

王 丹,张亚楠,陈瑞莹,等. 水杨酸对锌胁迫下茴香植株锌吸收及精油组分的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):316-319.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.104

水杨酸对锌胁迫下茴香植株锌吸收及精油组分的影响

王 丹,张亚楠,陈瑞莹,欧广文,肖艳辉

(韶关学院英东农业科学与工程学院,广东韶关 512005)

摘要:采用营养液培养的方式,研究 10 mg/L 锌处理下 0、50、100、200、300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸对茴香植株生长、生理生化指标、锌含量及精油成分的影响。结果表明:在锌胁迫下,200 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸显著促进茴香植株的生长;在锌胁迫下,不同水杨酸浓度处理不利于茴香植株地上部生物量的积累,对地下部生物量的积累也未见显著影响,但会促进茴香植株色素合成,提高茴香植株体内的可溶性蛋白质和可溶性糖含量,减弱 SOD 活性。在锌胁迫下,一定浓度的水杨酸处理可促进茴香植株地下部锌吸收,且 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著高于对照;300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理的地上部锌含量显著低于对照。在锌胁迫下,不同浓度水杨酸处理茴香植株后,有利于柠檬烯含量的升高,但不利于反式-茴香脑的累积。

关键词:茴香;水杨酸;生理指标;锌含量;精油;组分;品质

中图分类号: Q945.78;S573⁺.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0316-04

Zn 是植物生长发育过程中必需的营养元素,环境中缺少 Zn,植物便不能正常生长。但近年来,随着有机肥和城市垃圾的施入,土壤中 Zn 等元素不断积累,全量增高^[1]。当土壤中 Zn 含量过高时,植物会吸收、积累过量的 Zn,从而导致植物减产,严重时造成绝收。不同浓度的锌处理也会影响植物的次生代谢。随着锌浓度的升高,芦荟苷、芦荟大黄素含量升高,但锌浓度超过一定值时,芦荟苷、芦荟大黄素含量反而下降^[2]。在一定浓度(10 mg/L)锌的胁迫下,茴香植株精油中的主要成分反式-茴香脑含量显著高于对照^[3]。

水杨酸(SA)是植物体内自身合成的酚类化合物,它能参与调节植物的许多生理过程。近年来的研究表明,水杨酸可缓解锌对植物的毒害作用。在 300 mg/L 锌胁迫下,小麦

幼苗叶片的可溶性蛋白含量、根系活力显著降低,而脯氨酸和丙二醛含量显著升高;外施水杨酸能显著提高小麦幼苗叶片的脯氨酸和可溶性蛋白含量,显著增强根系活力,显著降低膜脂过氧化产物丙二醛含量,并以 14 mg/L 外源水杨酸缓解效果最好^[4]。此外,水杨酸还会影响植物的次生代谢,可使萌发喜树种子喜树碱含量在初期下降、后期上升^[5]。重金属 Pb 的毒害能抑制迷迭香挥发物中萜烯类的释放,而外源水杨酸的参与则使迷迭香挥发物中的萜烯类增加^[6]。

茴香作为一种芳香植物,植株中含有植物次生代谢产物精油。在水杨酸处理下,茴香植株对锌的吸收量是增加还是减少以及水杨酸处理对茴香精油品质的影响均未见报道。本试验以内蒙古小茴香为材料,采用营养液培养的方式,研究水杨酸对 10 mg/L 锌胁迫下茴香植株生长、锌吸收和运转状况、精油组分的影响,从而为水杨酸在缓解植物锌毒害方面的应用和芳香植物次生代谢方面的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以内蒙古小茴香(*Foeniculum vulgare* Mill.)为试验材料。

育的影响[J]. 种子,2003(5):33-34.

[6] 黄 玮,孟繁蕴,张文生,等. 滇重楼种子休眠机理研究[J]. 中国农学通报,2008,24(12):242-246.

[7] 陆 辉,许继宏,陈锐平,等. 云南重楼属植物资源现状与保护对策[J]. 云南大学学报:自然科学版,2006,28(增刊):307-310.

[8] 张玉波,吴 霞,李药兰,等. 云南重楼的化学成分[J]. 暨南大学学报:自然科学与医学版,2014,35(1):66-72.

[9] Dafni A. Pollination ecology[M]. New York: Oxford Univpress, 1992:1-57.

[10] 徐建东. 滇重楼种植技术[EB/OL]. [2015-02-13]. <http://www.wendangwang.com/doc/04a414324c894f429a176b54>.

[11] 陈彦刚. 滇重楼对气候的要求[EB/OL]. [2015-02-13]. <http://qjagri.com/yx/xp/news9550/20140813/5106471.shtml>.

收稿日期:2014-09-28

基金项目:广东省科技计划(编号:2011B030900015)。

作者简介:王 丹(1992—),女,山西大同人,从事芳香植物栽培与生理方面的研究。E-mail:695300080@qq.com。

通信作者:肖艳辉,硕士,副教授,从事芳香植物栽培与生理方面的研究。E-mail:xiaoyanhui-7394@163.com。

结籽数量多,而结籽数量多是由于胚珠数多所致,而并非结籽率高。

参考文献:

- [1] 李 恒. 重楼属植物[M]. 北京:科学出版社,1998:35-37.
[2] 王丽萍,起学伟. 云南重楼野生驯化及栽培技术研究初探[J]. 中国野生植物资源,2002,21(1):62-63.
[3] 苏文华,张光飞. 滇重楼光合作用与环境因子的关系[J]. 云南大学学报:自然科学版,2003,25(6):545-548.
[4] 李运昌. 重楼属植物引种栽培的研究——I. 滇重楼的有性繁殖试验初报[J]. 云南植物研究,1982,4(4):429-431.
[5] 袁理春,陈 翠,杨丽云,等. 温度和赤霉素对滇重楼种子二次发

茴香种子来源于中国茴香产区之一的内蒙古托克托县,种子生产时间为 2012 年。

1.2 试验方法

2013 年 10 月 21 日于韶关学院塑料大棚中播种育苗。采用河沙作为育苗基质,选取大小均匀、饱满的茴香种子播于育苗盘中,为防止水分蒸发,育苗盘上覆盖 1 层干草。11 月 15 日,待茴香长至 2 叶 1 心时选择生长健壮、大小一致、无病虫害的植株移栽于水培箱(霍格兰培养液,培养液 30 L)的定植板上,每个水培箱培养 24 株茴香,确保茴香根系完全浸没在营养液中。培养茴香植株期间,使用空气压缩泵进行不间断供氧。每个培养箱均安装 2 个通气砂头,以保证增氧均匀。茴香幼苗移栽初期使用 1/2 剂量的培养液培养,待缓苗 15 d 后换成全营养液进行培养,以后每 15 d 换 1 次培养液。12 月 16 日开始进行锌和水杨酸处理,其中锌处理(以硫酸锌形式加入)浓度为 10 mg/L,水杨酸处理浓度分别为 0 (CK)、50、100、200、300 $\mu\text{mol/L}$,2014 年 1 月 12 日开始取样测定各项指标。

1.3 指标的测定与方法

每个处理分别随机取样 10 株,分别测定株高和叶片数;每个处理分别随机取 5 株测定地上部鲜质量和干质量、地下部鲜质量和干质量,并计算根冠比(地下部干质量与地上部干质量之比)。

叶片中叶绿素含量用比色法测定^[7];可溶性糖含量用蒽酮比色法测定^[8];可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[8];POD 和 SOD 活性采用试剂盒和分光光度计比色法。

用原子吸收分光光度计(型号为 AA7000,岛津)测定锌的含量。测定 Zn 的仪器参数为:波长 213.9 nm,狭缝宽为 0.7 nm,工作灯电流为 3 mA,预热灯电流为 2 mA,负高压为 300 V,燃气流量为 1.0 L/min,燃烧器高度为 6.0 mm,燃烧器位置为 4.0 mm。

1.4 精油的提取与定量

精油提取按照国家药典委员会推荐的方法^[9],并适当改进:茴香植株用水洗净,吹干表面水迹,切成 0.5 cm 左右的小段,混匀,准确称质量 35 g,置于 1 000 mL 的圆底烧瓶中,加入 600 mL 的水,用挥发油测定器进行共水蒸馏,微沸蒸馏 3 h;蒸馏时用 2 mL 正己烷(色谱纯)萃取;蒸馏结束后,回收正己烷,用无水硫酸钠干燥,过滤,每个处理蒸馏 3 次;精油的正己烷溶液用棕色瓶封装,于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 下保存。

1.5 精油成分分析

在吴玖涵等方法^[10]的基础上进行适当改进:取茴香精油的正己烷溶液稀释 10 倍,进行气质联用仪(Gas Chromatograph / Mass Spectrometer, GC/MS)分析(Trace GC-2000/DSQ, Thermo Finnigan, USA)。GC 条件:DB5 石英毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气为高纯氮(99.999%);柱流量为 1 mL/min,不分流;柱前压 100 kPa;进样口温度为 220 $^{\circ}\text{C}$;进样量为 1 μL ;程序升温为柱温 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,从 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升高到 200 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,保持 3 min。MS 条件:电离方式为 EI;电子能量为 70 eV;接口温度为 210 $^{\circ}\text{C}$;离子源温度为 200 $^{\circ}\text{C}$;流量扫描范围为 m/z 50 ~ 350;溶剂延迟 4.0 min;发射电流为 100 μA 。在参考前人工作^[11-13]的基础上,计算成分的保留系数,同时结合美国标准与技术研究院(NIST, 2002)标准谱库进行精油成分鉴定,使用色谱峰面积归一法确定精油成分的相对含量,每个样品重复 3 次。

1.6 数据分析

所得数据采用 SPSS 软件包进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法进行平均数的显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株形态指标的影响

由表 1 可以看出,在锌胁迫下,不同浓度水杨酸处理的茴香植株株高均高于对照,但仅 200 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异显著。不同浓度水杨酸处理的茴香植株叶片数与对照差异均不显著,但 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸与 300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理的茴香植株叶片数差异显著。

表 1 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株形态指标的影响

水杨酸浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	株高 (cm)	叶片数 (张)
0 (CK)	13.48 \pm 0.48b	6.67 \pm 0.50ab
50	13.52 \pm 0.53b	6.50 \pm 0.76ab
100	14.14 \pm 0.23ab	7.00 \pm 0.93a
200	14.38 \pm 0.81a	6.38 \pm 0.52ab
300	13.62 \pm 0.44b	6.25 \pm 0.46b

注:同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

2.2 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株生物量的影响

由表 2 可以看出,在锌胁迫下,用不同浓度的水杨酸处理后,茴香植株的地上部鲜质量和干质量几乎均低于对照,其中 50、200 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异显著;茴香植株地下部鲜质量和干质量与对照差异均不显著;根冠比高于或等于对照,且 50、200 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著高于对照。

表 2 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株生物量的影响

水杨酸浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	地上部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地下部干质量 (g)	根冠比
0 (CK)	5.93 \pm 0.48a	0.82 \pm 0.07a	4.94 \pm 0.75a	0.38 \pm 0.04a	0.40 \pm 0.01c
50	4.78 \pm 0.99bc	0.59 \pm 0.06b	6.00 \pm 0.14a	0.41 \pm 0.06a	0.50 \pm 0.08ab
100	5.47 \pm 0.27ab	0.84 \pm 0.07a	6.39 \pm 1.71a	0.35 \pm 0.12a	0.40 \pm 0.03c
200	4.07 \pm 0.02c	0.60 \pm 0.04b	5.76 \pm 0.63a	0.32 \pm 0.06a	0.56 \pm 0.05a
300	4.98 \pm 0.64abc	0.75 \pm 0.07a	4.77 \pm 0.39a	0.33 \pm 0.02a	0.44 \pm 0.03bc

2.3 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香叶片色素含量的影响

由表 3 可以看出,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理的

茴香植株色素含量均高于对照,其中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量均显著高于对照;随着水杨酸处理浓度的增

加,叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量大致呈先降低再升高的趋势,100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著低于其余浓度处理;仅 50 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理的类胡萝卜素含量与对照差异

不显著,其余处理的类胡萝卜素含量均显著高于对照;各浓度水杨酸处理叶绿素 a/ b 均低于对照,仅 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异不显著。

表 3 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香叶片色素含量的影响

水杨酸浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	叶绿素 a 含量 (mg/g ,FW)	叶绿素 b 含量 (mg/g ,FW)	叶绿素 a + b 含量 (mg/g ,FW)	类胡萝卜素含量 (mg/g ,FW)	叶绿素 a/b
0(CK)	1.03 \pm 0.005 0d	0.31 \pm 0.005d	1.34 \pm 0.010d	0.22 \pm 0.020b	3.26 \pm 0.04a
50	1.31 \pm 0.000 3a	0.53 \pm 0.010a	1.85 \pm 0.010a	0.24 \pm 0.002b	2.46 \pm 0.03c
100	1.23 \pm 0.010 0c	0.37 \pm 0.030c	1.59 \pm 0.040c	0.30 \pm 0.010a	3.22 \pm 0.06a
200	1.28 \pm 0.020 0b	0.45 \pm 0.040b	1.72 \pm 0.050b	0.29 \pm 0.020a	2.97 \pm 0.06b
300	1.32 \pm 0.005 0a	0.44 \pm 0.010b	1.75 \pm 0.002b	0.30 \pm 0.020a	3.06 \pm 0.03b

2.4 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株生理生化指标的影响

由表 4 可以看出,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理的茴香植株的可溶性蛋白质含量均高于对照,仅 300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异不显著;各浓度水杨酸处理的可溶性糖

含量均显著高于对照,且随着水杨酸浓度的增加,可溶性糖含量呈先下降再上升的趋势;各浓度水杨酸处理的 POD 活性均弱于对照,但仅 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异显著;各浓度水杨酸处理的 SOD 活性均显著弱于对照。

表 4 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株生理生化指标的影响

水杨酸浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	可溶性蛋白质含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (%,DM)	POD 活性 (U/L)	SOD 活性 (U/g)
0(CK)	9.97 \pm 0.32b	3.48 \pm 0.01d	43.08 \pm 8.26a	21.65 \pm 3.11a
50	13.07 \pm 0.97a	4.16 \pm 0.14bc	42.98 \pm 0.03a	12.86 \pm 3.36b
100	12.20 \pm 0.32a	4.03 \pm 0.14c	25.82 \pm 0.76b	11.11 \pm 1.55b
200	13.12 \pm 0.16a	4.40 \pm 0.05ab	41.95 \pm 0.78a	11.55 \pm 0.20b
300	10.25 \pm 0.55b	4.48 \pm 0.24a	39.96 \pm 2.41a	11.12 \pm 1.83b

2.5 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株地上部和地下部锌含量的影响

由表 5 可以看出,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理后的茴香植株地上部锌含量均低于对照,但仅 300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著低于对照;地下部锌含量均高于对照,但仅 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理与对照差异显著。

包括小茴香酮、爱草脑、葑醇乙酸酯、反式 - 葑酮乙酸酯、顺式 - 茴香脑、反式 - 茴香脑、蒾萝芹菜脑;倍半萜类化合物包括古巴烯、合金欢烯和吉玛烯 D。在锌胁迫下,随水杨酸浓度的增加,含氧化合物与反式 - 茴香脑含量变化趋势一致,倍半萜类呈先增加再降低的趋势,并以 200 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理最高。

表 5 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株地上部和地下部锌含量的影响

水杨酸浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	锌含量(mg/kg)	
	地上部	地下部
0(CK)	181.74 \pm 18.75a	717.90 \pm 2.65b
50	158.02 \pm 1.95a	739.42 \pm 14.56b
100	180.64 \pm 1.99a	814.30 \pm 3.97a
200	162.39 \pm 6.62a	733.81 \pm 14.56b
300	118.40 \pm 3.97b	743.17 \pm 9.27b

2.6 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香精油组分的影响

由表 6 可以看出,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理茴香植株后,茴香精油中相对含量大于 1% 的成分主要有 α - 水芹烯、柠檬烯、 α - 蒾品烯、蒾品油烯、顺式 - 茴香脑、反式 - 茴香脑、肉豆蔻醚和蒾萝芹菜脑,其中反式 - 茴香脑为第一主要成分,柠檬烯为第二主要成分。各处理的柠檬烯含量均显著高于对照,以 200 $\mu\text{mol/L}$ 处理最高;各处理的反式 - 茴香脑含量均显著低于对照,并以 200 $\mu\text{mol/L}$ 处理最低。

按照分子结构,茴香精油成分可分为三大类,即单萜类化合物、含氧化合物和倍半萜类化合物,其中单萜类化合物包括 α - 蒾烯、 β - 蒾烯、 α - 水芹烯、 α - 蒾品烯、柠檬烯、 γ - 蒾品烯、蒾品油烯和 3,4 - 二甲基 - 2,4,6 - 辛三烯;含氧化合物

3 结论与讨论

本研究结果表明,一定浓度(200 $\mu\text{mol/L}$) 水杨酸处理可以缓解 10 mg/L 锌胁迫对茴香植株生长的抑制作用;不同浓度水杨酸处理不利于茴香植株地上部生物量的积累,对地下部生物量的累积没有显著影响。一定浓度的水杨酸处理可提高根冠比。

叶绿体色素参与光合作用过程中光能的吸收、传递和转化,其含量直接影响植物的光合能力^[14]。根据本研究结果,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理的茴香植株各色素含量均高于对照,并以 50 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理的叶绿素合成促进效果最明显,说明在锌胁迫下,不同浓度水杨酸处理可促进茴香植株色素合成。这与张芬琴等在水杨酸对镉胁迫下玉米幼苗生理特性的研究结果^[15]一致。

在锌胁迫下,不同浓度水杨酸处理能提高茴香植株可溶性蛋白质和可溶性糖的含量,减弱 SOD 的活性,该研究结果与宿越等的研究结果^[16]一致。不同浓度水杨酸处理并未显著增加茴香植株地上部对锌的吸收,且 300 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著低于对照;茴香植株地下部锌含量仅以 100 $\mu\text{mol/L}$ 水杨酸处理显著高于对照,且锌主要累积在茴香植株的地下部,这对利用茴香植株来修复锌污染土壤时,适当施用一定浓度

表 6 不同浓度水杨酸对锌胁迫下茴香植株精油组分的影响

成分	保留时间 (min)	相对含量(%)				
		CK	50 $\mu\text{mol/L}$	100 $\mu\text{mol/L}$	200 $\mu\text{mol/L}$	300 $\mu\text{mol/L}$
α -蒎烯	4.64	0.02 \pm 0.01d	0.06 \pm 0.01d	0.35 \pm 0.03b	0.28 \pm 0.01c	0.57 \pm 0.01a
α -水芹烯	5.53	0.09 \pm 0.04d	0.18 \pm 0.01d	4.29 \pm 0.06a	0.39 \pm 0.01c	3.00 \pm 0.08b
柠檬烯	5.88	5.73 \pm 2.39d	19.40 \pm 0.42bc	17.00 \pm 0.13c	22.69 \pm 0.19a	20.23 \pm 0.32ab
α -蒎品烯	6.27	0.26 \pm 0.13c	1.00 \pm 0.22b	1.13 \pm 0.11b	1.70 \pm 0.06a	1.10 \pm 0.04b
蒎品油烯	6.70	0.90 \pm 0.45c	3.59 \pm 0.54b	4.64 \pm 0.11a	5.43 \pm 0.07a	3.72 \pm 0.17b
茴香酮	6.82	0.04 \pm 0.01d	0.09 \pm 0.03d	0.34 \pm 0.04c	0.73 \pm 0.02a	0.45 \pm 0.01b
3,4-二甲基-2,4,6-辛三烯	7.24	0.02 \pm 0.01d	0.05 \pm 0.01c	0.08 \pm 0.01b	0.12 \pm 0.01a	0.12 \pm 0.01a
顺式-茴香脑	8.16	0.15 \pm 0.08c	1.42 \pm 0.36b	1.73 \pm 0.15ab	2.01 \pm 0.04a	1.58 \pm 0.08ab
葑醇乙酸酯	8.66	0.02 \pm 0.01c	0.03 \pm 0.01bc	0.04 \pm 0.01b	0.07 \pm 0.00a	0.06 \pm 0.01a
反式-葑醇乙酸酯	8.85	0.10 \pm 0.05e	0.27 \pm 0.08d	0.49 \pm 0.06c	0.92 \pm 0.00a	0.67 \pm 0.02b
反式-茴香脑	9.38	79.72 \pm 4.54a	62.11 \pm 1.42b	58.22 \pm 0.99bc	55.05 \pm 0.45c	59.76 \pm 0.81bc
金合欢烯	11.56	0.04 \pm 0.03b	0.04 \pm 0.01b	0.10 \pm 0.01a	0.11 \pm 0.01a	0.09 \pm 0.01a
吉玛烯 D	11.97	0.02 \pm 0.01c	0.01 \pm 0.00c	0.03 \pm 0.00b	0.10 \pm 0.00a	0.01 \pm 0.00c
肉豆蔻醚	12.30	0.22 \pm 0.11d	1.02 \pm 0.23c	1.48 \pm 0.09b	1.24 \pm 0.03bc	2.02 \pm 0.07a
葑萝芹菜脑	13.53	11.53 \pm 0.85a	10.20 \pm 0.25b	8.71 \pm 0.06c	7.74 \pm 0.01c	5.48 \pm 0.01d
单萜类		7.01 \pm 3.04c	23.84 \pm 0.93b	27.47 \pm 0.44ab	30.59 \pm 0.34a	28.72 \pm 0.62a
含氧化合物		91.76 \pm 3.44a	75.13 \pm 0.46b	71.00 \pm 0.59bc	67.75 \pm 0.38c	70.00 \pm 0.63c
倍半萜类		0.01 \pm 0.01d	0.01 \pm 0.00d	0.13 \pm 0.01b	0.21 \pm 0.01a	0.10 \pm 0.01c
总计		98.83 \pm 0.36a	99.01 \pm 0.48a	98.60 \pm 0.13a	98.55 \pm 0.04a	98.81 \pm 0.00a

注:同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

的水杨酸可提高修复效率。

茴香精油中反式-茴香脑的含量是反映茴香精油品质的主要指标,反式-茴香脑含量高表明精油品质好。本研究结果表明,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理茴香植株后,茴香精油的主要成分反式-茴香脑含量均显著低于对照,柠檬烯含量均显著高于对照。说明在锌胁迫下,不同浓度水杨酸处理有利于柠檬烯的合成,不利于反式-茴香脑的合成。因此,在锌胁迫下,用不同浓度水杨酸处理茴香植株后,茴香精油品质会变差。

参考文献:

- [1]张民,龚子同.我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J].土壤学报,1996,33(1):85-93.
- [2]郗国宏,李卫宁,李超,等.锌对芦荟的根活力及活性物质含量的影响[J].湖北农业科学,2011,50(7):1403-1405.
- [3]肖艳辉,何金明,潘春香,等.锌浓度对茴香植株锌吸收累积及精油组分的影响[J].广东农业科学,2014,41(9):24-27,32.
- [4]常云霞,王红星,陈龙.水杨酸对锌胁迫下小麦幼苗生长抑制的缓解效应[J].西北植物学报,2011,31(10):2052-2056.
- [5]黄永鑫,臧玲玲,蒋琛.水杨酸和茉莉酸甲酯对喜树种子中次生代谢产物含量的影响[J].价值工程,2011,30(3):298-299.
- [6]求红波,王丹,周示玉,等.外源水杨酸对重金属Pb毒害胁迫挥发物释放的缓解效应[J].浙江工业大学学报,2012,40(3):

270-274,302.

- [7]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,2004:46-49.
- [8]李合生,孙群,赵世杰.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:172-174.
- [9]国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:化学工业出版社,2009:35.
- [10]吴玖涵,聂凌云,刘云,等.气相色谱-质谱法分析不同产地小茴香药材挥发油成分[J].药物分析杂志,2001,21(6):415-418.
- [11]赵淑平,丛浦珠,权丽辉.小茴香挥发油的质量研究[J].中药材,1989,12(9):33-34.
- [12]赵淑平,丛浦珠,权丽辉,等.小茴香挥发油的成分[J].植物学报:英文版,1991,33(1):82-84.
- [13]Mimica-Dukic N, Kujundzic S, Sokovic M, et al. Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions[J]. Phytotherapy Research, 2003,17(4):368-371.
- [14]孙天国,沙伟,张建.水杨酸对镍胁迫下甜瓜幼苗生理活性的影响[J].北方园艺,2010(11):39-41.
- [15]张芬琴,李晓利,马斌山,等.水杨酸对镉胁迫下玉米幼苗生理特性的影响[J].湖北农业科学,2006,45(5):567-569.
- [16]宿越,李天来,杨风军,等.外源水杨酸对NaCl胁迫下番茄幼苗保护酶活性和渗透调节物质含量的影响[J].沈阳农业大学学报,2009,40(3):273-276.