

研究报告 Original Papers

根系与叶片盐处理对枇杷幼苗生长及体内矿质元素分布的影响

卞阿娜^{1,2}, 林鸣², 王文卿^{2,*}¹闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建漳州363000; ²厦门大学环境与生态学院, 福建厦门361102

摘要: 在温室培养条件下, 分别用根系和叶片NaCl胁迫对甜土植物枇杷(*Eriobotrya japonica*)的幼苗进行处理, 研究两种盐胁迫方式对其生长、矿质元素(Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺、Cl⁻)和灰分含量在植物体各器官和叶片不同部位的影响。结果表明: 在叶片盐胁迫下枇杷幼苗的叶片病斑较多分布于叶尖、叶缘, 在根系盐胁迫下则较多分布于叶片中心区; 根系盐胁迫促进枇杷幼苗的灰分含量积累, 叶片盐胁迫则影响不大; 两种方式盐胁迫枇杷幼苗体内的Na⁺和Cl⁻含量都呈极显著的正相关性; 两种方式盐胁迫对枇杷幼苗的5种矿质元素含量影响相差不大, 但它们影响矿质元素在植物中的重新分布; 叶片盐胁迫对枇杷幼苗体内的离子毒害比根系盐胁迫的大。

关键词: 枇杷; 盐胁迫; 离子分布; 生长特性

Effects of Salt Treatment on Growth and Compartmental Allocation of Mineral Elements in *Eriobotrya japonica* Seedlings

BIAN A-Na^{1,2}, LIN Ming², WANG Wen-Qing^{2,*}¹College of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China; ²College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102, China

Abstract: Glycophyte *Eriobotrya japonica* seedlings were treated by NaCl in greenhouse through leaf surface spray and root system absorption, respectively, after which the growth rate, the amount of mineral elements and ash content in all plant organs and the different parts of the leaf were measured and compared. The results showed that the lesions mainly distributed at the leaf tip and leaf edge of *E. japonica* seedling leaves under leaf salt stress, and the lesions mostly located at the center of leaves under root salt stress. The accumulation of ash content increased under salt stress in the root, but which did not increase significantly in leaf. There was significant positive correlation between contents of Na⁺ and Cl⁻ after both salt stress pathways. The contents of mineral elements (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ and Cl⁻) in the seedlings varied little after both salt stress pathways, but their redistribution of mineral elements in the seedlings happened to change. The ion toxicity on *E. japonica* seedling was more serious under salt stress on leaf than that in root.

Key words: *Eriobotrya japonica*; salt stress; ion distribution; growth feature

枇杷(*Eriobotrya japonica*)是一种亚热带甜土植物, 有很高的观赏和经济价值, 在华南滨海区广泛栽培。华南滨海区由于生境异质性高, 降水量大, 季节分布不均匀, 导致土壤含盐量季节差别大; 由于受大风和海浪的动力作用, 形成无数含盐离子的水滴(包括盐风、盐雾或盐尘), 在风力和重力的作用下, 随远离海岸逐渐沉降于植物的枝叶和茎秆上, 造成生理脱水, 严重时引起枯萎渍死, 这一现象在海岸地区被称为海煞(林鹏2003)。土壤盐渍化和海煞对枇杷的生长发育及观赏价值有着不良影响, 成为一种重要的非生物限制因素(Tester和Davenport 2003)。因此, 深入了解盐胁迫对枇杷

的伤害影响对于提高其耐盐性以及其在盐渍环境中的产量具有重要意义。

大多数植物对盐胁迫是敏感的, 在盐渍环境中生长都受到抑制。通常认为, 种子萌发期间及幼苗生长早期对盐胁迫最敏感, 而其他发育阶段对盐胁迫相对不敏感(张凤银等2013)。盐害对植

收稿 2014-08-18 修定 2015-01-07

资助 林业科技支撑计划项目(2009BADA2B0605)、福建省科技重点项目(2013N01010365)、漳州市科技重点项目(ZZ2014036)和闽南师范大学创新团队(2013)。

* 通讯作者(E-mail: mangroves@xmu.edu.cn; Tel: 0592-2880288)。

物的伤害主要表现在离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡。近年来许多学者已从植物生理学(张华新等2009)、细胞分子生物学(曹华雯2010)、土壤学(张建锋等2005)、生态学(公维昌等2009)等不同学科,从植物整体、器官、组织和分子等不同层次研究了盐分对植物生长的伤害,提出了不少盐害理论和假说(杨晓慧等2006;马清等2011; Mansour和Salama 2004)。这些研究大多关注于根系受到盐胁迫时植物的响应(弋良朋和王祖伟2011;刘会超等2004; Aghaleh等2011; Ashraf和Akram 2009; 商宏艳2010),而叶片来源的盐胁迫对植物的影响则鲜见报道(陈顺伟等2001, 2003; Ogura和Yura等2008; 林鸣和王文卿2006)。国内,尤其是盐分在植物叶片上的微区分布情况及盐害诊断依据方面的研究很欠缺(孙景波等2009)。离子区隔化在胞内的情况已有不少研究,但在胞外的情况,例如在叶片上的区隔化还不清楚,不易解释叶片受盐雾胁迫时往往是叶尖和叶缘先表现症状。因此,根系盐胁迫与叶片盐胁迫对植物的影响机制有何不同,是很值得研究的。本实验选取华南滨海区甜土植物枇杷,自行培育幼苗,用NaCl分别进行盐雾处理和盐培养处理,研究不同盐胁迫方式对幼苗生长、灰分含量以及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等元素含量的影响,研究不同盐胁迫方式处理下盐分在不同器官、叶片不同部位的分布机制,探讨有关盐害机理,以此指导实际工作中盐害诊断与防治方法。

材料与方法

1 材料

基于前期研究结果,选取不耐盐的甜土植物枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)幼苗作为研究材料。供试材料种植于厦门大学生科院温室中,在自然光照和温度条件下进行培养。

2 方法

试验于2013年2~4月进行,2月中旬选取生长一致的枇杷幼苗,用淡水清洗,移植于套有尼龙网的沙基,每个沙基使用2 L 1/2 Hoagland营养液,营养液水面恰好与沙基表面相平,每日添加淡水到标记的液面高度,缓苗生长14 d后进行盐胁迫处理实验。

(1)喷雾组:分别用0 (CK)、0.5%的盐度进行盐雾处理,用喷雾器于每日傍晚5点左右均匀喷洒在叶片上,每天喷一次,每盆的喷雾量约为5 mL,在沙基上加隔离板使盐雾不影响培养液。叶片采集后用蒸馏水清洗残留的盐分进行指标测定。

(2)盐培养组:通过在营养液中添加NaCl的方法对枇杷幼苗进行0 (CK)、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%的盐度梯度处理。同样每日用约为5 mL的蒸馏水进行喷雾处理,在沙基上加隔离板。

每日添加淡水到标记的液面高度,每周更换一次培养液,每处理10株,对照组与各处理组均做3个重复,处理时间为28 d。每隔7 d测定株高、叶数、生长情况、受害情况,第28天测定其体内灰分含量和矿质元素等指标。

3 指标测定

叶片采集后用蒸馏水清洗,将叶分成3个部分:叶尖区(近叶尖端的1/3横切部分)、叶缘区(去掉叶尖区后叶片两端各1/4纵切部分)、中心区(去掉叶尖区和叶缘区的叶片剩余部分)。

按孔祥生和易现峰(2008)、常福辰等(2007)方法测定以下3个指标。(1)形态指标测定:测定株高、叶数、生长情况、受害情况。(2)灰分含量测定:采用干灰化法($525\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 4 h)进行测定。(3)矿质元素测定: K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用原子吸收分光光度法测定(AA800型原子吸收光谱仪); Cl^- 采用 $AgNO_3$ 滴定法。

4 统计分析

实验中所用药品均为分析纯。数据差异显著性分析应用SPSS V10.0的多因素方差分析和One-Way ANOVA相关分析。

实验结果

1 两种方式盐胁迫对幼苗生长的影响

由表1可知,根系盐胁迫甜土植物枇杷的幼苗叶片病斑较多分布于叶片中心区。盐度组长势普遍比对照组差;0.5%处理盐度组枇杷幼苗仅发育了很少新根,地上部分开始出现受害症状,其他盐度组则叶、茎、根的生长缓慢甚至停滞;处理盐度越高受害程度越重,甚至出现植株枯死;甜土植物在盐胁迫条件下幼苗生长皆不好。叶片盐胁迫甜土植物枇杷的幼苗叶片病斑较多分布于叶尖、

表1 根系与叶片盐胁迫对枇杷幼苗生长的影响
Table 1 Effects of salt stress on the growth of *E. japonica* seedlings by leaf and by root

| | 盐浓度/% | 新根 | 新叶 | 生长情况 | 受害情况 |
|---------|-------|----|----|------|-----------------|
| 对照组(CK) | 0 | 较多 | 较多 | 良好 | 未出现病斑 |
| 根系盐胁迫 | 0.5 | 少量 | 少量 | 缓慢 | 未出现病斑 |
| | 1.0 | 极少 | 极少 | 停止 | 叶片中心区出现病斑 |
| | 1.5 | 不长 | 不长 | 停止 | 落叶 |
| | 2.0 | 不长 | 不长 | 停止 | 枯死 |
| 叶片盐胁迫 | 0.5 | 少量 | 少量 | 缓慢 | 幼叶叶尖或叶缘出现病斑, 落叶 |

叶缘; 喷雾组的叶、茎、根持续有生长但明显比对照组缓慢, 且长出的新根较少。0.5%盐雾处理枇杷幼苗1周, 零星植株老叶掉落, 喷雾处理时间越长受害越严重, 落叶现象也越严重。由此可知, 根系盐胁迫对枇杷幼苗生长影响的最低浓度远远高于叶片盐胁迫的最低浓度, 叶片盐胁迫比根系盐胁迫对其幼苗生长的伤害更大。

2 两种方式盐胁迫对幼苗灰分含量的影响

由图1和图2可知, 随处理盐度递增, 根系盐胁迫下枇杷各器官和叶片各部分的灰分含量盐培养组都高于对照组; 根系盐胁迫枇杷各器官灰分含量为根>叶>茎, 叶片各部分的灰分含量大小由叶尖区转向中心区。SPSS方差分析结果表明, 盐度因素、叶片分区因素和器官因素对灰分含量的影响都存在显著性, 但它们之间不存在交互效应。根系盐胁迫促进枇杷幼苗的灰分含量积累, 但0.5% NaCl盐雾处理对枇杷幼苗的灰分含量影响不大(图表略)。

3 盐胁迫对幼苗矿质元素的影响

3.1 叶片不同部位的矿质元素含量变化

由图3可知, 两种方式盐胁迫下枇杷叶片不同部位上各元素分布的规律为: 在叶尖区中Na⁺、K⁺含量较多的是对照组、0.5%喷雾组、0.5%盐培养组, 在叶缘区中Na⁺、K⁺含量较多的是1.0%盐培养组, 而在叶尖区中Cl⁻、Mg²⁺含量较多的是对照组、0.5%喷雾组、0.5%盐培养组, 它们在其他较高浓度的盐培养组却较多地分布在中心区, 而各组的Ca²⁺含量则都较多地分布在中心区; 0.5%盐雾组的Na⁺和Cl⁻含量比0.5%盐培养组的含量高很多, 但K⁺、Mg²⁺和Ca²⁺含量则差不多; 盐培养组随处理盐度增加, 叶片上各部分的Na⁺、Cl⁻含量快速递增, 喷雾组和盐培养组皆显著高于对照组; Ca²⁺含量则变化不大, 喷雾组和盐培养组与对照组皆无显著

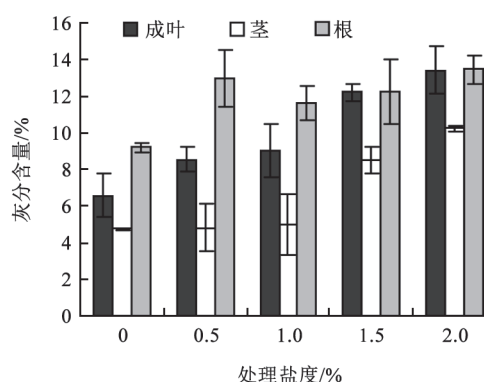


图1 根系盐胁迫枇杷各器官灰分含量变化

Fig.1 The changes of ash content in each organ of *E. japonica* under root salt stress

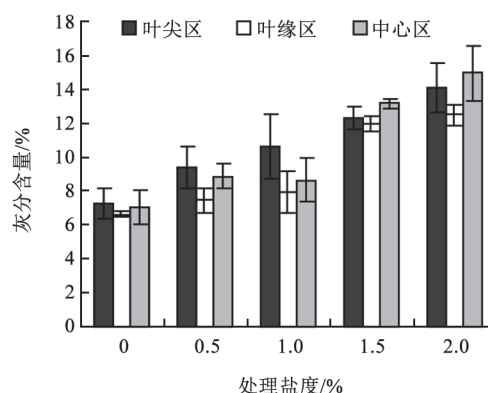


图2 根系盐胁迫枇杷叶片各部分灰分含量变化

Fig.2 The changes of ash content in the parts of *E. japonica* under leaf salt stress

差异; 盐培养组Mg²⁺、K⁺含量呈先升高后下降的趋势, 喷雾组和盐培养组基本上高于对照组, 仅2.0%盐培养组叶缘区的Mg²⁺含量略低于对照组。SPSS方差分析结果表明, 不同盐度下的Na⁺、Cl⁻、K⁺、Mg²⁺含量差异显著(P=0.024), Ca²⁺在叶片不同部位的分布存在显著差异。

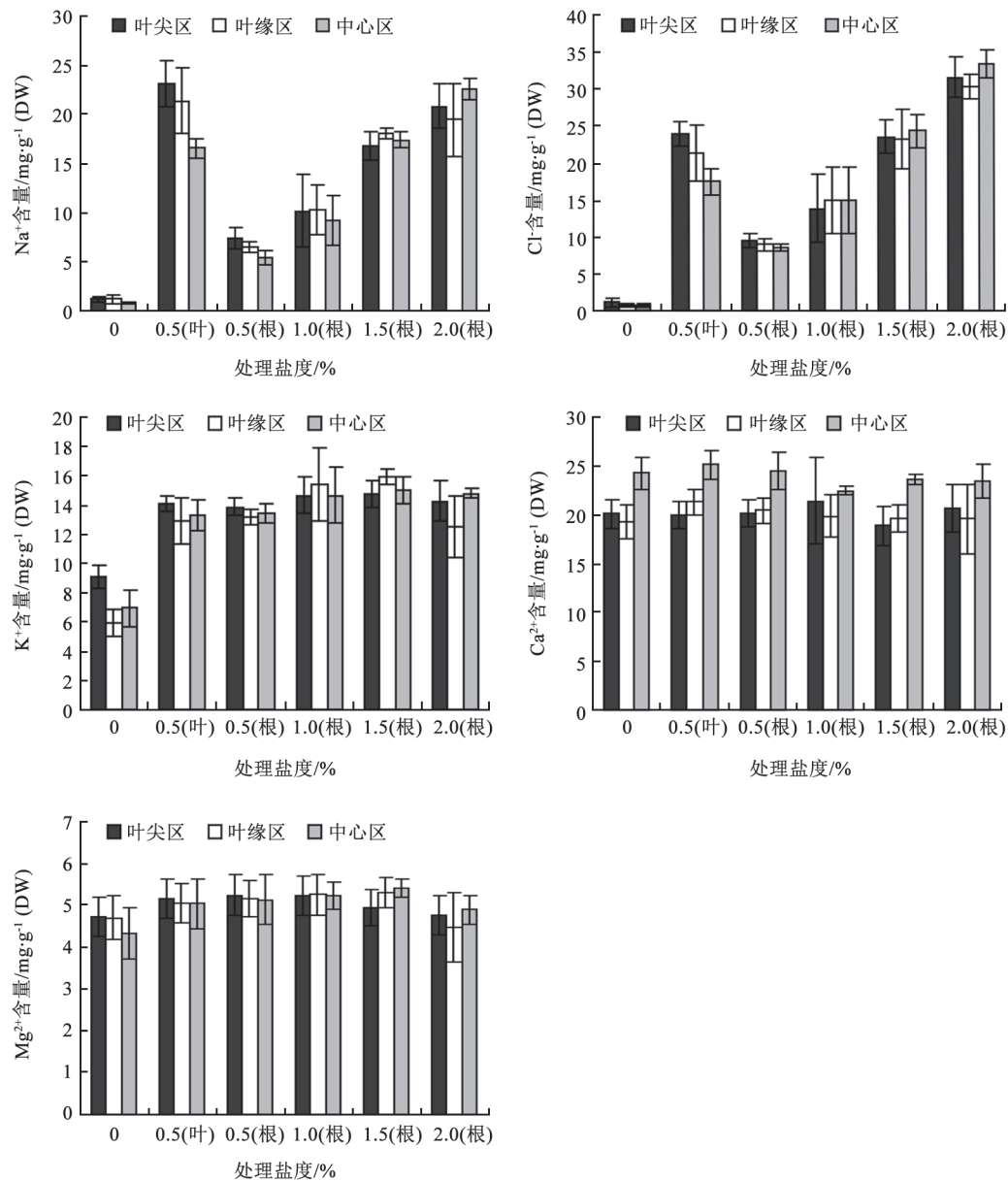


图3 两种方式盐胁迫枇杷叶片不同部位的矿质元素含量变化

Fig.3 The changes of the mineral elements in the parts of *E. japonica* leaf in the two salt stress pathways

3.2 枇杷各器官矿质元素含量的变化

由图4可知, 对照组枇杷各器官的Na⁺、Cl⁻含量大小为茎>叶>根, Ca²⁺含量大小皆为叶>茎>根, K⁺含量大小为根>叶>茎, Mg²⁺含量大小为叶>根>茎。盐培养组枇杷各器官的Na⁺、Cl⁻、Ca²⁺和Mg²⁺含量大小皆为叶>茎>根, K⁺含量随盐度增加逐渐从叶>根>茎转向茎>叶>根; 盐培养组各器官的Na⁺、Cl⁻含量盐培养组高于对照组, K⁺含量盐培养组基本上高于对照组, 2.0%处理盐度组根部低于

对照组, Ca²⁺含量变化不显著, 根Mg²⁺含量盐培养组低于对照组, 茎Mg²⁺含量则相反。盐雾组枇杷各器官的Na⁺、Cl⁻、K⁺、Ca²⁺含量大小皆为叶>茎>根, Mg²⁺含量大小为叶>根>茎; 枇杷各器官Na⁺、Cl⁻、K⁺含量喷雾组高于对照组, Mg²⁺、Ca²⁺含量喷雾组和对对照组无显著差异。0.5%盐雾组的枇杷幼苗叶和茎的Na⁺与Cl⁻含量明显高于0.5盐培养组, 根的Na⁺与Cl⁻含量二者差异不大; 0.5%盐雾组的枇杷各器官的K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺含量与0.5%盐培养组无

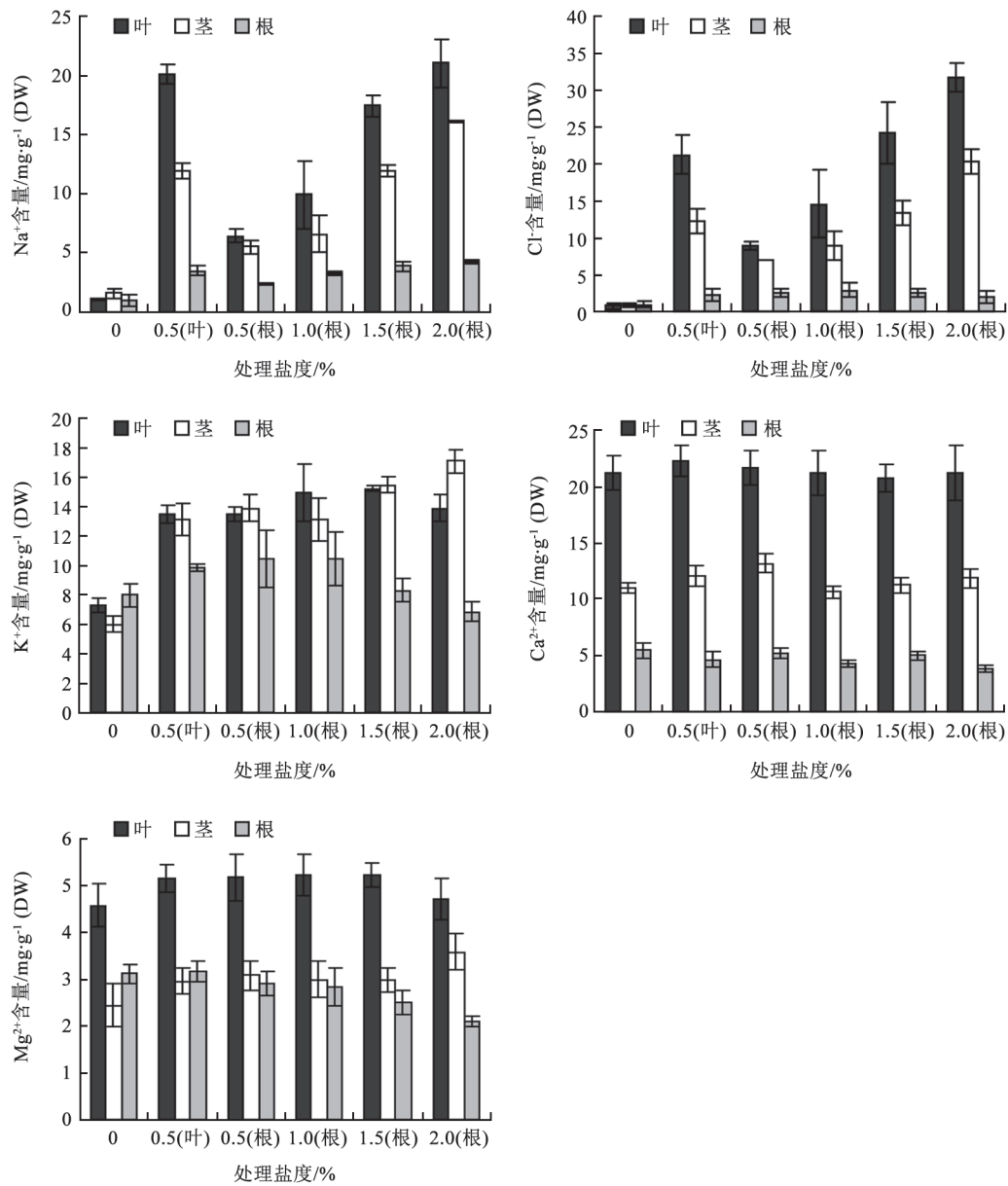


图4 两种方式盐胁迫枇杷不同器官的矿质元素含量变化

Fig.4 The changes of the mineral elements in the different organs of *E. japonica* in the two salt stress pathways

显著差异。SPSS方差分析结果表明, 不同盐度下的Na⁺、Cl⁻、K⁺含量差异显著($P=0.017$), 各元素的器官分布存在显著差异($P=0.027$), 盐度因素与器官因素对Na⁺、Cl⁻、K⁺、Mg²⁺的影响存在交互效应; 喷雾对Na⁺、Cl⁻、K⁺含量的影响存在显著性($P=0.012$), 各元素的器官分布存在显著差异($P=0.006$), 喷雾因素与器官因素对Na⁺、Cl⁻、K⁺的影响存在交互效应。

SPSS V10.0的One-Way ANOVA相关分析结果

表明, 两种方式盐胁迫处理下, 枇杷幼苗的Na⁺含量和Cl⁻含量存在极显著强正相关(Pearson相关系数为2.647, $P=0.005$), Na⁺-灰分含量、Ca²⁺-灰分含量、Cl⁻-灰分含量、Ca²⁺-叶绿素总含量两两之间也存在极显著弱正相关(Pearson相关系数为0.547, $P=0.008$), K⁺-Na⁺、K⁺-Cl⁻、K⁺-灰分含量、Na⁺-Ca²⁺、Na⁺-Mg²⁺、Ca²⁺-Cl⁻存在极显著弱负相关(Pearson相关系数为-0.672, $P=0.007$), K⁺-Ca²⁺存在显著弱负相关(Pearson相关系数为-0.2478, $P=0.046$).

讨 论

叶片盐胁迫就是通过叶片的吸收能力影响植株的生长,根系盐胁迫则通过根的吸收能力影响植株的生长,两种盐分来源对本文研究的5种矿质元素在幼苗体内含量变化的影响相近,但是,不同方式的盐胁迫在使盐分在植物体内重新分布上体现了它们各自的特性。从含量分布的叶片分区因素上看,盐培养胁迫下 Ca^{2+} 、灰分含量在叶片中心区较高, K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 均随盐度增加逐渐从叶尖转向中心区;盐雾胁迫下 K^+ 在各叶片分区的分布差别较小。在低盐度盐雾胁迫下枇杷幼苗 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 均向叶尖集中,但灰分含量在各叶片分区间的分布差异不显著。可见,叶片盐胁迫下盐分较易集中在叶尖、叶缘,而根系盐胁迫下盐分在叶片中心区分布较多。木质部导管内的蒸腾流是矿质营养在叶片内分布的动力。根从培养液中吸收盐分,通过木质部经茎输送到叶,途径为根→茎→叶,路程长,速率慢;盐分在叶片中的分布自然就是距离源头(叶柄)导管近的中心区较高,距离源头大导管远的叶尖、叶缘区较低。叶片从盐雾中吸收盐分,途径为吸收点→叶尖、叶缘,路程短,速率快;故盐雾处理下的幼苗叶片在叶尖、叶缘积累更多的盐分。因此,叶片受害时叶尖、叶缘较早表现出受害症状。

实验中枇杷幼苗的 Na^+ 和 Cl^- 含量之间具有极显著的正相关性,不论是在叶片不同部分、不同叶龄叶片、不同器官上的分布,还是在盐胁迫下元素含量的变化上, Na^+ 和 Cl^- 都具有极高的相似性。在对秋茄、木榄和红海榄这3种红树植物叶片衰老过程中元素动态的研究中,发现 Cl^- 在这3种红树植物叶片或种群幼苗体内的分布类似于 Na^+ ,且各物种成熟叶的元素浓度在 Na^+ 和 Cl^- 之间存在极显著的线性正相关关系(Wang和Lin 1999)。在对耐盐性不同的2个菊属物种幼苗体内 Na^+ 和 Cl^- 的分布研究发现, Na^+ 和 Cl^- 之间也存在极显著的线性正相关关系(管志勇等2010)。NaCl胁迫下,幼苗体内的 Na^+ 、 Cl^- 显著增加,其他元素虽然也各有增减,但 Na^+ 、 Cl^- 的增加量超过其他元素的减少量,所以盐胁迫下幼苗的灰分含量也增加,另一个重要原因可能是为了适应盐胁迫而生成更多有机渗透调节物。

生境中盐分超过一定浓度对植物就会造成伤害,枇杷的实验结果亦表现出低盐促进生长高盐抑制生长。甜土植物长期生长在盐渍条件下,不断地吸收和蒸腾,导致叶片中 Na^+ 和 Cl^- 浓度增大,细胞质中的高浓度 Na^+ 和 Cl^- 干扰代谢,细胞壁中的 Na^+ 和 Cl^- 降低细胞膨压,结果使细胞代谢失调和脱水,致使老叶死亡,新叶生长缓慢,最后导致整个植株死亡(于沛玉2014)。盐胁迫对植物造成的危害主要是离子毒害、渗透胁迫和营养不平衡(刘友良和汪良驹1998)。叶片盐胁迫使枇杷幼苗体内的 Na^+ 、 Cl^- 含量增加远大于根系盐胁迫,造成离子毒害更大。就离子毒害而言,盐害主要是 Na^+ 效应,还是 Cl^- 效应,尚很难定论。

两种方式盐胁迫下,从含量分布的器官因素上看,枇杷幼苗的 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 大小顺序为叶>茎>根, K^+ 在叶中分布也较多。枇杷是拒盐型植物,其耐盐性主要取决于根系对盐离子的吸收及其在器官、组织和细胞层次上的区域化分布。研究发现,耐盐性强的栽培大豆植株茎基部 Na^+ 含量显著高于叶片,认为这是茎木质部薄壁细胞对木质部液流中的 Na^+ 重新吸收(截留)和向下运输所致(Durand和Lacan 1994)。本实验中,枇杷幼苗在两种方式盐胁迫下5种矿质元素都较多地分布在叶中,未出现茎对 Na^+ 截留,并重新吸收,向下转运。这可能与处在幼苗期且处理时间较短有关,因此有无截留过程尚待进一步探讨。

从离子含量分布的器官因素上看,枇杷幼苗在盐胁迫下 K^+ 含量随盐度增加逐渐从叶>根>茎转向茎>叶>根,而盐雾胁迫下 K^+ 含量大小顺序逐渐从叶>茎>根转向叶>根>茎。从中可以看出,盐胁迫下, K^+ 含量总是叶>根,但茎含量的大小顺序发生了不同的变化:盐培养胁迫下茎的 K^+ 含量从最低转向最高,而盐雾胁迫下则从较高转向最低。Durand和Lacan (1994)研究表明,进入栽培大豆木质部液流中的 Na^+ 在向叶片运输过程中可被木质部薄壁细胞截留,并重新吸收,跨膜横向运输至韧皮部,再运送到根系,所以茎基部 Na^+ 含量显著高于叶片,但对 Cl^- 无此作用。Lacan和Durand (1996)提出了 Na^+ 通过质膜 Na^+/H^+ 逆向运输方式进入木质部薄壁细胞的假说。那么本实验中, K^+ 是否也存在这样的逆向运输还有待于进一步的研究。

参考文献

- 曹华雯(2010). 甘菊BADH基因启动子功能鉴定及诱导型启动子的分离[博士论文]. 北京: 北京林业大学, 15~20
- 常福辰, 陆长梅, 沙莎(2007). 植物生物学实验. 南京: 南京师范大学出版社, 126~127
- 陈顺伟, 高智慧, 岳春雷, 叶君往, 廖北海(2001). 杜英等树种对盐雾胁迫的反应及其生理特性研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 27 (4): 398~402
- 陈顺伟, 高智慧, 岳春雷, 袁苗静, 朱杭瑞, 叶君往(2003). 盐雾胁迫下杜英等树种生理特性的变化. 南京林业大学学报(自然科学版), 27 (5): 11~14
- 公维昌, 庄丽, 赵文勤, 田中平(2009). 两种盐生植物解剖结构的生态适应性. 生态学报, 29 (12): 6764~6771
- 管志勇, 陈发棣, 陈素梅, 唐娟, 杨帆(2010). NaCl胁迫对2个菊属野生种幼苗体内 K^+ 、 Na^+ 和Cl分布及生长的影响. 生态学报, 30 (12): 3198~3205
- 孔祥生, 易现峰(2008). 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 257~259, 259~261
- 林鸣, 王文卿(2006). 浪花飞溅区高山榕盐害机制初步探讨. 厦门大学学报(自然科学版), 45 (2): 284~288
- 林鹏(2003). 厦门马銮湾湿地及其生态重构示范区生态背景调查报告. 厦门: 厦门大学出版社, 54~62
- 刘会超, 孙振元, 彭镇华(2004). NaCl胁迫对五叶地锦生长及某些生理特性的影响. 林业科学, 40 (6): 63~67
- 刘友良, 汪良驹(1998). 植物对盐胁迫的反应和耐盐性. 见: 余叔文, 汤章城(主编). 植物生理与分子生物学(第二版). 北京: 科学出版社, 752~769
- 马清, 包爱科, 伍国强, 王锁民(2011). 质膜 Na^+/H^+ 逆向转运蛋白与植物耐盐性. 植物学报, 46 (2): 206~215
- 商宏艳(2010). 盐离子在海滨木槿体内运输与分配机制研究[硕士论文]. 济南: 山东师范大学, 31~36
- 孙景波, 孙广玉, 刘晓东, 胡彦波, 赵雨森(2009). 盐胁迫对桑树幼苗生长、叶片水分状况和离子分布的影响. 应用生态学报, 20 (3): 543~548
- 杨晓慧, 蒋卫杰, 魏珉, 余宏军(2006). 植物对盐胁迫的反应及其抗盐机理研究进展. 山东农业大学学报(自然科学版), 37 (2): 302~308
- 弋良朋, 王祖伟(2011). 盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布. 生态学报, 31 (5): 1195~1202
- 于沛玉(2014). 盐胁迫下 K^+ 对珠美海棠幼苗生理特性的影响[硕士论文]. 天津: 天津农学院, 11~31
- 张凤银, 张萍, 陈元元(2013). NaCl胁迫对不同藜豆品种种子萌发和幼苗生长的影响. 东北农业大学学报, 44 (1): 45~48
- 张华新, 刘正祥, 刘秋芳(2009). 盐胁迫下树种幼苗生长及其耐盐性. 生态学报, 29 (5): 2263~2271
- 张建锋, 张旭东, 周金星, Makeshin F (2005). 盐分胁迫对杨树苗期生长和土壤酶活性的影响. 应用生态学报, 16 (3): 426~430
- Aghaleh M, Niknam V, Ebrahimzadeh H, Razavi K (2011). Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of *Salicomia* (*S. persica* and *S. europaed*). Acta Physiol Plant, 33 (4): 1261~1270
- Ashraf M, Akram NA (2009). Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. Biotechnol Adv, 27 (6): 744~752
- Durand M, Lacan D (1994). Sodium partitioning within the shoot of soybean. Physiol Plant, 91: 65~71
- Lacan D, Durand M (1996). Na^+-K^+ exchange at the xylem/symplast boundary. Plant Physiol, 110: 705~711
- Mansour MMF, Salama KHA (2004). Cellular basis of salinity tolerance in plants. Environ Exp Bot, 52: 113~122
- Ogura A, Yura H (2008). Effects of sandblasting and salt spray on inland plants transplanted to coastal sand dunes. Ecol Res, 23: 107~112
- Tester M, Davenport R (2003). Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Ann Bot, 91: 503~527
- Wang WQ, Lin P (1999). Transfer of salt and nutrients in *Bruguiera gymnorhiza* leaves during development and senescence. Mangro Salt Marsh, 3 (1): 1~7