

卢明艳,潘 越,安 鹭,等. 基于主成分分析的杏李砧木耐盐性综合评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):105-109.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.028

# 基于主成分分析的杏李砧木耐盐性综合评价

卢明艳,潘 越,安 鹭,张东亚,张富玮,王 涛,张 浩

(新疆林业科学院园林绿化研究所,新疆乌鲁木齐 830000)

**摘要:**研究山杏、山桃、毛桃 3 种杏李砧木在 0.0% (CK)、0.1%、0.2%、0.4%、0.6% 不同盐浓度胁迫下的生理响应,采用隶属函数法对 10 项理化指标进行标准化,并基于主成分分析对 3 种杏、李砧木进行综合评价。结果表明,通过主成分分析可提取出 2 个特征根均大于 1 的主成分,累计贡献率达 100.0%,能够反映杏李砧木理化指标的全部信息;毛桃得分相对最高,作为砧木具有较好的细胞渗透调节功能,山桃次之,作为砧木枝条养分充足,且对盐环境的耐受性较强,山杏得分相对最低;3 种砧木耐盐性由高到低排序为毛桃 > 山桃 > 山杏,主成分分析法同隶属函数法分析结果一致。

**关键词:**杏李;砧木;盐浓度;理化指标;隶属函数;主成分

**中图分类号:**S662.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)05-0105-05

土壤盐碱化日趋成为一个全球化问题,目前我国盐碱土地面积达 0.27 亿  $\text{hm}^2$ ,约占全国耕地面积的 10%<sup>[1-2]</sup>。新疆维吾尔自治区为封闭内陆地区,受气候条件影响,夏季高温少雨、昼夜温差较大,是我国盐渍化较为集中的省份之一<sup>[3]</sup>。杏李(*Prunus domestica* × *armeniaca*)是杏和李通过多代杂交培育而成的新型优质水果,具有果个大、果实口味独特、富含多种营养、耐贮藏等优点,逐渐成为市场不可或缺的水果<sup>[4]</sup>。

收稿日期:2017-06-30

基金项目:新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:KY201503);新疆维吾尔自治区二次引进项目;新疆林业科学院园林绿化研究所所管项目。

作者简介:卢明艳(1983—),女,新疆乌鲁木齐人,硕士,园艺师,主要从事抗逆经济树种的引种、示范与推广。Tel: (0991) 4656398; E-mail: 305736040@qq.com。

通信作者:张东亚,硕士,研究员,主要从事林果及抗逆生态、经济树种的引种、示范与推广。Tel: (0991) 4656398; E-mail: zdywah998@126.com。

本研究中的 10 个梨品种成熟果实的果形较丰富,在发育的过程中梨果实形状有一定的变化如扫帚苗子和博多青,由初期的长圆形逐渐发展为扁圆形。保利阿斯卡由细颈葫芦形发展为成熟时的葫芦形,木瓜由纺锤形发展为成熟时的长圆形,五九香梨一直保持长颈葫芦形。梨果实形状描述缺乏定量指标,应利用果形指数来进行评价,附加 2 个点的数据,即果实上下 1/4 处的果实横径与最大横径的比值,进一步区别纺锤形、圆锥形、卵圆形、葫芦形等。

## 参考文献:

- [1] 宋志海,高飞飞,陈大成. 果实大小相关性及其影响因素研究进展[J]. 福建果树,2002,121(3):9-12.
- [2] 李安妮,朱慧英,邓义才,等. 杧果果实生长发育规律的研究[J]. 中国南方果树,1996,25(2):34-36.
- [3] 乔 军,刘富中,陈钰辉,等. 园艺作物果形遗传研究进展[J]. 园艺学报,2011,38(7):1385-1396.

新疆林业科学院自 2004 年陆续引种杏李试栽,并经阿克苏地区佳木、昌吉州吉木萨尔多地进行试验种植,各项技术指标均达到或接近美国原产地水平。

嫁接是常见的无性繁殖方法,而筛选抗逆性强的砧木能够提高杏李对极端盐碱环境的耐受力,进而为杏李早产、丰产提供保障<sup>[5]</sup>。目前,有学者在苹果、海棠优良砧木筛选上获得成功<sup>[6-7]</sup>,国内未见杏李耐盐砧木的相关报道,筛选出适合杏李的耐盐砧木,对推进其产业发展具有重要的意义。本试验以 2 年生山杏、山桃、毛桃实生苗为试材,测定不同盐碱浓度胁迫下 3 种砧木的相关生理指标,并辅以生长量、生物量动态观测,基于主成分分析进行综合评价,以期为杏李砧木的选择及杏李砧木耐盐性评价提供科学依据和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在新疆林业科学院院内进行,选择 2 年生山杏、山桃、毛桃实生苗为试材,采用规格为 28 cm × 30 cm 的盆进行

- [4] 蒲富慎. 梨的一些性状的遗传[J]. 遗传,1979(1):25-28.
- [5] 王宇霖,魏闻东,李秀根. 梨杂种后代亲本性状遗传倾向的研究[J]. 果树科学,1991,8(2):75-82.
- [6] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析 & 数据挖掘[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [7] 王春飞,郁松林,肖年湘,等. 果树果实生长发育细胞学研究进展[J]. 中国农学通报,2007,23(7):386-390.
- [8] 曹 珂,王力荣,朱更瑞,等. 桃不同类型果实发育的解剖结构特性[J]. 果树学报,2009,26(4):440-444.
- [9] Khambanonda I. Quantitative inheritance of fruit size in red pepper (*Capsicum frutescens* L.) [J]. Genetics, 1950,35(3):322-343.
- [10] 辛淑亮,王奎先,林振海,等. 采收期苹果、梨果实纵横径与果形指数的理论分析[J]. 莱阳农学院学报,1986(1):63-71.
- [11] 曹玉芬,刘凤之,胡红菊,等. 梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:47-54.
- [12] 李锡香,朱德蔚. 茄子种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:17-18.

栽种,4 月上盆,每盆栽 1 株苗,基质为田园土:草炭土 = 1:3,质量 6 kg;缓苗 3 个月,选取长势基本一致的苗木进行盐胁迫处理。

## 1.2 试验设计

采用完全随机区组设计,对每个树种分别采取 0% (对照)、0.1%、0.2%、0.4%、0.6% 共 5 个 NaCl 盐浓度进行处理,每处理 9 株,重复 3 次。为避免盐冲击效应,采取多次施盐方法,即先采用 0.1% NaCl 进行低浓度处理,后每天递增 0.1% 进行较高浓度处理,连续处理 5 d,7 月 15 日 5 个处理同时达到预定 NaCl 浓度。此后进行常规管理,每个盆定量浇水 1 000 mL,确保没有液体渗出花盆。胁迫处理 35 d,观测记录各树种的盐害症状。

## 1.3 测定指标及方法

**1.3.1 株高生长量和相对生物量的测定** 每个树种随机选取 3 株,测定盐胁迫前后的株高,分别为  $H_1$ 、 $H_2$ ,则株高生长量 =  $H_2 - H_1$ 。盐胁迫结束,每个树种随机选取 3 株,105 °C 杀青 1 h,80 °C 烘至恒质量,称干质量,精确到 0.01 g。

**1.3.2 生理指标的测定** 采集相同节位的叶片,液氮中速冻带回实验室,超低温冰箱中保存,备用。分别采用 DDS-11 型电导仪、丙酮法、考马斯亮蓝 G-250 法测定相对电导率、叶绿素含量、可溶性蛋白含量。

**1.3.3 保护酶及渗透调节物质的测定** 丙二醛、脯氨酸、可溶性糖含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性的测定参照南京建成生化公司的试剂盒说明方法进行。采用 9 株幼苗混合取样,取 0.1 g 鲜叶,置于 0.9 mL 生理盐水冰浴中充分研磨,制备成 10% 的组织匀浆;4 °C 3 500 r/min 离心 10 min;取上清液,备用。分别采用酶标仪、酸性茚三酮法、蒽酮比色法测定丙二醛、脯氨酸、可溶性糖含量<sup>[8]</sup>。SOD 活性测定以 1 mg 组织蛋白在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为 1 个活力单位(U),POD 活性测定以 1 mg 组织蛋白 1 min 催化 0.01 μmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的量为 1 个活力单位(U),均用 U/mg 表示酶活性。重复 3 次。

## 1.4 数据统计分析

采用 Excel 2007 软件对试验数据进行统计,采用 SPSS 17.0 软件进行方差、因子分析<sup>[8-9]</sup>。采用隶属函数法和主成分分析法评价杏李砧木的耐盐性:首先对原始数据进行标准化,生长量、生物量、叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、脯氨酸含量、过氧化物酶活性、超氧化物歧化酶活性等正相关指标标准化公式为  $U_{in} = (X_{in} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ ,丙二醛、电导率等负相关指标标准化公式为  $U'_{in} = 1 - (X_{in} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ ;其次,标准化的数据通过因子分析,提取出影响杏李砧木耐盐性指标的公因子,同时得到各样品的公因子分值  $F_{jn}$ ,以相应公因子的贡献率  $E_j$  为权重,计算综合分值  $D_n$ ,公式为  $D_n = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j$ 。式中: $U_{in}$ 、 $U'_{in}$  分别指第  $n$  个样品第  $i$  个指标的原始数据经转化后的隶属函数值; $X_{in}$  指第  $n$  个样品第  $i$  个指标的原始测定结果; $X_{max}$ 、 $X_{min}$  分别指样品组中第  $i$  个指标的最大值、最小值; $D_n$  为因子分析法得到的各样品待测的综合分值; $F_{jn}$  为第  $n$  个样品第  $j$  个特征根 > 1 的公因子分值; $m$  为特征根 > 1 的公因子个数; $E_j$  为第  $j$  个公因子的方差贡献率。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对山杏、毛桃、山桃株高生长量、生物量的影响

由图 1、图 2 可见,盐胁迫下,山杏、毛桃、山桃 3 种砧木的生长量和生物量均不同程度地受到抑制;0 ~ 0.2% 盐胁迫时,毛桃株高生长量先升后降,山桃株高生长量先降后升,变化幅度均不大;0.2% ~ 0.6% 盐胁迫时,山杏株高生长量大幅降低,树体生长受盐胁迫作用明显;含盐量为 0.6% 时,毛桃、山桃株高生长量与清水处理(对照)相比差异不明显,但均明显高于山杏。毛桃的生物量相对最高,山杏最低,二者平均相差 33.73 g。

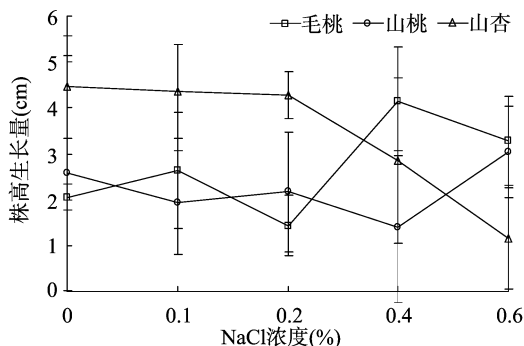


图1 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃株高生长量的影响

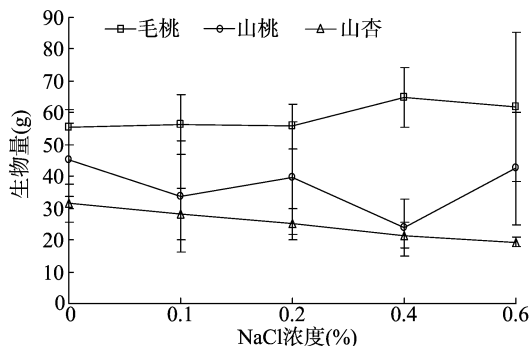


图2 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃生物量的影响

### 2.2 NaCl 胁迫对山杏、毛桃、山桃叶绿素含量的影响

盐胁迫会导致植物光同化作用减弱,叶绿素合成受阻<sup>[10]</sup>。由图 3 可见,0 ~ 0.2% 盐胁迫时,毛桃、山杏的叶绿素含量均有所下降,山桃叶绿素含量不减反增,说明山桃受盐胁迫危害程度相对较小;0.2% ~ 0.6% 盐胁迫时,3 个树种的叶绿素含量均有不同程度下降;含盐量为 0.6% 时,树种间叶绿素含量有明显差异,山桃叶绿素含量相对最高,毛桃次之,山杏相对最低。

### 2.3 NaCl 胁迫对山杏、毛桃、山桃叶片渗透调节物质的影响

**2.3.1 可溶性糖含量** 由图 4 可见,随盐含量的增加,3 个树种的可溶性糖含量变化趋势不一,毛桃、山杏的可溶性糖含量大致呈“先升后降”趋势,山桃的可溶性糖含量呈“升—降—升”趋势;盐含量为 0.2% 时,毛桃的可溶性糖含量相对最高,明显高于山桃、山杏,后出现大幅下降;0 ~ 0.2% 盐胁迫时,山桃的可溶性糖含量变化不大,盐含量为 0.4% 时,山桃的可溶性糖含量相对最高,比 CK 高 1.45 nmol/g,说明其在较高浓度盐环境中能通过储存可溶性糖来维持细胞的渗透调

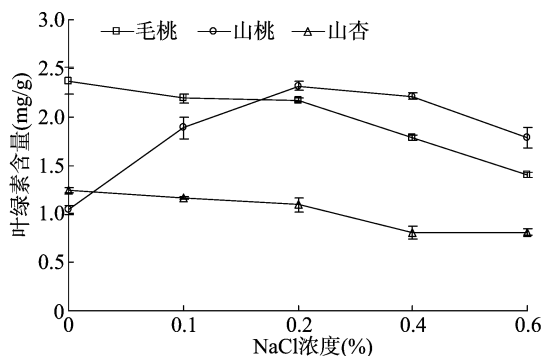


图3 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃叶绿素含量的影响

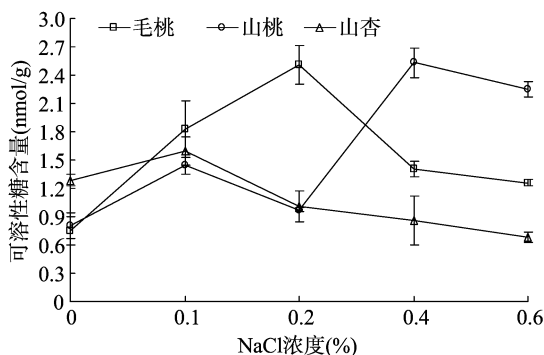


图4 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃可溶性糖含量的影响

节功能。

**2.3.2 可溶性蛋白含量** 可溶性蛋白质能通过降低细胞水势、调节叶片渗透压来保护叶片细胞膜的渗透调节功能。由图 5 可见,随盐胁迫程度的加剧,毛桃的可溶性蛋白含量呈逐渐降低趋势,含盐量为 0.6% 时可溶性蛋白含量较 CK 减少 3.39 mg/g;0.2% 盐胁迫时,山桃的可溶性蛋白含量较对照下降 16.29%,0.2%~0.6% 盐胁迫时,山桃的可溶性蛋白含量持续上升,并在盐含量为 0.6% 时相对最高,明显高于毛桃、山杏。

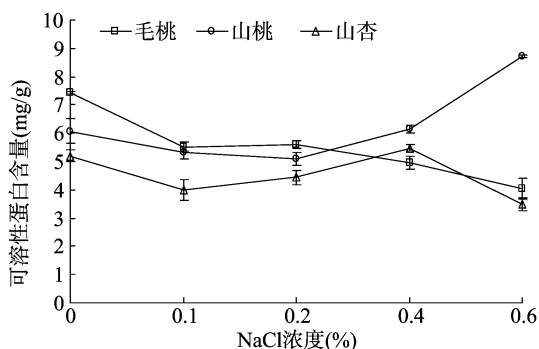


图5 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃可溶性蛋白含量的影响

**2.3.3 脯氨酸含量** 由图 6 可见,随盐胁迫浓度的增加,山桃、山杏的脯氨酸含量总体呈“先升后降”变化趋势,毛桃呈递增趋势;0~0.2% 盐胁迫时,山桃对脯氨酸积累相对最快,较 CK 增加 57.54  $\mu\text{g/g}$ ,毛桃较 CK 增加 43.72  $\mu\text{g/g}$ ,山杏脯氨酸含量虽有所增加,但与 CK 相比差异不明显;盐胁迫浓度为 0.6% 时,毛桃的脯氨酸含量分别是山桃、山杏的 1.94、3.22 倍,说明毛桃对盐胁迫的应激保护生理能力相对较强。

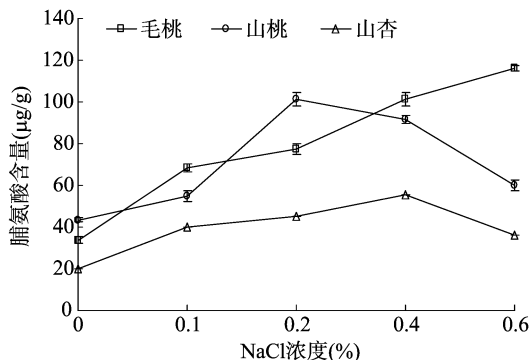


图6 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃脯氨酸含量的影响

## 2.4 NaCl 胁迫对山杏、毛桃、山桃叶片保护酶活性的影响

由图 7、图 8 可见,0~0.2% 盐胁迫时,山桃、毛桃的 POD 活性逐渐增加,而山杏 POD 活性则较 CK 下降 8.64 U/mg;0.2%~0.6% 盐胁迫时,山桃叶片的 POD 活性呈“先升后降”趋势,且含量始终高于毛桃和山杏,毛桃的 POD 活性虽有所降低,但下降幅度不大;山杏的 POD 活性在盐含量为 0.2% 时达到最小值,后随盐浓度的增加逐渐上升。山桃的 SOD 活性变化呈“先降后升”趋势,盐含量为 0.1% 时达到最小值;随盐胁迫浓度的增加,毛桃的 SOD 活性变化不大。

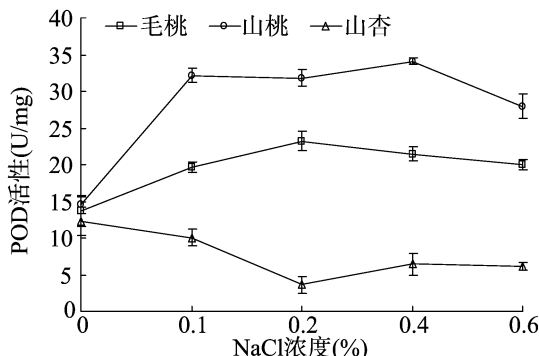


图7 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃 POD 活性的影响

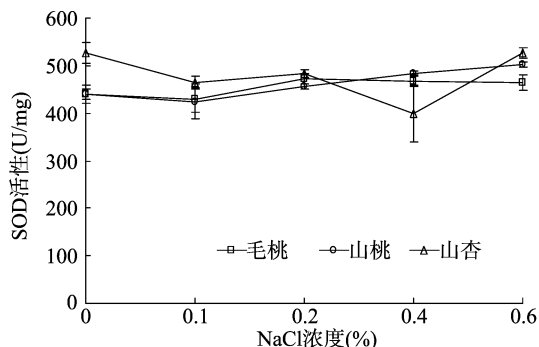


图8 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃 SOD 活性的影响

## 2.5 NaCl 胁迫对山杏、毛桃、山桃叶片相对电导率和丙二醛含量的影响

**2.5.1 相对电导率** 由图 9 可见,3 种砧木叶片的相对电导率呈不同程度上升趋势,但不同砧木的相对电导率上升幅度差异相对较大;0~0.2% 盐胁迫时,山杏变化幅度相对最大,对盐环境的应激反应相对较强;0.2%~0.6% 盐胁迫时,毛桃相对电导率上升幅度相对最大,0.6% 盐胁迫时的相对电导率较 0.2% 盐胁迫时的提高 27.28%,山桃上升幅度相对较小,

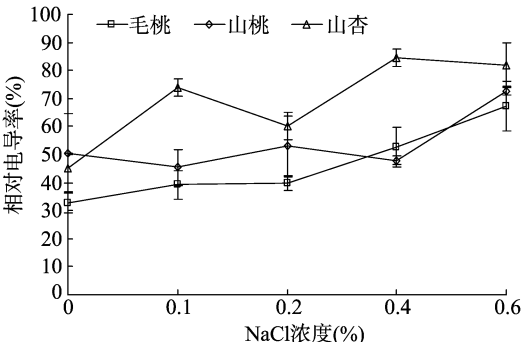


图9 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃相对电导率的影响

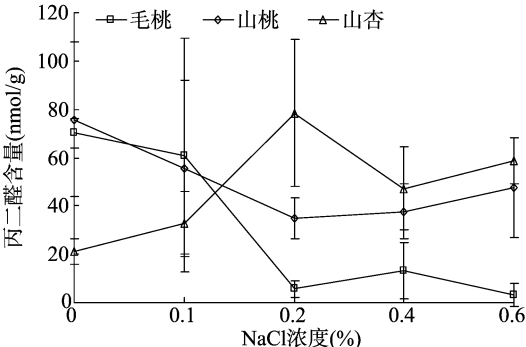


图10 NaCl 处理对山杏、毛桃、山桃丙二醛含量的影响

较 0.2% 盐胁迫时的提高 19.68%,对盐胁迫不敏感。

2.5.2 丙二醛含量 丙二醛是评价细胞受盐碱破坏程度高低的重要指标之一<sup>[11]</sup>。由图 10 可见,3 种砧木受盐胁迫时丙二醛含量的变化趋势不一,随盐胁迫浓度增加,山杏丙二醛含量先升后降,在盐碱浓度为 0.2% 时丙二醛含量达到最高,明显高于毛桃、山桃;0.2% 盐胁迫时,毛桃的丙二醛含量较 CK 下降 92.04%,高于山桃的 53.98%。说明毛桃具有一定的耐盐能力,在轻度和重度盐环境下其细胞膜并未受到明显的

损坏。

2.6 3 种李杏砧木的综合评价

2.6.1 基于隶属函数法的综合评价 由于试验调查的耐盐性指标数量纲不一致,故先采用隶属函数法对试验数据进行标准化,将各指标隶属函数值求和即可得出不同砧木的耐盐综合得分。由表 1 可见,3 种砧木耐盐能力由高到低排序为毛桃>山桃>山杏。

表 1 不同砧木耐盐性指标标准化结果

砧木名称	试验指标的标准化结果										综合得分
	植株生长量	生物量	叶绿素含量	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量	脯氨酸含量	POD 活性	SOD 活性	相对电导率	丙二醛含量	
毛桃	0.41	1.00	1.00	0.90	0.57	1.00	0.58	0.00	0.00	1.00	6.46
山桃	0.00	0.35	0.86	1.00	1.00	0.77	1.00	0.28	0.33	0.00	5.59
山杏	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.13	3.13

2.6.2 基于主成分分析法的综合评价 对标准化后的数据进行基于主成分分析的综合评价。由表 2 可见,10 项耐盐指标提取出 2 个主成分,旋转后因子特征与方差贡献结果可简化变量的因子数,其中第 1 主成分特征根为 5.790,代表 10 项耐盐指标信息总量的 57.90%,第 2 主成分特征根为 4.210,代表 10 项耐盐指标信息总量的 42.10%,累计贡献率达 100%,通过 2 个主成分能够反映原始变量的所有信息。因此,采用 2 个公因子代替原有的 10 项指标对李杏砧木耐盐性进行综合评价,因子经旋转后与变量间的对应关系更加清晰<sup>[12]</sup>。由表 3 可见,第 1 主成分系数为正且载荷值相对较高的指标有叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白含量和 POD 活性,载荷值分别为 0.768、0.890、0.993、0.991,载荷值较高且系数为负的指标有生长量,载荷值为 -0.989,说明第 1 主成分主要反映叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、植株生长量、POD 活性这 5 项耐盐指标对砧木的影响;第 2 主成分载荷值相对较高且系数为正的指标有生物量、相对电导率、丙二醛含量,载荷值分别是 0.951、0.780、0.987,载荷值较高且系数为负的指标有 SOD 活性,载荷值为 -0.743,说明第 2 主成分主要反映生物量、相对电导率、丙二醛含量、SOD 活性这 4

项耐盐指标对砧木的影响程度。用表 3 各项调查指标的载荷值除以相应主成分对应的特征根,然后开平方根,即可得到各个指标的系数即为特征向量,将特征向量与标准化后的数据相乘,可以得到 2 个主成分的函数表达式分别为

$$f_1 = -0.413ZX_1 + 0.232ZX_2 + 0.364ZX_3 + 0.392ZX_4 + 0.414ZX_5 + 0.349ZX_6 + 0.414ZX_7 - 0.340ZX_8 + 0.329ZX_9 - 0.166ZX_{10};$$

$$f_2 = -0.186ZX_1 + 0.475ZX_2 + 0.390ZX_3 + 0.329ZX_4 + 0.168ZX_5 + 0.410ZX_6 + 0.178ZX_7 - 0.420ZX_8 + 0.430ZX_9 + 0.484ZX_{10}.$$

由表 4 可见,以公因子  $f_1$  排序时,山桃排名第 1,其作为砧木主要优势体现在受盐胁迫时枝条营养储存充足,对叶片光合作用、枝条生长影响相对较低,山杏排名相对最低,说明其受盐胁迫危害程度相对最大;以公因子  $f_2$  排序时,毛桃排名第 1,作为砧木其优势在于细胞膜脂氧化受盐胁迫影响相对较低,同时质膜透性受盐离子破坏程度较低,干物质积累量相对较大,山杏细胞受盐胁迫影响程度相对最大,细胞平衡破坏严重,得分相对最低;综合得分值由低到高依次为毛桃>山桃>山杏,这与隶属函数法分析结果一致。

表 2 主成分的特征根、方差贡献率和累计贡献率

主成分	2 个因子特征与方差贡献			旋转后因子特征与方差贡献		
	特征根	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)	特征根	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
$f_1$	8.021	80.21	80.21	5.790	57.90	57.90
$f_2$	1.979	19.79	100.00	4.210	42.10	100.00

表 3 旋转后的主成分载荷矩阵

主成分	载荷值									
	植株生长量	生物量	叶绿素含量	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量	脯氨酸含量	POD 活性	SOD 活性	相对电导率	丙二醛含量
$f_1$	-0.989	0.311	0.768	0.890	0.993	0.707	0.991	-0.669	0.626	-0.160
$f_2$	-0.146	0.951	0.640	0.456	0.119	0.707	0.134	-0.743	0.780	0.987

表 4 不同砧木耐盐碱指标得分及综合得分

砧木	$f_1$	排序	$f_2$	排序	$f_3$	排序
毛桃	1.769 933	2	2.609 147	1	2.123 242	1
山桃	2.007 708	1	1.662 891	2	1.862 54	2
山杏	-0.774 78	3	-0.542 5	3	-0.676 99	3

3 结论与讨论

采用隶属函数法对生化指标单位进行统一,能够避免因数量纲不一致导致的试验误差,增加数据结果的精确性和可靠性。综合来看,3 种砧木耐盐性由高到低为毛桃>山桃>山杏,其中山桃长势强,可溶性糖、可溶性蛋白含量高,叶绿素含量也较高,毛桃干物质含量积累多,细胞膜脂保护作用及抗氧化能力相对较强。当细胞组织受到伤害时,叶片 MDA 含量增加,膜脂过氧化加剧<sup>[13-14]</sup>,引起叶片膜透性的增加<sup>[15]</sup>。夏阳等研究 NaCl 胁迫下苹果幼树叶片膜透性的变化发现,0.4% 盐胁迫处理的相对电导率在中前期高于对照,植物细胞膜透性受到伤害<sup>[16]</sup>。杜中军等报道,小金海棠和平邑甜茶叶片细胞膜透性随盐胁迫加重而增大,耐盐能力强的小金海棠膜透性在不同盐胁迫时间和胁迫强度下都低于平邑甜茶<sup>[17]</sup>。本试验研究发现,随 NaCl 浓度的增加,山桃、毛桃、山杏的相对电导率呈增加趋势,0.6% NaCl 处理的山桃、毛桃、山杏叶片相对电导率分别为对照的 2.26、1.79、1.58 倍,说明山桃、毛桃、山杏对 0.6% NaCl 处理都有一定程度的耐受性。

活性氧代谢失调引起自由基积累及自由基对大分子的破坏作用是需氧生物遭受逆境伤害的重要特征。活性氧在植物体内的清除则需 SOD、POD 等膜保护酶系统<sup>[18-19]</sup>。克热木·伊力等发现,NaCl 胁迫下长果阿月浑子叶片中的 SOD、POD 活性随盐浓度的增大而增强<sup>[20]</sup>。李会云等研究葡萄砧木品种(系)的耐盐性结果表明,随土壤含盐量增加,SOD、POD 活性呈先升后降趋势<sup>[21]</sup>。本试验结果表明,在盐胁迫初期(0~0.2%),山桃和毛桃 POD 活性均逐渐增加,而山杏 POD 活性呈下降趋势。而盐胁迫后期(0.2%~0.6%),山桃叶片 POD 活性呈先升后降趋势,但含量始终高于毛桃和山杏;毛桃次之,POD 活性虽降低,但幅度不大;山杏较低,在盐含量 0.2% 达最低后 POD 活性开始上升。山桃 SOD 活性变化均呈"先降后升"趋势,盐含量 0.1% 时达最低值,随着对盐碱土壤的适应,SOD 活性明显上升,毛桃随盐胁迫 SOD 变化不大。由此可见,SOD、POD 活性在不同果树盐胁迫反应中的变化规律不尽相同,可能是不同果树应答盐胁迫的机制不同,也可能是不同酶在不同树种中的作用途径不完全一样所致。

参考文献:

[1]李淑娟,詹亚光,杨传平,等.混合盐胁迫对引种绒毛白蜡生长及相关生理指标的影响[J].东北林业大学学报,2010,38(1):15-17.

[2]吴运荣,林宏伟,莫肖蓉.植物抗盐分子机制及作物遗传改良耐盐性的研究进展[J].植物生理学报,2014,50(11):1621-1629.

[3]寇云玲.杂交榛耐盐碱性品种(系)筛选研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013:1-56.

[4]牛俊莉,刘茂秀,彭秋梅.不同采摘期杏李味厚品种理化指标主成分及聚类分析[J].新疆农业科学,2015,52(1):33-36.

[5]桂毓,杨静慧,刘艳军,等.盐碱土对不同樱桃品种生长的影响[J].北方园艺,2016(13):33-35.

[6]曹敏格,杨海玲,张文,等.苹果砧木矮化性评价指标的研究[J].中国农业大学学报,2008,13(5):11-18.

[7]成明昊,杨晓红,曾维光.苹果砧木资源——小金海棠的调查研究报告初报[J].西南农学院学报,1984(3):38-43.

[8]韩俊威,董玉芝,宋锋惠,等.平欧杂交榛抗寒生理特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(6):138-144.

[9]潘越,史彦江,陈淑英,等.喷施叶面肥对平欧杂种榛‘新榛1号’嫩枝扦插的影响[J].江西农业大学学报,2016,38(5):920-926.

[10]武德,曹帮华,刘欣玲,等.盐碱胁迫对刺槐和绒毛白蜡叶片叶绿素含量的影响[J].西北林学院学报,2007,22(3):51-54,70.

[11]李学强,李秀珍.盐碱胁迫对欧李叶片部分生理生化指标的影响[J].西北植物学报,2009,29(11):2288-2293.

[12]公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014,30(13):276-285.

[13]Ferrari I R, Phamt A, Zuily F Y, et al. Effect of drought on photodynamic peroxidation of leaf total lipophilic extracts [J]. Phytochemistry, 1994, 37(5):1237-1243.

[14]Pallak G, Waise L Y. Exophysiology of salt excretion in *Aeltrops litrolis* (Gramineae) [J]. Physiologia Plantarum, 1979, 47(3):177-184.

[15]孙黎,刘士辉,师向东,等.10种藜科盐生植物的抗盐生理生化特征[J].干旱区研究,2006,23(2):309-818.

[16]夏阳,梁慧敏,束怀瑞,等.NaCl胁迫下苹果幼树叶片膜透性、脯氨酸及矿质营养水平的变化[J].果树学报,2005,22(1):1-5.

[17]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(自然科学版),2001,32(4):532-534.

[18]杜中军,翟衡,潘志勇,等.盐胁迫下苹果砧木光合能力及光合色素的变化[J].果树学报,2001,18(4):200-203.

[19]黄雪妮,屈凡,马名立,等.镉胁迫对2个宁夏主栽水稻品种幼苗期抗氧化同工酶亚基及其活性的影响[J].江苏农业科学,2016,44(7):107-112.

[20]克热木·伊力,袁琳,齐曼·尤努斯,等.盐胁迫对阿月浑子SOD、CAT、POD活性的影响[J].新疆农业科学,2004,41(3):129-134.

[21]李会云,郭修武.盐胁迫对葡萄砧木叶片保护酶活性和丙二醛含量的影响[J].果树学报,2008,25(2):240-243.