

## 高温胁迫对玉米品种‘郑单 958’幼苗生长及部分生理指标的影响

吴小娟, 杨 雯, 解如琳, 张晓平<sup>①</sup>

(安徽师范大学生命科学学院, 安徽 芜湖 241000)

**Effects of high temperature stress on growth and some physiological indexes of seedling of *Zea mays* ‘Zhengdan 958’** WU Xiaojuan, YANG Wen, XIE Rulin, ZHANG Xiaoping<sup>①</sup> (College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(2): 117-119

**Abstract:** Growth status and some physiological indexes of seedling of *Zea mays* ‘Zhengdan 958’ were analyzed under high temperature (34 °C, 38 °C, and 42 °C) stress by taking (25±4) °C as the control. The results show that with increasing of treatment temperature, plant height, main root length, root/shoot ratio, and fresh weight per plant of seedling gradually decrease, while leaf area per plant gradually increases; SOD activity, POD activity, O<sub>2</sub><sup>-</sup> production rate, proline content and MDA content in leaf and root, and soluble protein content in leaf gradually increase, while soluble sugar content in leaf and root and soluble protein content in root gradually decrease. Overall, growth indexes and most physiological indexes of seedling under high temperature stress of 42 °C show significant differences ( $P < 0.05$ ) with those of the control group. Seedling of *Z. mays* ‘Zhengdan 958’ can enhance its tolerance under high temperature stress mainly by reducing the growth, increasing POD activity in root and proline and soluble protein contents in leaf.

**关键词:** 玉米品种‘郑单 958’; 高温胁迫; 生长指标; 生理指标

**Key words:** *Zea mays* ‘Zhengdan 958’; high temperature stress; growth index; physiological index

中图分类号: Q945.78; S513; X503.231 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)02-0117-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.02.15

高温胁迫可导致小麦 (*Triticum aestivum* Linn.)<sup>[1]</sup>、水稻 (*Oryza sativa* Linn.)<sup>[2]</sup> 和玉米 (*Zea mays* Linn.)<sup>[3]</sup> 等农作物的生长发育受阻、光合能力降低、生理活性受抑制, 继而使农作物减产。玉米是中国主要粮食作物之一, 高温胁迫对玉米生长和产量的影响较大。当温度大于或等于 32 °C 时, 玉米的生理指标和产量就会受到影响<sup>[4]</sup>; 当灌浆期气温达 35 °C 时, 玉米的根系生长和籽粒发育明显受阻<sup>[3]</sup>。虽然可通过高温锻炼<sup>[5]</sup> 和外源脯氨酸预处理<sup>[6]</sup> 等措施提升玉米品种耐热性, 但高温胁迫导致玉米减产的生理机制尚不明确。

玉米品种‘郑单 958’ (‘Zhengdan 958’) 具有高产、稳产、高抗和适应性强等优点。作者对不同高温条件下玉米品种‘郑单 958’ 幼苗的生长及部分生理指标进行分析, 以期为玉米耐热性的生理机制研究及耐热品种选育提供实验数据。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

于 2017 年 4 月 2 日, 选取饱满且无病虫害的玉米品种

‘郑单 958’ 种子播于不透光塑料盆 (口径 22 cm、底径 16 cm、高 18 cm) 中, 基质为 V(营养土):V(田园土)=1:1 的混合土, 每盆装基质约 3.5 kg, 共 24 盆。待种子萌发且幼苗长至第 3 枚叶完全展开后, 每盆保留长势基本一致的幼苗 3 株, 置于安徽师范大学园艺研究所温室大棚内进行高温处理。

#### 1.2 方法

1.2.1 高温处理方法 分别设置对照 (CK)、34 °C、38 °C 和 42 °C 4 个处理组, 每组 6 盆, 每盆 3 株幼苗。将供试幼苗随机分组后放入培养箱中, 于光照度 8 000 lx、光照时间 14 h·d<sup>-1</sup>、空气相对湿度 70%~80% 的条件下培养 6 d。其中, 对照放入温室大棚内, 温度控制在 (25±4) °C, 通过内外遮阳帘控制温室大棚内光照, 通过轴流风扇和微雾系统调节空气相对湿度。各处理组除处理温度不同外, 其他培养条件均一致, 期间采取常规水分管理。每处理组 6 个重复。

1.2.2 生长指标测定 每组随机挖取 6 株幼苗, 依次用自来水和蒸馏水冲洗干净, 吸干表面水分, 用卷尺 (精度 1 mm) 测量株高和主根长<sup>[7]</sup>, 并测量第 3 枚展叶的最大叶长和叶宽, 并计算单株叶面积; 用奥豪斯 AR1140 电子天平 (梅特勒-托利

收稿日期: 2017-11-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31571673)

作者简介: 吴小娟 (1990—), 女, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事植物逆境生理方面的研究工作。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: zhxp7463@mail.ahnu.edu.cn

多仪器(上海)有限公司,精度 0.1 mg)称量单株鲜质量;将单株的地上部(茎和叶)和根分开,分别于 105 °C 杀青 15 min,然后于 80 °C 烘干至恒质量,并分别称量地上部和根部的干质量。各指标均重复测定 3 次,结果取平均值。

1.2.3 生理指标测定 每组随机选 9 株幼苗,采集第 3 枚展叶和根用于生理指标测定,各 3 次重复。采用 NBT 法<sup>[8]268-269</sup>测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚法<sup>[8]123-124</sup>测定过氧化物酶(POD)活性;采用盐酸羟胺法<sup>[9]</sup>测定超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)产生速率;采用蒽酮比色法<sup>[8]127-128</sup>测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[8]159-160</sup>测定可溶性蛋白质含量;采用茚三酮法<sup>[10]</sup>测定脯氨酸含量;采用硫代巴比妥酸法<sup>[8]274-277</sup>测定丙二醛(MDA)含量。

### 1.3 数据处理

分别根据公式“根冠比=根干质量/地上部干质量”和“单株叶面积=Σ(叶长×叶宽×0.75)”计算根冠比和单株叶面积<sup>[11]</sup>。采用 EXCEL 2003 软件和 SPSS 19.0 软件分别进行数

据整理和单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 LSD 法和 Duncan 法进行多重比较分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 高温胁迫对幼苗生长的影响

经不同高温处理 6 d 后,玉米品种‘郑单 958’幼苗的生长指标变化见表 1。结果表明:随处理温度升高,幼苗的株高、主根长、单株鲜质量和根冠比均逐渐降低,而单株叶面积则逐渐增大。与对照组相比,各高温处理组幼苗的株高、主根长、单株鲜质量和根冠比均显著( $P<0.05$ )降低,在 42 °C 高温胁迫下,幼苗的株高、主根长、单株鲜质量和根冠比分别较对照组降低 20.90%、40.69%、17.97%和 17.14%,且各高温处理组间幼苗的株高和主根长也存在显著差异;在 42 °C 高温胁迫下,幼苗叶面积显著高于对照组,但在 34 °C 和 38 °C 高温胁迫下幼苗叶面积与对照组无显著差异。

表 1 高温处理 6 d 后玉米品种‘郑单 958’幼苗生长指标的比较( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Comparison on growth indexes of seedling of *Zea mays* ‘Zhengdan 958’ after treated by high temperature for 6 d ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理温度/°C Treatment temperature	株高/cm Plant height	主根长/cm Main root length	单株叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area per plant	单株鲜质量/g Fresh weight per plant	根冠比 Root/shoot ratio
25±4(CK)	43.07±0.06a	42.37±1.95a	140.17±8.74b	15.64±0.21a	0.35±0.01a
34	40.60±1.13b	38.70±0.62b	145.84±3.34ab	14.90±0.46b	0.31±0.02b
38	37.70±0.60c	28.60±0.89c	149.27±9.66ab	13.16±0.31c	0.30±0.02b
42	34.07±0.35d	25.13±1.05d	161.13±8.72a	12.83±0.32c	0.29±0.02b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

### 2.2 高温胁迫对幼苗生理特性的影响

经不同高温处理 6 d 后,玉米品种‘郑单 958’幼苗叶片和根中 SOD 和 POD 活性以及 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率的变化见表 2。结果表明:随处理温度升高,幼苗叶片和根中 SOD 和 POD 活性以及 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率均逐渐升高,其中,各高温处理组幼苗叶片中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率以及根中 POD 活性总体上显著( $P<0.05$ )高于对照组,但叶片中 POD 活性以及根中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率均与对照组无显著差异。在 38 °C 高温胁迫下,叶片中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率分别较对照组增加 21.12%

和 319.78%,根中 POD 活性较对照组增加 52.93%;在 42 °C 高温胁迫下,叶片中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率则分别较对照组增加 25.93%和 404.40%,根中 POD 活性则较对照组增加 76.28%。总体上看,叶片中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率高于根,而叶片中 POD 活性明显低于根。

经不同高温处理 6 d 后,玉米品种‘郑单 958’幼苗叶片和根中可溶性糖、可溶性蛋白质、脯氨酸和 MDA 含量的变化见表 3。结果表明:随处理温度升高,幼苗叶片中可溶性蛋白质含量以及叶片和根中脯氨酸和 MDA 含量均逐渐升高,而叶片

表 2 高温处理 6 d 后玉米品种‘郑单 958’幼苗叶片和根中 SOD 和 POD 活性及 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率的比较( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison on activities of SOD and POD, and O<sub>2</sub><sup>-</sup> production rate in leaf and root of seedling of *Zea mays* ‘Zhengdan 958’ after treated by high temperature for 6 d ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理温度/°C Treatment temperature	SOD 活性/U · g <sup>-1</sup> SOD activity		POD 活性/U · g <sup>-1</sup> POD activity		O <sub>2</sub> <sup>-</sup> 产生速率/nmol · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> <sup>-</sup> production rate	
	叶片 Leaf	根 Root	叶片 Leaf	根 Root	叶片 Leaf	根 Root
25±4(CK)	104.78±8.52b	56.44±7.77a	84.41±13.16a	224.00±14.47c	0.91±0.18b	1.07±0.57a
34	122.05±4.64a	62.26±11.29a	87.30±25.63a	334.95±2.19b	1.70±0.69b	1.32±0.32a
38	126.91±9.40a	63.81±3.79a	91.56±19.57a	342.57±26.11b	3.82±0.44a	1.49±0.47a
42	131.95±4.78a	67.44±3.35a	110.59±5.06a	394.86±18.13a	4.59±0.53a	1.87±0.86a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

表 3 高温处理 6 d 后玉米品种‘郑单 958’幼苗叶片和根中可溶性糖、可溶性蛋白质、脯氨酸和 MDA 含量的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>  
 Table 3 Comparison on contents of soluble sugar, soluble protein, proline, and MDA in leaf and root of seedling of *Zea mays* ‘Zhengdan 958’ after treated by high temperature for 6 d ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理温度/℃ Treatment temperature	可溶性糖含量/mg · g <sup>-1</sup> Soluble sugar content		可溶性蛋白质含量/mg · g <sup>-1</sup> Soluble protein content		脯氨酸含量/μg · g <sup>-1</sup> Proline content		MDA 含量/μmol · g <sup>-1</sup> MDA content	
	叶片 Leaf	根 Root	叶片 Leaf	根 Root	叶片 Leaf	根 Root	叶片 Leaf	根 Root
25±4 (CK)	1.10±0.12a	1.39±0.15a	11.16±1.24c	5.08±1.77a	3.40±0.47d	3.65±0.52b	2.79±0.36b	0.39±0.05b
34	0.93±0.18ab	1.32±0.26a	13.37±0.85bc	4.91±1.16a	5.73±0.41c	3.79±0.38b	3.40±0.43b	0.42±0.05b
38	0.86±0.14ab	1.19±0.15ab	14.13±1.76b	4.51±0.58a	7.00±0.98b	4.25±0.61ab	3.51±0.38ab	0.58±0.05a
42	0.83±0.06b	0.92±0.19b	22.39±0.49a	4.37±1.23a	10.08±0.24a	5.04±0.79a	4.44±0.72a	0.60±0.03a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ).

和根中可溶性糖含量以及根中可溶性蛋白质含量均逐渐降低。与对照组相比,各高温处理组叶片中可溶性蛋白质和脯氨酸含量总体上显著增加,而各高温处理组根中可溶性蛋白质含量则差异不显著;其他指标均表现为在 34 °C 和 38 °C 高温胁迫下与对照组总体上无显著差异,但在 42 °C 高温胁迫下与对照组差异显著。在 42 °C 高温胁迫下,叶片和根中可溶性糖含量以及根中可溶性蛋白质含量分别较对照组降低 24.55%、33.81% 和 13.98%,叶片中可溶性蛋白质含量、叶片和根中脯氨酸含量以及叶片和根中 MDA 含量分别较对照组增加 100.63%、196.47%、38.08%、59.13% 和 53.85%。总体上看,叶片中可溶性糖含量低于根,而叶片中可溶性蛋白质、脯氨酸和 MDA 含量高于根。

### 3 讨论和结论

上述研究结果表明:不同高温处理对玉米品种‘郑单 958’幼苗的生长有不同程度的抑制作用。随处理温度升高,幼苗的株高、主根长、单株鲜质量和根冠比均逐渐降低,且株高和主根长显著 ( $P < 0.05$ ) 降低,说明 34 °C 以上高温对玉米幼苗生长有一定阻碍作用,且温度越高,阻碍作用越明显。与对照组相比,随处理温度升高,幼苗根中 POD 活性、叶片中 SOD 活性和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 产生速率总体上显著升高,说明无论在叶片还是根中,当活性氧积累时均可通过提高抗氧化酶活性减轻高温胁迫带来的伤害,但叶片和根可能具有不同的抗氧化机制。随处理温度升高,叶片和根中可溶性糖含量均逐渐降低,可能与高温导致植株呼吸加强,体内糖类消耗增加有关。随处理温度升高,叶片和根中可溶性蛋白质、脯氨酸和 MDA 含量均逐渐升高(根中可溶性蛋白质除外),说明在高温条件下,该玉米品种的幼苗通过增加叶片中可溶性蛋白质和脯氨酸含量维持细胞渗透势,减轻高温的伤害;而根中可溶性蛋白质含量降低,可能与“高温导致根部的蛋白质合成酶失活,蛋白质合

成受阻”<sup>[12]</sup>有关。综合分析表明:在高温胁迫下,玉米品种‘郑单 958’幼苗主要通过延缓生长、增加根中 POD 活性及叶片中脯氨酸和可溶性蛋白质含量来提高自身的抗逆性。

### 参考文献:

- [1] 李 昱, 康建宏, 吴宏亮. 春小麦花后高温胁迫对产量及叶片保护酶活性的影响[J]. 宁夏农林科技, 2017, 58(4): 1-4, 16.
- [2] 谭诗琪, 申双和, 邓丽蓉. 高温热害对水稻生长的影响及其应对措施[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(7): 1633-1636.
- [3] 陶志强, 陈源泉, 隋 鹏, 等. 华北春玉米高温胁迫影响机理及其技术应对探讨[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(4): 20-27.
- [4] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 59-62.
- [5] CRAFTS-BRANDNER S J, SALVUCCI M E. Sensitivity of photosynthesis in a C<sub>4</sub> plant, maize, to heat stress [J]. Plant Physiology, 2002, 129(4): 1773-1780.
- [6] 李忠光, 郭 颖, 杨双梅, 等. 热诱导的玉米幼苗耐热性及其与脯氨酸的关系[J]. 广西植物, 2010, 30(3): 403-406.
- [7] 王蒙蒙, 徐志刚, 焦学磊, 等. 不同光照时间红蓝 LED 光对生菜生长和品质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(2): 113-115.
- [8] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [9] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 55-57.
- [10] 白建芬, 裴玉贺, 赵秋霞, 等. 干旱胁迫下玉米幼苗几种生理生化指标的变化[J]. 山东农业科学, 2012, 44(3): 25-28.
- [11] 杜彩艳, 段宗颜, 潘艳华, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和保护酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 124-129.
- [12] 马英姿, 张 慧, 宋 荣, 等. 高温胁迫对蛇足石杉生理特性的影响[J]. 中草药, 2013, 44(2): 224-228.

(责任编辑: 郭严冬)