

# 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\*

杜远鹏 晋学娟 郭淑华 付晴晴 翟衡\*\*

(山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

**摘要** 以盆栽红地球/贝达葡萄为试材, 定量浇灌 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub>Cl 和 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 筛选导致葡萄叶片黄化的盐、碱离子, 研究不同盐碱类型胁迫对葡萄植株离子分布的影响. 结果表明: NaHCO<sub>3</sub> 对植株影响最大, 叶片在处理 14 d 时出现黄化症状, 而 NaCl 和 NH<sub>4</sub>Cl 处理 28 d 时出现黄化症状. NaHCO<sub>3</sub> 和 NaCl 处理均显著增加了植株各器官中 Na<sup>+</sup> 含量, NaHCO<sub>3</sub> 处理根中 Na<sup>+</sup> 含量是对照的 6.4 倍; 这两种盐处理均降低了除叶片外其他器官中的 K<sup>+</sup> 含量, NaHCO<sub>3</sub> 处理显著降低了各器官中 K/Na, 根中 K/Na 仅为 0.1, NaCl 处理降低了除茎外其他器官中 K/Na; 这两种盐处理还降低了 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup> 向地上部的运输. NH<sub>4</sub>Cl、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 处理降低了植株各器官中 K/Na, 以 NH<sub>4</sub>Cl 处理显著. 碱性盐 NaHCO<sub>3</sub> 对葡萄叶片黄化影响最大, 其次是中性盐 NaCl, 再次是 NH<sub>4</sub>Cl, 而 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 影响较小.

**关键词** 盐碱; 葡萄; 离子分布

**文章编号** 1001-9332(2015)06-1801-06 **中图分类号** S663.1 **文献标识码** A

**Effects of different salt and alkali stresses on ion distribution in Red globe/Beta grapevines.** DU Yuan-peng, JIN Xue-juan, GUO Shu-hua, FU Qing-qing, ZHAI Heng (College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(6): 1801-1806.

**Abstract:** The potted Red globe/Beta grapevines were selected to irrigated with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Hence, the ions which induced leaf etiolation were screened and the impacts of different salt and alkali on ion distribution in different organs of grapevines were investigated. It was found that NaHCO<sub>3</sub> exerted the greatest effects on grapevines, leaf etiolation at 14 days after treatment. By contrast, NaCl and NH<sub>4</sub>Cl treatments induced leaf etiolation at 28 days after treatment. The Na<sup>+</sup> content in all the detected organs were significantly increased under NaHCO<sub>3</sub> and NaCl treatment, and Na<sup>+</sup> content in root under NaHCO<sub>3</sub> treatment was 6.4 times as that in control root. NaHCO<sub>3</sub> and NaCl treatments significantly decreased K<sup>+</sup> content in the organs with the exception of leaf. NaHCO<sub>3</sub> treatment significantly decreased K/Na in different organs, which declined to 0.1 in root. By contrast, NaCl treatment significantly decreased K/Na in the detected organs with exception of stem. Besides, the transport of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> to aboveground organs was significantly decreased by NaHCO<sub>3</sub> and NaCl treatments. K/Na ratio in the detected organs were decreased under NH<sub>4</sub>Cl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> treatments, especially under NH<sub>4</sub>Cl treatment. Taken together, NaHCO<sub>3</sub> was the primary factor resulting in leaf etiolation, followed by NaCl and NH<sub>4</sub>Cl, while (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> produced impacts.

**Key words:** salt and alkali; grapevine; ion distribution.

我国是世界盐碱地大国, 盐碱土地面积约为

3600 万 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 主要分布于北方干旱、半干旱和半湿润地区, 其中新疆的盐碱地约占当地耕地面积的三分之一. 盐碱土是盐化土壤、盐土、碱化土壤、碱土的总称, 盐碱土特征之一是土壤溶液中 Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 及 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 浓度高, 尤其是 Na<sup>+</sup> 和

\* 国家现代葡萄产业技术体系建设专项 (CARS-30)、长江学者和创新团队发展计划项目 (IRT1155) 资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: hengz@sdau.edu.cn

2014-09-28 收稿, 2015-03-12 接受.

Cl<sup>-</sup> 含量高<sup>[2]</sup>. 随着葡萄产业重心西移, 新疆及河西走廊的葡萄种植面积不断扩大. 而该地区因为冬季寒冷普遍采用贝达砧木. 该砧木在生产中常出现缺铁黄化<sup>[3]</sup>, 严重影响葡萄产量, 其原因就在于贝达砧木对盐碱土壤敏感, 盐碱胁迫会造成植物体内离子失衡<sup>[4]</sup>, 导致养分亏缺和氧化胁迫等次生伤害. 但究竟是哪种盐、碱离子导致贝达砧木的嫁接苗缺铁黄化仍不清楚. 因此, 本研究以红地球/贝达葡萄为试材, 筛选导致葡萄黄化的盐、碱离子, 研究盐碱对葡萄植株离子吸收运输的伤害机制.

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

试验于 2011 年山东农业大学园艺试验站内进行. 将一年生红地球/贝达葡萄嫁接苗定植于直径 14 cm、高 25 cm 的塑料盆中, 花盆底部放置托盘, 基质采用河沙, 每隔 3 d 每盆浇 1 次 Hoagland 营养液 200 mL, 其他时间定期定量浇自来水. 定植 3 个月后, 选择粗细均一、长势一致的幼苗进行不同盐、碱组分胁迫处理.

#### 1.2 试验设计

试验设 5 个处理: T<sub>1</sub> (85 mmol · L<sup>-1</sup> NaCl)、T<sub>2</sub> (42.5 mmol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>)、T<sub>3</sub> (85 mmol · L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>)、T<sub>4</sub> (85 mmol · L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub> Cl)、T<sub>5</sub> (42.5 mmol · L<sup>-1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>), 并以去离子水为对照 (CK). 测定 NaHCO<sub>3</sub> 溶液 pH 为 8.48, 其他处理 pH 值在 6.8~7.2. 每处理 3 次重复, 每重复 4~5 株. 采用室外避雨栽培, 随机排列. 处理前, 以 1/2 各处理液浓度分别进行为期一周的预处理, 每天下午定时浇灌 300 mL. 处理时, 各处理定时浇灌 300 mL, 营养液正常供给, 在胁迫处理后第 2 天把渗到托盘中的处理液倒回盆中. 处理过程中观察叶片黄化症状, 并于胁迫后第 28 天完整取出各处理植株, 将植株各器官分为叶片、新梢、嫁接口、茎和根.

#### 1.3 测定项目与方法

准确称取 0.100 g 加入 HNO<sub>3</sub> : HClO<sub>4</sub> = 4 : 1 混合液 10 mL 浸泡过夜, 瓶口上放一小漏斗, 置于电炉上加热消煮直至消煮液呈无色或清亮后, 继续消煮 5~10 min. 溶液定容后, 用火焰光度计测定 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 含量, 用原子吸收分光光度计测定 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup> 含量.

#### 1.4 数据处理

采用 DPS 软件进行数据统计分析. 采用 LSD 法进行方差分析和差异显著性检验 (α = 0.05). 利用

Excel 2010 软件作图.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐碱类型对葡萄植株叶片叶绿素含量的影响

随盐碱处理时间的延长, 叶片叶绿素含量呈下降趋势, 各测定时期的 NaHCO<sub>3</sub> 处理叶绿素含量均下降显著, NaHCO<sub>3</sub>、NaCl 和 NH<sub>4</sub>Cl 处理葡萄叶片相继出现黄化症状 (图 1). 其中, NaHCO<sub>3</sub> 处理后第 14 天出现黄化症状, 至处理后的第 21 天黄化严重, 处理第 28 天时叶片开始脱落. NaCl 和 NH<sub>4</sub>Cl 处理葡萄叶片均在处理后的第 28 天开始出现黄化症状, 而 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 处理的葡萄叶片未出现黄化症状.

### 2.2 不同盐碱类型对葡萄植株 Na<sup>+</sup> 含量及分布的影响

各盐碱处理均不同程度地增加了植株各器官 Na<sup>+</sup> 含量, 以 NaHCO<sub>3</sub> 处理增加效果显著, 叶片、新梢、嫁接口、茎和根中的 Na<sup>+</sup> 含量分别是对照的 1.8、3.7、4.6、8.2 和 6.4 倍; 其次是 NaCl 处理, 显著增加了叶片和根中 Na<sup>+</sup> 含量, 分别是对照的 4.1 和 2.1 倍 (图 2); 其他盐碱处理增加了各器官的 Na<sup>+</sup> 含量, 但差异不显著.

NaHCO<sub>3</sub> 和 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 处理均降低了地上部各器官 Na<sup>+</sup> 与地下部的比值, NaCl 处理降低了新梢、嫁接口和茎中 Na<sup>+</sup> 含量与地下部的比值, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 处理降低了叶片、新梢和嫁接口中 Na<sup>+</sup> 含量与地下部的比值, NH<sub>4</sub>Cl 处理增加了地上部各器官 Na<sup>+</sup> 含量与地下部的比值.

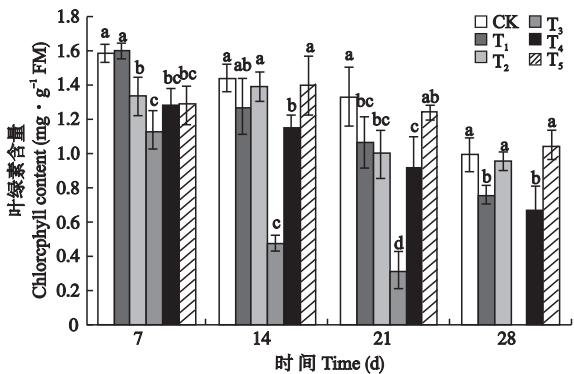


图 1 不同盐碱处理下植株叶片的叶绿素含量  
Fig.1 Chlorophyll content of grape leaves under different salt and alkali treatments.

CK: 对照 Control; T<sub>1</sub>: 85 mmol · L<sup>-1</sup> NaCl; T<sub>2</sub>: 42.5 mmol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; T<sub>3</sub>: 85 mmol · L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>; T<sub>4</sub>: 85 mmol · L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>Cl; T<sub>5</sub>: 42.5 mmol · L<sup>-1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. 不同小写字母表示处理间差异显著 (P < 0.05). Different small letters indicated significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

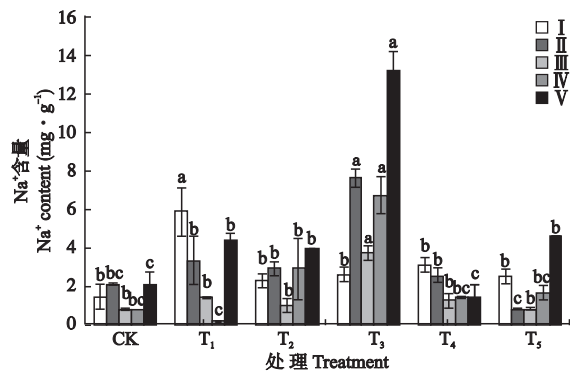


图2 不同盐碱处理下植株的Na<sup>+</sup>和K<sup>+</sup>分布  
Fig.2 Distribution of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in grape plants under different salt and alkali treatments.

I：叶 Leaf；II：新梢 New shoot；III：嫁接口 Graft union；IV：茎 Stem；V：根 Root。下同 The same below.

2.3 不同盐碱类型对葡萄植株K<sup>+</sup>分布及K/Na的影响

各盐碱胁迫下红地球/贝达植株K<sup>+</sup>分布趋势相似(图3),均为叶片>新梢>嫁接口>根>茎;各盐碱胁迫均降低了新梢、嫁接口及根中K<sup>+</sup>含量,新梢中以NaCl、NH<sub>4</sub>Cl和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>处理降低显著,分别比对照降低了45.9%、49.7%和63.1%;嫁接口中以Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NH<sub>4</sub>Cl和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>处理降低显著,分别比对照降低了31.4%、40.4%和35.5%。根中以Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>和NH<sub>4</sub>Cl处理降低显著,分别比对照降低了41.5%、51.9%和62.3%。

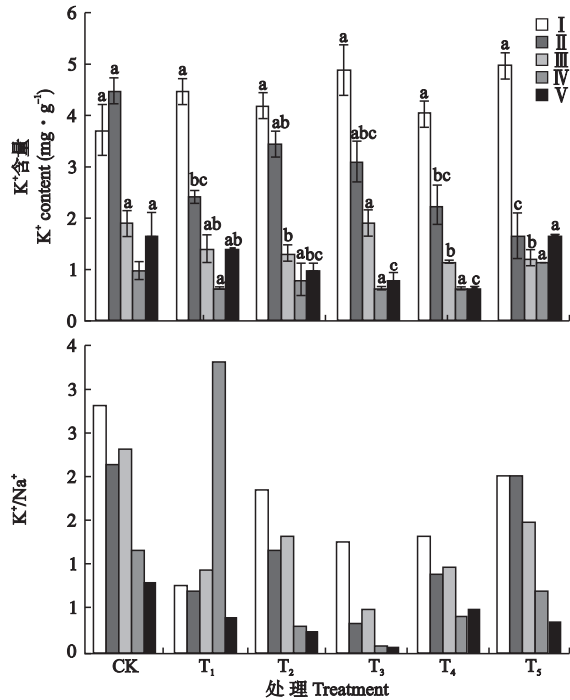


图3 不同盐碱处理下植株K<sup>+</sup>和K/Na的分布  
Fig.3 Distribution of K<sup>+</sup> and K/Na in grape plants under different salt and alkali treatments.

除NaCl胁迫增加了茎中K/Na外,各盐碱处理均降低了其他各器官中的K/Na(图3),并以NaHCO<sub>3</sub>处理降低显著,叶片、新梢、嫁接口、茎和根中的K/Na分别比对照降低了55.3%、84.2%、78.3%、92.0%和92.5%,根的K/Na仅为0.1;其次为NaCl和NH<sub>4</sub>Cl处理,分别使葡萄叶片、新梢、嫁接口和根中K/Na比对照降低了72.4%和66.8%、58.7%和51.0%、52.4%和58.1%、57.7%和38.0%。

2.4 不同盐碱类型对葡萄植株Ca<sup>2+</sup>分布的影响

不同盐碱处理对植株不同器官Ca<sup>2+</sup>含量影响不同(图4),NaHCO<sub>3</sub>和NaCl处理对植株各部位Ca<sup>2+</sup>含量影响不大,但降低了Ca<sup>2+</sup>在地上部器官和根系中的比值,并以NaHCO<sub>3</sub>处理降低显著,分别使叶、新梢、嫁接口和茎中Ca<sup>2+</sup>含量与根中的比值降低了32.2%、41.4%、10.4%和43.4%;而Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NH<sub>4</sub>Cl和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>处理不同程度增加了植株各器官中Ca<sup>2+</sup>

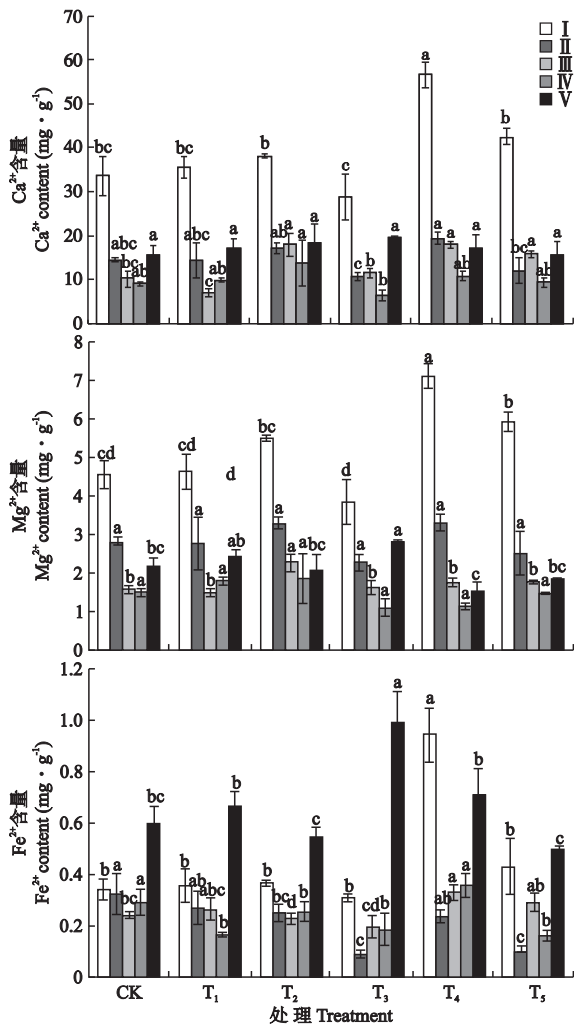


图4 不同盐碱处理下植株Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和Fe<sup>2+</sup>的分布  
Fig.4 Distributions of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> in grape plants under different salt and alkali treatments.

含量,并小幅提高了  $\text{Ca}^{2+}$  在地上部各器官与根中的比值.这表明  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理降低了根系吸收到的  $\text{Ca}^{2+}$  向地上部的运输.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理能小幅提高植株各器官中  $\text{Ca}^{2+}$  含量,并小幅提高根系吸收到的  $\text{Ca}^{2+}$  向地上部的运输.

## 2.5 不同盐碱类型对葡萄植株 $\text{Mg}^{2+}$ 分布的影响

$\text{NaHCO}_3$  胁迫处理降低了叶片、新梢和茎中  $\text{Mg}^{2+}$  含量,与对照差异不显著,但显著提高了根系的  $\text{Mg}^{2+}$  含量,比对照增加了 30.9%;其他处理均不同程度增加了植株各器官  $\text{Mg}^{2+}$  含量,  $\text{NaCl}$  胁迫下各器官  $\text{Mg}^{2+}$  含量分布与对照相同,为叶片>新梢>根>嫁接口和茎,根和茎中  $\text{Mg}^{2+}$  含量高于对照(图4).  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理促进了地上部  $\text{Mg}^{2+}$  含量升高,其中,叶片及新梢  $\text{Mg}^{2+}$  含量分别高出对照 20.6%和 16.7%.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理促进了叶片中  $\text{Mg}^{2+}$  含量升高,分别比对照增加 56.0%、29.7%.

$\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理均降低了  $\text{Mg}^{2+}$  在地上部器官和根中的比值,并以  $\text{NaHCO}_3$  处理降低显著,叶、新梢、嫁接口和茎中  $\text{Mg}^{2+}$  含量与根中的比值降低了 35.9%、38.1%、20.6%和 43.7%.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理均小幅提高了  $\text{Mg}^{2+}$  在地上部各器官与根系中的比值.这表明  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理虽然增加了根系吸收  $\text{Mg}^{2+}$  的能力,却降低了根系吸收到的  $\text{Mg}^{2+}$  向地上部的运输.

## 2.6 不同盐碱类型对葡萄植株 $\text{Fe}^{2+}$ 分布的影响

不同盐碱胁迫下红地球/贝达吸收  $\text{Fe}^{2+}$  的能力不同(图4),各处理均不同程度降低了新梢中  $\text{Fe}^{2+}$  含量,以  $\text{NaHCO}_3$  处理降低最多,比对照降低了 72.5%.其他各处理也使叶片、茎和嫁接口中  $\text{Fe}^{2+}$  含量有所降低.  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{NH}_4\text{Cl}$  均增加了根系中  $\text{Fe}^{2+}$  含量,分别增加 11.3%、65.8%和 19.2%.

$\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理均降低了  $\text{Fe}^{2+}$  在地上部器官和根中的比值,并以  $\text{NaHCO}_3$  处理降低显著,分别使叶、新梢、嫁接口和茎中  $\text{Fe}^{2+}$  含量与根中的比值降低了 45.7%、83.4%、50.6%和 61.4%.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理均小幅提高了  $\text{Fe}^{2+}$  在叶片和嫁接口与根中的比值.这表明  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理虽然增加了根系吸收  $\text{Fe}^{2+}$  的能力,却降低了根系吸收到的  $\text{Fe}^{2+}$  向地上部的运输.

## 3 讨论

有研究表明,欧亚种葡萄(*Vitis vinifera*)具有较强的抗盐碱能力,对石灰质的耐性比其他种群强,对

中性盐(如  $\text{NaCl}$ )及碱性盐(如  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$  等)的适应性普遍较高.这是因为其初始驯化栽培中心在黑海和里海之间的外高加索地区<sup>[5]</sup>,其土壤主要是灰钙土、灰褐土等石灰质土壤.而美洲种葡萄如河岸葡萄、沙地葡萄、美洲葡萄等都对石灰质敏感.目前,我国西北和东北地区广泛使用的抗寒砧木贝达,是由河岸葡萄、美洲葡萄和欧亚种葡萄三者杂交得到,在美国是一种制汁品种,在国内普遍当作抗寒砧木.生产上发现,贝达砧木在我国新疆、甘肃和宁夏等盐碱土地上出现黄化现象.新疆地区盐碱土地分为盐化土和碱化土,其中盐土面积约 956 万  $\text{hm}^2$ ,碱化土面积约 227 万  $\text{hm}^2$ <sup>[6]</sup>.究竟是何种盐、碱离子导致了葡萄叶片黄化还未有研究报道.

本研究中,阳离子均为  $\text{Na}^+$  时碱性盐的危害大于中性盐,表现为  $\text{NaHCO}_3$  处理的植株最早出现黄化症状.植物根系可以吸收  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  或铁的螯合物,但以  $\text{Fe}^{2+}$  为主要形式,土壤有效铁与 pH 值的相关系数为 -0.7353<sup>[7]</sup>,pH 值的升高不利于可溶性铁的形成,当 pH 值>7.5 时,铁的溶解度降低到 10~20  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[8]</sup>,每增加一个 pH 值单位,溶液中铁的含量则减少 1000 倍<sup>[9]</sup>,碱性盐胁迫下,可能因为 pH 值偏高而影响铁在植物体内的吸收和分配,从而造成植物缺铁失绿<sup>[10-11]</sup>.对小冰麦(*Medicago sativa* WL525)<sup>[12]</sup>、碱地肤(*Kochia scoparia* var. *sieversiana*)<sup>[13]</sup>和向日葵(*Kochia sieversiana*)<sup>[14]</sup>的研究表明,碱性盐的伤害明显大于由  $\text{NaCl}$  等中性盐带来的伤害.本研究发现,  $\text{NaHCO}_3$  处理降低了根系吸收到的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  向地上部的运输,地上部离子平衡遭到破坏,叶片的新陈代谢受到影响,导致营养亏缺并影响光合作用<sup>[15-19]</sup>.此外,  $\text{NaHCO}_3$  处理还显著增加了植株各器官中  $\text{Na}^+$  含量,过多的  $\text{Na}^+$  将导致代谢中酶形成没有活性的蛋白质结构,从而毒害植物<sup>[20]</sup>,显著降低了 K/Na,根的 K/Na 仅为 0.1,而细胞中 K/Na<1,说明细胞中离子平衡被破坏<sup>[21-23]</sup>.这表明碱性盐显著减少了地上部铁含量,并显著增加植株各器官中  $\text{Na}^+$  含量,最终导致植株缺铁黄化和离子失衡.

阳离子均为  $\text{Na}^+$  的中性盐  $\text{NaCl}$  处理和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理相比,  $\text{NaCl}$  处理能够引起植株叶片黄化,而  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理对植株无显著表观影响,由此可以推测,阴离子中  $\text{Cl}^-$  对葡萄的为害更大.为进一步验证此观点,本研究增加了相同阴离子  $\text{Cl}^-$  的不同盐处理即  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,发现  $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $\text{NaCl}$  处理均使植株表现黄化症状,由此推测  $\text{Cl}^-$  也是引起植株黄化的因素



之一.为排除  $\text{NH}_4^+$  的作用,设计了  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理,因试验中发现  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  对植株没有显著伤害,所以排除了  $\text{SO}_4^{2-}$  的作用.试验中还发现  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  处理对植株也没有显著表观伤害.因此可以得出结论:  $\text{HCO}_3^-$  对葡萄的影响最大,其次为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$ .

中性盐  $\text{NaCl}$  和  $\text{NH}_4\text{Cl}$  导致叶片黄化的原因可能与  $\text{Na}^+$  毒害<sup>[24-25]</sup> 和植株离子平衡遭到破坏有关,  $\text{NaCl}$  处理显著增加了叶片和根中  $\text{Na}^+$  含量,降低了新梢、嫁接口及根中  $\text{K}^+$  含量,叶片、新梢、嫁接口中  $\text{K}/\text{Na}$  分别比对照降低了 72.4%、66.8% 和 58.7%,降低了根系吸收到的  $\text{Ca}^{2+}$  向地上部的运输,以及植株各器官中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Na}^+$  的比值.这与对唐古特白刺 (*Nitraria tangutorum*) 的研究结果<sup>[26]</sup> 一致.  $\text{NH}_4\text{Cl}$  处理也显著降低了植株各器官中  $\text{K}/\text{Na}$ . 综上,碱性盐  $\text{NaHCO}_3$  是引起贝达砧嫁接苗叶片黄化的主要因素,其次是中性盐  $\text{NaCl}$  和  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .  $\text{HCO}_3^-$  对葡萄影响最大,其次为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$ .

## 参考文献

- [1] Wang J-L (王佳丽), Huang X-J (黄贤金), Zhong T-Y (钟太洋), et al. Review on sustainable utilization of salt-affected land. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2011, **66**(5): 673-684 (in Chinese)
- [2] Yao R-J (姚荣江), Yang J-S (杨劲松), Liu G-M (刘广明). Characteristics and agro-biological management of saline-alkalized land in Northeast China. *Soils* (土壤), 2006, **38**(3): 256-262 (in Chinese)
- [3] Du Y-P (杜远鹏), Zhai H (翟衡), Wang Z-Y (王忠跃), et al. Recent Advances in phylloxera-resistant rootstock. *Sino-overseas Grapevine & Wine* (中外葡萄与葡萄酒), 2007(4): 24-28 (in Chinese)
- [4] Yang C-W (杨春武), Li C-Y (李长有), Zhang M-L (张美丽), et al. pH and ion balance in wheat-wheat grass under salt or alkali stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(5): 1000-1005 (in Chinese)
- [5] Jackson RS. Wine Science: Principles and Applications. 3rd Ed. New York: Academic Press, 2008
- [6] Zhu H-M (朱和明). Harness the saline-alkali soil in Xinjiang. *Journal of Shihezi University* (Natural Science) (石河子大学学报:自然科学版), 1999, **3** (suppl.): 78-82 (in Chinese)
- [7] Siddique M, Siddique MT, Ali S, et al. Macronutrient assessment in apple growing region of Punjab. *Soil & Environment*, 2009, **28**: 184-192
- [8] Lindsay WL, Schwab AP. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 1982, **5**: 821-840
- [9] Wallace A. High-precision iron as limiting factor in crop production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1994, **25**: 51-54
- [10] Peng YL, Gao ZW, Gao Y, et al. Eco-physiological characteristics of alfalfa seedlings in response to various mixed salt-alkaline stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, **50**: 29-39
- [11] Li J-F (李剑峰), Shi S-L (师尚礼), Zhang S-Q (张淑卿), et al. Effects of ferrous ion in an acid environment on early growth and physiology of *Medicago sativa* WL525. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2009, **18**(5): 10-17 (in Chinese)
- [12] Yang C-W (杨春武), Li C-Y (李长有), Zhang M-L (张美丽), et al. pH and ion balance in wheat-wheat-grass under salt- or alkali stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(5): 1000-1005
- [13] Yang C, Chong J, Li C, et al. Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions. *Plant and Soil*, 2007, **294**: 263-276
- [14] Yan H (颜宏), Zhao W (赵伟), Sheng Y-M (盛艳敏), et al. Effects of alkali-stress on *Aneurolepidium chinense* and *Helianthus annuus*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(8): 1497-1501
- [15] Carter CT, Grieve CM. Mineral nutrition, growth, and germination of *Antirrhinum majus* L. (Snapdragon) when produced under increasingly saline conditions. *Hort-Science*, 2008, **43**: 710-718
- [16] Yang M-S (杨敏生), Li Y-H (李艳华), Liang H-Y (梁海永), et al. Ion distribution and comparison in seedlings of white poplar clones under salt stress. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(2): 271-277 (in Chinese)
- [17] Wang S-P (王素平), Guo S-R (郭世荣), Zhou G-X (周国贤), et al. Ion distribution and comparison in seedlings of white poplar clones under salt stress. *Acta Ecologica Sinica* (西北植物学报), 2006, **26**(11): 2281-2288 (in Chinese)
- [18] Tian X-Y (田晓艳), Liu Y-J (刘延吉), Guo Y-C (郭迎春). Effect of salt stress on  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , proline, soluble sugar and protein of NHC. *Pratacultural Science* (草业科学), 2008, **25**(10): 34-38 (in Chinese)
- [19] Netondo GW, Onyango JC, Beck E. Sorghum and salinity. II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science*, 2004, **44**: 806-811 (in Chinese)
- [20] Yeo AR. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany*, 1998, **49**: 915-929
- [21] Walker DJ, Leigh RA, Miller AJ. Potassium homeostasis in vacuolated plant cells. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,

1996, **93**: 10510–10514

[22] Wang L-J (汪良驹), Ma K (马 凯), Jiang W-B (姜卫兵). Study on chlorine ion distribution in the plant of 5 deciduous fruit trees and their salt tolerance. *South China fruits* (中国南方果树), 1996, **25**(4): 34–38 (in Chinese)

[23] Zhu JK. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Cell Signaling and Gene Regulation*, 2003, **6**: 441–445

[24] Yang H-B (杨洪兵), Ding S-H (丁顺华), Qiu N-W (邱念伟), *et al.* Na<sup>+</sup> exclusion by roots and root-stem junctions of wheat cultivars with different salt tolerance. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* (植物生理与分子生物学学报), 2001, **27**(2): 179–185 (in Chinese)

[25] Renault S, Croser C, Franklin JA, *et al.* Effect of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx). *Plant and Soil*, 2001, **233**: 261–268

[26] Yang X-Y (杨秀艳), Zhang H-X (张华新), Zhang L (张 丽), *et al.* Effects of NaCl stress on growth and absorption, transportation and distribution of ions in *Nitraria tangutorum*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2013, **49**(9): 165–171 (in Chinese)

作者简介 杜远鹏,女,1982年生,副教授.主要从事葡萄逆境生理研究. E-mail: 001duzi@163.com

责任编辑 孙 菊

封面说明

封面照片由西南大学地理科学学院张伟博士提供.西溪国家湿地公园坐落于浙江省杭州市市区西部,距离杭州西湖 5 km,是罕见的城中次生湿地,也是中国第一个“国家湿地公园”和国家 5A 级旅游景区.

西溪国家湿地公园占地面积约 11.5 km<sup>2</sup>,分为东部湿地生态保护培育区、中部湿地生态旅游休闲区和西部湿地生态景观封育区.园区约 70%的面积为河港、池塘、湖漾、沼泽,整个园区 6 条河流纵横交汇,形成了独特的湿地景致,集生态湿地、城市湿地、文化湿地于一身,堪称中国湿地第一园.2009 年西溪国家湿地公园被列入国际重要湿地名录.