



缪珊,夏振平,李志强. NaCl 胁迫对三种狼尾草生长及生理特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(6):132-136.

NaCl 胁迫对三种狼尾草生长及生理特性的影响

缪珊,夏振平,李志强

(北京农业职业学院, 北京 102442)

摘要:为掌握 3 种狼尾草的耐盐性, 对它们进行为期 30 d 的 NaCl 盐胁迫试验, 设置 5 个土壤含盐量梯度处理, 分别为 0.25, 0.35, 0.50, 0.60, 0.8 g·kg⁻¹, 以清水为对照。测定相关形态及生理指标, 结合死亡率、枯叶率和茎叶生长量进行分析。结果表明: 3 种狼尾草耐盐能力由强至弱的次序为长穗狼尾草、矮株狼尾草、东方狼尾草, 它们能够忍受的土壤 NaCl 含量分别为 0.60, 0.60, 0.50 g·kg⁻¹。随着土壤含盐量的增加, 3 种狼尾草叶片中 SOD 及 CAT 的活性均呈现先升高后降低的变化趋势; MDA 含量呈先上升后下降, 最后又上升的变化趋势, 且与 SOD 和 CAT 活性的变化有一定的关系。

关键词:狼尾草; 耐盐性; 盐胁迫

狼尾草属植物种类繁多, 广泛分布于热带、亚热带及温带地区, 少数种类可达温寒带地区。我国东北、华北、华东、中南以及西南各省均有野生资源分布^[1]。狼尾草属植物在我国最早是作为牧草栽培利用, 作为观赏草在园林中的应用相对较晚, 在 20 世纪末才开始在园林绿地中应用栽植^[2]。其姿态优美、观赏性佳, 具有四季鲜明景观和质朴自然的气质, 而且生命力强健、抗逆性强、病虫害少、适应性广, 容易栽培, 因此很快成为生态园林中较为常见的一类观赏草, 特别在华北、西北水资源短缺地区有着广阔的应用空间和发展前景^[3]。

目前, 对狼尾草属植物的研究主要集中在引

种栽培、繁育及应用方面, 对耐盐性的研究较少^[4-6]。本研究选用了长穗狼尾草、东方狼尾草、矮株狼尾草为试材, 对其在盐胁迫下的形态与生理变化规律进行研究, 以期为狼尾草属植物在园林中的引种驯化、推广应用提供理论和实践依据, 同时也为探索观赏草的抗逆性评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在北京农业职业学院智能温室进行。2018 年 5 月从北京草业与环境研究发展中心引种栽培长穗狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides* ‘Changsui’)、东方狼尾草 (*P. orientale*) 和矮株狼尾草 (*P. alopecuroides* ‘Aizhu’), 均为当年分株苗, 定植于 1 加仑盆中, 盆土以草炭和园土按体积比 1:1 配制。每盆加入干重为 1.2 kg 的培养土。缓苗后于 5 月底进行盐胁迫处理。试验期间, 温室日平均气温 20~30 ℃, 空气相对湿度 60%~90%。

收稿日期: 2018-12-18

基金项目: 北京农业职业学院 (XY-YF-17-02)。

第一作者简介: 缪珊 (1972-), 女, 硕士, 副教授, 从事园林植物栽培研究。E-mail: mlaoshanhan@sohu.com。

Effects of Alkaloids of *Hymenocallis littoralis* on Apoptosis of Human Hepatocellular Carcinoma HepG-2 Cells

CHEN Ning, ZHAO Dan, ZHENG Wei, LI Jun, DU Juan, LING Na, SONG Dong-xue, XU Chang-ru

(Life Sciences and Environmental Sciences Research Center, Harbin 150076, China)

Abstract: In order to reveal the effect of alkaloids of Amaryllidaceae plant *Hymenocallis littoralis* (AHL) on HepG-2 cells, FITC-Annexin V/PI double staining was used to detect the effect of AHL on apoptosis of HepG-2 cells and on Ca²⁺ concentration, reactive oxygen species (ROS) and pH in HepG-2 cells. The results show that: AHL could induce apoptosis through the interaction of ROS, Ca²⁺, and pH in cells.

Keywords: alkaloids of *Hymenocallis littoralis*; FITC-Annexin V/PI double staining method; Ca²⁺ concentration; reactive oxygen species; pH

1.2 方法

1.2.1 试验设计 分别选取 3 种狼尾草生长势基本一致的植株进行盐胁迫处理。处理前先测得盆土含盐量为 0.11%，分别称取 1.68, 2.88, 4.68, 5.88, 8.28 g NaCl, 加入 300 mL 蒸馏水中，配制成 NaCl 溶液。为防止短时间内高浓度的盐胁迫对植株造成破坏性的伤害，将盐溶液分成 3 次，每次 100 mL 施入盆土中，每隔 3 d 施入 1 次，最后使盆土含盐量分别达到 0.25 g·kg⁻¹ (轻盐水平)、0.35 g·kg⁻¹ (轻盐水平)、0.50 g·kg⁻¹ (中盐水平)、0.60 g·kg⁻¹ (中盐水平)、0.80 g·kg⁻¹ (重盐水平)，即 5 个不同浓度的 NaCl 梯度处理，以施入清水为对照。3 种狼尾草每个处理 10 次 (盆) 重复，随机排列。加完盐溶液后的第 1 天为盐胁迫处理的第 1 天。

1.2.2 测定项目及方法 盐胁迫 30 d 后观察植株的表观症状。记录死亡植株数量，计算死亡率。未死亡植株记录枯叶率，即干枯叶片数占植株总叶片数的百分比。

盐胁迫处理 30 d 后，测定对照及处理植株的

表 1 盐胁迫对 3 种狼尾草植株死亡率、枯叶率、株高及茎叶干重的影响

Table 1 Effects of salt stress on mortality, withered leaves rate, plant height and dry weight of three *Pennisetum* species

草种 Species	土壤含盐量 Soil salt content/ (g·kg ⁻¹)	死亡率 Mortality/%	枯叶率 Withered leaves rate/%	株高 Plant height/cm	相对株高 Relative height	茎叶干重 Dry weight/g	相对生长量 Relative growth increments
长穗	CK	0	0	41.6	1	2.39	1
	0.25	0	0	41.5	0.99	2.30	0.96
	0.35	0	0	40.3	0.97	2.01	0.84
	0.50	0	5	36.6	0.88	1.97	0.82
	0.60	0	25	36.0	0.87	1.80	0.75
	0.80	0	50	27.4	0.66	1.01	0.42
东方	CK	0	0	53.0	1	2.40	1
	0.25	0	0	51.5	0.97	2.28	0.95
	0.35	0	10	48.0	0.91	2.13	0.89
	0.50	0	30	38.5	0.73	1.57	0.65
	0.60	0	60	25.0	0.47	1.03	0.43
	0.80	100	100	-	-	-	-
矮株	CK	0	0	43.0	1	2.44	1
	0.25	0	0	42.4	0.99	2.42	0.99
	0.35	0	0	38.5	0.90	2.14	0.88
	0.50	0	10	37.2	0.87	1.87	0.77
	0.60	0	40	29.6	0.69	1.45	0.59
	0.80	40	80	21.0	0.49	0.84	0.34

株高，之后将植株地上部茎叶从根茎处剪下，冲洗干净后烘干称取干重。每个处理重复 5 次。相对株高=盐胁迫处理植株株高/对照植株株高；相对生长量=盐胁迫处理植株茎叶干重/对照植株茎叶干重。

盐胁迫 30 d 后，取样测定狼尾草叶片中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量。每处理 5 次重复。SOD 活性用羟胺法测定；CAT 活性用比色法测定；MDA 含量用硫代巴比妥酸法测定。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2010 分析及作图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下狼尾草死亡率和枯叶率的变化

当植物遭受逆境胁迫时，在形态上会产生相应的变化，通过观测植株变化情况即可判断其受到伤害程度的大小。盐胁迫在植物形态上产生的效应最显著的就是抑制生长，植株矮小，分蘖减少，严重时引起茎叶枯萎直至死亡^[7]。如表 1 所示，不同水平盐胁迫处理后，长穗狼尾草未出现死

亡植株,死亡率为0,矮株狼尾草和东方狼尾草在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下分别出现40%和100%的死亡率,其他浓度盐胁迫下均未出现死亡植株。

如表1所示,随着土壤含盐量的增加,3种狼尾草植株先后出现了枯叶,长穗狼尾草在中盐胁迫下(土壤含盐量 0.50 和 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)出现5%~25%的枯叶; $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下,枯叶率达到了50%,观赏价值较差。东方狼尾草在 $0.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 轻盐胁迫下即出现10%的枯叶,在 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下枯叶率达到60%,基本丧失观赏价值,在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的重盐胁迫下全部干枯死亡。矮株狼尾草在中盐胁迫下(土壤含盐量 0.50 和 $0.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)出现10%~40%的枯叶,在重盐胁迫下达到80%,丧失观赏价值。因此结合植株死亡率和枯叶率的测定结果来看,耐盐性从高到低的次序为长穗>矮株>东方。

2.2 盐胁迫对狼尾草株高及茎叶生长量的影响

表1所示,随着土壤含盐量的增加,狼尾草的株高均呈下降趋势。与对照植株相比,3种狼尾草在轻盐胁迫下相对株高变化不大,但随着盐胁迫强度加大,相对株高出现明显变化,在 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下长穗、东方和矮株相对株高分别降至0.87,0.47和0.69,其中东方狼尾草已成倒伏状态; $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫胁迫下,长穗和矮株相对株高降至0.66和0.49,东方狼尾草已经死亡。

盐胁迫不仅抑制植株的纵向生长,还会减少分蘖,使地上部茎叶的生长量减少。试验结果表明,随着土壤含盐量的增高,3种狼尾草茎叶相对生长量均呈下降趋势,其中长穗狼尾草在轻盐、中盐胁迫时下降幅度较为平缓,在 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时降至0.75,在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下相对生长量明显下降至0.42;矮株狼尾草在轻盐胁迫下茎叶相对生长量下降较为缓慢,当土壤含盐量达到 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时明显下降至0.59,重盐胁迫时降至最低为0.34;东方狼尾草相对生长量在中盐胁迫时就已出现明显下降,在 0.50 和 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土壤含盐量时分别降至0.65及0.43。

2.3 盐胁迫对3种狼尾草SOD活性的影响

SOD是膜系统保护有关的因子,在植物遭受逆境胁迫时,可作为植物抗氧化系统的第一道防

线,清除细胞中多余的氧自由基,阻止脂膜氧化受损^[8]。因此在盐胁迫下SOD活性的变化,可以在一定程度上表示植物耐盐性的强弱。由图1可知,随着土壤含盐量的增加,3种狼尾草叶片SOD活性均呈先升高后降低的趋势,矮株狼尾草和东方狼尾草在 $0.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 轻盐胁迫时出现峰值,较对照分别增大了11.1%和22.2%;之后随着土壤含盐量的增加均呈下降趋势,矮株在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下达到最低值,较对照减小8.6%,东方在 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下达最低值,较对照减小3.5%;长穗狼尾草在 $0.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时最晚达到峰值,较对照增大了38.1%,之后SOD活性逐渐下降,在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下达到最低值,但仍较对照增加17.2%。在低盐浓度时,3种狼尾草对盐的耐受能力较强,SOD活性逐步增加,但当盐含量进一步增加,超过耐受阈值时,防御系统被破坏,因此,在峰值过后SOD活性则呈下降趋势,且峰值出现越晚表明耐盐性越强。

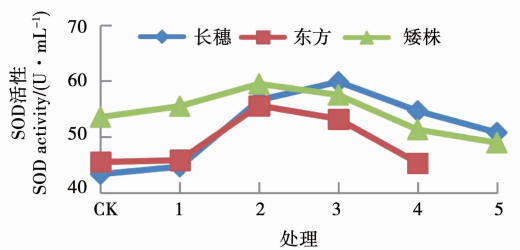


图1 盐胁迫下3种狼尾草SOD活性的变化

Fig. 1 Changes of SOD activity in three *Pennisetum* species under salt stress

2.4 盐胁迫对3种狼尾草CAT活性的影响

盐分胁迫能导致植物细胞中活性氧的过度产生,CAT主要功能就是清除植物体内产生的过量过氧化氢,从而将危害降低到最低程度^[9]。如图2所示,随着土壤含盐量的增加,3种狼尾草叶片CAT活性均是呈先升高后降低的趋势,但是它们达到峰值时的土壤含盐量不同,东方狼尾草在 $0.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 轻盐胁迫时即达到峰值,CAT活性较对照增加9.0%,之后活性逐渐降低,在 $0.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时达到最低,较对照降低12.1%;长穗狼尾草在 $0.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 轻盐胁迫时达到峰值,CAT活性较对照增加41.3%,之后活性缓慢降低,在 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫时达到最低,但仍较对照增

加 25.8%;矮株狼尾草在 $0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时最晚出现峰值, CAT 活性较对照增加 15.0%,之后活性逐渐降低,在 $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫时达到最低,较对照降低 1.8%。从 CAT 活性的变化来看,虽然长穗狼尾草在处理 2 时即出现峰值,但是其活性增大的幅度比其他两种狼尾草要大得多,而且至始至终都高于对照。

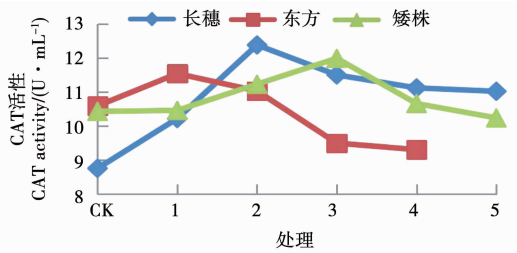


图2 盐胁迫下3种狼尾草叶片中CAT酶活性的变化

Fig. 2 Changes of CAT activity in three *Pennisetum* species under salt stress

2.5 盐胁迫对3种狼尾草MDA含量的影响

盐胁迫能增加植物细胞膜透性,脂质过氧化作用加强,最终导致膜系统的破坏。MDA作为脂质过氧化作用的产物,其含量的变化可以间接表示细胞膜受损的程度。因此盐胁迫下,植物叶片中丙二醛含量的变化在一定程度上可以反映植物抗盐能力的大小^[10]。从图3可以看出,在不同浓度的盐胁迫下,3种狼尾草叶片中丙二醛含量均高于对照,且随着盐浓度的增加均呈现先上升后下降,最后又上升的变化趋势。3种狼尾草MDA含量均是在 $0.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 低盐胁迫下出现峰值,但与对照相比上升幅度不同,矮株狼尾草上升 15.7%、长穗狼尾草为 13.1%、东方狼尾草上升幅度最小为 4.8%;随着盐胁迫强度的增加,3种狼尾草MDA含量下降,均在 $0.35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 低盐胁迫时达到最低值,长穗含量为 $2.48 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$,东方 $2.12 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$,矮株 $2.01 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$,与对照相比增加幅度分别为 1.2%、1.4%和8.6%;之后随着土壤含盐量的增加,3种狼尾草MDA含量逐步升高,最后在 $0.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫(处理4)时,东方狼尾草MDA含量达到 $2.80 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$,比对照上升 34.0%,长穗与矮株在 $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫胁迫时含量分别达到 3.22 和 $2.73 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$,分别比对照增加 31.4%和 47.6%。

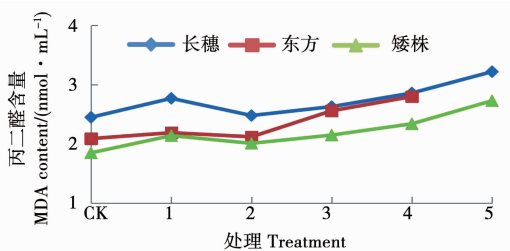


图3 盐胁迫下3种狼尾草叶片中MDA含量的变化

Fig. 3 Changes of the content of MDA in three *Pennisetum* species under salt stress

3 结论与讨论

3.1 盐胁迫明显抑制植物生长

随着盐浓度的增加,植物的株高、分蘖数、叶片数等均减少,且对于部分植物盐胁迫对地上部生长的抑制大于对根系的影响^[11]。通过观测植株死亡率、枯叶率,测量株高及茎叶生长量,可以很直观地反映出3种狼尾草在遭受不同程度的盐胁迫后的形态变化和生长发育状况。从试验结果看,不同水平的盐胁迫处理后,长穗狼尾草未出现死亡植株,在土壤含盐量 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下出现 25%的枯叶; $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下,枯叶率达到了 50%,茎叶生长量在 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫时降至 0.75,在 $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下相对生长量下降至 0.42,因此结合其外观形态,认为其能忍受的土壤 NaCl 含量为 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

矮株狼尾草在土壤含盐量 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下出现 40%的枯叶,茎叶相对生长量降至 0.59;在 $0.80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 重盐胁迫下达枯叶率达到 80%,茎叶相对生长量降至 0.34,丧失观赏价值。因此其能够忍受的土壤 NaCl 含量为 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但观赏效果不及长穗狼尾草。

东方狼尾草在 $0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下即出现 30%的枯叶,茎叶相对生长量降至 0.65;在 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 中盐胁迫下达到 60%枯叶率,茎叶相对生长量降至 0.43,基本丧失观赏价值。因此从试验结果看,其能够忍受的土壤 NaCl 含量最高为 $0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。结合植株死亡率、枯叶率和茎叶生长量的研究结果得出,3种狼尾草耐盐能力由强至弱的次序为长穗>矮株>东方。

3.2 盐胁迫使植物酶系统遭受伤害

盐胁迫时体内代谢失调,活性氧、超氧自由基的积累会对植物的细胞膜产生伤害。而细胞内 SOD 和 CAT 组成抗氧化保护酶系统,在盐胁迫

诱导下这两种酶的活性升高,使膜系统得到一定程度的修复^[12];但随着胁迫程度的增加,当两种酶调节能力超过阈值时,植物吸水困难,细胞失水,过氧化产物大量累积,保护酶系统被破坏,则酶的活性降低^[13]。试验研究表明,随着土壤含盐量的增加,3种狼尾草叶片中SOD及CAT的活性均呈现先升高后降低的变化趋势,这与贾丹莉等在玉米中的研究结果相似^[14]。

MDA作为脂质过氧化作用的产物,其含量的变化在一定程度上可以反映植物抗盐能力的大小。本试验中随着盐胁迫程度的增加,3种狼尾草叶片MDA含量均呈先上升后下降,最后又上升的变化趋势。结合试验中SOD和CAT活性的变化趋势可以认为,在轻盐胁迫时,细胞膜对盐浓度的变化比较敏感,受到损伤而使MDA含量上升;随着土壤中盐浓度的进一步增加,细胞内SOD和CAT共同组成的抗氧化保护酶系统在盐胁迫诱导下活性增强,对质膜进行修复,使MDA含量降低,但当盐含量进一步增加,超过抗氧化保护酶系统耐受阈值时,防御系统被破坏,MDA值又逐渐升高。因此植物叶片丙二醛含量和SOD和CAT活性的变化有一定的关系,但不同狼尾草之间相关性大小还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 田宏,刘洋,陈明新,等.浅析狼尾草作为观赏草在园林中的应用[J].中国农学通报,2012,28(1):307-310.
- [2] 陈超,袁小环,滕文军,等.狼尾草属植物生物学特性、生态

适应性、观赏性和入侵风险关系的探讨[J].生态学杂志,2017,36(2):374-381.

- [3] 武菊英.生态和观赏效果俱佳的狼尾草[J].中国花卉园艺,2003(2):32.
- [4] 袁小环,孙男,滕文军,等.9种观赏草苗期耐盐性评价及NaCl胁迫对芨芨草生长的影响[J].植物资源与环境学报,2011,20(3):69-75.
- [5] 慈华聪,田晓明,张楚涵,等.不同盐分处理对狼尾草和大油芒发芽与幼苗生长的影响[J].生态学杂志,2013,32(5):1168-1174.
- [6] 陈刚,李胜.植物生理学实验[M].北京:高等教育出版社,2016.
- [7] 谭笑,高祥斌.大花萱草耐盐性研究[J].湖北农业科学,2016,55(12):3122-3127.
- [8] 李辉,李德芳,陈安国,等.植物耐盐研究概况[J].中国麻业科学,2007,29(4):227-232.
- [9] 高宇,徐春莹,王丹,等.NaCl预处理对盐胁迫下水稻H₂O₂含量和过氧化氢酶活力的影响[J].安徽农业科学,2014,42(36):12814-12815.
- [10] 张兆英,于秀俊.植物抗盐性评价生理指标的分析[J].沧州师范专科学校学报,2006,22(4):51-53.
- [11] 李彦,张英鹏,孙明,等.盐分胁迫对植物的影响及植物耐盐机理研究进展[J].中国农学通报,2008,24(1):258-265.
- [12] 张兆英,于秀俊.植物抗盐性评价生理指标的分析[J].沧州师范专科学校学报,2006,22(4):51-53.
- [13] 张冠初,张智猛,慈敦伟,等.干旱和盐胁迫对花生渗透调节和抗氧化酶活性的影响[J].华北农学报,2018,33(3):176-181.
- [14] 贾丹莉,杨治平,郭军玲,等.6种玉米品种耐盐性筛选[J].中国农学通报,2017,33(11):1-8.

Effect of NaCl on Growth and Physiological Characteristics of Three *Pennisetum* Species

MIAO Shan, XIA Zhen-ping, LI Zhi-qiang

(Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

Abstract: In order to investigate the salt tolerance of three *Pennisetum* species, NaCl stress test was carried out for a period of 30 days. Five treatments of different soil salinity, including 0.25, 0.35, 0.50, 0.60 and 0.80 g·kg⁻¹, were set up to study their morphological and physiological changes. Taking water treatment as control. Based on mortality, the percentages of dead leaves and the growth of stalk and leaf, the results showed that the order of the salt tolerance of three species from strong to weak was as follows: *Pennisetum alopecuroides* Changsui, *P. alopecuroides* Aizhu and *P. orientale*; and the soil salinity they were able to tolerate were 0.60, 0.60 and 0.50 g·kg⁻¹, respectively. With increasing soil salinity, the activity of SOD and CAT in the leaves of all three *Pennisetum* species showed a trend of increasing first and then decreasing. The content of MDA increased at first and then decreased, finally increased, which was related to the changes of SOD and CAT activities.

Keywords: *Pennisetum*; salt tolerance; NaCl stress