

# 外源物质对干旱胁迫下麻黄幼苗 膜质过氧化作用的影响

贾志国, 张丽, 辛立彬, 袁卉馥

(河北北方学院 农林科技学院, 河北 张家口 075000)

**摘 要:**以麻黄幼苗为试材,利用 PEG-6000 人工模拟干旱胁迫,采用盆栽灌根法,研究了腐植酸、外源硝普钠(SNP)、甜菜碱处理下麻黄幼苗的可溶性蛋白质、丙二醛(MDA)含量及抗氧化酶活性的变化。结果表明:干旱胁迫下,麻黄幼苗 MDA 含量显著升高,可溶性蛋白质含量及过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性降低,超氧化物歧化酶(SOD)活性升高;对比干旱胁迫,外源物质处理下 MDA 含量明显降低,可溶性蛋白质及抗氧化酶活性明显增加,且随处理浓度增加均呈现先升后降的规律,随处理时间的有所增加。综合表明,2.5 mmol·L<sup>-1</sup>的甜菜碱处理 10 d 为缓解氧化损伤效果的最佳处理,此外 100 mL·L<sup>-1</sup>的腐植酸、0.25 mmol·L<sup>-1</sup>的 SNP 也有效地缓解了麻黄干旱胁迫,3 种外源物质不同程度地提高了麻黄幼苗的抗旱能力,为干旱半干旱地区麻黄的推广栽培提供了依据。

**关键词:**麻黄;干旱胁迫;外源物质;抗氧化酶;抗旱性

**中图分类号:**S 567.23<sup>+</sup>9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)01-0158-06

干旱是制约农林业生产的主要逆境之一,全球大约 42.9%的耕地属于干旱、半干旱地区<sup>[1]</sup>,干旱对植物的危害在所有非生物胁迫中占首位,研究干旱胁迫对植物生育期的影响及植物对于干旱胁迫的生理响应机制是植物生理生态学的重要课题<sup>[2]</sup>。近年来许多国内外研究者研究探讨了药用植物的抗旱性并取得了一定进展<sup>[3]</sup>。麻黄(*Ephedra sinica*)属麻黄科多年生小灌木,又名草麻黄,主要分布于吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、新疆等干旱、半干旱地区<sup>[4]</sup>。由于麻黄富含麻黄碱,故其药用价值很高。目前关于麻黄干旱胁迫的研究报道尚少,故提高麻黄幼苗期的抗旱性,对麻黄在干旱地区的种植与推广具有重要意义。腐植酸(HA)不仅可以改良土壤,增肥增效,也

能一定程度提高植物的抗旱性<sup>[5]</sup>。外源硝普钠(sodium nitroprusside, SNP)作为 NO 供体参与到活性氧代谢中,可显著提高植物的抗旱能力<sup>[6-7]</sup>。甜菜碱(betaine)是广泛应用的一种生理抗旱剂,植物通过甜菜碱的渗透调节作用抵抗逆境胁迫<sup>[8]</sup>。该研究利用 15% PEG-6000 模拟干旱胁迫,研究不同浓度的腐植酸、外源 SNP、甜菜碱处理对麻黄幼苗抗氧化酶活性的影响,筛选出对提高麻黄抗旱能力效果较好的外源物质及其适宜浓度和处理时间,以期对麻黄的推广栽培提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试麻黄幼苗于 2015 年 3 月在张家口市农业科学院花卉研究所育苗室培育。待麻黄幼苗长至 3~4 片真叶时移栽至直径 20 cm 花盆中,每盆 15 株小苗,基质为壤土:腐殖质:细沙=3:2:1,缓苗 1 周后进行试验。试验所用的药品腐植酸由韩国 KAIST 公司提供,SNP 由美国 BIO BASIC INC 公司提供,甜菜碱为 Sigma 公司产品,PEG-6000 由汕头西晚化工有限公司提供。

### 1.2 试验方法

首先利用 15% PEG-6000 模拟干旱胁迫处理麻

**第一作者简介:**贾志国(1977-),男,硕士,讲师,现主要从事药用植物与经济林栽培育种等研究工作。E-mail:yunshanjia@126.com.

**责任作者:**袁卉馥(1970-),女,硕士,教授,现主要从事药用植物资源调查与栽培等研究工作。E-mail:nkxyhf@163.com.

**基金项目:**河北北方学院自然科学研究计划重大资助项目(ZD201408)。

**收稿日期:**2016-09-13

黄幼苗,蒸馏水作对照(CK1),干旱胁迫处理作为外源物质处理的对照,用CK2表示;采用灌根法分别用不同浓度的腐植酸(HA)、外源 SNP、甜菜碱(beta-ine)进行恢复处理,3种外源物质设置的浓度梯度见表1

表1 麻黄幼苗各处理外源物质种类及浓度

Table 1 Exogenous substance types and concentrations of different treatments in <i>Ephedra</i> seedlings					
处理 Treatment	腐植酸 HA/(mg · L <sup>-1</sup> )	处理 Treatment	硝普钠 SNP/(mmol · L <sup>-1</sup> )	处理 Treatment	甜菜碱 Betaine/(mmol · L <sup>-1</sup> )
对照 CK1	—	对照 CK1	—	对照 CK1	—
PEG CK2	—	PEG CK2	—	PEG CK2	—
H1	25	S1	0.05	B1	1.0
H2	50	S2	0.10	B2	2.5
H3	100	S3	0.25	B3	5.0
H4	200	S4	0.50	B4	10.0
H5	300	S5	1.00	B5	20.0

### 1.3 项目测定

丙二醛(MDA)含量的测定参照 VELIKOVA 等<sup>[9]</sup>的硫代巴比妥酸(TBA)检测法;可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法<sup>[10]</sup>;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法<sup>[9]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用 SOD 试剂盒进行,试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

### 1.4 数据分析

应用 Microsoft Excel 软件进行数据整理和绘图,采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计及相关性分析,运用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理间的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 腐植酸、外源 SNP 和甜菜碱对干旱胁迫下麻黄可溶性蛋白质含量的影响

从表2可以看出,干旱胁迫后可溶性蛋白质含量显著降低,再经不同外源物质处理后其含量有不同程度的升高。当15% PEG-6000模拟干旱胁迫处理(CK2)后,麻黄幼苗叶片可溶性蛋白质含量随时间延长而升高,从第3天至第24天提高了1.14倍;与同时期CK1相比显著降低,如处理3d时其蛋白质含量仅为CK1的55.6%。不同浓度的腐植酸、SNP、甜菜碱处理后,麻黄幼苗可溶性蛋白质含量有所增加,且在腐植酸浓度100 mg · L<sup>-1</sup>、SNP浓度0.25 mmol · L<sup>-1</sup>、甜菜碱浓度2.5 mmol · L<sup>-1</sup>时达到最大值,如处理24d后,与CK2相比,在腐植酸、SNP、甜菜碱处理下其可溶性蛋白质含量最大分别增加了1.46、1.62、1.83倍,其中甜菜碱浓度为

表1。每处理15株幼苗,3次重复。处理期间,采用恒重法每天定期向花盆中补充失去的水分,每隔3d灌1次恢复液。分别于处理第3、10、17、24天取样测定相关生理指标。

2.5 mg · L<sup>-1</sup>时达到了差异显著水平( $P < 0.05$ )。随着腐植酸、SNP、甜菜碱浓度的继续升高,叶片可溶性蛋白质含量有所降低,但仍然高于CK2。

### 2.2 腐植酸、外源 SNP 和甜菜碱对干旱胁迫下麻黄幼苗 MDA 含量的影响

MDA 是植物细胞膜脂过氧化的产物之一,其含量大小是衡量干旱胁迫下细胞膜脂过氧化及膜损伤程度的重要指标。从表3可以看出,干旱胁迫下(CK2),麻黄幼苗MDA含量显著增加,随着胁迫时间的延长,MDA含量亦呈上升趋势,胁迫第3、10、17、24天时分别为CK1的2.05、2.06、2.20、2.72倍。3种外源物质不同浓度处理下,麻黄幼苗的MDA含量表现出不同程度的变化。不同处理天数下MDA含量均随腐植酸浓度的增加表现为先降低后增加的趋势,其中处理第24天、浓度为100 mg · L<sup>-1</sup>时,MDA含量降至最低,是干旱对照CK2的48.9%;与CK1相比,100 mg · L<sup>-1</sup>的腐植酸处理第17、24天后均达到CK1的水平。外源 SNP 处理的变化趋势大致与腐植酸处理相似,随着 SNP 浓度的增加,MDA 含量变化表现为先降后升的趋势,且浓度为0.25 mmol · L<sup>-1</sup>时处理第24天MDA含量最低,为CK2的51.1%,缓解干旱胁迫效应最佳。与CK2相比,甜菜碱处理下麻黄幼苗MDA含量也有不同程度的降低,处理第24天时,B2处理即2.5 mmol · L<sup>-1</sup>时降低最为显著,仅为干旱对照CK2的39.5%,达到了CK1的水平。综上,麻黄幼苗MDA含量随外源物质浓度的增加呈现先降低后增加的变化规律,且随着处理时间的延长逐渐减小。

表 2 不同外源物质对干旱胁迫下麻黄幼苗蛋白质含量的影响

Table 2 Effects of different exogenous substances on protein content of <i>Ephedra sinica</i> seedlings under drought stress		$\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW			
外源物质 Exogenous substance	处理 Treatment	处理时间 Treatment time/d			
		3	10	17	24
腐植酸 HA	CK1	119.35±7.91A	126.14±11.74A	129.67±14.65a	134.08±17.88a
	CK2	66.37±0.75D	70.91±3.26B	72.72±5.34b	75.53±6.57b
	H1	67.56±0.68D	72.12±3.62B	75.78±3.02b	80.23±6.89b
	H2	84.12±4.06BCD	86.60±5.57B	89.89±6.87ab	92.70±7.39ab
	H3	99.00±3.07B	102.39±3.84AB	106.47±8.45ab	110.13±7.97ab
	H4	88.96±4.17BC	91.44±4.46AB	93.45±5.01ab	93.18±6.44ab
	H5	74.61±4.22CD	77.56±5.87B	80.53±4.31b	80.07±10.42b
硝普钠 SNP	CK1	119.35±7.91A	126.14±11.74A	129.67±14.65a	134.08±17.88a
	CK2	66.37±0.75C	70.91±3.26C	72.72±5.34b	75.53±6.57b
	S1	71.01±1.74C	72.26±4.25C	76.33±4.07b	83.38±4.93b
	S2	86.53±1.94BC	85.28±3.98BC	94.69±5.88ab	96.13±10.03ab
	S3	101.17±2.84AB	108.94±7.56AB	115.93±10.56ab	122.09±11.97ab
	S4	86.83±1.78BC	94.39±4.96ABC	99.55±4.65ab	104.03±6.72ab
	S5	72.86±1.05C	77.83±0.94BC	77.20±4.39b	88.14±9.19ab
甜菜碱 Betaine	CK1	119.35±7.91A	126.14±11.74A	129.67±14.65a	134.08±17.88a
	CK2	66.37±0.75D	70.91±3.26C	72.72±5.34b	75.53±6.57c
	B1	85.08±4.73BCD	89.44±3.21BC	91.97±1.10ab	95.74±6.76abc
	B2	104.88±3.94AB	114.60±7.74AB	124.28±10.19ab	138.17±7.93a
	B3	99.41±2.35ABC	99.12±4.89ABC	97.18±3.29ab	104.74±9.50abc
	B4	93.37±0.48BC	89.41±4.83BC	70.23±22.06b	96.35±9.76abc
	B5	81.69±1.39CD	81.63±7.21BC	86.74±4.03ab	87.70±8.34bc

注:表中数值为平均数±标准误差。同列中的不同大写字母表示处理间差异极显著( $P<0.01$ ),不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Data are means±standard deviation in the table above. The different capital letters in the same column indicate the significant difference at  $P<0.01$  and the different lowercase letters indicate the significant difference at  $P<0.05$ , the same below.

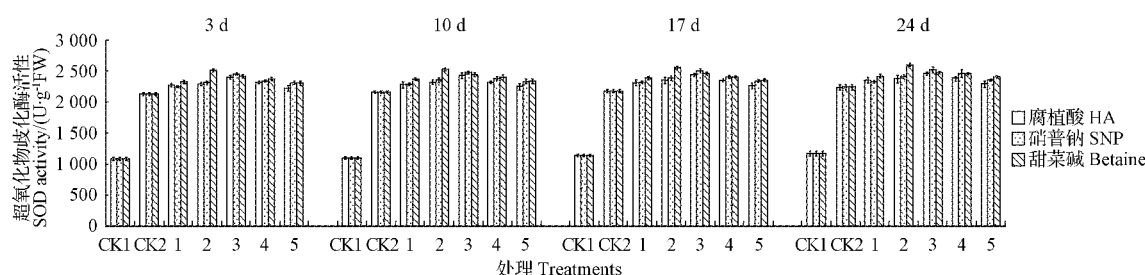
表 3 不同外源物质对干旱胁迫下麻黄幼苗 MDA 含量的影响

Table 3 Effects of different exogenous substances on MDA content of <i>Ephedra sinica</i> seedlings under drought stress		$\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ FW			
外源物质 Exogenous substance	处理 Treatment	处理时间 Treatment time/d			
		3	10	17	24
腐植酸 HA	CK1	8.49±0.40A	9.08±0.10A	8.60±0.52A	7.00±0.20A
	CK2	17.38±0.30E	18.69±0.55E	18.92±0.26E	19.02±0.10E
	H1	16.52±0.60D	14.45±0.17D	13.99±0.26D	12.10±0.10D
	H2	14.74±0.70C	11.81±0.85C	10.95±0.10B	8.20±0.20B
	H3	11.87±0.30B	10.72±0.40B	9.23±0.36A	7.34±0.20A
	H4	14.51±0.10C	11.53±0.46C	10.55±0.26B	9.92±0.10C
	H5	14.39±1.29C	12.22±0.17C	12.21±0.17C	12.10±0.10D
硝普钠 SNP	CK1	8.49±0.40A	9.08±0.10A	8.60±0.52A	7.00±0.20A
	CK2	17.38±0.30E	18.69±0.55E	18.92±0.26E	19.02±0.10E
	S1	16.86±0.60DE	16.52±0.17CD	15.77±0.10D	15.94±0.10D
	S2	16.06±0.50CD	14.51±0.36B	14.74±0.10C	13.25±0.30BC
	S3	11.64±0.20B	9.81±0.17A	9.41±0.43B	7.68±0.50A
	S4	15.03±0.20C	15.94±0.10C	14.97±0.17C	12.27±0.20B
	S5	15.43±0.20C	17.61±0.10E	15.37±0.26CD	13.88±0.10C
甜菜碱 Betaine	CK1	8.49±0.40A	9.08±0.10A	8.60±0.52A	7.00±0.20A
	CK2	17.38±0.30E	18.69±0.55E	18.92±0.26E	19.02±0.10E
	B1	16.92±0.10E	14.91±0.10C	15.37±0.70D	14.39±0.10D
	B2	11.93±0.40B	9.70±0.26A	8.60±0.17A	7.51±0.40A
	B3	14.05±0.20C	11.47±0.10B	10.84±0.17B	10.95±0.20B
	B4	15.31±0.10D	13.25±0.17BC	12.44±0.10C	12.50±0.30C
	B5	16.69±0.30E	16.75±0.36D	15.20±0.20D	14.57±0.10D

### 2.3 腐殖酸、外源 SNP 和甜菜碱对干旱胁迫下麻黄幼苗 SOD 活性的影响

由图 1 可知,干旱胁迫 CK2 的 SOD 活性相比 CK1 显著升高,且随胁迫时间延长呈现略微上升趋势,在胁迫第 24 天时,SOD 活性比对照 CK1 增加了 1.92 倍,不同胁迫时间处理间差异不显著。3 种外源物质处理下 SOD 活性变化规律基本一致,相比 CK2 有不同程度的增加,且随着胁迫浓度的增加表现先升高后下降的变化趋势。 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的腐植

酸处理第 24 天后,麻黄幼苗 SOD 活性显著高于对照,分别升高为 CK1 和 CK2 的 2.10、1.09 倍;外源 SNP 浓度为  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,处理 24 d 时 SOD 活性达到最高值,为 CK2 的 1.12 倍,差异显著。甜菜碱处理下,SOD 活性增加最为明显,在浓度 2.5、5.0、 $10.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时均与对照差异显著,分别为 CK2 的 1.16、1.11、1.10 倍。3 种外源物质处理中,以甜菜碱处理效果最好,腐植酸和外源 SNP 的处理效果差别不大。



注:图中横坐标 1~5 分别代表了腐植酸、SNP、甜菜碱 5 个浓度处理(从低到高),下同。

Note: 1—5 each separately represent the five concentration treatments of HA, SNP and betaine (from lower to high) on abscissa, the same below.

图 1 不同处理下超氧化物歧化酶活性的变化

Fig. 1 Changes of SOD activity under different treatments

### 2.4 腐殖酸、外源 SNP 和甜菜碱对干旱胁迫下麻黄幼苗 POD 活性的影响

图 2 所示,干旱胁迫下(CK2)POD 活性显著降低,较 CK1 分别降低了 22.0%、22.8%、26.6% 和 27.1%,差异显著( $P < 0.05$ )。随着 3 种外源物质处理浓度的增加,麻黄幼苗 POD 活性均呈现先升高后降低的变化趋势。腐植酸处理浓度为  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时 POD 活性最高,且随着处理时间的延长表现继续升高趋势,处理第 3 天时其 POD 活性为 CK2 的 1.64

倍。第 24 天时,POD 活性上升为对照 CK2 的 1.87 倍,当腐植酸浓度为 200、 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时 POD 活性开始降低;同样,低浓度外源 SNP 处理下 POD 活性增加,高浓度则抑制了 POD 的合成,其中外源 SNP 浓度为  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,POD 活性最高。甜菜碱浓度为  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,POD 活性达到最高,处理 24 d 时达到 CK2 的 2.03 倍,随着甜菜碱浓度的进一步升高,POD 活性显著下降。

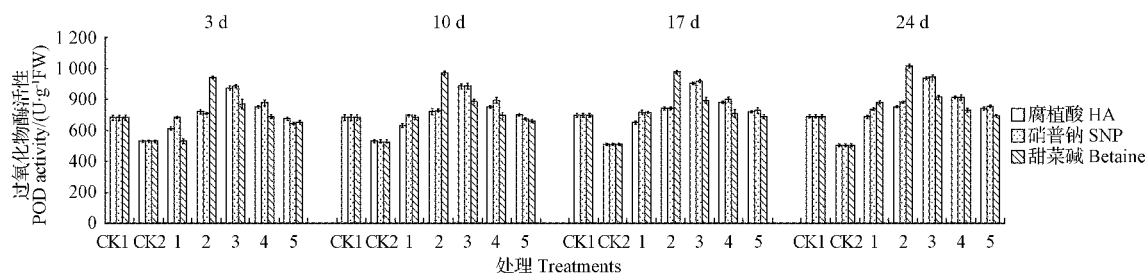


图 2 不同处理下过氧化物酶活性的变化

Fig. 2 Changes of POD activity under different treatments

### 2.5 腐殖酸、外源 SNP 和甜菜碱对干旱胁迫下麻黄幼苗 CAT 活性的影响

干旱胁迫下,抗氧化酶系统中的 CAT 负责清除细胞代谢所产生的  $\text{H}_2\text{O}_2$ 。从图 3 可以看出,干旱胁迫降低了 CAT 活性,随着胁迫时间的延长,降低幅

度加大,第 24 天时 CAT 活性降低至胁迫第 3 天的 77.8%,为 CK1 的 46.7%。3 种外源物质不同浓度处理下,各处理组的 CAT 活性均高于干旱对照 CK2,且腐植酸  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、外源 SNP  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、甜菜碱  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理显著提高了干旱胁迫下

的麻黄幼苗的 CAT 活性。随着处理时间的延长,较高浓度的腐植酸反而降低了 CAT 活性,而低浓度则促进了 CAT 活性的升高。SNP 处理下,在第 17 天时,浓度为  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理效果最佳, CAT 活性达到了干旱对照 CK2 的 3.13 倍,差异显著 ( $P < 0.01$ ),在第 24 天时, CAT 活性有所下降。甜菜碱  $2.5$ 、 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度处理第 3 天时, CAT 活性显

著增强,分别为 CK2 的 2.52 倍和 1.89 倍,  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理第 10 天时 CAT 活性达到最高水平,随后的第 17 天和第 24 天 CAT 活性变化不大,维持在较高水平上。而高浓度的甜菜碱处理 CAT 活性下降明显,且随着时间的延长降低幅度加大。综上,适宜浓度的 3 种外源物质均能增强 CAT 活性,有效地提高了其对麻黄幼苗的保护作用。

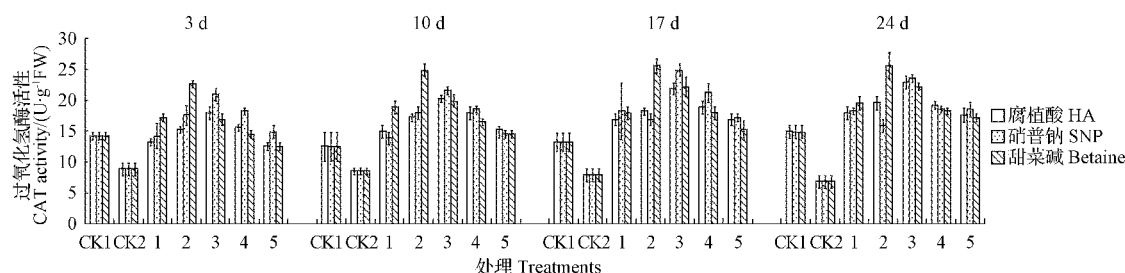


图3 不同处理下过氧化氢酶活性的变化

Fig. 3 Changes of CAT activity under different treatments

### 3 讨论

干旱胁迫直接导致了植物细胞缺水,影响植株的正常生长发育,改变了细胞膜的结构和透性,破坏了植物正常代谢。该研究涉及到生理生化指标的变化表明,15% PEG-6000 模拟干旱胁迫显著影响了麻黄幼苗可溶性蛋白质、MDA 含量及抗氧化酶活性。关于 PEG 模拟干旱胁迫对植物生长发育的影响,在多种植物中均有报道<sup>[11-12]</sup>。马明莉等<sup>[13]</sup>对植物干旱胁迫的研究表明,随着胁迫浓度的提高,抗氧化酶活性一般呈先升后降的规律。该试验在干旱胁迫下麻黄幼苗可溶性蛋白质含量及 POD、CAT 活性均有所降低,表明所设置的 15% PEG-6000 干旱胁迫对麻黄幼苗已经造成了伤害。遭受干旱胁迫的麻黄幼苗通过 3 种外源物质处理后,MDA 含量降低,抗氧化酶活性提高各萌发指标均有不同程度的提高,胚根和下胚轴长度亦有不同程度的增长,因此,腐植酸、外源 SNP 和甜菜碱处理对麻黄幼苗期间的干旱胁迫具有明显的缓解作用。抗氧化酶活性的提高是麻黄幼苗抵御干旱胁迫的生理机制之一,外源物质处理提高了 SOD、POD、CAT 保护酶的活性,保持细胞膜的稳定性,使得渗透调节机制得以正常进行,提高了麻黄幼苗的耐旱性。3 种外源物质在提高麻黄种子萌发时期抗旱性方面,甜菜碱处理的效果最好,外源 SNP 及腐植酸处理效果次之。

外源 SNP 作为 NO 的供体有效地提高了植物的抗旱能力。在拟南芥<sup>[14]</sup>、水稻<sup>[15]</sup>、板蓝根<sup>[16]</sup>的研究中得以证明。该研究中在不同浓度外源 SNP 处

理下,麻黄幼苗抗氧化酶活性均显著增加,  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 SNP 是处理麻黄的最佳有效浓度。许多植物研究中表明,甜菜碱等物质的积累变化是衡量植物抗旱能力的重要指标<sup>[12]</sup>,甜菜碱作为外源渗透调节剂已经广泛应用于植物抗旱性研究中,该研究中甜菜碱处理提高了麻黄幼苗可溶性蛋白质含量及抗氧化酶活性,与前人在玉米<sup>[17]</sup>、番茄<sup>[18]</sup>中的研究一致,张红敏等<sup>[8]</sup>研究发现甜菜碱提高了半夏在干旱条件下氮代谢相关酶的活性。 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的甜菜碱处理缓解麻黄干旱胁迫的效果最佳,可以通过喷施外源甜菜碱进一步探讨其对于旱地区麻黄整个生育期的影响。

### 4 结论

综上所述,适宜浓度的 3 种外源物质不同程度提高了干旱胁迫下麻黄幼苗叶片蛋白质含量,显著增加了 SOD、POD、CAT 活性,通过 3 种酶协同作用,有效地缓解了膜脂过氧化作用,从而降低 MDA 含量。其中以浓度为  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的甜菜碱缓解氧化损伤的效果最佳,腐植酸  $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$  和外源 SNP  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  减缓干旱次之,为麻黄的抗旱生理及干旱半干旱地区的推广栽培提供了技术支持。

### 参考文献

- [1] 吴波,卢琦.我国荒漠化基本特点及加快荒漠化地区发展的意义[J].中国人口·资源与环境,2002,12(1):99-101.
- [2] WHITFORD W, WADE E L. Ecology of desert systems[M]. San Diego, California, USA: Academic Press, 2002.

- [3] 吴文芳,李隆云.药用植物抗旱研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(24):14647-14648.
- [4] 何习斌.麻黄种子育苗技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [5] WANG J,PING H E,ZHANG C P,et al. Effect of exogenous nitrite donor SNP,betaine and humic acid on physiological characters of *Celosia cristata* seedlings under drought stress[J]. Journal of Southwest University,2014,36(4):14-21.
- [6] 回振龙,李自龙,李朝周,等.外源 NO 供体 SNP 对 PEG 模拟干旱胁迫下高羊茅种子萌发及幼苗抗性生理的影响[J].华北农学报,2013,28(4):86-92.
- [7] 曹丽,回振龙,魏小红,等. SNP 对 PEG 模拟干旱胁迫下早熟禾种子萌发及幼苗抗性的影响[J].甘肃农业大学学报,2013(5):100-106.
- [8] 张红敏,李姣姣,黑刚刚,等.外源甜菜碱处理对干旱胁迫下半夏氮代谢及相关酶活性的影响[J].草业学报,2014,23(4):229-236.
- [9] VELIKOVA V,YORDANOV I,EDREVA A. Oxidative stress and some antioxidant systems science in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines[J]. Plant Science,2000,151:59-66.
- [10] 张以顺,黄霞,陈云凤.植物生理学实验教程[M].北京:高等教育出版社,2009:136-142.
- [11] 张美俊,杨武德,乔治军,等.不同糜子品种萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].草地学报,2013,21(2):302-307.
- [12] ASHRAF M,FOOLAD M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance[J]. Environmental and Experimental Botany,2007,59(2):206-216.
- [13] 马明莉,周文波,钟雪梅,等.外源水杨酸对干旱胁迫下甘蓝型油菜幼苗生理特性的影响[J].江苏农业科学,2015,43(6):84-87.
- [14] WU J,YANG H,LUO Y,et al. Physiological effects of sodium nitroprusside on arabidopsis under drought stress[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2010,19(12):94-97.
- [15] SHEHAB G G,AHMED O K,EI-BELTAGI H S. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.)[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,2010,38(1):139-148.
- [16] 毛亚斌,魏小红.外源 NO 对干旱胁迫下板蓝根叶片氧化损伤的保护作用[J].草业科学,2010,27(6):97-101.
- [17] 王芳,赵有军,王汉宁.外源 NO 对干旱胁迫下玉米幼苗膜质过氧化的调节效应[J].干旱地区农业研究,2015,3(9):75-79.
- [18] 杨丽文,李敬蕊,高洪波,等.干旱胁迫下外源物质对番茄幼苗活性氧代谢及光合作用的影响[J].河北农业大学学报,2012,35(2):18-24.

## Effects of Exogenous Substances on Membrane Lipid Peroxidation of *Ephedra sinica* Seedlings Under Drought Stress

JIA Zhiguo,ZHANG Li,XIN Libin,YUAN Huifu

(Agriculture and Forestry Science College,Hebei North University,Zhangjiakou,Hebei 075000)

**Abstract:** *Ephedra sinica* seedlings were used as the experimental materials, drought stress was simulated with PEG-6000, the plate culture with irrigation method was used to determine contents of soluble protein, MDA and antioxidant enzyme activity in *Ephedra sinica* seedlings under HA, exogenous SNP, betaine. The results showed that the contents of MDA raised significantly, the contents of soluble protein, activities of POD and CAT reduced, while the activity of SOD increased; in contrast to drought stress, the contents of MDA descended obviously, the contents of soluble protein and antioxidant enzyme activity increased significantly under treatments of exogenous substances. The above indexes raised firstly, then decreased with the increase in concentration of exogenous substances and increased gradually at last during treating time. The comprehensive results showed that the treatments of  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  betaine and 10 days treatment time was the best to relief membrane lipid peroxidation, meanwhile the treatment of  $100 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$  HA and  $0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SNP relieved the drought stresses effectively, the drought resistance was advanced in some degree of *Ephedra sinica* seedlings under three exogenous substances, it provided a basis for extend culture of *Ephedra sinica* in arid and semi-arid areas.

**Keywords:** *Ephedra sinica*; drought stress; exogenous substances; antioxidant enzyme; drought resistance