

NaCl 胁迫对两种扁桃幼苗根系 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量和超微结构的影响

侯江涛¹, 高启明², 克热木·伊力³

(1. 商丘学院 风景园林学院, 河南 商丘 476000; 2. 中国农业科学院 郑州果树研究所, 河南 郑州 450009;

3. 新疆农业大学 园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要:以石头扁桃和桃扁桃为材料, 采用盆栽方法, 研究了盐胁迫对 2 种扁桃幼苗根部 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 含量的影响和超微结构的变化, 以揭示其耐盐性差异机制。结果表明: NaCl 胁迫下, 2 种扁桃根部 Na^+ 、 Cl^- 含量均随 NaCl 浓度的升高和胁迫时间延长而增加, 桃扁桃根部 Na^+ 、 Cl^- 相对增长量大于石头扁桃; K^+ 含量均随盐浓度的增加而降低, 桃扁桃根中 K^+ 含量大于石头扁桃。2 种扁桃根中 Na^+/K^+ 随盐浓度的增加而升高, 在高盐浓度胁迫下, 桃扁桃根中 Na^+/K^+ 值较石头扁桃低。盐胁迫后, 2 种扁桃根细胞核膜不清晰, 细胞中均出现很多大的液泡, 根细胞导管中出现大量淀粉粒。扁桃根细胞中 Na^+ 、 Cl^- 含量明显增加, 根部细胞核膜发生解离, 导管扭曲严重, 说明离子毒害起到破坏作用, 但是没有发生明显的质壁分离, 不能明确表明渗透胁迫的同时发生。桃扁桃根部根组织维持较低的 Na^+/K^+ 值, 其受危害的程度小于石头扁桃, 表现出较强的抗盐能力。

关键词:扁桃; 盐胁迫; 离子分布; 超微结构

中图分类号: S 662.906⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2014)23-0001-05

扁桃(*Amygdalus communis* L.) 属蔷薇科桃属扁桃亚属植物, 又名巴旦杏, 为世界著名干果及木本油料树种^[1]。我国栽培扁桃主要分布在新疆南疆地区。目前新疆普遍存在的土壤盐碱化、土地沙漠化等恶劣环境, 对果实品质、产量和结果寿命影响较大, 严重制约着对当地扁桃自然资源的开发利用和国外优良品种的引进。盐胁迫下植物抗盐性研究多集中在对植物体内离子的吸收和分布^[2-4], 关于扁桃抗盐性研究主要集中在盐胁迫下扁桃砧木营养器官细胞结构的变化、生理指标的变化和营养器官离子的吸收等^[5-7]。盐胁迫对扁桃幼苗根系细胞超微结构和离子稳态的影响尚鲜见研究, 该试验采用盆栽方法, 研究了盐胁迫对扁桃幼苗根部 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 分布的影响和超微结构的变化, 探讨了盐胁迫下 2 种扁桃的耐盐机制, 为揭示离子运输与果树抗盐性的

关系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2010 年 10 月选用商丘学院风景园林学院实验田内成熟饱满的石头扁桃和桃扁桃进行播种, 2011 年 5 月选生长健壮、整齐一致、无病虫害的苗木, 定植于直径 21 cm、深 25 cm、盆底有排水孔并置托盘的花盆中, 盆土为山土, 总含盐量 0.002%。

1.2 试验方法

待供试苗木长到 20~30 片叶时进行盐处理。设置 NaCl 胁迫处理浓度分别为 75、150、300、350 mmol/L, 以清水(自来水)浇灌为对照, 每处理 6 次重复, 每盆浇 NaCl 溶液 1 L, 1 次完成, 每个盆底部放 1 个盘子, 间隔 2 h 后, 将渗出的溶液再倒入盆中, 放在日光温室里, 避免阴雨天造成盐分淋失。加盐前控制盆水几天, 以利于加盐后在干燥土壤中充分扩散。处理 10 d 和 20 d 后, 其中 350 mmol/L 在处理 12 d 时 2 种扁桃均出现干枯死亡, 取样测定只有 NaCl 处理浓度为 75、150、300 mmol/L 3 个处理。

第一作者简介:侯江涛(1980-), 女, 硕士, 讲师, 现主要从事园艺作物抗逆等研究工作。E-mail: 250647155@qq.com.

责任作者:克热木·伊力(1962-), 男, 维吾尔族, 新疆人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为果树栽培与生理。

基金项目:国家自然科学基金启动资助项目(C02021003)。

收稿日期:2014-10-08

1.3 项目测定

1.3.1 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+ 含量的测定 盐处理 20 d 后,采集幼苗根系,用去离子水冲洗干净,70℃烘至恒重,研磨成粉末放置于干燥器中备用。混匀的植物根系样品 2.0 g 放在开氏瓶中,加入体积比为 9:1 的 HNO_3 和 H_2SO_4 混合液 100 mL 和数滴 H_2O_2 进行消化,消化后过滤,滤液盛于 100 mL 容量瓶中,定容至 100 mL,稀释后即待测液。 K^+ 、 Na^+ 含量的测定采用火焰光度法,用 FP-640 型原子吸收光谱仪测定。 Cl^- 含量的测定采用硝酸银滴定法^[8]。吸取待测液 20 mL,加入 K_2CrO_4 指示剂 4 滴,用标准 AgNO_3 滴定至微红色不再消失为止,记下 AgNO_3 用量(V_1)。吸取 20 mL 蒸馏水加 4 滴 K_2CrO_4 指示剂,做空白滴定,记下 AgNO_3 用量(V_0),以消除滴定误差。 Cl^- 含量 = AgNO_3 标准溶液浓度 $\times (V_1 - V_0) \times 35.5$ / 吸取待测液相当的样品重。

1.3.2 超薄切片制片方法 盐处理 10 d 后,采集新生根并冲洗干净,迅速取 1 mm³ 根尖,用 2.5% 戊二醛固定,4℃条件过夜。室温下 0.1 mol/L 磷酸缓冲液漂洗 4~5 h。1% 饿酸进行后固定 2 h,0.1 mol/L 磷酸缓冲液 3~4 次,每次 15 min。乙醇系列脱水,丙酮过度,Epon812 包埋,LEICA VLTRACUTR 型切片机切片,醋酸铀—柠檬酸铅双染,用日立 H-600 透射电镜观察、拍照。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对供试苗木根中 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+ 含量的影响

2.1.1 对 Na^+ 含量的影响 植物在盐胁迫下,体内 Na^+ 含量会明显升高^[2-4],该试验中 2 种扁桃也表现出相同的变化规律。如图 1 所示,NaCl 胁迫处理下,石头扁桃和桃扁桃根中的 Na^+ 含量均随 NaCl 浓度的升高而增加。相同盐浓度下,桃扁桃根中 Na^+ 含量大于石头扁桃。在 NaCl 浓度为 300 mmol/L 时,达到最大值,石头

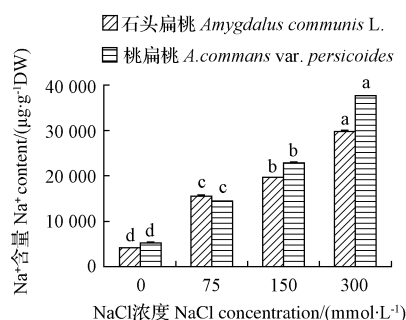


图 1 NaCl 胁迫对 2 种扁桃砧木幼苗根中 Na^+ 含量的影响

Fig. 1 Effect of NaCl stress on the content of Na^+ in roots of *Amygdalus communis* L. and *A. communis* var. *persicoides* seedling

扁桃根中 Na^+ 含量是对照的 6.94 倍,桃扁桃根中 Na^+ 含量是对照的 7.18 倍。这表明盐胁迫处理 20 d 后,桃扁桃根中 Na^+ 含量增加幅度较石头扁桃大,桃扁桃能在根中积累较多的 Na^+ ,减少了向地上部的运输,从而减轻了 NaCl 对地上部其它器官的伤害,这与克热木·伊力等^[5]的研究结果一致。

2.1.2 对 K^+ 含量的影响 K^+ 是植物细胞中最丰富的游离态离子,在维持渗透压、调节叶片和气孔运动以及细胞伸长等过程中起重要作用。如图 2 所示,2 种扁桃砧木幼苗根中 K^+ 含量均随盐浓度的增加而降低,相同浓度 NaCl 处理下,桃扁桃根中 K^+ 含量大于石头扁桃。 Na^+ 对 K^+ 的吸收有强烈的竞争作用,根部 Na^+ 含量增加,导致 K^+ 含量下降,表明盐胁迫下 Na^+ 的积累可抑制 K^+ 的进入。

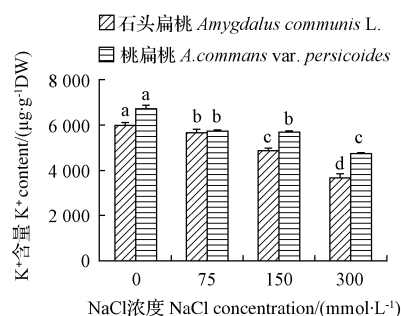


图 2 NaCl 胁迫对 2 种扁桃砧木幼苗根中 K^+ 含量的影响

Fig. 2 Effect of NaCl stress on the content of K^+ in roots of *Amygdalus communis* L. and *A. communis* var. *persicoides* seedling

2.1.3 对 Cl^- 含量的影响 如图 3 所示,2 种扁桃砧木幼苗根中 Cl^- 含量均随 NaCl 浓度的增加而增加。相同盐浓度下,桃扁桃根中 Cl^- 含量大于石头扁桃。石头扁桃根中最高 Cl^- 含量是对照的 2.17 倍,桃扁桃根中最高 Cl^- 含量是对照的 2.52 倍。表明盐胁迫处理 20 d 后,桃

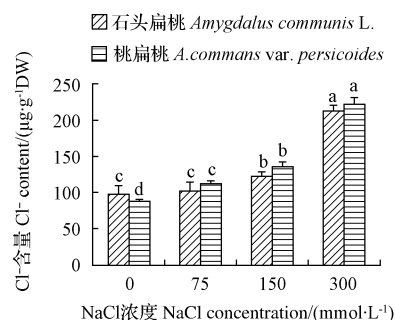


图 3 NaCl 胁迫对 2 种扁桃砧木幼苗根中 Cl^- 含量的影响

Fig. 3 Effect of NaCl stress on the content of Cl^- in roots of *Amygdalus communis* L. and *A. communis* var. *persicoides* seedling

扁桃根中 Cl^- 含量增加幅度较石头扁桃大,桃扁桃在根中积累了较多的 Cl^- ,减少了向地上部的运输,从而减轻了 NaCl 对地上部其它器官的伤害。

2.2 NaCl 胁迫对 2 种扁桃砧木幼苗根中 Na^+/K^+ 值的影响

在盐胁迫下,植物体内维持正常的 Na^+/K^+ 值是植物耐盐性的生理表现之一。由表 1 可知,2 种扁桃根中 Na^+/K^+ 值均随盐浓度的增加而升高。相同盐浓度下,石头扁桃根中 Na^+/K^+ 值高于桃扁桃。当 NaCl 浓度为 300 mmol/L 时,石头扁桃根中 Na^+/K^+ 值是对照的 11.38 倍,桃扁桃根中 Na^+/K^+ 值是对照的 10.14 倍。维持细胞质低 Na^+/K^+ 是植物抗盐的关键。在高盐浓度胁迫下,桃扁桃根中能维持较低 Na^+/K^+ 值,从而表现出有较强的抗盐性。

表 1 NaCl 胁迫对 2 种扁桃砧木幼苗根中 Na^+/K^+ 值的影响

NaCl 浓度 NaCl concentration /(mmol · L ⁻¹)	石头扁桃 <i>Amygdalus communis</i> L.	桃扁桃 <i>A. communis</i> var. <i>persicoides</i>
0	0.717±0.023 ^d	0.784±0.048 ^d
75	2.777±0.118 ^c	2.511±0.100 ^c
150	4.050±0.178 ^b	4.040±0.061 ^b
300	8.162±0.949 ^a	7.950±0.098 ^a

2.3 NaCl 胁迫 10 d 对供试苗木根细胞超微结构的影响

正常石头扁桃根细胞结构完整且规则,细胞壁生长正常,细胞核膜清晰可见,液泡较小且少(图 4-A),导管中维管束正常,存在少量淀粉粒(图 4-C)。150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d,细胞壁基本正常,根细胞中出现很多大的液泡,细胞核膜很不清晰,发生解离,细胞质膜局部发生内陷,形状不规则(图 4-B),导管形状出现扭曲,维管束不正常,严重影响水分的运输,细胞器降解严重,其中还出现大量的淀粉粒(图 4-D),淀粉粒在逆境环境中解体,可以提高细胞质浓度、渗透压及吸水力,同时淀粉解体时释放的能量可以维持细胞较强的活性。

正常桃扁桃根导管变化与石头扁桃相似,细胞壁生长正常,细胞核膜清晰可见(图 4-E),导管中维管束清晰可见,存在少量淀粉(图 4-G)。桃扁桃经 150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d,细胞中出现一些大液泡(图 4-F),液泡的增大有利于吸收破坏了的膜系统片断以及部分 Na^+ 、 Cl^- 和盐胁迫所诱导的细胞器解体释放出的蛋白酶和有毒物质,以减轻其对植物细胞结构及代谢途径的破坏作用。另外导管中淀粉粒数目增多,比较分散,排布规整,细胞核膜不清晰,导管扭曲严重,维管束不正常(图 4-H)。

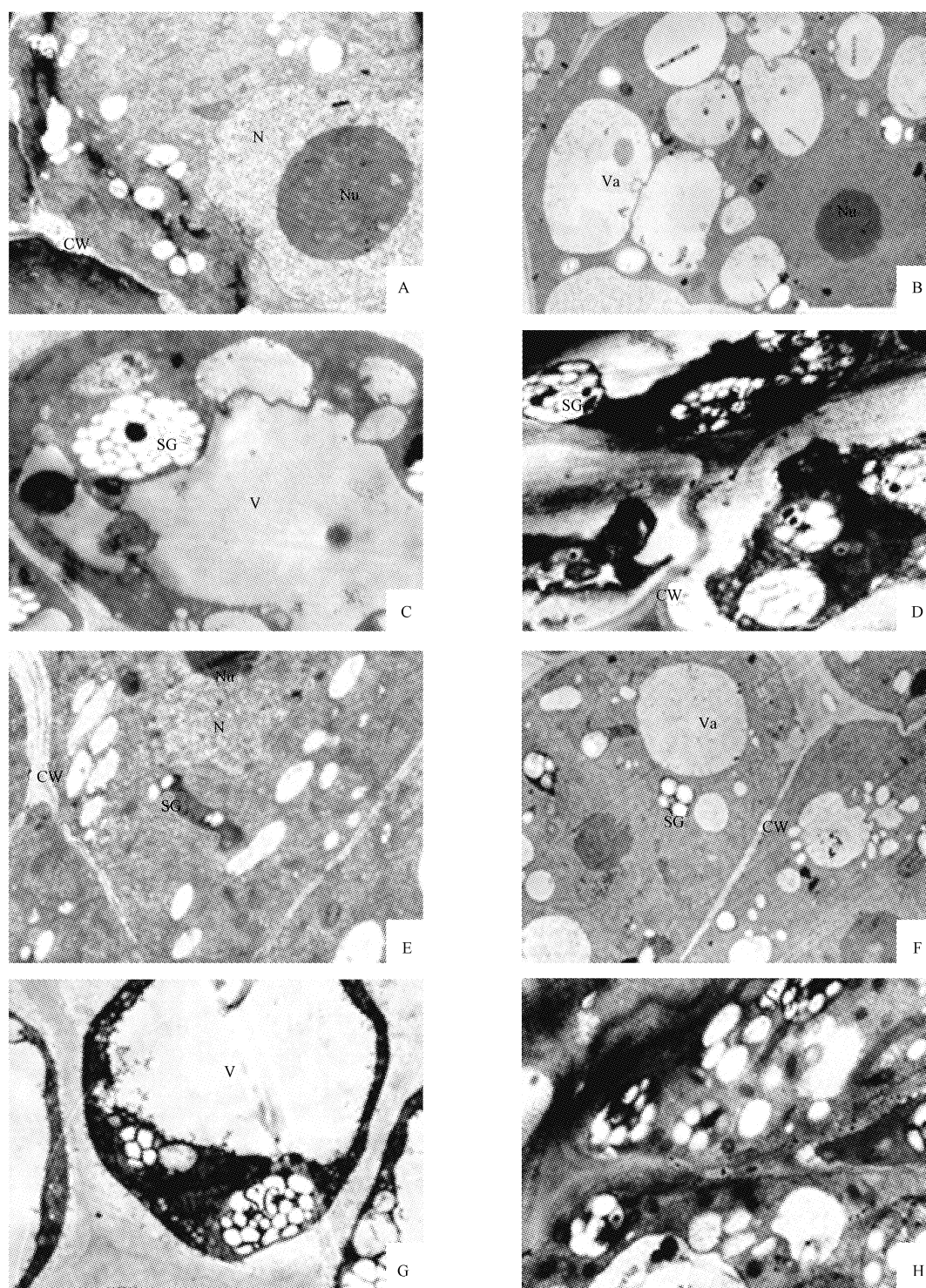
3 讨论与结论

盐胁迫对于植物的生长和发育十分不利^[9],土壤中过量的 Na^+ 、 Cl^- 由于与其它矿物质元素之间相互竞争,影响了生物膜对离子的选择性,从而影响了植物对矿物质元素的吸收^[5],改变了植物体的营养平衡^[10]。该试验中,NaCl 胁迫处理影响了石头扁桃和桃扁桃根中 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 的吸收、运输和分配。随着盐浓度的增加,2 种扁桃根中 Na^+ 和 Cl^- 含量不断增加,这与谭会娟等^[11]、刘建新等^[12]的研究结果一致。该试验结果表明,高浓度盐处理下,石头扁桃根中 Na^+ 和 Cl^- 含量低于桃扁桃,这说明桃扁桃可以把盐离子控制在根系范围内,阻止其向地上部运输,减轻了盐离子对地上部的危害,从而使桃扁桃具有较强的耐盐性,这与其茎叶细胞结构形变较轻一致^[7]。

植物体内维持较低的 Na^+/K^+ 值是机体正常活动必须的。因此,生产实践中常以地上部的 Na^+/K^+ 值来判断植物的耐盐性^[10],但不同部位的 Na^+/K^+ 值差异较大,因此,不能笼统地以地上部的 Na^+/K^+ 值为指标。该研究中,在高浓度 NaCl 胁迫下,石头扁桃根中 Na^+/K^+ 值明显高于桃扁桃,说明桃扁桃通过离子分配运输平衡首先保证根组织维持较低的 Na^+/K^+ 值,从而少受盐害。

关于盐胁迫对根细胞结构的变化研究很多,邱栋梁等^[13]研究发现,盐胁迫后根细胞中细胞核膜解体、细胞器降解、出现较大液泡、淀粉粒增多等。该试验发现,盐胁迫后,石头扁桃和桃扁桃根细胞核膜不清晰,细胞中均出现很多大的液泡。液泡的增大有利于吸收破坏了的膜系统片断以及部分 Na^+ 、 Cl^- 和盐胁迫所诱导的细胞器解体释放出的蛋白酶和有毒物质,以减轻它们对植物细胞结构及代谢途径的破坏作用。石头扁桃和桃扁桃根细胞导管中出现大量淀粉粒,淀粉粒在逆境环境中解体,可以提高细胞质浓度、渗透压及吸水力,同时淀粉解体时释放的能量可以维持细胞较强的活性,受到盐胁迫,导管中维管束发生变形,影响根系正常吸水,导致植物缺水死亡。

目前,盐胁迫的发生机理有 2 个方面:一是渗透胁迫,在盐胁迫下的植物细胞内渗透势大于细胞外渗透势,细胞失水导致植物缺水形成生理干旱;二是离子毒害作用,不同离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等)过量渗入细胞后,使原生质凝集,蛋白质合成受到抑制且水解作用加强,造成氨基酸积累。这些氨基酸又会转化为丁二胺、戊二胺等,达到一定浓度时,细胞就会中毒死亡。另一方面,这些离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等)的存在使得一些低浓度的矿物



注: CW: 细胞壁; N: 细胞核; Nu: 核仁; SG: 淀粉粒; V: 维管束; Va: 液泡。A~D: 石头扁桃根, A: 对照, $\times 8\,000$; B: 150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d, $\times 4\,000$; C: 对照, $\times 10\,000$; D: 150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d, $\times 8\,000$; E~H: 桃扁桃根, E: 对照, $\times 8\,000$; F: 150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d, $\times 4\,000$; G: 对照, $\times 6\,000$; H: 150 mmol/L NaCl 胁迫 10 d, $\times 8\,000$ 。

Note: CW: Cell wall; N: nucleus; Nu: nucleolus; SG: Starch grain; V: Vascular bundle; Va: Vacuole. A—D: Root of *Amygdalus communis* L.; A: CK $\times 8\,000$; B: Root under 150 mmol/L NaCl stress after 10 days treatment, $\times 4\,000$; C: CK $\times 10\,000$; D: Root under 150 mmol/L NaCl stress after 10 days treatment, $\times 8\,000$; E—H: Root of *A. communis* var. *persicoides*; E: CK $\times 8\,000$; F: Root under 150 mmol/L NaCl stress after 10 days treatment, $\times 4\,000$; G: CK $\times 6\,000$; H: Root under 150 mmol/L NaCl stress after 10 days treatment, $\times 8\,000$ 。

图 4 苗木根细胞超微结构

Fig. 4 Cell ultrastructure of seedling root

质营养元素供应不足,降低了呼吸作用的强度,因此植物生长受抑。该试验中,NaCl 浓度为 75 mmol/L 处理下,2 种扁桃根系中 Na^+ 、 Cl^- 含量明显增加,对扁桃生长造成一定影响,为扁桃开始胁迫的浓度,而 350 mmol/L 在处理 12 d 时 2 种扁桃均出现死亡;植物根细胞 Na^+ 、 Cl^- 含量明显增加,并在细胞中出现了较大的液泡和大量的淀粉粒,细胞核膜发生解离,导管扭曲严重,说明离子毒害起到破坏作用,但是没有发生明显的质壁分离,不能明确表明渗透胁迫同时发生。同样的盐胁迫,桃扁桃根部根组织维持较低的 Na^+/K^+ 值,其受危害的程度小于石头扁桃,表现出较强的抗盐能力。综合以上分析,NaCl 胁迫下,石头扁桃和桃扁桃的耐盐策略有所不同,桃扁桃是将盐离子优先积累在根系来抵抗盐害,通过平衡根部 Na^+ 、 K^+ 离子含量来维持较低的 Na^+/K^+ ,这是其耐盐性优于石头扁桃的主要原因。

参考文献

- [1] 李疆,胡芳名,李文胜,等.扁桃的栽培及研究概况[J].果树学报,2002,19(5):346-350.
- [2] 杨晓翠,李文建,曲颖,等.盐胁迫对油葵幼苗生长及离子吸收分布的影响[J].安徽农业科学,2011(17):233-236.
- [3] 武传兰,王长海,梁明祥,等.盐胁迫对不同品系杨树幼苗生长、细胞超微结构和离子稳态的影响[J].植物学报,2012(6):69-78.
- [4] 李晓宇,蔺吉祥,李秀军,等.羊草苗期对盐碱胁迫的生长适应及 Na^+ 、 K^+ 代谢响应[J].草业学报,2013(1):204-212.
- [5] 克热木·伊力,买合木提·卡热,侯江涛.盐胁迫对扁桃砧木营养器官离子吸收的影响[J].新疆农业大学学报,2007(4):49-54.
- [6] 克热木·伊力,侯江涛,买合木提,等.盐胁迫对扁桃光合特性和叶绿体超微结构的影响[J].西北植物学报,2006(11):30-36.
- [7] 克热木·伊力,侯江涛,买合木提,等.盐胁迫对 2 种扁桃植物苗期离子吸收及叶绿体超微结构的影响[J].新疆农业大学学报,2006,29(4):22-26.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999:192-196.
- [9] 谭会娟,李新荣,赵昕.红砂愈伤组织适应盐胁迫的渗透调节机制研究[J].中国沙漠,2011,31(5):1119-1123.
- [10] Ramon S,Alonso R N. Ion homeostasis during salt stress in plants[J]. Current Opinion in Cell Biology,2001(13):399-404.
- [11] 谭会娟,贾荣亮,刘玉冰,等. NaCl 胁迫下红砂愈伤组织中主要离子累积特征的研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1305-1310.
- [12] 刘建新,胡浩斌,赵国林. NaCl 胁迫对骆驼蓬幼苗液泡膜 H^+ -ATPase 和 H^+ -PPase 活性的影响[J].中国沙漠,2008,28(2):274-279.
- [13] 邱栋梁,林鹏.植物耐盐的分子机理研究进展[J].热带亚热带植物学报,2002(3):281-292.

Effect of Salt Stress on the Content of K^+ , Na^+ , Cl^- and Variations of Ultra Structures in Roots of Two Species of *Amygdalus communis* L.

HOU Jiang-tao¹, GAO Qi-ming², KARIM · Ali³

(1. College of Landscape Architecture, Shangqiu College, Shangqiu, Henan 476000; 2. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450009; 3. Department of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract: Taking *Amygdalus communis* L. and *A. communis* var. *persicoides* as test materials. The two species were grew in pots to study the effect of salt stress on content of K^+ , Na^+ , Cl^- and on variations of ultra structures in roots. The objective was to show the differences of salt tolerance between the two species. The results showed that, the content of Na^+ and Cl^- in roots of the two species were increased as the concentration of NaCl increased with time longer, and the growth of the content of Na^+ and Cl^- in roots of *Amygdalus communis* L. was higher than that of *A. communis* var. *persicoides*. As the concentration of NaCl increased, the content of K^+ in roots of the two species was decreased, the content of K^+ in *A. communis* var. *persicoides* was higher than that of *Amygdalus communis* L.. The ratio of Na^+ to K^+ in both two species were increased as the concentration of NaCl increased. The ratio of Na^+ to K^+ in roots was lower in *A. communis* var. *persicoides* than that in *Amygdalus communis* L. under salt stress. Under salt stress, the nuclear membrane in roots of two species was not clear, and many big vacuoles appeared in cells while many starch grains appeared in ducts of roots. The content of Na^+ and Cl^- in roots of the two species was increased, the nuclear membrane in roots of two species was not clear and catheter distorted seriously, which indicated ion breaking, but there was not noticeable plasmolysis and didn't clearly indicate osmotic stress. The ratio of Na^+ to K^+ was lower in root organizations of *A. communis* var. *persicoides* than that in *Amygdalus communis* L., which showed no serious damage and indicated strong salt-resistant ability.

Keywords: almond; salt stress; contributions of inorganic ions; ultrastructure