

主成分分析不同浓度CaCl₂对NaCl胁迫下‘达米娜’葡萄的缓解效应

谭伟, 李晓梅, 董志刚, 谭敏, 唐晓萍*

山西省农业科学院果树研究所, 果树种质创制与利用山西省重点实验室, 山西太谷030815

摘要: 为探讨钙对葡萄盐害的缓解效应, 研究了200 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下, 不同浓度CaCl₂对‘达米娜’葡萄沙培一年生自根苗的影响。结果显示: NaCl胁迫下, ‘达米娜’葡萄根系、叶片相对电导率、叶片超氧阴离子自由基(O₂⁻)产生速率和过氧化氢(H₂O₂)含量显著升高, 而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性显著降低, 新梢长度和总生物量显著降低。5和10 mmol·L⁻¹ CaCl₂显著降低了NaCl胁迫下根系、叶片相对电导率、叶片O₂⁻产生速率和H₂O₂含量。CaCl₂显著缓解了NaCl胁迫下SOD和CAT活性的下降, 15 mmol·L⁻¹ CaCl₂显著缓解了POD活性的下降, 而10、15和20 mmol·L⁻¹ CaCl₂显著缓解了APX活性的下降。高浓度(25 mmol·L⁻¹) CaCl₂处理的叶片相对电导率、O₂⁻产生速率和H₂O₂含量显著高于NaCl胁迫的, 而POD、APX活性、新梢长和植株总生物量与NaCl胁迫的差异不显著。主成分分析表明10 mmol·L⁻¹是CaCl₂缓解200 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫对‘达米娜’葡萄的最适浓度, 可能与叶片中较高的抗氧化酶活性和较少的活性氧积累有关。

关键词: 葡萄; NaCl胁迫; 外源CaCl₂; 活性氧; 主成分分析

土壤盐碱化严重影响农业生产(Yang等2011), 我国是世界盐碱地大国, 主要分布于西北、华北、东北及沿海地区(杨劲松2008)。土壤溶液中Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺及CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻和SO₄²⁻浓度高, 尤其是Na⁺和Cl⁻含量高是盐碱土的主要特征之一(赵可夫1993)。近年来葡萄产业向西部发展的态势日益明朗, 特别是新、陕、甘、宁、晋5省区近年种植面积大幅度增加, 而西北地区盐碱地葡萄缺铁黄化是一个普遍现象, 因此探讨如何缓解葡萄盐害具有重要的现实意义。盐害会使葡萄细胞膜透性增加, 膜脂过氧化程度加重(雷成军等2012), 活性氧的累积产生氧化胁迫, 叶片光合能力下降和细胞结构改变(李学孚等2015), 最终抑制葡萄的生长(雷成军等2012)。

对植物来说, 钙不仅是其所必需的大量营养元素之一, 而且在维持细胞壁、细胞膜的结构和功能中起着重要作用, 可提高植物的抗逆性(霍书新等2005)。许多研究表明, 外源钙能减轻盐(徐臣善2014; 袁晓婷等2014; 杨怡帆2016)对植物细胞膜的伤害, 从而提高植物的抗逆性。一定浓度的外源钙可以有效缓解盐胁迫对小金海棠(徐臣善2014)的生长抑制, 可以提高盐胁迫下唐古特白刺(袁晓婷等2014)、小金海棠(徐臣善2014)、酸枣(杨怡帆等2016)等幼苗抗氧化酶活性, 降低膜脂过氧化水平, 从而增强植物对盐胁迫的适应, 提高植

株的耐盐性。然而钙盐种类(毛桂莲等2007)、浓度(朱义等2007)和植物基因型(赵旭等2006)的不同导致钙对植物盐胁迫的缓解效果不同。关于不同浓度外源钙对葡萄盐胁迫的缓解效应还未见报道, 本研究在200 mmol·L⁻¹ NaCl盐胁迫处理下, 研究不同浓度的CaCl₂对葡萄幼苗盐胁迫的缓解作用, 利用主成分分析法筛选出适宜的使用浓度, 旨在为葡萄耐盐栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

实验于2015年3月~2016年7月在山西省农业科学院果树研究所玻璃温室内进行。实验材料为欧亚种(*Vitis vinifera* L.)葡萄品种‘达米娜’, 一年生自根苗, 定植于直径25 cm、高35 cm的花盆中, 置玻璃温室沙培, 待长出3~4片叶时, 浇Hoagland营养液。于地上部长至7~8片叶时, 选取长势一致的苗木, 开始处理。实验共设置1个对照和6个处理, 如表1所示。每个处理重复3次, 每个重复10株幼苗。为避免盐激反应, NaCl处理和NaCl+CaCl₂处

收稿 2017-07-27 修定 2018-03-28

资助 山西省农业科学院农业科技创新研究课题(ZDSYS1505)、山西省重点研发计划重点项目(201603D21105)和山西省农业科学院优势课题组项目(YYS1704)。

* 通讯作者(txp-19590401@163.com)。

表1 试验处理

Table 1 Experimental treatments

编号	缩写	处理
1	CK	Hoagland营养液
2	NaCl+0 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl
3	NaCl+5 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl+5 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂
4	NaCl+10 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl+10 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂
5	NaCl+15 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl+15 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂
6	NaCl+20 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl+20 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂
7	NaCl+25 CaCl ₂	Hoagland营养液+200 mmol·L ⁻¹ NaCl+25 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂

理中, NaCl浓度以每天50 mmol·L⁻¹递增, 全部处理于同一天达到目标浓度, 此时为NaCl处理第0天, 此后于处理第10天分别取全株鲜样, 测量地上部新梢长、植株鲜重, 取中部第3~5节叶片液氮冷冻, 放-80°C超低温冰箱。

2 测定项目和方法

质膜透性测定采用相对电导率法(赵世杰等2002)。

称取剪碎的葡萄叶片1.5 g, 加9 mL预冷的提取液(pH 7.8磷酸缓冲液, 含0.1 mmol·L⁻¹ EDTA, 1% PVP), 冰浴研磨, 于4°C下12 000×g离心20 min, 上清液即为酶提取液。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定按Giannopolitis和Ries (1977)的方法进行, 过氧化氢酶(catalase, CAT)活性的测定按Aebi (1984)的方法测定, 抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)活性按Nakano和Asada (1981)方法测定, 过氧化物酶(peroxidase, POD)活性按愈创木酚法(1992)测定。

超氧阴离子(O₂⁻)产生速率的测定参照 Elstner和Heupel (1976)的方法。按照Brennan和Frenkel (1977)方法测定过氧化氢(H₂O₂)含量。

3 数据处理与统计分析

单项指标变化幅度(%)=(处理-对照)/对照×100%。对不同浓度CaCl₂处理的单项指标变化幅度进行主成分分析。采用Microsoft Excel 2003软件进行数据处理和作图, 利用SPSS 17.0软件进行One-way方差分析($P<0.05$)、主成分分析。

2 实验结果

2.1 不同浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄根系和叶片细胞膜透性的影响

如图1所示, 200 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下, ‘达米

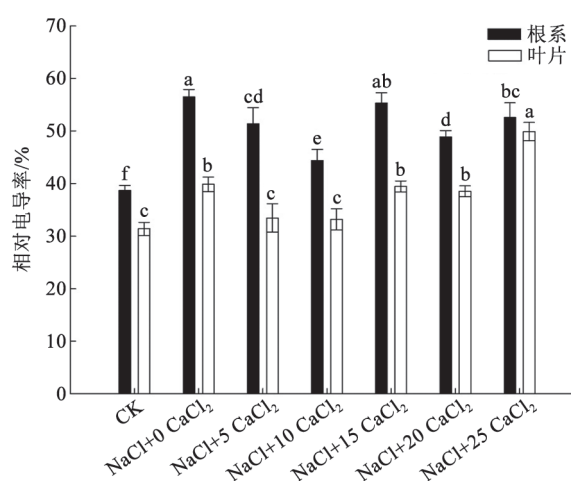


图1 不同浓度CaCl₂对NaCl胁迫下葡萄根系和叶片相对电导率的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of CaCl₂ on the relative conductivity of root and leaves in grape under NaCl treatment
不同小写字母表示同一指标不同处理间差异显著($P<0.05$), 下同。

娜’葡萄根系和叶片的相对电导率分别显著升高了46.0%、26.9%。添加外源CaCl₂降低了盐胁迫下葡萄根系的相对电导率, 但随着CaCl₂浓度的升高, 相对电导率呈降低-升高-降低-升高的趋势, 除15 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理与盐胁迫的差异不显著外, 其余处理均显著低于盐胁迫的, 但均显著高于对照。其中10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的根系相对电导率为44.37%, 比盐胁迫的低21.4%, 但比对照高14.7%。

添加5和10 mmol·L⁻¹ CaCl₂显著降低了盐胁迫下葡萄叶片的相对电导率, 与对照差异不显著, 以10 mmol·L⁻¹ CaCl₂降低幅度最大, 比盐胁迫的低16.7%; 15和20 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的与盐胁迫差异不显著; 25 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的叶片相对电导率则比盐胁迫的显著高25.2%。

2.2 不同浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄叶片超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量的影响

如图2所示,与对照相比,NaCl胁迫下‘达米娜’葡萄叶片的超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量分别显著增加了25.4%、26.1%。除25 mmol·L⁻¹ CaCl₂外,其余浓度的CaCl₂均显著降低了盐胁迫下叶片中的超氧阴离子产生速率,以10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的叶片中超氧阴离子产生速率最低,比盐胁迫和对照的分别显著低32.0%、14.7%。

添加5、10、15和20 mmol·L⁻¹ CaCl₂葡萄叶片的H₂O₂含量与盐胁迫的差异不显著,25 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的叶片相对电导率显著比盐胁迫的高19.8%,5个浓度的CaCl₂处理均显著高于对照。

2.3 不同浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄叶片抗氧化酶活性的影响

与对照相比,NaCl胁迫下葡萄叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性显著降低(图3)。随着CaCl₂浓度的升高,叶片SOD、CAT、POD和APX活性均呈现先升高后下降的趋势,其中SOD活性均显著高于盐胁迫(图3-A),以10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的SOD活性最高,但与对照和15 mmol·L⁻¹处理的差异不显著,以5 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的效果最差;CAT活性也均显著高于盐胁迫(图3-B),以10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的CAT活性最高,显著高于对照,其次是15 mmol·L⁻¹处理的,以5 mmol·L⁻¹

CaCl₂处理的效果最差。仅15 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的POD活性显著高于盐胁迫,但仍显著低于对照,其余4个CaCl₂浓度处理的与盐胁迫差异不显著(图3-C)。10、15和20 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的叶片APX活性显著高于盐胁迫的,其中10和15 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的显著高于对照,而5和25 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的叶片APX活性与盐胁迫的差异不显著,但显著低于对照(图3-D)。

2.4 不同浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄新梢长度和植株总生物量的影响

如图4所示,NaCl胁迫下,‘达米娜’葡萄新梢长度和总生物量分别显著降低了24.3%、17.8%。5和10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理显著增加了盐胁迫下葡萄新梢长度,但均显著比对照低19.3%;而10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理显著增加了盐胁迫下葡萄的总生物量,且与对照差异不显著。其他3个浓度的CaCl₂处理的葡萄新梢长度和总生物量均与盐胁迫的无显著差异,且均显著低于10 mmol·L⁻¹ CaCl₂处理的。

2.5 主成分筛选CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄缓解效应的最适宜浓度

对6个浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达米娜’葡萄10个单项指标的变化幅度进行主成分分析(表2),前3个主成分的贡献率分别为51.73%、29.50%、11.50%,累计贡献率达92.73%,表明前3个主成分代表了原有10个指标的92.73%的信息,可以用这3个主成分概括分析不同浓度CaCl₂对盐胁迫下‘达

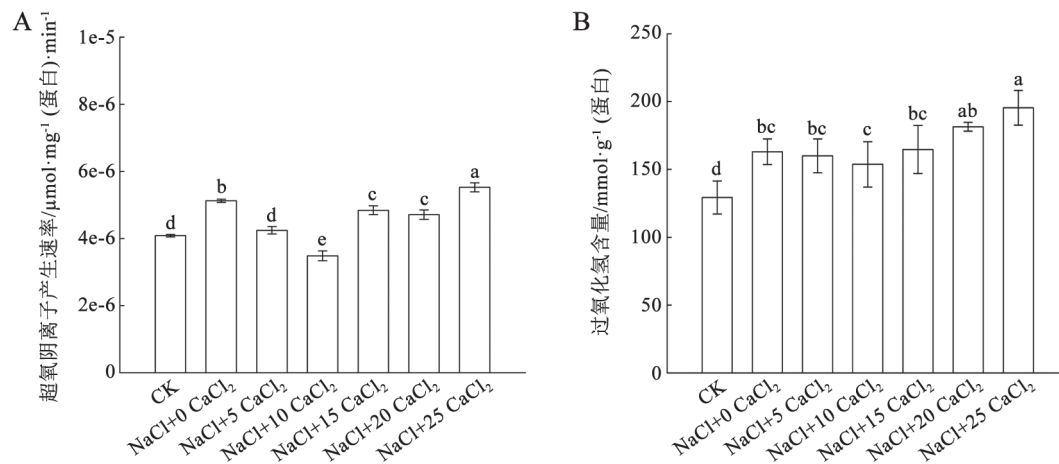


图2 不同浓度CaCl₂对NaCl胁迫下葡萄叶片超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of CaCl₂ on the O₂⁻ production rate and H₂O₂ content of leaves in grape under NaCl treatment

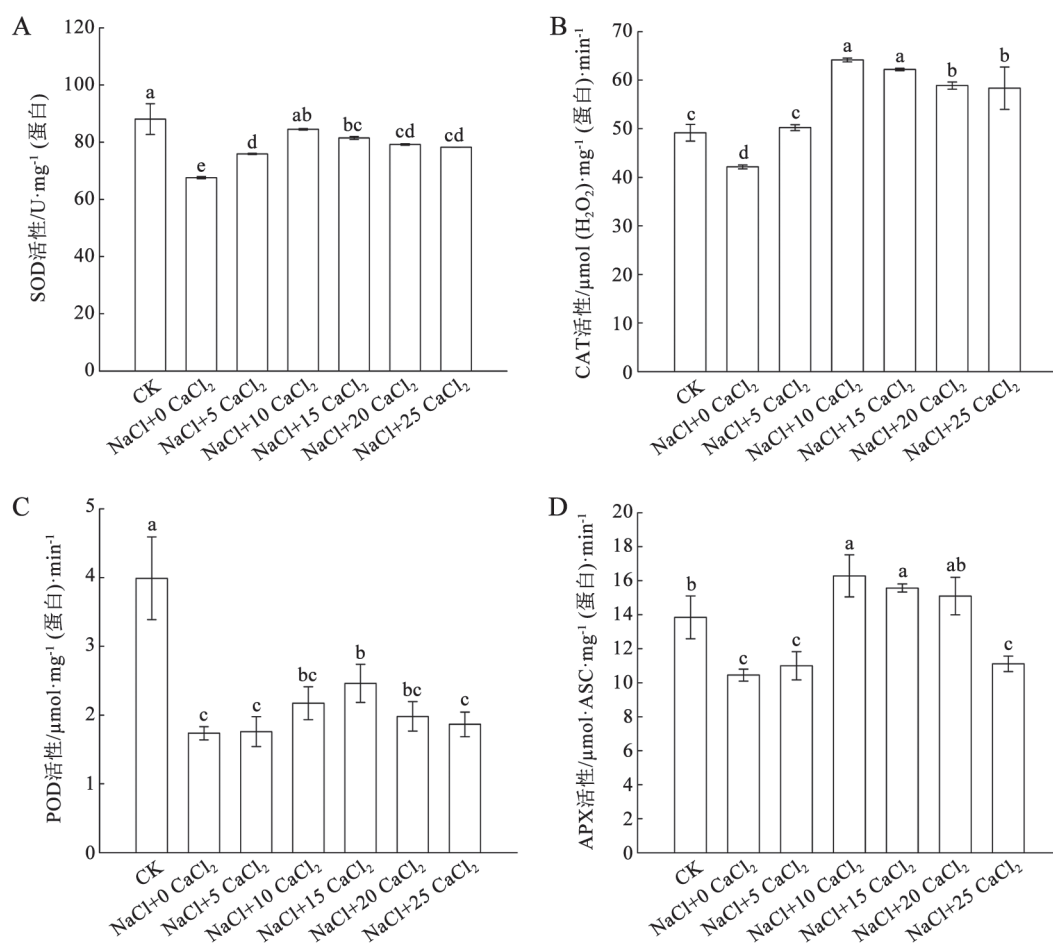


图3 不同浓度CaCl₂对NaCl胁迫下葡萄叶片抗氧化酶活性的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of CaCl₂ on the antioxidant enzyme activities of leaves in grape under NaCl treatment

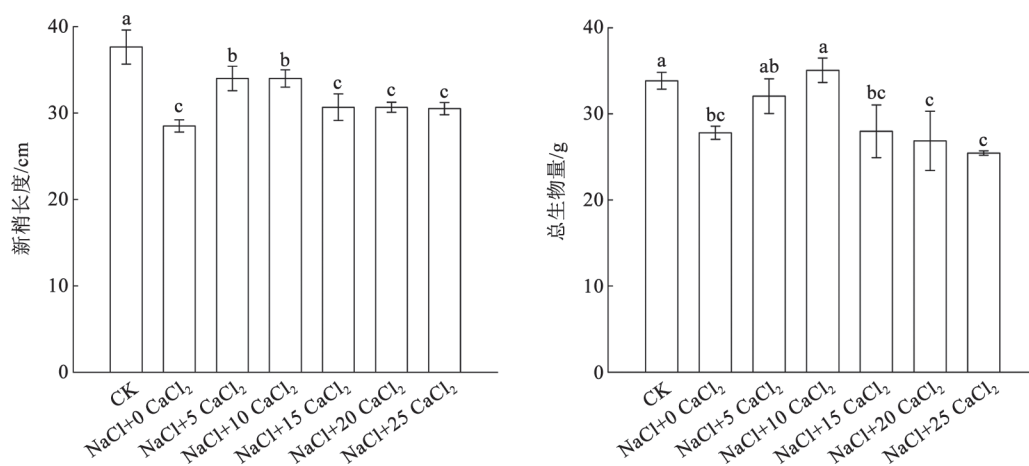


图4 不同浓度CaCl₂对NaCl胁迫下葡萄地上部新梢长度和总生物量的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of CaCl₂ on the shoot length and total biomass of grape under NaCl treatment

表2 不同浓度CaCl₂对葡萄影响的主成分分析Table 2 Principal components of the effects of different concentration of CaCl₂ on grape

测定指标	主成分1	主成分2	主成分3
特征根	5.173	2.950	1.150
累计贡献率/%	51.73	81.23	92.73
新梢长	0.783	-0.323	-0.061
总生物量	0.872	-0.430	-0.021
根系相对电导率	-0.778	-0.064	0.694
叶片相对电导率	-0.779	0.498	-0.232
超氧阴离子产生速率	-0.960	0.266	0.068
H ₂ O ₂ 含量	-0.667	0.473	-0.404
SOD活性	0.378	0.826	-0.239
CAT活性	0.575	0.726	-0.150
POD活性	0.509	0.698	0.494
APX活性	0.698	0.647	0.030

米娜'葡萄的影响。由表2可知,第1个主成分中系数较大的是新梢长和总生物量变化幅度,且这2个指标越大,说明CaCl₂对盐胁迫下葡萄的缓解作用越大。第2个主成分中系数较大的是叶片中SOD、CAT活性变化幅度,且这2个指标越大,说明CaCl₂对盐胁迫下葡萄叶片中活性氧的清除能力越强,缓解作用越大。第3个主成分中系数较大的是根系相对电导率。

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重,计算主成分综合模型。根据主成分综合模型即可计算综合主成分值(表3)。可以看出不同浓度CaCl₂对盐胁迫下'达米娜'葡萄的缓解作用由大到小为:10 mmol·L⁻¹>15 mmol·L⁻¹>20 mmol·L⁻¹>5 mmol·L⁻¹>25 mmol·L⁻¹。

3 讨论

3.1 适宜浓度CaCl₂能减轻NaCl胁迫下葡萄幼苗的活性氧伤害

盐胁迫下,植物体内产生和积累大量活性氧

(Santos 2004),造成膜脂过氧化程度加剧,损伤膜系统。本文结果中,在NaCl胁迫下,葡萄叶片中超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量显著增加,而除25 mmol·L⁻¹ CaCl₂外,其余浓度的CaCl₂均显著降低了盐胁迫下葡萄叶片中的超氧阴离子产生速率,5和10 mmol·L⁻¹ CaCl₂也降低了盐胁迫下葡萄叶片的H₂O₂含量,由数据可以看出低浓度的CaCl₂(特别是10 mmol·L⁻¹ CaCl₂)对盐胁迫下活性氧的积累缓解作用较大。植物可以启动酶促和非酶促两类抗氧化系统来减轻或消除活性氧的伤害(Smirnov 1999),参与抗氧化清除反应的酶类主要有SOD、CAT、POD和APX等。CaCl₂提高了NaCl胁迫下小金海棠幼苗根系和叶片中SOD、POD和CAT活性(徐臣善 2014),一定浓度Ca²⁺(≤15 mmol·L⁻¹)可提高NaCl胁迫下唐古特白刺SOD和POD活性(袁晓婷等 2014)。本文中,CaCl₂显著缓解了NaCl胁迫下葡萄叶片SOD和CAT活性的降低,而仅15 mmol·L⁻¹和10、15、20 mmol·L⁻¹ CaCl₂分别显著缓解了NaCl胁迫下葡萄叶片POD和APX活性的降低,与单独盐胁迫的相比,NaCl+CaCl₂处理的葡萄叶片较低的超氧阴离子产生速率和H₂O₂含量可能与较高的SOD、CAT、POD和APX活性有关,较低水平的活性氧对膜的影响较小,导致叶片相对电导率较小,膜透性较小。高浓度的CaCl₂可能由于Cl⁻的进一步增加,对葡萄产生了不利影响,造成活性氧的积累反而高于对照。杜远鹏等(2015)研究发现阴离子Cl⁻与SO₄²⁻相比,前者对葡萄的危害更大,而且是引起葡萄黄化的原因之一。

3.2 主成分分析的综合评价

主成分分析可以将多个指标精简为少数几个指标来解释原始指标里所包含的信息,因此利用主成分分析进行综合评价会更客观、结果更可靠(沈渊2013)。通过主成分分析,孙璐等(2012)得出

表3 综合主成分值

Table 3 Comprehensive principal component values

CaCl ₂ 浓度/mmol·L ⁻¹	主成分1	主成分2	主成分3	主成分	排名
5	-115.449	-53.792	-10.502	-76.767	4
10	-13.645	6.958	-24.807	-7.869	1
15	-117.285	35.722	-5.193	-50.723	2
20	-123.976	24.334	-25.838	-59.919	3
25	-212.557	31.735	-32.330	-104.294	5

根长、叶重和发芽率等指标可用于大批量高粱品种耐盐性的评价。王艺陶等(2014)指出相对芽长、相对根长和相对萌芽抗旱指数作为萌发期高粱抗旱性筛选的主要评价指标。杨怡帆等(2016)筛选出了分别作为CaCl₂缓解酸枣幼苗地上部、地下部NaCl胁迫的评价指标。本文采用主成分分析筛选出了10 mmol·L⁻¹是CaCl₂缓解200 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫对‘达米娜’葡萄的最适浓度。

参考文献(References)

- Aebi H (1984). Catalase *in vitro*. *Method Enzymol*, 105: 121–126
- Brennan T, Frenkel C (1977). Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. *Plant Physiol*, 59: 411–416
- Cakmak I, Marschner H (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*, 98: 1222–1227
- Du YP, Jin XJ, Guo SH, et al (2015). Effects of different salt and alkali stresses on ion distribution in Red globe /Beta grapevines. *Chin J Appl Ecol*, 26 (6): 1801–1806 (in Chinese with English abstract) [杜远鹏, 晋学娟, 郭淑华等(2015). 不同盐碱类型胁迫对红地球/贝达葡萄植株离子分布的影响. *应用生态学报*, 26 (6): 1801–1806]
- Elstner EF, Heupel A (1976). Inhibition of nitrite formation from hydroxylammoniumchloride: a simple assay for superoxide dismutase. *Anal Biochem*, 70: 616–620
- Giannopolitis GN, Reis SK (1977). Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol*, 59: 309–315
- Huo SX, Du GQ, Zhang XH (2005). Study progress of calcium function mechanism on alleviating plant salinity injury. *Soil Fertil Sci China*, (6): 3–6 (in Chinese with English abstract) [霍书新, 杜国强, 张小红(2005). 钙缓解植物盐害的作用机制研究进展. *中国土壤与肥料*, (6): 3–6]
- Lei CJ, Zhu JL, Chang YY (2012). Effects of NaCl and Na₂CO₃ stress on growth and physiological indexes in ‘Beta’ grafted ‘Red Globe’ grape seedlings. *J Gansu Agric Univ*, 47 (5): 50–55 (in Chinese with English abstract) [雷成军, 朱建兰, 常永义(2012). NaCl、Na₂CO₃胁迫对‘红地球’葡萄‘贝达’嫁接苗生长及生理指标的影响. *甘肃农业大学学报*, 47 (5): 50–55]
- Li XF, Ni ZM, Wu YY, et al (2015). Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and leaf cell structure of ‘Yinhong’ grape seedlings. *Acta Ecol Sin*, 35 (13): 4436–4444 (in Chinese with English abstract) [李学孚, 倪智敏, 吴月燕等(2015). 盐胁迫对‘鄞红’葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响. *生态学报*, 35 (13): 4436–4444]
- Mao GL, Zheng GQ, Zhang YC, et al (2007). Effects of different calcium salt treatment on salt tolerance of *Lycium barbarum* L callus under NaCl stress. *Agric Res Arid Areas*, 25 (1): 131–134 (in Chinese with English abstract) [毛桂莲, 郑国琦, 章英才等(2007). 不同钙盐对NaCl胁迫下枸杞愈伤组织耐盐性的影响. *干旱地区农业研究*, 25 (1): 131–134]
- Nakano Y, Asada K (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*, 22: 867–880
- Santos CV (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Sci Hortic*, 103: 93–99
- Shen Y (2013). SPSS 17.0 (in Chinese) Statistical Analysis And Application Of Experimental Course. Hangzhou: Zhejiang University Press, 8 [沈渊(2013). SPSS 17.0 (中文版)统计分析及应用实验教程. 杭州: 浙江大学出版社, 8]
- Smirnov N (1993). The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytol*, 125 (1): 27–58
- Sun L, Zhou YF, Wang C, et al (2012). Screening and identification of sorghum cultivars for salinity tolerance during germination. *Sci Agric Sin*, 45 (9): 1714–1722 (in Chinese with English abstract) [孙璐, 周宇飞, 汪澈等(2012). 高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定. *中国农业科学*, 45 (9): 1714–1722]
- Wang YT, Zhou YF, Li FX, et al (2014). Identification and classification of sorghum cultivars for drought resistance during germination stage based on principal components analysis and self organizing map cluster analysis. *Acta Agron Sin*, 40 (1): 110–121 (in Chinese with English abstract) [王艺陶, 周宇飞, 李丰先等(2014). 基于主成分和SOM聚类分析的高粱品种萌发期抗旱性鉴定与分类. *作物学报*, 40 (1): 110–121]
- Xu CS (2014). Effects of calcium on biomass and antioxidant systems in seedlings of *Malus xiaojinensis* under salt stress. *Plant Physiol J*, 50 (6): 817–822 (in Chinese with English abstract) [徐臣善(2014). 钙对盐胁迫下小金海棠幼苗生物量及抗氧化系统的影响. *植物生理学报*, 50 (6): 817–822]
- Yang JS (2008). Development and prospect of the research on salt-affected soils in China. *Acta Pedol Sin*, 45 (5): 837–845 (in Chinese with English abstract) [杨劲松(2008). 中国盐渍土研究的发展历程与展望. *土壤学报*, 45 (5): 837–845]
- Yang JY, Zheng W, Tian Y, et al (2011). Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago rutheniumca* seedlings. *Photosynthetica*, 49 (2): 275–284
- Yang YF, Lü XM, Lu XY, et al (2016). Principal component analysis of the alleviating effects of CaCl₂ on NaCl stress in sour jujube (*Ziziphus acidojujuba*) seedlings. *J Fruit*

- Sci, 33 (8): 959–968 (in Chinese with English abstract) [杨怡帆, 吕新民, 鲁晓燕等(2016). CaCl_2 缓解酸枣幼苗 NaCl胁迫的主成分分析. 果树学报, 33 (8): 959–968]
- Yuan XT, Liu W, Xuan YN, et al (2014). Physiological effects of exogenous Ca^{2+} on *Nitraria tangutorum* under salt stress. *Plant Physiol Comm*, 50 (1): 88–94 (in Chinese with English abstract) [袁晓婷, 刘威, 宣亚楠等(2014). 盐胁迫下唐古特白刺对外源 Ca^{2+} 的生理响应. 植物生理学报, 50 (1): 88–94]
- Zhao KF (1993). *Plant Resistance To Salt*. Beijing: Science And Technology of China Press, 1–320 [赵可夫(1993). 植物抗盐生理. 北京: 中国科学技术出版社, 1–320]
- Zhao SJ, Shi GA, Dong XC (2002). *Guidance for Experiments in Plant Physiology*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 130–131 [赵世杰, 史国安, 董新纯(2002). 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社, 130–131]
- Zhao X, Wang LQ, Zhou CJ, et al (2006). Effects of calcium on seed germination of different winter wheat genotypes under salt stress. *Chin J Soil Sci*, 37 (4): 748–752 (in Chinese with English abstract) [赵旭, 王林权, 周春菊等(2006). 钙离子对两种基因型冬小麦萌发过程中盐胁迫效应的影响. 土壤通报, 37 (4): 748–752]
- Zhu Y, He CQ, Du W, et al (2007). Effect s of exogenous calcium on the seed germination and seedling ions distribution of *Festuca arundinacea* under salt-stress. *Trans CSAE*, 23 (11): 133–137 (in Chinese with English abstract) [朱义, 何池全, 杜玮等(2007). 盐胁迫下外源钙对高羊茅种子萌发和幼苗离子分布的影响. 农业工程学报, 23 (11): 133–137]

Principal component analysis on the alleviating effects of different concentrations of CaCl_2 on ‘Tamina’ grape under NaCl stress

TAN Wei, LI Xiao-Mei, DONG Zhi-Gang, TAN Min, TANG Xiao-Ping*

Institute of Pomology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Key Laboratory of Germplasm, Improvement and Utilization in Pomology, Taigu, Shanxi 030815, China

Abstract: This study aimed to study the alleviating effects of calcium on grape under salt stress. The annual of grapes (*Vitis vinifera* L. ‘Tamina’) grown on the sand were the experimental materials. Then the effects of different CaCl_2 concentrations on physiological properties of grape seedling were studied under $200 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl stress. The results showed that, under $200 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl stress, the relative conductivity of roots and leaves, O_2^- production rate, H_2O_2 content of grape leaves increased significantly, while the SOD, CAT, POD, APX activities of grape leaves, shoot length and total plant biomass decreased significantly. Compared with the NaCl stress, 5 and $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 significantly decreased the relative conductivity of roots and leaves, O_2^- production rate, H_2O_2 content of grape leaves. Exogenous CaCl_2 significantly alleviated the decrease of SOD and CAT activity under NaCl stress, $15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 significantly increased the POD activity, while 10, 15 and $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCl_2 significantly increased the APX activity under NaCl stress. Under high concentration ($25 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) of CaCl_2 treatment, the relative conductivity, O_2^- production rate, H_2O_2 content of grape leaves were significantly higher than those of NaCl stress. However, there were no significant differences in the POD and APX activities, shoot length and total plant biomass between the treatment and NaCl stress. Principal component analysis results showed that the $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ was the appropriate concentration of CaCl_2 which relieving the damage of $200 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl on grapes, that might be related with the higher activities of antioxidant enzymes and less accumulation of reactive oxygen species.

Key words: grape; NaCl stress; exogenous CaCl_2 ; reactive oxygen; principal component analysis

Received 2017-07-27 Accepted 2018-03-28

This work was supported by Research on Agricultural Science and Technology Innovation of Shanxi Academy of Agricultural Sciences (ZDSYS1505), Shanxi Province’s Key Research and Development Plan Key Program (201603D21105) and Self-selected Project of the Ascendant Research Group in Shanxi Academy of Agricultural Sciences (YYS1704).

*Corresponding author (txp-19590401@163.com).