

五种苹果砧木的生长及生理特性对盐胁迫的响应

张志晓, 曾丽蓉, 赵嘉菱, 郭冰鑫, 王 燕, 骆建霞

(天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384)

摘 要:以八棱海棠(*Malus robusta*)、平顶海棠(*Malus prunifolia*)、红果海棠(*Malus sieboldii*)、珠美海棠(*Malus zumi*)、西府海棠(*Malus micromalus*)一年生实生苗为试材,对其进行盐胁迫处理,比较其耐盐性差异。结果表明:随盐浓度增加,参试植物的新梢生长量、叶面积和叶片厚度、根系活力降低,盐害率和盐害指数增加,其中八棱海棠的变化幅度最小,红果海棠相对较大;叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)含量变化各异,但八棱海棠和平顶海棠的变化较小;参试植株的可溶性糖及丙二醛(MDA)含量均随盐浓度增加呈上升趋势;超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性均受不同程度影响,八棱海棠的 SOD 活性变化较小;八棱海棠的隶属函数平均值最大,红果海棠的最小。结合其形态表现综合分析认为,5 种苹果砧木的耐盐性强弱依次为:八棱海棠、西府海棠、平顶海棠、珠美海棠、红果海棠。

关键词:苹果砧木;盐胁迫;生长;生理特性;隶属函数

中图分类号:S 661.104⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)03-0019-07

苹果是我国北方地区栽培的重要果树,土壤盐渍化已成为影响苹果生长的主要因素之一,苹果的耐盐能力与苹果品种及砧木关系密切,因此选择耐盐能力强的苹果砧木是提高苹果耐盐性的主要措施之一。有关苹果砧木耐盐性的研究多有报道^[1-4]。八棱海棠、西府海棠、平顶海棠、珠美海棠以及红果海棠被广泛用作苹果的砧木,也可作为观赏树木,有学者分别对八棱海棠、珠美海棠等进行过耐盐能力的研究^[1,4-5],但尚鲜见对此 5 种苹果砧木耐盐差异性比较的研究报道。该试验采用不同浓度 NaCl 溶液对其进行盐胁迫处理,测定不同盐胁迫处理下的生长及生理指标,并利用隶属函数分析比较其耐盐性,以期苹果苗木生产上砧木的选择及其在园林绿化中的应用提供参考依据。

第一作者简介:张志晓(1971-),男,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为果树栽培适应性。E-mail:john148@263.net.

责任作者:骆建霞(1957-),女,河北涿州人,本科,教授,现主要从事果树及园林地被植物资源及其适应性等研究工作。E-mail:tjluojianxia@126.com.

基金项目:天津市科委 2014 年基础与前沿技术研究计划资助项目(14JCYBJC30200);天津市农委农业科技示范推广资助项目(201101120)。

收稿日期:2016-09-23

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为八棱海棠(*M. robusta*)、西府海棠(*M. micromalus*)、平顶海棠(*M. prunifolia*)、珠美海棠(*M. zumi*)、红果海棠(*M. sieboldii*)一年生实生苗。

1.2 试验方法

2015 年 3 月将经过沙藏的种子进行播种育苗,以蛭石为栽培基质,待幼苗长至约 10 cm 高时移栽上盆(口径 20 cm),期间喷施营养液保证苗木正常生长。缓苗生长 2 周后选择生长发育基本一致的植株,用于盐胁迫处理。以基质含盐量($0.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)为对照,用 1.5、2.5、3.5、4.5、5.5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 的 NaCl 溶液处理。采用随机区组设计,3 次重复,每个处理至少 25 株。盐胁迫 96 h(4 d)后取样进行各指标测定。试验期间观察记录植株表现,统计盐害率,计算盐害指数。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标 新梢生长量:用卷尺分别测定盐胁迫处理前和处理后植株的新梢总长度,计算生长量和相对生长量。生长量(cm)=处理后新梢平均总长度-处理前新梢平均总长度;相对生长量(%)=处理生长量/对照生长量 $\times 100$;用画纸称质量法测叶面积;徒手制片,显微测微尺测定叶片厚度。

1.3.2 盐害指数和盐害率的测定 对全部参试植物进行观察统计,计算各处理的盐害率和盐害指数。盐害分级标准^[6]为:0级,无盐害症状;1级,有少部分叶尖、叶缘或者叶脉变黄;2级,有大约 1/2 的叶尖、叶缘焦枯;3级,大部分叶尖、叶缘焦枯或落叶;4级,叶落、枝枯、植株死亡。盐害率(%)=盐害株数/总株数×100;盐害指数(%)=(∑盐害级值×相应盐害级植株数)/(总株数×盐害最高级值)×100。

1.3.3 生理生化指标 随机选取新梢中部成熟有代表性叶片,用丙酮提取法测定叶绿素含量;蒽酮法测定可溶性糖含量;硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量;氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力^[7]。

1.4 数据分析

采用 SPSS V17.0 统计软件进行数据分析,邓肯氏新复极差法进行差异比较。隶属函数分析,隶属函数值: $R(1)=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$,反隶属函数值: $R(2)=1-(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ 。式中,

X_i 为指标测定值, X_{\min} 、 X_{\max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对苹果砧木新梢及叶片生长的影响

如表 1 所示,参试植物新梢生长量随盐浓度的增加而减小,珠美海棠、西府海棠和红果海棠的新梢生长量在 NaCl 浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时就极显著低于对照,而八棱海棠和平顶海棠则在 NaCl 浓度分别为 3.5 、 $4.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时极显著低于对照。新梢相对生长量可以消除因植物种类不同对新梢生长量的影响,反映了植物对盐胁迫的耐受力,该试验结果显示,八棱海棠新梢相对生长量最大,达到 79.6%,红果海棠的最小,仅为 23.9%。

表 2 表明,随盐浓度增加,各参试植物的叶面积和叶片厚度均呈下降趋势。八棱海棠的叶面积在 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 盐胁迫下极显著降低,叶厚则变化较小;红果海棠在中、重度盐胁迫下($4.5 \sim 5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)叶面积和叶片厚度极显著减小,而其余 3 种海棠则在轻、中度盐胁迫($2.5 \sim 3.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)显著或极显

表 1 盐胁迫对苹果砧木新梢生长的影响

| Table 1 Effects of salt stress on the shoot increments of apple rootstock cm | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 处理 Treatment/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 八棱海棠 M_r | 平顶海棠 M_p | 珠美海棠 M_z | 西府海棠 M_m | 红果海棠 M_s |
| 0.5(CK) | 0.187aA | 0.270aA | 0.341aA | 0.137aA | 0.167aA |
| 1.5 | 0.170abAB | 0.249abAB | 0.208bB | 0.125bB | 0.100bB |
| 2.5 | 0.158bcAB | 0.211bcABC | 0.167cBC | 0.100cC | 0.100bB |
| 3.5 | 0.154bcBC | 0.207bcABC | 0.170cBC | 0 | 0 |
| 4.5 | 0.140cdBC | 0.192cBC | 0.150cC | 0 | 0 |
| 5.5 | 0.122dC | 0.178cC | 0.158cBC | 0 | 0 |
| 相对生长量 Relative growth/% | 79.6 | 76.8 | 50.0 | 32.8 | 23.9 |

注:同列数据后不同大小写字母者分别表示差异达极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$)水平,下表同。

Note: Lowercase and capital letters in each column indicate significantly different at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. The same below.

表 2 苹果砧木在盐胁迫下叶面积及叶片厚度的变化

| Table 2 Changes of apple rootstock's leaf area and sickness under salt stress | | | | | | |
|---|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 指标 Index | NaCl /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 八棱海棠 M_r | 平顶海棠 M_p | 珠美海棠 M_z | 西府海棠 M_m | 红果海棠 M_s |
| 叶面积 Leaf area/ cm^2 | 0.5(CK) | 0.038aA | 0.025aA | 0.035aA | 0.025aA | 0.019aA |
| | 1.5 | 0.035aA | 0.023aA | 0.029bcBC | 0.021bB | 0.018aA |
| | 2.5 | 0.034aA | 0.018bC | 0.026dC | 0.022bAB | 0.018aA |
| | 3.5 | 0.034aA | 0.018bC | 0.031bB | 0.019cC | 0.018aA |
| | 4.5 | 0.034aA | 0.019bBC | 0.027dC | 0.018cC | 0.012bB |
| | 5.5 | 0.028bB | 0.017bC | 0.028cdBC | 0.018cC | 0.012bB |
| 叶片厚度 Leaf sickness/ μm | 0.5(CK) | 31.111aA | 31.389aA | 35.056aA | 28.333aA | 28.167aA |
| | 1.5 | 30.611abA | 27.222bB | 32.000bB | 26.167abAB | 26.944aA |
| | 2.5 | 29.167abA | 26.111bcBC | 31.056bcB | 25.000bcAB | 27.333aA |
| | 3.5 | 30.667abA | 24.722cBC | 30.667bcB | 24.667bcB | 26.667aA |
| | 4.5 | 28.833abA | 24.389cC | 29.833cB | 24.333cB | 22.667bB |
| | 5.5 | 28.167bA | 24.389cC | 27.222dC | 23.333cB | 22.222bB |

著减小。该结果说明八棱海棠叶片的生长受盐胁迫的影响较小。

2.2 盐胁迫下苹果砧木的盐害率和盐害指数

由表 3 可以看出,参试植物盐害率随盐浓度增加而极显著上升,但各植株表现有较大差异,在 CK 时,红果海棠盐害率已超过 50%,而八棱海棠仅为 4.4%,当 NaCl 浓度为 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,八棱海棠的盐害率不足 10%,红果海棠则高达 93.9%,珠美海棠和西府海棠也达到 50% 以上。盐害率可从数量上反映植物受盐害情况,盐害指数则可反映植株受盐害的程度,由表 3 还可以看出,参试植物盐害指数也随盐浓度增加而极显著上升,但八棱海棠和平顶海棠增加幅度较小,在 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 盐浓度时尚未超过 5%,而红果海棠和西府海棠的盐害指数增加幅度较

大,在 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时高达 32.0% 和 53.6%。综合盐害率和盐害指数可看出,八棱海棠可以耐较高浓度的盐胁迫,而红果海棠和西府海棠耐盐胁迫的能力较弱。

2.3 盐胁迫对苹果砧木色素含量的影响

随着盐浓度增加,参试植物色素(Chl、Car)含量变化表现出较大差异(表 4),八棱海棠的 Chl、Car 含量在重度盐胁迫时均显著增加,平顶海棠的 Chl、Car 含量均未发生显著变化,西府海棠的 Chl、Car 含量下降幅度则较大。表明八棱海棠在盐胁迫下能提高色素(Chl、Car)含量,为其光合作用提高物质保障。盐胁迫下,植物保持较高的 Car/Chl 有利于其抵御盐胁迫^[8]。该试验结果显示,在重度盐胁迫下($5.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)下,红果海棠的 Car/Chl 下降幅度最

表 3 盐胁迫对苹果砧木盐害率和盐害指数的影响

Table 3 Effects of salt stress on rootstocks' salt injury rate and index

| 指标 Index | NaCl /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 八棱海棠 <i>M. r</i> | 平顶海棠 <i>M. p</i> | 珠美海棠 <i>M. z</i> | 西府海棠 <i>M. m</i> | 红果海棠 <i>M. s</i> |
|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 盐害率 Salt injury rate/% | 0.5(CK) | 4.4dC | 5.4dD | 11.3eE | 23.1eD | 56.6dB |
| | 1.5 | 5.0cdC | 8.4cC | 24.1dD | 53.6dC | 64.8cB |
| | 2.5 | 5.2cC | 14.6bB | 36.8cC | 71.6cB | 82.2bA |
| | 3.5 | 5.3cC | 15.4bB | 37.9cC | 77.6bcAB | 86.9abA |
| | 4.5 | 7.0bB | 17.2aA | 53.1bB | 82.3abA | 93.7aA |
| | 5.5 | 9.0aA | 17.2aA | 64.6aA | 87.4aA | 93.9aA |
| 盐害指数 Salt injury index/% | 0.5(CK) | 1.1dC | 1.1dD | 2.6eE | 25.7dC | 9.5dD |
| | 1.5 | 1.3cdBC | 2.1cC | 8.0dD | 30.7cC | 18.0cC |
| | 2.5 | 1.7bcBC | 2.1cC | 8.9dCD | 45.2bB | 22.0bB |
| | 3.5 | 1.3cdC | 3.3bB | 10.6cC | 44.7bB | 24.2bB |
| | 4.5 | 1.9bB | 3.7bAB | 14.3bB | 50.4aAB | 32.1aA |
| | 5.5 | 3.0aA | 4.1aA | 24.0aA | 53.6aA | 32.0aA |

表 4 盐胁迫对苹果砧木色素含量及其比值变化的影响

Table 4 Effects of salt stress on the content of chlorophyll, carotenoid and ratio of Car/Chl

| 指标 Index | NaCl /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 八棱海棠 <i>M. r</i> | 平顶海棠 <i>M. p</i> | 珠美海棠 <i>M. z</i> | 西府海棠 <i>M. m</i> | 红果海棠 <i>M. s</i> |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 叶绿素含量 Chl content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 0.5(CK) | 2.569dD | 2.059a | 1.863cBCD | 2.883abA | 2.076bAB |
| | 1.5 | 2.821cC | 2.028a | 1.903bcBC | 2.811bA | 2.216aA |
| | 2.5 | 3.393aA | 1.943a | 1.710dD | 2.908aA | 1.912cB |
| | 3.5 | 2.768cCD | 2.290a | 1.995bB | 2.669cB | 1.925cB |
| | 4.5 | 3.249abAB | 2.039a | 2.301aA | 2.883abA | 2.226aA |
| | 5.5 | 3.098bB | 2.172a | 1.816cCD | 2.171dC | 2.080bAB |
| 类胡萝卜素含量 Carotenoid content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 0.5(CK) | 0.344cdCD | 0.265a | 0.293abAB | 0.422aA | 0.361aA |
| | 1.5 | 0.426aA | 0.240a | 0.234cB | 0.358cC | 0.325bAB |
| | 2.5 | 0.392bAB | 0.267a | 0.260bcAB | 0.375bB | 0.306bcB |
| | 3.5 | 0.331dD | 0.286a | 0.297abA | 0.373bB | 0.292cB |
| | 4.5 | 0.378bBC | 0.293a | 0.308aA | 0.373bB | 0.325bAB |
| | 5.5 | 0.368bcBC | 0.259a | 0.311aA | 0.308dD | 0.303bcB |
| 类胡萝卜素和叶绿素含量比值 Car/Chl | 0.5(CK) | 0.134 | 0.129 | 0.157 | 0.146 | 0.174 |
| | 1.5 | 0.151 | 0.118 | 0.123 | 0.127 | 0.147 |
| | 2.5 | 0.116 | 0.137 | 0.152 | 0.129 | 0.160 |
| | 3.5 | 0.120 | 0.125 | 0.149 | 0.140 | 0.152 |
| | 4.5 | 0.116 | 0.144 | 0.134 | 0.129 | 0.146 |
| | 5.5 | 0.119 | 0.119 | 0.171 | 0.142 | 0.146 |

大,比对照下降了 16.1%,八棱海棠和平顶海棠下降幅度较小,西府海棠能保持对照水平,珠美海棠则高于对照水平。

2.4 盐胁迫对苹果砧木可溶性糖含量及 MDA 含量的影响

如表 5 所示,八棱海棠在各盐胁迫处理下可溶性

表 5 不同苹果砧木在盐胁迫下可溶性糖含量及丙二醛含量的变化

Table 5 Changes of soluble sugar content and MDA content in different apple rootstock under salt stress

| 指标 Index | NaCl /(mg·g ⁻¹) | 八棱海棠 <i>M. r</i> | 平顶海棠 <i>M. p</i> | 珠美海棠 <i>M. z</i> | 西府海棠 <i>M. m</i> | 红果海棠 <i>M. s</i> |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 可溶性糖含量 Soluble sugar content/% | 0.5(CK) | 0.030a | 0.030abA | 0.033aAB | 0.024bcABC | 0.041aAB |
| | 1.5 | 0.033a | 0.029bA | 0.023cC | 0.026bcAB | 0.035cC |
| | 2.5 | 0.032a | 0.032abA | 0.029bBC | 0.030aA | 0.036bcC |
| | 3.5 | 0.030a | 0.029bA | 0.024cC | 0.020dC | 0.038bBC |
| | 4.5 | 0.030a | 0.034aA | 0.024cC | 0.022cdBC | 0.037bcC |
| | 5.5 | 0.032a | 0.032abA | 0.036aA | 0.026abAB | 0.043aA |
| 丙二醛含量 MDA content/% | 0.5(CK) | 0.005dC | 0.005cB | 0.014bBC | 0.014cB | 0.006cdC |
| | 1.5 | 0.006cdC | 0.004cB | 0.014bBC | 0.015bcAB | 0.007cC |
| | 2.5 | 0.007bcBC | 0.005cB | 0.012cC | 0.018aA | 0.003dC |
| | 3.5 | 0.009bB | 0.008bA | 0.010dD | 0.017abAB | 0.013bB |
| | 4.5 | 0.002eD | 0.010aA | 0.018aA | 0.009dC | 0.022aA |
| | 5.5 | 0.011aA | 0.010aA | 0.015bB | 0.018aA | 0.013bB |

珠美海棠和西府海棠的 MDA 含量在 NaCl 浓度为 2.5 mg·g⁻¹ 时,八棱海棠、平顶海棠和红果海棠在 NaCl 浓度为 3.5 mg·g⁻¹ 时极显著高于对照。说明盐胁迫对参试植物的细胞膜有一定程度的破坏,以八棱海棠、平顶海棠受破坏程度最低,珠美海棠和西府海棠受破坏程度较高。

2.5 盐胁迫对苹果砧木叶片中抗氧化酶活性的影响

由表 6 可以看出,盐胁迫下参试植物 SOD 活性的变化不尽相同。平顶海棠和珠美海棠随盐浓度增加呈先降后升趋势,2.5 mg·g⁻¹ 时最低,极显著低

糖含量差异不显著,平顶海棠各处理间的未达差异极显著水平,其余 3 种苹果砧木在 1.5~4.5 mg·g⁻¹ 浓度的盐胁迫下,显著或极显著低于对照,但在 5.5 mg·g⁻¹ 时均能升至对照水平。体现了参试植物对盐胁迫作出的不同的糖代谢调节。

于对照,西府海棠和红果海棠则呈先升后降趋势,红果海棠在 3.5 mg·g⁻¹ 时最高,极显著高于对照;5 种苹果砧木在 5.5 mg·g⁻¹ 时均升至对照水平;八棱海棠在盐胁迫下的 SOD 活性未发生显著变化。参试植物 POD 活性的变化差异表明,随盐浓度增加,八棱海棠和红果海棠的 POD 活性呈先降后升趋势,红果海棠在 3.5 mg·g⁻¹ 盐胁迫处理时最低,极显著低于对照;西府海棠呈上升趋势,3.5 mg·g⁻¹ 时极显著高于对照。参试植物 SOD、POD 活性在盐胁迫下的上述变化,反映了其抵御盐胁迫的响应机制可能不同。

表 6 盐胁迫下苹果砧木 SOD 活性及 POD 活性比较

Table 6 Comparison of activity of SOD and POD in apple rootstock under salt stress

| 测定指标 Index | NaCl /(mg·g ⁻¹) | 八棱海棠 <i>M. r</i> | 平顶海棠 <i>M. p</i> | 珠美海棠 <i>M. z</i> | 西府海棠 <i>M. m</i> | 红果海棠 <i>M. s</i> |
|--|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 超氧化物歧化酶活性 SOD activity /(U·g ⁻¹ FW) | 0.5(CK) | 211.220a | 363.592abA | 344.408aA | 358.40abAB | 330.811bBC |
| | 1.5 | 228.602a | 348.793bAB | 225.490bB | 367.26abAB | 299.122bC |
| | 2.5 | 203.026a | 313.06cB | 52.053cC | 388.56aA | 372.339aAB |
| | 3.5 | 200.507a | 365.57abA | 188.554bB | 279.62dC | 401.499aA |
| | 4.5 | 236.003a | 349.01bAB | 170.686bB | 316.85cdBC | 327.831bBC |
| | 5.5 | 225.140a | 386.78aA | 314.447aA | 332.5bcAC | 317.132bC |
| 过氧化物酶活性 POD activity /(U·g ⁻¹ FW) | 0.5(CK) | 5440.0aAB | 5100.0aA | 3090.0cC | 2950.0cB | 3675.0aA |
| | 1.5 | 2565.0cC | 5460.0aA | 5505.0aA | 3700.0bcAB | 3950.0aA |
| | 2.5 | 2190.0cC | 3670.0bB | 4300.0bB | 3710.0bcAB | 1995.0bB |
| | 3.5 | 5880.0aA | 5040.0aA | 4575.0bB | 4830.0aA | 1880.0bB |
| | 4.5 | 4635.0bB | 3450.0bB | 3225.0cC | 4460.0abA | 1995.0bB |
| | 5.5 | 4540.0bB | 3405.0bB | 3040.0cC | 4170.0abAB | 4000.0aA |

2.6 盐胁迫对苹果砧木根系活力的影响

从表 7 可以看出,参试植物根系活力随盐浓度的增加呈下降趋势,说明根系活力受到抑制。珠美海棠在 NaCl 浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,八棱海棠和平顶海棠在 NaCl 浓度为 $3.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时极显著低于对照,西府海棠在中重度盐胁迫下根系活力保持在对照水平,说明八棱海棠和西府海棠根系能耐受比较高的盐浓度。

2.7 隶属函数分析

用任何单一指标评价苹果砧木的耐盐性都是片面的,应对多指标综合分析;应用隶属函数在多指标

测定的基础上对苹果砧木耐盐性进行综合评价,此法在植物的抗逆性研究中应用广泛^[9-10]。同时为消除参试植物各测试指标本身存在差异(CK 处理时)的影响而更客观地比较其耐盐性,采用盐胁迫下各指标的相对平均值(即各胁迫处理下的平均值除以相应 CK 数值)进行隶属函数分析,隶属函数平均值越大者,耐盐性越强,否则反之。

由此可评价 5 种苹果砧木耐盐性由强至弱依次为八棱海棠>西府海棠>平顶海棠>珠美海棠>红果海棠(表 8),这与参试植物在田间(含盐量 4.02% , pH 7.9)种植时的表现基本吻合。

表 7 不同苹果砧木在盐胁迫下根系活力的比较

| NaCl /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 八棱海棠 M_r | 平顶海棠 M_p | 珠美海棠 M_z | 西府海棠 M_m | 红果海棠 M_s |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.5(CK) | 0.016aA | 0.014aA | 0.014aA | 0.007aA | 0.019aA |
| 1.5 | 0.014bcAB | 0.013aAB | 0.007cdBC | 0.007aA | 0.018aA |
| 2.5 | 0.015abA | 0.012abABC | 0.008bcBC | 0.005bB | 0.011cC |
| 3.5 | 0.013cBC | 0.010bBCD | 0.009bcB | 0.005bB | 0.013bB |
| 4.5 | 0.011dC | 0.010bCD | 0.005dC | 0.007aA | 0.010dC |
| 5.5 | 0.008eD | 0.007cD | 0.010bAB | 0.007aA | 0.005eD |

表 8 盐胁迫下 5 种植株各指标隶属函数的分析

| 苹果砧木 Root-stock | 盐害指数 Salt injury index | 叶面积 Leaf area | 叶片厚度 Leaf thickness | Car/Chl | 新梢生长量 Shoot length | 相对生长量 RGR | SOD | POD | 根系活力 Root activity | 丙二醛含量 MDA content | 可溶性糖含量 Soluble sugar content | 均值 Average value | 排序 Rank |
|--------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------|---------|--------------------------|--------------|-------|-------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|
| 八棱海棠 M_r | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.626 | 0.563 | 1.000 | 0.835 | 1 |
| 平顶海棠 M_p | 0.673 | 0.000 | 0.000 | 0.323 | 0.950 | 0.938 | 0.000 | 0.141 | 0.565 | 0.478 | 0.969 | 0.458 | 3 |
| 珠美海棠 M_z | 0.000 | 0.426 | 0.371 | 0.427 | 0.468 | 0.466 | 0.371 | 0.885 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.401 | 4 |
| 西府海棠 M_m | 0.978 | 0.222 | 0.457 | 0.000 | 0.158 | 0.158 | 0.457 | 1.000 | 1.000 | 0.880 | 0.937 | 0.568 | 2 |
| 红果海棠 M_s | 0.697 | 0.565 | 0.607 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.607 | 0.035 | 0.131 | 0.000 | 0.439 | 0.303 | 5 |

3 讨论与结论

植物受盐胁迫后的直观表现就是生长受到抑制,植株生长量和相对生长量在盐胁迫下的变化可以反映其耐盐性高低^[4]。该试验中,参试植物新梢生长量随着盐浓度的升高而下降,红果海棠降幅最大,八棱海棠降幅最小。不同盐浓度处理下,八棱海棠的新梢相对生长量最大,西府海棠和珠美海棠次之,红果海棠最小;叶面积及叶片厚度也呈现类似的变化趋势。说明八棱海棠生长受盐胁迫抑制程度最低,其耐盐性最强。

盐胁迫对植物的影响涉及到一系列的生理生化变化,如根系活力、MDA 含量、抗氧化酶活性等,植株的耐盐性是多种耐盐生理性状的综合反映。在盐胁迫条件下,细胞膜首先受到盐离子影响而产生变化,高盐浓度能增加细胞膜透性,加快膜质过氧化作

用,最终导致膜系统的损伤^[11-12]。MDA 作为膜脂过氧化作用的产物,是植株细胞膜脂受损程度的重要指标,其含量的多少可以反映膜损伤程度的大小,植株体内的 SOD、POD 在消除超氧化物自由基和减轻膜伤害方面有着重要作用,能够清除膜脂过氧化作用产生的 MDA 及活性氧和其它自由基,达到保护膜结构的作用,从而提高植株的抗逆性^[13]。有研究报道:MDA 的积累量随盐浓度增加迅速上升^[14],有关 SOD 活性在逆境条件下的变化,多数研究报道 SOD 活性随着逆境胁迫程度的增加而逐渐增加,但在重度胁迫下逐渐下降^[12];该试验中随着盐浓度增加,参试植物的 MDA 含量均呈上升趋势,SOD 活性也受到不同程度的影响,八棱海棠无显著变化,说明盐胁迫对参试植物的细胞膜一定程度的破坏,但八棱海棠耐盐胁迫能力较强,可能尚未启动 SOD 保护程

序,西府海棠和红果海棠的 SOD 则先升后降,说明高浓度盐胁迫已超出其保护范围,此结果与其盐害率、盐害指数及植株形态表现相一致,同时也印证了杨升等^[13]对 16 种园林树木的耐盐性及朱世平等^[14]对 5 种柑橘砧木出苗期耐盐碱性的研究结果。

Chl 是植株进行光合作用的重要色素之一,其含量变化直接影响到可溶性糖及生物量积累。有研究报道:在盐胁迫下,大多数植物 Chl 随盐浓度的增加而逐渐减少,说明盐渍环境降低了 Chl 的合成,也可能加快了 Chl 的衰老和分解^[8,15-16]。也有报道,植物叶片中 Chl 随盐浓度增加先升后降或者逐渐升高,在一定盐浓度范围内有利于其 Chl 的合成,说明植物具有较强的耐盐能力^[17-18]。该试验结果显示,随盐浓度的增加,八棱海棠、珠美海棠的 Chl 含量表现为先升后降趋势,这也支持了高光林等^[18]的观点,该试验中苹果砧木的可溶性糖含量均随着的增加基本呈上升趋势,而根系活力均随盐浓度的升高基本呈下降趋势,根系活力反映了植物根系代谢的能力、生长特性及抗逆性^[19]。说明盐胁迫引起的色素变化对植株的生物量的积累影响较小,可溶性糖含量的增加,从某种角度上说可以调节植物的生理代谢(细胞渗透势),有利于保障植物根系的吸收功能,维持根系活力,同时抗氧化酶(SOD、POD)活性提高,从而抵御逆境,在此过程中八棱海棠自动调节能力相对最强,说明其耐受盐胁迫能力最强。

盐害症状是植物耐盐能力的直接体现,受害数量和受害程度可以通过盐害指数和盐害率来反映^[20],该试验中 5 种砧木的盐害指数和盐害率均随着盐浓度的增加而增加,红果海棠的盐害指数增加最快,八棱海棠增加最慢。说明八棱海棠有较强的耐盐能力,而红果海棠则相对较弱。

根据隶属函数值的平均结果,再结合该试验测定的其它指标及植株的形态表现,可初步认为参试植物的耐盐性强弱依次为八棱海棠、西府海棠、平顶海棠、珠美海棠、红果海棠。

(该文作者还有郑鑫、田雪,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 宗鹏鹏,曲艳华,柴朋,等. 八棱海棠耐盐碱性评价[J]. 中国农业大学学报,2013,18(3):96-100.
- [2] 林冰冰,韩振海. 苹果实生砧木种质资源耐缺铁和耐盐碱性评价[J]. 中国农业大学学报,2016,21(1):48-58.
- [3] 杜中军,翟衡,王志刚,等. 苹果砧木耐盐性田间鉴定[J]. 中国果树,2001(2):156-160.
- [4] 王海英,孙建设. 苹果砧木组培苗耐盐筛选技术研究[J]. 果树科学,2000(3):188-191.
- [5] 沙广利,郝玉金,万述伟,等. 苹果砧木种类及应用进展[J]. 落叶果树,2015,47(3):2-6.
- [6] 查霞鹏,孙岚. 苹果砧木耐盐性比较研究[J]. 中国果树,1986(2):5-9.
- [7] 张治安,张美善,蔚荣海. 植株生理学试验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
- [8] 杜中军,翟衡,潘志勇,等. 盐胁迫下苹果砧木光合能力和光合色素的变化[J]. 果树学报,2001,18(4):200-203.
- [9] 玉苏甫·阿不力提甫,阿依古丽·铁木儿,帕提曼·阿布都热合曼,等. 利用隶属函数法综合评价梨砧木抗寒性[J]. 中国农业大学学报,2014,19(3):121-129.
- [10] 赵红星,耿攀,杨勇,等. 39 份柿属种质资源的抗寒性综合评价[J]. 西北农业学报,2010,19(12):128-133.
- [11] 杜中军,翟衡,李健,等. 盐胁迫对苹果砧木的膜伤害[J]. 山东农业大学学报,2001,32(4):532-534.
- [12] WANG G P, WANG J Z. Research progress and identification method of apple stress resistance[J]. Agricultural Basic Science and Technology, 2013,14(10):1413-1416.
- [13] 杨升,张华新,刘涛,等. 16 个树种盐胁迫下的生长表现和生理特性[J]. 浙江农林大学学报,2012,29(5):744-754.
- [14] 朱世平,陈娇. 15 种柑橘砧木出苗期耐盐碱性评价[J]. 西南大学学报,2014(6):48-53.
- [15] 卢艳,王飞,韩明玉. NaCl 胁迫对 4 种砧穗组合苹果的生长及光合特性的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(8):106-110.
- [16] SOTIROPOULOS T E. Effect of NaCl and CaCl₂ on growth and contents of minerals, chlorophyll, proline and sugars in the apple rootstock M₄ cultured *in vitro*[J]. Biologia Plantarum, 2007,51(1):177-180.
- [17] 骆建霞,吴建强. 不同苹果砧木叶片解剖结构及色素含量对盐胁迫的响应[J]. 天津农学院学报,2015(2):1-5.
- [18] 高光林,姜卫兵,俞开锦,等. 盐胁迫对果树光合生理的影响[J]. 果树学报,2003,20(6):493-497.
- [19] 苗海霞,孙明高,夏阳,等. 盐胁迫对苦楝根系活力的影响[J]. 山东农业大学学报,2005,36(1):9-12.
- [20] 李彦,张英鹏,孙明. 盐胁迫对植株的影响及植株耐盐机理研究进展[J]. 中国农学通报,2008(1):258-264.

Response to Salt Stress of Growth and Physiological Characteristic of Five Apple Rootstocks

ZHANG Zhixiao, ZENG Lirong, ZHAO Jialing, GUO Bingxin, WANG Yan, LUO Jianxia, ZHENG Xin, TIAN Xue
(College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

DOI:10.11937/bfyy.201703006

不同砧木对‘绿岭’核桃抗寒性的影响

李惠¹, 梁曼曼¹, 赵爽¹, 李保国^{1,2}, 李寒¹, 齐国辉^{1,2}

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省核桃工程技术研究中心, 河北 临城 054300)

摘要: 为了解不同砧木对‘绿岭’核桃抗寒性的影响, 以“中宁强”“中宁异”“加州黑”和“核桃”作砧木, 嫁接‘绿岭’核桃的2年生幼树为试材, 分别在-5、-10、-15、-20、-25、-30℃低温胁迫后, 测定其1年生枝条的电解质渗出率、丙二醛含量、保护酶活性、渗透调节物质等指标, 分析其耐寒能力。结果表明: 随着胁迫温度的下降, 4种砧木的‘绿岭’核桃枝条的电解质渗出率呈‘S’型上升趋势, “中宁强”“中宁异”“加州黑”“核桃”砧木‘绿岭’核桃的半致死温度分别为-21.7、-22.3、-25.3、-22.8℃; 丙二醛含量、保护酶活性、脯氨酸含量、可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化均呈先升后降的趋势, 丙二醛含量在-25℃出现峰值; 保护酶活性、脯氨酸含量在-20℃出现峰值; 可溶性糖和可溶性蛋白质含量峰值出现在-15℃; 运用隶属函数法进行抗寒性综合评价, 得出4种砧木‘绿岭’核桃抗寒顺序为“加州黑”>“核桃”>“中宁强”>“中宁异”, 表明在抗寒性方面, “加州黑”是适合‘绿岭’核桃的砧木。

关键词: 核桃; 砧木; 抗寒性; 丙二醛; 保护酶; 渗透调节物

中图分类号: S 664.104⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)03-0025-07

核桃是重要的木本粮油树种, 用途广泛, 适应性强, 已经成为我国退耕还林最成功的生态经济兼用

第一作者简介: 李惠(1989-), 女, 河北丰润人, 硕士研究生, 研究方向为经济林栽培生理。E-mail: 1163568634@qq.com.

责任作者: 齐国辉(1969-), 女, 河北遵化人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事经济林栽培生理和山区开发技术研究及经济林栽培教学等工作。E-mail: bdqgh@sina.com.

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2013BAD14B01); 河北省科技支撑计划资助项目(16236810D)。

收稿日期: 2016-09-27

树种。随着核桃产业的快速发展, 对优良品种的优质嫁接苗木的需求量不断扩大。砧木作为嫁接的载体, 对嫁接品种的抗逆性、适应性以及产量、品质、树势、结果年限等方面有着重要影响。核桃虽然适应性较强, 但由于枝条髓心大、含水量高, 其抗寒性较差^[1], 尤其是核桃幼树, 在北方核桃产区极易遭受冻害, 且普遍存在越冬抽条现象, 轻者造成树形紊乱, 影响早期产量; 重者会整株干枯死亡, 给生产带来重大损失^[2]。因此, 加强对核桃砧木的研究, 提高核桃栽培品种的抗寒性对核桃产业的健康发展具有重要意义。但是, 目前我国果树砧木的研究主要集

Abstract: Using one year old seedling plants as tested materials, salt resistance of 5 kinds apple rootstocks (*Malus robusta*, *Malus pruni folia*, *Malus sieboldii*, *Malus zumi*, *Malus micromalus*) was compared by salt stress treatment. The results showed that with the increase of NaCl concentration, the shoot increment, leaf area, leaf thickness and root activity of the tested plants declined gradually; while salt injury index and its rate increased with the smallest increasing range for *M. robusta* and the biggest one for *M. sieboldii*. The content of chlorophyll and carotenoid varied in different treatments, with relative small variations for *M. robusta* and *M. pruni folia*. The contents of soluble sugar and MDA of the tested plants had a trend to increase with aggravation of salt stress, the activities of SOD and POD were affected in different degrees; *M. robusta* was the biggest and *M. sieboldii* was the smallest of the average subordinate function. Comprehensive analysis the performance of the rootstocks with the indexes obtained in the test, salt resistance of the 5 apple rootstocks could be ranked as follows, *M. robusta*, *M. micromalus*, *M. pruni folia*, *M. zumi*, *M. sieboldii*.

Keywords: apple rootstock; salt stress; growth; physiological characteristics; subordinate function