不同灌水条件对小叶女贞蒸散特性和生长的影响

于金丹，王 勇，李 兴，白玲晓
（内蒙古师范大学 内蒙古节水农业工程研究中心，内蒙古 呼和浩特 010022）

摘　要： 为了探讨不同水分处理对北方城市常见绿篱树木小叶女贞蒸散量及生长的影响，在呼和浩特市和林格尔县盛乐经济园区进行了小区和盆栽试验。盆栽设 9 种水分处理，小区设 4 种，滴灌灌溉。研究结果表明，小叶女贞蒸散量随灌水量增加而增加，在 75%～100%田间持水量(FC)时最大，35%～45%FC 时最小；株高、冠幅与蒸散量呈开口向下的二次抛物线关系，在 65%～100%FC 时株高、冠幅最大，地上生物量与蒸散量呈正相关；小叶女贞水分利用效率(WUE)随蒸散量的增加呈减小的趋势，在 35%～45%FC 时小叶女贞的 WUE 最大，但此区间的生物量最小，生长发育受到干旱胁迫最明显；小区滴灌的较佳灌水模式是滴头流量选 4 L/h 或 5 L/h，灌水量控制在 415～470 mm 范围内。

关键词： 小叶女贞；蒸散量；生长量；滴灌
文献标识码： A　　**文章编号：** 1000-288X(2012)03-0051-05　　**中图分类号：** S793.9

Effects of Different Irrigation Conditions on Evapo-transpiration Characteristics and Growth of *Ligustrum Quihoui* Carr

YU Jin-dan, WANG Yong, LI Xing, BAI Ling-xiao
(*Inner Mongolia Engineering Research Center for Water-saving Agriculture, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia* 010022, *China*)

Abstract: In order to explore the influences of different water treatments on evapo-transpiration and the growth of common green hedge tree *Ligustrum quihoui* Carr in the cities of North China, small plot and pot experiments were carried out in the Shingle economic area of Horinger County and Hohhot City. Pot experiment had nine water treatments and small plot experiment, four drip irrigation treatments. Results show that more the irrigation amount is, the greater the evapo-transpiration will be. The maximum evapo-transpiration occurs between 75% and 100% field capacity (FC) and the minimum evapo-transpiration, between 35% and 45% FC. The relationship among plant height, crown diameter and evapo-transpiration may be described by a downward quadratic parabola. The maximum evapo-transpiration occurs between 65% and 100% FC and evapo-transpiration under different water treatments is positively correlated with aboveground biomass. The water use efficiency (WUE) of *Ligustrum quihoui* Carr tends to decease with increasing evapo-transpiration. The maximum evapo-transpiration occurs at 35%～45% FC, but biomass of *Ligustrum quihoui* Carr is the lowest in the above range and drought stress becomes most obvious to its growth and development. The better drip irrigation mode for *Ligustrum quihoui* Carr under the condition of small plot drip irrigation is that water dropper is 4 or 5 L/h and the irrigation amount is between 415 and 470 mm.

Keywords: ***Ligustrum quihoui* Carr; evapo-transpiration; increment; drip irrigation**

小叶女贞(*Ligustrum quihoui* Carr)为木犀科女贞属半常绿灌木[1]，是北方常见绿篱树木。它适应性强，生长健壮，喜光耐荫。它对土壤要求不严，在一般土壤中都能生长良好[2]。因其抗二氧化硫、氯气和氟化氢等有害气体的能力较强，也能忍受较高的粉尘、烟尘污染，常作为工矿企业隔离污染源的防护林带，是城市绿化的优良树种。城市绿化树木的水分生理和水分利用历来是学者们关注的重要课题，但

收稿日期：2011-09-03　　修回日期：2011-11-15
资助项目：国家自然科学基金项目“基于绿量的北方城市常见绿篱树木耗水—景观—生态功能模型研究”(50969006)；内蒙古应用技术研究与开发资金项目“规模化社区生活污水在绿地灌溉中应用的关键技术与激励策略研究”(20090514)
作者简介：于金丹(1984—)，女(蒙古族)，黑龙江省大庆市人，硕士研究生，主要从事水资源可持续利用方面的研究。E-mail：yujindan1984728@163.com。
通信作者：王勇(1970—)，男(汉族)，内蒙古丰镇人，副教授，博士，主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail：wangyonglsx@163.com。

以往的研究多集中在绿化树木的耐旱性和灌溉方法的优化，注重耐旱树种的选择，先进灌溉技术的引进和应用，对树木本身实际用水量的研究主要集中于大面积森林中的林木，基于植物水分生理需求和生物量的绿化树木耗水评价和灌溉制度的研究报道较少[3-4]。

本研究选择小叶女贞为研究对象，通过小区和盆栽试验，研究其蒸散耗水特性和不同蒸散量下的生长及生物量的变化，旨在从枝叶水平探索小叶女贞植株体的需水规律，为绿化灌木和绿篱节水灌溉制度的制定提供理论指导。

1 试验基地概况

试验于2010年4月在内蒙古师范大学内蒙古节水农业工程研究中心试验基地内进行。试验基地位于呼和浩特市和林格尔县盛乐经济园，距呼和浩特市50 km，属中温带大陆性气候，太阳辐射强，光照资源丰富，多年平均日照2 941.8 h，平均气温5.6 ℃，平均降雨量392.8 mm，无霜期128 d左右，农作物生育期80～115 d[5]。2010年平均气温7.6 ℃，全年降水量469.5 mm。

2 材料与方法

2.1 试验材料

小区和盆栽试验土壤均为试验地土壤，其粒径组成见表1，属粉砂壤土。盆栽试验用盆为塑料花盆，上口直径30 cm，下底直径19 cm，盆高23 cm。小叶女贞树苗取自呼和浩特市三苗圃，苗龄3 a，平均冠幅28 cm，平均株高60 cm，平均分枝数3。

表1 供试区土壤粒径组成

范围/mm	1～0.05	0.05～0.002	<0.002
体积含量/%	16.10	55.07	28.83

2.2 试验布置

2.2.1 小区试验 小区试验为简单对比试验。采用随机区组布置，每个小区长3 m，宽1.2 m，深1 m，土工膜侧向防渗。2010年4月23日移植，常规田间管理。移植时，每小区施农家肥6 kg，两行种植，株距35 cm，行距40 cm，每小区共有植株18颗。使用滴灌灌水，滴头流量以实际测量为准，选取4种滴头，各设3个重复(表2)。整个生长期共灌水9次，每次灌水时间1～4 h，各小区灌水时间相同。

表2 小叶女贞的试验处理

水分处理	水平Ⅰ	水平Ⅱ	水平Ⅲ	水平Ⅳ	水平Ⅴ
水分处理1	35%～100% FC(LW_{1A})	45%～100% FC(LW_{1B})	55%～100% FC(LW_{1C})	65%～100% FC(LW_{1D})	与LW_{2E}同
水分处理2	35%～45% FC(LW_{2A})	45%～55% FC(LW_{2B})	55%～65% FC(LW_{2C})	65%～75% FC(LW_{2D})	75%～100% FC(LW_{2E})
小区(滴头控水)	9 L/h(1区)	6 L/h(2区)	5 L/h(10区)	4 L/h(3区)	

注：LW_{1A}—LW_{1D}为土壤含水量下限控制的4个处理；LW_{2A}—LW_{2E}为土壤含水量区间控制的5个处理。下同。

2.2.2 盆栽试验 移植时，在每盆土壤中伴农家肥3 kg，伴肥后的土壤理化性质为：有机质6.29 g/kg，全N0.18 g/kg，碱解N6.26 mg/kg，全P0.51 g/kg，速效P50.34 mg/kg，全K27.19 g/kg，速效K195.99 g/kg及pH值8.8。干容重控制为1.49 g/cm^3，实测田间持水量为26%。设2种水分处理。一种为土壤含水量下限控制，有5个水平：灌水上限为田间持水量(FC)，当土壤含水量下降到35%FC，45%FC，55%FC，65%FC，75%FC时开时灌水；另一种为土壤含水量区间控制，设5个水平：通过灌水，使土壤含水量保持在35%～45%FC，45%～55%FC，55%～65%FC，65%～75%和75%～100%FC(表2)，每一水平均设6个重复。每盆花盆底部用2片尼龙纱布覆盖，共54盆。采用随机区组布置，每盆1株。为了减小树苗个体差异引起的误差，栽植时尽量使每一区组内的树苗大小相近，选定后将植株栽至花盆中。

2.3 参数测定

2.3.1 蒸散量 试验地地下水埋深较深(超过12 m)，在不计地下水补给和渗漏损失的情况下，利用水量平衡方程计算小区的蒸散量。用雨量筒测定时段降水量(mm)，用滴头流量及灌水时间计算灌溉水量(mm)。待移植苗木恢复生长一定时间后(2010年6月22日)开始测定苗木的蒸散量，盆栽试验用秤重法测定，量筒控制灌水。电子天平型号为YP 30000，量程30 kg，精度1 g。每日测定时间为17:00—19:00，2010年9月19日停止。蒸散量计算方法为：时段灌溉用水量(mm)＋时段有效降雨量(mm)。有效降雨量为盆栽雨前和雨后称重差值得出降雨量。

2.3.2　生长参数　生长参数主要包括冠幅、株高、分枝数 3 个参数。选取树冠上最长的两点,用卷尺测两点间的距离 D_1,再通过中点测与之垂直的两点的长度 D_2,根据 $D=(D_1+D_2)/2$,计算得到平均冠幅 D。株高为自然状态下地上部分高度,用卷尺测定。整个生长期共测定 4 次,测定日期为 4 月 23 日,6 月 22 日,8 月 5 日和 9 月 19 日。

2.3.3　生物量　2010 年 9 月 20 日,从每一处理小区中选取 2 棵典型苗,共 8 棵。以 1/2 株、行距中点为基准,垂直下挖 50 cm,去土,冲洗,至地面处剪断,把新生根和叶(从叶托处)全部剪下。称重后带回试验室,用烘干法测定干重,计算叶含水率(占干重)、地上部干重、根重。电子天平的型号为 YP 20002,分度值为 10 mg。2010 年 9 月 19 日,采用毁盆的方式取盆栽树苗,每一水平取 3 个重复,共 27 盆。生物量测定与小区树苗相同。

2.3.4　水分利用效率(WUE)　用地上部干重除以年总耗水量计算小叶女贞的水分利用效率(WUE)。

2.4　数据处理

用 SPSS 14.0 和 Excel 2003 软件进行数据处理和分析,用 F 检验法进行差异性检验,用 LSD 法进行多重比较。

3　结果与分析

3.1　小区试验分析

从小区试验的生长及生物量测定结果看(表 3),地上部干重有随蒸散量增加而减小的趋势,3 区最大,为 108.28 g。株高和冠幅在蒸散量为 470 mm(10 区)时最大,分别达 31.44 cm 和 12.94 cm。水分利用效率随着蒸散量的增加呈明显的线性减小。这些变化说明,滴灌条件下,470 mm 已达到小叶女贞最大需水要求,灌水量增加,会对其生长发育产生一定的抑制作用。

研究结果表明,滴灌条件下,滴头流量选择 4 L/h 或5 L/h,灌水量控制在 415～470 mm 范围内是小叶女贞较佳滴灌灌水模式。

表 3　小区小叶女贞参数

小区号	蒸散量/mm	枝干质量/g	叶干质量/g	地上部干重/g	冠幅/cm	株高/cm	水分利用效率/($g \cdot cm^{-1}$)
1	690	57.80	23.70	81.49	23.17	11.06	1.18
2	525	52.83	24.28	77.11	23.61	8.88	1.47
10	470	57.29	37.76	95.05	31.44	12.94	2.02
3	415	73.58	34.70	108.28	26.44	10.90	2.61

3.2　蒸散特性

利用盆栽试验资料绘出 9 个水分处理(LW_{1E} 与 LW_{2E} 蒸散量重复)的蒸散量随时间变化曲线(图 1)。

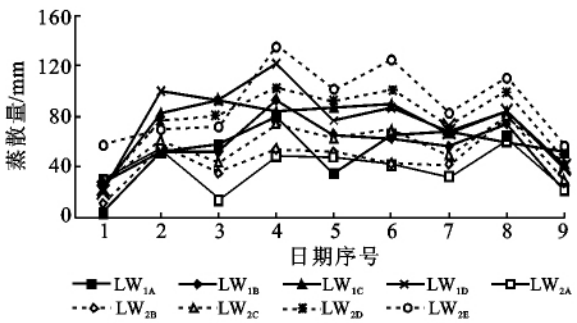

图 1　不同水分处理下小叶女贞的蒸散量变化

注:日期序号 1 为 6 月 22 日至 7 月 1 日;2 为 7 月 2 日至 7 月 11 日;3 为 7 月 12 日至 7 月 21 日;4 为 7 月 22 日至 7 月 31 日;5 为 8 月 1 日至 8 月 10 日;6 为 8 月 11 日至 8 月 20 日;7 为 8 月 21 日至 8 月 30 日;8 为 8 月 31 日至 9 月 9 日;9 为 9 月 10 日至 9 月 19 日。

从图 1 中可以看出,不同水分处理在生长期内蒸散量呈一单峰曲线,其蒸散量的高峰期出现在 7 月下旬(7 月 22—31 日),75%～100%FC 处理下,耗水强度最大,达 13.4 mm/d。这一阶段蒸散量高的原因可能是该时期植株体营养生长已结束,开始进入生殖生长阶段,叶面积和植株个体达到最大。另外,还可能受该时期的气温较高,光照强烈等因素的影响。

对于不同水分处理,小叶女贞的蒸散耗水量随着灌水量的增加而增加。在 35%～45%FC 时耗水强度最小,只有 3.9 mm/d,75%～100% FC 时最大,达 13.4 mm/d。这一研究结果与许多学者的研究结果一致[6-7]。其原因可能是,在 35%～45%FC 下,植株可供利用的有效水最少,植株生长受到明显抑制,株型小,叶片少,因而耗水量最小。75%～100% FC 下的耗水强度最大,可能是在高于适宜水分的条件下,耗水量随土壤水分增加而增大。

3.3　不同蒸散量和小叶女贞生长的关系

对不同水分处理的盆栽株高、冠幅、分枝数进行 F 检验,6 月下旬到 8 月初的 F 值分别为 2.361,8.302和 1.242,8 月初到 9 月中旬的 F 值分别为 1.558,1.239,1.309,显著水平为 0.05 的临界值

$F_{\alpha=0.05}=2.152$。这说明 6 月下旬到 8 月初不同水分处理间的株高、冠幅差异显著，分枝数差异不显著；8 月初到 9 月中旬均不显著。

小叶女贞整个生长期的株高、冠幅随蒸散量的变化见图 2。从图 2 可以看出，蒸散量与冠幅和株高在 6 月末至 8 月初呈高度正相关，8 月初至 9 月中旬，与冠幅呈中度正相关，与株高的相关性较低。从 6 月末至 8 月初，冠幅随着蒸散量的增大而明显增长（图 2a）。在 8 月初至 9 月中旬，冠幅虽然随蒸散量的增大而有所增加，但增长较缓慢，蒸散量达到 388 mm（接近 65%～100%FC 处理时的蒸散量），冠幅的变化趋于稳定（图 2b）。小叶女贞株高随蒸散量的变化趋势与冠幅变化相近，6 月末至 8 月初，株高随蒸散量的增加而明显增加，只是在 345 mm 达到峰值（图 2c，接近 65%～100% FC 处理时的蒸散量）。在 8 月初至 9 月中旬，变化比较平缓，株高的增大幅度逐渐减小，在 371 mm 时达最大（图 2d，接近 65%～100% FC 处理时的蒸散量）。上述变化说明，如果以株高和冠幅等长势参数作为评判标准，小叶女最佳灌水量应控制在 65%～100%FC。

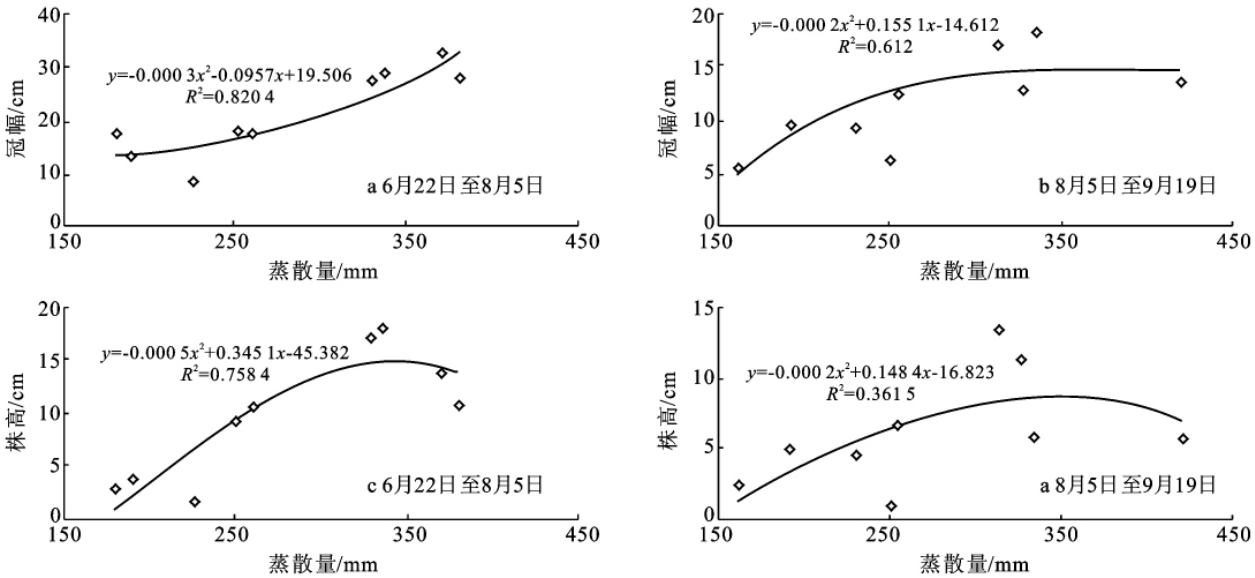

图 2 不同阶段小叶女贞冠幅、株高随蒸散量的变化

3.4 不同蒸散量和小叶女贞生物量的关系

对不同水分处理的枝、叶及地上部干重进行 F 检验，F 值分别为 3.452，2.575，2.787，显著水平为0.05 的临界值 $F_{\alpha=0.05}=2.51$，说明不同水分处理间均有显著差异。

小叶女贞枝、叶及地上部干重随蒸散量的变化曲线见图 3。从图 3 可以看出，小叶女贞干枝重、干叶重、地上部干重有随蒸散量的增大而增大的趋势。干枝重与蒸散量的关系为开口向下的二次抛物线，但二次项系数很小，接近于直线（图 3a），R 值为 0.71，呈高度正相关。干叶重和地上部干重与蒸散量的关系为开口向上的二次抛物线（图 3b，3c），R 值分别为 0.81，0.83，亦呈高度正相关。按照作物水分生产函数特征，本试验的最大蒸散量为 801 mm（75%～100%FC），这一蒸散量已使小叶女贞干枝重进入了报酬递减的第二阶段，而干叶重和地上部干重仍处于报酬递增，生产潜力还没有完全发挥的第一阶段。说明小叶女贞的需水量较大，叶和地上部干重对水分的需求较干枝重大，整个生长期的需水量在 801 mm 以上。

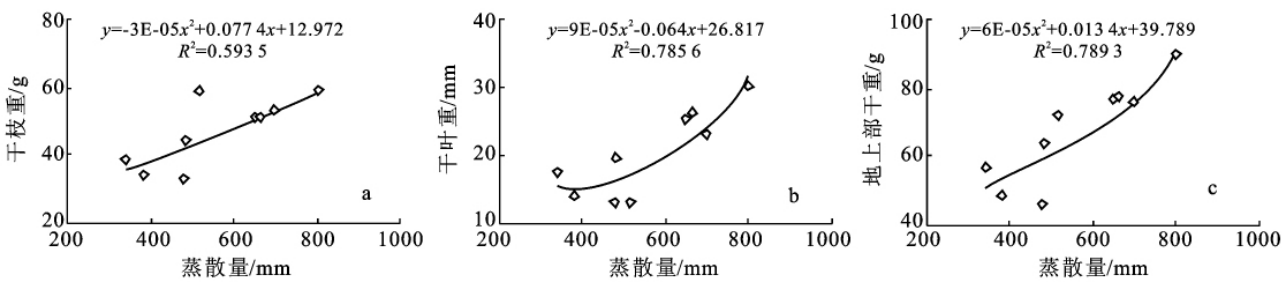

图 3 小叶女贞干枝重、干叶重、地上部干重随蒸散量的变化

3.5　不同水分处理的 WUE

不同水分处理的 WUE、地上部干重及用 LSD 法进行的多重比较结果见表 4(a 取 0.05)。从表 4 中可以看出,55%～100%FC 的各水分处理地上部干重差异不明显,45%～100%FC 的各水分处理 WUE 差异也不明显。第 1 种水分处理下,小叶女贞的水分利用效率在 65%～100%FC(LW_{1D})时最大,为 1.13 g/cm,在 35%～100%FC(LW_{1A})时最小,为 0.89 g/cm。第 2 种水分处理下,35%～45%FC(LW_{2A})时最大,为 1.97 g/cm,75%～100%FC(LW_{2E})时最小。整体而言,小叶女贞的水分利用效率有随蒸散耗水量增加而减小的趋势,蒸散量小于 550 mm,减小的速率较快,之后减小的速率比较缓慢。这与许多学者的研究结果相近[8-12]。这一结果说明,不能只按水分利用效率选择适宜灌水量。如本试验中水分利用效率最大的控水区间为 35%～45%FC,但小叶女贞在一区间的生物量最小,生长发育受到的干旱胁迫最明显。

表 4　不同水分处理的 WUE

处 理	总耗水量/mm	地上部干重/g	WUE/(g·cm^{-1})
LW_{1A}	476.16	46.82c	0.89b
LW_{1B}	515.45	72.15abc	1.09ab
LW_{1C}	650.36	76.14ab	1.06ab
LW_{1D}	698.06	75.99ab	1.13ab
LW_{2A}	340.83	57.12bc	1.97c
LW_{2B}	381.82	48.39c	1.31a
LW_{2C}	481.61	64.52abc	1.32a
LW_{2D}	664.03	78.01ab	1.21ab
LW_{2E}	801.07	89.78a	1.03ab

注:不同小写字母表示差异在 0.05 水平上显著。

4　结 论

(1) 在滴灌条件下,小区灌水滴头流量选 4 L/h 或 5 L/h 的滴头较好,灌水量控制在 415～470 mm 范围内,这是小叶女贞较佳滴灌灌水模式。

(2) 小叶女贞的灌水量越多,蒸散量越大。即 75%～100%FC 的蒸散量最大,35%～45%FC 的蒸散量最小。

(3) 由方差分析得出,在 6 月末至 8 月初不同水分处理下的株高、冠幅差异显著,分枝数差异不显著;在 8 月初至 9 月中旬不同水分处理下的株高、冠幅、分枝数均不显著;不同水分处理下的干枝重、干叶重、地上部干重均有显著的差异。

(4) 小叶女贞在 6 月末至 8 月初阶段的冠幅与蒸散量呈高度正相关,株高与蒸散量呈高度正相关,在 8 月初至 9 月中旬冠幅与蒸散量呈中度正相关,株高与蒸散量呈低度正相关,在整个生长阶段蒸散量与地上部干重呈高度正相关。

(5) 通过株高、冠幅与蒸散量的散点图可知,如果以株高和冠幅等长势参数作为评判标准,小叶女贞最佳灌水量应控制在 65%～100%FC。

(6) 小叶女贞的 WUE 有随蒸散耗水量增加而减小的趋势,不同水分处理下的 WUE 最大的控水区间为 35%～45%FC,但小叶女贞在这一区间的生物量最小,生长发育受到的干旱胁迫最明显。

[参 考 文 献]

[1] 太原植物志编辑委员会. 太原植物志:第 2 卷[M]. 太原:中国科学技术出版社,1992:264-264.

[2] 舒健虹,吴佳海,王舒颖. 不同荫蔽条件对小叶女贞 JH 9816 性状的影响[J]. 种子,2009,28(2):74-76.

[3] 李翔,成自勇,雒天峰. 滴灌技术在兰州南北两山环境绿化工程中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2010(8):26-29.

[4] 陈天林,徐学选,张北赢,等. 黄土丘陵区刺槐生长季生态需水研究[J]. 水土保持通报,2008,28(2):54-57.

[5] 袁晓宇. 内蒙古盛乐开发区大气降水、植物蒸腾、土壤含水量观测研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2008.

[6] 王娟,贺山峰,邱兰兰,等. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿群落生长季土壤水分动态和蒸散量估算[J]. 水土保持通报,2009,29(6):103-106.

[7] 阿拉木萨,蒋德明. 科尔沁沙地两种典型乔灌木耗水特点[J]. 生态学报,2008,28(5):1981-1990.

[8] Tomas F D, Luiz A M, James R E. Ecophysiological traits of plant functional groups in forest and pasture ecosystems from eastern Amazonia, Brazil [J]. Plant Ecology, 2007,193(1):101-112.

[9] GASAW Menassie. Foliar δ^{13}C and δ^{15}N values of C3 plants in the Ethiopia Rift Valley and their environmental controls[J]. Chinese Science Bulletin, 2007,52(9):1265-1273.

[10] 王海珍,韩路,徐雅丽,等. 控水处理对胡杨、灰胡杨生长特性及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(2):195-201.

[11] 王勇,杨培岭,任树梅. 有机抗旱剂 BGA 对大叶黄杨生长及耗水特性的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(3):150-157.

[12] 李吉跃,周平,招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报,2002,22(9):1381-1386.