

# 盐碱胁迫对平欧杂种榛生长及叶片 内源激素含量的影响

张丽<sup>1,2</sup>, 贾志国<sup>2</sup>, 马庆华<sup>1</sup>, 王贵禧<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 河北北方学院, 河北 张家口 075000)

**摘要:**利用中性盐 NaCl、碱性盐 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 及混合盐碱(NaCl: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 1:1)设置3种盐碱胁迫处理,研究平欧杂种榛“辽榛3号”在不同类型、不同浓度的盐碱胁迫下生长指标及内源激素的变化,分析各内源激素与生长指标的相关关系。结果表明:3种盐碱胁迫对平欧杂种榛株高、新梢长度及叶片数净生长量、地上部生物量、总生物量抑制作用明显,且NaCl胁迫>混合盐碱胁迫>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫,而各处理根冠比显著增加;低浓度盐碱胁迫对地径有明显的增粗效应,在50、100 mmol·L<sup>-1</sup>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫下,地下部生物量显著增加;此外,NaCl胁迫还显著降低了平欧杂种榛叶片含水量。3种胁迫条件下,平欧杂种榛叶片的ABA含量明显增加,且(GA+IAA+ZR)/ABA比值与对照相比均显著降低,同时发现Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫下ABA积累更快,且与胁迫浓度无关,而NaCl胁迫下ABA含量与胁迫浓度显著正相关。相关分析表明:(GA+IAA+ZR)/ABA比值与株高、新梢长度、新梢叶片数存在显著正相关,而与根冠比呈极显著的负相关。由上可知,平欧杂种榛在中性盐下的生长指标受抑制程度大于碱性盐和混合盐碱,不同盐碱胁迫下内源激素响应特征也存在差异,表明平欧杂种榛对Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>的耐受力高于NaCl。

**关键词:**平欧杂种榛;盐碱胁迫;生长;内源激素

中图分类号:S664.4

文献标识码:A

## Effects of Saline-alkali Stresses on the Growth and Endogenous Hormone Contents in Leaves of Hybrid Hazelnut Liaozhen 3

ZHANG Li<sup>1,2</sup>, JIA Zhi-guo<sup>2</sup>, MA Qing-hua<sup>1</sup>, WANG Gui-xi<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Forestry Silviculture of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

**Abstract:** Three types of salt-alkaline stress conditions were performed with NaCl and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> to study the changes of the growth indexes and endogenous hormone contents in leaves of Ping'ou hybrid hazelnut (*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*, Liaozhen 3) under different saline-alkali stresses. The correlations between growth indexes and endogenous hormones were analyzed. The results showed that the net growth of plant height, new shoots length and number of leaves, the shoot biomass, the total biomass of Ping'ou hybrid hazelnut were inhibited apparently under the three salt-alkali stresses with the order of NaCl stress > mixed salt-alkaline stress > Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> stress, while the root/shoot ratio increased significantly. The stem diameter widened with low salt-alkali stress concentration and the root biomass raised significantly in 50, and 100 mmol·L<sup>-1</sup>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> stress. Furthermore, NaCl stress resulted in sig-

收稿日期:2015-02-03

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“平欧杂种榛耐盐碱性能评价及耐盐碱品系筛选”(RIF2012-11);林业公益性行业科研专项“重要榛属植物资源种质创新培育与利用”(201304710);河北省科技计划项目“平欧杂交榛不同品种耐盐性评价及高效栽培技术研究”(14236802D-3)

作者简介:张丽,女,博士研究生,讲师,从事经济林栽培与育种工作。E-mail:yingrizl@126.com

\* 通讯作者。Tel:010-62889667。E-mail:wangx0114@126.com

nificant decrease of water content in leaves. The ABA contents of leaves increased significantly with the three salt-alkali stresses, and the (GA + IAA + ZR)/ABA ratio also reduced apparently compared with the control. Moreover, the ABA synthesis was more rapid, and it had no relation with the stress concentration in  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , but the ABA content were directly related with the concentration of NaCl stress. The correlation analysis indicated that significant positive correlation was found between the (GA + IAA + ZR)/ABA ratio and the plant height, new shoots length and leaves, whereas the (GA + IAA + ZR)/ABA ratio and the root/shoot ratio were negatively related. In conclusion, the inhibition on growth indexes imposed by neutral salt were greater than that by alkaline salt and mixed salt-alkaline stress, the difference in response characteristics of endogenous hormones was found under the three salt-alkali stresses, and the Ping'ou hybrid hazelnut showed stronger tolerance to  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  than to NaCl.

**Key words:** Ping'ou hybrid hazelnut; salt-alkali stress; growth; endogenous hormone

盐碱地是地球上广泛存在的一种土壤类型。中国盐碱地面积较大,东北西部、华北、西北内陆地区和滨海地区都有分布。由于生物气候等环境因素的差异,盐碱地的离子成分在不同地区也存在差异,有  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等形成的盐化土,也有  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  等形成的碱化土<sup>[1]</sup>。在我国大面积的盐碱地中,土壤盐化和碱化往往相伴发生,多为复合盐碱地。近年来,关于盐胁迫的研究不再局限于单纯的中性盐胁迫,越来越多的科研工作者开展了不同植物耐混合盐碱能力的研究,在盐碱伤害机理、植物的适应性反应及如何提高植物的耐盐碱能力等方面取得了一定的成果<sup>[2-5]</sup>。平欧杂种榛 (*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*) 是我国新兴推广栽培的榛树栽培种,通过原产我国的平榛与外来的欧洲榛种间杂交选育而来,综合了二者的优良遗传特性,既具有欧洲榛果大、壳薄、丰产的特点,又具有平榛抗寒、耐瘠薄、适应性强的特点<sup>[6]</sup>。一直以来,植物内源激素对逆境的生理响应是植物抗性研究的重点,如干旱<sup>[7]</sup>、低温<sup>[8]</sup>及盐胁迫下激素含量的变化。有关盐胁迫与植物激素关系的研究取得了一定的进展,植物在盐胁迫条件下,各种内源激素含量发生变化,盐胁迫促进了ABA和乙烯的合成,抑制了IAA、CK、ZR的合成,激素之间通过相互协调共同调控植物的生长发育及胁迫后的生理生化反应<sup>[9-12]</sup>。目前,有关混合盐碱胁迫与内源激素的关系未见报道。我国榛子栽培生产主要位于东北、华北和西北地区,这些地区均分布着不同程度的盐碱地类型<sup>[13,14]</sup>,有关榛子耐盐碱表现及机理的研究对于推进其产业栽培发展及盐碱地的利用具有重要意义。

本研究以平欧杂种榛优良品种“辽榛3号”为试材,采用酶联免疫吸附法测定盐碱胁迫下平欧杂种榛叶片4种内源激素的含量,结合生长量和生物量

的变化,分析各激素对不同类型、不同浓度盐碱胁迫响应的差异性及与生长发育的关系,探讨平欧杂种榛对盐碱胁迫的生长反应及其激素响应机理,为榛树耐盐性评价及抗盐碱能力的提高提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试验设计

以生产上推广栽培的平欧杂种榛优良品种“辽榛3号” (*Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*, ‘Liaozhen 3’) 为试验材料,试验在中国林业科学研究院科研温室中进行。选择生长健壮,根系完整,形态基本一致的1年生压条苗栽植于上、下口径30 cm × 23 cm的塑料盆中,每盆栽植1棵,基质以草炭土为主,混合少量珍珠岩,体积比5:1。于饱满芽上方2 cm处截干,统一定干高度为30 cm左右,以保证苗木的一致性,之后进行正常栽培管理,60 d后进行盐碱胁迫处理。

将试验材料随机分成16份,每份12株,分别设置中性盐(NaCl)、碱性盐( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、混合盐碱(NaCl:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = 1:1)3种不同类型的盐碱胁迫处理,设总盐浓度分别为50、100、150、200、250  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  5个梯度,共15个盐处理组合,对照不加盐,每4株为一组,3次重复。每盆植株浇灌1.5 L相应浓度的处理液,分3次完成,胁迫第1天用500 mL相应浓度的处理液浇灌1次,第2、3天各补500 mL,处理期间对供试苗进行日常的管理,胁迫30 d后进行各项生长指标和内源激素含量的测定。

### 1.2 测定项目及方法

1.2.1 生长指标的测定 株高、地径、新梢长度、新梢基径和新梢叶片数的测定:将待测植株编号,盐碱处理前按常规方法用游标卡尺和卷尺测定株高、地径、新梢长度、新梢基径,统计新梢完全展开的叶片

数,盐碱胁迫结束后,再次测定上述指标,计算各指标净生长量。共测定6株,每2株一组,重复3次。

苗生物量的测定:试验结束后,各处理分根、茎、叶分别称鲜质量;105℃杀青15 min,80℃烘干至恒质量,称其干质量,计算根、茎、叶的含水量、地上部生物量、地下部生物量、总生物量及根冠比,每处理测定6株,每2株一组,重复3次。

1.2.2 叶片内源激素含量的测定 具体测定方法参照何钟佩<sup>[15]</sup>酶联免疫吸附法(ELISA)。中国农业大学提供试剂盒及激素提取、含量测定方法。盐碱胁迫处理30 d后,选取平欧杂种榛“辽榛3号”枝条中上部2~3片叶,液氮冷冻。将叶片充分混匀,称取0.2 g,重复3次。采用4 mL 80%甲醇溶液(含二叔丁基对甲苯酚(BHT)1 mmol·L<sup>-1</sup>)作为提取液,加少量石英砂和PVP研磨成匀浆,4℃提取8 h,4 000 r·min<sup>-1</sup> 4℃离心15 min,下层沉淀继续用80%甲醇溶液重复提取3次,合并上清液,氮气吹干,PBSTG(样品稀释液由磷酸盐缓冲液、Tween-20、明胶组成)溶解定容,用ELISA分别测定叶片中的ABA、IAA、ZR、GA含量。

### 1.3 数据处理

应用Microsoft Excel软件进行数据整理和绘图,应用SPSS16.0软件进行数据统计,用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理间的差异;用Pearson法相关系数评价激素含量与生长指标的相关关系;图表中数据为平均值±标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”株高、地径及新梢净生长量的影响

盐碱胁迫下,平欧杂种榛“辽榛3号”的生长状况受到不同程度的影响,结果(表1)表明:中性盐NaCl胁迫下,株高明显被抑制,且浓度越高抑制作用越明显,150 mmol·L<sup>-1</sup>时与对照的差异极显著,株高净生长量仅为对照的24.3%;混合盐碱胁迫对株高的抑制作用略小,200 mmol·L<sup>-1</sup>以上时与对照的差异显著;而碱性盐Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫对株高无明显抑制作用。低浓度的中性盐或碱性盐胁迫下地径明显增粗,在100 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl和50 mmol·L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫下,地径净生长量分别是对照的2.6和2.9倍,而混合盐碱、高浓度中性盐和碱性盐胁迫对地径的影响不显著。随着3种盐碱浓度的增加,新梢长度均呈现逐渐下降的趋势,在250 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>及混合盐碱胁迫下,新梢长度净生长量分别为对照的18.0%、42.9%、31.9%,与对照的差异极显著。新梢基径随着NaCl和混合盐碱胁迫浓度的增加而逐渐减小,且在150 mmol·L<sup>-1</sup>时与对照的差异极显著,碱性盐胁迫对新梢基径无明显影响。3种盐碱胁迫均影响了新梢叶片数的增加,中性盐、混合盐碱、碱性盐胁迫分别在浓度100、150、200 mmol·L<sup>-1</sup>时与对照的差异显著,表明新梢对3种盐胁迫的耐受浓度存在差异。

表1 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”株高、地径及新梢净生长量的变化

盐碱处理	处理浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )	株高/cm	地径/mm	新梢长度/cm	新梢基径/mm	新梢叶片数/片
NaCl 胁迫	0(CK)	25.42±4.60A	0.35±0.04AB	37.3±6.70A	4.59±0.60A	7.2±1.02A
	50	23.75±5.70A	0.67±0.14AB	35.6±5.27A	4.17±0.47A	8.8±1.11A
	100	16.58±5.60AB	0.91±0.22A	20.5±7.95AB	3.27±0.64AB	4.2±0.73AB
	150	6.17±1.09B	0.33±0.10B	8.3±1.45B	2.54±0.39BC	2.6±0.51cB
	200	6.50±1.48B	0.49±0.19AB	6.7±2.17B	2.39±0.38BC	2.4±1.21B
	250	6.08±1.73B	0.22±0.04B	6.7±1.24B	1.37±0.20C	1.4±0.75B
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 胁迫	0(CK)	25.42±4.60ab	0.35±0.04B	37.3±6.70A	4.59±0.60ab	7.2±1.02a
	50	18.17±3.89ab	1.01±0.24A	28.1±8.11AB	5.11±0.33a	6.0±0.77ab
	100	15.58±2.38ab	0.89±0.19AB	22.1±4.42AB	4.32±0.41ab	5.0±0.32ab
	150	27.17±8.36a	0.52±0.15AB	19.7±0.89AB	3.70±0.38b	5.2±1.50ab
	200	18.92±6.20ab	0.58±0.14AB	16.7±2.87B	4.58±0.10ab	4.4±1.12b
	250	14.08±3.16b	0.49±0.08AB	16.0±5.63B	3.61±0.44b	3.8±0.80b
混合盐碱胁迫	0(CK)	25.42±4.60A	0.35±0.04ab	37.3±6.70A	4.59±0.60A	7.2±1.02a
	50	29.08±5.19AB	0.77±0.16a	36.0±5.94A	4.69±0.66A	6.8±1.16a
	100	20.83±4.30ABC	0.70±0.11a	23.2±3.97AB	3.13±0.33AB	4.6±1.4ab
	150	22.08±4.27ABC	0.71±0.24a	19.3±6.19AB	2.92±0.37B	4.0±0.63b
	200	10.50±2.24BC	0.49±0.13ab	13.8±4.86B	2.58±0.43B	2.8±0.58b
	250	7.17±1.24C	0.26±0.10b	11.9±1.08B	2.55±0.30B	2.0±0.32b

注:表中数据为平均值±标准差,同列中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )。

## 2.2 盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”生物量及根冠比的影响

平欧杂种榛“辽榛3号”不同部位对不同类型、不同浓度盐碱胁迫的敏感性各不相同,图1a表明:地上部生物量随着NaCl和混合盐碱胁迫浓度的增加呈逐步减小的趋势,与对照差异显著;而 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫对其影响较小,只有在高浓度 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫时才明显降低( $P < 0.05$ )。地下部干质量随3种胁迫浓度的增加呈先升后降的趋势(图1b),高浓度的NaCl胁迫一定程度上降低了根系干质量( $P < 0.01$ ),低浓度的NaCl和混合盐碱胁迫使根系干质

量略有上升,但差异不明显,只有 $50、100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫显著增加了地下部干质量。从图1c可看出:单株总生物量的变化趋势与地上部干质量的变化基本一致,随着NaCl和混合盐碱胁迫浓度的增加而减小,均在 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时与对照的差异极显著; $150、200、250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaCl胁迫下的单株生物量分别为对照的 $85.7\%、74.9\%、69.6\%$ ;碱性盐胁迫对总生物量无明显影响。图1d表明:平欧杂种榛“辽榛3号”根冠比在盐碱胁迫下均不同程度的增加,且与对照的差异显著。

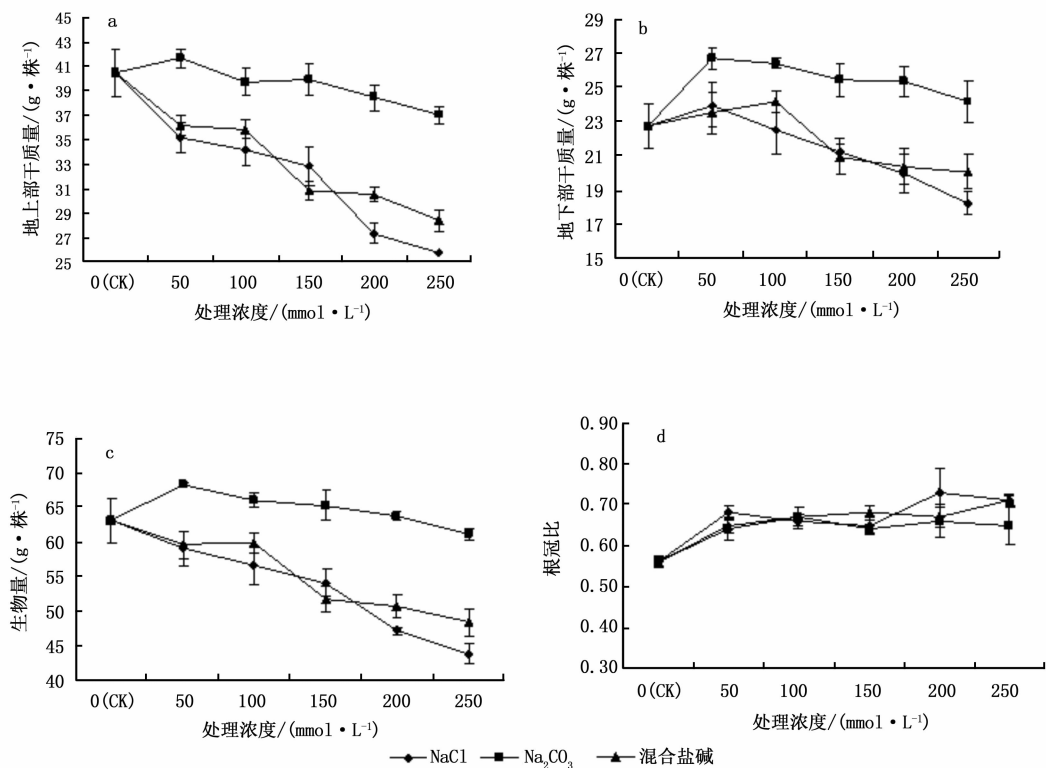


图1 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”生物量及根冠比的变化

## 2.3 盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”根、茎、叶含水量的影响

植株体内维持较高的含水量是植物进行各种新陈代谢反应和保持正常生长发育状态的需要,盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”不同部位的含水量产生了影响。图2a表明:中性盐NaCl胁迫极显著降低了叶片含水量,胁迫浓度越高,降低幅度越大; $200、250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 高浓度的混合盐碱胁迫对叶片含水量的影响也达显著水平,而 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫对其影响不明显。3种盐碱胁迫也一定程度上降低了茎、

根的含水量,但没有叶片明显。此结果表明:中性盐和混合盐碱胁迫对叶片的伤害更显著,这与试验过程中观察到的叶片盐害症状一致,高浓度的中性盐和混合盐碱胁迫下,叶片边缘焦枯,黄化现象严重。

## 2.4 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”叶片中内源激素含量的变化

盐碱胁迫下植物体内源激素含量发生变化,从而调控盐碱胁迫后植物的生长发育及一系列的生理生化反应。图3a表明:3种盐碱胁迫下,平欧杂种榛“辽榛3号”叶片的ABA含量均明显比对照高;叶

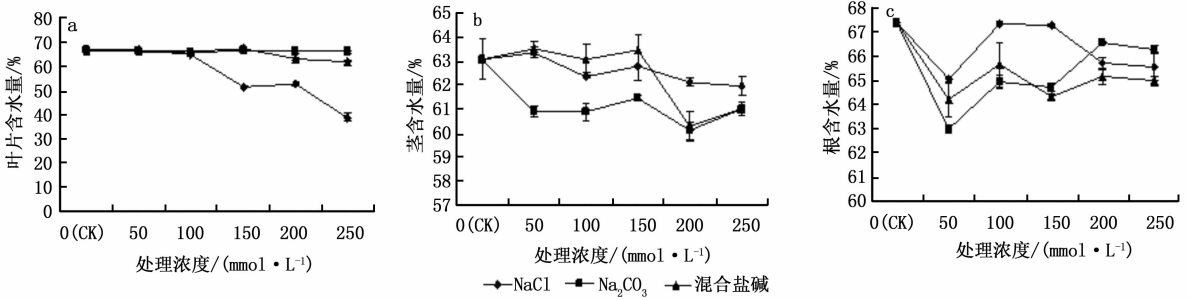


图2 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”根、茎、叶含水量的变化

片的ABA含量随中性盐和混合盐碱浓度的增加不断升高,NaCl浓度达 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时其含量升高到对照的2.2倍; $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 胁迫下,叶片的ABA表现为先升后降的趋势,在 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,ABA含量迅速积累到一个较高的水平,在浓度 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,ABA含量趋于稳定,尽管 $250\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 高浓度的碱性盐胁迫使其含量较低浓度显著下降,但仍显著高于对照。由图3b可看出:叶片的GA含量随胁迫浓度的增加呈先升后降再下降的趋势;胁

迫浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,各处理叶片的GA含量均有所下降,中性盐和碱性盐胁迫均与对照的差异极显著( $P < 0.01$ );随胁迫浓度的增加,叶片的GA含量有所回升,200 $\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时再次降低,与对照相比,高浓度的中性盐和混合盐碱胁迫下降显著。3种盐碱胁迫均导致叶片的IAA含量总体水平降低(图3c)。低浓度胁迫对叶片的ZR含量无明显影响,高浓度的中性盐、碱性盐胁迫下(200、250 $\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )ZR含量极显著增加( $P < 0.01$ )。

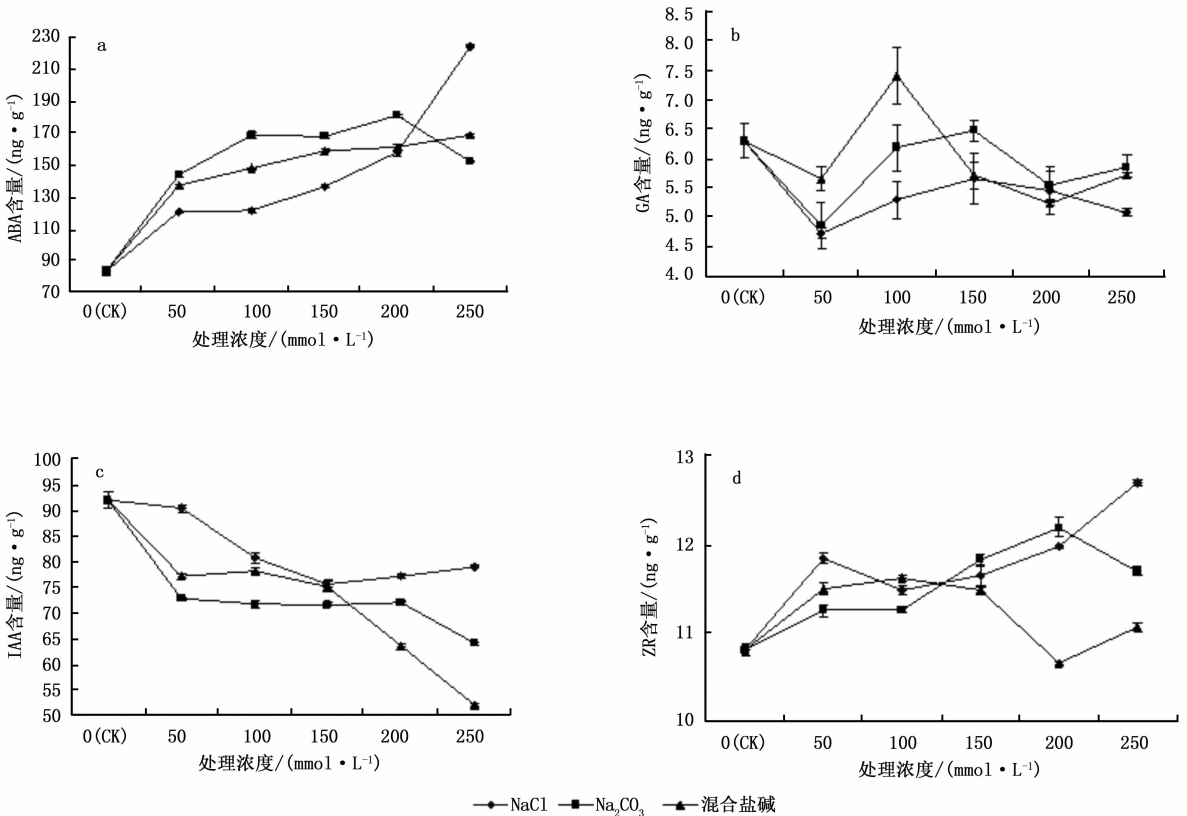


图3 不同盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”叶片4种内源激素含量的影响

## 2.5 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”叶片中(GA + IAA + ZR)/ABA的变化

植物体内各种内源激素的相互协调配合决定了

植物的生长发育状态,盐碱胁迫下,单一激素含量的变化往往不能较好地反映植物体内部生理状态的变化<sup>[9]</sup>,而(GA + IAA + ZR)/ABA比值体现了生长促

进激素与生长抑制激素的平衡关系,可以更好的表现植物的生长状态<sup>[16]</sup>。图4表明:3种胁迫条件下,平欧杂种榛“辽榛3号”叶片中(GA+IAA+ZR)/ABA比值与对照相比均显著降低;当NaCl浓度大于100 mmol·L<sup>-1</sup>时,随NaCl浓度的增加,该比值逐渐

下降,且各处理间差异显著;Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫下,该比值下降,但各处理间差异不显著。该比值的变化表明:3种胁迫条件均抑制了平欧杂种榛“辽榛3号”的生长,受抑制程度与NaCl浓度成正比,与Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>浓度无明显关系。

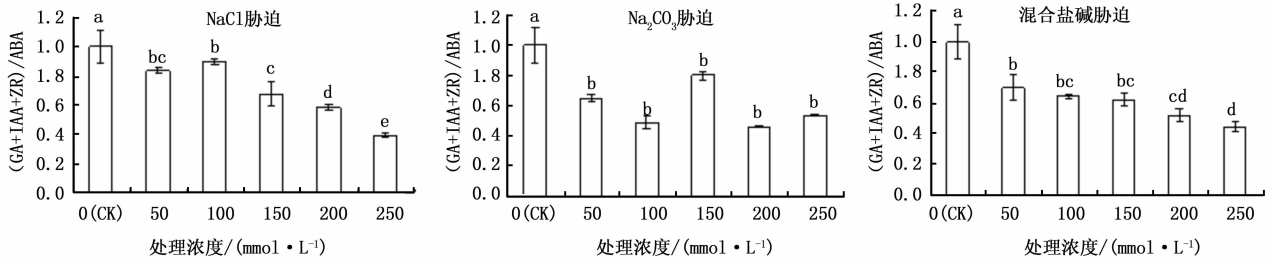


图4 不同盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”叶片(GA+IAA+ZR)/ABA的影响

(图中不同小写字母表示各盐碱处理间差异显著( $P < 0.05$ ))

## 2.6 盐碱胁迫下平欧杂种榛“辽榛3号”叶片中激素与生长指标的相关性分析

ABA作为主要的生长抑制激素,直接抑制植物枝条和叶片的生长,相反IAA则是促进生长的关键激素<sup>[10]</sup>,盐碱胁迫后二者的含量及(GA+IAA+ZR)/ABA比值共同控制并调节着植物的生长。表2表明:ABA含量与新梢长度、新梢叶片数呈显著负相关,但与根冠比成显著正相关,说明ABA对平欧杂种榛“辽榛3号”地上部生长的抑制导致了根冠比

的增加;而IAA含量与新梢长度、新梢叶片数表现显著或极显著正相关性。(GA+IAA+ZR)/ABA比值与株高、新梢长度、新梢叶片数均呈显著或极显著正相关,但与根冠比呈极显著的负相关。相比单一激素水平,该比值更好地反映了平欧杂种榛“辽榛3号”的生长发育状态。地上部各生长指标之间均存在显著或极显著正相关关系,与根冠比则显著负相关。

表2 平欧杂种榛“辽榛3号”叶片中ABA、IAA、(GA+IAA+ZR)/ABA与各生长指标的相关系数

激素与生长指标	ABA	IAA	(GA+IAA+ZR)/ABA	株高 净生长量	地径 净生长量	新梢长度 净生长量	新梢基径 净生长量	新梢叶片数 净生长量
IAA	-0.403							
(GA+IAA+ZR)/ABA	-0.902**	0.699**						
株高净生长量	-0.490	0.438	0.557*					
地径净生长量	-0.171	0.418	0.201	0.472				
新梢长度净生长量	-0.582*	0.570*	0.686**	0.923**	0.383			
新梢基径净生长量	-0.323	0.482	0.397	0.726**	0.608*	0.727**		
新梢叶片数净生长量	-0.512*	0.702**	0.651**	0.844**	0.501*	0.928**	0.826**	
根冠比	0.577*	-0.453	-0.668**	-0.587*	-0.116	-0.642**	-0.623**	-0.567*

注:表中\*表示相关性达0.05显著水平;\*\*表示相关性达0.01显著水平。

## 3 结论与讨论

盐碱胁迫下植物最直观的表现就是生长发育受抑制,生长量和生物量是衡量植物抗盐碱能力的直接指标<sup>[17]</sup>。本研究中,盐碱胁迫导致了平欧杂种榛“辽榛3号”的株高、新梢净生长量、生物量不同程度的降低,表明其对不同盐碱胁迫的忍耐能力存在差

异。分析新梢长度、新梢叶片数、生物量及叶片含水量4个指标可知:平欧杂种榛“辽榛3号”对Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫的忍耐能力最强,对混合盐碱胁迫的忍耐能力次之,对NaCl胁迫的忍耐能力最弱;200 mmol·L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫对平欧杂种榛“辽榛3号”各生长指标影响不大,而100~150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl胁迫下各项指标均显著降低,说明平欧杂种榛“辽榛3号”对碱

性盐有一定的忍耐能力,此结论与之前平欧杂种榛“辽榛 3 号”电阻抗图谱研究结论一致<sup>[18]</sup>。盐碱胁迫导致平欧杂种榛“辽榛 3 号”生物量的减少,根冠比增加,这与其它植物的研究结果一致<sup>[19-20]</sup>。一般认为,根冠比的增加是由于地上部生长受抑制程度大于根系引起<sup>[21-22]</sup>。中性盐和混合盐碱胁迫对平欧杂种榛“辽榛 3 号”地上部生长的抑制作用明显,这是根冠比增加的主要原因;而碱性盐胁迫对地上部生长影响较小,高浓度对地上部生物量的抑制作用明显,同时,低浓度碱性盐还显著增加了地下部干质量。因此,除地上部生物量的减少,地下部干质量的增加也是碱性盐胁迫根冠比增加的另一原因。

干旱或盐胁迫下,植物体内 ABA 迅速积累是对逆境的一种生理反应,ABA 作为初始信号与 ABA 受体结合,该受体包括 ABA 受体家族、蛋白磷酸酶/蛋白激酶,通过磷酸酶和激酶的调控激活细胞内的第二信使系统,诱导盐胁迫相关基因表达,从而保证逆境下植物膜离子转运系统的完整性以维持细胞内的离子平衡<sup>[23-24]</sup>。前人研究表明,盐碱胁迫下,植物体内的 ABA 含量明显增加<sup>[10-11,25-27]</sup>,与本研究结果一致(图 3a);但混合盐碱和碱性盐胁迫下,当处理浓度达  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  以上时,ABA 含量趋于稳定,表明平欧杂种榛“辽榛 3 号”叶片中 ABA 含量迅速升高到定值时,增强了其对胁迫的调节适应能力,即表现出其抗碱性盐和混合盐碱胁迫的一面,刘桂丰等<sup>[12]</sup>和石松利等<sup>[16]</sup>在研究植物抗盐能力时也提出了类似的观点,即 ABA 变化趋势的趋于稳定可以作为植物抗盐性的指标。关于耐盐与不耐盐水稻品种的研究也指出,对不同耐盐性的品种胁迫后 ABA 响应机制及 ABA 合成能力均存在差异,抗盐性强的品种,在可忍受胁迫范围内,ABA 迅速积累以维持植物正常生长<sup>[28]</sup>。

一般认为,植物内源激素 GA、IAA 和 ZR 为生长促进型激素,多数研究认为盐胁迫诱导生长促进型激素减少<sup>[29-30]</sup>,但也有相反的报道<sup>[31]</sup>。本试验发现,平欧杂种榛“辽榛 3 号”叶片中除 IAA 比对照显著降低外(图 3c),GA、ZR 在盐碱胁迫后并非呈单一下降趋势(图 3b、d),因此,单一激素绝对含量不能说明盐碱胁迫后平欧杂种榛“辽榛 3 号”内源激素的水平;而  $(\text{GA} + \text{IAA} + \text{ZR})/\text{ABA}$  是各种内源激素平衡的体现,结合生长指标相关分析,该比值越低,株高、新梢生长受抑制程度越强。NaCl 胁迫下,  $(\text{GA} + \text{IAA} + \text{ZR})/\text{ABA}$  比值随浓度的增加逐渐降低,而

$50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫就导致其降低到一个较低的水平,NaCl 浓度需要增加到  $150 \sim 200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时才能下降到该水平,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下该比值的迅速降低是由于上文提到的 ABA 急剧积累引起,这种变化体现了平欧杂种榛“辽榛 3 号”具有一定的抗碱性盐的能力。当胁迫浓度达到  $250 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下该比值分别为 0.39、0.54,表明中性盐胁迫下平欧杂种榛“辽榛 3 号”生长受抑程度更明显,而碱性盐胁迫下平欧杂种榛“辽榛 3 号”内部各种激素存在一个主动响应的动态平衡过程,相互协调,通过适当减少地上部生长势以适应外界胁迫条件。

综上所述,平欧杂种榛“辽榛 3 号”叶片内 GA、IAA、ZR 激素含量的减少及 ABA 含量的增加是其对盐碱胁迫的生理响应,表现为植株生长受抑,生物量降低。3 种盐碱胁迫下,平欧杂种榛“辽榛 3 号”生长及生物量受到的抑制程度不同,各生长指标在中性盐下的受抑制程度大于碱性盐和混合盐碱胁迫,不同类型盐碱胁迫下内源激素 ABA 响应特征也存在差异,表明平欧杂种榛“辽榛 3 号”对  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的耐受力高于 NaCl,耐混合盐碱能力介于二者之间。通过对榛子耐盐碱能力及机理的深入研究,为平欧杂种榛“辽榛 3 号”耐盐碱品种的筛选、榛子适生区域的扩展及榛子产业的大力发展提供参考。

## 参考文献:

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):28-30.
- [2] 王娟娟,张文辉. NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫对四翅滨藜种子萌发及保护酶活性的影响[J]. 林业科学,2011,47(2):154-160.
- [3] Viladevall L, Serrano R, Ruiz A, et al. Characterization of the Calcium-mediated Response to Alkaline Stress in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. The Journal of Biological Chemistry, 2004, 279(42):43614-43624.
- [4] Paz R C, Rocco R A, Reinoso H, et al. Comparative Study of Alkaline, Saline, and Mixed Saline-Alkaline Stresses with Regard to Their Effects on Growth, Nutrient Accumulation, and Root Morphology of *Lotus tenuis* [J]. Plant Growth Regul, 2012, 31:448-459.
- [5] Wu Z H, Yang C W, Yang M Y. Photosynthesis, photosystem II efficiency, amino acid metabolism and ion distribution in rice (*Oryza sativa* L.) in response to alkaline stress [J]. Photosynthetica, 2014, 52(1):157-160.
- [6] 张宇和,柳 鑫,梁维坚,等. 中国果树志. 板栗榛子卷[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [7] 俞 玲,马晖玲. 甘肃几种早熟禾内源激素水平及干旱适应性[J]. 中国沙漠,2015,35(1):182-188.
- [8] 田小霞,孟 林,毛培春,等. 低温条件下不同抗寒性薰衣草内

- 源激素的变化[J]. 植物生理学报,2014,50(11):1669-1674.
- [9] 张 敏,蔡瑞国,李慧芝,等. 盐胁迫环境下不同抗盐性小麦品种幼苗长势和内源激素的变化[J]. 生态学报,2008,28(1):310-320.
- [10] 周红兵,王迎春,石松利,等. NaCl 胁迫对盐生植物长叶红砂幼苗内源激素的影响[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2010,41(5):531-535.
- [11] 闫艳华,姜国斌,侯和胜,等. 杨树内源激素对 NaCl 胁迫的响应[J]. 西北农业学报,2011,20(9):160-164.
- [12] 刘桂丰,刘关君,杨传平,等. 盐逆境条件下树种的激素变化及抗盐性分析[J]. 东北林业大学学报,1998,26(1):1-3.
- [13] 张 巍,冯玉杰. 松嫩平原盐碱地理化性质及生态恢复[J]. 土壤学报,2009,46(1):169-172.
- [14] 胡明芳,田长彦,赵振勇,等. 新疆盐碱地成因及改良措施研究进展[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(10):111-117.
- [15] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:60-68.
- [16] 石松利,王迎春,周健华,等. 盐分生境下长叶红砂和红砂内源激素含量及其生境差异性[J]. 应用生态学报,2011,22(2):350-356.
- [17] 倪建伟,武 香,张华新,等. 3 种白刺耐盐性的对比分析[J]. 林业科学研究,2012,25(1):48-53.
- [18] 张 丽,贾志国,马庆华,等. 盐碱胁迫对平欧杂种榛枝条电阻抗图谱参数及离子含量的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(11):3131-3138.
- [19] 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等. 盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响[J]. 生态学报,2014,34(4):1021-1029.
- [20] Pranava P, Singh A K, Dubey A K, *et al.* Effect of salinity stress on growth and nutrient uptake in polyembryonic mango rootstocks[J]. *Indian Journal of Horticulture*,2014,71(1):28-34.
- [21] Fidanka T, Nicolas P, Dimitrios S. Comparative effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system [J]. *HortScience*,2006,41(2):437-441.
- [22] 王树凤,陈益泰,孙海菁,等. 盐胁迫下弗吉尼亚栎生长和生理生化变化[J]. 生态环境,2008,17(2):747-750.
- [23] Mehrotra R, Bhalothia P, Bansal P, *et al.* Abscisic acid and abiotic stress tolerance Different tiers of regulation [J]. *Journal of Plant Physiology*,2014,171(7):486-496.
- [24] Osakabe Y, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, *et al.* ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity [J]. *New Phytologist*,2014,202(1):35-49.
- [25] 刘延吉,张 蕾,田晓艳,等. 盐胁迫对碱茅幼苗叶片内源激素、NAD 激酶及 Ca<sup>2+</sup>-ATPase 的效应[J]. 草业科学,2008,25(4):51-54.
- [26] 孙若峥,姜国斌,吴祥云,等. 2 种杨树嫩茎质外体内源激素对盐胁迫的响应[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(2):62-66.
- [27] 孟亚雄,王世红,汪军成,等. CoCl<sub>2</sub> 对 NaCl 胁迫下大麦生长及幼苗生理指标的影响[J]. 草业学报,2014,23(3):160-166.
- [28] Saeedipour S. Salinity tolerance of rice lines related to endogenous abscisic acid (ABA) level synthesis under stress [J]. *African Journal of Plant Science*,2011,5(11):628-633.
- [29] 李青云,葛会波,胡淑明,等. 盐胁迫下外源钙对草莓内源激素含量的影响[J]. 西北植物学报,2008,28(3):517-522
- [30] 姚曼红,刘 琳,曾幼玲. 五大类传统植物激素对植物响应盐胁迫的调控[J]. 生物技术通报,2011(11):1-5.
- [31] 周宜君,刘 玉,赵丹华,等. 盐胁迫下盐芥和拟南芥内源激素质量分数变化的研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(6):657-660.