性的影响](#)[期刊论文]-[热带作物学报](#) 2011(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201001008.aspx