排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2016 年 10 月 Oct. 2016 | 第 34 卷 Vol. 34 第 10 期 No. 10

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.16.0093

水盐处理对小桐子生长和水分利用的影响

徐曼，杨启良，李婕，雷龙海，刘小刚，
伍进波，徐天宇，贾维兵
（昆明理工大学现代农业工程学院，云南 昆明 650500）


徐曼

摘要：为研究盐胁迫下小桐子的生长和水分利用，通过水盐处理种植小桐子进行试验. 研究采用盆栽试验，共设 3 种盐分处理（风干土中分别加入 NaCl 分析纯的质量比为 S0:0；S1:2.5 g/kg；S2:5.0 g/kg）和 3 种灌水处理（W1:0.9 L；W2:1.8 L；W3:2.4 L）对小桐子进行 63 d 的试验处理. 结果表明：施盐分处理相同时，与 W1 和 W2 水平相比，W3 水平小桐子的株高、茎粗、壮苗指数、干物质量和水分利用效率均显著提高（$P<0.05$）. 因此，试验中小桐子最优的灌水量为 W3. 当灌水量为 W3 时，与 W3SO 相比较，处理 W3S1 促进小桐子的干物质量及水分利用效率显著提高，而处理 W3S2 的小桐子的干物质量及水分利用效率下降甚微（$P>0.05$）. 可见，土壤含盐量较低时，适宜的土壤水分调控有助于提高小桐子的生长和水分利用效率；土壤含盐量较高时，适宜的土壤水分调控有助于提高小桐子的抗盐胁迫能力.

关键词：小桐子；灌溉量；水盐；灌溉水利用效率；盐胁迫
中图分类号：S274.3　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2016)10-0889-08

徐曼，杨启良，李婕，等. 水盐处理对小桐子生长和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报，2016，34(10)：889-896.

XU Man，YANG Qiliang，LI Jie，et al. Effect of water and salt treatment on growth and water use efficiency of *Jatropha curcas* L. [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME)，2016，34(10)：889-896.(in Chinese)

Effect of water and salt treatment on growth and water use efficiency of *Jatropha curcas* L.

XU Man，*YANG Qiliang*，*LI Jie*，*LEI Longhai*，*LIU Xiaogang*，*WU Jinbo*，*XU Tianyu*，*JIA Weibing*
(Faculty of Modern Agricultural Engineering，Kunming University of Science and Technology，Kunming，Yunnan 650500，China)

Abstract：In order to provide theoretical support to improve growth and water use efficiency of *Jatropha curcas* L. with different irrigation under salt stress treatments，three salt (pure NaCl) contents (S0:0，S1:2.5 g/kg，S2:5.0 g/kg) and three water levels (W1:0.9 L，W2:1.8 L，W3:2.4 L) were used in a pot experiment for 63 days. The results show that height diameter，stem diameter，healthy index seedlings，dry matter and irrigation water use efficiency at W3 were significantly higher than those at W1 and W2 in the same salt condition，so the best water level was W3. Compared with W3S0，W3S1′s dry matter，water use efficiency were increasing greatly and there was no distinct difference between W3S0 and W3S2. Thus，in low salt stress condition，the suitable amount of water irrigation control was good for plants′ growth and water use efficiency. In high salt stress condition，the suitable amount of water irrigation control was helpful for *Jatropha curcas* L. to improve the ability to adapt to the salty environments.

收稿日期：2016-04-28；**网络出版时间**：2016-10-08
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20161008.1620.054.html
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51009073，51109102)；云南省应用基础研究面上资助项目(2013FB024)
作者简介：徐曼(1992—)，女，内蒙古根河人，硕士研究生(460517458@qq.com)，主要从事农业节水与生态环境效应研究.
杨启良(1978—)，男，甘肃通渭人，教授(通信作者，yangqilianglovena@163.com)，主要从事农业节水与生态环境效应研究.

Key words: *Jatropha curcas* L.; irrigation amount; water and salt; irrigation water use efficiency; salt stress

土壤盐渍化在中国分布广泛,主要分布在沿海及干旱和半干旱地区[1]. 由于漫灌和只灌不排,土壤底层的盐分随地下水上升到土壤表面,随着土壤水分的完全蒸发,盐分遗留在土壤表层不断积累,当土壤含盐量过高(质量分数超过0.3%)时,便形成土壤盐渍化. 现今,中国改良盐渍化土壤的方法主要是运用水利工程改良和土壤理化性质改良,其中土壤理化性质改良的方法在生产实践中得到广泛使用;其次是化学改良方法,该方法见效快,但容易造成再度污染,且资金和技术方面都难以实现,所以实施起来有很大的困难[2]. 综上所述,通过种植植株进行改良盐渍化土地是目前最经济有效的方法. 种植适应地区气候、抗盐性强、抗旱性强的经济植物来修复盐渍土壤,不仅可以有效改善生态环境,还可以提高盐渍化土地的利用效率. 因此,研究如何在盐碱化程度较高的地区进行植被恢复改良盐碱地具有重要意义.

小桐子喜光、喜暖热气候,可在降雨量稀少并且土壤贫瘠、条件恶劣的地区生长,广泛分布在亚热带地区[3],而且小桐子可全株开发,其果实、枝、叶均能利用. 小桐子的果实含油率高,经过加工可制成生物柴油,具有很大的开发潜力. 在众多能源树种中,小桐子作为一种可再生资源和不污染环境的新型能源,受到了世界的广泛关注[4-6],小桐子的种植将成为中国生物能源产业重要组成部分[7].

近年来,国内有关小桐子的生长及其环境因子(土壤干旱、养分、温度和盐分)方面的研究[8-9]日益增多,对小桐子幼苗在干旱胁迫及不同养分处理下的生长也做了很多的探索[10]. 焦娟玉等[11]通过盆栽控水与不同氮肥水平处理小桐子进行试验,研究表明适宜的水氮处理对小桐子的生长发育有一定的促进作用[12]. 阚世超等[13]分别用质量分数为0.3%,0.5%,0.7%的NaCl溶液和KNO_3溶液浸泡麻疯树(*Jatropha curcas* L.)种子(以自来水浸泡作对照)24 h后播种,置于温度25 ℃、光照12 h/d、光照强度2 000 lx条件下培养;15 d后将幼苗移栽置于自然条件下,观测种子萌发、幼苗生长及生理生化等指标. 结果表明:盐溶液胁迫处理的种子发芽率比对照下降15%以上;0.5%的KNO_3溶液处理麻疯树种子对其幼苗生长有促进作用;0.7%的NaCl溶液和KNO_3溶液能有效提高幼苗的抗性. 在国外,围绕小桐子的生长和光合特性、抗旱能力方面也做了许多研究[14-15],发现不同的生长因素会诱发植物体内多种结构和功能的改变,以利于植物适应新环境. 综合国内外研究现状,水盐对小桐子生长和灌溉水利用效率的影响方面研究较少,因此,文中主要研究水盐交互作用对小桐子的生长及水分利用的影响,为盐碱地的修复提供一些理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小桐子品种为云南干热河谷区常规品种,本试验于2013年4月在昆明理工大学现代农业工程学院玻璃温室大棚开始进行,该玻璃温室地理位置处于25°1′E,102°8′N. 试验期间,玻璃温室内最高和最低气温分别为28.0,7.5 ℃,平均相对湿度为68%. 盆栽试验容器为圆台形塑料桶,其上底直径为30.0 cm,下底直径为22.5 cm,高度为30.0 cm,圆台形塑料桶底部均匀地分布3个直径为1 cm的小孔,有效保证盆栽良好的通气情况. 所有供试土壤均为红壤土,土壤容积为1.2 g/cm^3,供试土壤的有机质组成部分为13.12 g/kg,其中全氮质量比为0.87 g/kg,全磷质量比为0.68 g/kg,全钾质量比为13.90 g/kg,试验开始前所有土壤过孔径为2 mm的筛,每个圆台形塑料桶中装14 kg自然风干土,装土前所有的圆台形塑料桶底部垫上2层纱网防止土壤从底部小孔中流失,每个圆台形塑料桶种植一株小桐子.

1.2 试验设计

小桐子经过70 d的缓苗期后,从缓苗好的小桐子中挑选27盆长势均匀的小桐子开始进行试验处理. 盆栽试验设置3个灌水处理和3个盐分处理,完全组合设计共计处理9个,每个重复3次. 该试验灌水处理周期为每隔6 d 1次,处理的灌水定额分别为W1:0.9 L;W2:1.8 L;W3:2.4 L. 灌水日期分别为7月7日,7月13日,7月19日,7月25日,7月31日,8月6日,8月12日,8月18日,8月24日,8月30日,9月6日,共计进行11次灌水处理. 本试验盐分处理1次,3个盐胁迫水平:土壤含盐量分别为S0:0;S1:2.50‰;S2:5.0‰,即风干土施入NaCl分析纯质量比为S0:0;S1:2.5 g/kg;S2:5.0 g/kg.

在试验开始时依据田间持水量计算,将所要进行的盐分处理的 NaCl 溶于水,配置成 NaCl 溶液进行浇灌,保证 NaCl 均匀分布于桶内土壤. 2015 年 9 月 9 日结束试验,试验共计进行 133 d,本试验共计处理 63 d,除不同处理外试验条件均相同.

1.3　测定项目

1）小桐子的生长发育性状及干物质量测定:观测各处理小桐子生长发育状况,使用游标卡尺、天平、烘箱等分别测定株高、茎粗、叶片数、地上和地下各部分鲜物质量、地上和地下各部分干物质量(先用烘箱进行 30 min 的 105 ℃杀青,然后将烘箱温度调至 75 ℃,烘干小桐子至其质量恒定,再用电子秤进行称重,测定小桐子各部分干物质量)、根冠比 = 根干质量/(茎干质量 + 叶干质量)、壮苗指数 = (茎粗/株高 + 根干质量/地上部干质量) × 全株干质量.

2）小桐子的蒸散量及小桐子的灌溉水利用效率:用称质量的方法测定小桐子的日蒸散量,根据水量平衡原理计算出小桐子总耗水量,灌溉水利用效率 = 总干物质量/灌溉量.

3）各器官含水率计算:各器官含水率 = (各器官鲜干物质量 - 各器官干物质量)/各器官干物质量 × 100%.

1.4　数据分析及处理方法

采用 WPS 和 Microsoft Excel 2003 软件进行数据分类处理并绘制图表,并用 SPSS 统计软件的 DUNCAN ($P = 0.05$) 法对数据进行方差分析和多重比较.

2　结果与分析

2.1　对生长量的影响

图 1 - 3 分别为小桐子不同处理对株高 h、茎粗 s 及叶片数 N 的影响. 由图可知:施盐和灌水交互作用对小桐子株高、茎粗及叶片数影响都具有统计学意义($P < 0.05$);灌水量为 W1 时,小桐子的株高和茎粗均随施盐水平的增加而降低,处理 S1 的叶片数高于处理 S2 和处理 S0 的叶片数,处理 S0 的叶片数高于处理 S2 的;灌水量为 W2 时,小桐子的株高和茎粗均随施盐水平的增加而降低,处理 S2 的叶片数高于处理 S0 和 S1 的叶片数,处理 S1 的叶片数低于处理 S0 的;灌水量为 W3 时,小桐子的株高、茎粗及叶片数均随施盐水平的增加而降低. 盐分处理相同时,除 W2S2 的叶片数外,处理 W3 与处理 W1 和 W2 相比其小桐子株高、茎粗及叶片数均增大.

根据数据分析,处理 W3 与处理 W1 相比较,其平均株高、茎粗、叶片数分别提高 56.14%,12.54% 和 119.05%;处理 W3 和 W2 相比,其平均株高、茎粗、叶片数分别提高 20.11%,7.42% 和 1.89%. 处理 S1 与处理 S0 相比,其平均茎粗、叶片数分别减少了 1.37% 和 2.87%,其株高提高了 1.06%;处理 S1 与处理 S2 相比,其平均株高、茎粗、叶片数分别增加 10.30%,8.73% 和 15.32%. 当盐分处理为 S1 时,处理 W3 与处理 W1 相比的株高、茎粗、叶片数分别提高 56.57%,9.52%,52.94%,处理 W3 与处理 W2 相比的株高、茎粗、叶片数分别提高 23.02%,7.47%,5.05%;当盐分处理为 S2 时,处理 W3 与处理 W1 相比的株高、茎粗、叶片数分别提高 65.84%,16.64%,251.85%,处理 W3 与处理 W2 相比的株高、茎粗分别提高 2.30% 和 10.57%,叶片数减少了 40.54%.

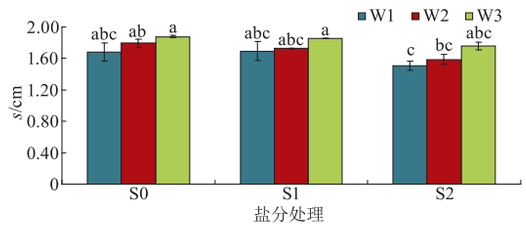


图 1　不同处理对小桐子株高的影响

Fig. 1　Effect of different treatments on height of *Jatropha curcas* L.

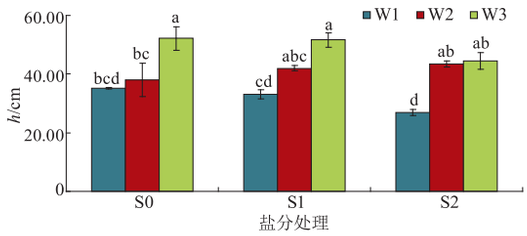


图 2　不同处理对小桐子茎粗的影响

Fig. 2　Effect of different treatments on stem diameter of *Jatropha curcas* L.

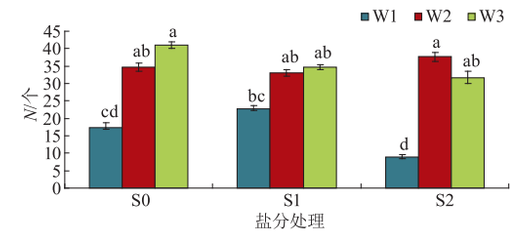


图 3　不同处理对小桐子叶片数的影响

Fig. 3　Effect of different treatments on vane number of *Jatropha curcas* L.

2.2 对形态特征的影响

图4,5为不同处理对小桐子的壮苗指数 I_s 和根冠比 τ_{rc} 的影响.

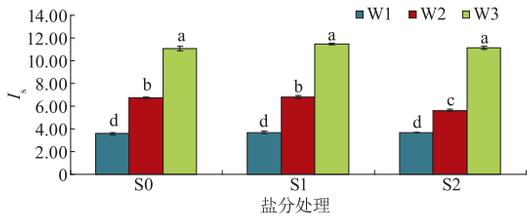


图4 不同处理对小桐子壮苗指数的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on healthy index seedlings of *Jatropha curcas* L.

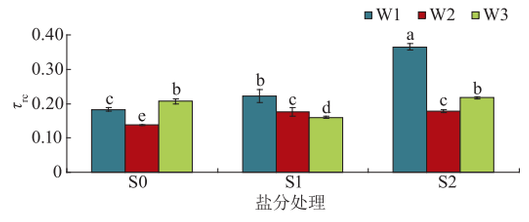


图5 不同处理对小桐子根冠比的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on root/shoot of *Jatropha curcas* L.

显著性分析表明,施盐和灌水交互作用对小桐子根冠比、壮苗指数影响具有统计学意义($P<0.05$). 土壤含盐量处理分别为S0,S1或S2时,小桐子的壮苗指数均随灌水水平的增加而增加. 灌水量处理分别为W1,W2,W3时,除了W2S2外,各盐分处理对小桐子壮苗指数影响不具有统计学意义($P>0.05$),W2S2的壮苗指数显著低于W2S0和W2S1的壮苗指数($P<0.05$). 灌水量为W1时,小桐子的根冠比随施盐量水平的增加而提高. 灌水量为W2时,处理S0的根冠比显著低于处理S1和S2的根冠比,处理S1的根冠比与处理S2的根冠比差异不具有统计学意义($P>0.05$);灌水量为W3时,处理S1的根冠比显著低于处理S0和S2的根冠比($P<0.05$),处理S0的根冠比与处理S2的根冠比差异不具有统计学意义($P>0.05$). 施盐量为S1时,小桐子的根冠比随灌水量水平的增加而显著降低($P<0.05$). 施盐量为S0和S2时,处理W3与处理W2相比其小桐子根冠比均增大.

根据数据分析,处理W3与处理W1相比较,其平均壮苗指数显著提高207.85%;与处理W2相比,其平均壮苗指数显著提高75.72%;处理W3与处理W1相比根冠比分别显著减少24.15%,处理W3相比处理W2的根冠比显著提高18.38%;处理S1相比于处理S0的平均根冠比提高5.97%;当盐分处理为S1时,处理W3与处理W1相比根冠比分别显著减少27.98%,处理W3与处理W2相比根冠比显著减少9.31%;当盐分处理为S2时,处理W3与处理W1相比根冠比分别显著减少40.54%,处理W3与处理W2相比根冠比显著提高21.41%($P<0.05$).

2.3 对含水率的影响

表1为不同处理对小桐子各器官含水率的显著性分析. 由表可知,施盐和灌水交互作用对小桐子各器官的含水率的影响具有统计学意义($P<0.05$),表中 *MC* 为不同部位的含水率.

表1 小桐子各器官含水率

Tab. 1 Water contents of *Jatropha curcas* L.

处理	*MC*/%					
	根	茎	叶	叶柄	冠层	整株
W1S0	4.61±0.21bc	2.33±0.20g	1.46±0.02f	3.44±0.11g	2.15±0.13g	2.53±0.13g
W1S1	4.89±0.22b	4.57±0.42e	3.37±0.05cd	10.68±0.87c	4.59±0.20d	4.65±0.20d
W1S2	5.71±0.18a	11.50±0.84a	8.44±0.43a	23.46±1.11a	11.41±0.40a	9.88±0.31a
W2S0	4.13±0.16d	2.72±0.34fg	2.84±0.16de	6.71±0.41f	3.19±0.23f	3.31±0.22f
W2S1	4.35±0.36cd	5.40±0.38d	2.53±0.12e	9.88±0.78cd	4.78±0.28d	4.71±0.23d
W2S2	5.68±0.14a	9.92±0.63b	3.83±0.66bc	13.60±0.09b	7.84±0.31b	7.52±0.28b
W3S0	4.00±0.06d	4.33±0.18e	2.30±0.48e	8.98±0.90de	4.04±0.18e	4.04±0.14e
W3S1	4.07±0.22d	3.16±0.15f	2.48±0.13e	7.78±0.14ef	3.40±0.12f	3.49±0.08f
W3S2	4.64±0.05bc	6.70±0.22c	4.20±0.56b	12.62±1.11b	6.39±0.41c	6.09±0.34c

注:表中数据均为3次测定结果的平均值,同列不同字母表示差异具有统计学意义($P<0.05$),下同.

灌水量分别为W1和W2时,小桐子各器官的含水率均随施盐水平的增加而增加;灌水量为W3时,小桐子根的含水率随施盐水平的增加而增加,处理S1的茎、叶柄、冠层和整株的含水率高于处理S0的,但低于S2的. 盐分处理为S0时,小桐子根的含水率随灌水水平的增加而降低,但小桐子茎、叶柄、冠层和整株的含水率均随着灌水水平的增加而增加;盐分处理为S1时,小桐子根的含水率随灌水水平的增加而减小,小桐子叶、茎、叶柄、冠层和整株的含水率均为灌水量为W2时最大,灌水量为W3

时含水率最小;盐分处理为 S2 时,小桐子根、茎、叶柄、冠层和整株的含水率均随灌水处理水平的增加而降低.

根据小桐子各器官含水率的数据分析,处理 W3 与处理 W1 相比,平均根、冠层、整株分别减少了 16.43%,23.78% 和 20.20%;处理 W3 和 W2 相比,其平均根、冠层、整株分别减少了 10.24%,12.52% 和 12.35%. 处理 W1S2 各器官含水率最大.

2.4　对干物质量及水分利用率的影响

表 2 为不同处理对小桐子干物质量和灌溉水利用效率的影响,表中 m_b,m_s,m_n,m_v,m_c,m_t,WUE_t 分别为根系干物质量、茎干物质量、叶干物质量、叶柄干物质量、冠层干物质量、总干物质量、灌溉水利用效率. 由表可知,随着灌水量的增加小桐子的干物质量提高. 当灌水处理为最小的 W1 时,小桐子的各部分干物质量及总干物质量均随着施盐水平的提高而减小. 不同灌水处理下,处理 W3 与 W1 相比,平均总干物质量提高了 300.00%;与处理 W2 相比,其平均总干物质量提高了 57.77%. 灌水处理 W3 时,不同施盐分处理 S1 相比于处理 S0,小桐子的根干物质量提高 2.29%,小桐子的冠层干物质量和总干物质量分别显著增加 32.10%,26.99%;与处理 S2 相比,其根干物质量、冠层干物质量和总干物质量分别显著增加 3.47%,34.68%,29.30% ($P<0.05$). 当灌水量为 W3 时,处理 S0 与处理 S2 相比,其各个干物质量之间差异不具有统计学意义($P>0.05$).

当盐分处理为 S1 和 S2 时,随着灌水量的增加,小桐子灌溉水利用效率显著增加;当盐分处理为 S0 时,灌水量 W2 灌溉水利用效率显著高于其他处理,且灌水量 W3 的灌溉水利用效率显著高于 W1 的灌溉水利用效率($P<0.05$). 当灌水量为 W1 和 W2 时,随着施盐水平的增加,小桐子灌溉水利用效率显著减少($P<0.05$),但是当灌水量为 W3 时,盐分处理 S1 灌溉水利用效率显著高于其他处理($P<0.05$),且盐分处理 S0 的灌溉水利用效率与盐分处理 S2 的灌溉水利用效率差异不具有统计学意义($P>0.05$),处理 W3S1 的水分利用效率最大.

表 2　小桐子干物质量及灌溉水利用效率

Tab. 2　Dry matter and water use efficiency of *Jatropha curcas* L.

处理	m_b/g	m_s/g	m_n/g	m_v/g	m_c/g	m_t/g	WUE_t/(g·kg^{-1})
W1S0	2.4±0.04e	7.83±0.09f	4.18±0.03f	1.13±0.12e	13.14±0.18f	15.54±0.25f	0.65±0.01f
W1S1	2.39±0.08e	5.96±0.12g	3.96±0.11f	0.83±0.04f	10.75±0.23g	13.14±0.08g	0.55±0.00g
W1S2	2.32±0.01e	3.94±0.07h	1.96±0.11g	0.46±0.07g	6.37±0.14h	8.69±0.14h	0.36±0.01h
W2S0	4.55±0.07c	17.57±0.40c	11.88±0.49c	3.52±0.46b	32.97±0.79c	37.52±0.93c	1.11±0.03b
W2S1	4.72±0.11c	13.20±0.49d	10.55±0.58d	3.06±0.46c	26.81±0.98d	31.53±0.92d	0.93±0.03d
W2S2	3.89±0.09d	10.23±0.41e	8.99±0.34e	2.57±0.49d	21.79±0.83e	25.68±0.98e	0.76±0.03e
W3S0	7.87±0.12ab	21.09±0.31b	13.45±0.09b	3.54±0.31b	38.09±0.62b	45.96±0.62b	1.05±0.01c
W3S1	8.05±0.03a	30.50±0.51a	15.03±0.15a	4.78±0.52a	50.31±1.02a	58.36±1.04a	1.33±0.02a
W3S2	7.78±0.05b	20.81±0.04b	13.01±0.24b	3.53±0.02b	37.36±0.08b	45.14±0.04b	1.02±0.00c

2.5　对蒸散量的影响

图 6 为小桐子蒸散量 *ET* 的日变化图. 小桐子在不同水盐处理下蒸散量的显著性分析表明:施盐和灌水交互作用对小桐子日蒸散量的影响具有统计学意义($P<0.05$). 施盐量为 S0 和 S1 时,小桐子的蒸散量变化曲线均为增长型曲线,并且随着灌水量的增加曲线变化越明显;施盐量为 S2 时,小桐子的蒸散量变化曲线为单峰型曲线,呈先增加后减少的趋势. 灌水量为 W1 时,小桐子的蒸散量在第一时段(17:00—8:00) 前没有显著变化,在第二时段(8:00—11:00) 后处理 S2 的蒸散量显著低于处理 S0 和 S1 的蒸散量,处理 S1 的蒸散量与处理 S0 的蒸散量差异不具有统计学意义($P>0.05$). 灌水量为 W2 时,小桐子的蒸散量在第一时段(17:00—8:00)差异不具有统计学意义($P>0.05$),在第二时段(8:00—11:00)蒸散量差异具有统计学意义,蒸散量随着施盐量的增大显著减少,在第三时段(11:00—14:00)处理 S1 的蒸散量高于处理 S0 和 S2 的蒸散量,处理 S0 的蒸散量显著高于处理 S1 的蒸散量,在第四时段(14:00—17:00)处理 S2 的蒸散量显著低于处理 S0 和 S1 的蒸散量($P<0.05$),处理 S1 的蒸散量与处理 S0 的蒸散量差异不具有统计学意义($P>0.05$). 灌水量为 W3 时,前 3 个时段处理 S2 的蒸散量显著高于 S1 的蒸散量,第四时段(14:00—17:00)处理 S1 的蒸散量显著高于 S2 的蒸散量($P<0.05$),在第三时段(11:00—14:00)与第四时段(14:00—17:00)之间出现交叉点,前 2 个时段处理 S2 的蒸散量与 S0 的蒸散量差异不具有统计学意义,后 2 个时刻处理 S1 的蒸散量与 S0 的蒸散量差异不具有统计学意义($P>0.05$).

根据数据分析,处理 W3 与处理 W1 相比较,其平均蒸散量显著提高 966.98%;处理 W3 和 W2 相

比,其平均蒸散量显著提高63.97%,处理S0与处理S1和S2相比平均蒸散量显著减少0.44%和13.62%.当盐分处理为S1时,处理W3与处理W1的蒸散量相比显著提高734.83%,处理W3与处理W2的蒸散量相比显著提高42.61%.当盐分处理为S0时,处理W3与处理W1的蒸散量相比显著提高686.89%,处理W3与处理W2相比蒸散量显著提高59.90%.

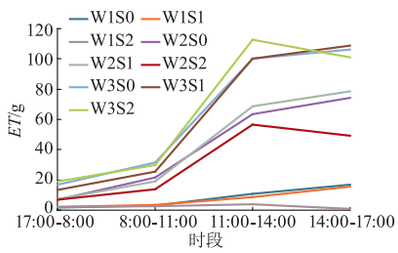


图6 不同处理对小桐子蒸散量的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on evapotranspiration of *Jatropha curcas* L.

3 讨 论

3.1 对植株生长的影响

株高、茎粗、叶片数、根冠比是衡量小桐子在不同灌水和施盐分处理情况下生长发育状况的重要衡量标准指标,通过观察可以大概判断出不同的处理下小桐子的生长发育状况[16].本研究表明当灌水量为W2时,处理S1与处理S0相比较,小桐子虽然受到盐胁迫,小桐子的株高、茎粗、叶片数减少,但差异不具有统计学意义($P>0.05$),且根冠比显著增加($P<0.05$),说明适当的盐分处理有助于提高小桐子的生长,小桐子通过减少冠层生长的冗余,调节其营养生长与生殖生长的比例,使得根冠比增大,从而促进小桐子生长[17].

壮苗指数作为判断小桐子幼苗生长状况的重要指标之一,与小桐子的品质有着密不可分的关系[18].在盐分处理S2下,灌水量W1与灌水量W3相比较,其株高、叶片数和壮苗指数均显著减少;在水分处理W1时,盐分处理S2与处理S0相比较,其株高、茎粗、叶片数均减少.研究结果表明,适量的盐有助于作物的生长,但当灌水量较少,施盐量较高时,小桐子不仅受到盐胁迫影响,还有干旱胁迫的影响,小桐子虽然有较强的耐盐耐旱性,但还是导致小桐子的生长发育受到影响,使得小桐子生长缓慢,叶片数减少,这与孔东等[19]、陈健妙等[7]在向日葵、麻疯树作物上的研究结果一致.

3.2 对含水率的影响

植物各器官的含水率对自身水分运转有重要影响;植物各器官含水率的增多,有利于提高植物抗干旱胁迫能力和对不同环境的适应能力[20].本研究不同的盐分处理下,处理S0与处理S1相比较,其平均根、冠层、整株含水率分别减少了4.28%,26.54%和23.11%;处理S0和S2相比,其平均根、冠层、整株含水率分别减少了20.52%,63.85%和53.36%.在S2水平下,小桐子的含水率均高于处理S1和S0,说明小桐子有较强的耐盐性[16],并且根据施盐量的增多,含水率也在增加.在S2水平下,在灌水量最少W1时小桐子的含水率最高,说明小桐子的耐盐度在干旱胁迫下有所提高.

当土壤中盐分浓度过高也会降低叶片水势,促使叶片气孔缩小甚至闭合,从而减少小桐子不必要的蒸腾和蒸散量[21],致使植物各器官含水率增大,并且在灌水较少时受干旱胁迫的影响抑制小桐子的生长导致含水率高,所以W1S2处理下小桐子含水率最高.在S2盐分处理下,灌水量增加到W2时叶片含水率降低,但根部含水率差异不具有统计学意义,说明盐胁迫下的小桐子通过自身调节降低叶片的含水率,从而缓解盐分对小桐子的影响,促进小桐子的生长发育[7].

3.3 对蒸散量、干物质量及水分利用效率的影响

小桐子的生长发育与水分状况有密切的相关性,当水分出现亏缺时,会抑制作物器官生长,降低作物生物量和产量[22-23].本研究不同水分对小桐子蒸散量、干物质量及水分利用效率的影响明显.处理W3与W1相比,平均灌溉水利用效率、蒸散量及总干物质量提高了116.67%,966.98%,295.93%;与处理W2相比,其平均灌溉水利用效率、蒸散量及总干物质量提高了20.71%,63.97%,56.19%,这表明适量增加灌水量有利于促进小桐子干物质的积累,提高灌溉水利用效率和蒸散量,这与姜东燕等[24]对小麦的研究结果一致.

灌溉水利用效率描述了作物产量、作物消耗水分之间的关系,作物产量和作物消耗水分受土壤地质、气候、作物与品种、肥料等影响因素.试验中,小桐子的蒸散量、干物质量及水分利用效率受盐胁迫的影响显著,除W3S1外,均随着盐浓度的增加而减少.处理W3S1与处理W3S0相比较,处理W3S1的干物质量及水分利用效率分别提高了26.97%,26.67%,蒸散量降低了2.62%,且处理W3S1的小

桐子蒸散量、干物质量及水分利用效率值均为最高,说明处理 W3S1 对小桐子的生长具有一定的促进作用. 这表明适当的水盐处理有助于促进小桐子干物质的积累,并且降低蒸散量,提高灌溉水利用效率. 处理 W3S0 与处理 W3S2 相比较,各干物质量和灌溉水利用效率差异均不具有统计学意义,小桐子表现出较强的抗盐胁迫能力,通过自身调节,减少盐分胁迫对小桐子的伤害. 可见,在适量的水分条件下,种植小桐子可以有效修复盐碱地土壤[7].

4　结　论

1) 在 NaCl 胁迫条件下,与处理 W1 和 W2 相比较,处理 W3 促进小桐子的株高、茎粗和壮苗指数的增长,同时可以显著提高其干物质量和灌溉水利用效率,因此,本试验条件下小桐子最优的灌水量为 W3.

2) 与不添加 NaCl 相比,风干土添加 NaCl 分析纯质量比为 2.5 g/kg 的处理具有促进小桐子生长、干物质量和灌溉水利用效率显著提高的作用.

3) 与处理 W3S0 相比,处理 W3S1 的壮苗指数和总干物质量及水分利用效率分别显著提高 3.55%, 26.99%, 27.01%, 蒸散量降低了 2.62%, 因此灌溉水利用效率显著提高 21.2%; 而处理 W3S2 的总干物质量和水分利用效率仅下降 1.78% 和 2.86% ($P>0.05$), 但壮苗指数和蒸散量分别提高了 0.82% 和 3.27% ($P>0.05$), 可见土壤含盐量较低时,适宜的土壤水分调控有助于提高小桐子的生长和水分利用效率,土壤含盐量较高时,适宜的土壤水分调控有助于提高小桐子的抗盐胁迫能力.

参考文献(References)

[1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837 – 842.
YANG Jingsong. Development and respect of the research on salt-affected soils in China[J]. Acta pedologica sinica, 2008, 45(5): 837 – 842. (in Chinese)

[2] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28 – 30.
ZHANG Jianfeng, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of soil and water conservation, 2005, 12(6): 28 – 30. (in Chinese)

[3] 刘永红. 小桐子的利用价值与栽培技术[J]. 经济林研究, 2006, 24(4): 74 – 76.
LIU Yonghong. Cultivation techniques and utilization value in *Jatropha curcas* L[J]. Nonwood forest research, 2006, 24(4): 74 – 76. (in Chinese)

[4] FAIRLESS D. Biofuel: the little shrub that could – maybe [J]. Nature, 2007, 449(7163): 652 – 655.

[5] MAES W H, TRABUCCO A, ACHTEN W M J, et al. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L.[J]. Biomass & bioenergy, 2009, 33(10): 1481 – 1485.

[6] ACHTEN W M J, VERCHOT L, FRANKEN Y J, et al. Jatropha, bio-diesel production and use[J]. Biomass & bioenergy, 2008, 32(12): 1063 – 1084.

[7] 陈健妙, 郑青松, 刘兆普, 等. 两种麻疯树苗对盐胁迫的生理生态响应特征[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 933 – 940.
CHEN Jianmiao, ZHENG Qingsong, LIU Zhaopu, et al. Response characteristics of physiology and ecology to salt stresses in two varieties of *Jatropha curcas* L. seedlings [J]. Acta ecologica sinica, 2010, 30(4): 933 – 940. (in Chinese)

[8] 张无敌, 宋洪川, 韦小岿, 等. 小桐子开发与元谋县生态环境保护[J]. 云南师范大学学报, 2001, 21(5): 37 – 42.
ZHANG Wudi, SONG Hongchuan, WEI Xiaokui, et al. The development of *Jatropha curcas* & protection of eco-environment in Yuanmou County[J]. Journal of Yunnan Normal University, 2001, 21(5): 37 – 42. (in Chinese)

[9] VILAGROSA A, BELLOT J, VALLEJO R, et al. Cavitation, stomatal conductance, and leaf dieback in seedlings of two co-occurring Mediterranean shrubs during an intense drought[J]. Journal of experimental botany, 2003, 54(390): 2015 – 2024.

[10] 康绍忠, 张建华, 梁建生. 土壤水分和温度共同作用对植物根系水分传导的效应[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 211 – 219.
KANG Shaozhong, ZHANG Jianhua, LIANG Jiansheng. Combined effects of soil water content and temperature on plant root hydraulic conductivity[J]. Chinese journal of plant ecology, 1999, 23(3): 211 – 219. (in Chinese)

[11] 焦娟玉, 尹春英, 陈珂. 土壤水、氮供应对麻疯树幼苗光合特性的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 91 – 99.
JIAO Juanyu, YIN Chunying, CHEN Ke. Effects of soil water and nitrogen supply on the photosynthetic characteristics of Jatropha curcas seedlings[J]. Chinese journal of plant ecology, 2011, 35(1): 91 – 99. (in Chi-

nese)

[12] 尹丽，胡庭兴，刘永安. 干旱胁迫对不同施氮水平麻疯树幼苗光合特性及生长的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(3)：569－576.
YIN Li, HU Tingxing, LIU Yong'an. Effect of drought stress on photosynthetic characteristics and growth of Jatropha curcas seedlings under different nitrogen levels [J]. Chinese journal of applied ecology, 2010, 21(3): 569－576. (in Chinese)

[13] 阚世超，张明生，淡松松，等. NaCl、KNO_3 胁迫处理对麻疯树种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 福建林业科技，2009，36(2)：263－265.
KAN Shichao, ZHANG Mingsheng, DAN Songsong, et al. Effects of NaCl and KNO_3 stress treatments on seed germination and plantlet growth of Jatropha curcas[J]. Journal of Fujian forestry sci and tech, 2009, 36(2): 263－265. (in Chinese)

[14] GULLO M A L, NARDINI A, SALLEO S, et al. Changes in root hydraulic conductance (K R) of Olea oleaster, seedlings following drought stress and irrigation[J]. New phytologist, 1998, 140(1): 25－31.

[15] SPERRY J S, HACKE U G, OREN R, et al. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply[J]. Plant cell & environment, 2002, 25(2): 251－263.

[16] 张彦，刘小刚，张富仓，等. 交替灌溉条件下水氮供给对番茄生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究，2013，31(1)：71－75.
ZHANG Yan, LIU Xiaogang, ZHANG Fucang, et al. Effects of water and nitrogen supply on growth and water use of tomato under controlled root-divided alternative irrigation[J]. Agricultural research in the arid areas, 2013, 31(1): 71－75. (in Chinese)

[17] 杨启良，周兵，刘小刚，等. 亏缺灌溉和施氮对小桐子根区硝态氮分布及水分利用的影响[J]. 农业工程学报，2013，29(4)：142－150.
YANG Qiliang, ZHOU Bing, LIU Xiaogang, et al. Deficit irrigation and nitrogen on the utilization of Jatropha curcas root nitrate nitrogen distribution and water [J]. Journal of the CSAE, 2013, 29 (4): 142－150. (in Chinese)

[18] 黄淑华，徐福利，王渭玲，等. 丹参壮苗指数及其模拟模型[J]. 应用生态学报，2012，23(10)：2779－2785.
HUANG Shuhua, XU Fuli, WANG Weiling, et al. Seedling index of Salvia miltiorrhiza and its simulation model[J]. Chinese journal of applied ecology, 2012, 23(10): 2779－2785. (in Chinese)

[19] 孔东，史海滨，陈亚新，等. 水盐胁迫对向日葵幼苗生长发育的影响[J]. 灌溉排水学报，2004，23(5)：32－35.
KONG Dong, SHI Haibin, CHEN Yaxin, et al. Effect on seedling growth of sunflower under different water－salt stress[J]. Journal of irrigation and drainage, 2004, 23(5): 32－35. (in Chinese)

[20] 高照全，张显川，王小伟. 干旱胁迫下桃树各部位贮存水调节能力的研究[J]. 果树学报，2006，23(1)：5－8.
GAO Zhaoquan, ZHANG Xianchuan, WANG Xiaowei. Study on the adjustment of reserved water in different part of nectarine tree in drought stress[J]. Journal of fruit science, 2006, 23(1): 5－8. (in Chinese)

[21] MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant cell and environment, 2002, 25(2): 239－250.

[22] WANG T, ZHANG X, LI C. Growth, abscisic acid content, and carbon isotope composition in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. Biologia plantarum, 2007, 51(51): 181－184.

[23] 陈晓远，罗远培. 土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响[J]. 中国农业科学，2001，34(4)：403－409.
CHEN Xiaoyuan, LUO Yuanpei. The influence of fluctuated soil moisture on growth dynamic of winter wheat [J]. Scientia agricultura sinica, 2001, 34(4): 403－409. (in Chinese)

[24] 姜东燕，于振文，张玉芳. 灌水量对小麦产量和水分利用率的影响[J]. 山东农业科学，2006(6)：23－25.
JIANG Dongyan, YU Zhenwen, ZHANG Yufang. Effect of irrigation volume on wheat yield and water use efficiency[J]. Shandong agricultural sciences, 2006(6): 23－25. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)