

## 盐胁迫下粉蕉植株营养元素的吸收与分布特征

王 蕾<sup>1</sup>, 兰柳艳<sup>2</sup>, 罗晓慧<sup>1</sup>, 沈 欢<sup>1</sup>, 蒋 潇<sup>1</sup>, 武 鹏<sup>3\*</sup>

1. 贺州市检验检测中心, 广西贺州 542800; 2. 广西农业职业技术大学, 广西南宁 530007; 3. 广西农业科学院生物技术研究所, 广西南宁 530007

**摘 要:** 盐胁迫是农业中阻碍植物正常生长的常见因子。广西南端具有面向南海的绵长海岸线, 海岸线上广泛种植香蕉, 海水常常倒灌进陆地, 造成高浓度的盐胁迫。每年 8—9 月为台风高发期, 从南海上形成的水汽随台风进入内陆, 则会引起低浓度的盐胁迫。本研究以粉蕉为研究对象, 测定盐胁迫下粉蕉植株各部位的营养元素和土壤成分, 研究营养元素的吸收与分布特征, 分析其耐盐机制。结果显示: 当土壤的盐浓度为 0.01% 时, 各部位的营养元素含量与对照差异不显著; 当盐浓度 > 0.01% 时, 随着盐浓度的升高, 各部位的全氮、全磷、全钾、全镁和全钙均呈逐渐下降的趋势, 这表明较高浓度的盐处理降低了粉蕉从土壤中吸收养分的能力, 但叶片的全镁、全钙含量下降速度较其他部位慢, 且下降比例也小于其他部位, 这表明叶片可能具有选择性吸收  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的能力; 当盐浓度 > 0.01% 时, 根和假茎中的  $\text{Cl}$ 、 $\text{Na}$  含量快速升高, 且升高速度和幅度远大于叶片和球茎, 因此, 研究认为粉蕉耐盐机制是将较多的  $\text{Cl}$ 、 $\text{Na}$  贮存于根部以及  $\text{Cl}$ 、 $\text{Na}$  在向叶片运输过程中被茎吸收。当盐浓度 > 0.2% 时, 土壤的碱解氮、速效磷和速效钾的含量呈逐渐下降的趋势, 表明高浓度的盐分对根远处土壤的矿物质离子向根附近土壤的流动造成了阻碍。研究结果可为广西粉蕉在遭受海水倒灌以及台风天气时各部位的元素变化及土壤成分的变化提供数据基础。

**关键词:** 盐胁迫; 粉蕉; 营养元素; 耐盐机制; 分布特征

中图分类号: S668.1 文献标识码: A

## Characteristics of Uptake and Distribution of Nutrient Elements in Pisang Awak Plants under Salt Stress

WANG Lei<sup>1</sup>, LAN Liuyan<sup>2</sup>, LUO Xiaohui<sup>1</sup>, SHEN Huan<sup>1</sup>, JIANG Xiao<sup>1</sup>, WU Peng<sup>3\*</sup>

1. Hezhou Inspection and Testing Center, Hezhou, Guangxi 542800, China; 2. Guangxi Vocational University of Agriculture, Nanning, Guangxi 530007, China; 3. Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China

**Abstract:** Salt damage is a common factor that hinders the normal growth of plants in agriculture. The southern end of Guangxi has a long coastline facing the South China Sea. Bananas are widely planted on the coastline. Seawater is often poured into the land, causing high concentrations of salt stress. Every year from August to September is the high-incidence period of typhoons. The water vapor formed from the South China Sea enters the inland with the typhoon, which will cause low-concentration salt stress. In this paper, taking Pisang Awak as the research material, the nutrient elements and soil components of each part of the Pisang Awak plant under salt stress were measured, the absorption and distribution characteristics of the elements were studied, and the mechanism of salt tolerance was analyzed. The results showed that: when the salt concentration of soil was 0.01%, the nutrient element content of each part was not significantly different from that of the control; when the salt concentration was greater than 0.01%, with the increase of the salt concentration, the total nitrogen, total phosphorus, total potassium, total magnesium and total calcium showed a decreasing trend, indicating that the higher concentration of salt stress reduced the ability of Pisang Awak to absorb nutri-

收稿日期 2022-05-25; 修回日期 2022-06-14

基金项目 广西科技重大专项 (No. AA22068090); 广西自然科学基金项目 (No. 2021GXNSFBA075045); 国家现代农业产业技术体系项目 (No. CARS-31)。

作者简介 王 蕾 (1985—), 女, 硕士, 农艺师, 研究方向: 香蕉养分高效利用与栽培生理。\*通信作者 (Corresponding author): 武 鹏 (WU Peng), E-mail: wupeng@gxaas.net。

ents from the soil, but the total magnesium and total calcium content of leaves decreased more slowly than those of other parts, and the proportion of the decline was lower. It was also lower than those of other parts, indicating that the leaves might have the ability to selectively absorb  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ; when the salt concentration was greater than 0.01%, the Cl and Na contents of roots and pseudostems increased rapidly, and the increase speed and amplitude were much greater than those of leaves and bulbs. Therefore, it is believed that the mechanism of salt tolerance of Pisang Awak is that more Cl and Na were stored in the root and that Cl and Na were absorbed by the stem during the transportation to the leaves. When the salt concentration was greater than 0.2%, the contents of alkaline hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium in the soil showed a decreasing trend, indicating that the high concentration of salt hindered the flow of mineral ions in the soil to the root surface. The research results could provide a data basis for the changes of elements in various parts of Guangxi Pisang Awak and the changes of soil components when they are subjected to seawater inversion and typhoon weather.

**Keywords:** salt damage; Pisang Awak; nutrient element; salt tolerance mechanism; distribution characteristics

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.008

盐胁迫是农业中阻碍植物正常生长的常见因子。近年来, 由于不合理的灌溉施肥、盐碱地种植或者海水浇灌等, 使得植物长期遭受盐胁迫, 影响作物的生长, 严重时使得作物烧苗死亡<sup>[1]</sup>。盐胁迫下, 土壤中盐离子与各种营养元素相互竞争而造成植物养分吸收困难, 导致植物矿质营养亏缺<sup>[2]</sup>。

广西壮族自治区南端具有面向南海的绵长海岸线, 是我国唯一靠海的自治区, 海岸线长度约为 1500 km。海岸线上广泛种植香蕉, 海水常常倒灌进陆地, 造成高浓度的盐胁迫; 每年 8—9 月为台风高发期, 从南海上形成的水汽随台风进入内陆, 则会引起低浓度的盐胁迫<sup>[3]</sup>。因此, 研究盐胁迫对香蕉种植的影响具有重要意义。

广西是我国第二大香蕉产区, 2020 年产量约为 303.71 万 t<sup>[4]</sup>, 在我国香蕉生产中具有重要的地位。粉蕉 (Pisang Awak, AAB) 又名西贡蕉、糯米蕉、安南蕉, 是岭南特色水果之一, 性温、皮薄、果肉香甜、软糯, 因其独特的风味而广受消费者喜欢, 价格比普通香蕉高 50%~200%。与主栽的香牙蕉相比, 粉蕉有很强的抗寒、抗旱、抗病毒病、抗叶面病和耐贫瘠能力<sup>[5]</sup>。

本研究以课题组选育出的抗病粉蕉品种育粉 6 号为研究对象, 研究不同浓度的盐胁迫对植株不同部位中 N、P、K、Mg、Ca、Cl、Na 元素含量及土壤中 N、P、K、Mg、Ca、Cl、Na 含量的影响, 研究盐胁迫下粉蕉植株营养元素的吸收与分布特征, 分析粉蕉在遭受盐胁迫时的耐盐机制。研究结果可为广西粉蕉在遭受海水倒灌、台风天气时各部位的元素变化及土壤成分的变化提供数据基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

粉蕉通常在 3 月种植, 台风季 8—9 月时其叶片数量可达到 20 片左右, 正值旺盛生长期。本研究材料来自同一批组培苗且长势一致的 20 叶龄的育粉 6 号植株。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 海水  $\text{Na}^+$  浓度为 0.8%<sup>[3]</sup>。本研究 NaCl 胁迫浓度设为 0 (CK)、0.01%、0.05%、0.1%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% (质量体积比), 每个处理重复 6 株, 共 48 株。将 48 株 20 叶龄的粉蕉植株栽于使用翻土机和人工翻土混匀土壤后的基地中, 当天每株浇含有各处理盐浓度的水 10 L, 之后每天通过滴灌的方式滴水 2 L 以保持土壤湿润。7 d 后测定植物各部位的营养成分和土壤成分, 去掉最大值和最小值, 取中间的 4 个值计算平均值和标准差。

1.2.2 土壤检测 使用“S”型 5 点取样法在每个小区 0~20 cm 土层中取得土样, 混匀, 风干, 过 1 mm 筛<sup>[6]</sup>。碱解氮的测定采用 NaOH-扩散法, 速效磷的测定采用  $\text{NaHCO}_3$  浸提-钼锑抗比色法, 速效钾的测定采用  $\text{NH}_4\text{OAc}$ -火焰光度法,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  使用原子吸收分光光度计法, Cl 使用硝酸银滴定法进行测定<sup>[7]</sup>。

1.2.3 植株营养成分检测 每株分成根、球茎、假茎和叶片 4 个部位进行取样, 就地称取各部位总鲜重, 按照四分法选取各部位具有代表性<sup>[8]</sup>的植物组织作为分析样品, 每部位鲜样大于 500 g。新鲜样品洗净后用吸水纸吸干水分, 在 105 °C 下杀青 15 min 后在 70~80 °C 下烘干至恒重。各成分

测定方法为：全氮采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -凯氏定氮法，全磷采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -钼锑抗比色法，全钾采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -火焰光度计法， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  使用干灰分-原子吸收分光光度计法， $\text{Cl}^-$  使用干灰分-硝酸银滴定法<sup>[7]</sup>。

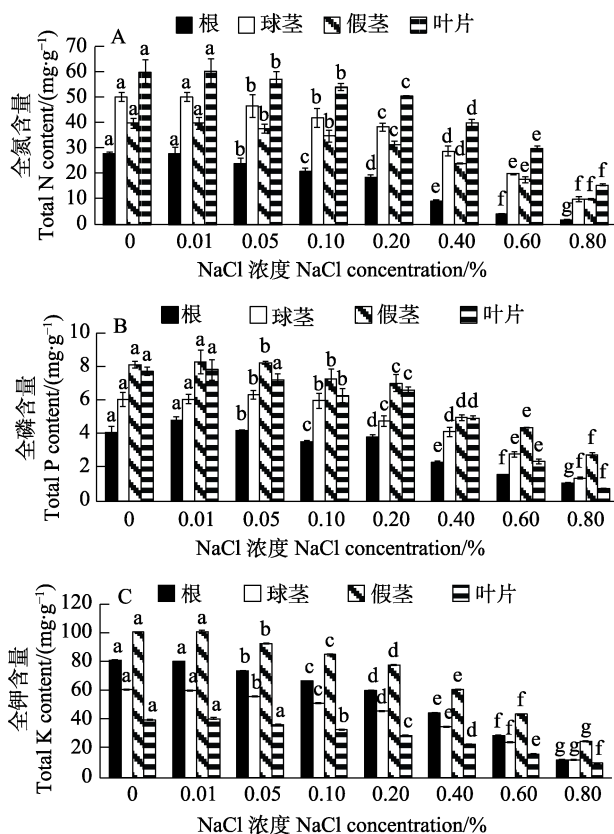
### 1.3 数据处理

使用 SPSS 22.0 软件采用 Duncan's 法进行差异显著性分析，使用 Excel 2019 软件制作图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位全氮、全磷、全钾含量的影响

由图 1A 可知，粉蕉叶片的全氮含量高于其他部位，全氮含量依次为叶片>球茎>假茎>根；在盐浓度为 0.01% 时，各部位的含量与对照差异不显著；在盐浓度为 0.01%~0.2% 时，各部位的全氮含量随着盐浓度的升高而缓慢下降；在盐浓度



不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

图 1 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位全氮、全磷、全钾含量的变化情况

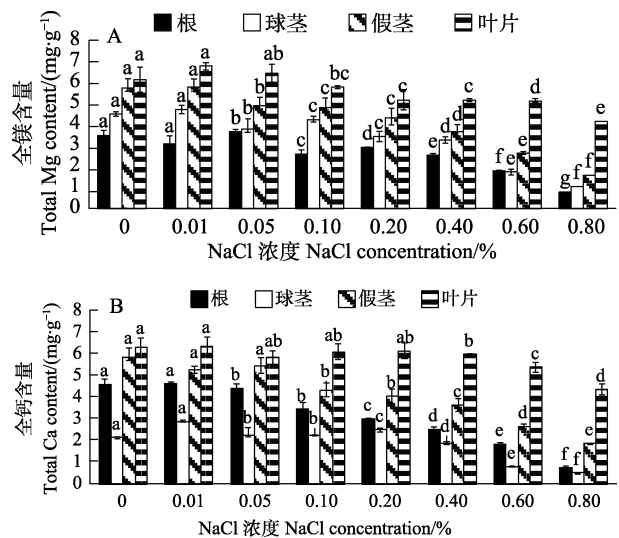
Fig. 1 Changes of total N, total P, total K content in different parts of Pisang Awak treated with different salt concentrations

为 0.2%~0.8% 时，各部位全氮含量随着盐浓度的升高而快速下降。

由图 1B~图 1C 可知，与全氮含量不同，粉蕉假茎的全磷、全钾含量高于其他部位，全磷含量依次为假茎>叶片>球茎>根，全钾含量依次为假茎>根>球茎>叶片；在盐浓度为 0.01% 时，各部位含量与对照差异不显著；当盐浓度为 0.01%~0.2% 时，除叶片外，其他部位的全磷、全钾含量随着盐浓度的升高而缓慢下降；当盐浓度为 0.05% 时，叶片的全磷、全钾含量与对照差异不显著，当盐浓度为 0.05%~0.2% 时，叶片的全磷、全钾含量缓慢下降；当盐浓度为 0.2%~0.8% 时，各部位全磷、全钾含量随着盐浓度的升高而快速下降。

### 2.2 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位全镁、全钙含量的影响

由图 2 可知，粉蕉叶片的全镁、全钙含量均高于其他部位，其含量依次为叶片>假茎>球茎>根。除叶片外，当盐浓度为 0.01% 时，各部位的全镁、全钙含量与对照差异不显著；当盐浓度为 0.01%~0.2% 时，各部位的全镁、全钙含量随着盐浓度的升高而缓慢下降；当盐浓度为 0.2%~0.8% 时，各部位全镁、全钙含量随着盐浓度的升高而快速下降。当盐浓度为 0.01% 和 0.05% 时，叶片的全镁含量与对照差异不显著，之后开始缓慢下



不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

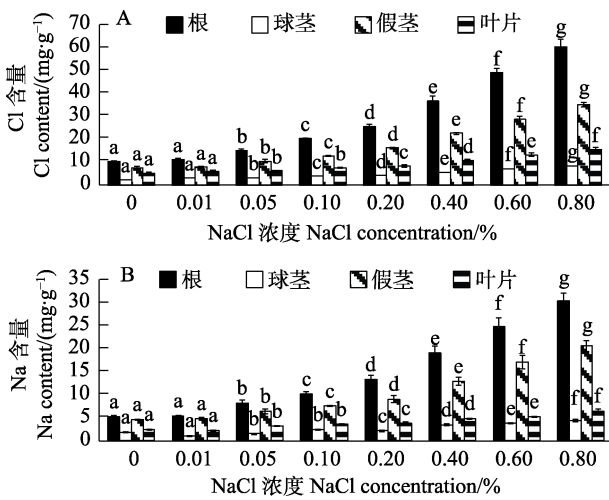
图 2 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位全镁、全钙含量的变化情况

Fig. 2 Changes of total Mg, total Ca content in different parts of Pisang Awak treated with different salt concentrations

降。当盐浓度 $\leq 0.2\%$ 时，叶片的全钙含量与对照差异不显著；当盐浓度为 $0.2\% \sim 0.8\%$ 时，叶片的全钙含量开始缓慢下降。叶片的全镁、全钙含量在各盐浓度的下降比例均小于其他部位。

### 2.3 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位 Cl、Na 含量的影响

由图 3 可知，粉蕉根部的 Cl、Na 含量均高于其他部位，Cl、Na 含量依次为根>假茎>叶片>球茎。当盐浓度为 $0.01\%$ 时，各部位的 Cl、Na 含量与对照差异不显著；当盐浓度 $>0.01\%$ 时，叶片和球茎中的 Cl、Na 含量随着盐浓度的升高而缓慢升高，根和假茎中的 Cl、Na 含量随着盐浓度的升高而快速升高；根和假茎中的升高幅度远大于叶片和球茎。



不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

图 3 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位 Cl、Na 含量的变化

Fig. 3 Changes of Cl and Na content in different parts of Pisang Awak treated with different salt concentrations

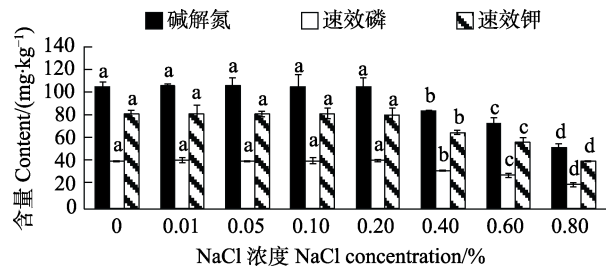
### 2.4 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量的影响

由图 4 可知，当盐浓度 $\leq 0.2\%$ 时，土壤中的碱解氮、速效磷、速效钾的含量与对照差异不显著；当盐浓度 $>0.2\%$ 时，土壤中的碱解氮、速效磷、速效钾的含量呈现缓慢下降趋势。

### 2.5 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤交换性镁、交换性钙含量的影响

由图 5 可知，当盐浓度 $\leq 0.2\%$ 时，土壤中的

交换性镁、交换性钙含量与对照差异不显著；当盐浓度 $>0.2\%$ 时，土壤中的交换性镁、交换性钙含量呈缓慢下降趋势。

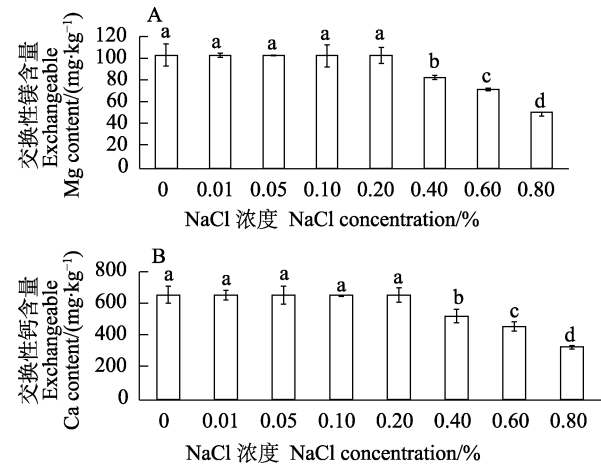


不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

图 4 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤中碱解氮、速效磷、速效钾含量的变化

Fig. 4 Changes of alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium content in Pisang Awak soil treated with different salt concentrations



不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

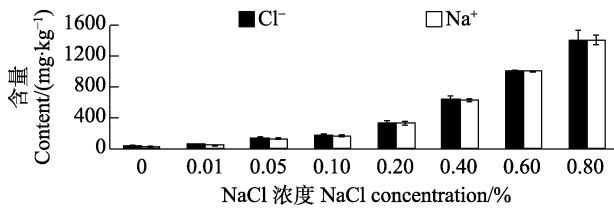
Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

图 5 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤交换性镁和交换性钙含量的变化

Fig. 5 Changes of exchangeable Mg and exchangeable Ca content in Pisang Awak soil treated with different salt concentrations

### 2.6 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤 Cl、Na 含量的影响

由图 6 可知，随着盐浓度的升高，土壤中的 Cl、Na 含量总体呈上升趋势；当盐浓度 $\leq 0.1\%$ 时，土壤中的 Cl、Na 含量呈缓慢升高趋势；当盐浓度 $>0.1\%$ 时，土壤中的 Cl、Na 含量呈快速升高趋势。



不同小写字母表示同一部位的不同盐浓度处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments with different salt concentrations in the same part ( $P < 0.05$ ).

图 6 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤 Cl、Na 含量的变化  
Fig. 6 Changes of Cl and Na content in Pisang Awak soil treated with different salt concentrations

### 3 讨论

#### 3.1 不同浓度盐胁迫对粉蕉各部位营养元素含量的影响

植物根的细胞膜是一种半透膜,在正常情况下,根细胞的水势小于土壤的水势,因而产生了渗透压,使得细胞从土壤中吸收水分。同样,根细胞内的水分也因渗透压的存在而流入根的导管,由于蒸腾拉力的作用使水分经过根和茎的导管最终流入水势最低的叶片里。在此过程中,土壤中的  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等各种离子随着水分一起进入植物体内<sup>[9]</sup>。在盐胁迫条件下,由于土壤中存在较高的盐分使得水势较低,导致土壤和根细胞之间的渗透压之差变低,降低了根细胞吸水的能力,土壤中的  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等进入植物体内的量也随之减少;另一方面,盐离子与各种营养元素相互竞争,进入细胞也会造成植物养分离子吸收的减少<sup>[2]</sup>。因此,这 2 个方面原因导致盐胁迫下植物体内营养元素含量的降低。本研究结果显示,盐胁迫导致粉蕉各部位全氮、全磷、全钾、全镁及全钙营养元素的降低,这与很多作物相同,如菠菜、巴西蕉等<sup>[10-11]</sup>。

植株不同部位对各离子的吸收能力不同。如耐盐菠菜品种的叶片选择性吸收  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,以降低  $\text{Na}^+$  对叶片的影响<sup>[10]</sup>。本研究结果表明,各浓度下的盐胁迫时,粉蕉叶片和球茎的 K、Ca、Mg 元素的下降比例远低于其他部位,这说明粉蕉在遭受盐胁迫时,叶片和球茎可能具有选择性吸收  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的能力,与香牙蕉中的巴西蕉品种的研究结果一致<sup>[11]</sup>。

为维持细胞内微环境的稳定,调节盐离子的种类和分布是高等植物的一个重要耐盐机制<sup>[12]</sup>。

植物体除了在细胞水平上使  $\text{Na}^+$  外排以减少细胞对  $\text{Na}^+$  的吸收外,还对  $\text{Na}^+$  在不同部位的分布进行调节以降低其对植物的伤害。植物体内存在明显的排出和排斥  $\text{Na}^+$  的机制,主要涉及以下一个或多个过程<sup>[13]</sup>: (1) 根细胞不吸收  $\text{Na}^+$ , 即使进入根细胞也通过  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  泵再排出; (2) 植物将吸收的  $\text{Na}^+$  贮存于根茎基部,从而阻止  $\text{Na}^+$  向叶片运输; (3) 植物吸收的  $\text{Na}^+$  在运输过程中,被茎木质部或韧皮部传递细胞吸收; (4) 植物吸收的  $\text{Na}^+$  向地上部特别是叶片和果实运输的选择性降低,而  $\text{K}^+$  运输选择性增加。植物通过这些机制有效降低体内尤其是地上部的  $\text{Na}^+$  含量,缓解盐胁迫的伤害。在本研究中,粉蕉在盐胁迫过程中,根和假茎部位的 Cl 和 Na 元素含量的增加量远大于叶片和球茎的增加量,这表明粉蕉耐盐机制可能是将较多的  $\text{Na}^+$  贮存于根部,从而阻止  $\text{Na}^+$  向叶片运输及  $\text{Na}^+$  在运输过程中被茎木质部或韧皮部传递细胞吸收。这与巴西蕉的耐盐机制相同<sup>[11]</sup>,耐盐菠菜品种根系、叶柄及水稻根部和叶鞘具有较强聚集  $\text{Na}^+$  的能力,也证明了相同的耐盐机制<sup>[10, 14-15]</sup>。

#### 3.2 不同浓度盐胁迫对粉蕉土壤营养元素含量的影响

根系是连接植物和土壤的纽带,作为吸收养分的主要器官,对于植物的生长发育起着重要作用。作物根系吸收土壤中的矿质养分主要分为 3 个过程: (1) 土壤矿质离子向根表的迁移; (2) 离子吸附在根部细胞膜表面; (3) 离子跨膜运输进入根细胞内。根附近土壤与远处土壤的养分离子的浓度差是远处土壤的养分离子向根附近土壤产生养分扩散和质流的动力<sup>[16]</sup>。在本研究中,当盐浓度  $\leq 0.2\%$  时,土壤碱解氮、速效磷、速效钾、交换性镁、交换性钙与对照差异不显著,表明远处土壤的矿质离子向根附近土壤的迁移正常,从而补充了消耗量;但当盐浓度  $> 0.2\%$  时,高盐浓度降低了根附近土壤与远处土壤离子浓度差,使得养分的扩散和质流受到了阻碍,根附近土壤的养分离子的消耗无法得到补充,因此虽然高盐土壤养分消耗较少(高盐处理的植株不同部位各养分离子含量显著小于低盐处理),但由于无法补充消耗量,导致低盐土壤的养分含量仍然略大于高盐土壤。

综上所述,粉蕉在遭受盐胁迫的过程中,抑制了根部营养元素的吸收,导致粉蕉各部位营养元素含量的下降。粉蕉各部位的 N、P 含量下降

比例相似, 但叶片和球茎 K、Mg、Ca 含量下降比例远低于其他部位, 表明粉蕉在遭受盐胁迫时, 叶片和球茎可能具有选择性吸收  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的能力。粉蕉在盐胁迫的过程中, 根和假茎部位的 Cl 和 Na 元素含量的增加量远大于叶片和球茎的增加量, 表明粉蕉耐盐机制是通过根和假茎积累较多的 Na 和 Cl 从而阻止向叶片的运输。粉蕉在盐胁迫的过程中, 在盐浓度  $\leq 0.2\%$  时, 远处土壤的矿质离子向根附近土壤的迁移正常, 但当盐浓度  $> 0.2\%$  时, 盐分降低了远近养分离子间的浓度差从而阻挡了远处土壤的矿质离子向根附近的流动。

### 参考文献

- [1] 高英, 同延安, 赵营, 樊红柱. 盐胁迫对玉米发芽和苗期生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(2): 30-34.  
GAO Y, TONG Y A, ZHAO Y, FAN H Z. Effects of salt stress on maize germination and seedling growth[J]. Soil and Fertilizer Science in China, 2007(2): 30-34. (in Chinese)
- [2] PARIDA A K, DAS A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3): 324-349.
- [3] 雷越. 宝岛蕉在海水农业中生长生理的响应[D]. 海口: 海南大学, 2015.  
LEI Y. The growing and physiological response of Baodao banana in seawater agriculture[D]. Haikou: Hainan University, 2015. (in Chinese)
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.  
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021. (in Chinese)
- [5] 邹瑜, 林贵美, 牟海飞, 吴代东, 李朝生, 韦华芳, 张进忠, 李小泉. 粉蕉新品种“金粉1号”的选育[J]. 中国南方果树, 2011, 40(1): 47-48.  
ZOU Y, LIN G M, MOU H F, WU D D, LI C S, WEI H F, ZHANG J Z, LI X Q. Breeding of a new cultivar ‘Jinfen No. 1’ of banana[J]. South China Fruits, 2011, 40(1): 47-48. (in Chinese)
- [6] 杨宇. “巴西”蕉和“宝岛”蕉营养吸收规律研究[D]. 海口: 海南大学, 2018.  
YANG Y. Study on nutrition absorption law of ‘Baxi’ and ‘Baodao’ banana[D]. Haikou: Hainan University, 2018. (in Chinese)
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析: 第三版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
BAO S D. Soil agrochemical analysis: third edition[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [8] 杨苞梅, 林电, 李家均, 刘芳, 朱治强, 程宁宁. 香蕉营养规律的研究[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(1): 117-121.  
YANG B M, LIN D, LI J J, LIU F, ZHU Z Q, CHENG N N. Research on the nutritional law of banana[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2007, 22(1): 117-121. (in Chinese)
- [9] 石江华, 廖红, 严小龙. 植物根系向地性感应的分子机理与养分吸收[J]. 植物学报, 2005, 22(5): 523.  
SHI J H, LIAO H, YAN X L. Molecular mechanism and nutrient absorption of geotropic sensing in plant roots[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 22(5): 523. (in Chinese)
- [10] 孙锦. 菠菜对海水胁迫响应的生理机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.  
SUN J. Studies on physiological mechanism of spinach to sea water stress[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [11] 蒋晶. 盐胁迫对巴西蕉幼苗生长和生理影响及其钙的缓解效应研究[D]. 海口: 海南大学, 2011.  
JIANG J. Growth and physiology effect of Brazil banana seedlings under salinity stress and alleviatory effect of calcium[D]. Haikou: Hainan University, 2011. (in Chinese)
- [12] YEO A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49 (323): 915-929.
- [13] APSE M P, AHARON G S, SNEDDEN W A, BLUMWALD E. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar  $Na^+/H^+$  antiport in *Arabidopsis*[J]. Science, 1999, 285(5431): 1256-1258.
- [14] RUBIO F, GASSMANN W, SCHROEDER J I. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance[J]. Science, 1995, 270(5242): 1660-1663.
- [15] 王志春, 杨福, 陈渊, 梁正伟. 苏打盐碱胁迫下水稻体内的  $Na^+$ 、 $K^+$  响应[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1198-1203.  
WANG Z C, YANG F, CHEN Y, LIANG Z W. Sodium and potassium responses to sodicity stress in rice[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(3): 1198-1203. (in Chinese)
- [16] REICHARDT K, TIMM L C. How plants absorb nutrients from the soil[M]//Soil, plant and atmosphere. Cham: Springer, 2020: 313-330.