

土壤盐胁迫对葡萄光合作用特性的影响

马 帅, 冯金朝, 李熙盟, 关 越, 李征珍, 彭 羽

(中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081)

摘 要:在大田试验正常条件下,使用低盐(L, 0.1 mol/L)、中盐(M, 0.3 mol/L)和高盐(H, 0.5 mol/L)3个不同浓度的盐水对葡萄品种“摩尔多瓦”(‘Moldova’)进行灌溉,以清水灌溉设为对照(CK),测量了葡萄品种“摩尔多瓦”3 a 生叶片的气体交换特性、叶绿素荧光和相关生理指标(叶片水势)。结果表明:随着盐处理浓度的提高,植物净光合速率逐渐降低,高盐处理尤为明显。气体交换数据表明,净光合速率(Pn)的降低是由于非气孔因素降低造成的。试验表明,葡萄叶片的PSII光化学效率以及羧化效率(CE)均随着盐处理浓度的增加而降低,说明非气孔因素对葡萄光合效率的降低起决定性作用。通过对光响应和CO₂响应以及荧光数据的分析表明,Pn降低的主要影响因素是活化的Rubisco酶含量不足。

关键词:葡萄;‘摩尔多瓦’;盐胁迫;光合作用;非气孔因素

中图分类号:S 663.107⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)12-0004-05

盐胁迫是世界上最常见的制约作物生长和产量的因素之一^[1],事实上地球上1/4~1/3的可耕作土地都受

到了盐胁迫的影响。随着世界人口的增加,粮食压力迫使有些地区的人们使用盐水对作物进行灌溉,这种行为导致盐胁迫更加严峻。在我国西北地区,尤其是在宁夏省,土地盐渍化现象尤为严重。据2005年宁夏农业综合开发办公室的调查结果,宁夏灌区盐渍化耕地面积达14.8万hm²,占灌区耕地总面积的33.5%^[2-4]。这使得向土壤盐渍地区引入一些适合种植的经济作物变得尤为必要。

第一作者简介:马帅(1986-),男,在读硕士,研究方向为植物生理生态学。E-mail: Mashuai512@163.com。

责任作者:冯金朝(1964-),男,博士,教授,现主要从事干旱和半干旱区植物生理生态学等的研究工作。E-mail: jchfeng@263.net。

基金项目:国家外专局-教育部“111工程”资助项目(2008-B08044)。

收稿日期:2012-03-15

[14] 胡颖敏,孙中华,朱亚萍,等.甜玉米蛋白质含量与农艺性状的通径分析[J].辽宁农业科学,2006(1):41-42.

[15] 赵刚,吴子恺,陈亮,等.玉米子粒性状和子粒赖氨酸含量的相关及通径分析[J].玉米科学,2011,19(1):70-73.

[16] 朱广廉,邓兴旺.植物体内游离脯氨酸的测定[J].植物生理学通讯,1983(2):35-37.

(该文作者还有刘政国,工作单位同第一作者。)

Regression and Path Analysis on Physiological and Biochemical Characteristics of the Thermo-sensitive Genic Male-sterile Tomato T-4

YU Fen-di¹, LIANG Cong-yao², DENG Liao-fen¹, WANG Xian-yu^{1,3}, GUO Ya-hui¹, DU Yong-cheng⁴, LIU Zheng-guo¹

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004; 2. Hezhou Agricultural Bureau, Hezhou, Guangxi 542808; 3. Guilin Comprehensive Experimental Station of National Staple Vegetable Industrial Technology Systems, Guilin, Guangxi 541004; 4. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Taking T-4 and the control First as experimental material, Pollen germination percentage was calculated in anthesis and seeds per fruit was figured out also. Soluble sugar, starch, free proline and protein were tested, respectively. The aim was to research the relationships among the physiology and biochemistry characters. The results showed that the relationships among soluble sugar, starch, free proline and protein were significantly different level. And the four indexes were related to seed per fruit and pollen germination percentage significantly, respectively. The direct path coefficients of free proline was higher to pollen germination and seeds per fruit, 0.8341 and 0.9889 respectively.

Key words: tomato; physiology and biochemistry; relationship; path analysis

宁夏有种植葡萄的传统,2010年葡萄种植面积达到2万 hm^2 ^[5]。相对于北方的果树如苹果、梨等,葡萄具有非常高的耐盐性^[6]。研究葡萄在盐渍胁迫状态下的生理生态指标以及光合作用,可以更为科学的帮助筛选适合当地环境的优良葡萄品种。

该试验通过盐水灌溉来模拟不同程度的盐胁迫,分析葡萄品种“摩尔多瓦”(‘Moldova’)在不同浓度盐水处理下气体交换特性、叶绿素荧光和叶片水势,初步了解葡萄在长期处理后对盐胁迫的响应。为在轻程度盐渍地上种植葡萄提供了理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

“摩尔多瓦”(‘Moldova’)葡萄品种是由摩尔多瓦共和国的 Juraveli M S 和 Gavrilov I P 等人育成的,杂交亲本为“古扎丽卡拉”(‘GuzaliKala’)×‘SV12375’。1997年我国从罗马尼亚引入,该品种高抗霜霉病、极丰产、晚熟、耐贮、外观漂亮,有良好的发展前景和市场潜力。引进的品种于2009年春栽植,露天栽培,苗木均为3a生实生苗;采用平棚架、V型架式,双行栽植,株距60cm,行距110cm,面积1 hm^2 。每行栽培50株,每个品种栽培4~10行不等,行向为南北方向。

1.2 试验地概况

该试验地具有昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥,风大沙多等特点。年平均气温8.5℃左右,年平均日照时数2800~3000h,是中国太阳辐射和日照时数最多的地区之一。年平均降水量200mm左右,无霜期185d左右。

1.3 试验方法

根据宁夏自治区银川贺兰县土地成分的组成,用固态NaCl配制成4种不同浓度的盐溶液:模拟重度盐胁迫(H,0.5mol/L)、中度盐胁迫(M,0.3mol/L)、轻度盐胁迫(L,0.1mol/L)和对照组(CK,0mol/L)对葡萄样地进行灌溉处理。于2011年5月28日、6月27日和7月28日进行3次盐水灌溉试验,每次灌水量充足,以保证植物仅仅受到盐胁迫而非干旱和盐双重胁迫。每处理选3株,每株取3个典型的叶片在8月5日开始进行各指标的测量,试验时间约为1周。

1.4 项目测定

1.4.1 日常状况下光合指标的测量 选择晴朗天气,参照 Sheng M 等^[7]的方法于当天10:00进行1次测量,取瞬时的光合数据。光合测量的参数包括:净光合速率(Pn),气孔导度(Gs),胞间 CO_2 浓度(Ci),蒸腾速率(E)。测量环境因子包括:光合有效辐射(PAR),大气 CO_2 浓度(Ca),温度(Ta),空气相对湿度(RH)。每个处理选3株,每株取3个典型的叶片进行测量。

1.4.2 光响应的测量 使用 LICOR-6400 自带的红蓝

光源叶室(6400-02B LEB Light Source)在不同的光量子光通量密度下(PPFD,1800、1600、1400、1200、1000、800、600、400、200、100、50、0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测定植物的净光合速率。每一点待稳定2~3min后记录3~5个数。

1.4.3 二氧化碳响应的测量 使用 LICOR-6400 自带的红蓝光源叶室(6400-02B LEB Light Source)和外置 CO_2 注入系统(6400-01 CO_2 Mixer),在不同 CO_2 浓度下(1800、1600、1400、1200、1000、800、600、400、200、100、50、0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下测定植物的净光合速率,测定时叶室内光强设定为1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每一点待稳定2~3min后记录3~5个数。

1.4.4 叶绿素荧光的测量 荧光日变化数据的采集与光合日变化采集当天凌晨3:00进行。使用便携式荧光仪(PAM-2100)测量叶片的 F_v/F_m 。于上午10:00与光合同步测量葡萄的电子传递效率(ETR)。

1.4.5 叶片水势的测量 水势日变化数据的采集与荧光采集同步进行。于清晨3:00进行测量,每个处理取3株,3次重复。具体方法是,每一时间点采集的植物叶片在冰冻条件下带回室内,使用 WP-4 型露点水势仪进行叶片水势的测定。

1.5 数据处理

所有测量指标,包括气体交换特性、叶绿素荧光和叶片水势的测量均至少重复3次,数据呈现方式为均值(Mean)±标准误(SE),使用的数据分析软件为 SPSS 17.0。作图使用 Excel 2003。光响应和二氧化碳响应参数采用光合助手(Photosynthesis assistant)进行拟合。

2 结果与分析

2.1 盐分处理对葡萄的气体交换特性及水分利用效率的影响

由图1可知,盐分处理对葡萄净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)具有比较明显的影响。Pn、Gs和Tr均随着盐分处理浓度的增加而减小,Ci则增大。相对于对照组CK,处理L、M、H的Pn值分别降低了7.63%、15.25%和22.57%;Gs值分别降低了3.85%、7.69%和26.92%;Tr降低了7.42%、15.79%和24.02%。Ci值增大了2.58%、5.60%和9.05%,但不是很明显。水分利用效率(WUE)则无显著差异。

2.2 盐分处理对葡萄光合作用-光响应和二氧化碳响应的影响

由表1可知,随着盐处理浓度的增加,葡萄的光合潜力随着盐处理浓度的增加而降低。相对于处理CK,L、M、H分别降低了12.38%、18.93%和28.76%。处理CK、L、M的表观量子效率(AQY)并无显著的变化,而处理H的AQY明显降低($P<0.05$),4个处理光补偿点

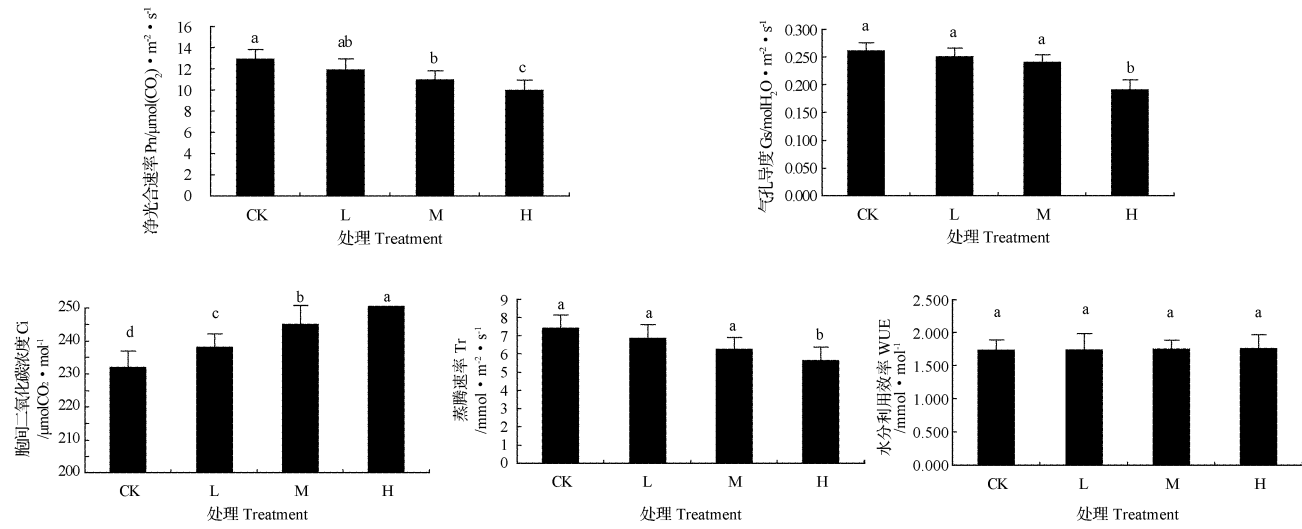


图 1 盐分对葡萄叶片气体交换特性及水分利用效率的影响

Fig. 1 Effects of salt on the gas exchange characteristics and water use efficiency of 'Moldova'

表 1 盐胁迫下“摩尔多瓦”光响应和 CO₂ 响应曲线的特征参数

Table 1 Parameters of the photosynthesis light response curve and A-Ci curve characteristics of 'Moldova' grape under the stress of salinity

处理 Treatment	最大净光合速率 P _{nmax} /μmol(CO ₂)·m ⁻² ·s ⁻¹	羧化效率 CE /μmol(CO ₂)·m ⁻² ·s ⁻¹	CO ₂ 饱和阶段光合速率 P _{ncap} /μmol(CO ₂)·m ⁻² ·s ⁻¹	表观量子效率 AQY /μmol(CO ₂)·μmol ⁻¹	光补偿点 LCP /μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	光饱和点 LSP /μmol·m ⁻² ·s ⁻¹
CK	27.466±1.618a	0.085±0.007a	31.2±1.20a	0.070±0.002a	28.133±0.578a	421.000±25.632a
L	24.066±2.643b	0.082±0.030a	32.5±0.97a	0.070±0.003a	28.833±2.242a	370.667±28.322b
M	22.266±2.351c	0.079±0.026b	31.6±1.11a	0.070±0.005a	29.233±4.139a	341.333±49.022c
H	19.566±1.267d	0.071±0.013c	31.2±0.88a	0.065±0.007b	29.167±1.852a	345.667±59.286c

注: 同列不同字母表示不同处理间具有显著性差异(P<0.05)。
Note: Values followed by a different letter within a column are significantly different at the 0.05 level.

(LCP)均无显著差异。从光饱和点(LSP)来看,随着盐处理的增加呈降低的趋势,处理 L、M、H 相对于 CK 分别降低了 11.95%、18.92%、17.89%。羧化效率(CE)主要反映活化的 Rubisco 羧化酶,也就是核酮糖二磷酸羧化酶(Ribulose diphosphatecarboxylase)的含量^[7]。光饱和点的光合速率与该酶的活性之间存在着良好的正相关关系。从 CE 来看,盐胁迫造成 Rubisco 羧化酶活性下降,与处理 CK 相比,处理 L、M、H 分别下降了 3.53%、

7.06%和 16.47%。
2.3 盐分处理对葡萄叶绿素荧光特征参数的影响
Fv/Fm 体现了植物 PSII 的最大光化学效率。结果发现盐胁迫并未对“摩尔多瓦”的最大光能转换效率造成显著影响。光合电子传递速率(ETR)主要是指植物 PSII 的电子传递速率,从 4 个处理结果来看无显著差异。

表 2 盐胁迫对“摩尔多瓦”叶片 F₀, F_m, F_v/F_m 的影响

Table 2 F₀, F_m, F_v/F_m of 'Moldova' under the stress of salinity

	最小荧光强度 F ₀	量子效率 F _v /F _m	光合电子传递速率 ETR	最大荧光强度 F _m
CK	0.107±0.001a	0.798±0.010a	92.288±5.123a	0.538±0.028a
L	0.099±0.008a	0.807±0.004a	90.850±4.338a	0.515±0.050a
M	0.106±0.001a	0.807±0.008a	90.666±5.210a	0.550±0.016a
H	0.107±0.001a	0.789±0.006a	91.120±6.022a	0.507±0.018a

注: 同列不同字母表示不同处理间具有显著性差异(P<0.05)。
Note: Values followed by a different letter within a column are significantly different at the 0.05 level.

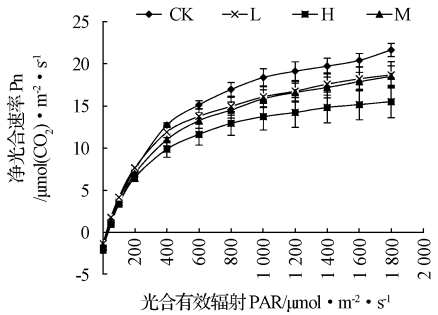


图 2 盐胁迫下“摩尔多瓦”净光合速率(Pn)对不同光合有效辐射(PAR)的响应

Fig. 2 Pn (Net photosynthetic rate) response to PAR (Photosynthetically active radiation) of 'Moldova' under the stress of salinity

2.4 盐分处理对植物叶片水势的影响
由图 3 可知,随着盐分处理浓度的增加,植物叶片水势显著降低(P<0.05),与对照组 CK 相比,处理 L、M、H 分别降低了 17.62%、31.33%和 35.94%。

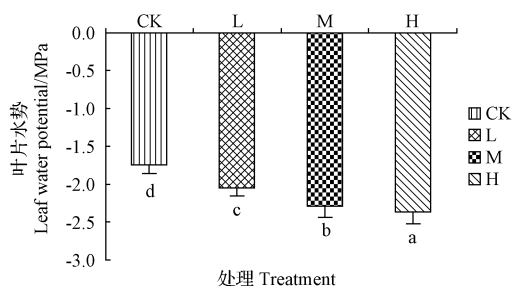


图3 盐胁迫对“摩尔多瓦”叶片水势的影响

Fig. 3 Water potential of 'Moldova' leaves under the stress of salinity

3 讨论与结论

众所周知,地球一切生命可利用的能量均来自太阳,这些能量能够进入到生态系统是通过光合作用实现的。光合作用是影响植物产量最为重要的因素^[8],因此世界范围内关于盐胁迫对植物光合作用的研究都非常广泛。人们在判断盐胁迫对植物光合作用的限制时,往往利用 Farquhar 等提出的光合作用气体交换模型来判断光合作用下降或升高是由于气孔因素还是非气孔因素。

气孔因素造成的原因主要是由于对土壤中施加盐分会导致土壤水势降低,而根据土壤-植物-大气的连续体的原理^[9],叶片水势也随之降低。一旦叶片水势降低到阈值水势以下,气孔就会迅速关闭^[10]。气孔关闭会导致植物难以摄取光合作用的主要原料之一 CO_2 ,继而导致 Pn 下降。这种现象在短时间轻微的水分胁迫和盐胁迫中经常出现。Farquhar 和 Sharkey(1982)给出了非常详尽的判断气孔因素限制的依据,即只有当 Pn 和 Ci 降低的同时气孔限制值(Ls)升高时,才可以得出光合速率降低主要是由气孔导度降低所引起的可靠结论。从图 3 可以看出,随着盐分处理浓度的上升,叶片水势随之下降。但是从图 1 看出,葡萄在早上 10:00 光合作用最旺盛的时刻,随着处理盐浓度的升高, Pn 、 Gs 下降而 Ci 上升,表明 Pn 的降低不是由于气孔关闭造成 CO_2 供应不足导致,即常说的气孔因素,而是由于非气孔因素—叶肉细胞光合活性降低所致。

非气孔因素成为限制 Pn 的现象常见于长期的盐胁迫,同气孔因素的主要区别体现在气孔因素限制了 CO_2 的摄取量,而非气孔因素主要体现在对植物叶片光合能力的限制。 Pn_{max} 反映了植物在光强适宜的条件下植物所能达到的最大净光合速率最大值,客观的反映了植物的光合潜力^[11]。从表 1 可看出,葡萄的 Pn_{max} 随着盐胁迫的加剧逐渐变小。表观量子效率(AQY)是光合作用中光能转化效率的指标之一。量子效率是指光合机构每吸收 1 个光子所固定的 CO_2 或释放的 O_2 的分子数,而排除各种干扰按照实际照射在叶片上的光子数来计算量子效率,得到的结果就是表观量子效率。光补偿点(LCP)是指植物吸收的 CO_2 和放出的 CO_2 数量等同时

的光照强度。AQY 和 LCP 是植物利用弱光能力的重要指标,AQY 越大、LCP 越小,表明了植物光合的作用对弱光的利用能力很强^[12]。可以看出 AQY 只有在高盐时降低,LCP 4 个处理均无显著性差异($P < 0.05$),表明盐胁迫对植物对弱光的利用能力影响不是很明显。光饱和点(LSP)是植物利用强光能力的重要指标,LSP 越高说明植物不易在强光下产生光抑制。从表 1 可以看出,盐胁迫明显降低了植物的光饱和点。所以可以得到这样的结论,即 Pn_{max} 的降低主要是由于 LSP 降低引起的,即植物对强光的利用能力降低导致的,而不是植物对弱光利用能力导致的。在低光情况下制约 Pn 的主要原因是同化力即 ATP 和 NADPH 的供应不足^[13],而 AQY 无影响表明同化力并不是影响 Pn 的要素,而光 LSP 的显著变化是造成 Pn 的显著变化的关键原因。A-Ci 曲线在反映的是光强不是限制因子的情况下(此时设定的光强已经达到饱和点), CO_2 浓度对植物光合作用的影响,从这里可以得到 Pn_{max} 下降的原因。

Farquhar 于 1980 年提出光合作用生化模型。他认为在 A-Ci 曲线中植物光合速率被 2 个重要的因素所制约。当空气中 CO_2 浓度不足,即 Ci 处于较低的水平时($400 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 以下), Pn 主要是由于 Rubisco 酶的含量和活性制约,因为这种状况下通常被认为 RUBP 再生速率饱和而 Rubisco 酶含量结合位点不足。随着 Ci 浓度的升高,制约 Pn 的因素变为 RUBP 的再生速率的影响。羧化效率(CE)主要反映活化的 Rubisco 羧化酶,也就是核酮糖二磷酸羧化酶(Ribulose diphosphatecarboxylase)的含量。光饱和点的光合速率与该酶的活性之间存在良好的正相关关系。从表 1 来看,CE 随着盐分处理浓度的升高大幅下降,反映了 Rubisco 羧化酶活性随盐浓度升高而下降,与诸多文献的结果相符合^[14],这可能是由于盐胁迫造成的暗反应功能严重受损有关。由此可以确定 Pn_{max} 降低的原因是活化的 Rubisco 酶含量导致。

从表 2 来看,植物光合电子传递速率(ETR)无显著差异。ETR 是光合机构吸收光能发生电荷分离,产生电子并沿电子传递链向下传递的速率,RUBP 再生速率主要就是受到电子传递速率的影响,在 CO_2 供应极为充足时,植物的碳同化受到 RuBP 的再生速率的限制,而 RuBP 再生与光合电子传递速率直接关联。当 CO_2 处于饱和阶段时, CO_2 受体 RuBP 的再生速率则成为影响光合作用的主要因素^[15]。由于 RuBP 再生取决于同化力即 ATP 和 NADPH 的形成,而同化力的形成又取决于光合电子传递以及与光合电子传递偶联的光合磷酸化,所以说 RUBP 再生速率的限制在一定程度上反映了光合电子传递和光合磷酸化这 2 个光合作用重要过程的状况。 Pn_{cap} 为 CO_2 饱和阶段的光合速率,反映了光合电子传递和光合磷酸化活性,而 Pn_{cap} 和 ETR 都无显著差

异,如此可以推断:盐处理之所以没有影响 Pn_{cap} 是因为 RUBP 再生速率未受到盐处理的影响。

Fo 是指最小 (Minimal) 荧光强度。Fm 是指最大 (Maximum) 荧光, Fv 是指黑暗中最大可变 (Variable) 荧光强度, $Fv = Fm - Fo$ 。Fv/Fm 是指没有遭受环境胁迫并经过充分暗适应的植物叶片 PSII 最大的或者潜在的量子效率指标。PSII 光化学效率是研究植物胁迫非常常用的一个指标^[16]。关于盐胁迫对 PSII 活性的影响现在并没有统一的认识, Everard 认为盐胁迫会抑制 PSII 的功能^[17], Aro 的试验表明, 盐胁迫会促进 PSII 的功能^[18], 也有人认为没有多大影响^[19]。从该试验结果来看, 盐胁迫对葡萄转化光能造成显著的影响。

以上结果可以推断制约植物光合速率 Pn_{max} 的主要因素是活化的 Rubisco 的含量和活性而非影响 RUBP 再生速率。也就是说盐胁迫对植物暗反应步骤中至关重要的活化的 Rubisco 酶含量造成了影响。

综上所述, 高浓度的盐胁迫会造成葡萄 Pn_{max} 下降, 而对 Pn_{cap} 无影响。 Pn_{max} 下降的主要原因不是由于气孔因素, 而是由于暗反应中活化的 Rubisco 酶含量不足导致的。 Pn_{cap} 未发生显著变化的原因是 Pn_{cap} 的限制因素电子传递速率而非 Rubisco 酶含量, 电子传递速率未受到盐胁迫的影响。这个结果表明, 可以向盐胁迫的葡萄地中施加 CO_2 降低 Rubisco 酶的影响, 使光合的限制因子从活化的 Rubisco 酶含量变为 RUBP 再生速率来降低盐胁迫的影响, 从而提高葡萄的光合能力和产量^[20]。

参考文献

- [1] Jun S S, Choi H J, Lee H Y. Differential protection of photosynthetic capacity in trehalose and LEA protein-producing transgenic plants under abiotic stresses [J]. Journal of Plant Biology, 2008, 51(5): 327-336.
- [2] 董锋. 宁夏引黄灌区耕地土壤盐渍化调查与抗盐植物选育[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2006: 28-97.
- [3] 马琼, 张伟, 马玉兰. 宁夏引黄灌区土壤盐渍化状况分析[J]. 宁夏农林科技, 2005(5): 43-44.
- [4] 马玉兰, 陆克仁. 宁夏引黄灌区土壤盐渍化动态变化规律的研究与探讨[J]. 宁夏农林科技, 2005(4): 35-36.

- [5] 拉夏埃尔 W. 植物生理生态学[M]. 李博, 译. 北京: 科学出版社, 1982: 154-155.
- [6] 周万海, 王雅梅, 曹孜义, 等. 葡萄砧木耐盐性及砧穗特性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 223: 202-206.
- [7] Sheng M, Tang M, Chen H. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress [J]. Mycorrhiza, 2008, 18: 287-296.
- [8] 张中峰, 黄玉清, 莫凌, 等. 岩溶区 4 种石山植物光合作用的光响应[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 44-48.
- [9] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 130-135.
- [10] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [11] Walker. Automated measurement of leaf photosynthetic O_2 evolution as a function of photon flux density [M]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 1989, 323: 313-326.
- [12] 牛润民. 克瑞森光核葡萄在鲁西南地区的引种表现[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(8): 89.
- [13] 王连君, 王铭, 冯玉才. 盐碱胁迫对山葡萄光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2008(1): 41-43.
- [14] Putty-Reddy Sudhir, Denys Pogoryelov, László Kovács. The effects of salt stress on photosynthetic electron transport and thylakoid membrane proteins in the cyanobacterium *Spirulina platensis* [J]. Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2005, 38(4): 481-485.
- [15] Long S P, Bernacchi C J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis Procedures and sources of error [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54 (392): 2392-2401.
- [16] Liu N, Lin Z F, Guan L L. Light acclimation and HSO_3 damage on photosynthetic apparatus of three subtropical forest species [J]. Ecotoxicology, 2009, 18: 929-938.
- [17] Everard J D, Gucci R, Kann S C, et al. Gas exchange and carbon partitioning in the leaves of celery (*Aptium graveolens* L.) at various level of root zone salinity [J]. Plant Physiol, 1994, 106: 281-292.
- [18] Aro E M, Virgin I, Anderson B. Photoinhibition and D1 protein degradation in peas acclimated to different growth irradiance [J]. Plant Physiol, 1993, 103: 835-843.
- [19] 郭书奎, 赵可夫. NaCl 胁迫抑制玉米幼苗光合作用的可能机理[J]. 植物生理学报, 2001, 27(6): 461-466.
- [20] 武俊英, 刘景辉, 李倩. 盐胁迫对燕麦幼苗生长, K^+ 、 Na^+ 吸收和光合性能的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 100-105.

The Photosynthesis Characteristics of Grape Under the Stress of Soil Salinity

MA Shuai, FENG Jin-chao, LI Xi-meng, GUAN Yue, LI Zheng-zhen, PENG Yu

(College of Life and Environmental Science, The Minzu University of China, Beijing 100081)

Abstract: In normal conditions in the field, grapes 'Moldova' were treated with three different salinity stress; low-grade salinity stress, moderate salinity stress and severe salinity stress condition with water as contrast. Gas exchange and fluorescence characteristics and leaf water potential were observed with 3 years old grape 'Moldova'. The results showed that with the salinity concentration increased, net photosynthesis rate (Pn) decreased. Gas exchange data revealed that the non-stomatal factors led to the decrease of Pn because of the decrease of PSII photochemistry efficiency and carboxylation efficiency. The light response curve and A-Ci curve revealed that the insufficient amount of activated ribulose diphosphate carboxylase leads to the decrease of Pn .

Key words: grapes; 'Moldova'; salinity stress; photosynthesis; the non-stomatal factors