

5个南方型杨树无性系苗木耐盐性盆栽试验

程方, 赵小军, 倪云, 黄开栋, 张康, 唐罗忠*

(南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: [目的] 研究盐胁迫对杨树生长及生理指标的影响, 开展不同杨树无性系耐盐性比较及评价。 [方法] 以 895 杨 (*Populus × euramericana* ‘Nanlin 895’)、1388 杨 (*P. × euramericana* ‘Nanlin 1388’)、3804 杨 (*P. deltoides* ‘Nanlin 3804’)、110 杨 (*P. deltoides × P. cathayana* cl. ‘110’) 和 328 杨 (*P. × euramericana* cl. ‘328’) 5 个杨树无性系为材料, 采用室内盆栽方法, 以无盐处理为对照, 对其在不同盐 (NaCl) 浓度处理 (1‰、2‰、3‰、4‰、5‰) 土壤下的成活率、生长量、叶片细胞质膜透性、丙二醛含量、光合速率等 13 项指标进行测定和分析, 采用隶属函数法对其耐盐性进行了综合评价。 [结果] 在土壤盐胁迫下 5 个杨树无性系的苗高、地径和生物量生长均受到了抑制; 苗木成活率、叶片光合速率和叶绿素含量均随盐处理浓度的提高而降低; 叶片细胞质膜透性和丙二醛含量随着盐处理浓度的提高而提高。 [结论] 5 个杨树无性系耐盐性存在差异, 其顺序为: 110 杨 > 328 杨 > 3804 杨 > 895 杨 > 1388 杨。110 杨能耐受 3‰ 左右的土壤含盐量, 其它无性系只能耐受 2‰ 左右。

关键词: 杨树; 盆栽; 耐盐性; 隶属函数法; 综合评价

中图分类号: S718.43 S792.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)03-0105-08

杨树 (*Populus*) 是温带地区分布最广的树种之一, 具有生长快、用途广、适应性强等特点, 是我国重要的防护林和用材林树种。研究表明, 栽培杨树能有效改良盐碱土^[1]。有关杨树盐胁迫研究已有一些报道, 例如盐胁迫会抑制毛果杨 (*P. trichocarpa* Torr. & Gray) 苗木地上和地下生物量生长^[2], 盐胁迫会导致南林 895 杨 (*P. × euramericana* ‘Nanlin 895’) 组培苗叶片出现黄化和脱落, 叶片脯氨酸含量升高^[3]。多数研究表明, 胡杨 (*P. euphratica* Oliv) 具有较强的耐盐性^[4-6], 但是在生产中被广泛应用的黑杨派和白杨派杨树无性系的耐盐性却普遍较低^[7]。近年来, 有研究者通过转基因途径获得了耐盐杨树无性系, 转复合多基因的欧美杨 107 杨 (*P. × euramericana* ‘74/76’) 在低浓度盐胁迫下 ($3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液) 表现出一定的适应性, 耐盐性优于对照 107 杨; 但是在高浓度盐胁迫下 ($6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液) 转基因 107 杨与对照均受到较大影响^[8]。南林 895 杨的抗盐转基因研究取得了一定成

果^[9]。但是, 到目前为止, 多数研究尚停留在实验室阶段, 还未在大田生产中进行测试和推广应用^[7]。

为了比较和评价不同杨树无性系的耐盐性, 同时了解不同杨树无性系对盐胁迫的生理响应机制, 本研究选用了 5 个杨树新无性系为材料, 利用盆栽法比较苗木在不同强度盐胁迫下的生长和生理性状差异, 并采用隶属函数法进行综合评价, 以期对耐盐杨树无性系的筛选和应用提供依据, 也为进一步研究耐盐机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用 3804 杨 (*P. deltoides* ‘Nanlin 3804’)、1388 杨 (*P. × euramericana* ‘Nanlin 1388’)、895 杨 (*P. × euramericana* ‘Nanlin 895’)、110 杨 (*P. deltoides × P. cathayana* cl. ‘110’) 和 328 杨 (*P. × euramericana* cl. ‘328’) 5 个杨树无性系。其中 3804 杨为美洲黑杨无性系, 1388 杨和 895 杨为欧美杨杂

收稿日期: 2018-08-28 修回日期: 2018-12-05

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2015BAD09B02); 江苏省科技计划项目(BE2018392); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

* 通讯作者: 唐罗忠, E-mail: luozhongtang@njfu.edu.cn

交 F1 代无性系,110 杨为美洲黑杨 (*P. deltoides* Marshall) 与青杨 (*P. cathayana* Rehd) 杂交 F1 代无性系,328 杨为欧美杨 (*P. × euramericana*) 与美洲黑杨杂交 F1 代无性系。3804、1388 和 895 杨是国家林木良种审定品种,已在我国湖南、湖北、安徽、江苏等地得到了大面积推广应用,110 杨和 328 杨是近年来培育、表现较好、推广潜力较大的新无性系。5 个杨树无性系生长较快,但未开展耐盐性相关研究。

1.2 试验方法

试验在南京林业大学下蜀林场玻璃温室内进行。2017 年 3 月初将粗 2 cm 左右、长 17 cm 左右、芽健康饱满的插穗扦插在花盆土壤中,每个花盆扦插 1 根插穗,每盆土壤 6 kg,进行正常的水分管理。

扦插 4 个月后,选择苗高、地径和长势一致的苗木作为试验用苗,在 7 月初对苗木进行盐胁迫处理。分别称取 0、6、12、18、24、30 g 的 NaCl,溶解到 300 mL 的自来水中,均匀浇灌到盆土中,使土壤中的 NaCl 含量分别达到 0 (对照 CK)、1‰、2‰、3‰、4‰ 和 5‰,之后采用正常的水分管理,及时将漏至托盘中的水分返回到各自的盆土中。每种处理设 3 个重复,每个重复每个无性系 6 盆,总计 540 盆。盐处理时间为 7 月至完全落叶时(11 月)。

盆栽基质:取自南京八卦洲的沙质土壤。

花盆规格:顶部直径 21.5 cm,底部直径 16.5 cm,高 22 cm,附托盘。

1.3 测定指标

苗高和地径:分别在盐处理前和试验结束时,用直尺和数显游标卡尺测定。

成活率和生物量:试验结束时统计苗木成活率,再用自来水小心冲洗土壤,获得完整的根系,将苗木分为地上和地下部分,分别在烘箱 65℃ 下烘干,测定烘干质量,计算生物量。

生理指标:盐处理 3 d 后采用 LI-6400 型光合测定系统测定不同处理下不同无性系苗木中部叶片的净光合速率和蒸腾速率;采集一定数量的叶片,采用乙醇-丙酮混合液浸提法测定叶绿素含量^[10],硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量^[11],电导率法测定细胞质膜透性^[10]。各指标测定均重复 3 次。

1.4 数据分析

参照杨敏生等^[12]以及李二龙^[13]的隶属函数法评价不同杨树无性系的抗性。计算公式如下:

(1)如果指标与抗性之间存在正相关,则为:

$$U_{ijk} = \frac{X_{ijk} - X_{kmin}}{X_{kmax} - X_{kmin}}$$

(2)如果指标与抗性之间存在负相关,则为:

$$U_{ijk} = 1 - \frac{X_{ijk} - X_{kmin}}{X_{kmax} - X_{kmin}}$$

其中, U_{ijk} 为第 i 个无性系第 j 个浓度盐胁迫对第 k 项指标的隶属函数值;

X_{ijk} 为第 i 个无性系第 j 个浓度盐胁迫对第 k 项指标的测定值;

X_{kmax} 为所有无性系第 k 项指标的最大值;

X_{kmin} 为所有无性系第 k 项指标的最小值;

U_{ijk} 越大表明抗性越强。

2 结果与分析

2.1 盐处理对苗木成活率的影响

从图 1 可以看出,不同杨树无性系在不同盐浓度处理下苗木成活率差异较大。对照和 1‰盐处理下,5 个杨树无性系成活率均为 100%;2‰盐处理下,110 杨和 328 杨成活率仍然为 100%,但是 895、3804 和 1388 杨成活率有较大幅度的降低,其中 895 杨成活率降为 80%,1388 杨和 3804 杨的成活率降为 65%左右;在 3‰盐处理下,110、3804 和 328 杨成活率分别为 78%、22%和 11%,而 1388 杨和 895 杨全部死亡。在 4‰和 5‰盐处理下,110 杨的成活率分别为 45%和 10%,其他 4 个无性系均全部死亡。总体而言,在盐处理下 5 个杨树无性系的成活率排序为 110 杨 > 328 杨 > 3804 > 895 杨 > 1388 杨。

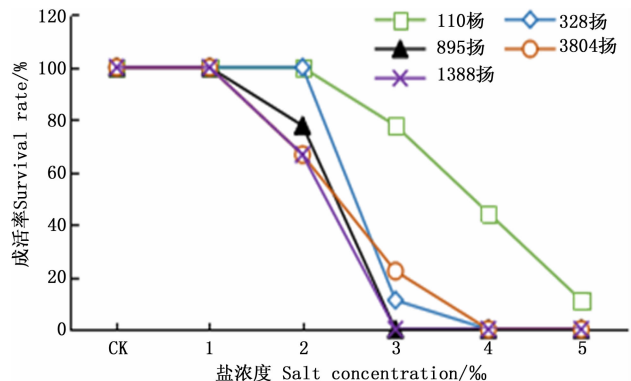


图 1 不同盐浓度处理对 5 个杨树无性系苗木成活率的影响

Fig. 1 Effects of salt stress on the survival rate of five poplar clones seedling

2.2 盐处理对苗木生长的影响

2.2.1 对地径的影响 由表 1 可见,5 个杨树无性

系苗木的地径增幅(试验结束时与盐处理时的差值)均随着盐浓度的增加而减小;1‰盐处理下苗木的地径虽然普遍小于对照,但差异不显著,多数无性系在2‰及以上浓度的盐处理下地径增幅均明显小于对照。总体而言,与对照相比,盐处理下的328杨

和895杨苗木地径的降低幅度比较大,110杨和1388杨降低幅度比较小。在5‰盐处理下,895杨和1388杨的地径增幅平均值出现了负值,其原因可能是两者在5‰盐处理下苗木地径生长量极小,并导致苗干枯缩,另外也可能存在一定的测定误差。

表1 不同盐浓度处理对5个杨树无性系苗木地径增幅的影响

Table 1 Effects of salt stress on the ground diameter growth of five poplar clones seedling

mm

盐浓度 Salt concentration	328 杨 Clone 328	110 杨 Clone 110	895 杨 Clone 895	1388 杨 Clone 1388	3804 杨 Clone 3804
CK	0.99 ± 0.09a	0.93 ± 0.22a	0.83 ± 0.16a	0.67 ± 0.20a	0.92 ± 0.12a
1‰	0.76 ± 0.15ab	0.86 ± 0.06a	0.73 ± 0.07ab	0.56 ± 0.15a	0.71 ± 0.24ab
2‰	0.74 ± 0.18b	0.59 ± 0.08b	0.56 ± 0.14b	0.49 ± 0.08a	0.56 ± 0.11b
3‰	0.51 ± 0.03c	0.58 ± 0.06b	0.17 ± 0.11c	0.09 ± 0.11b	0.36 ± 0.08bc
4‰	0.14 ± 0.09d	0.33 ± 0.06c	0.04 ± 0.03c	0.05 ± 0.04b	0.18 ± 0.12c
5‰	0.04 ± 0.03d	0.22 ± 0.10c	-0.05 ± 0.03c	-0.02 ± 0.02b	0.13 ± 0.17c

同列中相同字母表示差异不显著($P > 0.05$);同列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

The same letter in the same column indicates no significant difference ($P > 0.05$); Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

2.2.2 对苗高的影响 由表2可见,5个杨树无性系的苗高增幅随着盐浓度的提高均逐渐减小。与对照相比,1‰盐处理下的苗高增量降低了一半左右,

2‰盐处理下的苗高增量降低了70%左右,3‰以上的盐处理苗高增量除328杨外,其余均小于2 cm。

表2 不同盐浓度处理对5个杨树无性系苗高增幅的影响

Table 2 Effects of salt stress on the height growth of five poplar clones seedling

cm

盐浓度 Salt concentration	328 杨 Clone 328	110 杨 Clone 110	895 杨 Clone 895	1388 杨 Clone 1388	3804 杨 Clone 3804
CK	18.56 ± 1.38a	11.44 ± 1.90a	14.24 ± 1.52a	13.67 ± 1.58a	12.11 ± 1.29a
1‰	7.89 ± 0.89b	6.22 ± 0.79b	7.11 ± 0.93b	6.44 ± 0.84b	6.89 ± 0.80b
2‰	4.13 ± 0.61c	3.02 ± 0.53c	4.04 ± 0.37c	3.22 ± 0.59c	2.89 ± 0.74c
3‰	2.11 ± 0.51d	1.22 ± 0.17d	1.17 ± 0.21d	1.11 ± 0.19d	0.67 ± 0.13d
4‰	0.89 ± 0.15e	1.00 ± 0.06d	1.07 ± 0.18d	0.89 ± 0.13d	0.34 ± 0.09e
5‰	0.69 ± 0.25e	0.56 ± 0.05e	0.63 ± 0.10e	0.33 ± 0.15e	0.22 ± 0.16e

2.2.3 对生物量的影响 由表3可知,5个杨树无性系在不同处理下的根生物量(不含插穗)、茎生物量、总生物量(不含插穗)和根茎比的变化趋势基本相同,即:对照处理下的根、茎和总生物量以及根茎比均最大,其次是1‰处理,再次是2‰处理,而3‰、4‰和5‰处理下的生物量和根茎比均较小,且相互之间差异不显著。

110杨与其他4个无性系有所不同,主要表现在:(1)在相同处理下,110杨的根生物量均明显大于其他无性系;(2)在不同处理下,110杨的茎生物量虽然存在一定差异,但差异均不显著;(3)在相同处理下,110杨的根茎比均明显大于其他无性系。

2.3 盐处理对苗木生理的影响

2.3.1 对叶片净光合速率的影响 由图2可以看出,盐处理3 d后,各无性系苗木叶片净光合速率均

随着盐处理浓度的提高而下降。不同无性系之间存在较大差异,其中3804杨除4‰外,其他处理下的净光合速率均大于其他无性系,其次是1388杨和328杨,再次是895杨,而110杨始终最低。

2.3.2 对叶片蒸腾速率的影响 由图3可以看出,在不同处理下5个杨树无性系苗木叶片蒸腾速率的变化趋势基本相同,即经盐处理后,苗木蒸腾速率均明显低于对照处理,而5种盐处理(1‰~5‰)之间的差异较小,无性系之间的差异也较小。

2.3.3 对叶片细胞质膜透性的影响 由图4可知,5个杨树无性系苗木叶片细胞质膜透性随着盐处理浓度的提高而提高,不同无性系之间存在一定差异,3804杨在5‰盐处理时的细胞质膜透性明显大于其他浓度处理;1388杨和895杨在3‰、4‰和5‰处理下均比1‰、2‰和对照处理大幅度提高;110杨在

4‰和5‰处理下比其他浓度处理大幅度提高;328杨在4‰和5‰的盐处理下,细胞质膜透性虽然显著大于对照和其他盐浓度处理,但是增加的幅度较小。所以,从细胞质膜透性的变化情况可以看出,1388

杨和 895 杨的细胞质膜最容易受到盐胁迫危害,3804 杨只在 5‰盐处理时受到盐胁迫危害,其他 2 个无性系危害相对较轻。

表 3 不同盐浓度处理对 5 个杨树无性系苗木生物量的影响

Table 3 Effects of salt stress on the biomass of five poplar clones seedling

无性系 Clone	盐浓度 Salt concentration	生物量 Biomass / (g · plant ⁻¹)			根茎比 Root / stem ratio
		根 Root	茎 Stem	总和 Total	
328 杨 Clone 328	CK	1.87 ± 0.07a	8.32 ± 0.55a	10.19 ± 0.59a	0.22 ± 0.01a
	1‰	0.94 ± 0.28b	7.13 ± 0.81ab	8.07 ± 1.26b	0.13 ± 0.05b
	2‰	0.40 ± 0.10c	6.26 ± 0.99bc	6.67 ± 1.09bc	0.07 ± 0.01c
	3‰	0.27 ± 0.12c	5.35 ± 1.12cd	5.62 ± 1.23cd	0.05 ± 0.01c
	4‰	0.19 ± 0.07c	4.78 ± 0.43cd	4.96 ± 0.38cd	0.04 ± 0.02c
	5‰	0.23 ± 0.06c	4.29 ± 0.86d	4.52 ± 0.92d	0.05 ± 0.01c
110 杨 Clone 110	CK	3.81 ± 0.48a	5.80 ± 0.57a	9.60 ± 0.96a	0.66 ± 0.06a
	1‰	3.39 ± 0.41a	5.54 ± 0.56a	8.94 ± 0.81ab	0.61 ± 0.08a
	2‰	2.44 ± 0.43b	5.44 ± 0.41a	7.88 ± 0.84bc	0.44 ± 0.06b
	3‰	1.93 ± 0.55b	4.90 ± 0.21a	6.83 ± 0.73c	0.41 ± 0.10b
	4‰	1.71 ± 0.48b	5.14 ± 0.52a	6.84 ± 0.91c	0.34 ± 0.09b
	5‰	2.05 ± 0.29b	5.68 ± 0.53a	7.73 ± 0.79bc	0.38 ± 0.01b
895 杨 Clone 895	CK	2.48 ± 0.49a	7.34 ± 0.70a	9.82 ± 1.17a	0.33 ± 0.03a
	1‰	1.29 ± 0.18b	7.36 ± 0.68a	9.03 ± 1.20ab	0.22 ± 0.07b
	2‰	0.82 ± 0.20bc	6.77 ± 0.83ab	7.68 ± 1.10abc	0.14 ± 0.03c
	3‰	0.51 ± 0.18c	5.09 ± 0.35c	5.51 ± 0.62d	0.08 ± 0.05c
	4‰	0.40 ± 0.17c	5.55 ± 0.47bc	5.95 ± 0.62cd	0.07 ± 0.03c
	5‰	0.55 ± 0.22c	5.60 ± 1.02bc	6.15 ± 1.22cd	0.10 ± 0.03c
1388 杨 Clone 1388	CK	1.95 ± 0.66a	8.11 ± 0.93a	10.06 ± 1.46a	0.23 ± 0.06a
	1‰	1.44 ± 0.47a	7.10 ± 0.39ab	8.54 ± 0.86a	0.20 ± 0.05ab
	2‰	0.60 ± 0.14b	5.95 ± 1.13bc	6.56 ± 1.23b	0.17 ± 0.14abc
	3‰	0.36 ± 0.27bc	5.59 ± 0.96c	5.95 ± 1.21b	0.06 ± 0.03c
	4‰	0.27 ± 0.03e	5.44 ± 0.66c	5.72 ± 0.69b	0.05 ± 0.01c
	5‰	0.44 ± 0.14bc	5.42 ± 0.33c	5.86 ± 0.24b	0.08 ± 0.03c
3804 杨 Clone 3804	CK	1.19 ± 0.27a	5.65 ± 1.03a	6.84 ± 1.29a	0.20 ± 0.02a
	1‰	0.84 ± 0.08b	5.26 ± 0.28ab	6.10 ± 0.36ab	0.16 ± 0.01b
	2‰	0.41 ± 0.17c	4.46 ± 1.05abc	4.87 ± 1.22bc	0.09 ± 0.02c
	3‰	0.23 ± 0.07c	4.08 ± 0.50bc	4.31 ± 0.56c	0.05 ± 0.01d
	4‰	0.18 ± 0.05c	3.47 ± 0.35c	3.65 ± 0.36c	0.05 ± 0.01d
	5‰	0.25 ± 0.05c	3.77 ± 0.49c	4.02 ± 0.53c	0.07 ± 0.01cd

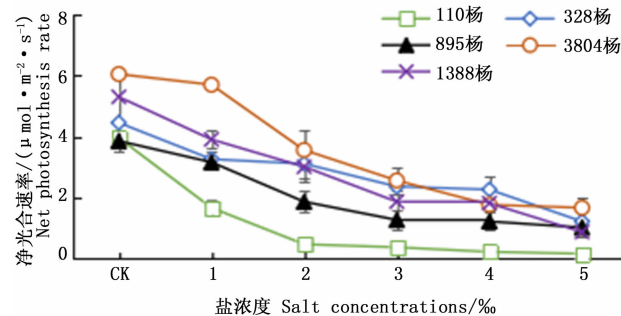


图 2 不同盐浓度处理对 5 个杨树无性系苗木叶片净光合速率的影响

Fig. 2 Effects of salt stress on the net photosynthesis rate of five poplar clones seedling

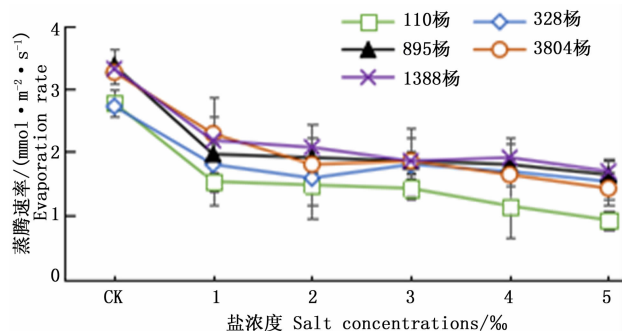
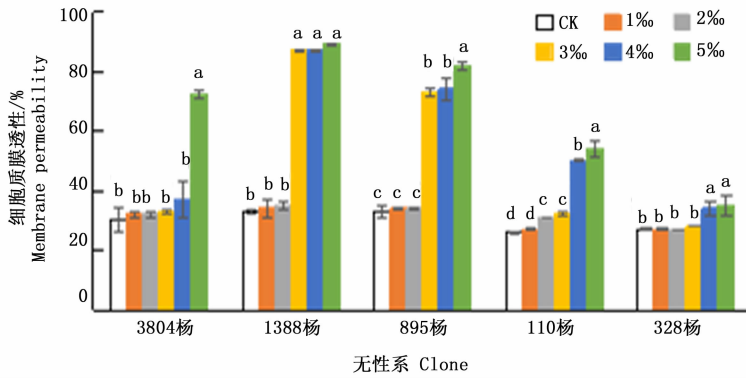


图 3 不同盐浓度处理对 5 个杨树无性系苗木叶片蒸腾速率的影响

Fig. 3 Effects of salt stress on the transpiration rate of five poplar clones seedling



相同字母代表差异不显著 ($P > 0.05$); 不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

The same letter indicates no significant difference ($P > 0.05$); Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

图4 不同盐浓度处理对5个杨树无性系苗木叶片细胞质膜透性的影响

Fig. 4 Effects of salt stress on the membrane permeability of five poplar clones seedling

2.3.4 对叶片MDA含量的影响 由图5可以看出,5个杨树无性系叶片丙二醛(MDA)含量基本上是随着盐处理浓度的增加而提高,但无性系间提高的幅度存在一定差异。在较高浓度(3‰以上)的盐处理下1388杨和895杨MDA含量比其他处理有较大幅度的提高,而其他3个无性系提高的幅度比较小。

2.3.5 对叶片叶绿素含量的影响 如图6所示,随着盐处理浓度的提高,5个杨树无性系叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素a+b含量均呈下降趋势,其中,叶绿素b的下降幅度大于叶绿素a。在5个无性系中,110杨与其他4个无性系有较大差别,随着盐处理浓度的提高,110杨叶绿素含量呈大幅度下降

趋势,除了1‰处理与对照之间无显著差异外,其他处理均显著低于对照。

2.4 杨树无性系耐盐性综合评价

选择苗高、地径、总生物量、蒸腾速率、净光合速率、细胞质膜透性、MDA含量、叶绿素a+b含量和成活率等9个主要指标,采用隶属函数法对5个杨树无性系的耐盐性进行了综合评价,结果(表4)表明,110、328、3804、895和1388杨的隶属函数综合评价(平均值)分别为0.62、0.60、0.52、0.47和0.29,初步认为,在盐胁迫下,110杨受害最轻,抗盐性最强,1388杨受害最重,耐盐性最差,5个无性系耐盐性依次为110杨 > 328杨 > 3804杨 > 895杨 > 1388杨。

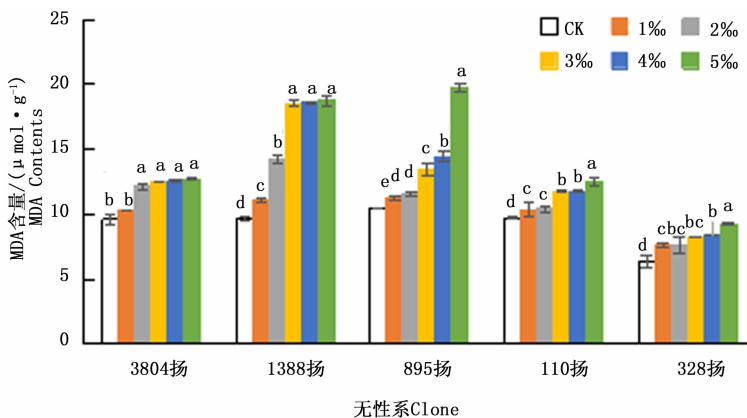


图5 不同盐浓度处理对5个杨树无性系苗木叶片MDA含量的影响

Fig. 5 Effects of salt stress on the MDA content of five poplar clones seedling

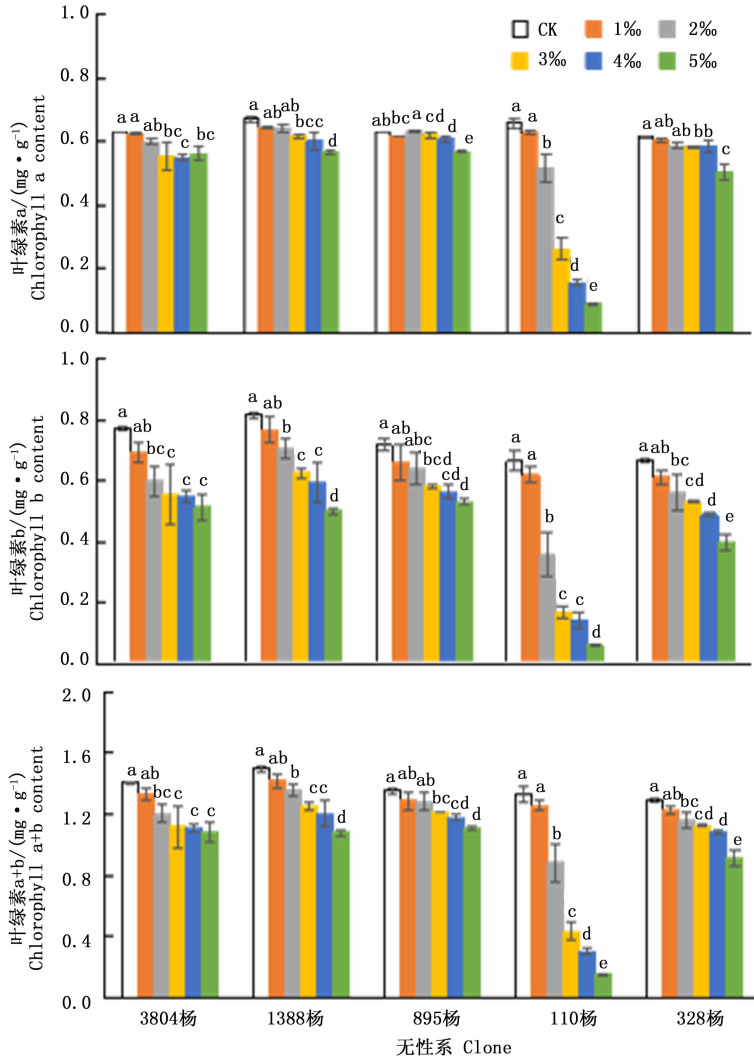


图6 不同盐浓度处理对5个杨树无性系苗木叶片叶绿素含量的影响

Fig. 6 Effects of salt stress on the chlorophyll content of five poplar clones seedling

表4 耐盐性试验下5个杨树无性系隶属函数值和综合评价值

Table 4 Membership function value and comprehensive evaluation value of five poplar clone under salt treatment

指标 Index	328 杨 Clone 328	110 杨 Clone 110	895 杨 Clone 895	1388 杨 Clone 1388	3804 杨 Clone 3804
苗高 Height	0.00	1.00	0.68	0.15	0.31
地径 Ground diameter	0.45	1.00	0.01	0.00	0.35
总生物量 Total biomass	0.00	1.00	0.54	0.30	0.41
蒸腾速率 Transpiration rate	1.00	0.00	0.34	0.61	0.22
净光合速率 Net photosynthesis rate	1.00	0.00	0.68	0.66	0.87
细胞质膜透性 Membrane permeability	1.00	0.61	0.21	0.00	0.70
MDA 含量 MDA content	0.78	1.00	0.67	0.00	0.83
叶绿素 a + b 含量 Chlorophyll a + b content	0.90	0.00	1.00	0.88	0.85
成活率 Survival rate	0.27	1.00	0.07	0.00	0.13
综合评价值 Comprehensive evaluation value	0.60	0.62	0.47	0.29	0.52

3 讨论

植物的成活率是反映该植物对环境胁迫抗性大小的最直观因子,已有的研究表明,大多数植物只能

忍耐低浓度的盐胁迫,在高含盐量土壤条件下,植物往往会死亡^[14]。本研究表明,当土壤盐浓度达到2‰及以上时,5个杨树无性系苗木成活率逐渐下降,甚至全部死亡。不同无性系之间存在较大差异,

其中,110 杨和 328 杨的成活率较高,尤其是 110 杨在 4‰和 5‰的盐浓度处理下仍然有少量苗木存活。所以,从苗木的成活率看,110 杨是 5 个杨树无性系中最耐盐的,其次是 328 杨,而 895 杨和 1388 杨的成活率低,其耐盐性比较低,这一结果与最终采用隶属函数法进行的综合评价结果(表 4)是一致的,表明成活率可以综合、客观地反映苗木的耐盐性。

盐胁迫会导致植物的根、茎、叶生物量降低^[15-16]。张华新等^[17]研究表明,盐胁迫下 11 个树种生物量都随着盐处理浓度的提高而降低;即使是耐盐的半红树植物杨叶肖槿(*Thespesia populnea* (L.) Soland. ex Correa)在较高盐浓度处理下,其生长量也会明显降低^[18]。本研究亦发现,盐胁迫会明显抑制 5 个杨树无性系的苗高、地径和生物量生长,且随着盐浓度的提高,生长量的下降幅度增大,但是,在 5 个杨树无性系中 110 杨下降幅度比较小,而且 110 杨的根系生物量以及根茎比明显大于其他无性系,这一形态特征可能有利于维持苗木地上部分与地下部分的水分平衡,从而有利于提高成活率和生长量。

导致植物生物量下降的原因主要是苗木在盐胁迫下叶片细胞质膜透性和丙二醛(MDA)含量增加^[19-22],叶绿素含量、蒸腾速率和净光合速率下降^[23-26]。本研究发现,盐胁迫下 5 个杨树无性系苗木叶片细胞质膜透性以及 MDA 含量都会高于对照,其中 1388 杨和 895 杨在高浓度盐处理下提高的幅度大于其他无性系;盐胁迫下苗木叶绿素含量、蒸腾速率以及净光合速率均低于对照处理,其中 110 杨尤为明显。

植物的耐盐性是多种因素综合作用的结果,因此采用多因素综合评价耐盐性十分必要。本研究利用苗高、地径、生物量、成活率等指标,采用隶属函数法进行综合评价,发现 5 个杨树无性系耐盐性强弱为:110 杨 > 328 杨 > 3804 杨 > 895 杨 > 1388 杨。综合评价发现,110 杨可以忍耐 3‰左右的土壤含盐量,其耐盐性明显高于其他 4 个无性系。综合认为,110 杨耐盐性较强的主要原因可能是:在高浓度盐处理下会产生相应的自我保护机制,如叶片蒸腾速率迅速下降、叶片黄化(叶绿素含量降低)和脱落,以此来减少地上部分的水分消耗;另外,110 杨的根系明显比其他 4 个无性系发达,这些特性有利于维持苗木地上部分和地下部分的水分平衡,从而能保持较高的成活率和生长量。110 杨有别于其他 4 个

无性系,其原因可能是 110 杨是美洲黑杨(母本)与青杨(父本)的杂交种,而其他 4 个无性系均属于美洲黑杨和欧美杨杂交种,两者亲本基因型不同对子代的耐盐性亦有影响。

本研究采用室内盆栽方法进行盐(NaCl)胁迫试验,研究结果可为了解不同杨树无性系的耐盐性提供参考,但是由于室内盆栽试验条件与真正的大田条件(如土壤类型、土壤盐分种类和含量、小气候条件等)之间存在差异,所以今后还有必要进一步进行田间试验,以获得更加客观的结果,为生产实践提供重要依据。

4 结论

在土壤盐(NaCl)胁迫处理下,110、328、3804、895 和 1388 杨 5 个杨树无性系的苗高、地径和生物量生长均受到明显抑制;苗木成活率、叶片光合速率和叶绿素含量均随盐处理浓度的提高而降低;叶片细胞质膜透性和丙二醛含量随着盐处理浓度的提高而提高。综合分析认为 5 个杨树无性系耐盐性顺序为:110 杨 > 328 杨 > 3804 杨 > 895 杨 > 1388 杨。110 杨能耐受 3‰左右的土壤盐浓度,而其它 4 个无性系只能耐受 2‰左右的土壤盐浓度。

参考文献:

- [1] Robinson B H, Mills T M, Petit D, et al. Natural and induced cadmium - accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation[J]. Plant & Soil, 2000, 227(2): 301 - 306.
- [2] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 盐分胁迫对杨树苗期生长和土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 426 - 430.
- [3] 徐彩平. 南林 895 杨组培苗耐盐性及耐盐机制的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [4] Yu L, Ma J C, Niu Z M, et al. Tissue-specific transcriptome analysis reveals multiple responses to salt stress in *Populus euphratica* seedlings[J]. Genes, 2017, 8: 372.
- [5] Chen J F, Zhang J, Hu J J, et al. Integrated regulatory network reveals the early salt tolerance mechanism of *Populus euphratica*[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 6769.
- [6] 綦艳林, 朱雅娟, 贾志清, 等. 荒漠河岸林 2 种典型植物的耐盐性比较[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 327 - 333.
- [7] 罗子敬, 孙宇涵, 卢楠, 等. 杨树耐盐机制及转基因研究进展[J]. 核农学报, 2017, 31(3): 482 - 492.
- [8] 陈盼飞, 左力辉, 王桂英, 等. 盐胁迫下转复合多基因欧美杨 107 杨幼苗生长及生理响应[J]. 林业科学, 2017, 53(7): 45 - 53.
- [9] 孙伟博, 邓大霞, 杨立恒, 等. 南林 895 杨树 GmNHX1 基因的转入及其耐盐性分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2014, 43(1): 34 - 38.

- [10] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [11] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [12] 杨敏生, 裴保华, 朱之梯. 白杨双交杂种无性系抗旱性鉴定指标分析[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 36-42.
- [13] 李二龙. 四种木本植物对铅胁迫的生理响应[D]. 成都: 四川农业大学, 2009.
- [14] 支晓蓉, 杨秀艳, 任坚毅, 等. 我国园林植物耐盐性评价及鉴定研究进展[J]. 世界林业研究, 2018, 31(5): 51-57.
- [15] 杨少辉, 季 静, 王 罡, 等. 盐胁迫对植物影响的研究进展[J]. 分子植物育种, 2006, 4(3): 139-142.
- [16] 孙海菁, 王树凤, 陈益泰. 盐胁迫对 6 个树种的生长及生理指标的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(3): 315-324.
- [17] 张华新, 宋 丹, 刘正祥. 盐胁迫下 11 个树种生理特性及其耐盐性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 168-175.
- [18] 邱凤英, 廖宝文, 肖复明. 半红树植物杨叶肖槿幼苗耐盐性研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(1): 51-55.
- [19] Mansour M M F, Salama K H A. Cellular basis of salinity tolerance in plants [J]. Environmental & Experimental Botany, 2004, 52(2): 113-122.
- [20] 李 倩, 刘景辉, 武俊英, 等. 盐胁迫对燕麦质膜透性及 Na⁺、K⁺ 吸收的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 88-92.
- [21] 杨传平, 焦喜才, 刘文祥, 等. 树木的细胞膜透性与抗盐性[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(1): 1-3.
- [22] 杨发荣, 刘文瑜, 黄 杰, 等. 不同藜麦品种对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 草业学报, 2017, 26(12): 77-88.
- [23] 吴永波, 薛建辉. 盐胁迫对 3 种白蜡树幼苗生长与光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(3): 19-22.
- [24] 王 臣, 虞木奎, 张 翠, 等. 盐胁迫下 3 个楸树无性系光合特征研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 537-543
- [25] 赵可夫. 植物耐盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [26] 汪贵斌, 曹福亮. 盐分和水分胁迫对落羽杉幼苗的生长量及营养成分含量的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 56-62.

Study on Salt Tolerance of Five Southern Poplar Clones in Pot Culture

CHENG Fang, ZHAO Xiao-jun, NI Yun, HUANG Kai-dong, ZHANG Kang, TANG Luo-zhong

(Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] To study the effects of salt stress on growth and physiological indicators of poplar and to compare the salt tolerance among poplar clones. [Method] The seedlings of five poplar clones, i. e. Nanlin-895 (*Populus × euramericana* ‘Nanlin 895’), Nanlin-1388 (*P. × euramericana* ‘Nanlin 1388’), Nanlin-3804 (*P. deltoides* ‘Nanlin 3804’), 110 (*P. deltoides* × *P. cathayana* cl. ‘110’) and 328 (*P. × euramericana* cl. ‘328’) were selected to analyze the survival rate, growth traits, cell membrane permeability, malondialdehyde content and photosynthetic rate treated with 1‰, 2‰, 3‰, 4‰, 5‰ of salt (NaCl) and the CK in a greenhouse. The salt tolerance of clones was comprehensively evaluated by subordinate function method. [Result] The height, ground diameter and biomass of all the poplar clones seedling were inhibited under the salt treatments. The survival rate, net photosynthetic rate and chlorophyll content of seedlings decreased with increasing salt concentration, while the cell membrane permeability and malondialdehyde content in leave increased with increasing salt concentration. [Conclusion] The salt tolerance of the five clones is in the order of clone 110 > clone 328 > Nanlin-3804 > Nanlin-895 > Nanlin-1388. Clone 110 can tolerate the soil with a salt concentration of 3‰ while the other clones can tolerate the soil with a salt concentration of 2‰.

Keywords: poplar; pot culture; salt tolerance; subordination function method; comprehensive evaluation

(责任编辑: 彭南轩)