

## 盐碱胁迫下西伯利亚蓼体内无机离子的变化

吕艳芳<sup>1</sup>, 王大海<sup>2</sup>, 刘关君<sup>3</sup>, 杨传平<sup>3</sup>, 周颖<sup>1</sup>

(1. 渤海大学 生物与食品科学学院, 辽宁 锦州 121000; 2. 中国林科院 林业研究所, 北京 100091; 3. 东北林业大学 森林资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 研究了碳酸氢钠溶液处理后西伯利亚蓼营养器官内部无机离子含量的变化。实验结果表明:碳酸氢钠溶液处理前西伯利亚蓼茎部认为是“K<sup>+</sup>库”;碳酸氢钠溶液处理过程中“K<sup>+</sup>库”转变成为“Na<sup>+</sup>库”,以维持叶部的正常生理功能,并且“Na<sup>+</sup>库”具有一定的限度;碳酸氢钠溶液处理后,西伯利亚蓼不同部位对外界盐碱胁迫的反应存在多样性。植株在“Na<sup>+</sup>库”达到限度之前进行旺盛的光合作用,在有限的时间内向地下组织输送更多的有机养分,用以繁殖后代。

**关键词:** 西伯利亚蓼; 盐碱胁迫; Na<sup>+</sup>库; K<sup>+</sup>库; 繁殖后代

**中图分类号:** Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)03-0304-04

## The location patterns of inorganic ions in different parts of *Polygonum sibiricum* under salt and alkaline stress condition

LV Yan-fang<sup>1</sup>, WANG Da-hai<sup>2</sup>, LIU Guan-jun<sup>3</sup>,  
YANG Chuan-ping<sup>3</sup>, ZHOU Ying<sup>1</sup>

(1. College of Biotech and Food Science, Bohai University, Jinzhou 121000, China; 2. Department of Forest Research, China Academy of Forest, Beijing 100091, China; 3. Department of Forest Tree Breed, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** In this paper, the changing patterns of inorganic ions content, in different parts of *Polygonum sibiricum*, were investigated under salt and alkaline stress condition. The results showed that, the diversity of response to salt and alkaline stress was presented in different parts of the plant; Under normal environment, the stem could be seen as a K<sup>+</sup> reservoir and turned into a Na<sup>+</sup> reservoir after treated by NaHCO<sub>3</sub> solution which could reduce the concentration of Na<sup>+</sup> in leaf tissues and maintain its physiological functions; The plant use the limited time to ship out photosynthesis, aiming at accumulating of more organic nutrient and transfer it to underground tissues for propagation before the Na<sup>+</sup> reservoir reach its capacity, which has its upper limit.

**Key words:** *Polygonum sibiricum*; salt and alkaline stress; Na<sup>+</sup> reservoir; K<sup>+</sup> reservoir; propagation

土壤盐碱化是人类面临的世界性问题,它不仅严重地破坏生态环境,还极大地限制了农、林业的生产。如何开发和利用盐渍化土壤,提高植物产量成为世界各国农、林业生产中十分迫切和重要的任务,并

且植物耐盐机理研究和耐盐植物的培育则是研究的热点(卢青,2000;汪江梅等,2001;张劲松等2000)。

西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)为蓼科植物,分布于西伯利亚、蒙古及我国的东北、西北、西南

收稿日期: 2005-09-26 修回日期: 2005-04-09

基金项目: 国家重大基础研究发展规划项目(G19999016003)[Supported by Major State Basic Research Development Program (G19999016003)]

作者简介: 吕艳芳(1978-),女,河北阳原人,讲师,硕士,分子生物学专业,(E-mail)lvyanfang2003@126.com。

和内蒙古等潮湿的盐碱地、河滩沙地、田边。根据我们的野外观察与室内耐盐实验发现,西伯利亚蓼具有很强的耐盐碱性,能在盐碱地碱斑上生长,成为盐碱地的优势种群;用3%  $\text{NaHCO}_3$  连续浇灌一个月以上仍可正常生长。因此认为,西伯利亚蓼是耐盐碱研究的好材料。目前对西伯利亚蓼的研究比较少。陆静梅等(1994)利用电子显微技术对西伯利亚蓼解剖学特征进行了研究。然而,从生理生化方面对西伯利亚蓼耐盐机理研究未有报导。本文主要研究西伯利亚蓼在盐碱环境下营养器官内部无机离子含量的变化。

## 1 实验材料与与方法

### 1.1 实验材料与处理

在黑龙江省肇东县东部盐碱地挖取西伯利亚蓼地下茎段为繁殖材料,温室内扩繁。次年3月初培育西伯利亚蓼地下茎扦插苗,用腐殖质和细砂混合物(比例为3:1)作培养基质,每隔24h用普通自来水浇灌。温室培养1个月后,苗高10~15cm时用于耐盐试验。

将西伯利亚蓼用3%碳酸氢钠(350 mmol/L)溶液连续处理一个月以上仍可正常生长,并产生胁迫效应。用3%碳酸氢钠溶液按不同时间进行盐胁迫,每个处理及对照设3个重复,处理完毕后,一起苗,用自来水反复冲洗整体植株三遍,去除泥土及灰尘;然后用超纯水淋洗三遍,去除表面的离子;用滤纸吸干表面水分,进行植株体营养器官内部无机离子测定。

### 1.2 实验方法

植物体内不同部位离子含量测定参照刘家尧的方法(刘家尧等,1994),并作如下修改。离子含量变化测定实验前将本实验所使用玻璃器械及坩埚用盐酸洗液洗涤后用大量的清水漂洗,用Milli-Q超纯水淋洗三遍,最后用Milli-Q超水平衡24h以上,使用前当天用烘箱烘干。将植株分地茎、茎和叶分别放入坩埚内,85℃烘12h至衡重,称重后放入马伏炉内480℃烘12h,使植物材料呈灰白色灰分,冷却至室温,用1mL浓硝酸充分溶解残留灰分,硝解后的灰分溶液完全转移至平衡后的玻璃试管内。测定 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 含量前将灰分溶液稀释625倍,测定 $\text{K}^+$ 时将灰分溶液稀释15625倍,然后用原子分光光度计测定。

## 2 实验结果

### 2.1 清水浇灌的西伯利亚蓼不同部位 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 的变化

在整个实验过程中发现用清水浇灌的西伯利亚蓼,在不同时间段内地下茎、茎和叶内的 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 的变化很小,所以选择碳酸氢钠溶液处理之前各器官的 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 含量为对照。

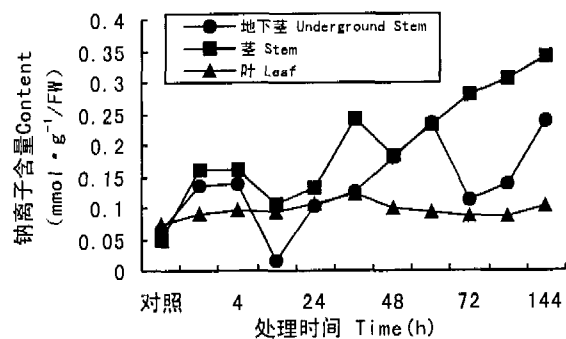


图1 碳酸氢钠处理后不同部位 $\text{Na}^+$ 含量的变化  
Fig. 1 Change of sodium content in different parts treated by  $\text{NaHCO}_3$

### 2.2 碳酸氢钠处理后不同部位 $\text{Na}^+$ 含量的变化

从图1可以看出碳酸氢钠溶液处理之前,地下茎、茎和叶部 $\text{Na}^+$ 含量基本相同,都在0.05~0.075 mmol/g之间,茎部含量最低。处理2h后叶部 $\text{Na}^+$ 含量变化不明显,从0.07 mmol/g左右上升到0.08 mmol/g,茎部和地下茎组织 $\text{Na}^+$ 含量变化明显,分别增加84%和240%。从处理2h后到4h过程中各部位间 $\text{Na}^+$ 含量变化不明显,略微有点增加。处理4h之后至8h各部位间 $\text{Na}^+$ 含量都有下降趋势,但叶片组织下降不明显,地下茎下降最明显,从0.14 mmol/g下降到0.02 mmol/g,下降近86%;茎部 $\text{Na}^+$ 含量变化也较明显。处理8h后至32h各部位 $\text{Na}^+$ 含量又增加,叶部变化仍然不明显,而茎和地下茎含量变化明显。在处理48h以后的过程中,茎部 $\text{Na}^+$ 含量一直增加;地下茎 $\text{Na}^+$ 含量变动比较大,有下降又有上升;叶部变化趋于平稳。总体来看,用3%碳酸氢钠溶液浇灌西伯利亚蓼植株后地下茎、茎和叶组织 $\text{Na}^+$ 含量上升,地下茎和茎 $\text{Na}^+$ 含量上升明显,叶部 $\text{Na}^+$ 含量变化不明显。

### 2.3 碳酸氢钠处理后不同部位 $\text{K}^+$ 含量的变化

从图2可以看出处理之前,西伯利亚蓼不同部

位间  $K^+$  的含量存在明显差异,茎含量最高,在  $1\text{ mmol/g}$  左右;地下茎含量最低,为  $0.3\text{ mmol/g}$  左右;叶含量居中,为  $0.43\text{ mmol/g}$ 。用  $3\%$  碳酸氢钠溶液处理  $2\text{ h}$  后,茎和地下茎  $K^+$  的含量呈下降趋势,而叶  $K^+$  含量上升  $27\%$ 。之后,叶  $K^+$  含量变化比较缓和,有略微的上下变动,处理  $144\text{ h}$  时  $K^+$  含量与对照相比增加  $22\%$ ,基本趋于平稳;地下茎  $K^+$  含量变化幅度大,在  $0.1\sim 0.5\text{ mmol/g}$  间上下浮动,处理  $56\text{ h}$  之后至  $144\text{ h}$  趋于平稳, $K^+$  含量的平均值与对照相当;在处理  $2\text{ h}$  至  $4\text{ h}$  过程中,茎的  $K^+$  含量迅速降低  $30\%$ , $8\text{ h}$  后回升,与地下茎含量变化趋势正好相反,从处理  $8\text{ h}$  之后至  $144\text{ h}$ , $K^+$  含量逐渐下降,最后与叶中的含量相近,与对照相比下降  $47\%$ 。

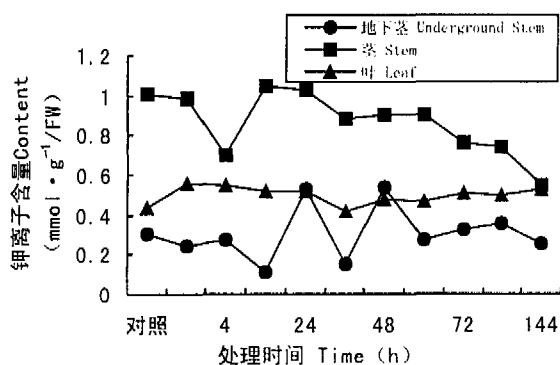


图2 碳酸氢钠处理后不同部位  $K^+$  含量的变化  
Fig. 2 Change of potassium content in different parts treated by  $\text{NaHCO}_3$

### 2.4 碳酸氢钠处理后不同部位 $K^+ / \text{Na}^+$ 含量的变化

从图3可以看出碳酸氢钠处理之前,茎的  $K^+ / \text{Na}^+$  比值较高,为  $22$  左右;地下茎和叶中  $K^+ / \text{Na}^+$  比值较接近,为  $5$  左右。碳酸氢钠处理  $2\text{ h}$  后,茎的  $K^+ / \text{Na}^+$  比值大幅度降低;地下茎  $K^+ / \text{Na}^+$  比值降低  $55\%$  左右;叶具有上升趋势,但上升幅度较小。处理  $2\text{ h}$  至  $32\text{ h}$  过程中,叶部  $K^+ / \text{Na}^+$  比值略微下降;从处理  $32\text{ h}$  至  $144\text{ h}$  有缓慢上升至对照水平。处理  $2\text{ h}$  至  $56\text{ h}$  过程中,地下茎和茎的  $K^+ / \text{Na}^+$  比值变化趋势相同,大致平行;处理  $72\text{ h}$  至  $144\text{ h}$  过程中两者比值几乎维持在相同水平;处理  $144\text{ h}$  时为  $1.5$  左右,低于对照时地下茎的水平。

### 2.5 碳酸氢钠处理后不同部位 $\text{Ca}^{2+}$ 含量的变化

从图4可看出在处理之前,叶中  $\text{Ca}^{2+}$  的含量最高接近  $0.15\text{ mmol/g}$ ,地下茎中的含量最低为  $0.06\text{ mmol/g}$  左右,茎中的含量居中,为  $0.11\text{ mmol/g}$ 。

$3\%$  碳酸氢钠溶液处理  $2\text{ h}$  后,叶、茎和地下茎  $\text{Ca}^{2+}$  含量均增加。处理  $2\text{ h}$  至  $4\text{ h}$  过程中,叶  $\text{Ca}^{2+}$  含量保持不变,地下茎  $\text{Ca}^{2+}$  含量仍然增加,而茎  $\text{Ca}^{2+}$  含量下降。处理  $8\text{ h}$  至  $144\text{ h}$ ,地下茎、茎和叶中反复震荡; $144\text{ h}$  时,叶中  $\text{Ca}^{2+}$  含量基本与对照相近,茎和地下茎的含量接近于对照的地下茎的  $\text{Ca}^{2+}$  含量。

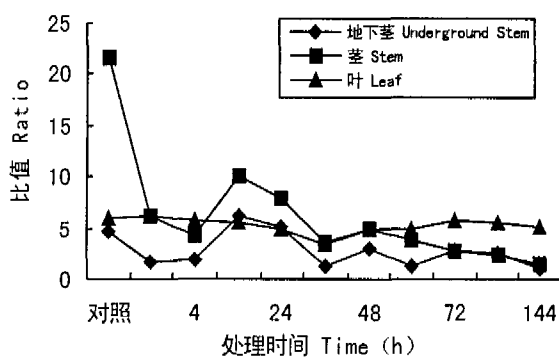


图3 碳酸氢钠处理后西伯利亚蓼不同部位  $K^+ / \text{Na}^+$  含量比变化  
Fig. 3 Change of ratio of kalium to sodium treated by  $\text{NaHCO}_3$  in different parts

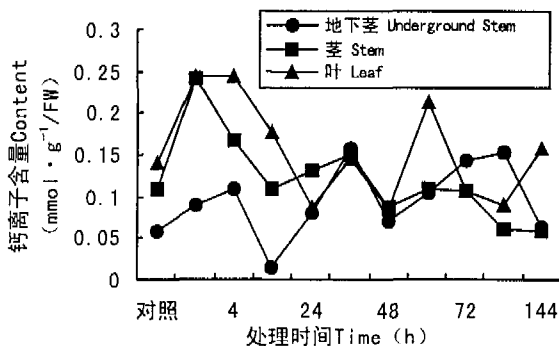


图4 处理后不同部位  $\text{Ca}^{2+}$  含量的变化  
Fig. 4 Change of calcium content in different parts treated by  $\text{NaHCO}_3$

## 3 讨论

### 3.1 西伯利亚蓼耐盐碱机制的多样性

植物对外界盐胁迫反应存在广泛的多样性,这种多样性包括不同物种间、同一物种不同个体间、同一个体的不同生长阶段、同一个体的不同部位间的多样性;还包括耐盐机制的多样性,耐盐机制多样性可分为生理生化方面的多样性和形态结构方面的多样性;而遗传多样性则是一切多样性的基础。植物

耐盐多样性中也包含着同一性,即不同物种间往往采取相似的策略来抵御环境盐胁迫。因此植物耐盐的多样性是多样性和同一性的辩证统一。

西伯利亚蓼用 3% 碳酸氢钠溶液处理后,叶片  $\text{Na}^+$  含量、 $\text{K}^+$  含量及  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值变化平缓;而茎  $\text{Na}^+$  含量迅速增加, $\text{K}^+$  含量下降, $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值变化明显;地下茎  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  含量及  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  含量比值变化比较大,由此说明西伯利亚蓼不同部位间对  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  的吸收和排阻具有不同表现,不同部位间对外界盐碱胁迫的反应存在多样性。

### 3.2 西伯利亚蓼体内的“ $\text{K}^+$ 库”和“ $\text{Na}^+$ 库”

碳酸氢钠溶液处理西伯利亚蓼后, $\text{Na}^+$  含量在蓼的各部位都增加, $\text{Na}^+$  随水分从根部维管柱运输到地茎和地上部分,以减少过多的  $\text{Na}^+$  对根的毒害。处理 2h 时, $\text{Ca}^{2+}$  含量各部位都增加, $\text{Ca}^{2+}$  主要来源于根系对土壤中游离态  $\text{Ca}^{2+}$  的吸收。因为  $\text{Ca}^{2+}$  是外界逆境胁迫的第二信使,所以  $\text{Ca}^{2+}$  含量的增加诱导(激活)一些抗胁迫因子的活性,这些因子包括各种蛋白激酶以及一些合成某些抗胁迫生化物质的酶类等,同时位于质膜上的  $\text{K}^+$  运输蛋白被诱导激活。茎部细胞膜上可能存在对  $\text{K}^+$  具有向外运输的运输蛋白,该运输蛋白将茎细胞内的  $\text{K}^+$  运输到茎部维管柱、运输到叶部组织,而位于叶肉细胞膜上对  $\text{K}^+$  具有向细胞内运输的运输蛋白,该运输蛋白将质外体中的  $\text{K}^+$  运输到叶肉细胞内,此时叶肉细胞内  $\text{K}^+$  含量的增加对植物起到渗透调节作用(Spalding 等,1999)。植物从土壤中吸收  $\text{K}^+$ ,并将吸收的  $\text{K}^+$  通过维管束运输进入茎部细胞以维持茎部  $\text{K}^+$  的平衡。碳酸氢钠溶液处理西伯利亚蓼后, $\text{Na}^+$  可能通过对  $\text{K}^+$  专一性不强的  $\text{K}^+$  运输蛋白竞争性地被运入叶肉细胞或者通过位于质膜的水通道随水分进入细胞(Schachtman 等,1994),细胞内过高的  $\text{Na}^+$  水平诱导  $\text{Ca}^{2+}$  水平的提高,进而激活位于质膜上具有将  $\text{Na}^+$  向外运输的专一性  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  反向运输蛋白。 $\text{Na}^+$  通过质外体运至茎部,后被转运至茎细胞内,从而导致碳酸氢钠处理过程中茎中  $\text{Na}^+$  含量持续增加。碳酸氢钠溶液处理过程中,叶片内  $\text{Na}^+$  含量变化趋势平稳也可能是水分通过维管束向上运输过程中, $\text{Na}^+$  随化学势梯度横向扩散,茎部细胞对横向扩散的  $\text{Na}^+$  进行选择吸收作用

而降低向上液流中的  $\text{Na}^+$  含量,因为根据陆静梅等(1994)对西伯利亚蓼观察后发现,西伯利亚蓼茎部内皮层无凯氏带加厚。

从碳酸氢钠处理西伯利亚蓼过程中茎部  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  含量及  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值变化趋势来看,处理前,茎部被认为是“ $\text{K}^+$ 库”,而处理过程中“ $\text{K}^+$ 库”转变成成为“ $\text{Na}^+$ 库”,以维持叶部的正常生理功能。通过长期连续用碳酸氢钠浇灌西伯利亚蓼发现,虽然地上部分枯萎死亡,但地下部分与对照相比,地下茎发达、侧芽萌发多、粗壮,并且能抵抗土壤中高浓度的碳酸氢钠溶液,继续通过营养繁殖进行生长,生长出正常的植株。长期用碳酸氢钠处理导致地上部分的枯萎死亡表明,“ $\text{Na}^+$ 库”具有一定的限度,植株在“ $\text{Na}^+$ 库”达到限度之前进行旺盛的光合作用,在有限的时间内向地下组织输送更多的有机养分,用以繁殖后代。

### 参考文献:

- 张劲松,陈受宜. 2000. 植物分子生理学进展[C]//吴平,陈昆松. 植物耐盐耐旱分子机制及其基因工程. 杭州:浙江大学出版社:223-244.
- Liu JY(刘家尧),Li JD(李建东),Zhao KF(赵可夫). 1994. Effects of salinity on ion contents, betaine level and Betaine-Aldehyde Dehydrogenase activity in seepweed(*Suaeda salsa*) seedlings(盐分对碱蓬幼苗离子含量、甜菜碱水平和 BADH 活性效应)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报),36(8):622-626.
- Lu JM(陆静梅),Li JD(李建东). 1994. Observation of the anatomical structure of *Polygonum sibiricum* Laxm(西伯利亚蓼解剖结构的扫描电镜观察)[J]. *J Northeast Normal Univ*(东北师大学报),3:83-87.
- Lu Q(卢青). 2000. Development of the molecular biological studies of salt-tolerant in plants(植物耐盐性的分子生物学研究进展)[J]. *Journal of Biology*(生物学杂志),17(4):9-11.
- Schachtman DP, Schroeder JI. 1994. Structure and transport mechanism of a high-affinity potassium uptake transporter from higher plants[J]. *Nature*,370:655-658.
- Spalding EP, Hirsch RE, Lewis DR, et al. 1999. Potassium uptake supporting plant growth in the absence of AKT1 channel activity; Inhibition by ammonium and stimulation by sodium[J]. *J Gen Physiol*,113:909-918.
- Wang JM(汪江梅),Huang MR(黄敏仁),Wang MX(王明麻). 2001. A review on salt and drought resistance gene engineering in plants(植物抗盐碱、耐干旱基因工程研究进展)[J]. *J Nanjing For Univ*(南京林业大学学报),25(5):57-62.