

不同土壤水分含量对 4 个树种 *WUE* 的影响

杨建伟¹, 梁宗锁², 韩蕊莲², 崔浪军²

(1. 南阳师范学院 生物系, 河南 南阳 473061; 2. 中国科学院、水利部 水土保持研究所、西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 在盆栽条件下对杨树、刺槐、沙棘、油松进行了 3 种土壤水分处理。研究表明: (1) 土壤干旱严重影响树种的光合速率, 各树种光合速率均为 $70\% \theta_f > 55\% \theta_f > 40\% \theta_f$, 在不同水分下各树种单叶 *WUE* 表现不一, 杨树和刺槐在 $70\% \theta_f$ 最高, 沙棘则是 $55\% \theta_f$ 下最高, 在严重干旱下各树种单叶 *WUE* 均为最低。(2) 4 个树种在不同土壤水分及不同的月份其 *WUE* 大小不同, 并且最大值出现的时间也不相同。在同一土壤水分下, 杨树和刺槐各月的 *WUE* 显著高于沙棘和油松, 油松各月的 *WUE* 最低。(3) 各树种在 3 种土壤水分下总耗水量、总生物量均为适宜水分下最高, 严重干旱下最低; 在相同土壤水分下, 4 个树种的总耗水量、总生物量均为杨树 > 刺槐 > 沙棘 > 油松, 4 个树种总 *WUE* 均为中度水分亏缺下最高, 严重干旱下最低。
关键词: 土壤水分; 杨树; 刺槐; 沙棘; 油松; 水分利用率

中图分类号: S718.43 文献标识码: A 文章编号: 1001-7461(2004)01-0009-05

Water Use Efficiency of Four Species under the Different Soil Water Content

YANG Jian-wei¹, LIANG Zong-suo², HAN Rui-lian², CUI Lang-jun²

万方数据 (1. Nan Yang Normal College, Nanyang, Henan 473061, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, NW Sci-Tech Univ. of Agr. and For., Yangling, Shaansi 712100, China)

Abstract: Some indexes of the four tree species were studied under 3 soil water content. The result showed: (1) Soil water content remarkably influenced photosynthesis rate (P_n), and the four species P_n were all $75\% \theta_f > 55\% \theta_f > 40\% \theta_f$; water use efficiency (*WUE*) of the four species was different; poplar and locust were all showed $70\% \theta_f > 55\% \theta_f > 40\% \theta_f$, yet seabuckthron did $55\% \theta_f > 70\% \theta_f > 40\% \theta_f$. (2) Under the different soil water content and in the different months, the four species *WUE* was different, so did the appearance time of maximum. Under same soil water content, monthly *WUE* of poplar and locust was higher than seabuckthron and Chinese pine remarkably, and the one of Chinese pine was the lowest. (3) The four tree species' total consuming water and total biomass were all $70\% \theta_f > 55\% \theta_f > 40\% \theta_f$ under the same soil water conditions. The two indexes of the four species were all poplar > locust > seabuckthron > Chinese pine, yet total consuming water were all $55\% \theta_f > 70\% \theta_f > 40\% \theta_f$.

Key words: soil water content; poplar; locust; seabuckthron; Chinese pine; *WUE*

黄土高原地区干旱缺水, 降雨集中加之土地资源的不合理利用及植被的严重破坏, 造成了极为严重的水土流失和春季严重干旱时的沙尘暴, 而受到了国内外学者瞩目^[1]。治理水土流失的关键是通过造林种草增加植被覆盖。但是由于黄土高原恶劣的自然环境条件, 使造林成活率很低, 保存率更低。土壤中水分的缺乏对树木的影响是多方面的, 但树

木在遭受到长期水分不足的胁迫时, 也在长期的生存竞争中适应环境, 但各树种的适应方式和适应能力有较大差异。不同的树种耗水量有明显的差异, 其水分利用率 (*WUE*) 高低不同。而在黄土高原地区造林要选择出合理的树种, 就必须对所选择的树种进行深入的研究, 了解该树种的生物学特性, 探讨不同土壤水分下各树种的水分关系、生长及水分利

收稿日期: 2003-01-20

基金项目: 中国科学院西部之光人才培养基金、知识创新项目 (KZXC01-06)

作者简介: 杨建伟 (1965-), 女, 河南西峡人, 硕士, 副教授, 主要从事植物抗旱及水分生理学研究。

用率的高低,才能切实提高造林质量,从根本上解决问题^[2]。从当前黄土高原地区生态条件的前提下,只能通过树种选择来适应其环境条件,由于黄土高原地形复杂,影响到水、热、风、光等环境因子的再分配,产生了多种小生境,这些小生境之间往往有明显的差异,只有针对这些小生境进行分析和树种选择,才能做到树种与环境的统一^[3]。

本研究以黄土高原常见的4个造林树种为实验材料模拟这些树种生境的土壤干旱条件,探讨不同土壤水分下各树种的耗水量、生物量及水分利用率的大小,以期为黄土高原造林树种的选择提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

本试验采用黄土高原常见的4个造林树种,分别是84K杨、中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)、刺槐(*Robinia pseudocacia*)和油松(*Pinus tabulaeformis*),所有苗木均为1a生实生苗,由中国科学院安塞生态试验站提供。

1.2 方 法

1.2.1 土壤水分胁迫处理 试验用土采用安塞生态站的黄绵土,田间最大持水量为21.5%,盆栽条件下对4个树种分别设置3个供水水平:适宜水分、中度水分亏缺和严重水分亏缺,即分别是土壤最大持水量(θ_f)的70%、55%、40% (以下分别用70%

θ_f 、55% θ_f 和40% θ_f 表示),各处理分别设置5~6盆重复,每盆栽植3~4株,待成活后选择大小基本一致的苗木保留2株,各苗木于2001年3月6日植入口径20cm高30cm的生长钵内。栽培盆放置于中国科学院水土保持研究所的可移动模拟干旱降雨棚内,雨天用防雨棚遮雨,晴天露地生长。从移栽之日开始,每天定时用电子秤称重控制土壤含水量,并加水补充其蒸腾损失,为排除土壤蒸发用塑料薄膜覆盖盆面裸土。每次用量杯记录加水量,整个实验持续至10月中旬结束,历时210d。

1.2.2 测定项目及方法 (1)单叶WUE的测定 选取各处理的功能叶5~6片,利用Licor-6400便携式光合仪测定单叶的光合速率(P_n)与蒸腾速率(T_r),单叶WUE= P_n/T_r 。(2)月WUE的测定 每月枝条干物质增量与月耗水总量的比值。(3)生长季WUE的测定 利用整个生长季干物质的增量与整个生长季耗水总量的比值计算。(4)总生物量的测定 实验结束时烘干称重整株植物减去栽前干重。(5)耗水量 整个生长每次加入水量与栽之前后土壤含水量变化之和^[4]。

2 结果与分析

2.1 土壤水分含量对杨树、刺槐、沙棘的光合速率、蒸腾速率及单叶WUE的影响

以生长初期和生长中期(5月和7月)所测定的光合速率和蒸腾速率为基本参数计算WUE(表1)。

表1 不同土壤水分含量对杨树、刺槐、沙棘单叶光合速率、蒸腾速率及WUE的影响

Table1 Effect of photosynthesis rate and transpiration rate and WUE of poplar and locust and seabuckthorn seedlings under different soil water content

生长期	θ_f /%	杨 树			刺 槐			沙 棘		
		$P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$T_r/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	WUE P_n/T_r	$P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$T_r/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	WUE P_n/T_r	$P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$T_r/\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	WUE P_n/T_r
生长初期	70	11.80A	2.75Ab	4.29Aa	6.58a	2.53a	2.61B	9.62A	6.12A	1.57Aab
	55	10.73AB	3.11Aa	3.45ABb	6.17a	2.16a	2.85A	8.49A	5.13B	1.65Aa
	40	9.57B	2.93Aab	3.26Bb	5.78a	2.22a	2.60B	6.77B	5.02B	1.35Ab
生长中期	70	10.75A	1.89a	5.68A	18.50A	2.39a	7.74A	29.90A	7.65A	3.9Aab
	55	10.20A	1.94a	5.26A	15.20B	2.42a	6.28B	24.68B	6.07B	4.06Aa
	40	8.47B	2.31a	3.67B	15.03B	2.5a	6.01B	11.58C	3.22C	3.59Ab

注:大写字母表示差异显著性 $\alpha=0.01$ 水平,小写字母表示差异显著性 $\alpha=0.05$ 水平,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著(SSR检验)(下表同)。

从表1可以看出,各树种在3种土壤水分下,7月份单叶WUE明显高于5月份。无论生长初期或生长中期3个树种的光合速率均为70% θ_f >55% θ_f >40% θ_f ,各树种的光合速率随着土壤含水量的降低而明显下降,说明土壤水分含量大小决定树种光合速率的高低。蒸腾速率的测定结果表明,各树种在不同土壤水分下表现不一,杨树和刺槐无论在生

长初期或生长中期其WUE大小均为在适宜水分下WUE最高,沙棘则是在中度亏缺下的WUE最高,各树种均在严重土壤干旱下WUE最低。

从表2可以看出:在同一土壤水分条件下,3个树种比较,在生长初期杨树单叶WUE最高,在生长中期刺槐单叶WUE最高,无论在初期或是中期沙棘的WUE均为最低,各树种之间的差异性均达极显著

表2 相同土壤水分下杨树、刺槐、沙棘光合速率、蒸腾速率及 WUE 差异

Table2 Compare of instantaneous WUE of poplar and locust and seabuckthorn seedlings single leaf under same soil water content

生长期	树种	70% θ_f			55% θ_f			40% θ_f		
		$Pn/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$Tr/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	WUE	$Pn/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$Tr/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	WUE	$Pn/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$Tr/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	WUE
生长初期	杨树	11.80A	2.75B	4.29A	10.73A	3.11Ba	3.45A	9.57A	2.93B	3.26A
	刺槐	6.58C	2.53B	2.60B	6.17C	2.16Bb	2.85B	5.78Bb	2.22C	2.60B
	沙棘	9.62B	6.12A	1.57C	8.49B	5.13A	1.65C	6.77Ba	5.02A	1.35C
生长中期	杨树	10.75C	1.89B	5.68B	10.20C	1.94Bb	5.26B	8.47C	2.31Ab	3.67B
	刺槐	18.50B	2.39B	7.74A	15.20B	2.42Ba	6.28A	15.03A	2.50Ab	6.01A
	沙棘	29.90A	7.65A	3.90C	24.68A	6.07A	4.06C	11.58B	3.22Aa	3.59B

水平。

2.2 土壤水分含量对各树种 WUE 季节变化的影响

2.2.1 不同土壤水分条件下各树种 WUE 的季节变化 从图1~4可以看出,4个树种在3种土壤水分条件下,各月 WUE 不尽相同,各树种在6月份以前的 WUE 均高于6月以后。4个树种在3种土壤水分下均在4月(杨树70%和油松的3种处理)或5月(沙棘和刺槐的3个处理及杨树的55%和40%处

理)WUE 达最高值。7月份 WUE 均为最低。在严重干旱下,各树种月 WUE 则显著低于适宜水分和轻度亏缺下的月 WUE,在耗水量最大的7月,3种处理的 WUE 均最低。这是由于在6月份以前各树种叶片小,气温低,耗水量小,并且从生长曲线上看各树种处于快速生长期,因此,干物质/耗水量的比值高, WUE 高。而在7月耗水量最高,因此 WUE 最低。

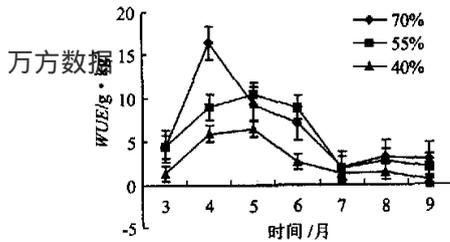


图1 杨树 WUE 的年变化

Fig. 1 WUE monthly of poplar seedlings in all season

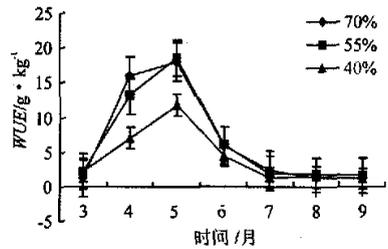


图2 刺槐 WUE 的年变化

Fig. 2 WUE monthly of locust seedlings in all season

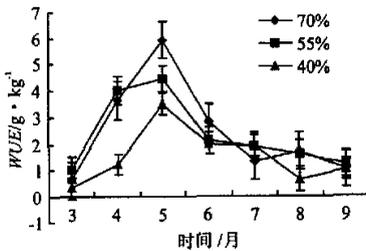


图3 沙棘 WUE 的年变化

Fig. 3 WUE monthly of seabuckthorn seedlings in all season

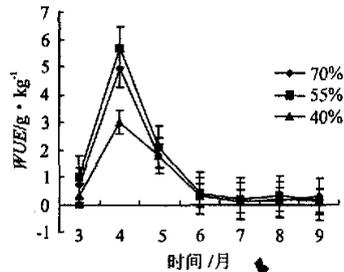


图4 油松 WUE 的年变化

Fig. 4 WUE monthly of Chinese pine seedlings in all season

2.2.2 相同土壤水分条件下各树种 WUE 的季节变化 从图5~7可以看出:(1)在适宜水分(图5)下,4个树种的月 WUE 大小为杨树>刺槐>沙棘>油松。即杨树各月的 WUE 略高于刺槐,但沙棘和油松则明显低于杨树和刺槐。其中油松的 WUE 最低。4

个树种月 WUE 最大值出现的时期不同,杨树和油松的月 WUE 最大值在4月,而刺槐和沙棘的 WUE 最大值则出现在5月。(2)在中度亏缺(图6)和严重亏缺(图7)下,4个树种的月 WUE 大小依次为刺槐>杨树>沙棘>油松,即刺槐各月的 WUE 略高于杨

树(3月除外),油松的 WUE 最低。4 个树种各月的 WUE 最大值出现的时期不同,油松的月 WUE 最大值在 4 月,而刺槐、杨树和沙棘的 WUE 最大值则出现在 5 月。

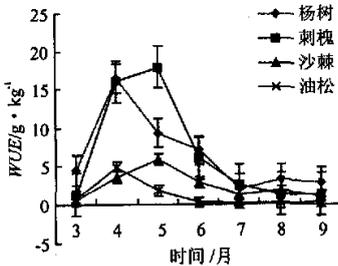


图 5 70% 土壤水分下 4 个树种 WUE 的变化
Fig. 5 Compare of WUE monthly of four seedlings under 70% θ_f soil water stress in all season

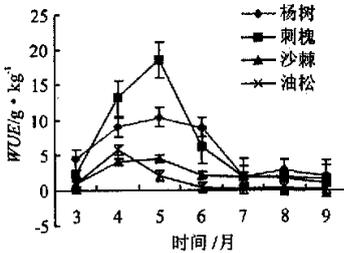


图 6 55% 土壤水分下 4 个树种 WUE 比较
Fig. 6 Changes of WUE monthly of four seedlings under 55% θ_f soil water stress in all season

万方数据

2.3 土壤水分含量对各树种总耗水量、生物量及总 WUE 的影响

表 3 不同土壤水分对杨树、刺槐、沙棘、油松单株总耗水量、总生物量及总 WUE 的影响

Table 3 Water consumption, biomass and WUE of poplar and locust and seabuckthron and Chinese pine seedlings under different soil water stress in all season

树 种	耗水量/kg			生物量/g			水分利用率/ $g \cdot kg^{-1}$		
	70% θ_f	55% θ_f	40% θ_f	70% θ_f	55% θ_f	40% θ_f	70% θ_f	55% θ_f	40% θ_f
杨 树	26.34A	16.46B	9.88C	155.0A	100.2B	46.78C	5.88B	6.11A	4.76C
刺 槐	24.53A	16.54B	8.36C	153.1A	112.2B	47.23C	6.24B	6.78A	5.66C
沙 棘	6.68A	4.30B	3.11C	16.51A	11.55B	7.42C	2.45B	2.69A	2.39B
油 松	0.45A	0.28B	0.18C	1.06A	0.80B	0.34C	2.37B	2.62A	1.90C

2.3.2 同一土壤水分下各树种生长季总耗水量、总生物量及总 WUE 的比较 从表 4 可以看出:在同一土壤水分下,无论是在 70% θ_f 、55% θ_f 、还是 40% θ_f 下,4 个树种总耗水量的大小均为杨树 > 刺槐 > 沙棘 > 油松。其差异性除了在 55% θ_f 下杨树和刺槐差异不显著外,其余各树种之间差异均达极显著水

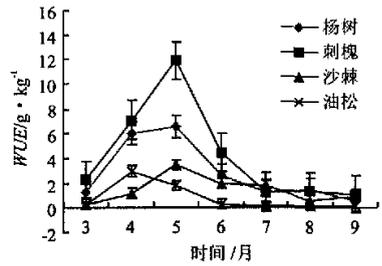


图 7 40% 土壤水分下 4 个树种 WUE 比较
Fig. 7 Changes of WUE monthly of four seedlings under 40% θ_f soil water stress in all season

2.3.1 不同土壤水分含量对各树种生长季总耗水量、总生物量及总 WUE 的影响 从表 3 可以看出,4 个树种的总耗水量和总生物量均为 70% θ_f > 55% θ_f > 40% θ_f 。其差异性均达到了极显著水平。即在适宜水分下的总耗水量和总生物量显著高于中度水分亏缺和严重干旱条件下。其中杨树在 70% θ_f 下的生物量是 55% θ_f 下的 1.5 倍,是 40% θ_f 下的 3.3 倍。刺槐在 70% θ_f 下的生物量是 55% θ_f 和 40% θ_f 下的 1.36 倍和 3.24 倍。沙棘在 70% θ_f 下的生物量是 55% θ_f 和 40% θ_f 下的 1.42 倍和 2.22 倍。油松在 70% θ_f 下的生物量是 55% θ_f 下的 1.33 倍,是 40% θ_f 下的 3.1 倍。从表 3 还可以看出,利用生长季新生枝生物量/生长季总耗水量的比值计算的 WUE 其结果是:在 3 种土壤水分下 4 个树种均为 55% θ_f > 70% θ_f > 40% θ_f 。即在 55% θ_f 下的 WUE 最高,40% θ_f 下的 WUE 最低,其 WUE 差异性(除了沙棘的 70% 和 40% 差异不显著外)均达到极显著水平。

平。在 70% θ_f 下,4 个树种的总生物量大小依次为杨树 > 刺槐 > 沙棘 > 油松,在 55% θ_f 和 40% θ_f 下,其大小依次为刺槐 > 杨树 > 沙棘 > 油松。其差异均达到了极显著水平。另从表 4 可以看出:在相同土壤水分下,4 个树种的总 WUE 的大小均为刺槐 > 杨树 > 沙棘 > 油松。方差分析表明,除了适宜水分和

表4 相同土壤水分下各树种单株总耗水量、总生物量及总 WUE 的差异
Table 4 Compare of water consumption, biomass and WUE of poplar and locust and seabuckthorn and Chinese pine seedlings under same soil water stress in all season

树 种	70% θ_f			55% θ_f			40% θ_f		
	耗水量 /kg	生物量 /g	WUE /g · kg ⁻¹	耗水量 /kg	生物量 /g	WUE /g · kg ⁻¹	耗水量 /kg	生物量 /g	WUE /g · kg ⁻¹
杨 树	26.34A	155.0A	5.88B	16.48A	100.2B	6.11B	9.88A	46.78B	4.76B
刺 槐	24.53B	153.1B	6.24A	16.54A	112.2A	6.78A	8.36B	47.23A	5.66A
沙 棘	6.68C	16.51C	2.45C	4.30B	11.55C	2.69C	3.11C	7.42C	2.39C
油 松	0.45D	1.06D	2.37C	0.42C	0.796D	2.62C	0.18D	0.34D	1.90D

中度亏缺下沙棘和油松的 WUE 差异不显著外,其余 4 个树种的 WUE 差异性均达到了极显著水平。

3 讨论与结论

土壤水分含量对各树种单叶光合速率、蒸腾速率及 WUE 有不同的影响^[5,6],随土壤含水量的降低各树种的光合速率随之下降,但蒸腾速率并不如此,杨树和刺槐的单叶 WUE 在适宜水分下最高,沙棘则是在中度水分亏缺下最高,各树种在严重干旱下单叶 WUE 均降至最低;在同一土壤水分条件下,在生长初期杨树单叶 WUE 最高,在生长中期,刺槐最高,无论在初期或是中期沙棘的 WUE 均为最低,对于这万布刺槐单叶水平测定的 WUE 结果与月 WUE 及总 WUE 并不一致。这可能与测定当时各树种叶片所处的生理状态及当时的气象因子瞬间变化有关,因此对于单叶测定的 WUE 结果还需要进一步探索,应用时应慎重。

4 个树种在不同土壤水分下及不同的月份其 WUE 大小不同,并且最大值出现的时间也不相同。各树种在 6 月份以前 WUE 较高,6 月份以后较低。结合各月耗水量及各月气象因子变化可以看出,7 月份各树种 WUE 均处于最低值,说明耗水量的高低和 WUE 并不是呈正相关,4 个树种在 70% θ_f 和 55% θ_f 下各月 WUE 差别不大,但在严重干旱下各月的 WUE 则显著下降。在 3 种土壤水分下,杨树和刺槐各月的 WUE 显著高于沙棘和油松,油松各月的 WUE 最低,4 个树种的月 WUE 最大值分别出现在 4 月或 5 月,7 月均为最低。

不同的土壤水分含量对各树种耗水量和生物量有明显的影晌^[7-10],4 个树种总耗水量、总生物量均为适宜水分下最高,严重干旱下最低。

4 个树种在各种土壤水分下,杨树和刺槐的总耗水量显著高于沙棘和油松。在 3 种土壤水分下,沙棘的干物质生产显著低于杨树和刺槐而高于油松。沙棘的干物质生产在 70% θ_f 和 40% θ_f 土壤水分之间的差距比其他几种小。可能说明在干旱下沙棘的干物质生产比其他 3 种植物受影响要小一些。

而油松在 3 种土壤下的干物质生产均为最低。

4 个树种在 3 种土壤水分下,利用生长季新生长枝生物量/生长季总耗水量的比值计算的 WUE 大小均为中度水分亏缺下最高,严重干旱下最低。这一结论与韩蕊莲等人^[3]研究结果一致。实验结果启示我们可以通过控制土壤含水量在田间持水量的 45% ~ 55% (中度干旱范围),即可将有限水资源做最优化配置,合理利用水资源^[11-13]。

参考文献:

- [1] 吴钦孝,杨文怡.黄土高原植被建设与可持续发展[M].北京:科学出版社,1998.37-70.
- [2] 侯庆春,韩蕊莲.黄土高原植被建设中的有关问题[J].水土保持通报,2000,20(2):53-56.
- [3] 韩蕊莲,梁宗锁.黄土高原适生树种苗木的耗水特性[J].应用生态学报,1994,5(2):210-213.
- [4] 高俊凤.植物生理学实验技术[J].西安:世界图书出版公司 2000.1-22.
- [5] 吴林,李亚东,刘洪章.水分逆境对沙棘生长和叶片光合作用的影响[J].吉林农业大学学报,1996,18(4):45-49.
- [6] 葛澧,常杰,刘珂,等.杭州石芥芸薹蒸腾的生理生态学研究[J].植物生态学报,1999,23(4):320-326.
- [7] 李代琼,丛心海,梁一民.黄土高原半干旱区沙棘林净初级生产量与耗水量研究[J].水土保持通报,1990,10(6):91-98.
- [8] 王俊峰,梁宗锁.沙棘生物学特性与利用[M].西安:陕西科学技术出版社,1999.1-15.
- [9] 梁宗锁,李敏,王俊峰.沙棘抗旱造林现状与改进意见[J].沙棘,1998,11(3):8-13.
- [10] Liang J, Zhang J, Wong M H. Can stomatal closure caused by xylem ABA explain the inhibition of leaf[J]. Photosynthesis under Soil Drying Photosyn Res, 1997, 51:149-159.
- [11] Zhang J, Davies W J. Changes in concentration of in xylem sap as a function of changing soil water status can account for changes in leaf conductance and growth[J]. Plant, Cell and Environ, 1990, 13:277-285.
- [12] Kramer P J. Physiology of woody plants[M]. USA: Academic Press Inc. 1979. 536-595.
- [13] Gardner H R. Soil properties and efficient water use evaporation of water from bara soil[A]. In: Tayer H M, Jondan W R, Sinclair T R, (ed). Limitation of efficient water use in crop production[C]. ASA - CSSA - SSSA. 1983. 65-71.