

# NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理对土荆芥和藜的生长及抗氧化酶活性的比较研究

尹 灿, 邓洪平, 刘长坤, 赵 红

(西南大学 生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 四川 重庆 400715)

**摘 要:** 采用 5 个浓度水平的 NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液, 分别模拟盐胁迫和碱胁迫对入侵植物土荆芥及其近缘植物藜进行浇灌处理, 比较二者在 2 种盐胁迫下的生长以及抗氧化酶活性的变化。结果表明: 土荆芥根重比和根冠比在盐胁迫下显著增加, 在碱胁迫条件下则极显著降低; 在各浓度梯度下, 盐胁迫诱导的 SOD 和 CAT 活性均高于碱胁迫, 而 POD 的活性仅在高浓度盐胁迫时才高于碱胁迫。表明 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对土荆芥造成的危害更大, 土荆芥耐受 NaCl 胁迫能力强于 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫。另外, 近缘植物藜的根重比、根冠比在盐、碱胁迫时均呈下降趋势, 抗氧化酶活性的变化也低于土荆芥, 说明土荆芥比藜更能耐受盐、碱胁迫。

**关键词:** 土荆芥; 藜; 盐、碱胁迫; 生物量分配; 抗氧化酶活性

**中图分类号:** Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0008(2010)08-0014-04

长期以来, 由于自然因素和人为因素的影响, 土地沙化、盐碱化情况日益严重, 全球约有 10% 的耕地存在不同程度的盐渍化, 我国约有盐碱土 0.333 亿多  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。盐碱逆境对植物造成的伤害主要是渗透胁迫和离子胁迫<sup>[2]</sup>。目前, 有关植物盐害的研究大都集中在 NaCl 上, 并取得了较大进展, 有关 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 等造成碱害的报道则相对较少。事实上, 以 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 为主的碱性盐比 NaCl 为主的中性盐对植物造成的危害更大, 这是由于 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 除了自由基、离子毒害, 还存在高 pH 值危害, 使得植物细胞内离子均衡遭到极大破坏, 膜系统受到严重损害<sup>[3]</sup>。

土荆芥 (*C. ambrosioides* L.) 为藜科藜属 1 a 生或多年生草本植物, 又名臭草、杀虫芥、鹅脚草, 原产热带美洲, 现广布于世界热带及温带地区<sup>[4]</sup>。土荆芥有强烈芳香味, 通常生长在河岸、公路边、荒地和农田边, 是一种入侵植物。该研究是在人工条件下, 以近缘植物藜 (*C. album* L.) 作为对照, 对土荆芥施以不同浓度的盐胁迫 (NaCl) 和碱胁迫 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 从生物量的分配和抗氧化酶活性的变化来比较盐、碱胁迫对土荆芥的不同影响, 以

期为入侵植物的防治与利用、盐碱地的改造等提供一定的理论与实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

于 2009 年 4 月从重庆市缙云山采集当年生土荆芥和藜幼苗移植于塑料花盆内培养, 盆栽土壤为西南大学生态园腐殖土壤。

### 1.2 试验方法

每隔 3 d 浇 1 次 Hoagland 营养液, 其余时间补水, 培养 30 d 后选择生长均匀一致的植株作为试验材料, 进行胁迫处理。用 NaCl 模拟盐胁迫和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 模拟碱胁迫。设 5 个水平: 0.05、0.1、0.15、0.2、0.25  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 以蒸馏水作为对照, 各处理重复 3 次。每隔 2 d 透浇 1 次处理液, 每次 100 mL, 其余时间补营养液。处理 15 d 后采取相同叶位的叶片进行抗氧化酶活性的测定, 处理 30 d 后收获植株进行生物量的测定。材料培养与试验处理参照张玉霞<sup>[5]</sup>的方法, 并有所改进。

### 1.3 测定方法

**1.3.1 生物量指标的测定** 将植株用水浸泡去除根部土壤, 然后将根、茎、叶分开, 80℃ 烘至恒重。计算下列参数<sup>[6]</sup>: 叶重比 = 叶片干物质重 / 植株总干物质重; 茎重比 = 茎干物质重 / 植株总干物质重; 根重比 = 根系干物质重 / 植株总干物质重; 根冠比 = 地下部干物质重 / 地上部干物质重。

**1.3.2 抗氧化酶活性的测定** 取土荆芥和藜叶片进行抗氧化酶活性的测定。SOD (超氧化物歧化酶) 活性的测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法测定<sup>[7]</sup>, CAT (过氧化

第一作者简介: 尹灿 (1984-), 女, 四川绵阳人, 硕士, 现主要从事植物系统与进化研究工作。E-mail: yincan840829@163.com。

通讯作者: 邓洪平 (1970-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事植物系统与进化方面研究工作。E-mail: Denghp@swu.edu.cn。

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目 (CSTC 2008BB5256);

211 工程三期建设资助项目。

收稿日期: 2009-11-18

氢酶)活性的测定采用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解法测定<sup>[8]</sup>; POD (过氧化物酶)活性采用愈创木酚法测定<sup>[7]</sup>。

1.4 数据处理

试验数据的处理和相关分析用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 软件(13.0 版本)完成。用 One-way ANOVA 中的 LSD 法检验各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 NaCl 盐胁迫对土荆芥和藜生长的影响

经 NaCl 溶液处理 30 d, 土荆芥和藜的生长受到了

抑制, 株高均随处理浓度的增加存在明显的下降趋势, 叶子出现失水萎蔫现象, 高浓度处理植株顶部的叶子开始黄化。各浓度处理水平土荆芥生物量存在显著差异, 根重比、叶重比、根冠比均高于对照, 其中根重比和根冠比在浓度为 0.05 mol · L<sup>-1</sup>时, 增加幅度达到最大。茎重比呈下降趋势。与土荆芥不同的是, 藜的根重比、根冠比随 NaCl 浓度的增加而下降, 叶重比有所增加, 茎重比变化不大。

表 1 NaCl 处理对土荆芥和藜生物量分配的影响

Table 1 Effects of NaCl treatment on the biomass allocation of <i>C. ambrosioides</i> L. and <i>C. alburn</i> L.								
NaCl 浓度 NaCl concentration /mol · L <sup>-1</sup>	土荆芥 <i>C. ambrosioides</i> L.				藜 <i>C. alburn</i> L.			
	根重比	茎重比	叶重比	根冠比	根重比	茎重比	叶重比	根冠比
	Root weight ratio/ %	Stem weight ratio/ %	Leaf weight ratio/ %	Root shoot ratio/ %	Root weight ratio/ %	Stem weight ratio/ %	Leaf weight ratio/ %	Root shoot ratio/ %
0	19.34b	37.40a	43.26b	23.97ab	12.42a	16.51	30.05c	15.91a
0.05	25.69a	29.54b	44.77b	34.57a	9.47b	16.86	33.07b	11.37b
0.10	21.33b	26.76b	53.35a	27.12b	9.22b	16.57	34.31ab	11.00b
0.15	23.56ab	25.64b	50.80ab	30.81ab	8.06c	17.10	35.07a	9.39c
0.2	23.77ab	25.79b	50.44ab	31.18ab	7.27c	17.22	35.41a	8.33c
0.25	21.98b	27.28b	50.74ab	28.18b	7.15d	16.72	35.41a	8.18d
F	4.402 *	5.987 **	3.767 *	4.211 *	55.516 **	1.055	12.087 **	58.855 **
Sig.	0.017	0.005	0.028	0.019	0.000	0.431	0.000	0.000

注: 表中数据为 3 个重复平均数。\* 表示处理之间差异显著 Sig.<0. 05; \*\* 表示处理之间差异极显著 Sig.<0. 01; 同列字母相同者, 表示检验(P=0.05)差异不显著。

2.2 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 碱胁迫对土荆芥和藜生长的影响

碱性盐对植物的胁迫因素除了和中性盐共有的离子毒害、渗透胁迫之外, 还有高 pH 值在胁迫中的作用, 且高 pH 值是首要的, 离子毒害次之, 渗透效应最小<sup>[5,9]</sup>。经 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液处理 30 d, 土荆芥和藜的生长受到了强烈抑制, 株高存在明显下降趋势, 叶子边缘出现黄化现象, 下部叶开始脱落, 且随浓度的增加, 受害程度逐渐加

重。到浓度为 0.20 ~0.25 mol · L<sup>-1</sup> 时, 土荆芥已接近枯死。碱胁迫下, 土荆芥根重比、根冠比均低于对照, 浓度为 0.25 mol/L 时, 减少幅度达到最大, 但是各处理间的茎重比和叶重比却无显著差异。藜的根重比、根冠比随浓度的增加而下降, 茎重比有所增加, 叶重比变化不大。

表 2 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理对土荆芥和藜生物量分配的影响

Table 2 Effects of Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> treatment on the biomass allocation of <i>C. ambrosioides</i> L. and <i>C. alburn</i> L.								
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 浓度 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> concentration /mol · L <sup>-1</sup>	土荆芥 <i>C. ambrosioides</i> L.				藜 <i>C. alburn</i> L.			
	根重比	茎重比	叶重比	根冠比	根重比	茎重比	叶重比	根冠比
	Root weight ratio/ %	Stem weight ratio/ %	Leaf weight ratio/ %	Root shoot ratio/ %	Root weight ratio/ %	Stem weight ratio/ %	Leaf weight ratio/ %	Root shoot ratio/ %
0	19.34a	37.40	43.26b	23.97a	12.48a	16.70b	29.80	16.07a
0.05	15.35b	30.32	54.33a	18.13b	12.22b	16.70b	30.07	15.58a
0.10	14.36b	31.36	54.28a	16.76b	10.88b	18.36ab	29.86	13.50a
0.15	13.44c	35.37	51.19a	15.53b	8.32c	18.80ab	32.22	9.74b
0.2	16.11b	33.70	50.19a	19.20b	8.04c	20.27a	30.91	9.36b
0.25	12.78c	35.26	51.96a	14.66c	7.28c	20.31a	31.74	8.36b
F	7.793 **	1.245	2.876	7.988 **	17.440 **	3.405 *	0.554	15.483 **
Sig.	0.002	0.348	0.062	0.002	0.000	0.038	0.733	0.000

2.3 NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 处理对土荆芥和藜抗氧化酶活性的影响

2.3.1 对 SOD 活性的影响 超氧化物歧化酶(SOD)是一种能及时清除生物体内的超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)的金属酶, 它可以维持机体中自由基产生和清除动态平衡。NaCl 低浓度处理下, 土荆芥 SOD 活性的变化表现

为维持稳定, 浓度为 0.25 mol · L<sup>-1</sup> 时, SOD 活性开始上升。藜 SOD 活性随 NaCl 浓度的增加有显著变化, 呈现出先增后降的趋势。浓度为 0.2 mol · L<sup>-1</sup> 时, SOD 活性达到最高值, 较对照增加了 13.97%, 但随着浓度的进一步增加, 酶活性开始下降, 但仍高于对照。可以看出, NaCl 盐胁迫能够促进藜 SOD 活性的提高。随 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

胁迫程度的增加,土荆芥 SOD 活性呈下降趋势,浓度为  $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, SOD 活性最小,较对照降低了  $4.49\%$ 。而藜 SOD 的活性变化表现出先增后降的趋势,浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时活性最高,增加了  $4.82\%$ ,随着浓度的进一步增加,酶活性开始下降,浓度为  $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时已低于对照,降低幅度为  $4.20\%$ 。可以看出,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  碱胁迫对土荆芥和藜 SOD 的活性影响较小。

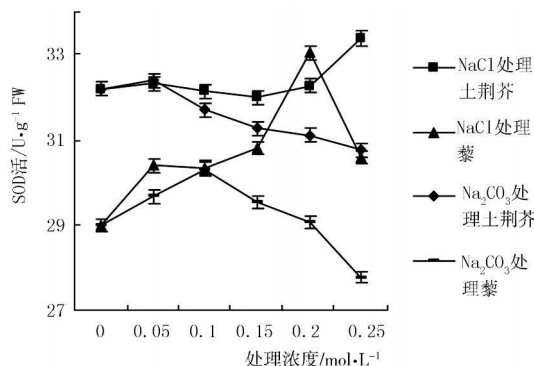


图1 NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理对土荆芥和藜 SOD 活性的影响

Fig.1 Effects of NaCl and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  treatment on the SOD activity of *C. ambrosioides* L. and *C. album* L.

**2.3.2 对 CAT 活性的影响** CAT 能有效清除植物体内光呼吸、线粒体电子传递以及脂肪酸  $\beta$ -氧化等过程中产生的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,使细胞免受  $\text{H}_2\text{O}_2$  的毒害<sup>[9]</sup>。在 NaCl 各浓度处理下,土荆芥 CAT 活性变化呈现出先增后降的趋势,浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, CAT 活性达到最高值。而藜 CAT 活性随 NaCl 胁迫程度的增加而降低。在  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  各浓度处理下,土荆芥 CAT 活性变化也呈现出先增后降的趋势。浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, CAT 活性最高;浓度为  $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, CAT 活性较对照已降低  $30.47\%$ 。而藜 CAT 活性随  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫程度的增加而降低,浓度为  $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时其活性降低了  $40.91\%$ 。

**2.3.3 对 POD 活性的影响** POD 能在逆境胁迫或衰老过程中清除植物体内的过氧化氢,使过氧化氢维持在一个较低的水平。POD 通过催化其它底物与过氧化氢反应以消耗过氧化氢<sup>[9]</sup>。NaCl 不同浓度处理下,土荆芥 POD 活性呈现出先增后降的趋势,且均高于对照。浓度为  $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, POD 活性达到最高值,较对照增加了  $63.54\%$ 。而藜 POD 活性随 NaCl 胁迫程度的增加而下降。随  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫程度的增加,土荆芥 POD 活性变化也呈现出先增后降的趋势。浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, POD 活性达到最高值,增加幅度为  $64.15\%$ 。而藜 POD 活性变化不稳定,各处理浓度时其活性均低于对照。

### 3 讨论

在人工模拟盐和碱胁迫条件下,土荆芥形态和生物量的分配发生了较大变化,生长受到了严重的抑制。逆

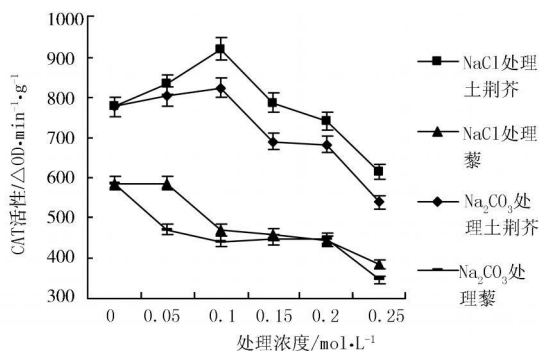


图2 NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理对土荆芥和藜 CAT 活性的影响

Fig.2 Effects of NaCl and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  treatment on the CAT activity of *C. ambrosioides* L. and *C. album* L.

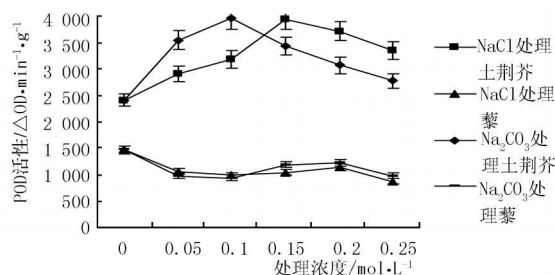


图3 NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理对土荆芥和藜 POD 活性的影响

Fig.3 Effects of NaCl and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  treatment on the POD activity of *C. ambrosioides* L. and *C. album* L.

境条件下植株通过减少地上部生物量,将更多的生物量分配到根系中,增加根系的吸收面积,增强对水分和养料的吸收,这对于植物的生长具有重要的意义。盐胁迫时,土荆芥的根重比、根冠比有所增加,这表明植物受到环境胁迫时会调整生物量的分配来减少环境对其生长发育造成的影响。但是,碱胁迫时,土荆芥的根重比、根冠比却一直低于对照,很明显,同一浓度水平的碱胁迫比盐胁迫具有更大的危害作用,碱胁迫强烈抑制根系生长,使根系不能再进行有效的调节。高碱造成植株根冠比变小,这与周建<sup>[11]</sup>等研究碱胁迫对紫荆幼苗生长的结果一致。而藜的根重比、根冠比,在盐、碱胁迫下均低于对照,也低于土荆芥,由此可见,藜在盐碱胁迫下的调节水平要低于土荆芥,更不适应在盐碱地上生长。

在胁迫条件下,植物体内活性氧会大大增加,它们对许多生物功能分子有破坏作用,包括引起膜的过氧化作用。然而,植物可通过提高体内抗氧化物酶的活性等途径来降低或消除活性氧对膜质的破坏作用。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)是酶促保护系统中的重要组成,只有 SOD、POD、

CAT 三者协调一致,才能使植物体内活性氧自由基维持在较低的水平,避免或减轻自由基对生物大分子如核酸和蛋白质等的降解破坏及对生物膜的损害,使植物进行正常的生长和代谢<sup>[2]</sup>。在 NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 分别处理时,土荆芥抗氧化酶除 SOD 活性变化范围较为平稳, CAT、POD 的活性均呈现出先增后降的趋势,这表明土荆芥在低浓度盐、碱胁迫时可通过提高抗氧化酶活性来消除其产生的伤害。盐、碱胁迫下,土荆芥 SOD、CAT、POD 分别具有不同的活性变化以及酶活最高点,说明土荆芥在盐、碱胁迫时产生不同的生理变化,证实了盐胁迫和碱胁迫有着本质的不同。由图 1、2、3 得出,土荆芥 SOD、CAT 活性在盐处理时高于碱处理,POD 活性在高浓度盐处理时也高于碱胁迫,说明 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对土荆芥造成的危害更大,土荆芥耐受 NaCl 胁迫能力强于 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫。NaCl 胁迫时土荆芥 SOD 活性呈上升趋势,而 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫时其活性呈下降趋势,这与毛桂莲<sup>[13]</sup>等研究盐生植物枸杞和周峰<sup>[11]</sup>等研究盐生植物盐角草所得的结果一致。在 2 种盐的处理下,除 NaCl 胁迫时藜 SOD 活性的变化高于土荆芥,其余处理藜抗氧化酶活性的变化均低于土荆芥,可以看出,在逆境下土荆芥比藜具有较高的生理调节水平。

可见,土荆芥作为一种入侵植物,具有比近缘植物藜更高的抗盐碱能力,可侵入到低浓度的盐碱地上进行生长,尤其是盐化地上,这对利用土荆芥治理盐碱地具

有重要的现实意义。

### 参考文献

- [1] 李霞,曹昆,阎丽娜,等.盐碱胁迫对不同水稻材料苗期生长特性的影响[J].植物生理科学,2008,24(8):252-256.
- [2] 王波,张金才,宋凤斌,等.燕麦对盐碱胁迫的生理响应[J].水土保持学报,2007,21(3):86-89.
- [3] 周建,杨立峰,张琳,等.碱胁迫对合欢种子萌发及幼苗生理指标的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(4):401-408.
- [4] 中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2004,25(2):82-83.
- [5] 张玉霞,谭巍巍,王艳艳,等.盐碱胁迫对芦笋抗氧化酶活性的影响[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2006,21(2):165-168.
- [6] 吴成龙,周春霖,尹金来,等.碱胁迫对不同品种菊芋幼苗生物量分配和可溶性渗透物质含量的影响[J].中国农业科学,2008,41(3):901-909.
- [7] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2004:123-124,268-269.
- [8] 李仕飞,刘世同,周建平,等.分光光度法测定植物过氧化氢酶活性的研究[J].安徽农学通报,2007,13(2):72-73.
- [9] 曲元刚,赵可夫.NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对玉米和生理胁迫效应的比较研究[J].作物学报,2004,30(4):334-340.
- [10] 南芝润,范月仙.植物过氧化氢酶的研究进展[J].安徽农学通报,2008,14(5):27-29.
- [11] 周建,刘弘,尤扬,等.碱胁迫对紫荆幼苗生长与光合作用的影响[J].东北林业大学学报,2008,36(6):13-15.
- [12] 周峰,周泉澄,华春,等.Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 和 NaCl 处理对盐角草生长和抗氧化酶活性的影响[J].安徽农业科学,2007,35(36):11748-11750.
- [13] 毛桂莲,许兴,杨涓.NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 对枸杞的胁迫效应[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):100-104.

## Comparative Study on the Growth and Activity of Antioxidant Enzymes Between *Chenopodium ambrosioides* L. and *Chenopodium. album* L. Under NaCl and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Treatments

YIN Can, DENG Hong-ping, LIU Chang-kun, ZHAO Hong

(College of Life Sciences, Southwest University, Key Laboratory (Ministry of Education) of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region, Chongqing 400715)

**Abstract:** Simulating the salt and alkali stress by setting five levels of concentration of NaCl and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution, the experiment was conducted to make a comparative study on the growth and activity of antioxidant enzymes between the invasive plants *C. ambrosioides* L. and the relatives plant *C. album* L.. The results showed that: for the *C. ambrosioides* L., the root biomass ratio and the root and shoot Biomass was increased under the salt stress, but declined under the alkaline stress. In the different concentration, SOD and CAT activity under salt stress was higher than under alkaline stress, and POD activity was higher in high concentrations of salt stress than in that of alkaline stress, indicating that Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> stress caused serious damages to *C. ambrosioides* L., and it had stronger tolerance to NaCl stress than Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> stress. In addition, the root biomass ratio and the root and shoot Biomass of *C. album* L. was declined, and the activity of antioxidant enzymes of it was lower than that of *C. ambrosioides* L., indicating that *C. ambrosioides* L. had stronger tolerance to the salt and alkaline stress than it.

**Key words:** *C. ambrosioides* L.; *Chenopodium. album* L.; salt and alkali stress; biomass allocation; antioxidant enzymes