文章编号:1000-7601(2018)04-0214-09 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2018.04.31

盐碱胁迫下‘红地球’葡萄对生化改良的光合与生理响应

王延秀,李飞鸿,武云龙,郭爱霞,胡　亚,朱燕芳,贾旭梅

(甘肃农业大学园艺学院,甘肃 兰州 730070)

摘　要:为了筛选盐碱胁迫下葡萄栽培中的最佳改良剂,评价不同改良剂的效果,试验以 60 d 的‘红地球’葡萄扦插苗为试材, 采用盆栽灌溉盐碱水的方式,研究青草(GG)、枯草(DG)、硫酸钾(PS)、过磷酸钙(CS)、硫酸亚铁(FS)对葡萄生长、光合等生理指标的影响。结果表明:改良剂处理的株高生长量先降低后增大,CS 处理的增加幅度最大,达到 151.11%;不同改良剂处理的净光合速率(*Pn*),气孔导度(*Gs*)和蒸腾速率(*Tr*)逐渐降低,而胞间 CO_2 浓度(*Ci*)先增大后降低,CS 处理的 *Pn* 和 *Gs* 下降幅度分别为 5.68%、15.13%,较其他处理下降幅度低,FS 处理的 *Tr* 下降幅度较其他处理小,为 48.18%,CS 处理的 *Ci* 上升幅度最大,为 473.29%;PSⅡ最大光化学效率(*Fv/Fm*)、PSⅡ潜在光化学活性(*Fv/Fo*)、光化学猝灭系数(*qP*)随着改良处理后时间的推进逐渐下降,非光化学淬灭系数(*qN*)先降低后增大,CS 处理的 *Fv/Fm* 和 *Fv/Fo* 的下降幅度均小于其他处理,分别为 18.01%和 63.39%,CS 处理 *qN* 上升幅度最大,为 232.20%;各改良处理下叶片的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性逐渐下降,而过氧化氢酶(CAT)活性逐渐升高,其中 FS 处理的 SOD 下降了 25.60%,较其他处理下降幅度大,CAT 上升了42.22%,较其他处理上升幅度小;脯氨酸(Pro)含量和相对电导率(REC)先升高后降低,叶绿素含量先降低后升高,FS 处理的 Pro 和 REC 降幅最大,分别为 30.63%、7.57%,FS 处理的叶绿素含量的上升幅度为 2.13%,高于其他处理。主成分分析(PCA)显示,3 个主成分的方差贡献率达到 89.955%,FS 处理得分最高。盐碱胁迫下,生化改良可通过减少光捕获、增强热耗散和酶活性调节的协同作用稳定‘红地球’葡萄的光合机构功能,硫酸亚铁改良效果最佳。

关键词:葡萄;盐碱胁迫;改良剂;光合;叶绿素荧光;生理特性

中图分类号:S663.1　　**文献标志码**:A

Photosynthetic and physiological response to biochemical improvement of ‘Red Globe’ grape under saline-alkali stress

WANG Yan-xiu, LI Fei-hong, WU Yun-long, GUO Ai-xia, HU Ya, ZHU Yan-fang, JIA Xu-mei

(*College of Horticulture*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*)

Abstract: In order to screen for the best improvers in grape cultivation under saline-alkaline stress and evaluate the effects of different modifiers, the experiment was conducted on 60 days of ‘Red Globe’ grape cuttings as a test materials, and the pot culture experiments were used to irrigate saline-alkaline water to study the effects of green grass (GG), dry grass (DG), potassium sulfate (PS), calcium superphosphate (CS) and ferrous sulfate (FS) on grape growth, photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters and physiological indicators. The results showed that with the application of improver, the growth of plant height decreased first and then increased, and the increase extent in CS treatment was the largest, reaching 151.11%. The net photosynthetic rate (*Pn*), stomatal conductance (*Gs*) and transpiration rate (*Tr*) gradually decreased, and the intercellular CO_2 concentrations (*Ci*) first increased and then decreased. The *Pn* and *Gs* in CS treatment decreased by 5.68% and 15.13%, respectively, and the decline was the the lowest compared with other treatments. The decline in *Tr* of FS treatment was smaller than that of other treatments, which was 48.18%, and the increase in *Ci* of CS treatment was 473.29% the potential photochemical activity of photosystem Ⅱ (*Fv/Fo*), the maximal photochemical efficiency of photosys-

收稿日期:2017-04-18　　**修回日期**:2017-07-01

基金项目:兰州市科技局项目(2015-3-76)

作者简介:王延秀(1976-),女,甘肃靖远人,博士,副教授,研究方向为果树栽培生理与技术。E-mail: wangxy@gsau.edu.cn

tem Ⅱ(*Fv/Fm*) and photochemical quenching coefficient (*qP*) decreased gradually with the extension of the improvement of saline-alkaline stress. and the non-photochemical quenching coefficient (*qN*) decreased firstly and then increased. The decrease of *Fv/Fm* and *Fv/Fo* of CS treatment was smaller than that of other treatments, which were 18.01% and 63.39% respectively. The increase of *qN* in CS treatment was greatest, which was 232.20%. the superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activitiest of leaves under various improvement treatments decreased while the catalase (CAT) activity gradually increased. The SOD of FS decreased by 25.60%, which was the largest decrease compared with the other treatments. the CAT of FS increased by 42.22% which was the smallest increase compared to other treatments. Proline (Pro) content and relative electrical conductivity (REC) increased first and then decreased, the chlorophyll content decreased first and then increased. The f Pro and REC of FS treatment had the largest decrease, which was 30.63%, 7.57% respectively.The increase of chlorophyll content of FS treatment was 2.13%, which was higher than other treatments. The principal component analysis (PCA) showes that the variance contribution of the 3 principal components reaches 89.955%, and the FS treatment is the optimal. biochemical modification, Under the saline-alkaline stress, biochemical improvers can stabilize the photosynthetic apparatus function of the ‘Red Globe’ grape by educing the synergism of light trapping, heat dissipation and enzyme activity regulation. and the best improver is ferrous sulfate.

Keywords: grape; saline-alkaline stress; improver; photosynthetic parameters; chlorophyll fluorescence; photosynthetic characteristic

葡萄(*Vitis vinifera* Linn.)是世界落叶果树中栽培面积最大、产量最高的树种之一,我国西北地区具有发展葡萄得天独厚的气候条件[1]。然而,该区强烈的地表蒸发及不合理灌溉使得土壤次生盐渍化发展迅速,盐碱地面积日益扩大,严重制约葡萄与葡萄酒产业的发展[2]。

目前,盐碱地主要通过物理、化学和生物措施进行改良[5-9]。客土改良、深松土壤、秸秆覆盖、水旱轮作、上农下渔等物理措施能不同程度地减轻土壤盐害。利用酸碱中和的原理,用磷石膏、脱硫石膏、过磷酸钙、土壤综合改良剂等化学药剂进行盐碱地改良也取得了良好效果[3]。赵秋等用草炭、牛粪堆肥、腐殖酸钠、绿肥、蚯蚓粪和生物与无机物质制成不同有机、无机土壤改良剂改良苜蓿种植地,显著提高了苜蓿产量,且土壤 pH 值降低[4]。有研究显示,生物措施是改良盐碱地的有效途径,植物的根、茎、叶返回土壤后既能改善土壤结构,增加有机质,又可提高肥力[5]。

植物在盐渍环境中的存活以减小生长量为代价,抑制生长是盐、碱胁迫对植物最明显的效应[6]。目前对植物的耐盐性鉴定有两种方法,一种以形态观察、生长测定为主的直接鉴定方法;另一种是利用生理生化指标为主的间接鉴定法[7]。叶绿素荧光动力学技术由于其快速和非破坏性的优点,成为研究植物光合结构功能和逆境胁迫响应的主要工具。叶绿素荧光的变化可以在一定程度上反映逆境胁迫对植物的影响[3]。Hatami 等[8]认为高盐胁迫下葡萄叶面积、光合色素和气孔导度明显降低。黄立华等的研究结果表明苏打盐碱胁迫抑制了羔羊草的光合作用[9]。有关葡萄尤其是砧木耐单盐和单碱方面的研究较多[10],但对于改良剂对栽培品种葡萄盐碱胁迫的影响及改良效果却鲜见报道。

本试验以‘红地球’葡萄为材料,在盆栽条件下研究不同生物、化学改良剂对其生长、光合与叶绿素荧光动力学的影响,探讨盐碱胁迫下葡萄的生理响应,以期为盐渍土地改良和本品种的推广提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验在甘肃农业大学塑料温室中进行。2013 年 11 月采集‘红地球’葡萄冬剪时的枝条,在地面 50 cm 以下埋土处理。2014 年 3 月 20 日将枝条取出,选择健壮枝条剪成 15~20 cm 长的插穗,并抠芽(只保留顶部一个芽),在 100 mg · L^{-1} IBA 中浸泡 10 h,扦插在盛装有 250 g 基质和牛粪(20%蛭石,20%珍珠岩,60%泥炭)的育苗盆(内径 10 cm,深 18 cm)中育苗,每盆 1 株,统一管理。植株具 10 片真叶时,选择长势一致的幼苗 70 盆,进行盐碱胁迫处理。试验设计如下:10 盆‘红地球’葡萄苗为一个处理,处理组每隔 3 天浇灌盐碱土淋溶液(表 1)150 ml 1 次,共 3 次,之后每 7 d 向各盆中浇灌盐碱土淋溶液和改良剂一次,各处理改良剂为:处理 1(GG) 2.5 g碾碎的新鲜牧草,处理 2(DG) 2.5g 碾碎的枯

草,处理 3(PS)硫酸钾 1.74 g,处理 4(CS)过磷酸钙 2.52 g,处理 5(FS)硫酸亚铁 1.52 g;对照组(CK1)各盆相应浇灌 150 ml 清水,对照组(CK2)各盆相应浇灌 150 ml 盐碱土淋溶液,在改良处理后 7、14、21、28、35 d 进行采样测定各项指标,各处理重复 3 次。

表 1 试验所用盐碱土壤的化学性质

Table 1 Chemical properties of saline-alkaline soil in the test

pH	电导率 Electrical conductivity /(ds·m^{-1})	全盐量 Total salt content /(g·kg^{-1})	Ca^{2+} /(g·kg^{-1})	Mg^{2+} /(g·kg^{-1})	CO_3^{2-} /(g·kg^{-1})	HCO_3^- /(g·kg^{-1})	Cl^- /(g·kg^{-1})	SO_4^{2-} /(g·kg^{-1})	Na^+ /(g·kg^{-1})	K^+ /(g·kg^{-1})
8.91	7.82	7.46	0.78	0.2928	0.835	2.602	0.437	0.613	1.2432	0.74

1.2 测定方法

1.2.1 株高生长量的测定 分别调查加入改良剂前后幼苗的株高 H_0 和 H_1,计算不同处理的株高绝对生长量 $\Delta H=H_1-H_0$,用钢卷尺和游标卡尺各测定 1 次,精确到 0.1 cm。

1.2.2 光合作用气体交换参数的测定 选取枝条中部 5 片成熟叶片(做标记)为测定对象,从胁迫处理当天开始,以后每隔 7 d 上午 8:00 进行各项指标测定。用 Li-6400 光合仪(LI-COR 公司,美国)测定 *Pn*、*Gs*、*Tr*、*Ci*,设定 CO_2 浓度为 400 μmol·mol^{-1},环境温度 25℃,光强为 800 μmol·m^{-2}·s^{-1}。

1.2.3 叶绿素荧光参数的测定 将叶片充分暗适应 30 min 后,在同一叶片上用 Li-6400 光合仪(LI-COR 公司,美国)测定荧光参数[11],记录数据,计算 *Fv/Fm*、*Fv/Fo*、*qN*、*qP*;测定重复 3 次。

1.2.4 生理生化指标的测定 SOD、POD、CAT 活性采用李合生[12]的方法测定;REC 采用电导率法测定[13]。Pro 含量采用酸性茚三酮法测定[14]。叶绿素含量采用分光光度计法测定,提取液为 95% 乙醇,在黑暗避光处提取 24 h 后进行测定。

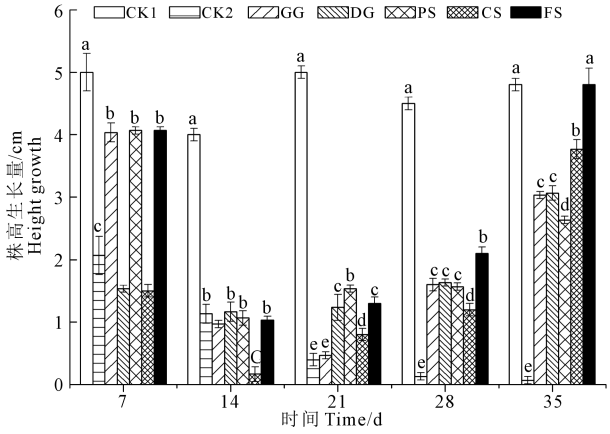
1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2010 进行试验数据整理,用软件 origin 8.0 作图,用 R 语言进行相关性分析,运用 SPSS 22.0 进行显著性及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂对‘红地球’葡萄株高生长量的影响

如图 1 所示,改良剂处理的株高生长量呈现先降低后升高的趋势,对照 CK1 的生长量在整个处理周期无显著差异,CK2 显著下降,到第 35 天其生长量仅为 0.07 cm,显著低于其他处理。DG、CS、FS 处理的株高生长量总体上增加,其中 CS 处理的增加幅度为 151.11%,高于 DG 和 FS 处理。第 35 天,FS 处理与 CK1 无显著差异,与其它处理差异显著。



注:数据为 3 次重复的平均值与标准误,不同的字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,下同。

Note: The column means the average of the parameters in each line, and the error bars show the standard error of three replicates. Bars superscripted with different letters are significantly different at $P<0.05$ as determined by Duncan method. The same as below.

图 1 不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄株高生长量的影响

Fig.1 Effect of different treatments on plant height increment under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

2.2 不同改良剂对‘红地球’葡萄叶片光合作用参数的影响

图 2A 所示,CK1 处理的 *Pn* 呈上升趋势,上升幅度为 50.32%,GG 处理的 *Pn* 没有明显变化。CK2、DG、PS、CS 和 FS 处理均呈下降趋势,下降幅度分别为 63.00%、6.80%、18.90%、5.68%、26.62%。在整个处理时间段内,CS 下降幅度小于其它处理。

由图 2B 可以看出,除 CK2 外,各处理的 *Tr* 先下降后上升,整体呈现下降趋势,其中 FS 降幅最小,为 48.18%;CK2 降幅最大,CS 次之,分别为 90.55%和 84.45%。第 21 天,处理 GG、DG、PS、CS、FS 的 *Tr* 达最低值,显著低于 CK1。随后各处理的 *Tr* 稍有增加,第 35 天,CK1 的 *Tr* 值最高,其次为 FS,显著高于其他各处理。

如图 2C,CK2 处理的 *Ci* 先降低后升高,呈下降趋势。处理 CK1、GG、DG、PS、CS 和 FS 先上升后下

降,在第 21 天时达到峰值,整体呈上升趋势,上升幅度分别为 71.01%、129.55%、110.10%、169.39%、473.29%和 32.66%,CS 增幅显著高于其他各处理,FS 最低。

由图 2D 可知,各处理 *Gs* 呈下降趋势,下降幅度分别为:18.60%、84.62%、65.75%、45.50%、57.26%、15.13%、42.20%,CK2 下降幅度最大,CS 下降幅度最小。第 35 天,CS 显著高于 CK2,显著低于其他处理。

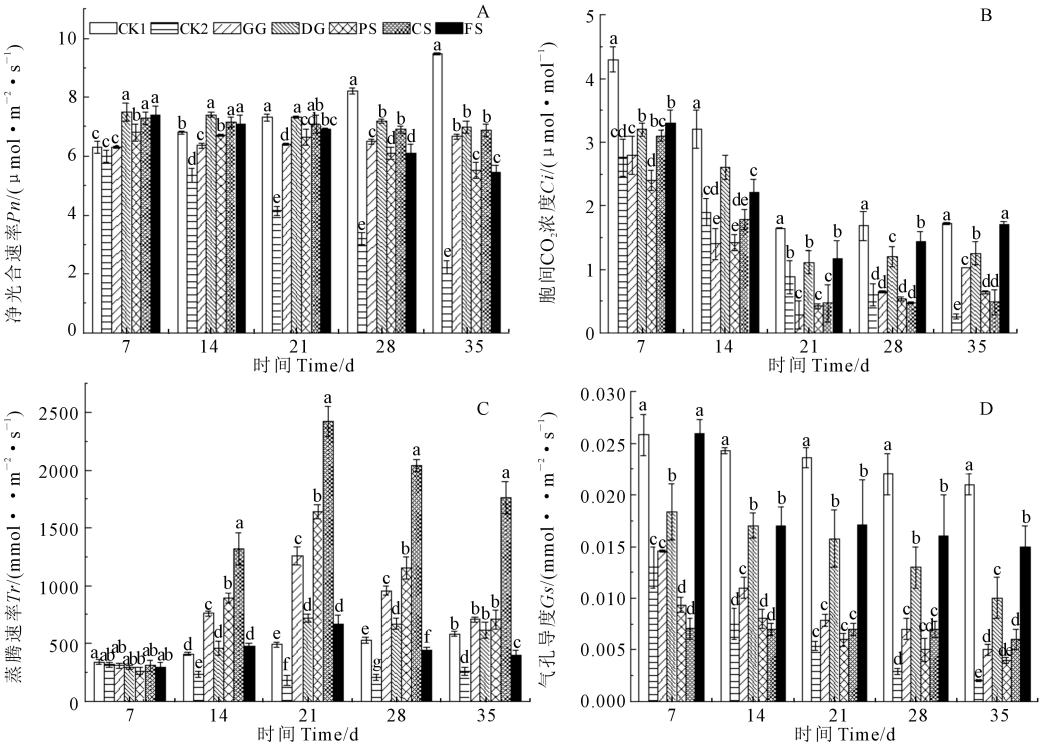


图 2　不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄光合特性的影响

Fig.2　Effect of different treatments on photosynthetic characteristic under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

2.3　不同改良剂对‘红地球’葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

从图 3A 可以看出,各处理下,*Fv/Fm* 逐渐降低,PS 处理下降最快,CK1 下降最慢,第 35 天时,PS 处理显著低于其它各处理,与 CK2 差异不显著。

由图 3B 可以看出,各处理的 *Fv/Fo* 随改良处理后时间的推移呈下降趋势,CS 处理下降幅度最小,FS 次之。第 21 天时,除 CS、DG 以外的其他各处理与 CK1 差异达显著水平,均低于 CK1;第 35 天,CS 显著高于 CK2、DG 和 PS。

如图 3C,随着改良处理时间的延长,两对照的 *qN* 逐渐增加,各改良处理的 *qN* 先降低后升高,整体呈升高趋势,其中 CS 处理较其他处理上升幅度大,其次为 DG 和 FS 处理。

由图 3D 可知,各处理 *qP* 随着处理时间的延长呈下降趋势,其中 DG、GG 和 CK1 下降幅度为 41.83%、48.00%和 49.33%,较其他处理小,其次为 CS,下降幅度为 57.7%。

2.4　不同改良剂对‘红地球’葡萄叶片抗氧化酶活性的影响

由图 4A 可知,随着处理时间的延长,两个对照的 SOD 呈上升趋势,而不同改良剂处理的 SOD 逐渐下降,其中 FS 下降幅度最大,DG 和 CS 次之。在第 35 天时,FS 的 SOD 显著低于其他改良处理。

如图 4B,CK1 和 CK2 的 POD 随着处理时间的持续逐渐上升,其它处理逐渐下降,其中 PS 下降幅度最大,FS 次之。第 35 天,PS 和 FS 处理值达到最低,显著低于 DG 和 CS。

如图 4C,各处理 CAT 均呈上升趋势,上升幅度分别为 34.88%、202.33%、50.00%、57.14%、67.44%、56.82%、42.22% ,除 CK 外 FS 上升幅度最小。

2.5　不同改良剂对‘红地球’葡萄叶片渗透胁迫物质的影响

由图 5A 可得,随着改良处理时间的延长,脯氨酸含量 CK1 基本不变,CK2 逐渐增大,改良剂处理呈现先升高后降低,在第 14 天出现峰值,整体呈下降趋势,其中 FS 处理的 Pro 降幅最大,达 30.63%,第 35 天时,FS 显著低于其他处理。

从图 5B 中可以看出,CK1 和 CK2 处理的 REC 逐渐增大,改良剂处理的 REC 先增大后降低,在第 14 天达到峰值。其中 FS 降低了 7.57%。第 35 天时,FS 处理的 REC 降到最低,仅比对照 CK1 高 2.75%,与 CK1 无

显著差异,与其他处理差异显著。而其他改良处理整体呈上升趋势,CS 上升了 17.95%,较其他处理小。

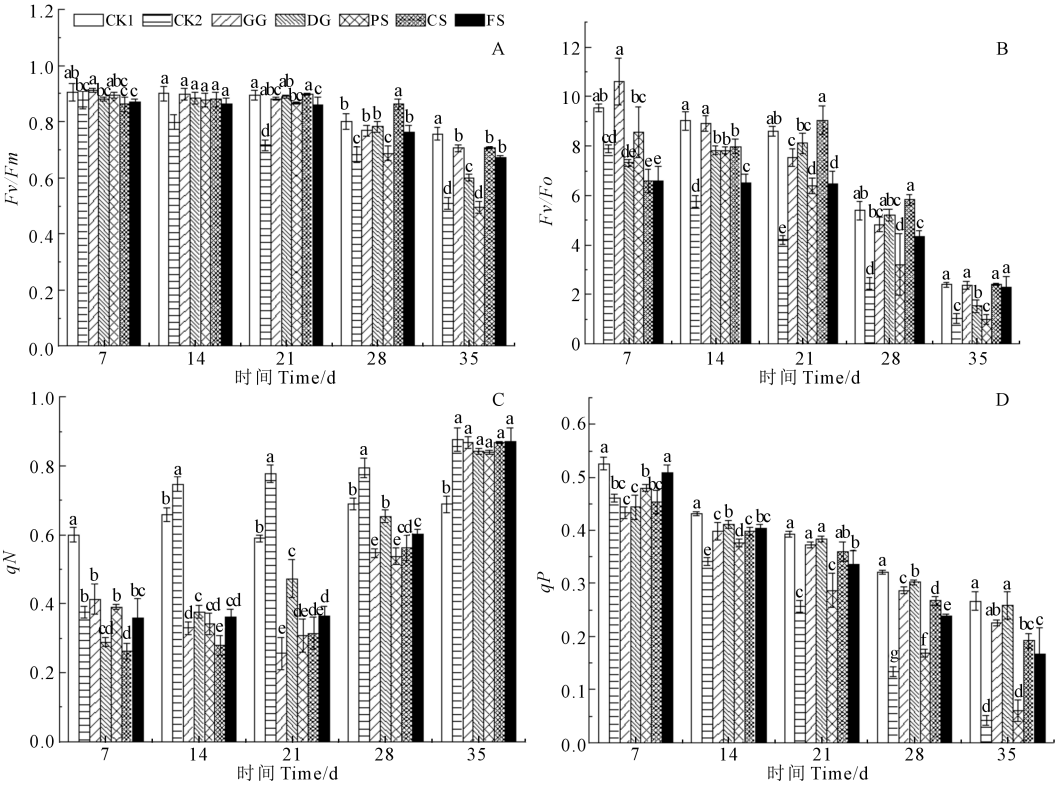


图 3 不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄叶绿素荧光参数的影响

Fig.3 Effect of different treatments on chlorophyll fluorescence parameter under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

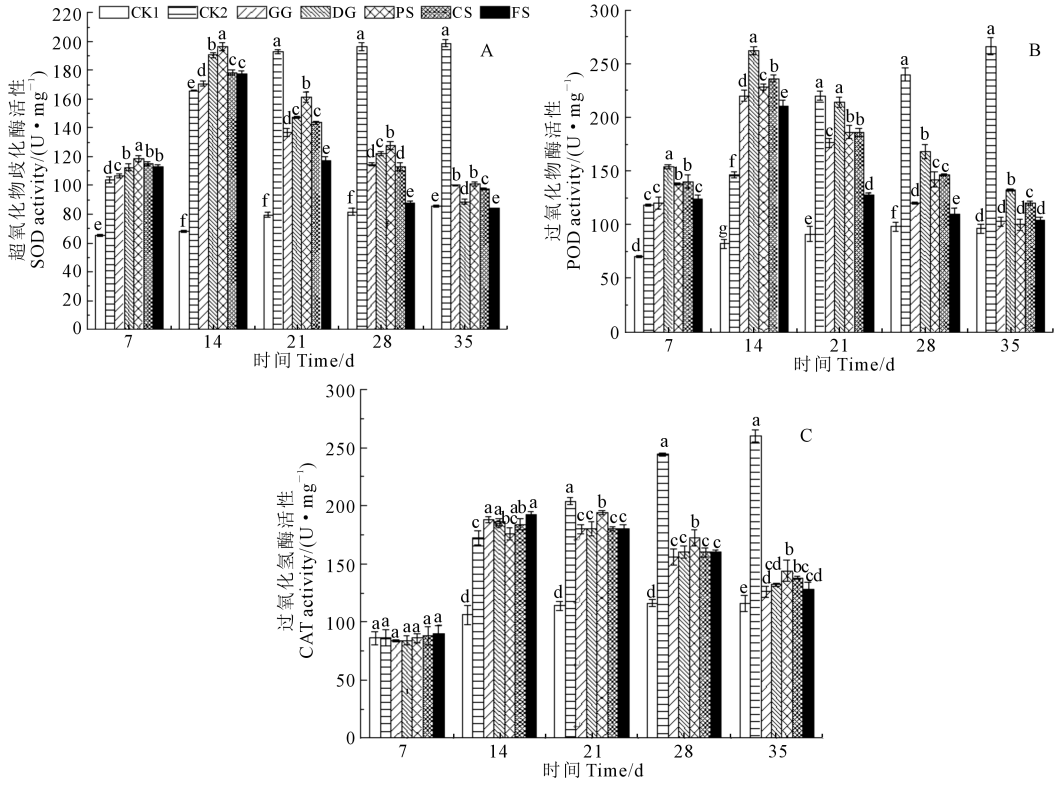


图 4 不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄抗氧化酶活性的影响

Fig.4 Effect of different treatments on antioxidant enzymes activity under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

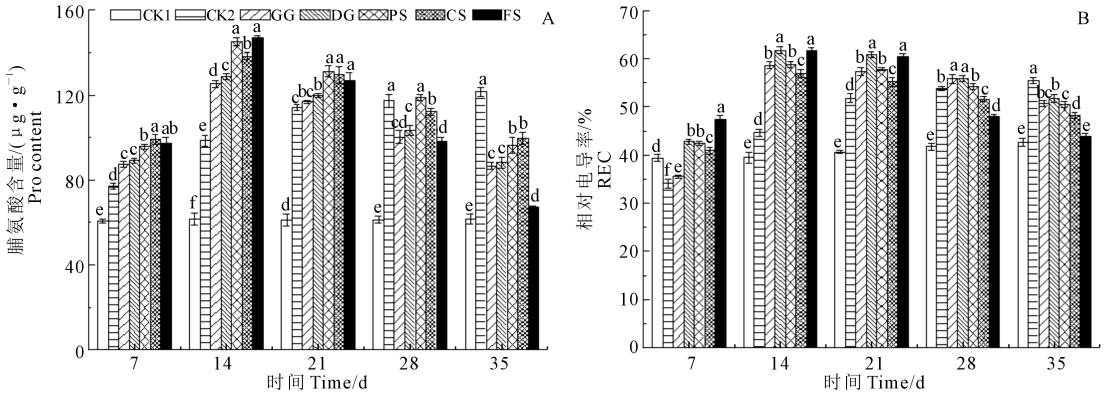


图 5　不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄渗透胁迫物质的影响

Fig.5　Effect of different treatments on osmotic stress substance under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

2.6　不同改良剂对‘红地球’葡萄叶片叶绿素含量的影响

从图 6 中可以看出,CK1 处理的叶绿素含量逐渐增加,CK2 逐渐下降,改良剂处理的叶绿素含量呈先降低后升高的趋势,从第 14 天开始升高,其中 FS 处理的叶绿素含量升高幅度最大,到 35 d 时,FS 处理值高于其它处理,且差异显著。而 CS 的叶绿素含量变化不明显。

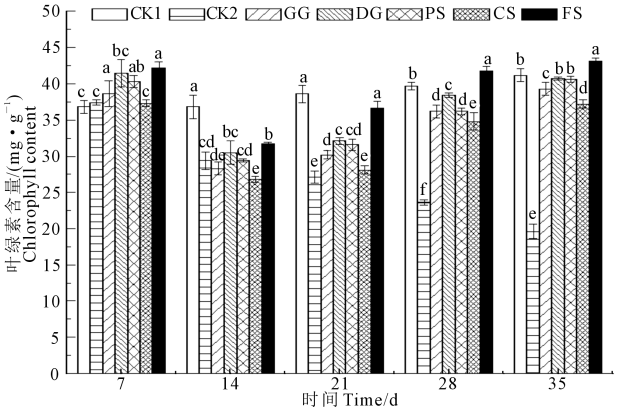
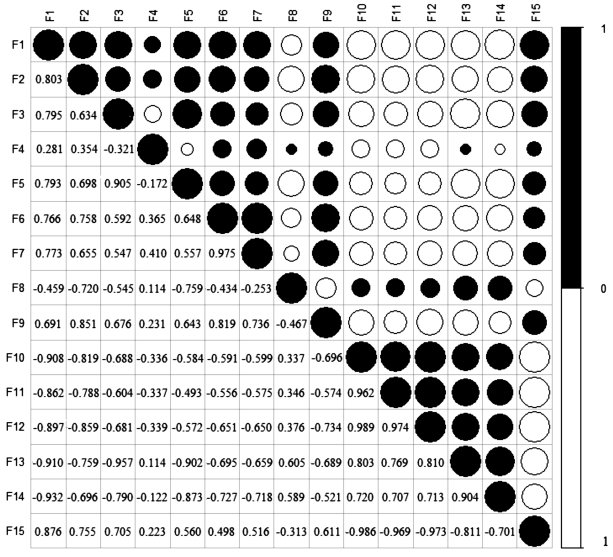


图 6　不同处理对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄叶绿素含量的影响

Fig.6　Effect of different treatments on chlorophyll content under saline-alkaline stress in ‘Red Globe’ grape

2.7　不同改良剂处理盐碱胁迫下‘红地球’葡萄的各生理指标相关性分析

从图 7 可知,株高生长量与 *Pn*、*Tr*、*Gs*、*Fv/Fm*、Fv/F_0 呈显著正相关,与叶绿素含量呈极显著相关,相关系数分别为:0.803*、0.795*、0.793*、0.766*、0.773*、0.876**,与 SOD、CAT、Pro、REC 呈极显著负相关,与 POD 呈显著负相关,相关系数分别为-0.908**、-0.897**、-0.910**、-0.932**、-0.862*;*Pn* 与叶绿素含量、*Fv/Fm*、*qP* 呈显著正相关,相关系数为 0.755*、0.758*、0.851*,与 SOD、POD、CAT、Pro 呈显著负相关,相关系数为-0.819*、-0.788*、-0.859*、-0.759*;*Tr* 与 *Gs* 呈极显著正相关,与 Pro 呈极显著负相关,与 REC 呈显著负相关,相关系数分别为 0.905**、-0.957**、-0.790*;*Gs* 与 Pro 呈极显著负相关,与 *qN*、REC 呈显著负相关,相关系数分别为-0.902**、-0.759*、-0.873*;*Fv/Fm* 与 *Fv/Fo* 呈极显著正相关、与 *qP* 显著正相关,相关系数为 0.975**、0.819*。



注:F1~F15 分别代表株高生长量、净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、最大光化学效率、潜在光化学活性、非光化学淬灭系数、光化学淬灭系数、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性、脯氨酸含量、相对电导率和叶绿素含量。

Note: F1~F15 represent height growth, *Pn*, *Tr*, *Ci*, *Gs*, *Fv/Fm*, Fv/F_0, *qN*, *qP*, SOD, POD, CAT, Pro, REC and chlorophyll content respectively.

图 7　各指标间的相关系数

Fig.7　The correlation coefficient between the indices

2.8　不同改良剂对盐碱胁迫下‘红地球’葡萄的改良效果综合评价

单个指标之间差异较大,以不同的指标作为评价标准其结果不同,植物对土壤的改良是一个复杂

的数量性状,仅凭一个性状或一项指标的测定结果难以反映改良效果,因此应用较多的指标进行综合评定,才能得到相对准确的结果[15]。

对测定指标用 SPSS 22.0 进行主成分分析,提取特征根大于 1 的两个主成分,由表 3 可知,第一、第二、第三主成分的方差贡献率分别为 63.783%、13.676%和 11.684%,累积方差贡献率达到 89.144%(大于 85%),表明前 3 个成分包含了测定指标的大部分信息,可反映盐碱胁迫下不同改良剂对'红地球'葡萄的改良效果。

第一主成分反映的信息量占总信息量的 68.657%,株高生长量对它有较大的正向载荷(表 3),FS 综合得分最高(表 4),CS 次之。

3 讨 论

盐碱胁迫会对植物造成损伤,抑制植物的营养生长与生殖生长,使植株生长量下降,甚至会导致植株死亡[16]。J. Y. Yang[17]等认为,随着盐碱度的增加,枝条和根的相对生长速率呈现下降的趋势。刘倩[18]等对盐碱胁迫的研究认为,盐碱胁迫下,植物株高、叶片数、茎长等均有所下降。本试验中改良初期株高生长量下降,改良后胁迫减轻,后期植株生长量升高,表明改良剂具有逐渐缓解盐碱胁迫的效应。这与李学孚等的研究结果一致[19]。

表 2 主成分列表及方差贡献率

Table 2 List of principle components, percentage of variance, cumulative percentage

主成分 Component	特征根 Eigenvalue	方差贡献率/% Percentage of Variance	累积方差贡献率/% Cumulative percentage
1	10.299	68.657	68.657
2	1.936	12.905	81.563
3	1.259	8.392	89.955

表 3 因子负荷矩阵和得分系数矩阵

Table 3 Component matrix and score coefficient matrix

项目 Item	因子载荷 1 Factor loading 1	得分系数 1 Score coefficient 1	因子载荷 2 Factor loading 2	得分系数 2 Score coefficient 2	因子载荷 3 Factor loading 3	得分系数 3 Score coefficient 3
株高生长量 Plant height increment	0.968	0.094	0.061	0.031	0.057	0.045
净光合速率 Net photosynthetic rate	0.904	0.088	0093	0.048	−0.125	−0.099
蒸腾速率 Transpiration rate	0.837	0.081	−0.471	−0.243	0.116	0.092
胞间 CO_2浓度 Intercellular CO_2 concentration	0.218	0.021	0.875	0.452	−0.263	−0.209
气孔导度 Stomatal conductance	0.821	0.080	−0.509	−0.263	−0.138	−0.109
Fv/Fm	0.813	0.079	0.125	0.065	−0.529	−0.420
Fv/Fo	0.778	0.076	0.232	0.120	−0.459	−0.364
qN	−0.580	−0.056	0.488	0.252	0.220	0.174
qP	0.811	0.079	0.063	0.033	−0.294	−0.233
SOD	0.909	0.088	0.248	0.128	0.320	0.254
POD	0.867	0.084	0.283	0.146	0.363	0.288
CAT	0.924	0.090	0.258	0.133	0.255	0.203
Pro	0.938	0.091	−0.302	−0.156	0.104	0.083
REC	0.886	0.086	−0.179	−0.092	−0.054	−0.043
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.874	0.085	0.182	0.094	0.448	0.356

表 4 不同改良剂改良效果综合分析

Table 4 Comprehensive analysis of effect of different ameliorants

处理 Treatment	F1 Score of PC1	F2 Score of PC2	F3 Score of PC3	F 综合 General score	排序 Order
CK2	−1.931	−0.844	−0.813	−1.503	6
GG	0.199	0.621	−0.198	0.200	3
DG	0.130	−0.058	0.513	0.125	4
PS	−0.437	0.274	1.722	−0.120	5
CS	0.131	1.761	−0.958	0.237	2
FS	0.645	−0.578	0.612	0.419	1

Pn 是光合系统功能的直接体现,也是植株光合系统正常与否的重要指标[20]。盐胁迫导致植物叶片 *Pn* 降低的主要因素有气孔限制和非气孔限制两类。若 *Pn* 的降低伴随着 *Ci* 的提高,则光合作用的主要限制因素是非气孔因素;若 *Ci* 和 *Gs* 同时下降,则主要限制因子为气孔因素[20]。王素平[21]等认为,盐胁迫下,黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)叶片光合

速率的下降,短期盐胁迫以气孔限制因素为主,随着胁迫时间延长逐渐转为以非气孔因素为主。气孔导度的大小与植物的光合速率密切相关。在大多数情况下,气孔导度的下降会造成 CO_2 供应受阻进而造成光合速率的下降[22]。J. Y. Yang[17]等对苜蓿的研究表明,净光合速率、气孔导度和细胞间 CO_2 浓度随着盐度和 pH 值的增加而降低。本试验结果表明 ,*Pn*、*Tr* 和 *Gs* 均随着胁迫时间的推移而逐渐降低,*Ci* 先增大后降低,所以试验前期为非气孔因素,后期为气孔因素。这与房玉林对 8804 品系葡萄盐胁迫的研究结果一致,即随胁迫加剧,葡萄光合的影响逐渐从非气孔限制转变为气孔限制[23]。

叶绿体在正常情况下吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光和热耗散三种途径来消耗,这三种途径间存在着此消彼长的关系[24]。在葡萄逆境方面的研究中,郑秋玲认为,高温胁迫主要伤害类囊体上的光化学反应中心,使得光系统 PSⅡ功能下降甚至完全丧失[25]。范苓研究表明,高温胁迫能够显著降低葡萄光适应 PSⅡ最大光化学效率、光合电子传递量子效率 PSⅡ和光化学猝灭系数 *qP*,并使非光化学猝灭系数 *qN* 升高[22]。光合速率下降,必然会影响植物对光能的吸收、传递和转化,最主要的表现是光化学活性下降[26]。本研究结果表明,各处理的潜在光化学活性 *Fv/Fo*、最大光化学效率 *Fv/Fm* 和光化学猝灭系数 *qP* 均下降,说明葡萄叶片发生了光抑制,盐碱胁迫会改变葡萄叶片 PSⅡ的激发能分配方式,通过提高热耗散消耗过多激发能来适应盐碱胁迫环境。

植株体内形成了一套活性氧的清除体系,可以清除植物体内产生的活性氧,如 O_2^-、·OH 和 H_2O_2,胁迫下植株体内活性氧的产生与清除平衡状态遭到破坏,活性氧会大量积累。SOD、POD 和 CAT 的活性可反应植物体内抗逆性的变化,活性越高,对盐碱胁迫适应性更强[27]。本试验中,两对照的 SOD 和 POD 呈上升趋势,其它处理的 SOD 和 POD 先增后减,整体呈下降趋势,抗氧化酶的活性降低,说明改良剂的施用减轻了盐碱胁迫对植物的伤害。而各处理的 CAT 呈上升趋势,可能是因为不同植物的抗氧化物酶有差异,这与乔枫等[28]研究一致,在高浓度胁迫下,抗氧化物酶虽处于上升趋势,但仍可清除体内的活性氧。

盐碱胁迫使土壤渗透势下降,植物根系吸收水分能力下降,而植物体通过增加渗透调节物质来平衡渗透势以缓解胁迫伤害,脯氨酸是植物应对胁迫时有效的渗透调节物质[29],脯氨酸含量越高意味着渗透调节能力越强,对逆境有更强的抵抗性[30]。雷成军等研究表明叶片中的游离脯氨酸含量随着胁迫浓度的增大而升高[31]。Butt, Madiha1[32]等对辣椒耐盐性的研究表明盐碱胁迫下,叶片施用 Pro 刺激茎和根的生长,可提高植物的干鲜重、光合速率和抗氧化酶活性,以此适应逆境胁迫。Gao Z W[33]等对盐碱胁迫的研究认为,燕麦的脯氨酸含量随着盐碱度的增加而增加。本试验中,改良剂处理的脯氨酸呈现先增大后降低的趋势,说明不同的改良剂均可以减少植物组织中的 Pro 含量,从而能提高植物的渗透调节能力,减轻胁迫伤害,其中 FS 处理的 Pro 降幅最大,改良作用最显著。结果与前人研究一致。在盐碱胁迫条件下,植物组织细胞的膜结构和功能易遭到破坏,导致细胞膜透性增大,增加了离子外渗,使得细胞外渗透液的电导值增大,因而可以通过测定外渗液电导值的大小来判断细胞膜的破坏程度,进而判断盐碱胁迫对植物的伤害大小[31]。本试验结果表明改良剂处理的 REC 在初期逐渐增大,改良后期逐渐降低,FS 处理的 REC 降到最低,与其它处理差异显著。说明各改良剂对盐碱胁迫下 REC 的稳定具有显著效果,且 FS 效果最佳。这与雷成军在‘红地球’葡萄‘贝达’嫁接苗上的研究结果一致[31]。

Mg^{2+} 是叶绿素合成的必需元素,盐碱胁迫使 Mg^{2+} 沉淀,叶绿素合成受阻[34];朱新广等认为盐胁迫使叶片叶绿素含量降低[35]。本试验结果表明,CK1 的叶绿素含量逐渐增加,CK2 逐渐降低,改良剂处理下叶绿素含量呈现先降低后升高的趋势,说明植物叶绿素含量在盐碱胁迫下降低,施加改良剂后,叶绿素含量开始上升,说明改良剂减轻了胁迫危害,植株功能逐渐恢复。

4　结　论

综上所述,各改良剂处理均可对葡萄叶片光合、生理产生显著影响,但不同改良剂在各个指标上的反映效果不同,通过主成分分析综合比较得出硫酸亚铁改良效果最佳。

参 考 文 献:

[1]　樊秀彩, 刘崇怀, 潘兴, 等. 水培条件下葡萄砧木对氯化钠的耐性鉴定[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 128-131.

[2]　邢庆振, 郁松林, 牛雅萍, 等. 盐胁迫对葡萄幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 96-100.

[3]　张振华, 严少华, 胡永红. 覆盖对滨海盐化土水盐运动和大麦产量影响的研究[J]. 土壤通报, 1996, 27(3): 136-138.

[4]　赵秋, 高贤彪, 宁晓光, 等. 适用于滨海盐碱土改良剂的应用

研究[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 107-111.

[5] 周建, 杨立峰, 郝峰鸽, 等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 136-142.

[6] 问雪丛. 盐、碱胁迫对虎尾草幼苗光合及糖代谢的影响[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.

[7] 周万海. 葡萄砧木耐盐性及砧-穗特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.

[8] Hatami E, Esna-ashari M, Javadi T. Effect of salinity on some gas exchange characteristics of grape(*Vitis vinifera*) cultivars[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2010, 12: 308-310.

[9] 黄立华, 梁正伟, 马红媛. 苏打盐碱胁迫对羊草光合, 蒸腾速率及水分利用效率的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 25-30.

[10] 晋学娟, 翟衡. 不同盐碱胁迫对红地球/贝达嫁接苗生长及光合作用的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012,(03): 8-11.

[11] 董彩霞, 赵世杰, 田纪春, 等. 不同浓度的硝酸盐对高蛋白小麦幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(1): 59-64.

[12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[14] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 161-162.

[15] 周薇. $Al_2(SO_4)_3$ 和有机肥对苏打盐碱地水田的改良效果及其对盐分运移的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.

[16] 张华新, 刘正祥, 刘秋芳. 盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2263-2271.

[17] J. Y. Yang, W. Zheng, Y. Tian, et al. Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of Medicago ruthenica seedlings[J]. Photosynthetica, 2011, 49(2):275-284.

[18] 刘倩, 高娅妮, 柳旭,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(16):1-13.

[19] 李学孚, 倪智敏, 吴月燕, 等. 盐胁迫对'鄞红'葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响[J].生态学报, 2015,35(13): 4436-4444.

[20] 苏冬梅, 廖飞勇. SO_2 对菊花光合色素含量和叶绿素荧光特性的影响[J].中南林学院学报, 2005, 25(6): 70-73.

[21] 王素平, 李娟, 郭世荣, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 0455-0461.

[22] 范苓, 段伟, 程杰山, 等. 水杨酸对高温胁迫下及恢复期间葡萄幼苗叶片光合机构 PSⅡ的影响[J].果树学报, 2009,26(5): 623-627.

[23] 房玉林, 惠竹梅, 高邦牢, 等. 盐胁迫下葡萄光合特性的研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 881-884.

[24] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1585-1593.

[25] 郑秋玲, 谭伟, 马宁, 等. 钙对高温下巨峰葡萄叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J].中国农业科学, 2010, 43(9): 1963-1968.

[26] 刘家尧, 衣艳军,张承德,等. 活体叶绿素荧光诱导动力学及其在植物抗生理研究中的应用[J].曲阜师范大学学报:自然科学版, 1997, 23(4): 80-83.

[27] Rangani J, Parida A K, Panda A, et al. Coordinated changes in antioxidative enzymes protect the photosynthetic machinery from salinity induced oxidative damage and confer salt tolerance in an extreme Halophyte salvdora persica L[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(537):1-18.

[28] 乔枫, 耿贵工.盐碱胁迫对沙棘种子萌发及幼苗抗氧化酶活性的影响[J].东北林业大学学报, 2012,40(2):17-19.

[29] Song J, Feng G, Tian C.Y, et al. Osmotic adjustment traits of Suaeda physophora, Haloxylon ammodendron and Haloxylon persicum in field or controlled conditions[J]. Plant Science, 2006, 170(1):113-119.

[30] Yang C W, Shi D C, Wang D L. Comparative effects of salt stress and alkali stress on growth, osmotic Adjustment and ionic balance of an alkali-resistant *halophyte Suaeda glauca* (Bge.)[J]. Plant Growth Regul, 2008, 56(2):179-190.

[31] 雷成军, 朱建兰, 常永义. NaCl, Na_2CO_3 胁迫对'红地球'葡萄'贝达'嫁接苗生长及生理指标的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(5): 50-55.

[32] Butt, Madiha1, Ayyub, C. M.1, Amjad, M.1, et al. Proline application enhances growth of chilli by improving physiological and biochemical attributes under salt stress [J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2016, 53(1):43-49.

[33] Gao Z W, Han J Y, Mu C S, et al. Effects of saline and alkaline stresses on growth and physiological changes in oat (*Avena satival.*) seedlings[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2014, 42(2):357-362.

[34] Lu N W, Duan B L, Li C Y. Physiological responses to drought and enhanced UV-B radiation in two contrasting[J]. Picea asperata populations, 2007, 37(7):1253-1262.

[35] 朱新广, 张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 332-338.