

# 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 幼苗生长生理的影响

齐颖, 罗平, 胡小京\*

(贵州大学 农学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 该研究采用盆栽法, 于百日草幼苗期叶面喷施不同浓度(100、150、200、250 和 300 mg · kg<sup>-1</sup>)三唑酮(triadimefon, TD)预处理后进行自然干旱和复水处理, 分析百日草植株农艺性状及生理特性的变化, 并筛选出对百日草抗旱效果最佳的三唑酮浓度, 以明确三唑酮对干旱胁迫下百日草幼苗生长的影响机理, 为百日草的抗旱栽培应用及抗性品种选育提供理论依据。结果显示: (1)不同浓度的 TD 预处理能明显提高百日草幼苗的抗旱能力, 表现为增加幼苗植株的根长、茎粗、根冠比, 降低幼苗的株高, 减少叶面积, 达到缓解干旱带来的伤害; 同时能促进叶绿素(Chl)、可溶性蛋白(SP)和脯氨酸(Pro)含量的增加, 提高过氧化物酶(POD)及超氧化物歧化酶(SOD)活性, 减缓相对电导率(REC)和丙二醛(MDA)含量的升高。(2)复水后, 各处理株高、根长及茎粗均增加, 同时, 增加 Chl、SP、Pro 的含量, POD、SOD 活性也有所提高, REC 和 MDA 含量逐渐降低。(3)隶属函数分析显示, 250 mg · kg<sup>-1</sup> 的三唑酮对百日草的抗旱性促进效果最好。

**关键词:** 百日草; 三唑酮; 干旱胁迫; 生长; 生理特性

**中图分类号:** S681.9; Q945.78 **文献标志码:** A

## Effects of Triadimefon Pretreatment on the Growth and Physiology of *Zinnia elegans* Seedlings under Drought Stress

QI Ying, LUO Ping, HU Xiaojing\*

(College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In this study, the potted method was used. We sprayed triadimefon (TD) with different concentrations (100, 150, 200, 250, 300 mg · kg<sup>-1</sup>) on the leaves of *Zinnia elegans* at the seedling stage, and then treated with natural drought and rehydration. The changes of agronomic and physiological characteristics of *Z. elegans* were analyzed, and the TD concentration with the best drought resistance effect was also selected to clarify the effect mechanism of TD on the growth of *Z. elegans* seedlings under drought stress, so as to provide a theoretical basis for the application of drought resistance cultivation and the breeding of resistant varieties. The results showed that: (1) different concentrations of TD pretreatment can significantly improve the drought resistance of *Z. elegans* seedlings, such as increasing the root length, stem diameter and root shoot ratio of seedlings, reducing the plant height and leaf area, so as to alleviate the damage caused by drought; it can also promote the increase of chlorophyll (Chl), soluble protein (SP) and proline (Pro) contents, improve the activities of peroxidase (POD) and superoxide dis-

收稿日期: 2021-09-12; 修改稿收到日期: 2021-11-11

基金项目: 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2019]5-3号, 筑科合同[2021]3-5号)

作者简介: 齐颖(1999—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事观赏植物的生理生化研究。E-mail: 1070143984@qq.com

\* 通信作者: 胡小京, 副教授, 硕士生导师, 主要从事园艺植物栽培生理及生物技术研究。E-mail: gdhxjyy@163.com

mutase (SOD) as well as slow down the increase of relative conductivity (REC) and malondialdehyde (MDA) contents. (2) After rehydration, the plant height, root length and stem diameter of each treatment increased, the contents of Chl, SP and Pro, and activities of POD and SOD increased, while REC and MDA contents decreased gradually. (3) Subordinate function analysis showed that TD with a concentration of  $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  had the best drought resistance effect on *Z. elegans* seedling.

**Key words:** *Zinnia elegans*; triadimefon; drought stress; growth; physiological characteristics

百日草(*Zinnia elegans* Jacq.)为菊科一年生草本花卉,最初产自于墨西哥,常用于夏季园林装饰、道路绿化、公园造景、花带布置等。近年来全球干旱地区日益增多,干旱缺水会影响百日草的种子萌发、生长发育,对植株氮、碳代谢及光合作用等生理过程也会带来伤害<sup>[1-2]</sup>,进而降低其观赏性。当前,如何缓解干旱胁迫对百日草伤害已成为人们关注的焦点。三唑酮(triadimefon)是一种植物生长调节剂,有“抑上促下”的作用,也可作为杀菌剂,常用于治疗禾本科作物的白粉病及锈病。现有研究表明,三唑酮提高 SOD、CAT 活性,抑制 POD 活性与 MDA 含量的提高,从而抑制水稻叶片的衰老<sup>[3]</sup>。在逆境下喷施三唑酮,能使植物叶片中 SOD 活性显著提高,同时还能降低蒸腾,维持植株逆境下的代谢平衡<sup>[4-6]</sup>,增强了植物抵御干旱的能力。目前关于三唑酮对百日草生长和抗旱性影响研究尚未见报道。本试验以百日草为试材,研究不同浓度三唑酮对干旱胁迫下百日草幼苗生长的影响及生理特性的变化机理,并筛选出对百日草抗旱性促进效果最佳的三唑酮浓度,旨在百日草的抗旱栽培应用及抗性品种的选育提供一定的理论依据和技术指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 播种

供试品种为百日草‘梦幻红’,购于杭州丹诺园艺有限公司。用 1%高锰酸钾液对百日草种子浸种 30 min 进行消毒,然后播种于 72 孔穴盘。处理试剂为(国光)三唑酮乳油(TD, 20%),由杭州果攸生态环境科技有限公司生产。

### 1.2 移栽培养

采用盆栽法对百日草幼苗进行培养,当幼苗长至 3 对真叶时移植于营养钵中,每盆 3 株,每个处理重复 10 盆,共 70 盆。供试土壤为育苗基质,其成分及配比为泥炭土:珍珠岩:干鸡粪=6:2:2,并用 50%的多菌灵粉剂配置 500 倍液,对基质进行消毒,移栽后以 1 000 倍磷酸二氢钾浇灌。平时对幼苗进行日常浇水管理。当百日草第 4 对真叶完全展开后,采用叶面喷施法喷施不同浓度三唑酮(CK、清

水;T<sub>1</sub>. 100 mg · kg<sup>-1</sup>; T<sub>2</sub>. 150 mg · kg<sup>-1</sup>; T<sub>3</sub>. 200 mg · kg<sup>-1</sup>; T<sub>4</sub>. 250 mg · kg<sup>-1</sup>; T<sub>5</sub>. 300 mg · kg<sup>-1</sup>)。喷施药剂后处理组停止浇水,让土壤自然干旱;开始干旱时,土壤含水量为 80%,以后每天平均降低约 3.89%,至第 9 天为 45%;干旱第 9 天指标测定完成后开始复水处理。期间空白对照组(CK<sub>0</sub>),土壤水分一直保持在田间持水量的 80%~85%。

### 1.3 百日草生长指标测定

分别于干旱、复水第 9 天对百日草进行生长指标测定。用卷尺测量百日草幼苗的株高(cm)、根长(cm),用游标卡尺测量茎粗(mm),用叶面积测量仪测量叶面积(cm<sup>2</sup>),用称重法称量地上部与地下部干重,并根据公式“地下部干重(R)/地上部干重(S)”计算根冠比。

### 1.4 百日草生理指标测定

在干旱、复水处理后的第 3、6 和 9 天进行各项生理指标的测定。叶绿素含量(Chl)采用乙醇浸提法;可溶性蛋白含量(SP)和脯氨酸含量(Pro)分别采用考马斯亮蓝 G-250 法、茚三酮试剂法;过氧化物酶活性(POD)、超氧化物歧化酶活性(SOD)及丙二醛含量(MDA)分别采用愈创木酚显色法、NBT 光还原法、硫代巴比妥酸法;相对电导率采用电导法测定。以上指标的测定均参照高俊凤<sup>[7]</sup>的方法。

### 1.5 数据处理及分析

利用 Excel 2013 对所得数据进行计算,利用 Microsoft word 2013 进行图表绘制,利用 DPS 软件对各处理进行差异显著性分析。采用隶属函数法来评价各处理的综合表现<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草株高、茎粗、根长、根粗的影响

从表 1 可以看出,干旱逆境对百日草幼苗株高的影响非常大,经干旱胁迫的植株显著比正常水分(CK<sub>0</sub>)的植株矮 40%~50%;而经叶面喷施三唑酮之后,随着 TD 浓度的增加,与 CK 相比,幼苗株高的增长率呈先增加后降低的趋势。复水第 9 天,百日草株高明显增加,处理组的株高仍显著低于 CK,并以 T<sub>5</sub> 最低。从根长来看,干旱第 9 天,各处理的根

表 1 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草农艺性状的影响

Table 1 Effects of triadimefon pretreatment on agronomic characters of *Z. elegans* under drought stress

处理 Treatment	干旱第 9 天 9 d of drought					复水第 9 天 9 d of rehydration				
	株高 Plant height /cm	根长 Root length /cm	茎粗 Stem diameter /mm	叶面积 Leaf area/cm <sup>2</sup>	根冠比 Root shoot ratio	株高 Plant height /cm	根长 Root length /cm	茎粗 Stem diameter /mm	叶面积 Leaf area /cm <sup>2</sup>	根冠比 Root shoot ratio
CK <sub>0</sub>	11.02a	10.24a	2.60a	8.82a	0.22c	15.99a	20.16a	3.31a	19.58a	0.38a
CK	6.59b	6.47d	1.49e	6.15b	0.24c	10.56b	10.89d	1.79e	10.20e	0.24cd
T <sub>1</sub>	6.01cd	7.97b	1.56d	5.58c	0.25c	8.52c	9.88e	2.57c	10.67e	0.21cd
T <sub>2</sub>	6.37bcd	7.55c	1.90b	5.07c	0.31bc	8.73c	10.80cd	2.27d	11.26d	0.28bcd
T <sub>3</sub>	6.49bc	8.12b	1.69c	5.24c	0.35ab	9.34bc	11.11cd	2.24d	11.32d	0.22d
T <sub>4</sub>	5.91cd	8.02b	1.79b	5.13c	0.38a	8.67c	15.86b	2.80b	13.45b	0.31b
T <sub>5</sub>	5.61d	7.92b	1.56d	5.27c	0.31bc	7.45d	11.46c	2.68b	12.46c	0.30bc

注:CK<sub>0</sub>. 空白对照(土壤水分一直保持在田间持水量的 80%~85%);CK. 叶面喷施清水, T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>. 叶面喷施三唑酮浓度依次为 100、150、200、250、300 mg·kg<sup>-1</sup>, 然后 CK 和 T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub> 同时进行自然干旱处理 9 d 后进行复水处理 9 d; 同列不同小写字母表示处理间差异显著, 下同

Note:CK<sub>0</sub>. Blank control (soil moisture has been maintained at 80%—85% of the field water holding capacity); CK. Foliar spraying with clear water, T<sub>1</sub>—T<sub>5</sub>. Foliar spraying with triadimefon in the order of 100, 150, 200, 250, 300 mg·kg<sup>-1</sup>, then CK and T<sub>1</sub>—T<sub>5</sub> are treated with natural drought at the same time for 9 days and then rehydrated for 9 days; Different small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below

长均比 CK 高, 与 CK 均有显著差异, 说明三唑酮能有效地增加干旱条件下百日草幼苗的根长, 使植株根系更发达, 能更好适应逆境。干旱逆境下百日草幼苗的茎粗明显低于空白对照 CK<sub>0</sub>, 同期, 每组处理茎粗均高于 CK, 表现为 T<sub>2</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>=T<sub>5</sub>>CK, 且均有显著差异。复水第 9 天, 与 CK 相比, 各处理的根长、茎粗均有增加, 以 T<sub>4</sub> 最高。所以, 喷施三唑酮能有效增加干旱胁迫下百日草的根长、茎粗。

## 2.2 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草叶面积、根冠比的影响

干旱第 9 天, 各 TD 处理的叶面积均低于 CK, 以 T<sub>2</sub> 最低, 显著低于 CK 17.24%; 复水第 9 天, 各处理叶面积有大幅度增加, 且高于 CK, 表现为 T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>CK。可见, 干旱胁迫会显著抑制百日草叶面积增长, 三唑酮处理使这种抑制叶面积增加的效果更加明显; 复水处理后, 经三唑酮处理能明显促进百日草叶面积的恢复, 以 T<sub>4</sub> (250 mg·kg<sup>-1</sup> TD) 处理的效果最好。干旱第 9 天, 各处理的根冠比均高于 CK 和 CK<sub>0</sub>, 表现为 T<sub>4</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>5</sub>=T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>CK>CK<sub>0</sub>, 且以 T<sub>4</sub> 最高, 显著高于 CK 58.3%; 复水第 9 天, 各 TD 处理根冠比均下降。说明在干旱胁迫下, 喷施三唑酮能明显提高百日草植株的根冠比, 效果以 250 mg·kg<sup>-1</sup> TD 处理的最好(表 1)。

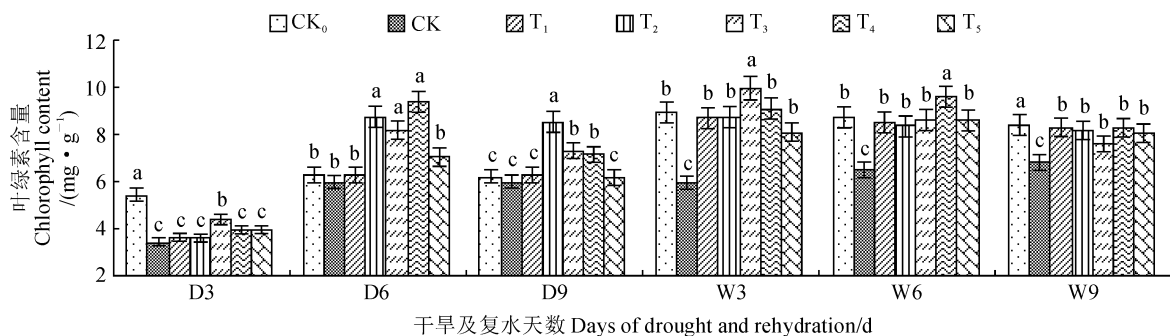
## 2.3 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草叶绿素含量的影响

从图 1 可知, 随着干旱时间的推后, 所有处理的

叶绿素(Chl)含量基本呈先上升后下降趋势。干旱第 3 天, 随着 TD 浓度的增加, 各处理呈低-高-低的变化, 以 T<sub>3</sub> 最高, 且低于 CK<sub>0</sub>; 干旱第 6 天, 每组的 Chl 含量都各有上升, 均高于 CK, 尤以 T<sub>4</sub> 最高, 比 CK 高 57.6%; 至第 9 天时, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 变化不大, 其余处理的 Chl 含量均呈下降趋势, 且都高于 CK, 并以 T<sub>2</sub> 含量最高。复水后第 3 天, 所有处理 Chl 含量均有上升, 以 T<sub>3</sub> 最高, 且达到峰值(9.8 mg·g<sup>-1</sup>), 显著高于 CK(63.3%); 复水至第 6、9 天, 所有处理的 Chl 含量整体略有下降, 但各处理 Chl 含量均高于 CK, 且有显著差异。

## 2.4 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草可溶性蛋白含量的影响

由图 2 看出, 干旱第 3 天时, 各处理的可溶性蛋白(SP)含量均高于 CK, 其中以 T<sub>3</sub> 最高; 在第 6 天时, 除 T<sub>1</sub> 外, 其余处理含量均有所降低, 且 T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 的 SP 含量低于 CK, 而 T<sub>1</sub>、T<sub>3</sub> 则高于 CK; 第 9 天时, T<sub>4</sub> 的 SP 含量最高(0.54 μg·g<sup>-1</sup>), 比 CK 高 7.9%。经复水处理后, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 的 SP 含量先增后减, T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 逐渐下降, 所有处理的 SP 含量均高于 CK, 以 T<sub>4</sub> 含量最高, 与对照和其他处理差异显著, 且复水后第 3 天, T<sub>4</sub> 的 SP 含量达到峰值(0.85 μg·g<sup>-1</sup>), 分别高于 CK 和 CK<sub>0</sub> 90.6%和 73.8%。由此表明, 干旱胁迫下一定浓度的 TD 会阻碍 SP 含量降低; 复水后经 TD 处理的 SP 含量会增加, 以提高植物细胞的保水能力。



D. 干旱; W. 复水。下同

图 1 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 Chl 含量的影响

D. Drought; W. Rehydration. The same as below

Fig. 1 Effects of triadimefon pretreatment on the Chl content of *Z. elegans* under drought stress

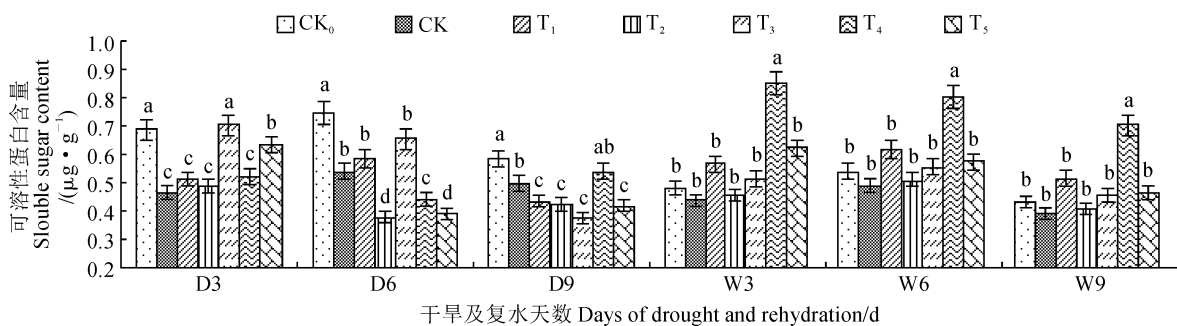


图 2 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 SP 含量的影响

Fig. 2 Effects of triadimefon pretreatment on SP content of *Z. elegans* under drought stress

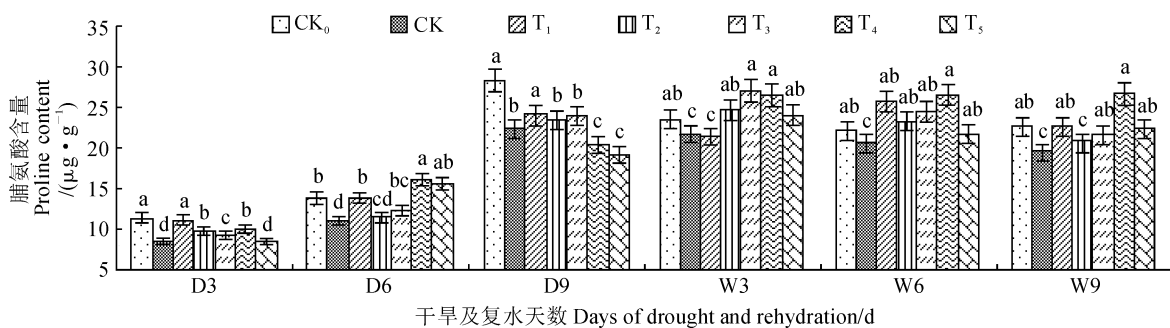


图 3 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 Pro 含量的影响

Fig. 3 Effects of triadimefon pretreatment on the Pro content of *Z. elegans* under drought stress

## 2.5 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草脯氨酸含量的影响

由图 3 可知,随干旱天数的增加,脯氨酸(Pro)含量也随之增加;干旱第 3 天,CK 的 Pro 含量最低,除 T<sub>5</sub> 外,与其余处理达显著差异;第 6、9 天时,每组 Pro 含量逐渐增加,且明显高于 CK;第 6 天以 T<sub>4</sub> 最高, T<sub>5</sub> 次之;第 9 天以 T<sub>1</sub> 最高,显著高于其他处理与 CK。复水后各处理的 Pro 含量与复水前变化不大,总体来看,经 TD 处理的较 CK 及 CK<sub>0</sub> 高;复水第 9 天,以 T<sub>4</sub> 最好(26.6 μg·g<sup>-1</sup>),显著高于 CK 36.4%。由此表明,随干旱胁迫加剧,Pro 含量

也会增加,以此提高植物的抗逆性;而施用 TD 会进一步积累 Pro,使得百日草植株的抗逆性更强,且复水后能维持较高的 Pro 水平,并以 250 mg·kg<sup>-1</sup>TD 处理效果更佳。

## 2.6 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 POD 和 SOD 活性的影响

从图 4 可看出,干旱胁迫期间,所有处理的 POD、SOD 活性呈先增加后降低的变化趋势。干旱第 3、6 天,各处理 POD、SOD 活性均高于 CK,2 个指标以 T<sub>4</sub>、T<sub>3</sub> 较高,并显著高于 CK;干旱第 9 天,POD 活性以 T<sub>4</sub> 最高,显著高于 CK 145.9%;SOD

活性以  $T_3$  最高,显著高于 CK 38.83%。复水后第 3 天,除  $T_3$  外,其余处理 POD、SOD 活性均有上升,POD 活性以  $T_1$ 、 $T_2$  上升幅度最大,此时  $T_4$  最高,显著高于 CK 71.8%;而各处理 SOD 活性与 CK 间均表现显著差异,且  $T_3$ 、 $T_4$  的 SOD 活性恢复基本一致。至第 6、9 天,所有处理的 POD、SOD 活性略有上升,且均高于 CK。结果表明:干旱胁迫能使百日草 POD、SOD 活性下降,而喷施 TD 能有效提高两者的活性。

## 2.7 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 REC 和 MDA 的影响

由图 5 可见,随处理时间的延长,空白对照  $CK_0$  的相对电导率(REC)变化不大,所有干旱处理的 REC 整体呈上升趋势,复水后又逐渐下降。具体来说,干旱期间,5 个处理 REC 均低于  $CK$ ;第 3 天以  $T_5$  最低,显著低于  $CK$  28.40%;干旱第 6 天,各处理均显著低于  $CK$ ;干旱第 9 天,每个处理 REC 持续增加,仍以  $T_5$  最低,显著低于  $CK$  29.91%。同时,在干

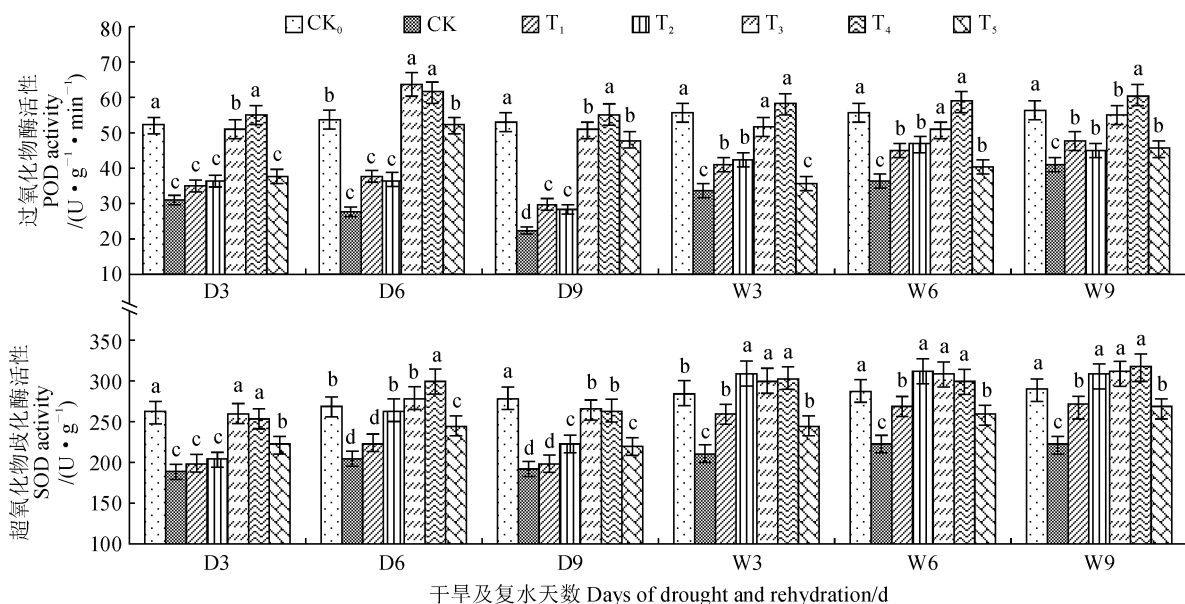


图 4 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 POD 和 SOD 活性的影响

Fig. 4 Effects of triadimefon pretreatment on the activities of *Z. elegans* POD and SOD under drought stress

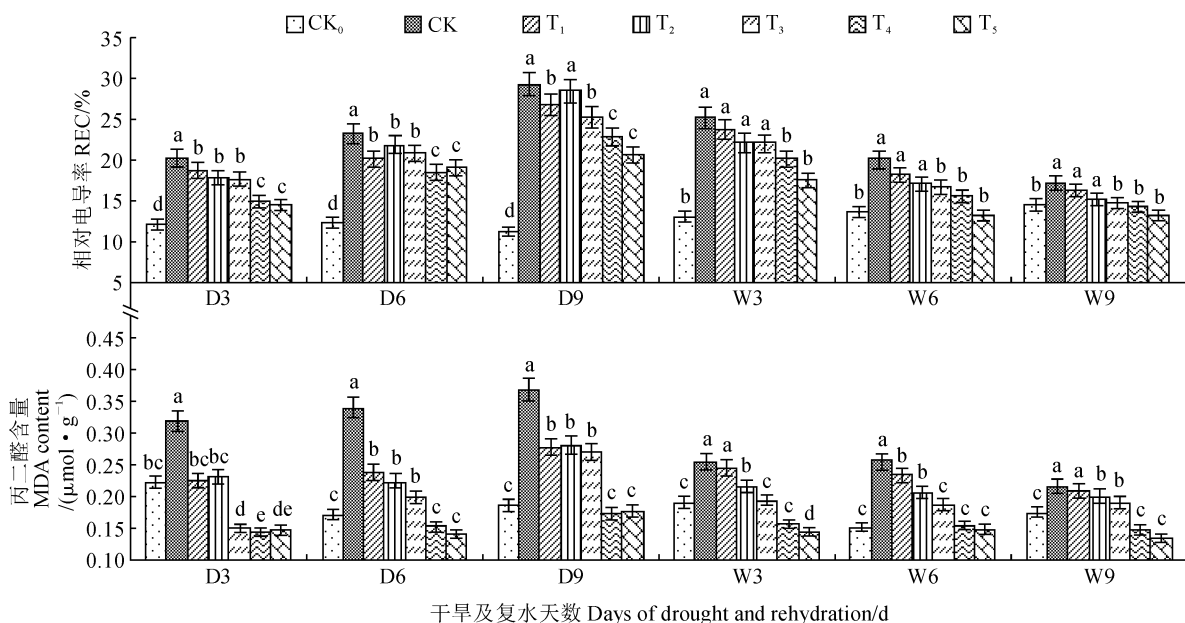


图 5 三唑酮预处理对干旱胁迫下百日草 REC 和 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of triadimefon pretreatment on the REC and content of MDA of *Z. elegans* under drought stress

表2 隶属函数分析评价表

Table 2 Analysis and evaluation table of membership function

指标 Index	处理 Treatment						
	CK <sub>0</sub>	CK	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
株高 Plant height	0.000 0	0.818 9	0.926 1	0.859 5	0.837 3	0.944 5	1.000 0
根长 Root length	1.000 0	0.000 0	0.397 9	0.286 5	0.437 7	0.411 1	0.384 6
茎粗 Stem thickness	1.000 0	0.000 0	0.063 1	0.369 4	0.180 2	0.270 3	0.063 1
根冠比 Root shoot ratio	0.000 0	0.125 0	0.000 0	0.562 5	0.812 5	1.000 0	0.562 5
叶面积 Leaf area	0.000 0	0.712 0	0.864 0	1.000 0	0.954 7	0.984 0	0.946 7
叶绿素含量 Chl	0.102 0	0.000 0	0.122 2	1.000 0	0.487 6	0.445 3	0.071 3
可溶性蛋白含量 SP	1.000 0	0.608 6	0.277 7	0.223 9	0.000 0	0.809 6	0.206 1
脯氨酸含量 Pro	1.000 0	0.347 9	0.544 6	0.443 8	0.501 7	0.106 0	0.000 0
过氧化物酶活性 POD	0.751 0	0.128 3	0.214 4	0.000 0	1.000 0	0.998 4	0.813 5
超氧化物歧化酶活性 SOD	0.000 0	0.645 2	0.677 4	0.677 4	1.000 0	0.322 6	0.677 4
相对电导率 REC	1.000 0	0.364 9	0.764 7	0.311 4	0.407 3	0.000 0	0.817 6
丙二醛含量 MDA	0.940 7	0.000 0	0.471 7	0.446 5	0.506 9	1.000 0	0.982 9
平均值 Average value	0.566 1	0.312 6	0.443 7	0.515 1	0.593 8	0.607 7	0.543 8
排序 Order	3	7	6	5	2	1	4

旱胁迫期间各处理和 CK 的 MDA 含量均一直上升。干旱第 3、6 天,各处理显著低于 CK,其中前者以 T<sub>4</sub> 最低,后者以 T<sub>5</sub> 最低。干旱第 9 天,各处理 MDA 含量达最高,以 T<sub>4</sub> 最低,显著低于 CK 53.5%。复水后第 3 天至第 9 天,各处理的 REC 和 MDA 含量持续下降,且较 CK 低,并以 T<sub>5</sub> 的 REC 最低。结果表明一定浓度范围的 TD 能明显减缓干旱后百日草 REC 增加和 MDA 的积累,两指标均以 T<sub>5</sub> (300 mg · kg<sup>-1</sup> TD) 处理减缓效果最好。

## 2.8 隶属函数分析评价

在评价不同浓度三唑酮处理的效果时,不能以单一因素来反映干旱胁迫下百日草幼苗生长及生理生化影响的优劣。所以,以干旱胁迫第 9 天的数据为准,综合各农艺性状指标和生理生化指标,对各处理采取隶属函数综合评判。由表 2 可知,所有处理的优劣排序结果为:处理 T<sub>4</sub> > T<sub>3</sub> > CK<sub>0</sub> > T<sub>5</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>1</sub> > CK。由此得知,浓度为 250 mg · kg<sup>-1</sup> 的三唑酮对干旱胁迫下百日草幼苗的综合缓解效果最好,最有利于百日草的抗逆性栽培。

## 3 讨论

在干旱胁迫下,植株可以通过逆境的变化来改变植株的外形,以更直观的方式表现植物对干旱的适应能力<sup>[9-10]</sup>。本试验发现,经干旱胁迫的幼苗,其株高、茎粗、根长、叶面积、根冠比等指标都明显差于正常水分条件下生长的植株,此结果与干旱胁迫对

钩藤生长的影响一致<sup>[11]</sup>。研究表明,喷施三唑酮能抑制株高,这和吴园园等<sup>[12]</sup>研究结果一致,且特定浓度的三唑酮可抑制百日草幼苗的叶面积增加,以此来降低蒸腾速率,减少水分的散失,从而达到抗旱的效果。此外,喷施三唑酮还能增加茎粗及根长,提高根冠比,并以 250 mg · g<sup>-1</sup> 效果最好,此结果与利用 240 mg · L<sup>-1</sup> 三唑酮缓解干旱胁迫下蕾薹期油菜生长和抗氧化特性的结果相似<sup>[13]</sup>。即在缺水条件下,通过对百日草喷施三唑酮,可以很好地缓解其逆境下的抑制效果,这和三唑酮对大豆花期干旱的缓解作用结果相符合<sup>[14]</sup>。究其原因,可能是因为三唑酮能增强植物自身的抗逆调节作用,从而在逆境下增加地下部分的比重来提高抗逆性。

叶绿素主要参与吸收、传递和转换光能,在光合作用中占有重要地位<sup>[15]</sup>。水分胁迫减少了百日草的叶绿素含量,是由于干旱胁迫不仅妨碍叶绿素的生物合成,并且能加快分解速度<sup>[16]</sup>。本研究表明,干旱胁迫处理组的叶绿素含量明显低于空白对照,这和前人的研究结果一致;随着干旱程度的加深,各处理的叶绿素含量呈先升高后降低趋势,至干旱结束,每处理的叶绿素含量均高于 CK,说明三唑酮能增加干旱胁迫下百日草叶片中叶绿素的合成,减缓叶绿素的分解。这可能是通过保护叶绿体膜系统的正常结构和功能来实现。

植物缺水后,其体内某些蛋白质合成被抑制,为减少缺水带来的伤害,植物会诱导产生某些抗逆性

蛋白质(如 SP)<sup>[17]</sup>。SP 含量越高,越有利于降低植物渗透势水平、增强其抵抗脱水能力,以抵御干旱带来的伤害。本研究中,喷施三唑酮能有效提高百日草中 SP 的含量,增加植物的抗旱能力,进一步验证了前人的研究结论。脯氨酸在植物体内起调节渗透物质及防止脱水的作用,有保护膜结构稳定,清除自由基,解除氨毒等功能<sup>[18]</sup>。本研究表明,喷施适宜浓度的三唑酮能有效增加百日草中脯氨酸的含量,以更好地发挥渗透调节作用,保护膜结构稳定来增加植物的抗逆性。

SOD、POD 是植物抵御胁迫伤害的保护酶系统。有研究发现,轻度缺水,SOD 活性上升,重度缺水,SOD 活性下降<sup>[19]</sup>。植物细胞衰老可从 POD 活性变化反映出来,POD 既有益处,也会损伤细胞<sup>[20]</sup>。在本试验干旱胁迫下,百日草幼苗叶片的 SOD、POD 活性变化均呈先上升后下降的变化趋势,可能是因为轻中度胁迫使酶的活性升高有利于清除更多的自由基以减少细胞的损伤,从而提高抗旱性。但马剑等<sup>[21]</sup>的研究与之有不同之处,其研究表明干旱胁迫会导致文冠果幼苗叶片 SOD 升高,而 POD 活性下降,认为在此过程中,主要是 SOD 对活性氧的清除起主要作用,这可能与研究的植物材料

及干旱的程度有关。本研究发现,经三唑酮处理后,各处理百日草的酶活性均高于 CK,表明三唑酮能有效提高保护酶的活性以增强百日草的抗旱能力。

植物在逆境条件下,其细胞膜结构受到伤害,细胞膜透性增大,相对电导率增加。因此相对电导率越高,细胞膜的透性越大,其抗性就越低,反之,透性越小,抗性越高<sup>[22]</sup>。本研究表明,随干旱时间的增加,适宜浓度的三唑酮能有效抑制相对电导率的上升增加其抗旱性能。复水之后,喷施三唑酮幼苗的相对电导率也较易恢复正常水平。另外,丙二醛含量高,说明细胞膜高度过氧化,且细胞膜被严重破坏。膜的过氧化能改变细胞膜的流动性和渗透性,从而改变细胞的结构和功能<sup>[23]</sup>,本研究表明,在干旱胁迫下,各处理的丙二醛含量均显著低于 CK,这与三唑酮提高水稻幼苗抗旱性的结果<sup>[24]</sup>一致,这说明三唑酮能有效减缓百日草细胞膜高度过氧化,从而减少丙二醛的增加,以减少对植物细胞膜的损伤。

综上,干旱胁迫下,不同浓度的三唑酮能显著提高百日草幼苗的抗逆境能力,缓解干旱对植株带来的伤害,以浓度为  $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的三唑酮抗旱效果最好。本研究结果为三唑酮应用于干旱地区百日草等草花栽培提供了有效措施。

## 参考文献:

- [1] 高群英,于占晶,孙文清,等. 干旱胁迫对三种菊科植物种子萌发的影响[J]. 北方园艺, 2020,(16): 56-61.  
GAO Q Y, YU Z J, SUN W Q, *et al.* Effects of drought stress on seed germination of three Compositae species[J]. *Northern Horticulture*, 2020,(16): 56-61.
- [2] 李宁毅,时彦平,王吉振. 水分胁迫下烯效唑对百日草幼苗光合特性及叶解剖结构的影响[J]. 西北植物学报, 2012,32(8): 1 626-1 631.  
LI N Y, SHI Y P, WANG J Z. Effect of uniconazole on photosynthetic characters and leaf anatomical structure of *Zinnia* seedlings under water stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2012,32(8): 1 626-1 631.
- [3] 卢少云,郭振飞,李宝盛,等. 三唑酮对离体水稻叶片衰老的延缓作用[J]. 华南农业大学学报, 2000,21(2): 57-60.  
LU S Y, GUO Z F, LI B S, *et al.* Retardation of senescence by tridimefon in detached rice leaves[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2000,21(2): 57-60.
- [4] 冯兆忠,周华英,冯宗炜,等. 高温胁迫下三唑酮对黄瓜幼苗某些生理性质的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(1):

170-173.

- FENG Z Z, ZHOU H Y, FENG Z W, *et al.* Effect of triadimefon on physiological characters in leaves of cucumber seedlings under high temperature[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005,25(1): 170-173.
- [5] JALEEL C A, GOPI R, KISHOREKUMAR A, *et al.* Interactive effects of triadimefon and salt stress on antioxidative status and ajmalicine accumulation in *Catharanthus roseus*[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2007,30(3): 287-292.
- [6] 王永吉,丁钟荣,王韶唐. 几种抗蒸腾剂的作用特点及其对冬小麦抗旱能力影响的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1993,21(2): 70-75.  
WANG Y J, DING Z R, WANG S T. Action characteristics of several anti-transpirants and their effect on drought resistance to winter wheat[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 1993,21(2): 70-75.
- [7] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
- [8] 彭 强,雷升阳,胡小京. 不同浓度褪黑素对洋桔梗切花保鲜效果的影响[J]. 分子植物育种, 2021,19(14): 4 795-4 803.

- PENG Q, LEI S Y, HU X J. Effects of different concentrations of melatonin on the preservation of cut flowers of *Eustoma russellianum* [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, **19**(14): 4 795-4 803.
- [9] 梁建秋, 张明荣, 吴海英. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学, 2010, **29**(2): 341-346.
- LIANG J Q, ZHANG M R, WU H Y. Advances in drought tolerance of soybean [J]. *Soybean Science*, 2010, **29**(2): 341-346.
- [10] 张永芳, 王润梅, 张东旭, 等. 我国大豆耐旱性研究进展[J]. 山西农业科学, 2011, **39**(1): 88-90.
- ZHANG Y F, WANG R M, ZHANG D X, *et al.* Research progress in drought resistance of soybean (*Glycine max*) in China[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2011, **39**(1): 88-90.
- [11] 张智仙, 王晓红, 李 雪, 等. 土壤自然干旱处理对钩藤生长与生理特征及主要药用成分积累的影响[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(4): 658-666.
- ZHANG Z X, WANG X H, LI X, *et al.* Effect of soil natural drought on growth, physiological characteristics and accumulation of main medicinal components of *Uncaria rhyncho-phylla* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(4): 658-666.
- [12] 吴园园, 田一丹, 刘丽欣, 等. 三唑酮预处理对花期大豆干旱胁迫及复水后生理特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2013, **27**(11): 1 749-1 755.
- WU Y Y, TIAN Y D, LIU L X, *et al.* Effects of triadimefon on physiological characteristics and yield of soybean under drought and rewatering at flowering stage[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, **27**(11): 1 749-1 755.
- [13] 钟飞燕, 张 曼, 戴 蓉, 等. 蕾薹期干旱对油菜生长和抗氧化特性的影响及三唑酮的缓解效应[J]. 南京农业大学学报, 2016, **39**(5): 730-738.
- ZHONG F Y, ZHANG M, DAI R, *et al.* Alleviative effects of triadimefon (TDM) on the growth and antioxidant in oil-rape under drought at the bolting-stage[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, **39**(5): 730-738.
- [14] 郑崇兰. 三唑酮对大豆花期长期干旱胁迫的缓解效应[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [15] KELLIHER F M, KIRKHAM M B, TAUER C G. Stomatal resistance, transpiration, and growth of drought-stressed eastern cottonwood [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1980, **10**(4): 447-451.
- [16] ALBERTE R S, THORNER J P, FISCUS E L. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize [J]. *Plant Physiology*, 1977, **59**(3): 351-353.
- [17] 张明生, 谢 波, 谈 锋, 等. 甘薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J]. 中国农业科学, 2003, **36**(1): 13-16.
- ZHANG M S, XIE B, TAN F, *et al.* Relationship among soluble protein, chlorophyll and ATP in sweet potato under water stress with drought resistance [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, **36**(1): 13-16.
- [18] 杨虎臣, 崔 杰, 罗成飞, 等. 脯氨酸代谢与甜菜抗逆胁迫研究进展[J]. 中国甜菜糖业, 2015, (4): 30-35.
- YANG H C, CUI J, LUO C F, *et al.* Progress in metabolism of proline and sugar beet stress tolerance [J]. *China Beet & Sugar*, 2015, (4): 30-35.
- [19] 宋凤斌, 戴俊英. 水分胁迫对玉米叶片活性氧清除酶类活性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1995, (3): 9-15.
- SONG F B, DAI J Y. Effects of water stress on the activities of active oxygen exterminating enzymes of maize leaves [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1995, (3): 9-15.
- [20] 葛体达. 夏玉米对干旱胁迫的响应与适应机制的研究[D]. 山东青岛: 莱阳农学院, 2004.
- [21] 马 剑, 刘贤德, 孟好军, 等. 水分胁迫对文冠果幼苗生长及生理特性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2018, **32**(1): 128-132.
- MA J, LIU X D, MENG H J, *et al.* Effects of water stress on growth and physiological characteristics of seedlings of the *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, **32**(1): 128-132.
- [22] 田如英, 周 恒. 不同保鲜剂对洋桔梗鲜切花保鲜效果的影响[J]. 植物生理学通讯, 2005, **41**(5): 625-626.
- [23] 梁晓华, 施娅云, 张 燕. 干旱胁迫对三种蕨类植物生理生化的影响[J]. 楚雄师范学院学报, 2020, **35**(6): 55-61.
- LIANG X H, SHI Y Y, ZHANG Y. Effects of drought stress on physiological and biochemical changes of several pteridophytes [J]. *Journal of Chuxiong Normal University*, 2020, **35**(6): 55-61.
- [24] 郭振飞, 卢少云; 李明启. 三唑酮提高水稻幼苗抗旱性的研究[J]. 植物学报, 1997, **39**(6): 541-545.
- GUO Z F, LU S Y, LI M Q. Promotive effect of triadimefon on drought resistance of rice seedlings [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, **39**(6): 541-545.

(编辑:潘新社)