

干旱胁迫下不同生态型西瓜叶片抗氧化酶活性及产量分析

张化生, 杨永岗, 苏永全, 李晓芳
(甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 选取 11 份不同生态型西瓜品种为研究对象, 通过比较它们在旱砂田和正常供水条件下的生理响应, 研究开花期不同生态型西瓜叶片抗氧化酶活性等生理特性。结果表明: 旱砂田生长环境对西瓜形成较为强烈的干旱胁迫作用, 不同生态型西瓜产量均降低, 大果形西瓜产量降低幅度为 18.6% ~ 35.3%, 小果形降低 59.7% ~ 67.8%, 且品种间存在显著差异。分析认为大果形西瓜抗旱性优于小果形; 干旱胁迫下, 叶片丙二醛、脯氨酸积累, 抗氧化酶 SOD、POD、CAT 活性增加, 表明西瓜对于旱生长环境具有较高的敏感性, 但不同生态型西瓜对于旱生长环境的生理响应存在显著差异; 大果形西瓜品种脯氨酸含量、SOD、POD、CAT 活性增幅较大, 分别为 83.2% ~ 121.4%、55.2% ~ 75.3%、118.1% ~ 204.4%、52.0% ~ 86.6%, 而丙二醛含量增加幅度较小, 为 13.4% ~ 39.8%; 综合比较不同生态型西瓜产量和生理响应差异, 认为不同生态型西瓜在旱砂田条件下均有一定的产量形成, 且大果形西瓜抗旱性优于小果形, 品种(组合)中青 9 号、NWU-13、陇抗 9 号、陇抗 11 号、JY12、津抗 5 号抗旱性较强, 适合旱砂田栽培应用。

关键词: 西瓜; 干旱胁迫; 抗氧化酶; 果形产量; 旱砂田
中图分类号: S651 **文献标志码:** A

Antioxidant enzymes activities in leaves and yield analysis of different ecological types watermelon under drought stress

ZHANG Hua-sheng, YANG Yong-gang, SU Yong-quan, LI Xiao-fang
(Vegetable Research Institute of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The aim of this experiment was to study the relationship between yield and antioxidant enzyme activity in leaves of different ecological types of watermelon during flowering period. Eleven watermelon varieties with different ecotypes were grew in gravel – mulched field (water shortage) and normal water supply condition, the malondialdehyde (MDA), proline content and antioxidant enzymes activity such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) in leaves were measured. The results showed that there existed marked drought stress in gravel-mulched field, yields of all types of watermelon were decreased, being 18.6% ~ 35.3% and 59.7% ~ 67.8% in large fruit size and small fruit size, respectively, suggesting that large fruit size possessed stronger drought resistance than that of small one. In addition, there were significant differences among varieties. Under drought stress, MDA, proline content, as well as SOD, POD, CAT activity in leaves were increased, indicating that watermelon was sensitive to drought. Moreover, the response of watermelon to drought were variety dependent. The content of proline, activity of SOD, POD, CAT in large fruit size varieties in creased by 83.2% ~ 121.4%, 55.2% ~ 75.3%, 118.1% ~ 204.4%, 52.0% ~ 86.6%, respectively, the range was greater than that of small fruit size varieties, meanwhile, the content of MDA increased by 13.4% ~ 39.8%, the range was smaller than that of small fruit size. Taking fruit yield and physiological response into consideration, we argued that all ecotypes of watermelons gained a certain yield level under gravel-mulched conditions, and large fruit watermelon had a stronger drought resistance than small fruit did. Zhongqing 9, NWU-13, Longkang 9, Longkang 11, JY12 and Jinkang 5 had stronger drought resistance, which may be suitable for gravel-mulched field.

Keywords: watermelon; drought stress; antioxidant enzymes; fruit shape yield; gravel-mulched field

旱砂田西瓜已成为西北干旱区农业的特色支柱产业之一,栽培面积逐年增加^[1]。近年来,受气候干旱化趋势加重和水资源短缺的影响,该项技术愈受重视^[2-6],特别是振兴砂田产业的新形势下^[7],如何提高西瓜产量和生产效益是西北干旱地区农业发展的关键。干旱胁迫是西北干旱区西瓜栽培的主要问题^[2]。植物对于干旱胁迫的反应与适应性有两个方面:一是植物形态解剖对于干旱胁迫的反应和适应性,主要包括叶片和根系的生长排列和结构的变化;二是植物对于干旱胁迫的生理生化反应和适应性,主要包括渗透调节、光合和呼吸代谢、蒸腾作用、活性氧代谢、糖代谢、核酸代谢和内源激素等^[8,13]。由于作物生理过程的复杂性和环境条件的多变和综合性,使作物适应干旱的方式也多样化,且许多作物具有多种适应方式,同一物种的不同生态类型与不同阶

段对于干旱的适应方式也不相同^[8,13-14]。前人在西瓜对于干旱胁迫及其生理生化指标进行了大量研究^[2-7],但试验结果多数是在实验室人为模拟水分亏缺状态下取得,对旱砂田环境下不同生态型西瓜的适应性研究不够充分。本研究采用正常大田生长环境和旱砂田自然干旱胁迫处理,选取不同生态型的西瓜品种,探讨干旱胁迫下叶片抗氧化酶活性等生理指标和产量的变化,为西瓜抗旱育种、旱砂田的高效栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参加试验材料共 11 份:中青 5 号、NWU-13、ZGS-16、津抗 5 号、陇抗 11 号、陇抗 9 号、11PB09、JY-012、BSS-945、S-505、LS-917。

表 1 供试西瓜品种基本情况

Table 1 A brief description of the watermelon varieties

品种名称 Varieties	选育单位 Origin	品种特征特性 Characteristics of varieties	果形大小 Fruit shape
中青 5 号	宁夏中青农业科技有限公司 Ningxia Zhongqing Agricultural Technology and Science Co., Ltd.	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
NWU-13	西北农林科技大学园艺学院 College of Horticulture, Northwest A & F University	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
ZGS-16	中国农科院郑州果树研究所 Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
津抗 5 号	天津科润蔬菜研究所 Tianjin Kernel Vegetable Research Institute	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
陇抗 11 号	甘肃省农业科学院蔬菜研究所 Vegetable Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
陇抗 9 号	甘肃省农业科学院蔬菜研究所 Vegetable Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
11PB09	甘肃省农业科学院蔬菜研究所 Vegetable Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences	椭圆、花皮、红瓤 Ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
JY-012	新疆葡萄瓜果开发研究中心 Xinjiang Development and Research Center of Grape and Melon	短椭、花皮、红瓤 Short ellipsoidal, green-skinned and dark green blet, red flesh	大 Large
BSS-945	上海实满丰种业有限公司 Shanghai Shimanfeng Seed Industry Co., Ltd.	高圆、花皮、红瓤 Sakamado, green-skinned and dark green blet, red flesh	小 Small
S-505	宁夏农林科学院种质资源研究所 Institute of Germplasm Resources, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences	圆、花皮、红瓤 Spherical, green-skinned and dark green blet, red flesh	小 Small
LS-917	黑龙江农业科学院园艺分院 Horticultural Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences	圆、花皮、红瓤 Spherical, green-skinned and dark green blet, red flesh	小 Small

1.2 试验设计

试验于 2014 年在两种生态环境下进行,研究不同西瓜品种的环境适应性和生理响应。其一,在旱砂田环境进行(T),试验地点是甘肃省皋兰县中心乡三坪村,海拔 1 800 m 左右,2014 年试验区降雨量为 289.5 mm,西瓜生育期降雨量为 106.04 mm(图 1),属于严重的欠水年份;其二,在正常灌溉条件下进行(CK),在甘肃省农业科学院蔬菜研究所西瓜甜

瓜育种基地塑料大棚内,在伸蔓期、坐果期、果实膨大期进行灌溉,伸蔓期灌水 20 m³,坐果期和果实膨大期灌水 30 m³。两组试验均为随机区组排列,3 次重复,以品种为小区,小区面积 9 m²。T 处理西瓜全生育期处于自然水分胁迫状态下,CK 处理则在开花、坐果、果实膨大期间进行灌溉,以保证西瓜正常生长发育。开花期采西瓜叶片鲜样进行生理生化指标测定;于果实成熟期测定小区产量。

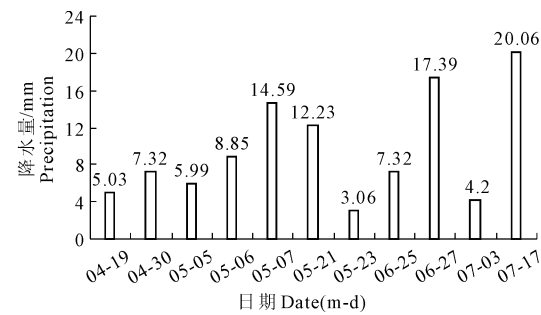


图 1 旱砂田西瓜全生育期降水量

Fig.1 Precipitation during the whole growth stage of gravel-mulched watermelon

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤含水量 用烘干法、称重法测定土壤含水量,分别在西瓜播种期、开花期、坐果期、果实膨大期 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm 土壤含水量进行测定。用土钻采取土样,在 105℃ 的烘箱内将土样烘 6 ~ 8 h 至恒重,土壤含水量 = (烘干前铝盒及土样质量 - 烘干后铝盒及土样质量)/(烘干后铝盒及土样质量 - 烘干空铝盒质量) × 100%

1.3.2 生理生化指标 在开花期对西瓜叶片鲜样进行生理生化指标测定。游离脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取后采用酸性茚三酮显色法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法(TBA)测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)还原法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定,以 1 min 内 A240 降低 0.1 为一个酶活性单位(U);以上各项指标测定参照高俊凤等方法^[9]。

1.4 抗旱性评判

以兰巨生等提出、胡福顺修订和 GB/T21127—2007 规定的抗旱指数(IDR),评价每份参试材料的抗旱性^[10]:

$$IDR = Y_{待测}^2 \times y_{对照} / (Y_{对照}^2 \times y_{待测})$$

式中, $Y_{待测}$ 和 $Y_{对照}$ 分别为待测材料 and 对照品种在水分胁迫(旱地)条件下的产量; $y_{待测}$ 和 $y_{对照}$ 分别为待测材料 and 对照品种在浇灌(水地)条件下的产量。 IDR 越大,则待测材料的抗旱性也越强。具体分级为: $IDR \geq 1.3$, 极强; $1.3 > IDR \geq 1.1$, 强; $1.1 > IDR \geq 0.9$, 中等; $0.9 > IDR \geq 0.7$, 弱(S); $IDR < 0.7$, 极弱。

1.5 数据处理与分析

用 Excel 2007 和 DPS 统计分析软件处理数据、Tukey 法检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同处理西瓜生育期土壤含水量

从表 2 可以看出,西瓜全生育期旱砂田土壤 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 含水量均显著低于对照。旱砂田土壤 0 ~ 20 cm 含水量 6.63% ~ 10.99%, 20 ~ 40 cm 含水量 3.94% ~ 10.3%, 西瓜开花期土壤含水量最低,仅有 3.94%,对西瓜生长形成较严重的干旱胁迫;正常供水条件土壤 0 ~ 20 cm 含水量 12.87% ~ 15.44%, 20 ~ 40 cm 含水量 11.48% ~ 15.32%, 西瓜开花期土壤含水量最低,水地西瓜开花期适度的水分亏缺有利于培育壮苗。

表 2 不同处理西瓜生育期土壤含水量

Table 2 Soil moisture content of different treatments at watermelon growth stages

处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth	播种期/% Sowing stage	开花期/% Flowering stage	坐果期/% Fruit set stage	果实膨大期/% Fruit expansion
T	0 ~ 20	10.34b	6.63b	7.74b	10.99b
	20 ~ 40	10.3b	3.94b	3.50b	5.03b
CK	0 ~ 20	14.6a	12.87a	15.44a	14.35a
	20 ~ 40	14.3a	11.48a	15.32a	13.96a

注:表中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters show significant difference at $P < 0.05$ level, the same as below.

2.2 不同生态型西瓜品种产量和抗旱性评价

不同生态型西瓜品种在正常供水和旱砂田条件下适应性不同,正常供水条件下产量均显著高于旱砂田,且品种间也存在差异(表 3)。正常供水下 ZGS-6 产量为 $3\,659.6\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^{-2}$,显著高于其它品种;其次是陇抗 9 号、陇抗 11 号、11PB09、津抗 5 号、BSS-945、NWU-6 产量差异不显著,LS-917、S-505

产量最低;在旱砂田条件下,大果形西瓜品种产量不存在显著差异,小果形西瓜 BSS-945、LS-917、S-505 产量显著低于大果形。采用产量抗旱指数评价品种的抗旱性是比较准确可靠的鉴定方法^[10]。研究结果表明,以陇抗 9 号作为对照品种,不同生态型西瓜品种抗旱性存在差异:中青 9 号、NWU-13、陇抗 9 号、陇抗 11 号、JY12、津抗 5 号属于中等抗旱

性;ZGS - 6、11PB09 抗性较弱;BSS - 945、LS - 917、S - 505 抗旱性极弱;大果形西瓜抗旱性较强。

2.3 不同生长环境下西瓜叶片丙二醛含量的变化

本试验中用 MDA 含量来衡量西瓜在不同生长环境下脂质过氧化程度。从图 2 可以看出,旱砂田条件下西瓜叶片 MDA 含量显著高于正常供水。与对照相比,各品种 MDA 含量均增加,变化幅度在 13.4%~93.6%;其中 BSS - 945、LS - 917、S - 505 MDA 含量增幅显著高于其它品种;正常供水下不同生态型西瓜叶片 MDA 含量在 6.5~7.8 μmol·g⁻¹,品种间西瓜叶片 MDA 含量相差较小,西瓜类型间不存在差异;但在旱砂田条件下,小果形西瓜叶片 MDA 含量均高于大果形,表明西瓜类型对环境的敏感性存在显著差异,且小果形西瓜对环境较为敏感,膜脂过氧化程度较高。

2.4 不同生长环境下西瓜叶片脯氨酸含量变化

植物体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性,抗旱性强的品种往往积累较多的脯氨酸^[12]。从图 3 可以看出,在旱作条件西瓜叶片脯氨酸含量均高于正常供水,表明水分亏缺促进西瓜脯氨酸积累;正常供水条件下,不同西瓜叶片脯氨酸含量 43.2~54.6 μg·g⁻¹,品种间相差 0~11.4 μg·g⁻¹;干旱条件下,不同西瓜叶片脯氨酸含量 63.0~110.3 μg·g⁻¹,品种间相差 0~47.3 μg·g⁻¹;大果形西瓜脯氨酸含量变幅较大,且显著高于小果形;旱砂田条件下,品种 ZGS - 6、陇抗 9 号、陇抗 11 号、11PB09、JY - 012 脯氨酸含量显著高于其它品种,说明以上品种具有较强的抗旱性;品种 BSS - 945、LS - 917、S - 505 抗旱性较差,不适合旱作栽培。

表 3 不同类型西瓜产量和抗旱性评价

Table 3 Yield and evaluation of drought resistance of different watermelon varieties					
品种 Varieties	正常供水产量 Yield of normal water supply /(kg·667m ⁻²)	干旱胁迫产量 Yield of drought stress/(kg·667m ⁻²)	产量变幅/% Yield amplitude	抗旱指数 Drought resistance index	抗旱性 Drought resistance
中青 5 Zhongqing 5	2833.5c	2289.7a	19.2	1.04	中等 Medium
NWU - 13	2903.1bc	2279.9a	21.5	1.01	中等 Medium
ZGS - 6	3659.6a	2369.5a	35.3	0.87	弱 Weak
陇抗 9 号 Longkang 9	3192.9b	2379.3a	25.5	1.00	中等 Medium
陇抗 11 号 Longkang 11	3034.1bc	2279.7a	24.9	0.97	中等 Medium
11PB09	3109.3bc	2110.6a	32.1	0.81	弱 Weak
JY12	2805.1c	2283.9a	18.6	1.05	中等 Medium
津抗 5 号 Jinkang 5	3156.1bc	2376.4a	24.7	1.01	中等 Medium
BSS - 945	2933.8bc	945.9b	67.8	0.17	极弱 Very weak
LS - 917	2354.8d	919.9b	60.9	0.20	极弱 Very weak
S - 505	2393.8d	965.1b	59.7	0.22	极弱 Very weak

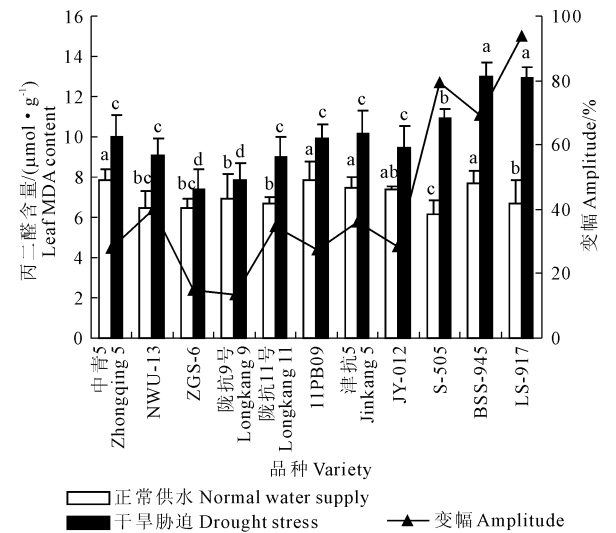


图 2 西瓜叶片 MDA 含量
Fig.2 MDA content of watermelon leaves

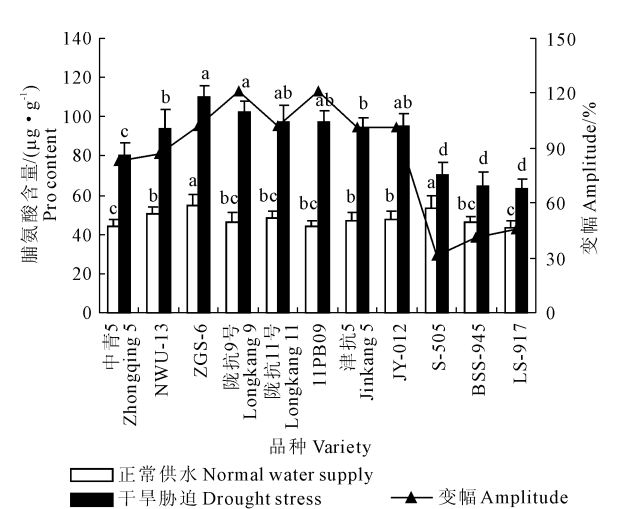


图 3 脯氨酸含量变化
Fig.3 Changes of proline content

2.5 不同处理对西瓜叶片 SOD 酶活性的影响

从图 4 可以看出,不同生态型西瓜叶片 SOD 活性在旱作条件显著高于正常供水条件,各西瓜品种 SOD 活性均增加,且品种间 SOD 活性存在显著差异;大果形西瓜 SOD 活性变化幅度 55.2% ~ 75.3%,小果形西瓜变化幅度 37.8% ~ 43.7%,除品种 ZGS-6 和 JY-012 外,大果形西瓜品种 SOD 活性变化幅度均显著高于小果形。前人研究表明,轻度和中度干旱可诱导 SOD 活性增强,而重度干旱可使 SOD 活性降低,抗旱性较强的植物能维持体内较高的活性氧清除酶活性^[13]。综合分析 SOD 活性大小和变幅判断:大果形西瓜的抗旱性优于小果形,品种陇抗 9 号、11PB09、津抗 5 号抗旱性较强,S-505、BSS-945、LS-917 较差。

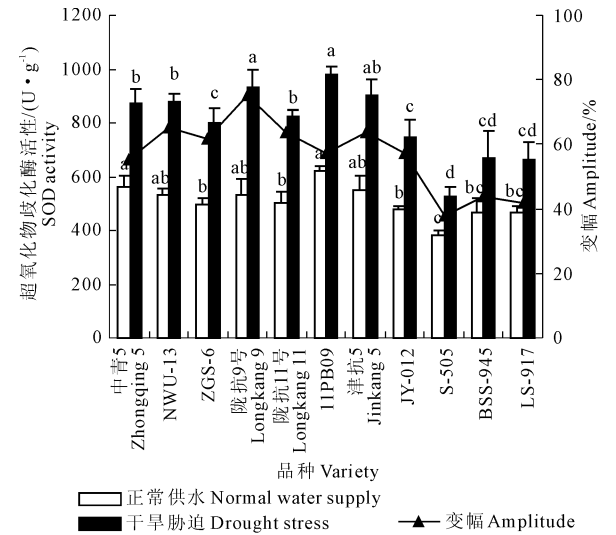


图 4 SOD 酶活性变化

Fig.4 Changes of SOD enzyme activity

2.6 不同处理对西瓜叶片 POD 酶活性的影响

POD 是植物体内担负清除 H₂O₂ 的主要酶类之一,POD 能催化其它底物后产生 H₂O₂。POD 活性与作物的抗旱性密切相关^[8]。从图 5 可以看出,在旱作条件下,各品种西瓜叶片中 POD 活性均显著高于正常供水,说明干旱胁迫促进西瓜叶片 POD 活性增大;大果形西瓜叶片中 POD 活性 65.1 ~ 92.2 U·g⁻¹,小果形西瓜 50.9 ~ 60.5 U·g⁻¹,大果形西瓜叶片 POD 活性显著高于小果形;在正常供水条件下,大果形西瓜叶片 POD 活性与小果形不存在显著差异。从西瓜叶片 POD 活性的变化幅度可以看出,大果形显著高于小果形,表明大果形西瓜对干旱胁迫具有较强的适应性,与小果形西瓜相比具有较强的抗旱性。

2.7 不同处理对西瓜叶片 CAT 酶活性的影响

CAT 在干旱胁迫下活性增加,CAT 只有在水分

胁迫达到一定程度时才发挥作用^[8]。从图 6 可以看出,西瓜在旱作条件下 CAT 活性显著高于正常供水条件,说明旱砂田土壤水分亏缺达到一定程度,CAT 活性显著增加且发挥作用;不同类型西瓜品种 CAT 活性变化存在显著差异,大果形西瓜 CAT 活性大于小果形西瓜,表明大果形西瓜对旱作生长环境有较强的适应性,其中 ZGS-6、陇抗 9 号抗旱性优于其它品种。

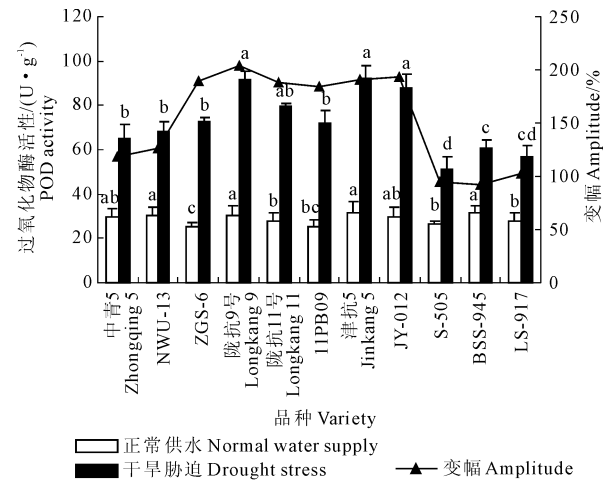


图 5 POD 酶活性变化

Fig.5 Changes of POD enzyme activity

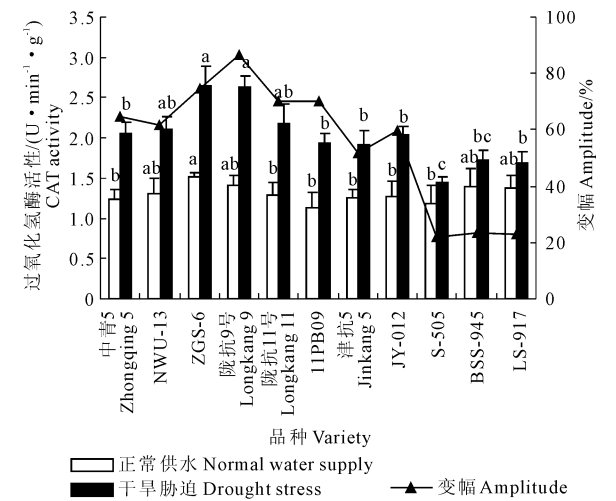


图 6 CAT 酶活性变化

Fig.6 Changes of CAT enzyme activity

3 讨论

西北干旱区降水稀少,季节性干旱频发,旱砂田西瓜开花期干旱时有发生,严重影响西瓜的产量形成^[1-5]。探索不同抗旱能力品种在旱砂田下的生理生化特征,对于西瓜抗旱高产育种及栽培具有重要意义。

水分胁迫影响作物生长发育的各个阶段,胁迫强度、时间长短、生育期不同,水分胁迫对作物的影

响也不相同。一般通过选择某一发育阶段的植株来测定其抗旱性^[8,14]。在自然环境胁迫下选择对环境胁迫比较敏感的生长时期,对植株进行抗旱性测定,可以在严格的环境下测量^[8,13-14]。前人对西瓜抗旱性鉴定以及西瓜在干旱胁迫下的生理响应等方面做了许多研究^[3-5],但多数基于盆栽的土壤干旱条件下或西瓜苗期进行,试验结果存在一定的局限性。本研究在旱砂田条件下选取对环境胁迫敏感性不同的西瓜品种,在对水分敏感的伸蔓期进行生理生化指标进行测定,该生育期正好是旱砂田土壤含水量最低的时候,干旱胁迫最为严重,土壤 0~20 cm 含水量 6.63%,20~40 cm 含水量 3.94%。

当干旱发生时,植物体通过组织内发生一定的适应性变化,可以调节干旱逆境对组织的伤害。但随着干旱程度的增加,由于植株脱水而导致结构功能损害,严重影响产量形成^[8,13-14]。本研究田间水旱对比试验品种抗旱指数和产量及其变幅可以看出,西瓜品种间对干旱的适应能力差异较大,大果形品种抗旱性优于小果形,而这一结果从生理学的角度亦可得到解释。植物在遭受干旱胁迫时,细胞膜发生过氧化作用而受到损伤,MDA 是脂质过氧化作用的产物之一,是检测膜损伤程度的公认指标^[15]。正常条件下,植物体内活性氧的产生和清除处于一个相对稳定的动态平衡状态,干旱逆境因为光合电子传递链过度还原而使 H_2O_2 、 O_2^- 等活性氧不断增加,进而间接启动膜质过氧化而使 MDA 含量大量积累^[8,13-14]。本研究结果显示,旱砂田环境下,西瓜叶片 MDA 含量显著高于对照,抗旱性强的品种 MDA 的积累量相对较少,说明细胞膜发生过氧化作用受损较轻,这与莫言玲等^[4-5]的研究结果一致。植物为保护自身免受活性氧的伤害,可通过提高抗氧化酶活性清除植物内的自由基。保护酶活性可以看出植物膜系统受伤害程度,SOD、POD、CAT 都是植物组织防御系统中的重要保护酶^[14],本研究中不同生态型西瓜的 SOD、POD、CAT 活性对干旱胁迫的响应方式相同,这与鞠乐等^[11-12]在研究大麦和大豆对干旱胁迫的响应结果相似。抗旱性强的品种 SOD、POD、CAT 活性明显高于抗旱性弱的品种,且抗旱性强的品种 SOD、POD、CAT 活性增加幅度较大。

渗透调节主要通过植物细胞在干旱胁迫下主动积累溶质来降低水势以从外界水势较低的介质中继续吸水,维持膨压等生理过程。目前在许多植物和作物上发现有渗透调节能力,但植物的渗透调节强度是随物种和基因型的不同而异^[16],在有机渗透调节物质中,目前研究最多的是脯氨酸。各种逆境都会引起植物体内脯氨酸累积,尤其干旱胁迫累积最

多,可比原始含量增加几十倍到几百倍^[14]。脯氨酸含量变化常被用作渗透调节能力大小的生理指标。本研究中干旱胁迫下不同类型西瓜品种叶片中脯氨酸含量均显著增加,抗旱能力强的品种脯氨酸含量增加幅度大,这与莫言玲^[5]研究不同基因型西瓜对干旱胁迫的生理响应结果类似。

综上所述,本研究基于旱砂田自然环境下,在对干旱胁迫较为敏感的开花期研究不同生态型西瓜的生理响应,这对旱砂田品种选择、抗旱育种的针对性具有重要的辅助作用。本研究结果尽管是一年试验研究获得,但试验设计基于大田生产实际,试验结果可真实地反映不同生态型西瓜的抗旱性。

参考文献:

- [1] 马忠明,杜少平,薛亮.覆砂年限对砂田砂层质量、土壤水热状况及西瓜生长的影响[J].中国沙漠,2013,33(5):1433-1439.
- [2] 吴宏亮,康建宏,陈阜,等.不同轮作模式对砂田土壤微生物区系及理化性状的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(6):674-680.
- [3] 刘东顺,杨万邦,赵晓琴,等.西北旱砂田西瓜抗旱性鉴定指标与方法初探[J].中国蔬菜,2008,(7):17-21.
- [4] 张海英,宫国义,郭绍贵,等.西瓜种质资源抗旱性苗期筛选与评价[J].植物遗传资源学报,2011,12(2):223-226.
- [5] 莫言玲,郑俊骞,杨瑞平,等.不同西瓜基因型对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价[J].应用生态学报,2016,27(4):
- [6] 逢蕾,肖洪浪,路建龙,等.干旱半干旱地区砂田结构及水分特征[J].中国沙漠,2012,32(3):698-704.
- [7] 陈年来,刘东顺,王晓晓,等.甘肃砂田的研究与发展[J].中国瓜菜,2008,(2):29-31.
- [8] 杨帆,苗灵凤,胥晓,等.植物对干旱胁迫的响应研究进展[J].应用与环境生物学报,2007,13(4):586-591.
- [9] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 周国雁,伍少云.不同云南小麦种质资源的全生育期抗旱性及与主要农艺性状的相关性[J].华南农业大学学报,2013,34(3):309-315.
- [11] 鞠乐,齐军仓,贺雪,等.大麦种子萌发期对渗透胁迫的响应及抗旱性鉴定指标的筛选[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):172-176.
- [12] 王燕平,王晓梅,侯国强,等.干旱胁迫对不同生态型大豆生理生化特征的影响[J].中国农学通报,2014,30(12):93-100.
- [13] 林宇丰,李魏,戴良英.抗氧化酶在植物抗旱过程中的功能研究进展[J].作物研究,2015,29(3):326-340.
- [14] 邵艳军,山仑.植物耐旱机制研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(4):16-20.
- [15] Hodges D M, DeLong J M, Fomey C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. Planta, 1999, 207(4):604-611.
- [16] Chaves M, Oliveira M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits prospects for water-saving agriculture[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55 (407):2365-2384.