

不同盐分立地对榆树生长及 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在体内分配的影响

王伟伟¹, 未 敏², 教忠意¹, 隋德宗¹, 王保松^{1*}

(1.江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153; 2.南京林业大学,江苏 南京 210037)

摘要:采用大田试验的方法,研究不同盐分立地对榆树生长及矿质营养平衡的影响。结果表明:(1)随着盐分含量的增大,榆树总生物量与各部分生物量均减小,根冠比增大,且与其他立地间有显著性差异。(2)随土壤盐分含量的增大,各部位 Na^+ 含量逐渐增加,且根部 Na^+ 含量大于茎部和叶部。在根部和茎部中, K^+ 含量在中盐时最大,在叶中 K^+ 含量不同立地间无显著性差异, K^+/Na^+ 随盐分含量的增大而减低。土壤盐分含量对根茎叶中 Ca^{2+} 含量影响不大,在轻盐和重盐立地, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值茎部>叶部>根部,而在中盐立地叶部>茎部>根部。随土壤盐分含量的增加,各部位 Mg^{2+} 含量均显著或极显著增加,在轻盐和重盐立地, $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 值茎部>叶部>根部,而在中盐立地叶部>茎部>根部。(3)在轻、中和重盐立地 $S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$ 值均表现为根到茎>根到叶>茎到叶;除中盐立地 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值为:根到叶>根到茎>茎到叶,低盐和中盐立地均为:根到茎>根到叶>茎到叶; $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 变化规律同 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 。

关键词:榆树;土壤盐分;立地;生长;金属元素

中图分类号:Q945.12; S792.19

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2017.03.001

土壤盐渍化是世界性的资源问题和生态问题。我国盐渍化土壤面积达2 000万 hm^2 ,约占总耕地面积的10%^[1],其中滨海盐碱地总面积为500万 hm^2 。江苏沿海滩涂盐碱地,北起苏鲁交界处的绣针河口,南至长江北口,大陆标准海岸线长954 km,土地资源较为丰富,后备资源得天独厚。沿海滩涂面积68.7万 hm^2 ,约占全国的1/4,是亚洲最大的海岸滩涂湿地。滨海盐碱地立地条件差,植被景观单调,生物多样性低,树种资源匮乏^[2]。榆树(*Ulmus pumila* L.)是我国常见的树种,其适应能力强,能耐一定的盐碱,且其木质坚实,可以做根雕、盆景等,有一定的利用价值。探讨其不同盐分立地上的生长及离子含量变化的状况,旨在为滨海盐碱地的绿化及榆树在盐碱地上的抚育管理提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料选取大丰基地2年生河南种源的一

家系榆树苗,根据土壤含盐量的不同,划分为轻盐(0.8‰—1.1‰)、中盐(2.9‰—3.1‰)和重盐(5.0‰—5.2‰)3种立地。根据每个立地的榆树生长状况,各选取5株能代表各立地平均苗高标准木进行试验。分别采集根、茎和叶3部分样品进行试验测定。

1.2 方 法

于2014年8月29日采样,植物样品用清水将泥土洗净后,分别根、茎和叶3部分置于105℃烘箱中杀青30 min,80℃烘到恒重,用植物粉碎机粉碎。将5株分别根、茎、叶混合,测定不同部位生物量,并对不同部位分别取样,经浓 H_2SO_4 - HClO_4 消煮法消煮后,用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, 7500ce)测定Na、K、Ca、Mg等4种元素的含量。所有指标测定均重复5次。

根冠比=地下部分生物量/地上部分生物量;

离子选择性运输能力^[3] $S_{\text{X}/\text{Na}^+} = \frac{\text{库器官}(\text{X}/\text{Na}^+)}{\text{源器官}(\text{X}/\text{Na}^+)}$,其中,X表示 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 中任意

收稿日期:2016-11-09;修回日期:2017-04-27

基金项目:江苏省属公益院所能力提升项目“江苏杨树农田林网更新改造及效益监测评价技术”(BM2015021);江苏省林业三新工程项目“耐盐速生白榆无性系区域试验及栽培技术研究”(LYSX[2015]06);中央财政林业科技推广示范项目“苏楝S20等耐盐林木良种速生丰产栽培技术推广”(苏[2016]TG03)

作者简介:王伟伟(1986-),女,河南新乡人,助理研究员,硕士。主要从事植物生理生化的研究。E-mail:wanwewe1234@126.com。

***通信作者:**王保松(1965-),男,江苏江都人,研究员。主要从事林木遗传育种。E-mail:baosong66@sohu.com。

一种离子。 S_{X/Na^+} 值越大,表示源器官控制 Na^+ 、促进 X 向库器官的运输能力越强,即库器官的选择性运输能力越强。

1.3 数据处理

运用 SPSS 17.0 统计分析软件和 Excel 2007 对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐分立地对榆树生物量的影响

不同立地下榆树各部分生物量的变化情况如表 1 所示。随着立地盐分的增大,榆树总生物量与各部分生物量均减小,总生物量和根、叶的生物量均有极显著性($P<0.01$)的下降,茎生物量在中盐和

重盐立地下有显著性差异($P<0.05$);根冠比增大,轻盐和中盐之间没有显著性差异($P>0.05$),重盐与轻盐和中盐之间存在极显著性差异($P<0.01$)。

2.2 不同盐分立地对榆树不同部位 Na^+, K^+, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子含量的影响

结果如表 2 所示,根、茎和叶部 Na^+ 含量均随土壤含盐量的增加而提高, Na^+ 含量的大小为重盐>中盐>轻盐;根部和叶部的 Na^+ 含量在重盐立地最高,与轻盐和中盐立地间存在极显著差异,轻盐与中盐立地间差异不显著;茎部 Na^+ 含量在轻、中和重盐立地间均达到极显著差异;轻、中、重盐立地 Na^+ 含量均为根部>叶部>茎部。

表 1 不同盐分立地对榆树生物量的影响

处理	总生物量/g	根生物量/g	茎生物量/g	叶生物量/g	根冠比/%
轻盐	479.09 ± 44.68 Aa	81.81 ± 7.72 Aa	290.39 ± 39.90 Aa	106.90 ± 2.30 Aa	20.67 ± 1.79 Bb
中盐	135.38 ± 10.58 Bb	23.70 ± 3.45 Bb	62.61 ± 7.72 Bb	49.07 ± 8.00 Bb	21.47 ± 4.18 Bb
重盐	43.47 ± 0.77 Cc	13.76 ± 0.79 Cc	20.75 ± 0.65 Bc	8.96 ± 1.02 Cc	46.38 ± 3.75 Aa

表中数据的平均值±标准误;同列中的不同大、小写字母分别表示在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异

表 2 不同盐分立地榆树不同部位中 Na^+, K^+, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量

mg/g

不同部位	处理	Na^+ 含量	K^+ 含量	Ca^{2+} 含量	Mg^{2+} 含量
根	轻盐	1.24 ± 0.19 Bb	5.86 ± 0.42 a	7.69 ± 0.49 a	2.00 ± 0.11 Bc
	中盐	1.44 ± 0.18 Bb	4.65 ± 1.37 ab	7.29 ± 0.81 a	2.34 ± 0.27 Bb
	重盐	3.54 ± 0.51 Aa	4.14 ± 0.87 b	6.92 ± 0.78 a	3.39 ± 0.25 Aa
茎	轻盐	0.17 ± 0.02 Cc	4.19 ± 0.80 Bb	10.05 ± 0.50 a	1.60 ± 0.08 Cc
	中盐	0.25 ± 0.01 Bb	7.91 ± 1.26 Aa	10.44 ± 0.15 a	2.28 ± 0.03 Bb
	重盐	0.50 ± 0.06 Aa	5.38 ± 0.97 Bb	10.30 ± 0.41 a	2.81 ± 0.15 Aa
叶	轻盐	0.44 ± 0.08 Bb	5.61 ± 0.70 a	18.23 ± 1.37 ab	3.54 ± 0.27 Cc
	中盐	0.35 ± 0.06 Bb	5.61 ± 1.53 a	19.50 ± 2.35 a	4.60 ± 0.55 Bb
	重盐	2.12 ± 0.31 Aa	5.44 ± 1.19 a	16.58 ± 0.57 b	7.67 ± 0.27 Aa

表中数据的平均值±标准误;同列中不同大、小写字母分别表示在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异

根中的 K^+ 含量随土壤盐分含量的增加逐渐降低,中盐与轻盐、重盐没有显著差异,轻盐与重盐间差异显著;茎中 K^+ 含量在中盐立地最高,与重盐和轻盐间差异极显著;叶片中 K^+ 含量保持稳定,土壤含盐量变化对叶片中 K^+ 含量没有显著影响;在轻盐立地,茎部 K^+ 含量最低,叶部与根部接近;在中盐立地,茎部 K^+ 含量最高,茎部>叶部>根部;在重盐立地,根部 K^+ 含量低于叶部和茎部。

根和茎中的 Ca^{2+} 含量在轻、中、重盐立地均保持

稳定,无显著差异,土壤盐分含量对根茎叶中 Ca^{2+} 含量没有显著影响;轻盐、中盐和重盐立地上,不同部位的 Ca^{2+} 含量均为叶部>茎部>根部。

随土壤盐分含量的增加,根、茎和叶中的 Mg^{2+} 含量均显著或极显著增加;轻、中和重盐立地均是叶片中 Mg^{2+} 含量最大,轻盐和重盐立地 Mg^{2+} 含量为叶部>根部>茎部,中盐立地根和茎部 Mg^{2+} 含量接近。

2.3 不同盐分立地对榆树不同部位中 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值的影响

如表3所示,根、茎和叶各部中的 K^+/Na^+ 比值在不同立地间均存在显著性差异,重盐立地 K^+/Na^+ 比值最低,与轻盐和中盐差异极显著,中盐立地茎和叶部 K^+/Na^+ 比值最高;轻盐、中盐和重盐立地榆树 K^+/Na^+ 比值均为茎部>叶部>根部。

表3 不同盐分立地榆树不同部位中 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 的比值

不同部位	处理	K^+/Na^+	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$
根	轻盐	4.81 ± 0.73 Aa	6.32 ± 0.98 Aa	1.64 ± 0.25 Aa
	中盐	3.30 ± 1.17 Ab	5.14 ± 1.13 Aa	1.65 ± 0.33 Aa
	重盐	1.21 ± 0.44 Bc	2.01 ± 0.49 Bb	0.97 ± 0.15 Bb
茎	轻盐	24.34 ± 1.53 Bb	59.18 ± 5.78 Aa	9.41 ± 0.87 Aa
	中盐	31.35 ± 4.27 Aa	41.50 ± 1.21 Bb	9.06 ± 0.27 Aa
	重盐	10.07 ± 0.84 Cc	20.73 ± 1.52 Cc	5.65 ± 0.33 Bb
叶	轻盐	12.90 ± 2.11 Ab	41.76 ± 4.17 Bb	8.11 ± 0.80 Bb
	中盐	15.91 ± 1.93 Aa	56.47 ± 3.93 Aa	13.33 ± 0.94 Aa
	重盐	2.56 ± 0.47 Bc	7.92 ± 0.96 Cc	3.67 ± 0.42 Cc

表中数据为平均值±标准误,其后不同大、小写字母分别表示存在极显著差异($P<0.01$)、显著差异($P<0.05$)

根部的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值随土壤盐含量增加逐步降低。重盐立地最低,与轻盐、中盐立地差异极显著;茎部 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值随土壤盐含量增加逐步降低,各立地间差异极显著;叶部轻盐、中盐、重盐立地间差异极显著,中盐立地最高,重盐立地最低;在轻盐和重盐立地, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值茎部>叶部>根部,而在中盐立地 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值为叶部>茎部>根部。

根部和茎部 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值轻盐和中盐立地间没有显著差异。重盐立地最低,与轻盐、中盐立地 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值间差异极显著;叶部 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值在轻盐、中盐、重盐立地间差异极显著,其中中盐立地最高,重盐最低;在轻盐和重盐立地, $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值为茎部>叶部>根部,而在中盐立地, $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比值为叶部>茎部>根部。

2.4 不同盐分立地对榆树 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} (相对于 Na^+) 选择性运输的影响

2.4.1 对 K^+ 选择性运输的影响 根到茎的 $S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$ 值在轻盐立地最低,与中盐和重盐差异极显著;根到叶 $S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$ 值在中盐立地最高,与轻盐和重盐立地差异显著,重盐与轻盐立地没有显著差异;茎到叶

$S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$ 值在重盐立地最低,与轻盐和中盐立地间差异显著,轻盐与中盐间差异不显著;在轻、中和重盐立地 $S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$ 值均表现为根到茎>根到叶>茎到叶。

2.4.2 对 Ca^{2+} 选择性运输的影响 根到茎 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值在3种立地间没有显著差别;根到叶 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值中盐立地 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值最高,与轻盐立地和重盐立地间差异极显著,重盐与轻盐差异不显著;茎到叶 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值3种不同立地间达到极显著差异,其中中盐立地 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值最高,重盐最低;中盐立地 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值为根到叶>根到茎>茎到叶,轻盐和重盐立地的 $S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值均为根到茎>根到叶>茎到叶。

表4 不同盐分立地榆树地上器官选择性运输 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} (相对于 Na^+) 的能力

处理	$S_{\text{K}^+/\text{Na}^+}$	$S_{\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+}$	$S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$
根到茎	轻盐 5.12 ± 0.56 Bb	9.58 ± 1.82 a	5.87 ± 1.22 a
	中盐 10.12 ± 2.19 Aa	8.35 ± 1.61 a	5.66 ± 0.96 a
	重盐 9.72 ± 3.27 Aa	10.79 ± 2.70 a	5.95 ± 1.19 a
根到叶	轻盐 2.74 ± 0.67 ABb	6.77 ± 1.39 Bb	5.06 ± 1.16 Bb
	中盐 5.49 ± 2.46 Aa	11.25 ± 1.54 Aa	8.26 ± 1.05 Aa
	重盐 2.28 ± 0.75 Bb	4.16 ± 1.26 Bb	3.84 ± 0.96 Bb
茎到叶	轻盐 0.53 ± 0.11 Aa	0.71 ± 0.04 Bb	0.86 ± 0.05 Bb
	中盐 0.52 ± 0.13 Aa	1.36 ± 0.12 Aa	1.47 ± 0.13 Aa
	重盐 0.24 ± 0.04 Bb	0.38 ± 0.03 Cc	0.65 ± 0.06 Cc

表中数据为平均值±标准误,其后不同大、小写字母分别表示存在极显著差异($P<0.01$)、显著差异($P<0.05$)

2.4.3 对 Mg^{2+} 选择性运输的影响 根到茎 $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值在3种立地没有显著差别;根到叶 $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值中盐立地 $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值最高,与轻盐和重盐间差异极显著,重盐与轻盐间差异不显著;茎到叶 $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值在3种不同立地间达到极显著差异,中盐立地最高,重盐立地最低;中盐立地 $S_{\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+}$ 值为根到叶>根到茎>茎到叶,低盐和重盐立地均为根到茎>根到叶>茎到叶。与 Ca^{2+} 选择性运输的规律相同。

3 讨论

生物量是衡量植物生长状况的重要指标^[4],而生物体元素组成的平衡对生物体生长至关重要^[5]。土壤盐分的高低对植株的生长影响最为重要。本研究中,随着土壤盐分含量的增高,榆树的生物量有显著或极显著的下降,这与刘炳响等^[6]和林武星等^[7]模拟盐胁迫分别在白榆幼苗和台湾栎树幼苗的生长研究结果相一致。榆树根冠比在轻盐和中

盐时无显著性变化,而土壤重盐较轻盐和中盐有极显著的增大,说明重盐土壤对地上部分生长的抑制作用要大于对地下部分生长的抑制作用。这可能是因为良好根系是植物适应逆境的重要方式^[8]。这与林武星等^[7]、杨升^[9]的研究结果一致。

土壤中过量的盐离子,会影响植物对营养元素的吸收,从而改变植物的营养平衡。盐离子主要通过与营养元素之间竞争,以及影响生物膜对离子的选择这 2 种途径影响植物吸收营养物质^[10]。 K^+ 具有调控离子平衡、调节渗透和细胞膨压等生理功能, Na^+ 竞争 K^+ 吸收位点及活性位点,导致 K^+ 吸收减少^[11],而 Na^+ 可部分替代 K^+ 的作用,提高细胞液的渗透势。 Mg^{2+} 作为可循环元素,可不断地分解已形成的不稳定化合物,释放离子转移到需要的器官中。 Ca^{2+} 是不可循环元素,在植物体中呈难溶解的化合物,主要可以维持膜结构的稳定性。本文研究发现,随着土壤盐分的增高,根中 Na^+ 和 Mg^{2+} 的含量增大, K^+ 的含量降低,而 Ca^{2+} 的含量基本没有变化;茎中 Na^+ 和 Mg^{2+} 的含量增大, Ca^{2+} 的含量基本没有变化;叶中 Na^+ 和 Mg^{2+} 的含量增大, K^+ 含量基本不变, Ca^{2+} 的含量降低。本文关于 Na^+ 的含量变化规律与刘炳响等^[6] 的研究基本一致。但在轻盐土壤生长的根中, K^+ 含量最低, Ca^{2+} 含量最高,这与本文结果不符。这可能与植株所处的立地具体条件不同、研究方法相异等有关。

在盐碱胁迫下,高活性 Na^+ 置换质膜上的 Ca^{2+} ,使细胞中 Ca^{2+} 含量降低,导致质膜上 Ca^{2+} 失去平衡,破坏作物体内离子平衡;而作物体内 Na^+ 的增加在影响 K^+ 吸收的同时, Ca^{2+} 的吸收将会减少,从而进一步限制了 Mg^{2+} 的吸收,由于 K^+ 与 Mg^{2+} 之间存在拮抗作用,且主要发生在由根系向地上部的运输过程中,所以在盐碱胁迫下作物叶片中保持较低 Na^+/Ca^{2+} , Na^+/Mg^{2+} 是衡量作物耐盐碱的重要指标之一^[12]。 S_{K^+/Na^+} , S_{Ca^{2+}/Na^+} 和 S_{Mg^{2+}/Na^+} 的变化反映了植物对盐离子和营养元素相对吸收和运输的情况。本研究发现,对榆树体内 K^+ , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} (相对于 Na^+) 的选择性运输能力均以在中盐立地生长为最强。 Na^+ 主要积累在根部,以保持地上部分较低的 Na^+ 水平。这与郁万文等^[8]、任志彬等^[13]、Su^[14] 研究结果一致。 Na^+ 在根部积累,可供植物利用进行

渗透调节,降低植物的水势,保持植物的水分吸收能力,以减轻盐害对生长的影响,这可能也是白榆适应盐害的一种机制。

参考文献:

- [1] 徐恒刚.中国盐生植被及盐渍化生态[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004:66-71.
- [2] 徐永荣,冯宗炜,张万钧,等.天津滨海生态防护圈植物群落盐分积累与分配规律研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):77-79.
- [3] ZHENG Q S, WANG R L, LIU Y L. Effects of Ca^{2+} on absorption and distribution of ions in salt-treated cotton seedlings [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(4): 325-333 (in Chinese).
- [4] WANG B L, SHEN J B, TANG C X, et al. Root morphology, proton release, and carboxylate exudation in lupin in response to phosphorus deficiency [J]. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31(3): 557-570.
- [5] GNIAZDOWSKA A, RYCHTER A M. Nitrate uptake by bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots under phosphate deficiency [J]. Plant and Soil, 2000, 226(1): 79-85.
- [6] 刘炳响,王志刚,杨敏生,等.模拟盐胁迫对白榆种子发芽、出苗及幼苗生长的影响[J].草业学报,2012,21(5):39-46.
- [7] 林武星,黄雍容,聂森,等.台湾栎树幼苗生长及营养吸收对盐胁迫的响应[J].中南林业科技大学学报,2013,33(4):17-22.
- [8] 郁万文,曹帮华,吴丽云.盐胁迫下刺槐无性系生长和矿质营养平衡研究[J].西北植物学报,2005,25(10):2097-2102.
- [9] 杨升.滨海耐盐树种筛选及评价标准研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.
- [10] GRATTAN S R, GRIEVE C M. Mineral element acquisition and growth response of plant grown in saline environments [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, 38(4): 275-300.
- [11] MAATHUIS F J M, AMTMANN A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ ratios [J]. Annals of Botany, 1999, 84(2): 123-133.
- [12] YANG F, DING F, DU T Z. Absorption and allocation characteristics of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ and Cl^- in different organs of *Broussonetia papyrifera* seedlings under NaCl stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 767-772.
- [13] 任志彬,王志刚,聂庆娟,等.盐胁迫对锦带花幼苗生长及不同部位 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 离子质量分数的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(5):24-26.
- [14] SU G X. Study on distributive characteristics of K^+ and Na^+ in organs and tissues of mulberry under salt stress [J]. Acta Sericologica Sinica, 2002, 28(3): 256-260.