

糜子幼苗对不同强度干旱胁迫的 形态与生理响应

冯晓敏¹, 张永清^{1,2}, 李鹏¹, 闫江艳¹, 王海茹¹, 景小元²

(1. 山西师范大学生命科学学院, 山西 临汾 041000; 2. 山西师范大学城市与环境学院 山西 临汾 041000)

摘要: 采用盆栽方法,研究了人工控水条件下,不同糜子品种苗期干旱条件下的形态和生理特性。结果表明,(1)与正常供水条件相比,轻度水分胁迫下陇糜4号、5283黄、晋黍7号3个品种在株高、叶面积、总根长、根系总体积等形态指标方面变化不大,但在重度胁迫时差异达显著水平;且随着胁迫程度的加剧,3品种各值呈下降趋势,晋黍7号的降幅小于陇糜4号和5283黄;(2)3品种根系的活性氧清除系统和渗透调节物质,随着胁迫程度的增加,SOD、POD、脯氨酸和可溶性糖的含量均呈上升趋势,上升幅度表现为陇糜4号>5283黄>晋黍7号,与正常供水相比,3品种的SOD、脯氨酸和可溶性糖在不同处理下与对照相比差异显著,除陇糜4号外,其它2品种的POD在中度和重度水分胁迫下与对照相比差异显著;(3)对叶绿素含量、叶片相对含水量和光合速率,随着胁迫程度的增加,3品种各值均呈下降趋势,晋黍7号受影响最大,3品种的各值在重度胁迫下与对照相比差异显著;(4)对根系活力及细胞膜透性而言,晋黍7号的根系活力受水分胁迫的影响较大,且晋黍7号的细胞膜透性和MDA含量增加幅度大,受干旱损害也大,抵御干旱的能力较弱,其抗旱性相对较弱,而陇糜4号的抗旱性较强。

关键词: 糜子;干旱胁迫;形态指标;生理生态;综合评价

中图分类号: S332.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0176-06

Morphological and physiological responses of broomcorn millet seedlings to drought stress

FENG Xiao-min¹, ZHANG Yong-qing^{1,2}, LI Peng¹, YAN Jiang-yan¹,
WANG Hai-ru¹, JING Xiao-yuan²

(1. College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China;

2. College of Urban and Environmental Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: With pot cultivation method, the morphological and physiological characters of different broomcorn millet cultivars at seedling stage were studied under controlled water conditions. The results showed that: (1) Under mild water stress, the morphological parameters of Longmi 4, 5283 Huang and Jinshu 7 such as plant height, leaf area, total root length and total root volume were changed little compared with the control treatment, but they were influenced significantly under severe stress. The values of these parameters of the three tested cultivars tended to decrease with the intensification of water stress, in which, the decrease rate of Jinshu 7 was lower than that of Longmi 4 and 5283 Huang. (2) As for the active oxygen scavenging system and osmolytes, the activity of SOD and POD, and the content of proline and soluble sugar in the tested cultivars wholly tended to increase with the intensification of water stress. The increase rate of the cultivars was ranked as: Longmi 4 > 5283 Huang > Jinshu 7. The activity of SOD and the content of proline and soluble sugar in the three cultivars under water stress conditions differed significantly with those under the control. The activity of POD in 5283 Huang and Jinshu 7 under moderate and severe water stress differed significantly with that under the control. (3) The chlorophyll content, relative leaf water content and net photosynthetic rate of the three cultivars wholly tended to decrease with the intensification of water stress, in which Jinshu 7 was affected with the largest degree. The values of these parameters under severe stress differed significantly with those under the control. (4) The root activity of

收稿日期: 2012-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871483); 山西省自然科学基金项目(2006011086)

作者简介: 冯晓敏(1986—), 女, 山西太原人, 硕士, 主要从事植物生理生态方面的研究。E-mail: fengxiaomin.1986@163.com。

通信作者: 张永清, E-mail: yqzhang208@126.com。

Jinshu 7 was influenced remarkably by water stress, and its membrane permeability and MDA content increased largely, so it was injured seriously and its drought-resistant ability was poor, while the drought-resistant ability of Longmi 4 was relatively strong.

Keywords: broomcorn millet; drought stress; morphological character; physiological character; synthetic evaluation

干旱胁迫给农业造成的损失几乎相当于其他所有环境因子胁迫所造成的损失的总和^[1]。水分作为植物生存及生长代谢的基础,是植物不可或缺的组成部分。干旱缺水不仅影响植物的生长,而且限制其分布,山西省地处干旱半干旱的黄土高原区,降水少且分布不均匀,对旱地大田作物而言,遭遇一定时期的干旱胁迫几乎是不可避免的,因此,抗旱育种成为提高干旱条件下作物经济产量的重要措施之一。开展代表性植物个体水分的模拟实验,定量分析其对不同干旱胁迫强度的响应是深入探讨植物干旱适应能力及对策的有效手段^[2]。糜子(*Panicum miliaceum* L.)属禾本科黍属(*Panicum*),具有生育期短,耐旱,耐贫瘠,耐盐碱等特性,是北方地区的主要抗逆渡荒作物^[3],在山西省,尤其是晋中和晋北的旱薄地区,具有明显的地区优势和生产优势,是当地主要栽培的小杂粮作物之一^[4]。

目前对作物抗旱性的研究主要集中于地上部分叶片的生理生化特性以及植株水势对干旱环境的反应,由于采集方法和试验条件等方面的限制,对于作物地下部分根系抗旱性的研究较少,因此本研究选取抗旱强度不同的糜子,通过盆栽试验模拟干旱胁迫环境,研究不同干旱胁迫对糜子苗期的根系形态及细胞膜透性、MDA 含量、保护酶活性、游离脯氨酸含量及可溶性糖含量等生理指标的变化,旨在为糜子品种抗旱性鉴定和品种筛选奠定理论基础,进而为当地农业生产实践服务。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验设置 试验于 2011 年 4 月在山西省临汾市小麦研究所实验基地进行。采用直径为 17 cm,高为 14.5 cm 的聚乙烯塑料盆进行盆栽试验,每盆中装土 1.5 kg,为了保证试验期间幼苗的生长不受养分限制,同时施入有机肥 26.8 g、尿素 0.49 g、过磷酸钙 0.94 g、氯化钾 3.5 g 做为肥底,供试土壤取自黄土母质上发育而成的石灰性褐土的 2 米以下的土壤,其养分含量为有机质 11.2 g·kg⁻¹,全氮 720 mg·kg⁻¹,速效磷 32 mg·kg⁻¹,速效钾 137 mg·kg⁻¹。

1.1.2 水分处理 利用活动式防雨棚遮挡自然降水,采用称重法计算补水量,田间持水量为 28%,土

壤水分处理为 4 个, W₁ 为正常供水(对照),使土壤含水量保持在田间最大持水量的 75% 以上, W₂ 为轻度水分胁迫,使土壤含水量保持在田间最大持水量的 65% ~ 70%, W₃ 为中度水分胁迫,使土壤含水量保持在田间最大持水量的 55% ~ 60%, W₄ 为重度水分胁迫,使土壤含水量保持在田间最大持水量的 35% ~ 40%,每个处理重复 3 次。试验于 2011 年 4 月 28 日开始,每盆播种 30 粒,待苗齐后间苗,去弱小苗,每盆留苗 20 株,播种后保持正常供水,所有盆土等量浇水以保证种子顺利出苗,到三叶一心期(2011 年 5 月 17 日)开始分梯度控水,控水一直持续到整个苗期结束(2011 年 6 月 10 日)。

1.1.3 供试品种 糜子品种为用反复干旱法筛选而获得的抗旱能力不同的 3 个品种:陇糜 4 号(抗旱品种),晋黍 7 号(水分敏感型),5283 黄(中间型)。陇糜 4 号由兰州大学提供,其余品种由山西省农业科学院提供。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 水分测定 土壤水分测定采用烘干法。

1.2.2 水分控制 糜子苗期水分控制采用称重法(电子称 eES50kg-15,规格为 50 kg/0.5g),每天称重一次。

1.2.3 形态和生理指标的测定 株高的测定采用直接测量法,叶面积的测定采用扫描法;根长,根系总体积的测定通过 WinRhizo 根系分析系统软件进行定量分析;叶绿素含量的测定采用乙醇-丙酮提取法^[5-7];叶片相对含水量的测定采用鲜干重差值法^[5-7];丙二醛(MDA)含量、POD 活性及 SOD 活性的测定,分别采用硫代巴比妥酸法,愈创木酚比色法和核黄素法^[5-7];根系活力的测定采用 TTC 法^[5-7];植株可溶性糖的测定采用蒽酮比色法^[5-7];细胞膜透性的测定采用电导率法^[5-7];净光合速率采用便携式光合分析系统 Li-6400,选择晴天,在 10:00—12:00 时,测定糜子品种第 3 片展开叶的净光合速率。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel, SAS 统计软件,运用方差分析进行数据处理和分析,所有参数采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同干旱梯度之间的差异性,结果用平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对糜子苗期地上部形态特征的影响

由表 1 可知,水分胁迫明显限制了 3 品种糜子幼苗的株高和叶面积,在轻度胁迫下,除陇糜 4 号外,5283 黄和晋黍 7 号的株高与对照相比差异显著,但在中度胁迫和重度胁迫后,这 3 个糜子品种的株高均表现出差异性,而水分胁迫对 3 品种的叶面积影响则不同,在轻度胁迫、中度胁迫和重度胁迫处理中均表现出显著性差异。试验结果表明,水分胁迫下,尤其是重度胁迫下,陇糜 4 号、5283 黄、晋黍 7 号的株高分别下降了 20.1%、21.0%、30.4%,叶面积分别下降了 14.7%、21.0%、28.1%,晋黍 7 号的株高和叶面积下降幅度均大于陇糜 4 号和 5283 黄,由此可见,水分胁迫对晋黍 7 号的形态指标影响最大,其次是 5283 黄,陇糜 4 号受到的影响最小,同时也说明陇糜 4 号苗期在干旱逆境下具有更强的长势。

表 1 水分胁迫对糜子品种苗期株高和叶面积的影响

Table 1 Effect of water stress on plant height and leaf area of three broomcorn millet cultivars at seedling stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高/cm Plant height	叶面积/cm ² Leaf area
陇糜 4 号 Longmi 4	对照 CK	34.43 + 1.02A	33.97 + 0.32A
	轻度胁迫 Mild stress	32.63 + 1.04A	31.19 + 0.33B
	中度胁迫 Moderate stress	28.23 + 6.62B	30.32 + 0.54BC
	重度胁迫 Severe stress	27.5 + 0.36B	28.98 + 0.80C
5283 黄 5283 Huang	对照 CK	33.03 + 1.96A	28.61 + 0.15A
	轻度胁迫 Mild stress	31.8 + 4.33AB	26.26 + 0.02B
	中度胁迫 Moderate stress	28 + 3.43AB	24.85 + 0.06B
	重度胁迫 Severe stress	26.1 + 0.13B	22.59 + 1.59C
晋黍 7 号 Jinshu 7	对照 CK	31.63 + 1.22A	27.8 + 0.14A
	轻度胁迫 Mild stress	28.3 + 0.82AB	25.16 + 0.07B
	中度胁迫 Moderate stress	25.1 + 2.14BC	23.72 + 0.602B
	重度胁迫 Severe stress	22 + 3.79C	19.98 + 0.45C

注:表中数据是 3 次测定的平均值及其标准差,运用 SAS 软件 One-way ANOVA 分析。字母表示 0.01 水平差异显著性,每列数据右侧字母相同者表示差异未达极显著水平,字母不同者表示差异达显著水平。下同。

Note: The data in the table denote the average values + SD analyzed by One-way ANOVA in SAS. The different capital letters show significance at $P = 0.01$ level. Hereinafter the same.

2.2 水分胁迫对糜子苗期根系生长的影响

表 2 结果表明,与对照相比,参试品种的根长和总根体积在中度和重度胁迫下与对照相比差异显著,水分胁迫对 3 糜子品种的根表面积和根重的影响则不同,在重度胁迫下与对照相比差异显著,随着干旱胁迫的加剧,参试糜子品种的总根长、根总表面积和根总体积均呈下降趋势,在不同水分处理条件下,陇糜 4 号的各个形态指标的降幅都小于 5283 黄和晋黍 7 号,如在重度胁迫下,3 品种的总根长分别下降了 7.7%、5.3% 和 50%,并且至胁迫结束时晋黍 7 号受抑制的程度较大。可见,干旱发生时,陇糜 4 号因为根系在土壤中分布的体积和与土壤接触的面积均较大,从而保证了其在土壤干旱时对有限水分吸收的竞争力,增强了耐旱性。

由表 2 还可以看出晋黍 7 号的根冠比在轻度水分胁迫时与对照相比差异不显著,但中度和重度水分胁迫表现出显著性差异。随着水分胁迫程度的加剧,3 个品种的根冠比呈现出增加的趋势,其中在重度胁迫时陇糜 4 号的增加幅度最大,增幅达 66.1%,其次是 5283 黄,增加幅度为 62.2%,最小的是晋黍 7 号,增幅为 55.1%。

2.3 水分胁迫对糜子苗期活性氧清除系统和渗透调节物质的影响

SOD 和 POD 均为细胞脂膜过氧化作用中氧自由基清除酶系统中的关键酶,可以解除或减轻干旱胁迫中膜脂过氧化作用对细胞膜的损伤^[8-10]。表 3 表明,在中度水分胁迫和重度水分胁迫下,3 品种的 SOD 活性和 POD 活性均显著高于对照,随着胁迫程度的加剧,3 品种的 SOD 活性和 POD 活性均呈现上升的变化趋势,相同胁迫处理下,陇糜 4 号的 SOD、POD 活性变化率高于同胁迫处理的晋黍 7 号和 5283 黄,尤其在重度胁迫时,陇糜 4 号、5283 黄、晋黍 7 号的 SOD 值分别上升了 36.1%、34.2%、32.5%,POD 活性分别升高 85.6%、82.3% 和 74.9%,说明相同水分胁迫下,陇糜 4 号对 O₂⁻、H₂O₂ 等活性氧的清除能力较强,具有较强的减轻活性氧或其它过氧化自由基对细胞膜系统伤害和修复适应的能力。

在水分胁迫条件下,脯氨酸和可溶性糖作为主要的渗透调节物质,在一定程度上可以反映植株受胁迫的严重程度^[11-13],由表分析可知,在中度水分胁迫和重度水分胁迫下,3 品种与对照相比差异显著,随着胁迫程度的增加,脯氨酸和可溶性糖的含量逐渐积累,但增加和积累能力不同,晋黍 7 号的增加幅度较小,降低了细胞的渗透势,其抗旱性较小,其次是 5283 黄,陇糜 4 号增加幅度最大,表明其抗旱性强。

表 2 水分胁迫对糜子苗期根系生长的影响

Table 2 Effect of water stress on root growth of broomcorn millet at seedling stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	总根长 Total root length/cm	根重 Root weight/g	总根表面积 Total root surface area/cm ²	总根体积 Total root volume/cm ³	根冠比 Root/shoot ratio
陇糜 4 号 Longmi 4	对照 CK	351.23 + 27.4A	0.754 + 0.003A	93.72 + 24.17A	1.83 + 0.033A	0.186 + 0.003B
	轻度胁迫 Mild stress	344.27 + 75.7A	0.716 + 0.002A	89.32 + 86.4A	1.38 + 0.039B	0.229 + 0.007AB
	中度胁迫 Moderate stress	338.27 + 56.3B	0.581 + 0.036AB	83.17 + 14.4AB	0.97 + 0.015C	0.267 + 0.008B
	重度胁迫 Severe stress	324.14 + 65.6C	0.545 + 0.015B	75.65 + 0.53B	0.83 + 0.004C	0.309 + 0.008A
5283 黄 5283 Huang	对照 CK	339.64 + 61.7A	0.740 + 0.013A	92.19 + 13.57A	1.51 + 0.19A	0.172 + 0.003B
	轻度胁迫 Mild stress	323.68 + 31.4A	0.653 + 0.003AB	86.53 + 11.92A	1.09 + 0.01B	0.223 + 0.006AB
	中度胁迫 Moderate stress	284.11 + 48.3B	0.532 + 0.01B	82.65 + 5.03AB	0.83 + 0.036B	0.253 + 0.013A
	重度胁迫 Severe stress	221.04 + 19.3B	0.497 + 0.014B	74.85 + 9.23B	0.49 + 0.029C	0.279 + 0.007A
晋黍 7 号 Jinshu 7	对照 CK	309.86 + 14.9A	0.698 + 0.059A	85.20 + 35.32A	1.4 + 0.013A	0.176 + 0.001AB
	轻度胁迫 Mild stress	266.58 + 37.6AB	0.686 + 0.005A	75.17 + 9.31B	0.89 + 0.004B	0.220 + 0.002AB
	中度胁迫 Moderate stress	192.81 + 27.2B	0.561 + 0.009AB	64.10 + 25.92C	0.36 + 0.016B	0.248 + 0.007A
	重度胁迫 Severe stress	154.20 + 10.54B	0.509 + 0.004B	57.03 + 12.57D	0.26 + 0.014C	0.273 + 0.004A

表 3 水分胁迫对糜子苗期活性氧清除系统和渗透调节物质的影响

Table 3 Effect of water stress on active oxygen scavenging system and osmolyte in broomcorn millet at seedling stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	SOD 活性 SOD activity /(U·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	POD 活性 POD activity /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	脯氨酸含量 Content of proline /(mg·g ⁻¹)	可溶性糖含量 Content of soluble sugar/%
陇糜 4 号 Longmi 4	对照 CK	252.98 + 14.26D	797 + 3.77B	25.6 + 0.22D	3.79 + 0.04C
	轻度胁迫 Mild stress	295.93 + 18.33C	960 + 10.44B	49.9 + 0.21C	5.6 + 0.039C
	中度胁迫 Moderate stress	319.4 + 12.88B	1185 + 6.08A	65.7 + 0.27B	7.0 + 0.07B
	重度胁迫 Severe stress	344.18 + 4.54A	1479 + 24.23A	79.0 + 0.37A	8.07 + 0.46A
5283 黄 5283 Huang	对照 CK	238.40 + 3.55D	691 + 16.03B	22.2 + 0.22C	4.04 + 0.06C
	轻度胁迫 Mild stress	270.01 + 6.90C	875 + 15.90B	43.6 + 0.09C	5.93 + 0.047C
	中度胁迫 Moderate stress	318.96 + 3.33B	1113 + 13.91A	56.4 + 0.06B	6.85 + 0.005B
	重度胁迫 Severe stress	319.92 + 6.49A	1260 + 2.38A	66.4 + 0.09A	7.53 + 0.12A
晋黍 7 号 Jinshu 7	对照 CK	230.78 + 36.33D	654 + 3.4B	18.9 + 0.10C	5.71 + 0.036C
	轻度胁迫 Mild stress	265.36 + 19.59C	768 + 9.47B	22.5 + 0.18B	6.44 + 0.666C
	中度胁迫 Moderate stress	312.71 + 12.13B	1006 + 13.85A	31.3 + 0.03A	7.27 + 0.169B
	重度胁迫 Severe stress	305.86 + 7.14A	1144 + 18.11A	44.6 + 0.21A	7.83 + 0.138A

2.4 水分胁迫对糜子苗期光合色素含量、光合速率和叶片相对含水量的影响

由表 4 可知,参试品种在轻度胁迫时与对照相比均未达到显著水平,叶绿素含量随着干旱胁迫的增加呈减少趋势,重度胁迫时陇糜 4 号,5283 黄和晋黍 2 号的叶绿素含量分别是相应对照的 0.624 倍,0.611 倍和 0.538 倍。重度胁迫对陇糜 4 号的影响较小,而对晋黍 7 号的影响最大。各品种的叶片相对含水量在中度处理和重度胁迫时与对照相比达到显著水平,随着胁迫程度的加重,3 个品种的叶片相对含水量均呈下降趋势,各处理的叶片相对含水量均低于相应对照,在重度水分胁迫时分别下降了 7.5%,10.9%,19.1%。这说明相同胁迫下晋黍 7

号比陇糜 4 号的叶片的相对含水量下降幅度大,使得叶片不能保证正常的水分供应来维持糜子体内生理代谢活动的正常进行,因此其抗旱性弱。

由表 4 分析可知,3 品种的净光合速率在轻度胁迫时与对照相比无显著性差异,但在中度干旱和重度干旱胁迫时,3 品种却出现显著性差异,且下降幅度随胁迫程度的加强而加大,在相同水分处理下,3 糜子品种的净光合速率表现为陇糜 4 号大于 5283 黄,重度干旱胁迫下,晋黍 7 号、5283 黄、陇糜 4 号分别下降了 10%,6.8%,4.3%,表明尽管 3 个糜子品种的光合速率均降低,但陇糜 4 号的净光合速率下降幅度较小,同时也说明其在干旱逆境下仍能保持相对较高地光合生产能力,维持植株的正常生长。

表 4 不同水分胁迫对糜子苗期光合色素含量、光合速率和叶片相对含水量的影响

Table 4 Effect of water stress on photosynthetic pigments, photosynthetic rate and leaf relative water content in broomcorn millet at seedling stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	叶绿素 Chlorophyll /(mg·g ⁻¹)	叶片相对含水量 Leaf relative water content/%	净光合速率 Photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
陇糜 4 号 Longmi 4	对照 CK	1.65 + 0.09A	0.93 + 0.07A	23.81 + 0.15A
	轻度胁迫 Mild stress	1.58 + 0.17A	0.91 + 0.01A	23.50 + 0.03A
	中度胁迫 Moderate stress	1.35 + 0.005B	0.86 + 0.08B	22.74 + 0.02B
	重度胁迫 Severe stress	1.03 + 0.067B	0.80 + 0.02B	21.37 + 0.001C
5283 黄 5283 Huang	对照 CK	1.62 + 0.073A	0.91 + 0.04A	22.99 + 0.001A
	轻度胁迫 Mild stress	1.32 + 0.14A	0.86 + 0.06A	22.81 + 0.013A
	中度胁迫 Moderate stress	1.13 + 0.03B	0.81 + 0.08B	22.69 + 0.003A
	重度胁迫 Severe stress	0.99 + 0.009B	0.77 + 0.01B	21.41 + 0.12B
晋黍 7 号 Jinshu 7	对照 CK	1.58 + 0.023A	0.89 + 0.07A	22.13 + 0.117A
	轻度胁迫 Mild stress	1.45 + 0.15A	0.76 + 0.02A	22.03 + 0.144A
	中度胁迫 Moderate stress	1.09 + 0.008B	0.72 + 0.02B	21.27 + 0.017B
	重度胁迫 Severe stress	0.85 + 0.016B	0.65 + 0.02B	21.18 + 0.053B

2.5 水分胁迫对糜子苗期根系活力和细胞膜透性的影响

由表 5 可知,轻度干旱胁迫引起的质膜的相对电导率变化不明显,而中度和重度干旱胁迫下 3 个品种糜子的叶片相对电导率显著升高,最高可达对照的 2.22 倍,说明中度和重度干旱胁迫已对 3 品种的质膜系统造成伤害,植物体的选择透性能力降低。分析可以看出 MDA 的变化规律与质膜透性相似,与对照相比,3 个糜子品种在相同处理下差异显著,随

着水分胁迫的加重,陇糜 4 号在轻中度胁迫和重度胁迫时的 MDA 含量是相应对照的 1.14 倍,1.25 倍,1.27 倍,晋黍 7 号在轻中重度胁迫时的 MDA 含量是相应对照的 1.23 倍,1.30 倍,1.34 倍,5283 黄在轻中重度胁迫时的 MDA 含量是相应对照的 1.12 倍,1.24 倍,1.31 倍。说明相同水分胁迫下晋黍 7 号比陇糜 4 号和 5283 黄的细胞膜透性增加幅度更大,膜脂过氧化水平升高,膜结构受损程度相对较大,细胞内物质的外渗加重,其抗旱性相对较弱。

表 5 水分胁迫下糜子根系活力和细胞膜透性的变化

Table 5 Effect of water stress on root activity and membrane permeability in broomcorn millet

品种 Cultivar	处理 Treatment	MDA 含量 MDA content /($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	电导率 Membrane permeability /%	根系活力 Root activity /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
陇糜 4 号 Longmi 4	对照 CK	2.00 + 0.069C	0.12 + 0.002C	74.52 + 4.96A
	轻度胁迫 Mild stress	2.28 + 0.11BC	0.15 + 0.001C	67.53 + 1.27AB
	中度胁迫 Moderate stress	3.66 + 0.57AB	0.21 + 0.01B	57.29 + 5.45BC
	重度胁迫 Severe stress	4.10 + 0.08A	0.27 + 0.002A	51.27 + 6.10C
5283 黄 5283 Huang	对照 CK	2.29 + 0.13B	0.15 + 6.71B	72.38 + 3.81A
	轻度胁迫 Mild stress	2.56 + 0.79AB	0.17 + 1.55B	65.62 + 8.23B
	中度胁迫 Moderate stress	3.17 + 0.02A	0.21 + 2.68AB	56.13 + 4.02C
	重度胁迫 Severe stress	4.15 + 0.29A	0.26 + 4.37A	49.52 + 11.84D
晋黍 7 号 Jinshu 7	对照 CK	2.31 + 0.90B	0.14 + 1.36C	70.16 + 45.43A
	轻度胁迫 Mild stress	2.86 + 0.71AB	0.18 + 7.23C	68.43 + 11.15A
	中度胁迫 Moderate stress	3.71 + 0.015A	0.21 + 1.1B	63.45 + 3.65B
	重度胁迫 Severe stress	4.97 + 1.06A	0.23 + 7.39A	55.02 + 0.84C

水分胁迫对根系活力有较大的影响,在中度水分胁迫和重度胁迫时,3 品种与对照相比差异显著,由表可知,随着水分胁迫的加重,3 品种的根系活力均呈下降趋势,且在干旱胁迫下晋黍 7 号的根系活

力的下降幅度大,为 31.2%,说明其抗旱能力较弱,陇糜 4 号的根系活力的下降幅度较小,为 21.6%,表明其抗旱能力较强,而 5283 黄次之。

3 讨 论

水分胁迫下,糜子幼苗的生长会发生一系列形态建成过程的改变,水分敏感程度不同的糜子品种对水分响应的生长表现不同,因而研究不同耐旱性糜子品种苗期生长过程的变化,可反映出糜子幼苗对水分胁迫的适应性,水分胁迫下叶面积减小,原因在于水分短缺时细胞生长与分化受到抑制,因而顶端分生组织与侧生分生组织发育缓慢,叶面积减小可能是幼苗对干旱胁迫的最初反应过程之一。叶面积减小,直接减小了幼苗的蒸发面积,降低了植物体水分的散失,这可能是幼苗对干旱胁迫的形态适应机制。

许多研究表明,干旱胁迫导致叶绿素含量减少,抗旱性强的植物叶绿素含量减少的幅度较少,这与张永清等人的研究结果相似^[3],表明干旱胁迫抑制了糜子叶片的光和潜力。根系活力是根系生长的内在原因^[14],当土壤出现干旱时,作物的根系活力降低,本试验也有相同的结论,陇糜4号通过提高根系的活力,增强了对水分的吸收能力,从而避免了干旱危害,而晋黍7号因这种能力差,所以受到了干旱危害。

作物由于在其生长发育期间会受到不同程度的逆境影响,尤其是持续干旱影响作物的生理生态特性,因此,作物体根系的生理生态的变化可以反映作物受伤害的程度。本试验研究结果表明,3糜子品种的丙二醛和脯氨酸及可溶性糖含量与水分胁迫程度有关,随着水分胁迫程度的加重,各值增加,且增加幅度不同,这与薛吉全对小麦的研究结果相似^[15]。说明在不同干旱条件下,糜子根中丙二醛、脯氨酸和可溶性糖含量可以反映其受旱的程度,并且在相同胁迫下丙二醛、脯氨酸和可溶性糖含量可以确定不同品种抗旱性的强弱。

在干旱胁迫下,植物体内的活性氧大量积累,破坏了正常代谢时活性氧的产生与清除的平衡^[16-17],本试验结果也反映了相同的结论,SOD和POD等保护酶维持较高活力有着重要意义^[18-19]。随着胁迫强度的增加,膜脂过氧化进一步加重,SOD和POD活性均呈增加趋势,说明通过增强保护酶活性以避免干旱对其造成的伤害,从而增强抗旱性,从以上3个品种的幼苗生长和根系生理特性对干旱胁迫的响应可以看出糜子幼苗适应土壤干旱的某些机制。一方面3品种糜子幼苗对干旱胁迫的生态反应是整体的,生物量分配在一定程度上反映了幼苗受

干旱胁迫时的生存对策,根冠比的增加有利于缓解植物对水分、养分的供求矛盾,使其适应干旱逆境;另一方面,糜子幼苗根系自身生理特性在干旱胁迫下也发生了一些适应性的变化,如叶片相对含水量降低、渗透调节物质可溶性糖和脯氨酸含量增加、保护酶SOD和POD活性增强等,这些生理变化提高了糜子幼苗的抗旱性,使其能够更好地适应干旱逆境。

参 考 文 献:

- [1] 孙存华,李 扬,贺鸿雁,等.藜对干旱胁迫的生理生化反应[J].生态学报,2005,25(10):2556-2561.
- [2] 李芳兰,包维楷,吴 宁.白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J].生态学报,2009,29(10):5406-5417.
- [3] 张永清,苗果园.生土施肥对黍子根系生长及生理生态效应的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):158-169.
- [4] 张永清,苗果园.不同施肥水平下黍子根系对干旱胁迫的反应[J].作物学报,2006,32(4):601-606.
- [5] 张志良.植物生理学实验指导[M].北京:北京教育出版社,1992:88-93.
- [6] 潘瑞炽,董恩得.植物生理学[M].北京:中国高等教育出版社,2001.
- [7] 梅雪英.水分胁迫对小麦生理生态及产量品质影响的研究[D].合肥:安徽农业大学,2004:1-57.
- [8] 张智猛,万书波,戴良香.不同花生品种对干旱胁迫的响应[J].中国生态农业学报,2011,19(3):631-638.
- [9] 李潮海,尹 飞,王 群.不同耐旱性玉米杂交种及其亲本叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应[J].生态学报,2006,26(6):1912-1919.
- [10] 蔡昆争,吴学祝,骆世明.不同生育期水分胁迫对水稻根叶渗透调节物质变化的影响[J].植物生态学报,2008,32(2):491-500.
- [11] 李 明,王根轩.干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J].生态学报,2002,22(4):503-507.
- [12] 单长卷,梁宗锁.土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(5):38-41.
- [13] 吕金印,郭 涛.水分胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):89-93.
- [14] 丛 雪,齐 华,孟凡超,等.干旱胁迫对玉米叶绿素荧光参数及质膜透性的影响[J].华北农学报,2010,25(5):141-144.
- [15] 薛吉全,任建宏,马国胜,等.玉米不同生育期水分胁迫条件下脯氨酸变化与抗旱性的关系[J].西安联合大学学报,2000,3(2):21-25.
- [16] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿对干旱胁迫的光合生理响应[J].生态学报,2007,27(12):5229-5237.
- [17] 王红梅,包维楷,李芳兰.不同干旱胁迫强度下白刺花幼苗叶片的生理生化反应[J].应用与环境生物学报,2008,14(6):757-762.
- [18] 卜令铎,张任和,常 宇,等.苗期玉米叶片光合特性对水分胁迫的响应[J].生态学报,2010,30(5):1184-1191.
- [19] 张文辉,段宝利,周建云,等.不同种源栓皮栎幼苗叶片水分关系和保护酶活性对干旱胁迫的响应[J].植物生态学报,2004,28(4):483-490.