排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2018 年 8 月 Aug. 2018 | 第 36 卷 第 8 期 Vol. 36 No. 8
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.18.1001

盐胁迫下水氮处理对小桐子生理特性的影响


刘冰

刘冰[1]，杨启良[1*]，徐曼[2]
（1.昆明理工大学现代农业工程学院，云南 昆明 650500；2.毕节市农业机械研究所，贵州 毕节 551700）

摘要：为研究盐胁迫条件下不同水氮处理对小桐子幼树生理特性的影响，采用 3 个灌水水平（灌水处理的每次灌水量分别为 T1:3.2 L/株、T2:5.4 L/株、T3:9.6 L/株），4 个施氮水平（NZ:0 g，NL:10 g，NM:30 g，NH:50 g），共 12 个处理，6 次重复，进行温室小区试验. 结果表明：盐胁迫下适当增加灌水量可以有效提高小桐子的净光合速率；在盐胁迫且不施氮条件下，与 T1 相比 T2 和 T3 能促进小桐子的光合特性、叶水势增加；适宜的土壤水氮调控有助于增加小桐子的光合作用；在盐胁迫与灌水量相同处理条件下，与 NZ 相比，NL，NM，NH 下的小桐子的光合作用显著，且叶水势减小. 与 T3NH 比，T3NM 的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶水势分别显著提高 4.98%，6.01%，9.14%，22.97%. 在盐胁迫下，有利于小桐子生理特性的最优处理是 T3NM.

关键词：小桐子；盐胁迫；水氮；净光合速率；气孔导度；气孔大小
中图分类号：S274.3　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2018)08-0679-06

刘冰，杨启良，徐曼. 盐胁迫下水氮处理对小桐子生理特性的影响[J]. 排灌机械工程学报，2018，36(8):679-684.

LIU Bing，YANG Qiliang，XU Man. Effects of water-nitrogen addition on *Jatropha curcas* L. physiological characteristics under salt stress[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME)，2018，36(8):679-684.(in Chinese)

Effects of water-nitrogen addition on *Jatropha curcas* L. physiological characteristics under salt stress

LIU Bing[1]，*YANG Qiliang*[1*]，*XU Man*[2]
(1. Modern Agricultural Engineering College，Kunming University of Science and Technology，Kunming，Yunnan 650500，China；2. Bijie City Agricultural Machinery Research Institute，Bijie，Guizhou 551700，China)

Abstract: In order to study the effects of different water-nitrogen treatments on the physiological characteristics of *Jatropha curcas* saplings under salt stress，three levels of irrigation were used (irrigation volume per irrigation was T1: 3.2 L/plant，T2: 5.4 L/plant，T3: 9.6 L/plant)，and 4 nitrogen application levels (NZ: 0 g，NL: 10 g，NM: 30 g，NH: 50 g) were subjected to a greenhouse plot test. The results show that appropriately adding irrigation volume under salt stress can effectively increase the net photosynthetic rate of *Jatropha curcas*. Under salt stress and without nitrogen application，T2 and T3 can promote the net photosynthetic rate，transpiration rate and stomata of *Jatropha curcas*. Conductivity，stomatal and leaf-water potentials increase，T3 increases photosynthetic rate compared with T1 and T2. Appropriate soil water-nitrogen regulation help to increase photosynthesis

收稿日期：2018-03-13；**修回日期**：2018-05-23；**网络出版时间**：2018-06-13
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180613.1518.014.html
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51379004)
第一作者简介：刘冰(1994—)，女，河南濮阳人，硕士研究生(1159144008@qq.com)，主要从事农业节水与生态环境效应研究.
通信作者简介：杨启良(1978—)，男，甘肃通渭人，教授，博士生导师(yangqilianglovena@163.com)，主要从事农业节水与生态环境效应研究.

of *Jatropha curcas*. Under the same conditions of salt stress and irrigation, by comparison with NZ, the net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of *Jatropha curcas* under NL, NM and NH increase, and the leaf-water potential decreases. Compared with T3NH, the photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and leaf-water potential of T3NM increase significantly by 5.15%, 5.86%, 8.81%, and 23.25%, respectively. In summary, under salt stress, the optimal treatment for the physiological characteristics of *Jatropha curcas* is T3NM.

Key words: *Jatropha curcas* L.; salt stress; water – nitrogen; net photosynthetic rate; stomatal conductance; stomatal size

在全球许多地区,由于气候变化植物在其生命周期内经常遭受土壤和大气水分的亏缺,导致土壤盐渍化.集约灌溉使水分(灌溉或降雨)与作物用水之间的土壤水文平衡发生了变化,从而增加半干旱和干旱地区二次盐渍化.中国盐渍土总面积 9.913×10^7 hm^2,约占国土面积的1.03%,西北、华北、东北及沿海地区均有大面积分布.土壤盐渍化严重制约着中国土地可持续发展,危害国家粮食安全.盐渍土高效利用能有效提升耕地农业生产能力,增加耕地数量,保障国家粮食安全.杨真等[1]、RAVINDRAN 等[2]、张建锋等[3]对盐渍土的治理措施进行了较多的研究,结果表明生物修复盐渍土是最行之有效且有前景的措施之一.

小桐子喜光、喜暖热气候,不择土壤,耐干旱瘠薄,许多热带和亚热带国家均有种植.小桐子全株均能开发利用,如运用在能源、医疗、肥料和动物饲料等领域.尤其是果实含油率高,可用于生物柴油的提炼加工,具有很大的开发潜力[4-5].此外,小桐子还具有较强的抗盐胁迫能力[6].因而,种植小桐子是修复改良盐渍土的有效措施之一.

近年来,在盐胁迫方面,徐曼等[7]研究结果表明,土壤含盐量较低时,小桐子的生长和水分利用效率在适宜的土壤水分调控下有所提高;土壤含盐量较高时,小桐子的抗盐胁迫能力在适宜的土壤水分调控下有所提高.杨启良等[8]研究发现,最优的交替灌溉模式为10 mm和30 mm交替灌溉,在此种模式下,小桐子的根系和总干物质量、水分利用效率最高.焦娟玉等[9]研究发现,土壤含水量为田间最大持水量的30% ~50%时,适合小桐子生长.陈金陵等[10]研究结果表明小桐子具有抗盐胁迫能力,但随着盐胁迫程度增大其光合能力减小.目前,国内外关于在盐胁迫下不同水氮处理对小桐子气孔导度、叶水势、气孔大小与气孔密度的影响鲜有报道.本试验通过在土壤里施加一定量的NaCl模拟盐渍土,研究盐胁迫条件下不同水氮处理对小桐子净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶水势、气孔大小与密度的影响,以期获得盐胁迫条件下适宜小桐子生长的最佳水氮关系.

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膏桐,于04-01采自云南省元谋县老城乡(25°29′E,101°38′N).试验在昆明理工大学现代农业工程学院作物高效用水温室中进行,温室地处26°8′E,103°10′N.温室内设有长8.4 m、宽0.6 m、深0.7 m的种植槽12条,槽与槽之间间隔0.5 m,槽内铺设塑料膜防止水分流失,槽内所有土壤均通过10 mm筛网后填入槽内,其中有机质组分为12.93 g/kg,全氮、全磷、全钾含量分别为0.94,0.73,12.88 g/kg.

1.2 试验设计

试验槽中每千克风干土采用搅拌的方式施入NaCl分析纯的质量为5 g.采用3个灌水水平(灌水处理的每次灌水量分别为T1:3.2 L/株、T2:5.4 L/株、T3:9.6 L/株),4个施氮水平(每株小桐子总共施入纯氮的质量分别为NZ:0 g,NL:10 g,NM:30 g,NH:50 g),共12个处理,6次重复.试验开始前将挑选好的小桐子幼树种植在槽内进行缓苗,缓苗60 d后开始试验,将氮肥(尿素)溶于水中,随水浇灌渗入土中,以保证氮均匀分布在土壤当中.设置灌水周期为7 d灌水1次,共计进行15次灌水处理.试验总共进行182 d,试验期间保持温室内通风流畅,其他管理措施均保持一致.

1.3 测定项目

1)叶水势:测定方法为压力室法.将采集好无损坏的叶片用湿纱布包裹(防止水分流失),放入压力室,以20~50 kPa/s速度加压(氮气),待切口出现汁液,减压150~200 kPa,再加压至切口出现汁液,读数中

$$P + \psi_W = \psi_S, \quad (1)$$

$$\psi_W = -P, \quad (2)$$

式中：P 为平衡压，MPa；ψ_W 为叶片或枝条的叶水势，MPa；ψ_S 为木质部汁液的渗透势，MPa.

2）光合生理指标：测定指标包括叶片净光合速率 *Pn*、蒸腾速率 *Tr*、气孔导度 *Gs*. 利用 Li－6400 便携式光合仪器进行测定，选择晴天中 8:00，10:00，12:00，14:00，16:00，18:00 进行测定，测量前选取长势一致、上部向阳的成熟叶片并做好标记. 不同时段测量时，应测定同一叶片的同一位置.

1.4　数据分析及处理方法

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理并绘制图表，用 SPSS 统计软件的 ANOVA 和 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　净光合速率响应规律

图 1 为小桐子净光合速率日变化.

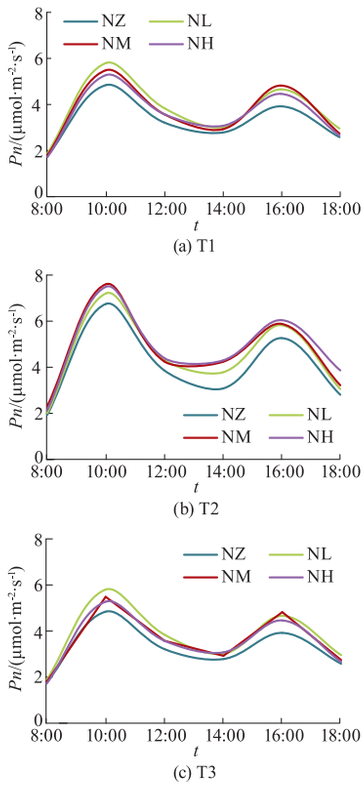


图 1　小桐子净光合速率日变化

Fig. 1　Diurnal variation of net photosynthesis rate of *Jatropha curcas*

由小桐子净光合速率日变化图 1 可知，小桐子的净光合速率峰值出现在 10:00 和 16:00. 在 12:00 至 14:00 时段净光合速率出现“休息”状态. 同时，由图 1 可知，所有处理同时段净光合速率相比，T3NM 的净光合速率值最大. 表明盐胁迫下小桐子的净光合速率随着灌水量的增加而提升. 在盐胁迫下，灌水处理对小桐子净光合速率的影响由大到小依次为 T3，T2，T1.

2.2　蒸腾速率响应规律

图 2 为小桐子蒸腾速率日变化.

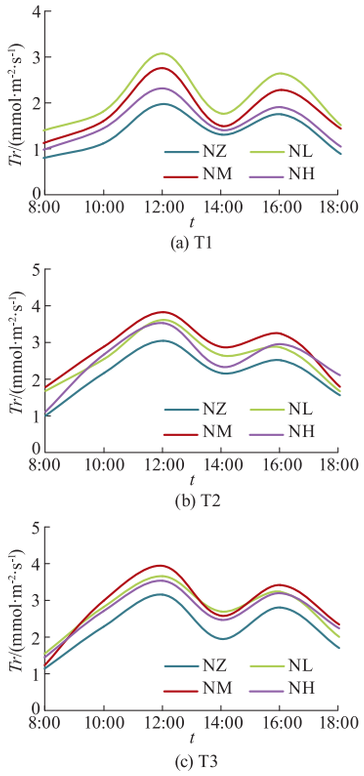


图 2　小桐子蒸腾速率日变化

Fig. 2　Diurnal variation of transpiration rate of *Jatropha curcas*

由小桐子蒸腾速率日变化图 2 可知，小桐子的蒸腾速率峰值出现在 12:00 和 16:00，“休息”状态出现在 13:00 至 15:00. 所有处理同时段小桐子蒸腾速率相比，T3NM 的蒸腾速率值最大. 表明增大灌水量会提高蒸腾速率. 在处理 NM 下，灌水处理对小桐子蒸腾速率日变化的影响由大到小依次为 T3，T2，T1.

2.3　气孔导度响应规律

图 3 为小桐子气孔导度日变化图. 由图可知，小桐子气孔导度值出现双峰值现象，最大值分别出现在时间为 12:00 和 16:00，在 14:00 时气孔导度出现最低值. 所有处理同时段气孔导度相比，T3NM 的气孔导度值最大. 在盐胁迫不施 N 条件

下,增加灌水量,气孔导度增大. 在盐胁迫 NM 处理下,灌水处理对小桐子气孔导度日变化的影响由大到小依次为 T3,T2,T1.

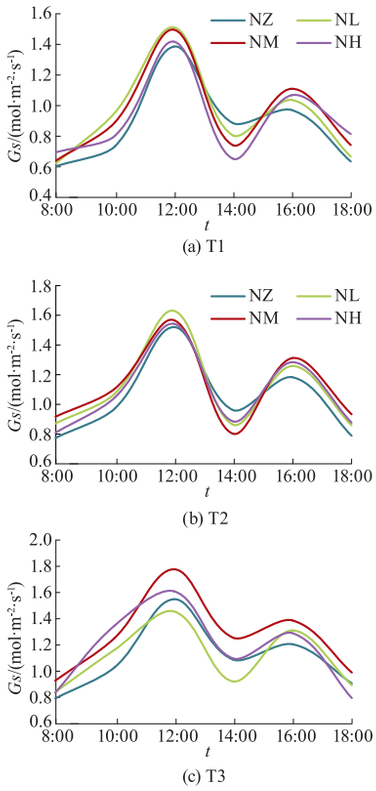


图3 小桐子气孔导度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of stomatal conductance of *Jatropha curcas*

2.4 叶水势响应规律

由图4可知,与T1相比,T2和T3的小桐子平均叶水势 L_p 分别增加15.23%和36.98%. 在处理NZ下,与T1相比,T2和T3的叶水势分别提高了11.96%和28.02%;在处理NL下,与T1比T2和T3的叶水势分别提高了12.45%和26.08%;在处理NM下,与T1和T2比,T3叶水势分别提高13.05%和23.89%;在处理NH下,与T1和T2比,T3叶水势分别提高19.13%和30.21%($P < 0.05$).

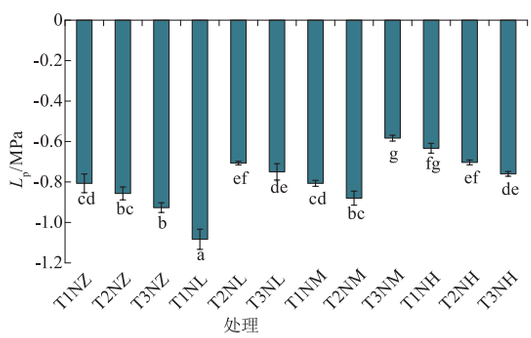


图4 不同处理对小桐子叶水势的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on leaf potential of *Jatropha curcas*

2.5 气孔大小及密度响应规律

图5为不同处理对小桐子气孔长度、宽度、面积和密度的影响,图中 S_L 为气孔长度,S_a 为气孔面积,S_w 为气孔宽度,S_d 为气孔密度.

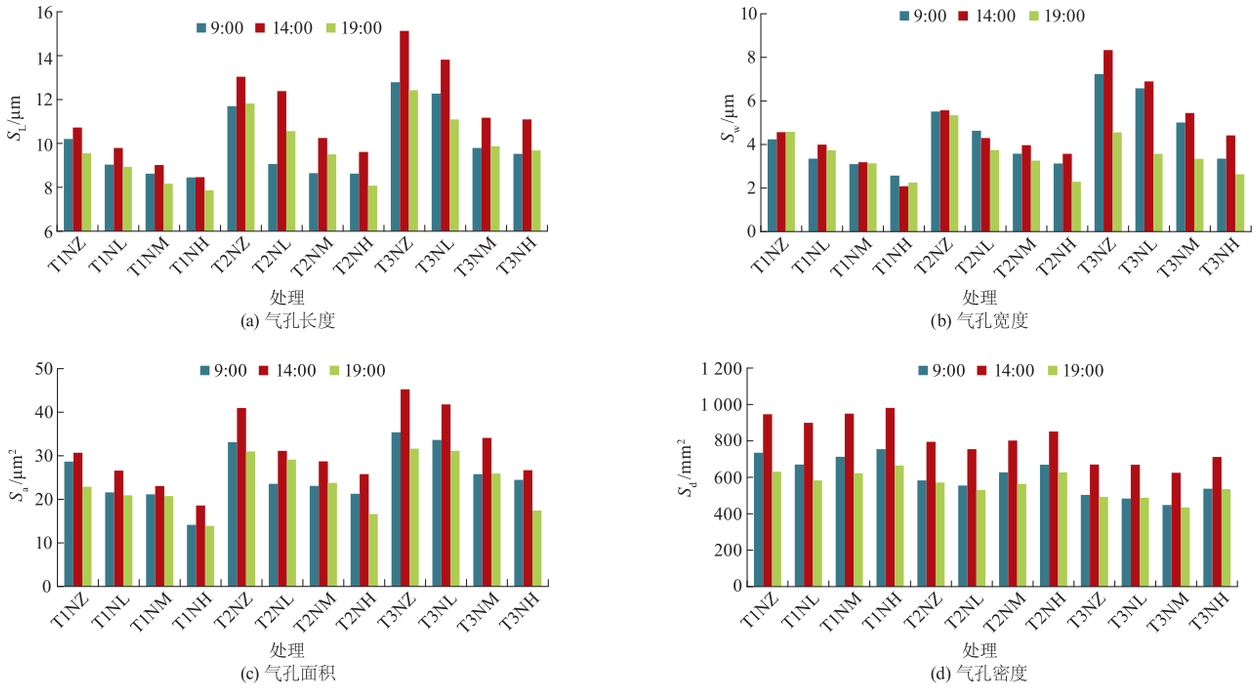


图5 不同处理对小桐子气孔长度、宽度、面积和密度的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on stomatal length, width, area and density of *Jatropha curcas*

小桐子气孔长度、宽度、面积均在14:00时达到最大值,分析14:00数据能更准确地反映小桐子受水氮影响所发生改变的情况. 小桐子T2与T1相比,平均气孔长度、气孔宽度和气孔面积分别增加了19.18%,25.89%和27.94%;T3与T1相比,平均气孔长度、气孔宽度和气孔面积分别增加了34.78%,81.50%和49.43%;T3比T2的平均气孔长度、气孔宽度和气孔面积分别增加13.09%,44.17%和16.80%. T2,T3与T1相比,平均气孔密度分别减少了15.19%和29.14%;T3比处理T2的平均气孔密度降低了16.45%. 这是由于灌水量的增加减少了植物的水分胁迫,小桐子植株的可吸收水分增多,光合作用增多,小桐子的CO_2吸收量增加,气孔开度增大,小桐子的气孔长度、宽度、面积的大小随之增大.

图5d为不同处理小桐子气孔密度随时间变化情况,气孔密度在14:00的时候出现最大值,小桐子的气孔密度动态变化趋势为早晚气孔较小而中午气孔密度最大. 分析14:00的气孔密度数据,处理T2,T3与处理T1相比,平均气孔密度分别降低了15.19%和29.14%;处理T3比处理T2的平均气孔密度降低了16.45%. 说明随着施氮量的增加小桐子气孔密度先减小后增大. 14:00的小桐子平均气孔密度值最大. 这是由于光照强度增强,光合作用变强,叶片净光合速率增大,气孔打开,密度增大.

3　讨　论

3.1　对小桐子净光合速率、蒸腾速率、气孔导度的影响

氮是限制植物光合作用的重要因子. 本试验中所有处理的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化均出现2个峰值(12:00和16:00),并且都有1个休息时段. 小桐子的蒸腾速率、气孔导度随着灌水量的增大而增大. 这是由于水分胁迫限制小桐子地上部分树干和叶子的生长,主要发展根系吸收更多水分,从而光合作用下降. 小桐子施加一定N的处理比不施N处理的光合作用显著提高,主要是由于N能够改善叶片光合特性.

3.2　对小桐子幼树叶水势的影响

植物叶水势除取决于本身的生物学特性外,还受外界环境因子所制约. 本试验结果表明在施氮情况下,低灌水量可减少叶水势,在不施氮处理下,增加灌水量能提高叶水势,施氮、水分及两者交互作用对小桐子叶水势有显著的影响,并且两者与叶水势呈显著正相关关系. 水势随着灌水量的增加而提高,低灌水量下通过施氮降低叶水势,有利于植物更好地吸收水分,灌水与施氮互作效应对叶水势有显著影响.

3.3　对小桐子幼树气孔大小与密度的影响

植物吸收CO_2进入植株体内主要是通过气孔. 气孔的大小与密度影响着植物的气孔导度,同时气孔的大小及密度还能够反映出植物在光合方面的改变. 本研究表明T1与T2,T3相比,其平均气孔长度、气孔宽度和气孔面积都增加. 初步分析这是由于增加灌水量,小桐子可吸收水分增多,光合作用增强,气孔导度增大,小桐子的气孔长度、宽度面积的大小随着增大. 处理T2,T3与处理T1相比较,平均气孔密度减少;处理T3与T2相比,平均气孔密度减少. 这是由于水分胁迫使小桐子的叶面积小,气孔密度变小,从而提高了小桐子的气孔密度. 处理NZ与处理NL相比较,平均气孔密度增加. 说明施氮量增加造成小桐子气孔密度先减小后增大.

4　结　论

1)在盐胁迫下,有利于小桐子生理特性的最优处理是T3NM.

2)盐胁迫下,施氮量和灌水量的增加能显著地提高小桐子的叶水势. 小桐子的光合作用在施N处理下比不施N处理下显著提高. 灌水T2,T3条件下小桐子将资源更多地利用在地上部分,促进枝叶的增长,提高光合作用.

3)盐胁迫下,适宜的水分亏缺与施氮有利于小桐子生理生长. 所以水氮组合调控能有效地解决小桐子在盐胁迫下水分缺失的问题.

参考文献(References)

[1] 杨真, 王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学, 2015(4):125-130.
YANG Zhen, WANG Baoshan. Current status of saline soil resources in China and its countermeasures for improvement and utilization[J]. Shandong agricultural sciences, 2015(4):125-130. (in Chinese)

[2] RAVINDRAN K C, VENKATESAN K, BALAKRISHNAN V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils[J]. Soil biology & biochemistry, 2007, 39(10):2661-2664.

[3] 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. The basic measures of the world's saline－alkaline land resources and their improvement and utilization [J]. Research of soil and water conservation，2005，12(6)：28－30.(in Chinese)

[4] 武素功，陈平. 开发利用小桐子油代替柴油的可行性研究[J]. 资源科学，1988，10(4)：58－63.
WU Sugong，CHEN Ping. Feasibility study on development and utilization of jatropha oil in replacement of diesel oil[J]. Resources science，1988，10(4)：58－63.(in Chinese)

[5] 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. Utilization value and cultivation techniques of *Jatropha curcas* [J]. Economic forest research，2006，24(4)：74－76.(in Chinese)

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

[7] 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. Effects of water and salt treatment on the growth and water use of *Jatropha curcas*[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering，2016，34(10)：889－896.(in Chinese)

[8] 杨启良，孙英杰，齐亚峰，等. 不同水量交替灌溉对小桐子生长调控与水分利用的影响[J]. 农业工程学报，2012，28(18)：121－126.
YANG Qiliang，SUN Yingjie，QI Yafeng，et al. Effects of alternate irrigation with different amount of water on growth regulation and water use of *Jatropha curcas*[J]. Transactions of the CSAE，2012，28(18)：121－126.(in Chinese)

[9] 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 photosynthetic characteristics of *Jatropha curcas* seedling[J]. Journal of drainage and plant ecology engineering，2011，35(1)：91－99.(in Chinese)

[10] 陈金陵，杨启良，刘小刚，等. 盐胁迫条件下施氮对小桐子光合特性的调控效应[J]. 排灌机械工程学报，2016，34(7)：631－638.
CHEN Jinling，YANG Qiliang，LIU Xiaogang，et al. Studies on regulating effects of Nitrogen on photosynthetic characteristics of *Jatropha curcas*(prunus mongholicus) under salt stress[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering，2016，34(7)：631－638.(in Chinese)

(责任编辑　朱漪云)