

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.01.007

# 外源亚精胺对盐胁迫下颠茄生理特性和生物碱积累的影响<sup>①</sup>

郭 双, 卢克欢, 张翠平, 韦 悦, 吴能表

西南大学 生命科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

**摘要:** 以颠茄为试验材料, 在盐胁迫下对叶片喷施不同浓度的亚精胺(Spd)溶液, 研究 Spd 对颠茄相关生理特性和叶片干物质中莨菪碱和东莨菪碱质量分数的影响. 试验结果表明: 喷施较低浓度(0.1 mmol/L, 0.3 mmol/L)的 Spd 溶液, 可使颠茄的抗盐能力增强, 叶绿素质量分数上升, 丙二醛(MDA)、可溶性糖、可溶性蛋白(SP)、脯氨酸(Pro)质量分数降低, 过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性均降低, 莨菪碱质量分数上升, 并且经 0.1 mmol/L 的 Spd 溶液处理的颠茄叶片东莨菪碱质量分数是对照组的 3.44 倍. 因此, 叶片喷施适宜浓度的 Spd 溶液能够有效缓解盐胁迫对颠茄的伤害, 使植株恢复正常生长, 提高颠茄莨菪碱和东莨菪碱的质量分数, 这表明亚精胺能够增强颠茄的抗盐能力, 提高其有效药用成分产量.

**关键词:** 颠茄; 亚精胺; 盐胁迫; 生理特性; 生物碱

**中图分类号:** Q949.777.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2018)01-0043-07

颠茄 *Atropa belladonna* L., 俗名“野山茄”, 属茄科颠茄属的一个种, 多年生草本植物, 全草入药<sup>[1]</sup>. 颠茄味微苦、辛, 气微, 主要有效成分为莨菪碱和东莨菪碱等. 其制剂广泛应用于临床, 有解除平滑肌痉挛, 缓解各种内脏绞痛, 抑制腺体分泌和对抗迷走神经兴奋所致的心律失常等功效<sup>[2]</sup>.

由于颠茄具有很高的药用价值, 自引入中国以来, 在我国的种植面积不断扩大, 大多集中在山东、浙江、北京、上海等地, 而这些地区多属于我国东部滨海盐土地区, 颠茄的生长易受到盐土逆境胁迫的影响, 造成其生长代谢减缓, 严重时可导致死亡. 因此, 如何提高颠茄在盐碱土地中的生存能力, 并保证其药用成分的产量为本研究的重点. 多胺(polyamines, PAs)是一类低分子质量脂肪族含氮碱, 在植物生长、形态建成、防止衰老和抵抗环境胁迫等方面起重要作用. 植物体内的 PAs 主要包括腐胺(Put)、亚精胺(Spd)和精胺(Spm)等, 已有研究表明 Spd 与逆境胁迫抗性关系更为密切, 其在植物抗逆性中不仅作为胁迫保护物质, 而且在胁迫信号转导中可作为信号分子, 有利于植物胁迫抗性机制的构建<sup>[3-5]</sup>. 本试验采用向叶片外源喷施 Spd 溶液的方法, 研究在盐胁迫下, 外源 Spd 对颠茄所受伤害起到的缓解作用, 为提高颠茄抗盐能力和其主要生物碱质量分数提供一定的理论依据.

① 收稿日期: 2016-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(30500041); 重庆市科技攻关项目(cstc2012gg-yyjs80013).

作者简介: 郭 双(1992-), 女, 重庆奉节人, 硕士研究生, 主要从事药用植物生理生化研究.

通信作者: 吴能表, 教授.

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

颠茄种子购买于湖南永州,经西南大学生命科学学院吴能表教授鉴定为颠茄 *Atropa belladonna* L. 的成熟种子.挑选颗粒饱满的颠茄种子浸泡于 50 mmol/L 的赤霉素溶液中,2 d 后取出,将其均匀平铺在湿润的滤纸上待萌发,期间滤纸保持湿润.一周后将萌发的种子移栽到盛有充分混匀介质(泥炭土:珍珠岩:蛭石=3:1:1)的营养袋(12 cm×13 cm)中,每盆 5 株,在温室(20±1 °C)中培养,当颠茄幼苗长至 6 片真叶时开始处理.

试验共有以下几种处理方式:空白对照(CK1),NaCl 对照(CK2),NaCl+Spd 处理(T1-T4).CK2 及 T1-T4 组浇灌浓度为 100 mmol/L NaCl 溶液,至有液体从营养袋底部小孔流出为止,CK1 组则浇灌等量蒸馏水.同时 T1-T4 组每天喷施 Spd 溶液于叶片表面至液滴欲滴,Spd 溶液浓度分别为 0.1 mmol/L,0.3 mmol/L,0.5 mmol/L,0.7 mmol/L,CK1 和 CK2 叶片则喷施等量蒸馏水.每个处理均设置 3 个重复,15 d 后测定颠茄叶片的叶绿素荧光参数,叶绿素、MDA、可溶性糖、SP 和 Pro 质量分数,POD 和 SOD 活性,并提取颠茄干物质中的生物碱,测定莨菪碱和东莨菪碱质量分数.

## 1.2 方法

叶绿素质量分数的测定参照张宪政<sup>[6]</sup>的方法,MDA 质量分数的测定参照 Velikova 等<sup>[7]</sup>的硫代巴比妥酸(TBA)检测法,可溶性糖质量分数参照刘海英等<sup>[8]</sup>的方法测定,SP 的测定参照 Bradford<sup>[9]</sup>的方法,Pro 质量分数的测定采用酸性茚三酮法<sup>[10]</sup>,POD 和 SOD 活性的测定分别采用愈创木酚法<sup>[11]</sup>和张以顺等<sup>[12]</sup>的方法.

叶绿素荧光参数测定利用 PAM-2100 荧光仪(Walz,德国)预先编好的程序 RUN3 进行测定,天黑后将颠茄幼苗暗处理 40 min,然后开始测定初始荧光( $F_0$ ),最大荧光产量( $F_m$ ),最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),实际光合效率(Yield),光化学猝灭系数( $qP$ )和非光化学猝灭系数( $NPQ$ ).

生物碱提取与 HPLC 检测参照 Wang 等<sup>[13]</sup>发表的方法,颠茄叶片烘干后研磨成粉,提取托品烷生物碱,用 HPLC 检测莨菪碱和东莨菪碱质量分数,标准品均购于 Sigma 公司.HPLC 检测使用岛津 LC-20AT 高效液相色谱仪,色谱条件:Diamondsil C18 柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),流动相为甲醇-0.05 mol/L,pH=4.0 乙酸铵缓冲液(流动相体系包含 0.1%甲酸),流速 1 mL/min,柱温箱 40 °C,检测波长 226 nm,进样量 10 μL.

## 1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 22.0 对数据进行统计整理和方差分析,Origin 8 绘图.数据均以  $\bar{x} \pm s$  表示.

# 2 结果与分析

## 2.1 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片叶绿素质量分数的影响

NaCl 处理使颠茄叶片中的叶绿素质量分数降低,较 CK1 下降了 23.0%.对叶片进行 Spd 处理后,T1,T2,T3 组颠茄叶片叶绿素质量分数均有显著升高,盐胁迫导致的叶绿素合成受阻现象得到缓解,其中 T1 组升高得最多,但当处理浓度升高至 0.7 mmol/L 时,叶绿素质量分数为各组中最低(图 1).

## 2.2 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片叶绿素荧光参数的影响

相比 CK2,喷施了 Spd 溶液的颠茄叶片  $F_0$  值均有下降,T1,T2 组效果显著.NaCl 处理使  $F_m$  和  $F_v/F_m$  值显著降低,Spd 溶液处理后有所回升,T3 组  $F_m$  值上升最多,T1 组  $F_v/F_m$  值上升最多.CK2 的 Yield 和  $qP$

值都比 CK1 小,分别下降了 27.1%和 25.0%,喷施 Spd 溶液后,各组数值均呈现出上升趋势. 荧光参数 NPQ 在 NaCl 处理后比对照组升高了 46.6%,经过不同浓度的 Spd 处理后,各组 NPQ 值均下降,浓度为 0.5 mmol/L 时(表 1).

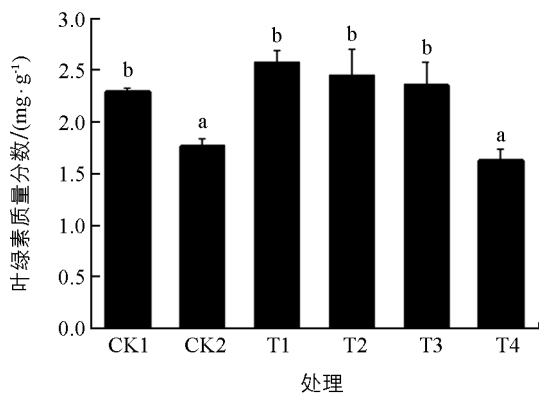
### 2.3 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片 MDA 质量分数的影响

在本试验中,CK1 叶片中 MDA 的质量分数较少,仅为 0.071 mg/g,而经过 NaCl 处理后的 CK2 叶片 MDA 质量分数较 CK1 升高了 24.7%. 试验组向受盐胁迫的颠茄喷施较低浓度的 Spd 溶液时,颠茄叶片中的 MDA 质量分数降低,与 CK2 相比分别下降了 28.5%,16.9%,11.9%. 而浓度为 0.7 mmol/L 的 Spd 溶液处理组 MDA 质量分数超过 CK2 达到 0.091 mg/g. 这说明适宜浓度的 Spd 溶液对减缓盐胁迫导致的 MDA 质量分数升高有作用(图 2a).

表 1 不同处理颠茄叶片的叶绿素荧光参数

处理	$F_0$	$F_m$	$F_v/F_m$	Yield	$qP$	NPQ
CK1	0.168±0.003a	1.073±0.030b	0.840±0.044d	0.479±0.025ab	0.639±0.038c	0.248±0.028a
CK2	0.189±0.002c	0.099±0.061a	0.820±0.009ab	0.349±0.009a	0.479±0.021a	0.364±0.059b
T1	0.169±0.003a	1.032±0.001ab	0.834±0.001cd	0.479±0.017ab	0.544±0.043ab	0.238±0.035a
T2	0.173±0.003ab	1.049±0.053ab	0.831±0.012abc	0.524±0.009c	0.482±0.059a	0.292±0.106ab
T3	0.182±0.012bc	1.075±0.032b	0.813±0.005a	0.463±0.032b	0.587±0.046bc	0.208±0.055a
T4	0.184±0.006c	1.055±0.015ab	0.825±0.007abc	0.480±0.044ab	0.625±0.064bc	0.287±0.003ab

注: 同列数据中字母不同者表示差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ).



不同小写字母表示各处理间差异具有统计学意义 ( $p < 0.05$ , 图 2—图 5 同).

图 1 不同处理颠茄叶片的叶绿素质量分数

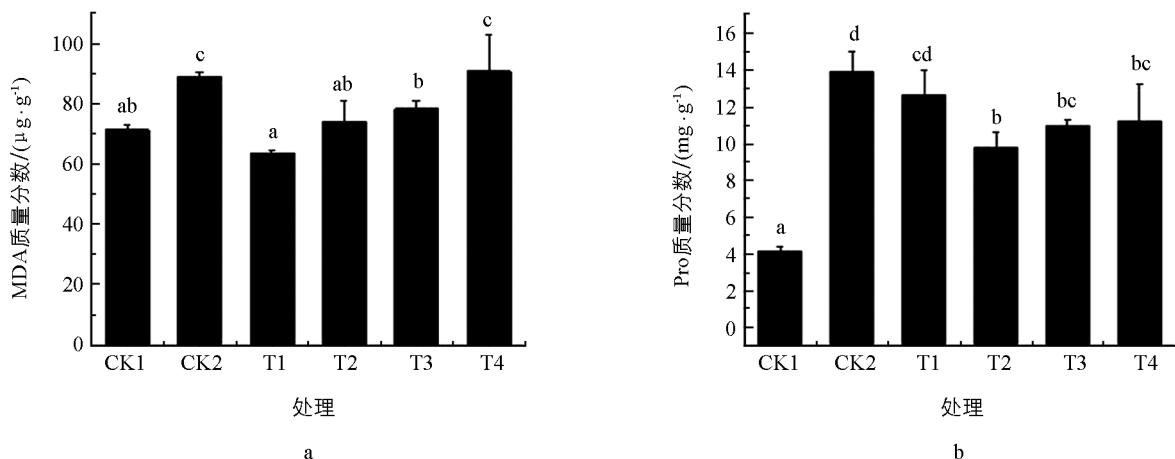


图 2 不同处理颠茄叶片的 MDA 和 Pro 质量分数

### 2.4 Spd 处理对盐胁迫下颠茄幼苗叶片脯氨酸质量分数的影响

脯氨酸是植物体内一种重要的渗透调节物质,植物在受到水分胁迫时,体内的脯氨酸合成会增多,细胞液浓度升高,以防止原生质体水分的散失. 试验显示,当对颠茄进行 NaCl 溶液处理时,叶片脯氨酸质量分数显著升高,而 Spd 处理可使各组脯氨酸质量分数下降,特别是 T2 组较 CK2 组下降了 29.6%,下降幅度最大,但仍高于 CK1(图 2b).

## 2.5 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片可溶性糖、可溶性蛋白质量分数的影响

试验显示(图 3), CK1 叶片中的可溶性糖质量分数为 0.120 mg/g, NaCl 处理使可溶性糖质量分数升高了 45.3%。向颠茄叶片喷施外源 Spd 溶液,随着浓度增加,可溶性糖的质量分数呈上升趋势,浓度为 0.1 mmol/L 时,其质量分数较 CK2 下降了 16.6%,其他浓度效果则不显著。同时盐胁迫使颠茄叶片可溶性蛋白质量分数大幅度上升,向颠茄施以浓度小于等于 0.5 mmol/L Spd 时,可溶性蛋白质量分数显著下降, T3 组较 CK2 下降了 45.2%,下降最多。但当 Spd 质量分数达到 0.7 mmol/L 时,其质量分数上升至 CK1 的 2.33 倍。

## 2.6 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片 POD 和 SOD 活性的影响

在本试验中, NaCl 处理会造成颠茄叶片中的 POD 活性上升,随着 Spd 处理浓度升高,POD 活性呈现出先下降后升高的趋势,分别为 CK2 的 65.9%、56.5%、44.0%、60.3%(图 4a)。盐胁迫同样也使颠茄叶片中的 SOD 活性升高,CK2 是 CK1 的 2.04 倍,对颠茄叶片喷施 Spd 溶液可使 SOD 活性降低,而当处理浓度为 0.5 mmol/L 和 0.7 mmol/L 时, SOD 活性比 CK1 更低,说明 Spd 浓度过大时会抑制颠茄叶片中 SOD 的活性(图 4b)。

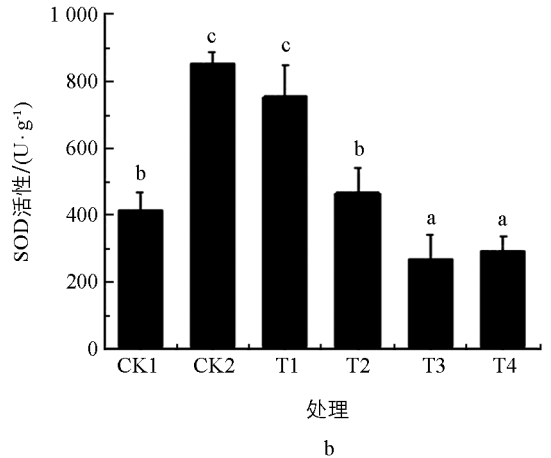
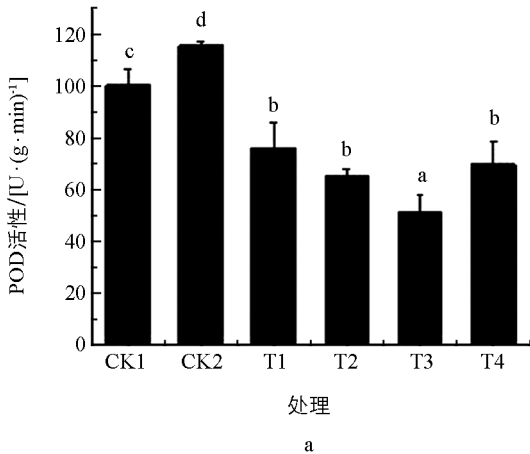


图 4 不同处理颠茄叶片的 POD 和 SOD 活性

## 2.7 Spd 处理对盐胁迫下颠茄叶片中生物碱质量分数的影响

试验表明, 100 mmol/L 的 NaCl 溶液处理未使颠茄叶片中的东莨菪碱质量分数发生显著变化,但是导致了莨菪碱质量分数降低,仅为对照组的 44.1%。对盐胁迫下的颠茄进行 Spd 处理, T1, T2 组的莨菪碱质量分数较 CK2 分别升高了 170.8%、149.7%, T3, T4 组变化并不显著,而东莨菪碱质量分数在 Spd 浓度为 0.1 mmol/L 时有显著升高,为 CK2 的 3.44 倍,且较高浓度的 Spd 处理(0.5 mmol/L 和 0.7 mmol/L)会造成东莨菪碱合成受影响,质量分数减少(图 5)。

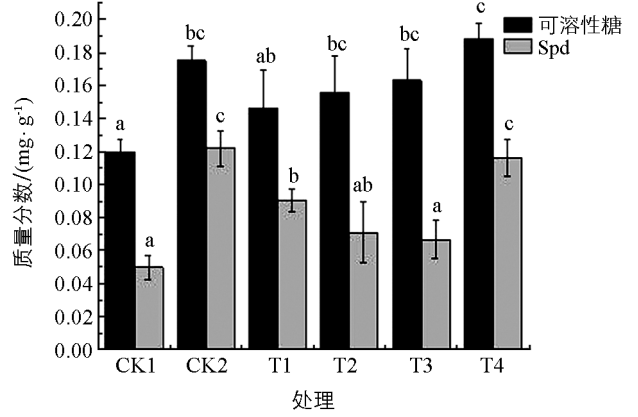


图 3 不同处理颠茄叶片的可溶性和可溶性蛋白的质量分数

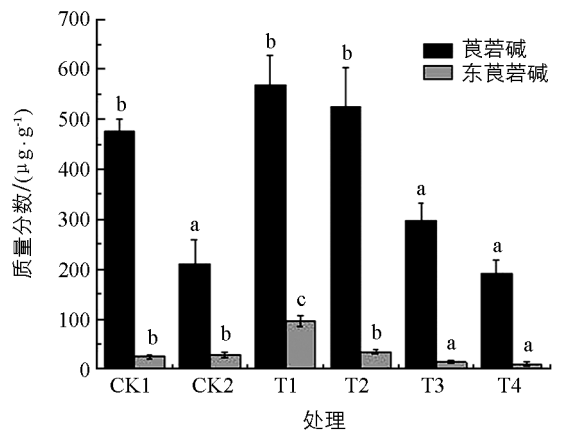


图 5 不同处理颠茄叶片莨菪碱和东莨菪碱质量分数

## 3 讨 论

### 3.1 外源 Spd 处理对 NaCl 胁迫下颠茄叶片光合特性的影响

叶绿素质量分数是植物生理的重要指标之一,反映了植物光合作用能力及植物生长发育和营养状况<sup>[14-15]</sup>.有研究表明<sup>[16-19]</sup>,盐胁迫可导致植物的叶绿体结构被破坏,叶绿素质量分数降低.研究表明,盐胁迫使颠茄叶片中的叶绿素质量分数减少,而外源喷施 Spd 溶液可以缓解此种伤害,该结果与甜瓜、菠菜等植物的研究结论基本一致.这可能是由于 Spd 常以多聚阳离子状态存在,可以直接结合细胞膜上带负电荷的磷酸及光合蛋白,进而稳定细胞膜结构,减轻叶绿体结构的破坏,使叶绿素质量分数恢复正常.

在正常情况下,叶绿素吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光发射和热耗散 3 种途径来消耗.这 3 种途径之间存在着此消彼长的关系,光合作用和热耗散的变化会引起荧光发射的相应变化.因此,可以通过对荧光的观测来探究光合作用和热耗散的情况<sup>[20]</sup>.在本试验中,当颠茄受到盐胁迫时,反映 PS II 电子传递情况的  $F_m$  值和 PS II 光能转化效率的  $F_v/F_m$  值都显著降低,说明 PS II 受到破坏,在光合作用过程中的电子传递和转化都受到影响.经过 Spd 处理后, $F_m$  和  $F_v/F_m$  都有所增大,说明 PS II 受到的伤害减轻,电子传递速率和 PS II 原初光能转换效率升高.同时,Spd 处理使初始荧光  $F_0$  降低,光化学猝灭系数  $qP$  上升,非光化学猝灭系数  $NPQ$  下降,与苏贝贝等<sup>[21]</sup>对半夏的研究结果吻合.这反映了试验处理使 PS II 开放程度更大,说明 Spd 可解除盐胁迫导致的光抑制现象,吸收的光能不再大量以热能形式耗散,而是更多地用于光化学电子传递,以完成光合作用.

### 3.2 外源 Spd 处理对 NaCl 胁迫下颠茄叶片逆境生理特性的影响

MDA 是膜脂过氧化产物,会造成细胞中酶和细胞膜的损伤,破坏膜结构的完整性和功能的稳定性,其质量分数是反应膜脂过氧化程度和膜受损伤程度的重要指标<sup>[22]</sup>.逆境胁迫可使植物细胞膜受损,MDA 质量分数上升.此外,盐胁迫还会导致细胞液浓度升高,造成细胞失水.试验显示 Spd 可以缓解颠茄叶肉细胞膜受到损伤而导致的 MDA 质量分数升高现象,有效保护细胞膜,减轻膜脂过氧化程度,0.3 mmol/L 为最佳喷施浓度;可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸是植物重要的 3 种渗透调节物质,当颠茄遭受盐胁迫时,会产生更多的调渗物质来调节细胞液浓度,减少植物失水.而适宜浓度的 Spd 处理使这 3 种物质质量分数下降,说明 Spd 可以降低植物体对  $Na^+$ ,  $Cl^-$  离子的吸收, $Na^+$ ,  $Cl^-$  离子比值下降,使叶肉细胞水势恢复,维持细胞渗透平衡.逆境胁迫还可使植物活性氧代谢失衡,导致活性氧过度积累,从而对植物造成氧化伤害<sup>[23]</sup>.

SOD 与 POD 是植物体内活性氧清除系统中的重要保护酶,当 SOD 与 POD 处于较高活性时,能有效清除活性氧物质,减轻膜脂过氧化对细胞膜的伤害.盐胁迫导致叶片内活性氧过多,Spd 处理后颠茄叶片中 SOD 和 POD 活性降低,说明 Spd 使叶片中的活性氧自由基减少,减轻叶片的损伤程度,但 Spd 浓度不能过高.亚精胺是  $H^+$  载体,可能通过歧化反应直接清除活性自由基,但是酶活性的升高表明亚精胺也对酶有直接的影响.王燕等<sup>[24]</sup>认为,Spd 可以结合到抗氧化酶分子上,改变酶的构象,使单位酶活性升高.后期需要对 2 种抗氧化酶分子结构作进一步的测定和比较分析.

### 3.3 外源 Spd 处理对 NaCl 胁迫下颠茄叶片生物碱积累的影响

托品烷类生物碱(主要是莨菪碱和东莨菪碱)由于其显著的临床药用价值和巨大的市场需求,一直以来都是植物次生代谢领域研究的热点之一<sup>[25]</sup>.颠茄是提取莨菪碱和东莨菪碱的主要商业药源,其生物碱的积累也是颠茄研究的重要方向.在本试验中,盐胁迫对东莨菪碱的质量分数没有显著影响,但 0.1 mmol/L 的



Spd 能够促进东莨菪碱的合成和积累,使东莨菪碱质量分数升高至对照组的 3.44 倍.另一方面,盐胁迫导致莨菪碱的质量分数显著降低,0.1 mmol/L 和 0.3 mmol/L 浓度的 Spd 都能促进盐胁迫下颠茄莨菪碱的合成,但是 Spd 溶液浓度过高反而不利于植物的次生代谢和生物碱的积累,这说明叶片喷施少量的亚精胺溶液即可大幅提高颠茄的生物碱质量分数,是一种简便高效的方法.目前鲜有关于亚精胺对药用植物次生代谢影响的研究,故本研究拟将以同样的试验背景,分析测定颠茄次生代谢途径中关键酶的活性及其基因表达量,进一步验证亚精胺是否通过调节次生代谢途径中的关键酶活性来影响生物碱的合成,并探讨是某种酶的作用或某几种酶共同作用产生的效应.

### 参考文献:

- [1] 杨吉福,姜大奇,谢伟清,等.药用植物颠茄的高产栽培技术[J].山东农业科学,2007(2):118-119.
- [2] 肖培根.新编中药志(第三卷)[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [3] KASUKABE Y, HE L X, NADA K, et al. Overexpression of Spermidine Synthase Enhances Tolerance to Multiple Environmental Stresses and Upregulates the Expression of Various Stress-Regulated Genes in Transgenic Arabidopsis Thaliana [J]. Plant Cell Phys, 2004, 45(6): 712-722.
- [4] KASUKABE Y, HE L X, WATAKABE Y, et al. Improvement of Environmental Stress Tolerance of Sweet Potato by Introduction of Genes for Spermidine Synthase [J]. Plant Biotechnol, 2006, 23(1): 75-83.
- [5] 彭晨,苏晓琼,杜静,等.外源亚精胺对高温胁迫下黄瓜幼苗快速叶绿素荧光诱导动力学特性的影响[J].西南农业学报,2016,29(2):260-265.
- [6] 张宪政.植物叶绿素含量测定—丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [7] VELIKOVA V, YORDANOV I, EDREVA A. Oxidative Stress and Some Antioxidant Systems in Acid Rain-Treated Bean Plants Protective Role of Exogenous Polyamines [J]. Plant Science, 2000, 151(1): 59-66.
- [8] 刘海英,王华华,崔长海.可溶性糖含量测定(蒽酮法)实验的改进[J].实验室科学,2013,16(2):19-20.
- [9] BRADFORD M M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantization of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1): 248-254.
- [10] 朱广廉,邓兴旺,左卫能.植物体内游离脯氨酸的测定[J].植物生理学通讯,1983,25(1):35-36.
- [11] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.
- [12] 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.
- [13] WANG X R, CHEN M, YANG C X, et al. Enhancing the Scopolamine Production in Transgenic Plants of *Atropa bella-donna* by Over-Expressing pmt and h6h Genes [J]. Physiol Plant, 2011, 143(4): 309-315.
- [14] 张伏,张亚坤,毛鹏军,等.植物叶绿素测量方法研究现状及发展[J].农机化研究,2014(4):238-241.
- [15] 姚春娟,郭圣茂,杨肖华,等.干旱胁迫下决明属植物光合生理特性日变化研究[J].江西农业大学学报,2016,38(4):687-694.
- [16] 王素平,郭世荣,胡晓辉,等.盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素含量的影响[J].江西农业大学学报,2006,28(1):32-38.
- [17] 杨卫星,黑刚刚,李娇娇,等.外源  $\text{Ca}^{2+}$  对高温胁迫下半夏光合参数及有效成分积累的影响[J].中国中药杂志,2014,39(14):2614-2618.
- [18] 薛淑媛,朱世东,李雪,等.外源亚精胺对盐胁迫下甜瓜幼苗光合和超微结构的影响[J].江苏农业学报,2013,29(3):613-618.
- [19] 王颖,郭世荣,束胜,等.外源亚精胺对盐胁迫下菠菜叶绿素合成前体含量的影响[J].西北植物学报,2015,35(10):2026-2034.
- [20] 白志英,李存东,赵金锋,等.干旱胁迫对小麦代换系叶绿素荧光参数的影响及染色体效应初步分析[J].中国农业科学,2011,44(1):47-57.

- [21] 苏贝贝,刘 佳,李琳琳,等. 外源脯氨酸对高温胁迫下半夏抗氧化酶活性及光合特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(12): 34—39.
- [22] 李文兵,王燕凌,李 芳,等. 水分胁迫下多枝桤柳体内活性氧与保护酶的关系 [J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(1): 30—34.
- [23] 赵天宏,孙加伟,付 宇. 逆境胁迫下植物活性氧代谢及外源调控机理的研究进展 [J]. 作物杂志, 2008(3): 10—13.
- [24] 王 燕,刘 青,华 春,等. 外源亚精胺对盐胁迫下水稻根系抗氧化酶活性的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 161—165.
- [25] 强 玮,王亚雄,张巧卓,等. 颠茄托品烷生物碱合成途径基因表达分析与生物碱积累研究 [J]. 中国中药杂志, 39(1): 52—58.

## Effects of Exogenous Spermidine on Physiological Characteristics and Tropane Alkaloids Accumulation of *Atropa belladonna* Under Salt Stress

GUO Shuang, LU Ke-huan, ZHANG Cui-ping,  
WEI Yue, WU Neng-biao

School of Life Science, Southwest University / Key Laboratory of Eco-Environments in  
Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China

**Abstract:** In order to find a method for improving the salt-resistant ability and the content of tropane alkaloids of *Atropa belladonna* under salt stress, different concentration of Spermidine(Spd) were sprayed on their leaves to study the effects on physiological characteristics and tropane alkaloids accumulation. Compared with the control group, lower concentration Spd increased the content of chlorophyll, while decreased the content of malondialdehyde(MDA), soluble sugar, soluble protein(SP), proline(Pro). Moreover, the antioxidant enzyme(POD, SOD)activity was lower than the group under salt stress. In respect of tropane alkaloids accumulation, Spd led to more production of hyoscyamine, and scopolamine has increased to 3.44 fold than the control group at the concentrate of 0.1 mmol/L. However, high concentration Spd cannot have this effect. Thus, proper concentration of Spd is conducive to the growth and production of chemical ingredients of *Atropa belladonna* when suffered salt stress.

**Key words:** *Atropa belladonna*; Spermidine; salt stress; physiological Characteristics; tropane alkaloids

责任编辑 夏 娟

