

盐胁迫下冬枣幼苗对土壤施钾的响应^①

杜振宇^{1,2}, 马丙尧², 刘方春², 李自成², 柴传平²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 山东省林业科学研究院, 济南 250014)

摘 要:采用盆栽试验,研究了不同盐胁迫下土壤施钾(K)对冬枣幼苗生物产量、养分含量以及叶片和土壤中 K^+ 、 Na^+ 分布的影响,以期探讨 K 素对冬枣 NaCl 胁迫的缓解作用,为黄河三角洲滨海盐碱地区冬枣合理施用 K 肥提供理论依据。结果表明,盐胁迫显著降低了冬枣幼苗的鲜重增加量,施用 KCl 可以有效缓解 NaCl 对植株生长的抑制作用,在盐胁迫下可使叶片干重较未施 KCl 时提高 21.5% ~ 29.8%。土壤施 K 0.1 g/kg 可使冬枣幼苗的耐盐能力由可耐土壤含盐量 2 g/kg 提高至 3 g/kg。适量施用外源 K^+ 可增加叶片中的 N、P、K 含量,改善树体营养状况,提高叶片中的 K^+/Na^+ ,在一定程度上减轻盐胁迫造成的离子失衡,减轻 NaCl 胁迫对冬枣的伤害作用。土壤盐分会显著影响 K 素在土壤中的化学行为。

关键词: 冬枣; 盐胁迫; KCl; 生物量; 离子分布

中图分类号: S143.3

冬枣(*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Zhanhua)是我国特有的优质鲜食枣树品种,以其极优的品质、富含人体必需的营养物质而备受消费者青睐^[1]。黄河三角洲地区是冬枣的主要种植区域,该区以盐碱地为主,土壤类型主要为盐土和潮土, Na^+ 是主要的阳离子,与其他离子以不同比例组合存在,提高了土壤渗透压,影响作物对养分和水分的吸收^[2]。钾(K)是作物营养的三要素之一,普遍存在于作物体内,参与几乎所有的生理生化过程,广泛地影响着作物的生长和代谢^[3]。而冬枣作为多年生果树,生育期长,对 K 营养吸收量较大。合理施用 K 肥可以促进植物生长并改善作物品质^[4-5]。植物耐盐性与 K 元素密切相关,它与 Na 一起参与渗透势调节,并且与 Na 产生竞争^[6]。有研究表明, K 还能增强作物的耐盐性^[7]。Dhatt 等^[8]、武之新和成春彦^[9]、陈波浪等^[10]分别研究了毛叶枣、金丝小枣和红枣的 K 肥施用效果和吸 K 量。然而,关于冬枣的 K 肥效应以及 K 与冬枣耐盐性之间关系的研究,目前尚未见报道。为探讨冬枣在盐胁迫条件下对 K 的响应,采用盆栽试验研究了土壤施 K 对不同盐胁迫下冬枣幼苗生长、养分含量以及叶片和土壤中离子分布的影响,以期为黄河三角洲盐碱地区冬枣合理施用 K 肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验时间 2013 年 4—9 月,地点设在山东省林业科学研究院试验苗圃。供试土壤为黏壤质脱潮土,基本性质为:速效氮 58.70 mg/kg,速效磷 26.52 mg/kg,速效钾 79.03 mg/kg,缓效钾 932 mg/kg,有机质含量 6.83 g/kg, pH 7.95,盐分 0.73 g/kg,阳离子代换量(CEC)13.8 cmol/kg。试验所用钠盐和钾肥分别为分析纯 NaCl 和 KCl 试剂。供试植物材料为一年生冬枣幼苗,萌芽前购于山东省沾化县下洼镇,株高 60 ~ 80 cm,根茎 1.0 ~ 1.2 cm,侧根数量为 3 ~ 5 条。试验用盆为购自市场的塑料圆盆,盆高 20 cm,盆口直径 30 cm。盆栽试验时,将土壤风干后磨碎,过 2 mm 筛,每盆装土 13 kg。

1.2 试验设计

试验共设 8 个处理(表 1),4 次重复。选取长势基本一致的幼苗,对枝条顶端进行少量修剪,使其生物量一致(鲜重均为 145 g),然后移栽入塑料盆中。对冬枣幼苗进行 NaCl 处理,使土壤含盐量达到各处理设定值,其中施 K 处理均施以相同量的 KCl,以未施用 NaCl 和 KCl 的处理为对照(CK)。施用 K 时,将 KCl 和 NaCl 溶解于 500 ml 去离子水中,均匀施入盆

表 1 盆栽试验方案
Table 1 Treatment design of pot experiment

处理	施 K 量(g/kg 土)	KCl 用量(g/kg 土)	含盐量(g/kg 土)	NaCl 用量(g/kg 土)
K ₀ S ₀ (CK)	0	0	0.73	0
K ₀ S ₁	0	0	2.00	1.27
K ₀ S ₂	0	0	3.00	2.27
K ₀ S ₃	0	0	4.00	3.27
K ₁ S ₀	0.10	0.19	0.73	0
K ₁ S ₁	0.10	0.19	2.00	1.27
K ₁ S ₂	0.10	0.19	3.00	2.27
K ₁ S ₃	0.10	0.19	4.00	3.27

内土壤中, 试验期内使土壤含水量保持在土壤最大持水量的 50% ~ 60%。150 天后采样测定各项指标。

1.3 测定方法

将冬枣幼苗整株连根从盆中取出, 先用自来水冲洗去灰尘和泥土后, 再用去离子水冲洗一次, 用吸水纸吸干植株表面水分。将植株分为叶片、枝干和根系 3 部分, 分别称取鲜重, 110℃ 杀青 10 min 后于 60℃ 烘干至恒重, 然后称取干重。

取烘干后的各部分样品, 磨碎过 20 目筛, 经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 分别采用凯氏法、钒钼黄比色法和火焰光度法测定 N、P、K 含量; 叶片中 Na 含量采用 FP6410 型火焰光度计测定^[11]。

取各处理土壤样品, 采用火焰光度法分别测定水溶性 Na、水溶性 K、交换性 Na 和交换性 K 含量, 水溶态和交换态离子的浸提剂分别为 H₂O 和中性

NH₄OAc 溶液, 土液比为 1 : 10。

2 结果与分析

2.1 钾对盐胁迫下冬枣生长的影响

不同处理冬枣幼苗的生物量结果列于表 2。由于试验时间相对较短, 冬枣幼苗的枝干和根系的生长量很小, 与对照相比生物量只是略有增减, 差异并不显著。因此, 本试验不同处理冬枣的生物量差异主要体现在叶片上, 叶片鲜重占生物产量的 70.0% ~ 81.8%。由表 2 可以看出, 土壤盐胁迫对冬枣叶片干重有显著影响, 随着土壤含盐量的增加, 叶片干重逐渐降低。与对照相比, 施用 K 肥(K₁S₀)明显促进了冬枣生长, 叶片干重得到显著提高。然而, 在施用 KCl 时盐胁迫处理较非盐胁迫处理的叶片干重明显下降, 土壤含盐量越高时降低幅度越大。

表 2 不同处理冬枣的生物量
Table 2 Biomass of winter jujube of different treatments

处理	叶片干重(g/株)	叶片鲜重(g/株)	其余部位鲜重(g/株)	总鲜重(g/株)	鲜重增加量(g/株)
K ₀ S ₀ (CK)	11.8 c	36.8 c	153.5 a	190.3 b	45.3 c
K ₀ S ₁	11.8 c	37.6 c	153.4 a	191.0 b	46.0 c
K ₀ S ₂	9.7 d	28.4 d	153.7 a	182.2 c	37.2 d
K ₀ S ₃	6.5 f	19.8 f	153.5 a	173.3 e	28.3 f
K ₁ S ₀	15.5 a	45.0 a	156.8 a	201.8 a	56.8 a
K ₁ S ₁	14.8 b	40.8 b	155.6 a	194.8 a	49.8 b
K ₁ S ₂	12.1 c	38.3 c	153.5 a	191.8 b	46.8 c
K ₁ S ₃	7.9 e	24.4 e	152.8 a	177.2 d	32.2 e

注：同一列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 下表同。

通过对比不同盐胁迫下 K 肥的增产效果, 可以明显看出, 在相同土壤含盐量时, 施用 KCl 明显促进了冬枣幼苗的叶片干重(图 1)。在未施加 NaCl 时, 施用外源 K 可以使叶片干重较未施 K 处理增加 31.4%, 而在土壤含盐量为 2、3 和 4 g/kg 时的增产率分别为 29.8%、26.0% 和 21.5%。研究表明, K

肥可以有效缓解盐胁迫对植株生长的抑制作用, 而在土壤盐胁迫较重时, 对盐害的缓解作用相对较小。特别指出的是, 在土壤含盐量为 3 g/kg 时冬枣生长受到明显抑制, 而施用 KCl 后冬枣叶片生物量和植株鲜重增加量反而略高于对照, 表明冬枣的耐盐能力在施 K 后得到明显增强。

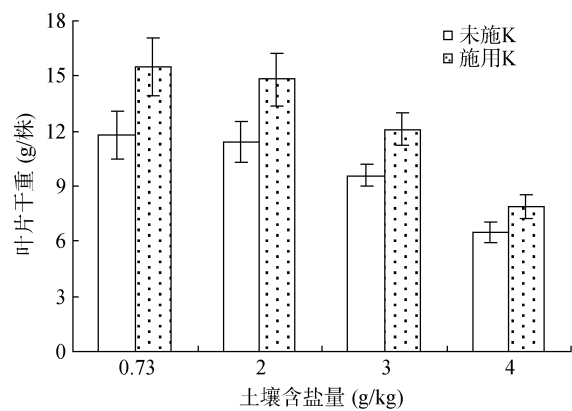


图 1 土壤施钾对冬枣幼苗叶片生长的影响

Fig. 1 Effect of potassium applied to soil on leaf growth of winter jujube seedling

2.2 钾对盐胁迫下冬枣养分含量的影响

植物中的 N、P、K 是反映植株营养状况的重要指标,其含量高低直接关系到植物体的生长。由表 3 可以看出,冬枣根系中 3 个主要营养元素的含量顺序为: $P > N > K$; 而枝干中的 N 和 P 含量相差不多,二者明显高于枝干的含 K 量;叶片含 K 量介于 N 和 P 之间,远大于枝干和根系部位的含 K 量。对土壤施用 NaCl、KCl 后,冬枣幼苗的根部、枝干和叶片中

的 N、P 和 K 含量均受到不同程度的影响。与对照相比,施用 NaCl 处理显著降低了冬枣根系的 N、P、K 含量以及枝干中的 K 含量,叶片中的 N、P、K 含量也均有一定程度的降低。采用配对法 t 检验研究了不同土壤盐水平下施用 KCl 对冬枣各部位养分含量的影响,分析结果表明,施用 KCl 处理显著提高了叶片的 N、P、K 含量以及枝干中的 K 含量($P < 0.05$)。相关分析表明,叶片的 N、P 和 K 含量与其干重之间的相关系数分别为 0.834 4、0.886 9 和 0.921 3,均达到极显著水平($P < 0.01$)。结果说明了生长表现较好的处理,其叶片中的营养状况也相对较好。

2.3 钾对盐胁迫下冬枣叶片离子含量的影响

由表 4 可以看出,在冬枣未处于盐胁迫时,施入外源 K 会显著增加叶片中 K^+ 含量,从而提高 K^+/Na^+ 比值。NaCl 的施入导致冬枣叶片中的 Na^+ 含量较对照显著增加,而 K^+ 含量出现少量下降,因此 K^+/Na^+ 大幅降低。在相同土壤盐胁迫条件下,向冬枣施入一定量的外源 K 后,会使叶中的 K^+/Na^+ 较未施 K 时显著升高。可见,适当施用外源 K^+ 在一定程度上能减轻盐胁迫造成的体内离子失衡,有利于冬枣维持正常的生理活动。

表 3 不同处理冬枣幼苗各部位的 N、P、K 含量(g/kg DW)
Table 3 Contents of N, P and K in different parts of winter jujube of different treatments

处理	根			枝干			叶		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
K_0S_0 (CK)	18.25 a	21.52 a	5.15 a	13.34 b	12.91 c	4.40 b	20.62 c	10.55 b	15.99 c
K_0S_1	16.61 d	19.62 c	4.23 c	13.78 a	12.95 c	3.97 cd	20.53 c	10.37 b	15.42 d
K_0S_2	16.67 d	18.48 d	4.27 c	13.60 a	13.36 b	4.33 c	18.93 d	9.86 c	15.35de
K_0S_3	16.83 d	18.26 d	4.31 c	13.19 c	13.58 a	3.86 d	18.03 e	8.94 d	14.83 f
K_1S_0	17.69 b	18.59 d	5.08 a	13.52ab	13.36 b	4.64 a	21.63 a	11.13 a	18.22 a
K_1S_1	17.22 bc	20.29 bc	4.97 ab	13.24 bc	13.27 b	4.79 a	21.34 ab	11.07 a	18.13 a
K_1S_2	17.06 cd	19.15 d	3.88 d	13.44 b	12.47 d	4.35 b	21.02 b	10.89 ab	16.96 b
K_1S_3	16.65 d	20.75 b	4.80 b	13.25 b	13.37 b	4.01 d	18.52 d	9.80 c	15.18 e

表 4 不同处理冬枣叶片的 K^+ 、 Na^+ 含量和 K^+/Na^+
Table 4 Contents of K^+ , Na^+ and K^+/Na^+ in leaves of winter jujube for different treatments

处理	K^+ (mmol/g DW)	Na^+ (mmol/g DW)	K^+/Na^+
K_0S_0 (CK)	0.41 c	0.26 f	1.58 b
K_0S_1	0.40 d	0.62 d	0.65 d
K_0S_2	0.39 de	0.87 b	0.45 e
K_0S_3	0.38 e	0.92 a	0.41 f
K_1S_0	0.47 a	0.27 f	1.73 a
K_1S_1	0.46 a	0.58 e	0.79 c
K_1S_2	0.43 b	0.74 c	0.59 d
K_1S_3	0.39 de	0.85 b	0.46 e

2.4 钠钾处理对土壤 pH 与 K^+ 、 Na^+ 含量的影响

土壤的 pH 变化以及不同形态 Na^+ 、 K^+ 含量如表 5 所示。与 CK 相比,施用 NaCl、KCl 处理的土壤 pH 略有下降,没有产生显著性变化。然而,钠钾处理明显影响了土壤中的 Na^+ 和 K^+ 含量。这两种离子在土壤中主要以交换态形式被吸附在土壤胶体表面,水溶态离子所占比例相对较小。NaCl 和 KCl 的施入分别显著增加了土壤中的 Na^+ 和 K^+ 含量,施用量大时含量也相应较高。从表 5 可看出,在相同施 K 量时,施用 NaCl 较多的处理,其土壤中的 K^+ 含量也相对较高。结果表明,土壤盐分会显著影响外源 K 施用后在土壤中的化学行为。

表 5 不同处理土壤 Na^+ 、 K^+ 含量(mg/kg)
Table 5 Contents of Na^+ and K^+ in soil for different treatments

处理	pH	水溶性 K^+	水溶性 Na^+	交换性 K^+	交换性 Na^+
K_0S_0 (CK)	8.57 a	2.5 cd	1.2 f	75.2 d	24.3 e
K_0S_1	8.55 a	2.4 d	10.5 d	75.3 d	314.0 d
K_0S_2	8.53 a	2.6 c	12.9 c	73.8 e	438.5 c
K_0S_3	8.52 a	2.5 cd	13.8 b	76.2 d	595.1 a
K_1S_0	8.52 a	3.3 b	1.2 f	93.7 c	22.6 e
K_1S_1	8.42 a	3.5 b	9.2 e	102.5 b	328.1 d
K_1S_2	8.49 a	3.5 b	12.7 c	108.4 ab	432.6 c
K_1S_3	8.54 a	3.8 a	14.6 a	112.3 a	534.4 b

3 结论与讨论

冬枣具有较强的耐盐能力,主要产区位于黄河三角洲滨海盐碱地区,轻度盐渍条件并不会对其生长带来不利影响,冬枣适宜栽植在土壤含盐量小于 3 g/kg 的沙质壤土中^[12]。本研究结果也表明,在土壤含盐量为 2 g/kg 时冬枣生长良好,但在盐分超过 3 g/kg 后其生物产量明显下降,降低幅度随土壤含盐量增加而升高。本研究表明,在冬枣幼苗处于盐胁迫下,施用 KCl 能显著促进冬枣生长,减缓盐分造成的生物量下降。研究结果与宋姗姗等^[13]在长春花上的研究结论相一致;郑延海等^[14]也发现,K 营养可提高 NaCl 胁迫下的小麦幼苗茎叶和根的生长。

植株的 N、P、K 含量是冬枣树体营养的重要体现。一般而言,土壤盐分能减少植物中的 N 吸收^[15]。张纪涛等^[16]发现,盐胁迫降低了番茄幼苗 N 和 K 含量,对 P 影响不大。Khan 等^[17]研究发现,当培养液含盐量增加时,小麦体内的 K 含量出现下降现象;但也有研究报道,土壤盐分能提高全缘叶古榆木叶片的含 K 量^[18]。本研究结果表明,冬枣幼苗处于盐胁迫时,叶片的 N、P、K 含量均较对照出现明显下降。通过土壤施 K,冬枣的营养状况得到明显改善,叶片的 N、P 和 K 含量均有显著提高,但对其根系和枝干的养分含量影响并不大。这可能是由于试验时间较短,枝干和根系的生长量较小,从根系吸收的 N、P、K 营养优先传输到了叶片。

离子的选择吸收、质膜和液泡膜的 K^+ - Na^+ 交换在调节植物体内的离子平衡、盐分运输和细胞区隔化过程中起重要作用^[19]。植物体内的 K^+/Na^+ 是衡量其耐盐能力的重要指标。朱义等^[20]研究了盐胁迫对高羊茅幼苗离子分布的影响,发现盐胁迫会影响到植物组织的离子分布, Na^+ 浓度随盐胁迫加重而持续增加, K^+ 浓度降低,各组织中 K^+/Na^+ 随之下降。本研究也发现冬枣幼苗在受到盐胁迫时,冬枣叶片中的

K^+ 也出现明显下降,因此 K^+/Na^+ 大幅降低。土壤盐胁迫会影响植物对 K 素的吸收利用,其原因可能在于某些 K^+ 转运基因出现改变^[21],导致木质部和枝条中 K^+ 浓度下降, K^+ 从根部向上运输受到影响^[22];另一个重要原因可能是由于 Na^+ 对 K^+ 的拮抗作用^[23-24]。一般而言,耐盐植物的 K^+/Na^+ 也相对较高一些^[25-26]。耐盐植物能通过调节 K^+ 吸收,阻止 Na^+ 进入体内,保持细胞质内适宜的 K^+/Na^+ ,是其减轻盐害的主要机制。在本研究中,对盐胁迫下的冬枣施加 KCl 后,叶中的 K^+/Na^+ 得到明显提高,增强了植株体的耐盐能力。应当注意的是,当土壤盐胁迫程度进一步增强时,即使施用了 KCl,由于冬枣叶片中的 Na^+ 呈现出递增趋势,叶片中的 K^+ 则出现了一定程度的降低, K^+/Na^+ 表现出大幅降低,此时外源 K 对盐胁迫所起到的缓解作用相对并不明显,叶片中的 K^+/Na^+ 失衡现象仍会不断加剧。

土壤 pH 是一项重要的土壤性质,会影响土壤中许多化学或生化过程,包括离子的吸附和解吸、养分转化以及养分对作物的有效性^[27]。本研究发现,对冬枣幼苗施用 NaCl、KCl 后,各处理土壤 pH 较对照均出现一定程度下降,原因可能在于 Na^+ 、 K^+ 对土壤胶体表面 H^+ 的置换作用。随着 NaCl 施用量的增加,土壤中的 K^+ 含量呈现升高趋势,这是由于施入的 Na^+ 能够促进矿物层间非交换性 K 的释放,从而导致交换态 Na 和交换态 K 共同升高^[28-30]。同时,施入的 Na^+ 、 K^+ 在土壤中也存在竞争性吸附,虽然土壤胶体对 K^+ 的吸附强度要大于 Na^+ ,但在 NaCl 含量较高时,被 Na^+ 置换下来的 K^+ 也会明显增多,从而增加水溶性 K^+ 含量^[31]。由于 Na^+ 、 K^+ 带有正电荷,易被电负性的土壤胶粒吸附,所以二者在土壤中大部分以吸附态形式存在,水溶性离子所占比重很小。

综上所述,在盐胁迫下对冬枣幼苗施用适量外源 K,促进了植株生长,主要表现在叶片生物量显著提高,N、P、K 营养状况得到明显改善。土壤施 K 能

在一定程度上减轻叶片中 K^+/Na^+ 失衡现象,有效缓解盐胁迫对冬枣的伤害作用。

参考文献:

- [1] 杨树晰, 张承安. 晚熟优质鲜食枣优良品种——冬枣[J]. 落叶果树, 1998(1): 29
- [2] 辛承松, 董合忠, 罗振, 唐薇, 张冬梅, 李维江, 孔祥强. 黄河三角洲盐渍土棉花施用氮、磷、钾肥的效应研究[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1 698–1 706
- [3] 王箐, 鲁剑巍, 张文君, 李小坤. 田间土壤钾素有效性影响因素及其评估[J]. 土壤, 2012, 44(6): 898–904
- [4] 金继运. 土壤钾素研究进展[J]. 土壤学报, 1992, 30(1): 94–101
- [5] 武际, 郭熙盛, 王允青, 黄晓荣. 钾肥运筹对小麦氮素和钾素吸收利用及产量和品质的影响[J]. 土壤, 2008, 40(5): 777–783
- [6] Ashraf MY, Akhtar K, Sarwar G, Ashraf M. Role of the rooting system in salt tolerance potential of different guar accessions[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2005, 25(2): 243–249
- [7] 郑延海. 盐胁迫对不同冬小麦品种的影响及钾营养对其缓解机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007
- [8] Dhath AS. Effect of N, P and K treatments on growth and quality of Umraber (*Zizyphus mauritiana* Lamk)[J]. Punjab Horticultural Journal, 1993, 33(1/4): 70–75
- [9] 武之新, 成春彦. 金丝小枣树氮磷钾的最佳经济用量及配比的研究[J]. 中国农业大学学报, 1992(2): 120–123
- [10] 陈波浪, 盛建东, 李建贵, 王泽. 氮、磷、钾肥对红枣产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(3): 1–3
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 24–214
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 地理标志产品—沾化冬枣 (GB/T 18846-2008)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 2–4
- [13] 宋姗姗, 隆小华, 刘玲, 刘兆普. 钠钾比对盐胁迫下盛花期长春花离子分布和光合作用的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 883–887
- [14] 郑延海, 宁堂原, 贾爱君, 李增嘉, 韩宾, 江晓东. 钾营养对不同基因型小麦幼苗 NaCl 胁迫的缓解作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 381–386
- [15] Feigin A. Fertilization management of crops irrigated with saline water[J]. Plant and Soil, 1985, 89: 285–299
- [16] 张纪涛, 徐猛, 韩坤, 王林权. 盐胁迫对番茄幼苗的营养及生理效应[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 128–133
- [17] Khan MA, Shirazi MU, Khan MA, Mujtaba SM, Islam E, Mumtaz S, Shereen A, Ansari RU, Ashraf MY. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Pakistan Journal of Botany, 2009, 41(2): 633–638
- [18] Patel AD, Pandey AN. Growth, water status and nutrient accumulation of seedlings of *Holoptelea integrifolia* (Roxb.) Planch in response to soil salinity[J]. Plant, Soil and Environment, 2008, 54(9): 367–373
- [19] 魏国平, 朱月林, 刘正鲁, 杨立飞, 张古文. NaCl 胁迫对茄子嫁接苗生长和离子分布的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(6): 1 172–1 178
- [20] 朱义, 谭贵娥, 何池全, 崔心红, 张群. 盐胁迫对高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 幼苗生长和离子分布的影响[J]. 生态学报, 2008, 27(12): 5 447–5 454
- [21] Su H, Golldak D, Zhao C, Bohnert HJ. The expression of HAK-type K^+ transporters is regulated in response to salinity stress in common ice plant[J]. Plant Physiology, 2002, 129: 1 482–1 493
- [22] Shabala S, Shabala L, Van Volkenburgh E. Effect of Ca^{2+} on root development and root ion fluxes in salinised barley seedlings[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30: 507–514
- [23] Sarwar G, Ashraf MY, Naeem M. Genetic variability of some primitive bread wheat varieties to salt tolerance[J]. Pakistan Journal of Botany, 2004, 35(5; SPI): 771–778
- [24] Khan AH, Ashraf MY. Osmotic adjustment in sorghum under sodium chloride stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 1992, 14: 159–162
- [25] Suriya-arunroj D, Supapoj N, Toojinda T, Vanavichit A. Relative leaf water content as an efficient method for evaluating rice cultivars for tolerance to salt stress[J]. Science Asia, 2004, 30: 411–415
- [26] Akram M, Malik MA, Ashraf MY, Saleem MF, Hussain M. Competitive seedling growth and K^+/Na^+ ratio in different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress[J]. Pakistan Journal of Botany, 2007, 39(7): 2 553–2 563
- [27] 虞娜, 张玉龙, 黄毅. 保护地不同灌溉方法表层土壤 pH 小尺度的空间变异[J]. 土壤, 2008, 40(5): 828–832
- [28] Scott AD. Susceptibility of interlayer potassium in micas to exchange with sodium[J]. Clays and Clay Minerals, 1966, 14: 69–81
- [29] Martin HW, Sparks DL. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1985, 16(2): 133–162
- [30] Jalali M. Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran[J]. Geoderma, 2008, 145(3): 207–215
- [31] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 166–195

Response of Winter Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Zhanhua) to Potassium Applied into Soil Under Salt Stress

DU Zhen-yu^{1,2}, MA Bing-yao², LIU Fang-chun², LI Zi-cheng², CHAI Chuan-ping²

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *Shandong Academy of Forestry Science*, Jinan 250014, China)

Abstract: The effects of potassium applied into soil on biomass yield, nutrient contents of winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Zhanhua) and distribution of K^+ , Na^+ in leaf and soil were studied by a pot experiment in order to explore the alleviation effect of potassium on NaCl stress of winter jujube and to provide a theoretical basis for rational potassium fertilization of winter jujube in the Yellow River delta. The results showed that the increment of fresh weight was significantly decreased by salt stress. The application of KCl effectively alleviated the inhibition of NaCl on winter jujube's growth with a result of increasing leaf dry weight by 21.5% – 29.8% under salt stress. The salt tolerance ability of winter jujube was enhanced from soil salt content of 2 g/kg to 3 g/kg. Also, the contents of N, P and K in leaf were increased and the nutritional status was improved. Applied K^+ was beneficial in alleviating the injury of NaCl stress on winter jujube through enhancing K^+/Na^+ in leaf and reducing ion imbalance caused by salt stress to some extent. At the same time, chemical behavior of potassium in soil was significantly affected by salinity.

Key words: Winter jujube; Salt stress; KCl; Biomass; Ion distribution