

文章编号: 1000-5692(2007)03-0290-07

刺槐生长及盐离子吸收分配对干旱和旱盐胁迫的响应

郁万文¹, 曹帮华², 曹福亮¹

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 通过盆栽控制土壤水分和氯化钠质量分数, 研究了 2 个刺槐 *Robinia pseudoacacia* 无性系 (W_1 和 L_{78}) 的生长及体内盐离子分布、选择性吸收(运输)离子对干旱和旱盐胁迫的响应, 探讨了 W_1 和 L_{78} 对 2 种胁迫响应机制的异同及抗旱与耐盐间的相互关系。研究表明: ① 2 种胁迫均抑制了 2 个无性系的生长。干旱胁迫对 W_1 生长的抑制作用强, 而旱盐胁迫对 L_{78} 生长的抑制作用强。② 2 种胁迫下, L_{78} 根的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$ 和 $R_{Mg,Na}$ 比 W_1 的小, 而叶的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$ 和 $R_{Mg,Na}$ 大, 造成根中 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的匮乏, 是 2 种胁迫抑制 L_{78} 生长的共同原因。 L_{78} 根控制 Na^+ 吸收和向地上部运输的能力差, 是旱盐胁迫进一步抑制 L_{78} 生长(与干旱胁迫相比)的原因之一。③ 在旱盐胁迫下, W_1 能维持相对稳定的矿质营养水平, 尤其是 K^+ 和 Ca^{2+} , 同时根系对 Na^+ 的吸收和向地上部的运输有较强的控制能力, 表现出较强的抗旱耐盐能力。④ 干旱胁迫下, W_1 根中离子总量降低幅度较 L_{78} 大, 表明无机离子在渗透调节中所占的比重较 L_{78} 小, 表明有机渗透调作用加强, 加大了自身物质和能量的消耗, 造成干旱胁迫抑制 W_1 生长的作用较 L_{78} 大。表 5 参 15

关键词: 植物生理学; 刺槐无性系; 干旱胁迫; 旱盐胁迫; 生长; 离子吸收分配

中图分类号: S718 **文献标志码:** A

目前, 适宜农林业生产的土地大部分已被开发, 土地开发的重点正逐渐转向有生产潜力的干旱地区^[1]。但是, 干旱半干旱地区年降水量小, 蒸发量远大于降水量, 土壤常处于干旱脱湿状态, 土壤盐分淋洗极微弱, 几乎全年处于积盐状态, 干旱和盐渍对植物的影响往往是协同和共存的。大量研究表明, 干旱、盐渍、低温和高温等逆境引起植物的一些适应性反应, 如抗氧化保护系统、渗透调节系统、激素的变化等都是相似的。盐渍除了有低渗透势作用外, 还有离子毒害作用^[2,3]。目前, 有关植物抗性生理的研究大多集中于植物对单一逆境的反应, 而植物对多种逆境的响应研究报道较少^[4]。刺槐 *Robinia pseudoacacia* 具有耐干旱、瘠薄和盐碱的特性, 是干旱半干旱地区和荒山造林的先锋树种。针对干旱半干旱地区土壤的水盐特性, 通过盆栽模拟试验研究了在控盐控水条件下, 干旱和旱盐胁迫对刺槐 2 个无性系生长及盐离子吸收、运输的影响, 分析了 2 个无性系抗旱和耐盐机制的异同, 以期探讨植物抗旱与耐盐之间的相互关系, 并为干旱盐渍区的土壤改良和林业发展提供理论依据。

收稿日期: 2006-09-06; 修回日期: 2006-11-02

基金项目: 科学技术部资助项目(02EFN216700794)

作者简介: 郁万文, 博士研究生, 从事树木抗逆生理研究。E-mail: youeryuw@163.com。通信作者: 曹帮华, 教授, 从事林业生物技术、树木抗逆生理生态等研究。E-mail: samcao@njfu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试刺槐无性系为皖 1 (W_1) 和鲁 78 (L_{78}), W_1 和 L_{78} 的抗旱、耐盐机制存在较大差异^[5,6]。在北京林业大学生物中心试验苗圃温室里进行盆栽试验。2004 年 3 月上旬从大田中挖取刺槐根系, 选取直径 4~6 cm 的根, 剪成 15 cm 长的根段插于高 30 cm, 内径 23 cm 的盆内, 每盆 1 株。基质为砂壤土, 最大田间持水量为 19.6%, 土壤 pH 8.10, 有机质 11.90 g·kg⁻¹, 全氮 0.38 g·kg⁻¹, 有效磷 15.78 mg·kg⁻¹, 水溶性 Na⁺, K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 分别为 24.84, 8.19, 117.60 和 15.84 mg·kg⁻¹。每盆 10 kg 干土。

1.2 试验设计

2004 年 8 月初, 选择较为一致的健壮苗(株高 85±3.6 cm)进行处理。分别用自来水和 50 g·kg⁻¹ 氯化钠溶液浇灌, 通过控制浇水量和浇水时间间隔, 使各处理同期达到以下 4 个水分梯度: 田间持水量的 75%~80%, 60%~65%, 45%~50% 和 30%~35%, 同时使浇盐溶液的土壤氯化钠质量分数达到 2.0 g·kg⁻¹。以后通过称盆补水, 持续处理 16 d。每处理重复 4 次, 并设 2 个空白盆(不栽苗), 其他管理同栽苗盆。

水分梯度设定: 采用模拟降水, 每次浇水量相同但是浇水时间间隔不同。浇水量的确定: 取 3 个盆, 装土量与试验一致, 每隔 2 d 浇 1 次自来水至渗而不漏所需要的水量作为试验中每次浇水量, 确定该试验浇水量 250 mL·次⁻¹, 并由浇水间隔天数的不同控制不同水分胁迫梯度。盐处理组方法同上, 确定浇氯化钠溶液量 200 mL·次⁻¹, 每盆仅前 2 次浇氯化钠溶液, 其余浇自来水^[7]。各处理见表 1。

表 1 不同处理的代号和方式

Table 1 The symbols and ways of different treatments

处理		水分梯度			
		75%~80%	60%~65%	45%~50%	30%~35%
自来水	代号	A ₁ B ₀ (ck)	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃
	间隔天数/d	2	4	7	11
氯化钠溶液	代号	A ₂ B ₀	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃
	间隔天数/d	2	5	9	14

1.3 测定方法

1.3.1 生长指标的测定 至预定水分梯度测苗高 H_0 , 试验结束测苗高 H_1 , 并采集上部叶(冠层上方的 2/3), 用自来水冲洗根系, 并用去离子水洗净根和叶, 吸水纸迅速吸干表水后, 称鲜质量, 105 °C 杀青 15 min, 75 °C 烘至恒量, 称干质量。

1.3.2 土壤中可溶性 Na⁺, K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数测定 土壤自然风干, 过 30 目筛, 去离子水浸提(水:干土=5:1, 质量比)。火焰原子吸收光谱法^[8] 检测土壤中可溶性 Na⁺, K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数。

1.3.3 植株组织中 Na⁺, K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数测定 粉碎干样, 过 30 目筛, 称取 0.100 g 样品, 浓 HNO₃-H₄ClO₄ 法消煮, 火焰原子吸收光谱法^[8] 测定组织中 Na⁺, K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数。按下列公式计算离子吸收和运输 K⁺ 的选择性比率 ($S_{K,Na}$)^[9] 和相对选择性比率 ($R_{K,Na}$):

$$\begin{cases} \text{离子吸收 } S_{K,Na} = ([K^+]/[Na^+])_{\text{根}} / ([K^+]/[Na^+])_{\text{介质}} \\ \text{离子运输 } S_{K,Na} = ([K^+]/[Na^+])_{\text{源器官}} / ([K^+]/[Na^+])_{\text{库器官}} \\ R_{K,Na} = S_{K,Na(AB)} / S_{K,Na(ck)} \end{cases}$$

其中: AB 代表处理组, ck 代表对照。

离子吸收和运输 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的选择性比率和相对选择性比率的计算同 K⁺。数据处理与分析采用 SAS 和 DPS 统计软件。

2 结果与分析

2.1 干旱和旱盐胁迫对刺槐无性系生长的影响

如表2所示, 干旱(A₁B)和旱盐胁迫(A₂B)均抑制了2个刺槐无性系的生长。随着土壤水分梯度的降低, 无性系苗高增量及地上部和根部干质量均明显下降。在同等水分梯度下, 氯化钠进一步抑制了2个无性系的生长, 如在A₁B₂和A₂B₂处理下, 无性系L₇₈苗高增量分别为对照的66.2%和38.2%, 对地上部、根干质量的影响也类似。在旱盐处理下, 干旱胁迫对2个无性系生长的抑制随土壤水分的减少而增强, 如在A₂B₁, A₂B₂和A₂B₃处理下, 无性系W₁苗高增量分别为对照的67.5%, 43.2%和37.7%, 对地上部和根干质量的影响也类似。干旱胁迫对L₇₈生长的抑制小于对W₁的作用, 而旱盐胁迫对L₇₈生长的抑制作用较W₁的大。就2种胁迫对无性系生长的影响而言, 不同处理间差异达到极显著水平。

表2 干旱和旱盐胁迫对刺槐无性系生长的影响

Table 2 Effects of drought and drought-salt stresses on growth of *Robinia pseudoacacia* clones

处理	苗高				地上部				根部			
	L ₇₈		W ₁		L ₇₈		W ₁		L ₇₈		W ₁	
	增量/g	指数	增量/g	指数	干质量/g	指数	干质量/g	指数	干质量/g	指数	干质量/g	指数
ck	29.3 a A	1.00	34.5 a A	1.00	23.27 a A	1.00	28.12 a A	1.00	11.42 b A	1.00	12.79 ab AB	1.00
A ₁ B ₁	26.8 b B	0.92	25.3 c C	0.73	21.38 b B	0.92	20.88 d D	0.74	11.71 a A	1.03	13.05 a A	1.02
A ₁ B ₂	19.4 d D	0.66	14.2 f E	0.41	17.23 d D	0.74	16.94 g G	0.60	9.65 d C	0.84	9.86 d D	0.77
A ₁ B ₃	16.6 f F	0.57	11.6 h G	0.34	15.74 e E	0.68	16.18 h G	0.58	7.96 f E	0.70	8.61 f F	0.67
A ₂ B ₀	25.2 c C	0.86	30.0 b B	0.87	20.88 b B	0.90	26.01 b B	0.93	10.22 c B	0.89	12.74 ab AB	1.00
A ₂ B ₁	17.4 e E	0.60	23.3 d D	0.68	18.23 c C	0.78	22.77 c C	0.81	9.55 d C	0.84	12.51 b B	0.98
A ₂ B ₂	11.2 g G	0.38	14.9 e E	0.43	13.90 f F	0.60	19.47 e E	0.69	8.75 e D	0.77	10.34 c C	0.81
A ₂ B ₃	9.2 h H	0.32	13.0 g F	0.38	12.69 g G	0.55	17.83 f F	0.63	7.38 g F	0.65	9.19 e E	0.72
$F_{\text{无性系}} = 0.787 < F_{0.05} = 5.591$				$F_{\text{无性系}} = 10.61 > F_{0.05} = 5.591$				$F_{\text{无性系}} = 23.878 > F_{0.01} = 12.246$				

说明: 表中同一列标记相同的大(小)写字母表示它们在1%(5%)水平上不存在显著性差异。

2.2 干旱和旱盐胁迫下, 土壤-无性系系统中盐离子分布特征

2.2.1 干旱和旱盐胁迫下, 土壤中盐离子分布特征 在干旱胁迫下, 土壤中Na⁺质量分数较对照的低, 表明干旱胁迫下无性系的部分渗透调节作用是通过吸收土壤中Na⁺, 降低渗透势而实现的。随着干旱胁迫的加剧, 无性系根系对Na⁺的吸收受到抑制使土壤中Na⁺质量分数略有回升; 在旱盐胁迫下, 土壤中Na⁺质量分数随土壤水分的降低呈现出相同的变化趋势(表3)。但2种胁迫下根际土壤中Na⁺质量分数均低于无苗盆, 这是无性系根系主动吸收部分Na⁺来降低根细胞渗透势, 维持根系水分平衡的结果。

如表3所示, 干旱胁迫和旱盐胁迫均抑制了无性系根系对土壤中K⁺, Ca²⁺和Mg²⁺的吸收, 从而造成胁迫组土壤中K⁺, Ca²⁺和Mg²⁺质量分数略高于对照, 但其抑制作用不大, 各处理间、无性系间差异均不显著。

2.2.2 干旱和旱盐胁迫下, 无性系体内盐离子分布特征 结果表明(表4), 在干旱胁迫下, 无性系根中Na⁺质量分数升高, 但随着土壤水分的降低而有所下降。A₁B₃处理的L₇₈根中Na⁺质量分数仍高于对照, 而W₁根中Na⁺质量分数低于对照; 2个无性系叶中Na⁺质量分数呈升高趋势, 其中W₁的升幅较小。L₇₈根和叶中K⁺, Ca²⁺和Mg²⁺质量分数均降低, 其中K⁺和Ca²⁺质量分数随着水分的降低进一步下降, 而Mg²⁺质量分数有所升高, 但仍低于对照; W₁根中K⁺, Ca²⁺和Mg²⁺质量分数的变化趋势同L₇₈, 但叶中K⁺质量分数增加, Ca²⁺和Mg²⁺质量分数降低, 均随着水分的降低而略有升高, 甚至A₁B₃处理的W₁叶中Ca²⁺质量分数高于对照。

表 3 干旱和旱盐胁迫下土壤中盐离子质量分数的变化

Table 3 Changes of Na⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in soil under drought and drought-salt stresses

处理	Na ⁺ / (g·kg ⁻¹)		K ⁺ / (g·kg ⁻¹)		Ca ²⁺ / (g·kg ⁻¹)		Mg ²⁺ / (g·kg ⁻¹)	
	L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁
ck	0 190 d D	0 206 d D	0 045 c B	0 046 b B	0 566 b B	0 565 a	0 075 b AB	0 075 a
A ₁ B ₁	0 177 d D	0 183 d D	0 046 bc AB	0 046 b B	0 577 b AB	0 573 a	0 076 ab AB	0 077 a
A ₁ B ₂	0 177 d D	0 200 d D	0 048 ab A	0 047 b B	0 581 b AB	0 577 a	0 076 ab AB	0 077 a
A ₁ B ₃	0 182 d D	0 207 d D	0 049 a A	0 046 b B	0 598 a A	0 579 a	0 078 a A	0 077 a
A ₂ B ₀	1 156 c C	1 153 c C	0 048 ab A	0 050 a A	0 567 b B	0 570 a	0 074 b B	0 075 a
A ₂ B ₁	1 167 c C	1 160 c C	0 045 c B	0 045 b B	0 567 b B	0 571 a	0 075 b AB	0 076 a
A ₂ B ₂	1 251 b B	1 338 b B	0 046 bc AB	0 046 b B	0 567 b B	0 567 a	0 075 b AB	0 076 a
A ₂ B ₃	1 377 a A	1 590 b B	0 047 abc AB	0 047 b B	0 570 b B	0 567 a	0 075 b AB	0 075 a

说明: 表中同一列标记相同的大(小)写字母表示它们在 1%(5%)水平上不存在显著性差异。

在旱盐胁迫下, 2 个无性系根和叶中 Na⁺ 质量分数均明显增加, 且叶中 Na⁺ 质量分数随土壤含水量的降低进一步增加。L₇₈ 根中 Na⁺ 质量分数随水分降低的变化趋势同叶, 而 W₁ 根中 Na⁺ 质量分数变化与 L₇₈ 相异。旱盐胁迫降低了根中 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数, 且随胁迫强度的增加而降低, 其中 W₁ 根中 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数的降幅较小。L₇₈ 叶中 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数有所增加, 其中 K⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数随胁迫强度的增强而降低, 而 Ca²⁺ 质量分数的变化趋势与之相反; 旱盐胁迫对 W₁ 叶中 K⁺ 质量分数的影响同 L₇₈, 对 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 质量分数的影响不同于 L₇₈。

表 4 干旱和旱盐胁迫对无性系根叶中盐离子质量分数的影响

Table 4 Effects of drought and drought-salt stresses on Na⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ concentrations in root and leaf of *Robinia pseudoacacia* clones

器官	处理	Na ⁺ / (g·kg ⁻¹)		K ⁺ / (g·kg ⁻¹)		Ca ²⁺ / (g·kg ⁻¹)		Mg ²⁺ / (g·kg ⁻¹)	
		L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁	L ₇₈	W ₁
根	ck	4 048 H	3 381 g F	31 239 a A	30 654 a A	26 600 a A	30 440 a A	4 152 b BC	3 456 cd CD
	A ₁ B ₁	6 210 E	4 600 e E	23 985 b B	23 205 c C	16 000 c C	18 240 d D	4 008 c CD	3 216 e E
	A ₁ B ₂	5 520 F	3 657 f F	18 603 c C	19 929 d D	15 160 de DE	15 800 f E	3 864 d D	2 952 f F
	A ₁ B ₃	4 876 G	2 714 h G	17 355 d D	17 745 ef E	14 120 f F	12 160 g F	2 688 g G	2 904 f F
	A ₂ B ₀	9 660 D	10 580 c C	24 570 b B	27 144 b B	18 680 b B	21 520 b B	5 184 a A	5 376 a A
	A ₂ B ₁	11 638 C	12 259 a A	17 940 d CD	17 940 e E	15 440 d CD	19 960 c C	4 200 b B	3 960 b B
	A ₂ B ₂	13 570 B	11 845 b B	14 391 e E	17 199 f E	14 720 e EF	17 520 e D	3 384 e E	3 552 c C
	A ₂ B ₃	18 400 A	9 706 d D	12 402 f F	13 533 g F	14 120 f F	15 560 f E	3 144 f F	3 384 d D
			$F_{\text{无性系}} = 3.24 < F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 3.23 < F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 8.08 > F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 1.66 < F_{0.05} = 5.59$
叶	ck	0 759 f E	0 621 G	36 426 d D	29 757 g F	12 607 E	12 320 e E	2 856 D	3 240 b A
	A ₁ B ₁	0 575 h F	0 690 F	28 470 e E	30 810 f F	10 606 F	10 407 h G	2 232 G	2 424 f E
	A ₁ B ₂	0 690 g E	0 782 E	28 704 e E	30 147 fg F	10 212 F	11 102 g F	2 376 F	2 592 e D
	A ₁ B ₃	1 173 e D	0 805 E	23 127 f F	34 905 e E	8 640 G	13 801 d D	2 568 E	2 664 de CD
	A ₂ B ₀	1 242 d D	0 897 D	46 839 b B	40 131 c C	20 280 C	11 520 f F	2 976 C	2 712 d C
	A ₂ B ₁	1 587 c C	1 035 C	50 934 a A	43 953 a A	22 480 A	14 920 c C	3 096 B	2 592 e D
	A ₂ B ₂	1 955 b B	1 909 B	38 493 c C	41 691 b B	21 403 B	18 680 b B	3 120 B	2 832 c B
	A ₂ B ₃	4 922 a A	2 852 A	37 479 c CD	36 309 d D	18 240 D	22 120 a A	3 240 A	3 336 a A
			$F_{\text{无性系}} = 2.73 < F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 0.02 < F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 0.47 < F_{0.05} = 5.59$		$F_{\text{无性系}} = 0.01 < F_{0.05} = 5.59$

说明: 表中同一列标记相同的大(小)写字母表示它们在 1%(5%)水平上不存在显著性差异。

2.3 土壤-无性系系统中盐离子的选择性吸收(运输)

结果表明(表 5), 干旱胁迫明显降低了 2 个无性系根系对 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的选择性吸收, 但随着干旱强度的增加有所升高, 其中 W₁ 升幅较大。与干旱胁迫相比, 旱盐胁迫下, 2 个无性系对 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的选择性吸收能力增强; 随着干旱的加剧, W₁ 根系对 K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的选择吸收能力

进一步增强, 而 L_{78} 与之相反。如表 5 所示, 干旱胁迫下, 2 个无性系叶选择吸收 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的能力增强 (W_1 的 $S_{Mg,Na}$ 除外), 但随着土壤水分的降低而有所下降, 其中 W_1 的降幅较小。与干旱胁迫相比, 旱盐胁迫进一步增强了 2 个无性系叶选择吸收 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 能力。但随着干旱的加剧, 2 个无性系对 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 选择吸收的能力明显降低。

在旱盐胁迫下, L_{78} 根系的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$, $R_{Mg,Na}$ 小于 W_1 , 而叶的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$, $R_{Mg,Na}$ 大于 W_1 , 这种趋势在低水分梯度下显得更加明显。在干旱胁迫下, L_{78} 根和叶的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$, $R_{Mg,Na}$ 也有类似的变化趋势。

表 5 干旱和旱盐胁迫对土壤-刺槐无性系统中盐离子的选择性吸收的影响

Table 5 Effects of drought and drought salt stresses on Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} selective absorption in the system of soil-*Robinia pseudoacacia* clones

系统	处理	L_{78}						W_1					
		$S_{K,Na}$	$R_{K,Na}$	$S_{Ca,Na}$	$R_{Ca,Na}$	$S_{Mg,Na}$	$R_{Mg,Na}$	$S_{K,Na}$	$R_{K,Na}$	$S_{Ca,Na}$	$R_{Ca,Na}$	$S_{Mg,Na}$	$R_{Mg,Na}$
土壤根	ck	116.01	1.00	418.44	1.00	5.17	1.00	142.86	1.00	639.28	1.00	5.86	1.00
	A ₁ B ₁	48.74	0.42	123.91	0.30	2.50	0.48	66.96	0.47	207.10	0.32	2.96	0.50
	A ₁ B ₂	45.21	0.39	137.15	0.33	2.86	0.55	70.75	0.50	239.29	0.37	3.63	0.62
	A ₁ B ₃	50.24	0.43	152.54	0.36	2.37	0.46	84.24	0.59	257.19	0.40	4.92	0.84
	A ₂ B ₀	6.55	0.06	119.00	0.28	2.82	0.54	6.03	0.04	110.50	0.17	2.42	0.41
	A ₂ B ₁	4.09	0.04	91.58	0.22	1.97	0.38	3.27	0.02	93.29	0.15	1.47	0.25
	A ₂ B ₂	2.65	0.02	72.92	0.17	1.37	0.27	3.07	0.02	91.80	0.14	1.50	0.26
	A ₂ B ₃	1.59	0.01	53.13	0.13	0.97	0.19	2.92	0.02	114.27	0.18	2.05	0.35
根叶	ck	0.02	1.00	1.34	1.00	2.96	1.00	0.02	1.00	0.96	1.00	3.49	1.00
	A ₁ B ₁	0.04	1.57	2.76	2.06	4.10	1.39	0.04	2.15	2.42	2.53	4.63	1.33
	A ₁ B ₂	0.05	2.24	2.70	2.03	3.78	1.28	0.05	2.45	2.36	2.47	4.66	1.34
	A ₁ B ₃	0.12	5.18	2.97	2.23	5.83	1.97	0.04	2.14	2.68	2.81	4.44	1.27
	A ₂ B ₀	0.09	3.98	4.67	3.50	7.29	2.46	0.07	3.28	3.67	3.84	4.22	1.21
	A ₂ B ₁	0.25	10.35	9.14	6.85	14.83	5.01	0.18	9.01	6.82	7.13	11.66	3.34
	A ₂ B ₂	0.54	23.00	10.49	7.85	25.36	8.57	0.37	18.68	7.94	8.30	17.54	5.03
	A ₂ B ₃	2.32	98.05	15.53	11.64	33.95	11.47	0.60	30.50	6.69	7.00	18.75	5.38

3 结论与讨论

土壤干旱和土壤中大量存在的 Na^+ 必然影响植物对其他矿质元素的吸收, 从而不同程度地抑制植株的生长。同时, 在逆境下, 植物根系对盐离子吸收的选择性发生改变, 而到达地上部分的盐分种类和数量是由植株地上部分对盐离子吸收的选择性控制的, 由于各盐离子在植物体内的营养作用、运输机制和运输速率存在差异, 最终导致植物对各盐离子的吸收分配发生分异^[10]。

研究表明: 干旱和旱盐胁迫均明显抑制了 2 个无性系的生长。随着土壤水分的降低, 2 种胁迫对无性系生长的抑制加剧。在同等水分梯度下, 盐胁迫进一步抑制了 2 个刺槐无性系的生长。就无性系 L_{78} 和 W_1 而言, 干旱胁迫对 L_{78} 生长的抑制小于对 W_1 的, 这与毛培利^[5] 的研究结论一致; 而旱盐胁迫对 L_{78} 生长的抑制较大, 这与笔者在蒸发脱湿过程中盐胁迫对刺槐生长影响的试验结论^[6] 相吻合。

干旱和旱盐胁迫下, 2 个无性系根中 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 4 种离子总质量分数均减少, 且随着土壤含水量的降低进一步减少, 说明 4 种离子在渗透调节中所占的比重逐渐减小, 暗示了植株通过自身合成有机渗透调物质来增加它们在渗透调节中的比重, 以维持渗透调节的平衡。与利用无机离子进行渗透调节相比, 合成有机渗透调物质要消耗植株体相当多的储藏物质和能量^[12], 这是 2 种胁迫抑制无性系生长的一个共同原因。在 2 种胁迫下, 无性系生长量下降, 加上土壤中可利用水分减少及高质量分数的其他盐离子, 尤其是 Na^+ 的竞争, 致使无性系根系对 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的吸收能力降低^[11], 因此根中 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量分数和根选择性吸收三者的能力均降低, 从而不同程度地抑制了无性系

生长。

Na^+ 极易随水迁移, 且植物通过吸收无机离子进行渗透调节比利用自身合成的有机渗透调物质要经济得多^[12]。在 2 种胁迫下, 无性系根中 Na^+ 质量分数明显高于对照。在根中 4 种盐离子总量减少的情况下, 根系中高质量分数的 Na^+ 在一定程度上降低了根细胞的渗透势, 在有效调节根细胞的渗透势方面起到一定的积极作用。但是在低水分胁迫下, 无性系根中 Na^+ 质量分数有所降低, 可能是无性系通过自身生理调整而主动控制 Na^+ 在根部的积累, 而合成有机渗透调物质, 加强有机渗透调节作用的结果, 从而避免或减轻高质量分数的 Na^+ 对细胞、酶类和膜类等造成毒害^[13,14]。随着土壤含水量的降低, 无性系生长受抑制程度增加, 土壤中可利用水与根系吸水 and 吸收离子的能力均下降^[11], 受质流影响的盐离子迁移范围相应变窄, 迁移速率相应变小^[10], 这是造成无性系根中 Na^+ 质量分数在低水分胁迫下降低的另一个原因。

在 2 种胁迫下, L_{78} 根的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$, $R_{Mg,Na}$ 小于 W_1 的, 叶的 $R_{K,Na}$, $R_{Ca,Na}$, $R_{Mg,Na}$ 却大于 W_1 的。这种变化趋势在低水分梯度下更为明显。 L_{78} 长期处在 2 种胁迫下, 加上 L_{78} 根的 $S_{K,Na}$, $S_{Ca,Na}$, $S_{Mg,Na}$ 变小, 势必造成 L_{78} 根系中 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的亏缺, 造成根部营养不良或匮乏而影响正常的生理代谢, 进而抑制 L_{78} 生长, 这与陈少良等^[15] 的结论一致。这是造成 2 种胁迫对 L_{78} 生长抑制的原因之一。在旱盐胁迫下, L_{78} 根和叶中 Na^+ 质量分数明显高于对照和 W_1 , 表明 L_{78} 根系对 Na^+ 吸收、向上运输的控制能力较 W_1 差得多, 致使 Na^+ 在 L_{78} 叶中大量积累而造成毒害, 并竞争或抑制其他离子的吸收和运输, 这是旱盐胁迫进一步抑制 L_{78} (与干旱胁迫相比) 生长的原因之一。相反, W_1 在旱盐胁迫下能保持相对稳定的营养水平, 尤其是 K^+ 和 Ca^{2+} , 同时根系对 Na^+ 的吸收和向地上部的运输有较强的控制能力, 表现出较强的抗旱耐盐能力, 与陈少良等的结论一致。而在干旱胁迫下, W_1 根中 4 种离子总量下降的幅度较 L_{78} 大, 表明无机离子在渗透调节中所占的比重较小, 暗示有机渗透调物质在渗透调节中的作用加强。而合成有机渗透调物质要消耗自身大量的储藏物质和能量^[12] 而造成植株生长的减缓或停止, 这则是干旱胁迫下 W_1 生长较 L_{78} 差的原因之一。

参考文献:

- [1] 孔东. 含盐土壤水盐联合胁迫对油菜影响的节水灌溉初步试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2001.
- [2] 刘友良, 汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性[M] // 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1998: 752—769.
- [3] MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant Cell Environ*, 2002, **25**: 239—250.
- [4] 任红旭, 陈雄, 王亚颀. 抗旱性不同的小麦幼苗在水分和盐胁迫下抗氧化酶和多胺的变化[J]. 植物生态学报, 2001, **25** (6): 709—715.
- [5] 毛培利. 刺槐无性系抗旱性差异的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
- [6] 郁万文. 刺槐无性系耐盐差异性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
- [7] 何明. 刺槐无性系苗木对水肥耦合的生理生态响应[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [8] 彭密军, 周清平. 山乌龟中 9 种微量元素的分析测定[J]. 现代仪器, 2000 (5): 29—30.
- [9] 郑青松, 王仁雷, 刘友良. 钙对盐胁迫下棉苗离子吸收分配的影响[J]. 植物生理学报, 2001, **27** (4): 325—330.
- [10] 田野, 张焕朝, 方升佐. 盐胁迫下土壤-杨树系统中离子运移与分布特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, **27** (4): 5—9.
- [11] 汪耀富, 孙德梅, 徐传快, 等. 干旱胁迫对烤烟养分吸收分配及产量品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, **24** (1): 65—69.
- [12] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [13] 王玮, 李德全. 植物盐分胁迫与水分胁迫的异同[J]. 植物生理学通讯, 2003, **39** (5): 491—492.
- [14] 赵玉蓉, 王维中. 植物在盐害下的渗透调节[J]. 徐州师范学院学报: 自然科学版, 1995, **13** (4): 59—62.
- [15] 陈少良, 李金克, 尹伟伦, 等. 盐胁迫条件下杨树组织及细胞中钾、钙、镁的变化[J]. 北京林业大学学报, 2002, **24** (5/6): 84—88.

Growth, ionic absorption and ionic distribution responses to soil drought and drought-salt stresses in two *Robinia pseudoacacia* clones

YU Wan-wen¹, CAO Bang-hua², CAO Fu-liang¹

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: Growth, ionic distribution and selective ionic absorption (transportation) responses to soil drought stress alone and drought-salt stress two *Robinia pseudoacacia* (black locust) clones (W_1 and L_{78}) were determined. The salt and drought stresses were set by controlling the amount of NaCl and water in potted plants. Results showed that both stresses inhibited growth of the two clones with drought-salt stress inhibiting growth more than drought stress alone. In addition, drought stress alone inhibited growth more on W_1 than on L_{78} , whereas drought-salt stress inhibited growth more on L_{78} than on W_1 . Also, under drought stress, total Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} content in W_1 roots had a greater decline than L_{78} . With both stresses the growth of L_{78} was inhibited due to low $R_{K,Na}$ (relatively selective ratio), $R_{Ca,Na}$, and $R_{Mg,Na}$ rates of L_{78} roots and large rates for leaves causing a severe decreasing of K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} in the roots. Contributing to low ion levels was root inability to control both Na^+ absorption and Na^+ transportation to shoots. W_1 had higher drought-salt resistance because it maintained a relatively stable mineral nutrient level, especially with K^+ and Ca^{2+} , and because under drought-salt stress its roots were able to control Na^+ absorption and Na^+ transportation to the shoots. The lower Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} in W_1 roots compared to L_{78} under drought stress alone was due to a decrease in the proportion of inorganic ions in osmotic adjustment and an increase in organic ions. This, then, increased consumption of own substances and energy leading to greater inhibition on W_1 growth. [Ch, 5 tab. 15 ref.]

Key words: plant physiology; *Robinia pseudoacacia* clones; drought stress; drought-salt stress; growth; ionic absorption and distribution