

网络出版日期:2017-08-18

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0939.032.html>

蒲公英苗期盐胁迫反应及耐盐阈值的确定

刘雅辉,王秀萍,左永梅,张国新,鲁雪林

(河北省农林科学院 滨海农业研究所,河北省盐碱地绿化工程技术中心,唐山市耐盐植物重点实验室,河北曹妃甸区 063299)

摘 要 为筛选耐盐蒲公英品种,采用盆栽试验,分析不同盐分质量分数的滨海原土对蒲公英幼苗的生长发育及体内不同部位 Na^+ 和 K^+ 质量分数及 K^+/Na^+ 的影响,通过相关性分析和回归分析,确定蒲公英幼苗期耐盐鉴定指标和耐盐阈值。结果表明,随着土壤盐分质量分数的增加,幼苗存活率、叶长、叶宽、叶片数、地上和地下干物质质量均有所下降,但较低盐分(0.2%)可促进幼苗生长;地上部 Na^+ 和 K^+ 质量分数及 K^+/Na^+ 均与土壤盐分质量分数相关,而地下部这些指标与土壤盐分质量分数相关性不大;确定了蒲公英苗期耐盐鉴定指标为叶长,耐盐阈值为 0.42%。

关键词 蒲公英;耐盐性;鉴定指标;耐盐阈值; K^+/Na^+

中图分类号 Q945.78

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)08-1223-07

土壤盐渍化一直是限制农业生产的主要胁迫因子^[1-3],人们也曾通过不同途径改良和利用盐碱地,实践证明,种植耐盐植物品种是开发利用盐碱地的有效途径之一^[4]。生长在山坡路边、田野和滩涂的许多植物,耐盐性强,有些是集食用、药用和生态修复于一体的多功能野菜,而且病虫害发生轻,不需或只需少量施药,是安全绿色环保食品,具有广阔的发展前景。但是,不同植物或同一种植物不同品种间的耐盐性不同。根据多年的相关研究^[5-6]及实践经验,在盐渍化土壤和海水或咸水胁迫下生长的植物能够更多地积累营养元素和活性物质,因此在盐胁迫条件下生长的植物具有更好的营养、药用和其他经济品质。这也促使研究者们通过各种途径筛选和培育多样化的耐盐经济植物,从而达到充分利用现有盐渍化土地或咸水资源的效果。因此,筛选耐盐功能型植物,发展盐碱地功能植物种植产业,不仅能够高效利用盐土资源,改良修复盐碱地,还可为滨海盐碱区农业种植结构调整、农民增收、农业增效探索新途径,为滨海现代农业发展提供新模式。

蒲公英(*Taraxacum officinale*)为菊科蒲公英属多年生草本植物,适应性强,可在各类土壤中生长,植物体中含有多种保健营养成分,有丰富的营养价值和较好的药用价值,可生吃、炒食、做汤。

花期始于4月上旬,全年均有零星开花,具有极佳观赏价值,是一种食用、药用及观赏兼用的多功能植物。目前有关蒲公英耐盐性研究报道不多,但涵盖了生理生化、细胞水平和分子水平的研究。张晓辉等^[7]研究了新疆地区单盐 Na_2CO_3 溶液、混合盐溶液对蒲公英种子萌发和幼苗生长及生理特性的影响,结果表明,蒲公英对单盐及混合盐碱胁迫均表现出一定的耐受性,适当浓度盐碱溶液胁迫有助于促进蒲公英萌发出苗,碱性盐对蒲公英出苗的胁迫作用大于中性盐,该研究结果为充分利用新疆地区盐碱地进行蒲公英种植奠定了理论基础。陈华等^[5]利用细胞工程技术,已成功培育出耐1/3海水的蒲公英。张新果等^[8-9]利用组培方法筛选获得了药蒲公英的耐盐愈伤组织并对其进行生理生化研究,获得耐1.5% NaCl 溶液的药蒲公英变异体。冯昕等^[10]以碳酸氢钠溶液为胁迫溶液,研究蒲公英叶片中蛋白表达的动态变化规律,探讨蒲公英耐盐生化机理,获得了差异表达的蛋白点,推测可能就是耐盐性相关的蛋白质。

纵观以上研究,在蒲公英耐盐性研究方面已经比较深入,但是这些研究大都是在水培条件下进行,而且主要是以碱性盐为胁迫溶液,对新疆地区蒲公英种植及药用开发具有重要意义。然而,

收稿日期:2016-11-21 修回日期:2017-01-05

基金项目:河北省财政专项(F15R16004,F14C16004);河北省科技厅科技支撑项目(16226304D)。

第一作者:刘雅辉,女,硕士,助理研究员,从事耐盐经济植物筛选与盐碱地利用研究。E-mail:bhslyh@126.com

对蒲公英在滨海区的耐盐性,尤其是对滨海盐碱原土胁迫的响应及耐盐阈值研究鲜有报道。本研究利用滨海盐碱原土盆栽试验对蒲公英苗期进行耐盐性精准鉴定,通过对指标的相关分析和回归分析筛选确定适宜的鉴定指标和耐盐阈值,对蒲公英耐盐种质资源的引进筛选、设施生产中次生盐渍化土壤改良利用及中度盐碱地改良修复等均具有非常重要的意义。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

以当地的野生蒲公英为试验材料,选取颗粒饱满、大小一致的健康种子育苗,备用。

1.2 试验方法

采用盆栽试验,利用盐分质量分数为 3.85%的滨海盐土和盐分质量分数为 0.01%的好土晾干后,按不同比例混合,配成质量分数为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%的盐土,然后从每个处理土壤中分别取样 5 个,用水土比 5:1 的方法,测定不同处理土壤的盐分质量分数(表 1),以盐分质量分数 0.01%的处理为对照(CK)。将配好的土壤分别装入口径 30 cm、高 35 cm 的花盆中备用。在好土中育苗,当长至 3~4 片叶时,挑选长势一致苗,洗净根泥,移栽到不同处理的花盆中,每个花盆 1 株,每处理 5 盆,重复 3 次,花盆底部用托

表 1 配置土壤的盐分质量分数

Table 1 Total salt mass fraction in soil	
不同处理的土壤 Treatment	盐分质量分数/% Total salt mass fraction
0.01%(CK)	0.01±0.00
0.2%	0.20±0.00
0.4%	0.40±0.00
0.6%	0.60±0.01
0.8%	0.80±0.01

表 2 不同盐分胁迫下蒲公英幼苗存活率及生长指标

Table 2 Survival rate and growth indexes of dandelion seedlings under different salt stresses				
不同盐分质量分数/% Different salt mass fractions	存活率/% Survival rate	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶数 Leaf numbers
0.01%(CK)	100.00±0 a	13.50±3.29 a	2.64±0.31 a	8.82±1.39 a
0.2	100.00±0 a	10.78±0.02 ab	2.66±0.60 a	8.00±0.89 a
0.4	93.30±11.54 a	6.62±1.08 bc	1.78±0.68 b	4.16±1.18 b
0.6	53.30±11.54 b	5.03±1.12 c	0.96±0.18 c	4.04±0.13 b
0.8	26.60±23.09 c	4.08±0.02 c	0.90±0.19 c	3.97±0.82 b

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下图同。

Note:Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments($P<0.05$). The same below.

盘承接,放在塑料大棚内,人工控制水分,渗透水分及时返还花盆中,以确保盆内盐碱总量,以后定期浇水,维持盆土一致的含水量,试验进行 30 d。

1.3 指标测定

试验结束时测定每个处理的幼苗存活率、叶长、叶宽的生长量,地上、地下干物质质量及 K^{+} 、 Na^{+} 质量分数。 K^{+} 、 Na^{+} 质量分数测定采用原子吸收法。

1.4 数据处理及分析

所得数据采用 Excel 2010 进行基础分析和回归分析,SPSS 20 进行差异显著性和相关性分析,所得结果均以“平均数±标准差”形式表示。

2 结果与amp;分析

2.1 盐胁迫对蒲公英幼苗存活率及生长量的影响

由表 2 可以看出,盐胁迫对蒲公英幼苗存活产生了一定影响,在低于 0.4%盐分质量分数处理下,幼苗存活率与对照无显著差异,但土壤盐分质量分数达到 0.6%时,幼苗存活率与对照表现显著差异,下降为对照的 53.3%,当土壤盐分质量分数达 0.8%时,幼苗存活率仅为对照的 26.60%。可见,较低盐分土壤对蒲公英幼苗存活率的影响不大,而盐分质量分数高于 0.6%的土壤却严重影响其存活率。

从表 2 还可看出,盐胁迫对蒲公英幼苗生长也具有较大抑制作用,随着盐分质量分数的增加,除叶宽先升高后降低外,叶长和叶数均不同程度下降。在盐分质量分数 0.4%时,叶长、叶宽和叶片数均较对照有显著差异,分别下降 50.96%、32.58%和 52.83%,当土壤盐分质量分数增至 0.8%时,叶长、叶宽和叶片数较对照分别下降 69.78%、65.91%和 54.99%。可见,盐胁迫对蒲公英幼苗生长的影响顺序为叶宽、叶长和叶片数。

2.2 盐胁迫对蒲公英地上和地下干物质质量的影响

由图 1 可以看出,蒲公英地上部和地下部干物质质量与土壤盐分质量分数均呈负相关,相关系数分别为 -0.924 和 $-0.913(P<0.05)$,地上部干物质质量除了土壤盐分质量分数 0.2% 处理与对照差异不显著外,其余盐处理与对照间均存在显著差异,当土壤盐分质量分数为 0.4% 、 0.6% 和 0.8% 时,地上干物质质量分别为对照的 33.2% 、 18.06% 和 14.58% ;地下部干物质质量在所有盐处理与对照间均差异显著,在土壤盐分质量分数 0.2% 、 0.4% 、 0.6% 和 0.8% 时,地下干物质质量分别为对照的 54.8% 、 26.67% 、 26.67% 和 15.11% 。此外,还可以看出当土壤盐分质量分数高于 0.2% 时,地上部分干物质质量的下降幅度高于地下部分,说明盐胁迫对地上部的影响较明显。

2.3 盐胁迫对蒲公英 Na^+ 、 K^+ 质量分数及 K^+/Na^+ 值的影响

2.3.1 盐胁迫下 Na^+ 质量分数 蒲公英在盐胁迫下,地上部 Na^+ 质量分数与土壤盐分质量分数呈极显著正相关,相关系数为 $0.977(P<0.01)$,不同盐分处理与对照间差异显著(图 2);而地下部 Na^+ 质量分数随土壤盐分质量分数的增加有上升趋势,但是相关性不大,除了盐分质量分数 0.8% 处理与对照差异显著外,其余处理与对照间均不存在差异。从图 2 还可以看出,除对照外,其余盐胁迫处理下,蒲公英地上部 Na^+ 质量分数明显高于地下部,可见, Na^+ 在地上部积累较多。

2.3.2 盐胁迫下 K^+ 质量分数 从图 3 可以看出,地上部 K^+ 质量分数与土壤盐分质量分数呈显著负相关,相关系数为 $-0.936(P<0.05)$,从盐分质量分数 0.4% 开始与对照间差异显著,当盐分质量分数为 0.4% 时,地上部 K^+ 质量分数为对照的 80.87% ;地下部 K^+ 质量分数随土壤盐分质量分数的增大变化不大, 0.2% 盐分处理下稍高于对照,从土壤盐分质量分数 0.6% 开始与对照间差异显著。此外,所有处理下地上部 K^+ 质量分数总是高于地下部。

2.3.3 盐胁迫下 K^+/Na^+ 值 由图 4 可知,蒲公英地上部 K^+/Na^+ 值与土壤盐分质量分数负相关,不同处理与对照间均差异显著,但是盐分质量分数 0.4% 、 0.6% 、 0.8% 之间差异不显著;地下部 K^+/Na^+ 值随着盐胁迫的加重,呈现缓慢下降

趋势,但与土壤盐分质量分数间的相关性不大,相关系数为 -0.827 ,除了盐分质量分数 0.8% 与对照间差异显著外,其余处理间差异均不显著。从图 4 还可以看出,地上部 K^+/Na^+ 下降幅度明显高于地下部。

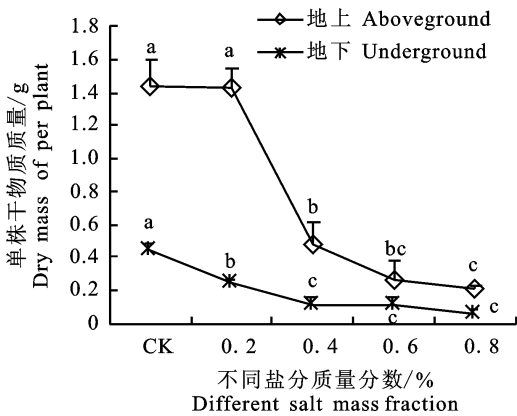


图 1 不同处理土壤蒲公英干物质质量
Fig. 1 Dry mass of dandelion of different treatments

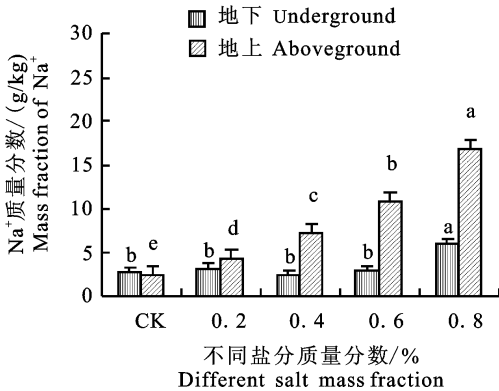


图 2 不同处理土壤蒲公英 Na^+ 质量分数
Fig. 2 Sodium ion mass fraction of dandelion of different treatments

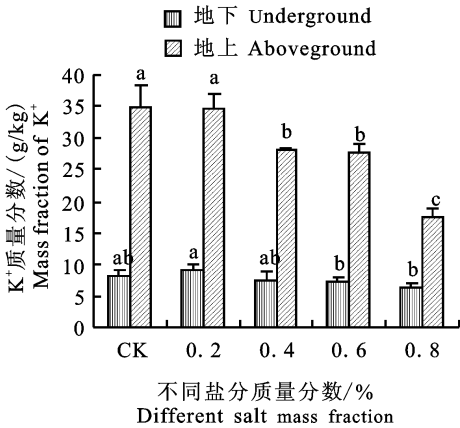


图 3 不同处理土壤蒲公英 K^+ 质量分数
Fig. 3 Potassium ion mass fraction of dandelion of different treatments

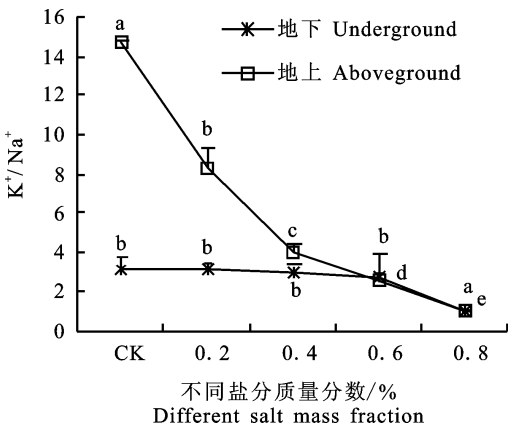


图 4 不同处理土壤蒲公英 K^+ / Na^+

Fig. 4 K^+ / Na^+ of dandelion of different treatments

2.4 蒲公英苗期耐盐指标的选择

为了便于鉴定,本研究对蒲公英苗期的存活率、叶长、叶宽、叶数和地上与地下干质量 6 个形态指标与土壤盐分质量分数间的相关性进行分

析,结果表明,6 个指标与土壤盐分质量分数的相关系数分别为 -0.923^* 、 -0.967^{**} 、 -0.885^* 、 -0.900^* 、 -0.924^* 和 -0.913^* 。可见,6 个指标与土壤盐分质量分数间均有相关性,其中叶长与土壤盐分质量分数呈极显著负相关关系,相关系数绝对值最大;其余 5 个指标与土壤盐分质量分数间也表现显著相关。由表 3 还可以看出,叶长与存活率、叶宽呈显著相关,与叶数、地上干质量和地下干质量均呈极显著相关。因此,可以选取叶长为蒲公英苗期的耐盐鉴定指标。

2.5 蒲公英苗期耐盐阈值的确定

以选取的鉴定指标叶长为因变量,土壤盐分质量分数为自变量,进行曲线估计,建立回归方程,结果(图 5)表明,叶长与土壤盐分质量分数符合二次曲线模型,方程为 $y = 11.755x^2 - 21.461x + 13.812$,决定系数 R^2 值为 0.984,以叶长比对照降低 50%为标准,计算得出耐盐阈值为 0.42%。

表 3 耐盐指标与土壤盐分质量分数间相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the indexes and soil salt mass fraction

指 标 Index	土壤盐分质量分数 Soil salt mass fraction	存活率 Survival rate	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶数 Leaf numbers	地上干质量 Dry mass aboveground	根系干质量 Dry mass underground
土壤盐分质量分数 Soil salt mass fraction	1	-0.923^*	-0.967^{**}	-0.885^*	-0.900^*	-0.924^*	-0.913^*
存活率 Survival rate		1	0.891 [*]	0.856	0.714	0.802	0.687
叶 Leaf length			1	0.898 [*]	0.975 ^{**}	0.970 ^{**}	0.962 ^{**}
叶宽 Leaf width				1	0.867	0.922 [*]	0.760
叶数 Leaf numbers					1	0.985 ^{**}	0.927 [*]
地上干质量 Dry mass aboveground						1	0.880 [*]
根系干质量 Dry mass underground							1

注: * 表示指标间显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。
Note: * indicates significant correlation among different indexes($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation($P<0.01$).

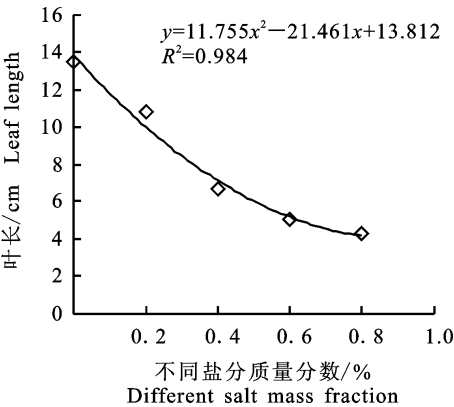


图 5 叶长与土壤全盐质量分数间的回归关系

Fig. 5 Regression relationship between leaf length and total salt mass fraction of soil

3 讨论

盐分是土壤的重要组成部分,也是植物生长必需的营养元素,但是过量盐分会对植物产生伤害,如渗透胁迫中土壤水势的降低会导致细胞脱水,造成植物的生理性缺水,离子胁迫会造成对植物细胞膜的损伤,丧失对离子选择性吸收的功能,致使细胞内离子稳态失衡,最终影响植物生长发育^[11-13]。其实,盐胁迫对植物生长最直接、最显著的效应就是抑制植物的生长,降低植物的生物量^[14-16]。本研究表明,盐分质量分数为 0.2% 的土壤条件下蒲公英幼苗存活率与对照相当,其叶长、叶宽、叶片数、地上和地下干物质质量与对照

间也不存在显著差异,说明低盐分(0.2%以下)土壤有助于蒲公英幼苗的成活及生长。这种现象可能与低盐分促进细胞膜的渗透调节有关,也可能是蒲公英对盐胁迫的一种适应。从土壤盐分质量分数0.4%开始,随着盐胁迫的增加,蒲公英幼苗的生长受到明显抑制,存活率下降,叶长、叶宽和叶片数生长缓慢,地上、地下干物质质量下降,这与大多数植物的研究结果一致。

盐胁迫还会影响植物体内阳离子的吸收、运输和分配。本研究发现,随土壤盐分质量分数的增加,蒲公英幼苗地上、地下 Na^+ 质量分数,均呈明显升高趋势,由于 Na^+ 和 K^+ 有相似的离子半径和水合能,在同一结合部位二者间会相互竞争, Na^+ 往往利用 K^+ 途径进入植物体^[17-18],所有盐处理下地上部积累的 Na^+ 均高于地下,说明根系吸收的 Na^+ 通过转移运输到地上部从而降低根部浓度,这也可能有助于增大地上部和根系的渗透势差,促进水分从根部向地上部分运输,有利于改善地上部分水分状况,促进生长,这与蔺海明等^[19]、景艳霞等^[20]在枸杞和苜蓿中的研究一致。 K^+ 是植物在生长发育中必须的大量元素和渗透调节物质,涉及许多生理过程,也是唯一一种植物必需的以高浓度存在的阳离子。本研究中,随土壤盐分质量分数的增大,地上部 K^+ 质量分数明显下降,地下部 K^+ 质量分数的变化幅度不大,呈现先小幅上升再缓慢下降的趋势,这也是由 K^+ 和 Na^+ 之间的竞争作用造成。研究中地上部和地下部 K^+/Na^+ 随着盐胁迫的增加均有所下降,这主要与 Na^+ 质量分数的净增加和 K^+ 质量分数的减少有关。

4 结 论

盐胁迫对蒲公英幼苗生长发育产生较大影响,对地上干物质质量的抑制作用明显大于地下部;蒲公英幼苗的存活率、叶长、叶宽、叶片数、地上和地下干物质质量与土壤盐分质量分数均呈负相关;低盐条件(0.2% 盐质量分数)对幼苗存活率、叶宽、叶片数、地上和地下干物质质量影响不大,盐胁迫对蒲公英地上部生长影响顺序为叶宽、叶长和叶片数。

蒲公英地上和地下 Na^+ 质量分数与土壤盐分质量分数呈正相关, Na^+ 积累地上部高于地下部。地上部 K^+ 质量分数与土壤盐分质量分数呈负相关,且地上部 K^+ 质量分数总是高于地下部。

蒲公英地上和地下部 K^+/Na^+ 随着盐胁迫的加重,呈现缓慢下降趋势,地上部 K^+/Na^+ 与土壤盐分质量分数呈负相关,地下部与土壤盐分质量分数相关性不大,地上部 K^+/Na^+ 下降幅度明显高于地下部。

通过相关性分析和回归分析,选取叶长为蒲公英苗期的耐盐鉴定指标;叶长与土壤盐分质量分数符合二次曲线模型,方程为 $y=11.755x^2-21.461x+13.812$,以叶长比对照降低 50% 为准,计算确定蒲公英苗期的耐盐阈值为 0.42%。

参考文献 Reference:

- [1] 祝文婷,黄绿木霉 T1010 对滨海盐渍土根际生态的调控效应研究[D]. 济南:山东师范大学出版社,2013.
ZHU W T. A Research on *Trichoderma aureoleviride* 1010 effecting on the regulation of the ecology of coastal saline soil rhizosphere[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [2] 杨红梅,徐海量,牛俊勇. 干旱区滴灌条件下防护林次生盐渍化土壤水盐运移规律研究[J]. 土壤学报, 2010(5): 1023-1027.
YANG H M, XU H L, NIU J Y. Soil water and salt transport in secondary salinized soil under shelterbelting drip irrigation in arid zone[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010 (5): 1023-1027 (in Chinese with English abstract).
- [3] 周和平,徐小波,王少丽,等. 盐碱地改良技术综述与一种新的研究模式展望[J]. 中国自然科学基金, 2012, 25(3): 157.
ZHOU H P, XU X B, WANG S H L, et al. Review of saline-alkali land improvement techniques in china and prospects of a new approach[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2012, 25 (3): 157 (in Chinese with English abstract).
- [4] 赵可夫,张万钧,范海,等改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J]. 土壤通报, 2001, 32(S1): 40-43.
ZHAO K F, ZHANG W J, FAN H, et al. Biological measures for utilization and development of salinized soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32 (S1): 40-43 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陈华,李银心. 蒲公英研究进展和用生物技术培育耐盐蒲公英展望[J]. 植物学通报, 2004, 21(1): 19-25.
CHEN H, LI Y X. Biotechnological breeding for salt tolerance of dandelion [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2004, 21(1): 19-25 (in Chinese with English abstract).
- [6] 姚琛,华春,周峰. 盐碱滩涂植物资源筛选与利用[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 357-358.
YAO CH, HUA CH, ZHOU F. Screening and utilization of plant resources in saline alkali soil [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(10): 357-358 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张晓晖,林辰壹. 新疆野生蒲公英对 4 种盐混合胁迫响应

- [J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(5): 384-387.
- ZHANG X H, LIN CH Y. Responses of taraxacum mongolicum hand-mazz from Xinjiang to four salts mixed stress [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2012, 35(5): 384-387 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张新果, 李银心, 陈 华, 等. 药蒲公英耐 1.5% NaCl 变异体的筛选及特性分析[J]. 生物工程学报, 2008, 24(2): 262-271.
- ZHANG X G, LI Y X, CHEN H, *et al.* Selection and identification of salt tolerant vriants of *Taxraeum offcinale* [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2008, 24(2): 262-271 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张新果, 陈显扬, 姜 丹, 等. 耐盐药蒲公英愈伤组织筛选及生理生化特性分析[J]. 生物工程学报, 2008, 24(7): 1202-1209.
- ZHANG X G, CHEN X Y, JIANG D, *et al.* Selection and characterization of salt-tolerant calli of *Taraxacum officinale* [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2008, 24(7): 1202-1209 (in Chinese with English abstract).
- [10] 冯 昕, 孙 浩, 王吉中, 等. 盐胁迫条件下蒲公英叶片蛋白的双向电泳及其图谱分析[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 108-111.
- FENG X, SUN H, WANG J ZH, *et al.* 2-DE Method and proteomic pattern analysis in *Taraxacum mongolicum* leaves under salt stress [J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(5): 108-111 (in Chinese with English abstract).
- [11] 夏尚光, 张金池, 梁淑英. NaCl 胁迫对 3 种榆树幼苗生理特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2008, 31(2): 52-56.
- XIA SH G, ZHANG J CH, LIANG SH Y. Effect of NaCl stress on physiological characteristics of three elm species seedlings[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2008, 31(2): 52-56 (in Chinese with English abstract).
- [12] 尤 佳, 王文瑞, 卢 金, 等. 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3825-3833.
- YOU J, WANG W R, LU J, *et al.* Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte *Limonium aureum* (L.) Hill [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3825-3833 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王家源. 苦楝种苗耐盐胁迫的生理响应机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013 (in Chinese with English abstract).
- WANG J Y. Studies on salt-tolerant mechanism of seeds and seedlings in *Melia azedarach* L. [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王宝山. 逆境植物生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 209-215.
- WANG B SH. Adversity Plant Biology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010: 209-215 (in Chinese).
- [15] 谢英赞, 何 平, 王朝英, 等. 外源 Ca^{2+} 、SA、NO 对盐胁迫下决明幼苗生理特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 36-43.
- XIE Y Z, HE P, WANG ZH Y, *et al.* The effects of exogenous Ca^{2+} , SA and NO on physiological traits of *Cassia obtusifolia* L. seedlings under NaCl stress [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2013, 35(3): 36-43 (in Chinese with English abstract).
- [16] PARIDA A K, DAS A B, MITTRA B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora* [J]. *Trees*, 2004, 18(2): 167-174.
- [17] WEI W, BILSBORROW P E, HOOLEY P, *et al.* Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant golden promise [J]. *Plant and Soil*, 2003, 250(2): 183-191.
- [18] 顾闻峰, 王乃顶, 王伟义, 等. NaCl 胁迫对结球甘蓝幼苗生长及体内离子分布的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 638-644.
- GU M F, WANG N D, WANG W Y, *et al.* Growth and ion distribution of NaCl-stressed *Brassica oleracea* var *capitata* seedlings [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(3): 638-644 (in Chinese with English abstract).
- [19] 蔺海明, 王龙强, 贾恢先, 等. 盐地枸杞不同营养器官中盐离子分布规律[J]. 果树学报, 2006, 23(5): 732-735.
- LIN H M, WANG L Q, JIA H X, *et al.* Salt distribution regularity of salt ion in Chinese wolfberry in different vegetative organs [J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(5): 732-735.
- [20] 景艳霞, 袁庆华. NaCl 胁迫对苜蓿幼苗生长及不同器官中盐离子分布的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 134-139.
- JING Y X, YUAN Q H. Effects of salt stress on seedling growth of alfalfa (*Medicago sativa*) and ion distribution in different alfalfa organs [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 134-139 (in Chinese with English abstract).

Response of Dandelion to Saline Stress and Determination
of Salt-tolerance Threshold at Seedling Stage

LIU Yahui, WANG Xiuping, ZUO Yongmei, ZHANG Guoxin and LU Xuelin

(Institute of Coastal Agricultural ,Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences,
Saline and Alkali Land Greening Engineering Technology Center of Hebei Province, Tangshan
Key Laboratory of Plant Salt Tolerance Research, Caofeidian Hebei 063299, China)

Abstract The theoretical basis was provided for selection of salt tolerant dandelion and utilization. Pot experiments were carried out to study the effects of coastal saline alkali soil on growth, the mass concentration of Na^+ , K^+ and K^+/Na^+ in different parts of dandelion. Salt tolerance index and salt tolerance threshold at the seedling stage of dandelion were determined through correlation analysis and regression analysis. The results showed that the survival rate, leaf length, leaf width, leaf number, aboveground and underground dry mass of the seedling decreased with the increase of the soil salt mass fraction, but the lower salt mass fraction (0.2%) could promote the growth of seedling. The mass concentration of Na^+ , K^+ and K^+/Na^+ were correlated with soil salt mass fraction in the aboveground but not in underground. The leaf length was determined as salt tolerance index and the 0.42% was salt tolerance threshold.

Key words Dandelion; Salt tolerance; Identified index; Salt tolerance threshold; K^+/Na^+

Received 2016-11-21 **Returned** 2017-01-05

Foundation item Special Financial Fund of Finance in Hebei Province (No. F15R16004, No. F14C16004); Science and Technology Support Project of Hebei (No. 16226304D).

First author LIU Yahui, female, master, assistant researcher. Research area: screening of salt-tolerant plants and utilization of saline alkali land. E-mail: bhslyh@126.com

(责任编辑:潘学燕 **Responsible editor:** PAN Xueyan)