

不同土壤水分条件对酸枣生物量与耗水特性的影响

周自云¹, 梁宗锁^{1,2}, 刘启明³

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3 延安常泰制药公司, 陕西 延安 716000)

【摘 要】 【目的】通过盆栽试验研究酸枣生物量与耗水特性的关系,为酸枣的生产管理提供参考。【方法】以 1 年生酸枣为研究对象,用称质量控水法控制土壤水分含量,设重度胁迫(SD,含水量为田间持水量的 35%)、中度胁迫(MD,含水量为田间持水量的 55%)和适宜水分(CK,含水量为田间持水量的 75%)3 个水分处理,测算不同水分处理条件下酸枣的耗水量、单株生物量、组织含水量、叶片数及叶面积,分析酸枣生物量与耗水特性的关系。【结果】不同土壤水分条件下,酸枣耗水量差异很大,土壤水分含量越高,酸枣耗水量越大;适宜水分条件下酸枣的平均耗水强度为 0.117 8 kg/(株·d);土壤越干旱,酸枣组织含水量越低,在中度和重度胁迫水分条件下,酸枣的平均耗水强度分别为 0.086 8 和 0.072 3 kg/(株·d);酸枣的全年耗水量高峰出现在 7 月底到 8 月中旬。3 个水分条件下,酸枣生物量和组织含水量均表现为 CK>MD>SD,叶片数和叶面积最大值表现为 CK>MD>SD,叶片数最大值的出现时间以 SD 早于 MD 和 CK。【结论】水分供应越少酸枣组织含水量越低,而且即使在适宜的水分条件下,酸枣的组织含水量也低于 700 g/kg;生长后期落叶,叶片对气孔的控制能力下降,导致生长后期耗水量的反常增加;酸枣存在明显午休现象;干旱导致的过早停止生长是酸枣植株矮小的主要原因。

【关键词】 酸枣;干旱胁迫;生物量;耗水特性

【中图分类号】 Q948.112⁺.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)08-0090-07

Effects of soil water content on biomass and water consumption characteristics of wild jujube (*Zizyphus jujuba* Mill var. *Spinosus* (Bunge) Hu ex H. F. Chou)

ZHOU Zi-yun¹, LIANG Zong-suo^{1,2}, LIU Qi-ming³

(1 Department of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Changtai Pharmaceutical Co. Ltd, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: 【Objective】 The relationship between biomass and water consumption characteristics of *Zizyphus jujuba* Mill var. *Spinosus* (Bunge) Hu ex H. F. Chou which was cultivated in pot on different soil water contents was studied, then the result can be consulted by wild jujube growers. 【Method】 Wild jujube seedling was cultivated in soils of three moisture levels, which was severe drought (SD, water content was 35% of field capacity), moderate drought (MD, water content was 55% of field capacity) and suitable water (CK, water content was 75% of field capacity). Soil water content was weighed to control. Water consumption, biomass of individual plant, leaf number and leaf area were measured to analyze the relationship

* [收稿日期] 2010-01-18

[基金项目] 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-01);国家“十一五”支撑计划项目(2008BAD98B08)

[作者简介] 周自云(1976—),女,陕西紫阳人,讲师,在读博士,主要从事植物逆境生理研究。E-mail: xnzzy@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 梁宗锁(1965—),男,陕西扶风人,教授,博士,博士生导师,主要从事植物逆境生理与生态研究。

E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

between biomass and water consumption characteristics. 【Result】 Water consumptions of wild jujube on different soil water contents were different. Water consumption was higher on higher soil moisture. The average water consumption of wild jujube on suitable soil water was 0.117 8 kg/(plant · d). The more arid the soil, the lower the water content of wild jujube. The average water consumption intensity of wild jujube of MD was 0.086 8 kg/(plant · d), and that of SD was 0.072 3 kg/(plant · d). The highest water consumption of wild jujube was from the end of July to the middle of August. The biomass and water content of wild jujube showed such an order as CK>MD>SD. The maximum value of wild jujube leaf number and leaf area showed CK>MD>SD, and the time of the maximum value of leaf number of SD was earlier than MD and CK. 【Conclusion】 The water content of wild jujube was lower with the more drought soil. Although the soil water content was moderate, the water content of wild jujube was lower than 700 g/kg. The stomata of leaves of wild jujube can not control moisture loss with leaves falling, so there was more water consumption. It's obvious that wild jujube had midday depression. The main reason which wild jujube was short under drought was because growing was stopped earlier.

Key words: wild jujube (*Zizyphus jujuba* Mill var. *Spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou); drought stress; biomass; water consumption characteristic

酸枣 (*Zizyphus jujuba* Mill var. *Spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou) 属鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Zizyphus* Mill.) 植物, 为栽培枣的原生种, 古称棘, 又叫“野枣”^[1]。酸枣原产于我国, 现已有 1 200 万~1 400 万年的栽培历史, 目前多为野生, 主要分布于北纬 23°~43° 的广大地区, 是我国北方极为普遍的一种野生植物资源^[2]。酸枣适应性强, 抗风、耐旱、耐瘠薄, 根系发达, 在植被稀疏、造林难度大的干旱丘陵地区是保持水土的先锋灌木树种^[3]。酸枣果肉可食用, 其果实、种仁、花、根皮、树皮、托刺等均可入药^[4], 可用于神经衰弱、失眠、多梦、盗汗、虚烦不眠、惊悸怔忡、津少口干、体虚多汗等症的治疗^[5-8]。

在黄土高原地区, 酸枣分布十分广泛, 在陕北黄土丘陵区是极为常见的优良水土保持树种, 也是重要的果树和药用资源。长期以来, 酸枣果实和酸枣仁的产量品质受到水分条件的严重制约, 但目前仅见关于酸枣耐旱性的形态和解剖学研究成果^[9], 尚未见关于酸枣在不同土壤水分条件下生理响应的报道。本研究在人工控制土壤水分含量的基础上, 对黄土高原地区 1 年生酸枣在不同土壤水分条件下的耗水特性和生长特性进行探讨, 旨在通过对酸枣水分利用规律的初步研究, 为酸枣栽培中灌溉方案的制定及酸枣果实和果仁的高产稳产提供依据, 并为黄土高原造林树种的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验设计

试验于 2008 年在陕西杨凌中国科学院水利部水

土保持研究所内进行。分别选取大小均匀、顶芽完整、健康的酸枣实生苗 (由延安常泰药业有限责任公司提供), 于 2008-03 进行移栽, 每桶移栽 3 株。试验所用塑料桶规格为 32 cm (高) × 28 cm (内径), 盆栽土壤由杨凌地区试验地耕层土壤与细河沙混合配制 (二者体积比为 3 : 1), 每桶拌入 0.25 kg 蚯蚓粪。土壤田间最大持水量 (θ_f) 为 24.5%, 土壤容重为 1.1 g/cm³。

试验设 3 个水分处理: 重度胁迫 (SD), 土壤含水量为 $(35 \pm 5)\% \theta_f$; 中度胁迫 (MD), 土壤含水量为 $(55 \pm 5)\% \theta_f$ 和适宜水分 (CK), 土壤含水量为 $(75 \pm 5)\% \theta_f$ 。由于幼苗期不适宜进行干旱胁迫, 因此选择在株高平均大于 20 cm 时开始处理。每处理设 20 次重复, 共设盆栽 60 盆。盆栽置于透光防雨棚下, 以避免自然降水的影响。

在酸枣培养过程中, 于每天 18:00 用电子秤称质量控水。每隔 2~3 d 于 18:00 测 1 次气温 (透光棚内距地面 1.9 m 处温度, T) 和空气相对湿度 (透光棚内距地面 1.9 m 处空气相对湿度, RH), 所得结果见图 1。

1.2 耗水量的测定^[10-11]

酸枣耗水量的测定于胁迫处理后开始, 至秋季落叶时为止。试验开始后, 每隔 1~2 d (根据天气状况, 晴天每天测 1 次, 雨天每 2 d 测 1 次) 于 18:00 用电子秤对盆栽塑料桶进行质量测定, 计算缺水量; 然后通过埋在盆栽塑料桶中的塑料管进行灌水, 补足散失水量。记录盆质量与灌水量, 扣除裸土土壤表面蒸散耗水量, 计算每株酸枣每日耗水量。对于

酸枣耗水量的日变化,选择 06-10,07-11,08-19 和 09-06,在上午 07:00 空气相对湿度为 $(50\pm 10)\%$ 时,于每天 07:00—19:00 每 2 h 进行 1 次盆栽桶质量测定(夜间耗水量于每天 19:00 至次日 07:00,12

h 共进行 1 次测定),记录数据,并计算时段内耗水量,平均耗水强度为时段内耗水量的平均值。重复 3 次取平均值。

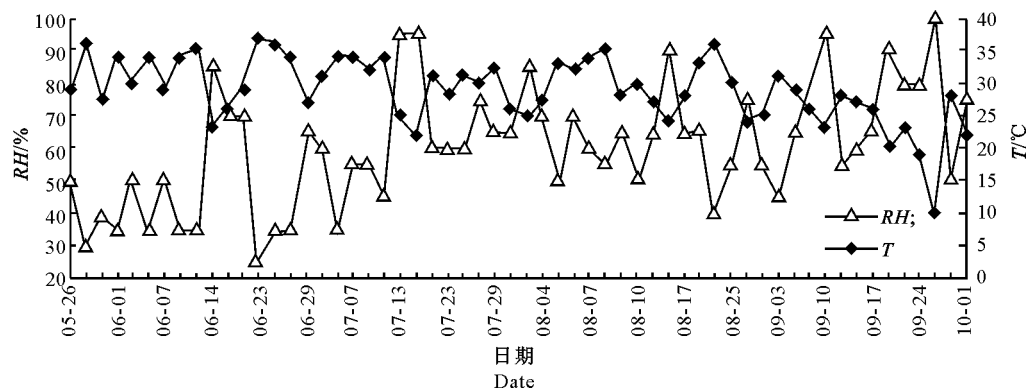


图 1 酸枣培养期间空气温、湿度的变化

Fig. 1 Changes of temperature and relative humidity under the shed of wild jujude

1.3 生物量、组织含水量的测定^[12]

酸枣生物量及组织含水量的测定于胁迫后 10 d 开始,于每月 1 日和 15 日测定直至秋季落叶。测定时,选取生长良好的酸枣,测定植株鲜质量后,置于烘箱中 105 ℃杀青 30 min,于 80 ℃烘至质量恒定,自然冷却至室温后称干质量,即为生物量。植株鲜质量与干质量之差即为组织含水量。重复 3 次取平均值。

1.4 叶面积的测定

酸枣叶面积的测定于胁迫后 10 d 开始,于每月 1 日和 15 日测定直至秋季落叶,测定时,选取生长良好的酸枣,取叶片用美国 CID 公司生产的 CID-

202 叶面积仪测定并记录叶面积。重复 3 次取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分条件下酸枣旬耗水量的变化

由表 1 可知,在试验期间,CK、MD 和 SD 处理条件下酸枣培养 133 d(05-20—09-30)的总耗水量分别为 15.2,11.2 和 9.5 kg/株。3 个水分条件下的平均耗水强度和旬耗水量 CK、MD 和 SD 分别为 0.117 8,0.086 8,0.072 3 kg/(株·d)和 1.161 2,0.856 1,0.724 9 kg/株。

表 1 酸枣培养期间旬耗水量及耗水强度的动态变化

Table 1 Ten-day water consumption and water consumption intensity changes of wild jujube

日期 Date	旬耗水量/(kg·株 ⁻¹) Water consumption			耗水强度/(kg·株 ⁻¹ ·d ⁻¹) Water consumption intensity		
	CK	MD	SD	CK	MD	SD
05-20—05-31	0.471 7	0.276 7	0.250 1	0.036 7	0.022 0	0.021 8
06-01—06-10	0.660 3	0.461 3	0.365 5	0.057 3	0.040 8	0.033 1
06-11—06-20	0.606 3	0.390 0	0.342 2	0.064 5	0.041 5	0.031 6
06-21—06-30	1.166 5	0.745 4	0.722 6	0.114 1	0.072 3	0.070 8
07-01—07-10	1.216 9	1.300 7	1.357 8	0.123 7	0.125 8	0.128 1
07-11—07-20	1.164 5	0.831 1	0.967 6	0.127 0	0.093 8	0.108 2
07-21—07-31	1.639 5	1.091 7	1.264 4	0.155 0	0.104 9	0.119 3
08-01—08-10	2.159 0	1.641 4	1.234 0	0.227 4	0.171 4	0.124 3
08-11—08-20	1.397 3	1.036 1	0.729 1	0.143 9	0.104 8	0.075 5
08-21—08-31	1.708 0	1.251 4	0.940 1	0.149 1	0.109 7	0.084 4
09-01—09-10	1.087 9	0.756 9	0.424 6	0.142 1	0.102 1	0.058 1
09-11—09-20	1.212 7	0.898 8	0.543 6	0.127 2	0.093 9	0.055 6
09-21—09-30	0.604 9	0.447 9	0.282 8	0.062 6	0.047 1	0.029 4
平均 Average	1.161 2	0.856 1	0.724 9	0.117 8	0.086 8	0.072 3

表 1 表明,酸枣的耗水动态表现出季节性变化规律,在 6 月下旬至 9 月上旬,不同土壤水分条件下

的旬耗水量和耗水强度均维持在较高水平。CK 和 MD 处理酸枣旬耗水量和耗水强度的最高值均出现

在 8 月上旬,SD 处理则出现在 7 月上旬。在 7 月上旬,酸枣的旬耗水量和耗水强度均表现为 $CK < MD < SD$,在 7 月中下旬又表现为 $MD < SD < CK$,而在其余时段均表现为 $SD < MD < CK$ 。

2.2 不同土壤水分条件下酸枣日耗水量的变化

由图 2 可见,酸枣生长期间日耗水量变化很大,05-26—10-01 酸枣日耗水量为 0.01~0.32 kg/株,酸枣日耗水量的最高值出现在适宜水分处理的 08-08;最低值出现在中度胁迫处理的 05-30。在 CK 处

理日耗水量出现最大值的 08-08,SD 处理的日耗水量为 CK 处理的 34.8%,MD 处理为 CK 处理的 67.2%。试验期间,CK、MD 和 SD 处理酸枣日耗水量的平均值分别为 0.13、0.09 和 0.08 kg/株,SD 和 MD 处理分别为 CK 处理的 61.0%和 73.9%。结合图 1 分析发现,在 5、6 和 7 月,由于酸枣生长矮小,受环境温、湿度影响较小,部分日耗水量表现为 $SD > MD$;在 8 和 9 月,酸枣日耗水量受环境温、湿度影响较大,日耗水量均表现为 $CK > MD > SD$ 。

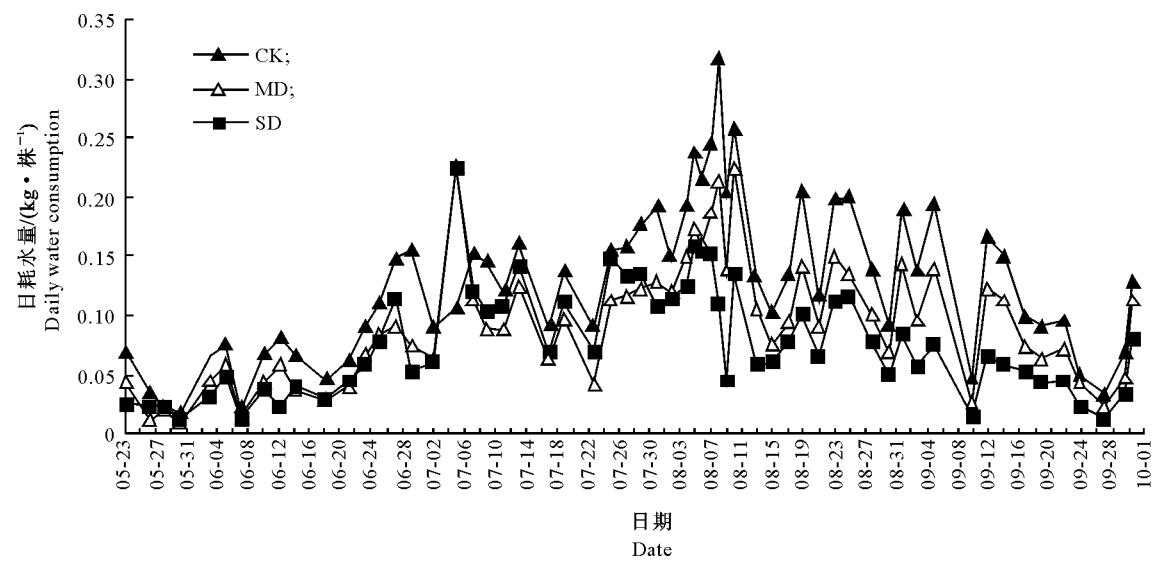


图 2 酸枣生长期间日耗水量的动态变化

Fig. 2 Water consumption changes of wild jujube

2.3 不同土壤水分条件下酸枣耗水量的日变化

由图 3 可知,3 个水分处理条件下,酸枣 06-10 的耗水高峰均出现在 16:00;酸枣的日耗水量均呈波动变化,且变化趋势基本一致。3 种水分条件下,酸枣 12:00—14:00 的耗水量保持在较高水平。在耗水高峰出现的 16:00,CK、MD 和 SD 处理的耗水量分别为 60.0、54.2 和 20.0 g/株。在 CK、MD 和 SD 处理条件下,酸枣 06-10 的全天耗水量分别为 210.0、149.2 和 48.3 g/株。

酸枣 07-11 的耗水高峰均出现在 14:00,在不同的土壤水分条件下,酸枣日耗水量变化趋势均呈单峰曲线,没有出现“午休”现象。在耗水高峰出现的 14:00,不同处理酸枣的耗水量表现为 $MD > CK > SD$,其余时间均表现为 $CK > MD > SD$ 。CK、MD 和 SD 处理条件下,酸枣 07-11 全天的耗水量分别为 319.2、312.5 和 130.8 g/株。

不同水分处理条件下,酸枣 08-19 的耗水量均在 12:00—16:00 达到最大值,该时段耗水量保持稳定,出现“午休”现象。08-19 全天酸枣的耗水量均表

现为 $CK > MD > SD$,CK、MD 和 SD 处理酸枣的全天耗水量分别为 204.2、136.2 和 108.3 g/株。

3 种水分条件下,酸枣 09-06 的耗水高峰均出现在夜间,CK、MD 和 SD 处理的耗水量峰值分别为 209.2、126.7 和 80.0 g/株;CK、MD 和 SD 处理条件下酸枣全天的耗水量分别为 389.2、245.0 和 155.8 g/株。

由图 3 还可以看出,不同季节酸枣全天耗水量呈不同的变化规律。在 6 月和 7 月,酸枣耗水量的日变化呈单峰曲线;8 月时,酸枣白天长达 4 h 的耗水量值较高且基本保持稳定;在 9 月时,酸枣白天的耗水量变化很小,夜间耗水量明显增加。酸枣日耗水量动态随季节的变化,反映了酸枣不同生长阶段对水分散失的不同控制能力。6 月份昼夜温差较大,酸枣在下午温度最高时耗水量最大;7 月份温度较高,酸枣全天耗水量均较大;8 月份无论土壤水分是否充足,酸枣在耗水量高峰时均能有效控制水分的散失,出现“午休”现象,表明此时酸枣对水分散失的控制能力较强;9 月份伴随着环境温度下降,白天

耗水量变化平稳,而夜间耗水量显著增加,说明酸枣

对水分散失的制约能力变弱,酸枣叶片出现衰老。

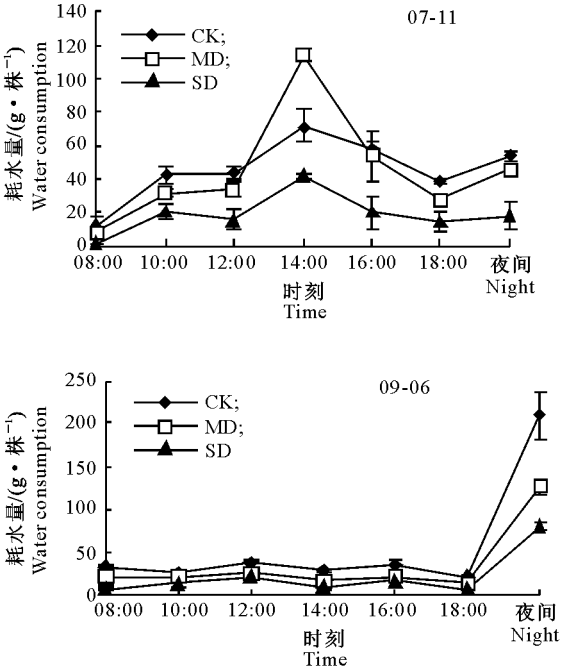
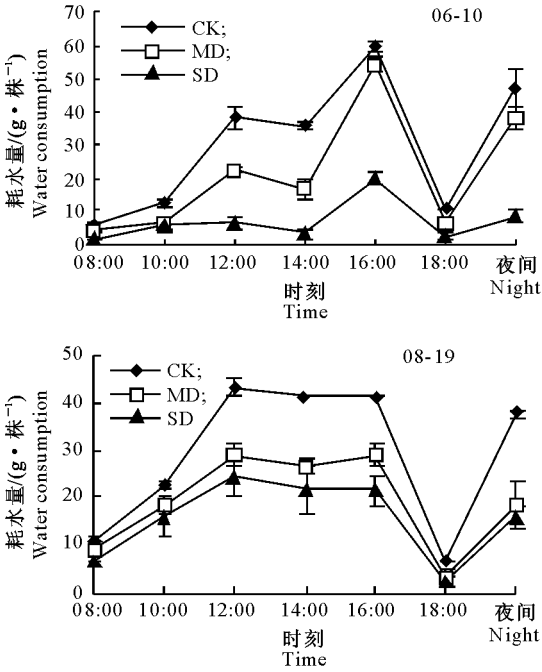


图 3 酸枣生长期间耗水量的日变化

Fig. 3 Daily changes of water consumption of wild jujube

2.4 不同土壤水分条件下酸枣生物量、组织含水量、叶片数及叶面积的变化

2.4.1 生物量 由图 4 可知,不同土壤水分条件下,酸枣生物量在 7 月中旬以前差别不大。但在 7 月中旬后,酸枣生物量表现为 CK>MD>SD。在适宜水分和重度胁迫条件下,酸枣的总生物量均以 06-01 最低,10-01 最高;而在重度胁迫条件下,酸枣总

生物量以 06-01 最低,09-01 最高。CK、MD 和 SD 处理酸枣的平均总生物量分别为 22.0,15.6 和 10.2 g。适宜水分条件下,酸枣生物量在试验期间持续增加;中度胁迫条件下,酸枣生物量持续增加到 09-01,之后有所降低后,于 09-15 又逐渐回升;重度胁迫条件下,酸枣生物量呈先升高后降低的变化趋势,表现为以 09-01 为最大值的单峰曲线。

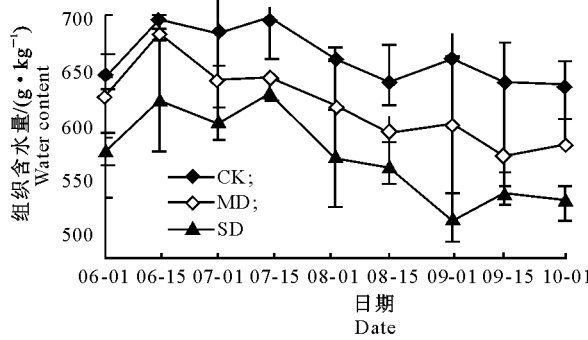
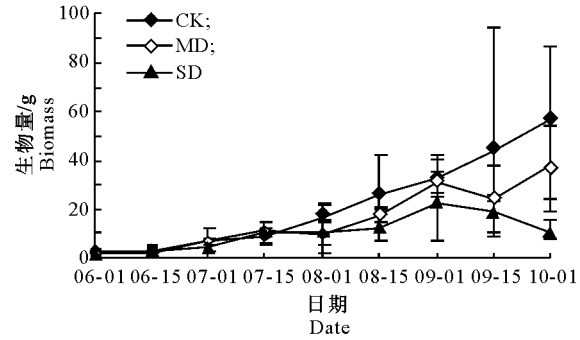


图 4 不同土壤水分条件下酸枣生物量的变化

Fig. 4 Biomass (dry weight) of wild jujube on different soil water contents

图 5 不同土壤水分条件下酸枣组织含水量的变化

Fig. 5 Change of water content of wild jujube on different soil water contents

2.4.2 组织含水量 由图 5 可知,土壤水分含量越低,酸枣组织含水量也越低。从 6 月到 10 月,在适宜水分条件下,酸枣的组织含水量为 645~699 g/kg;中度胁迫处理时,酸枣的组织含水量为 586~687 g/kg;重度胁迫条件下,酸枣的组织含水量为

531~636 g/kg。CK、MD 和 SD 3 种水分处理条件下,酸枣的组织含水量平均值分别为 666,627 和 584 g/kg。试验期间,酸枣组织含水量均表现为 CK>MD>SD。

2.4.3 叶片数 由图 6 可知,在 CK、MD 和 SD 3

种土壤水分处理条件下,酸枣叶片数呈现出 2 种变化规律。CK 和 MD 处理酸枣的叶片数均呈先增加后下降再增加的变化趋势,SD 处理则为单峰曲线。CK 和 MD 处理叶片数的峰值均出现在 08-15,SD 处理则于 07-15 出现峰值。叶片数除 06-15 为 MD<SD,07-15 为 CK<MD 和 09-01 为 MD<SD

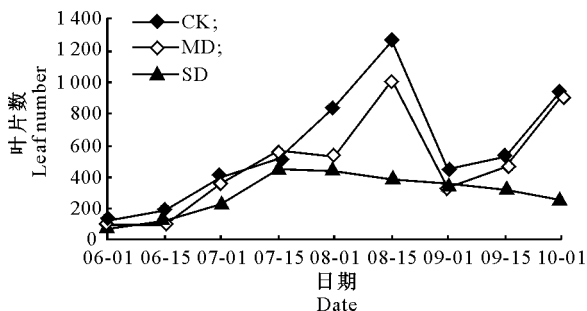


图 6 不同土壤水分条件下酸枣叶片数的变化

Fig. 6 Changes of leaf number of wild jujube on different soil water contents

2.4.4 叶面积 由图 7 可知,不同土壤水分条件下,酸枣叶面积均在 08-15 前持续增加。CK 和 MD 处理酸枣叶面积于 08-15 达到最大,之后均有小幅下降,并于 09-01 和 09-15 开始回升。SD 处理酸枣叶面积于 09-01 达到最大,之后持续下降。试验期间,不同处理酸枣叶面积最大值均表现为 CK>MD>SD。

3 讨论与结论

水分是植物生长的条件和基础,而蒸腾耗水是植物水分散失的主要途径^[13]。在干旱地区,植物对水分的消耗直接决定了植物的生存状况^[14-17]。本试验结果表明,在一定土壤水分条件下,酸枣的生长对水分的消耗存在明显的季节周期性。在本试验条件下,酸枣耗水量的最高峰出现在 7 月底到 8 月中旬。

本研究发现,在不同月份,酸枣对水分消耗的日变化也表现出不同的变化规律。在光合蒸腾均最旺盛的 7 月和 8 月,酸枣中午的耗水量均较高,但其余时段耗水量却较低,特别是夜间,其耗水量明显低于 9 月份相同时段的夜间耗水量。不同土壤水分处理条件下,酸枣夜间耗水强度均以 9 月最高,如 CK 处理 9 月份的夜间耗水强度为 10.4 g/(株·h),而 6、7 和 8 月的夜间耗水强度分别为 2.9、4.4 和 3.1 g/(株·h),这可能是由于酸枣在 9 月气温下降时叶片多数处于老化状态,甚至有部分老叶脱落,从而导致其对水分的控制能力下降所致。在正常条件下,酸枣在白天打开气孔,其蒸腾速率相对较高,耗水量

外,其余均表现为 CK>MD>SD。叶片数达到最大表示酸枣不再有大量新生叶片,即已停止旺盛生长。在重度胁迫条件下,酸枣于 07-15 叶片数达到最大,表示在该处理条件下酸枣于 07-01—07-15 即已停止生长;而在适宜水分及中度胁迫条件下,酸枣停止生长的时间则推迟到 08-01—08-15。

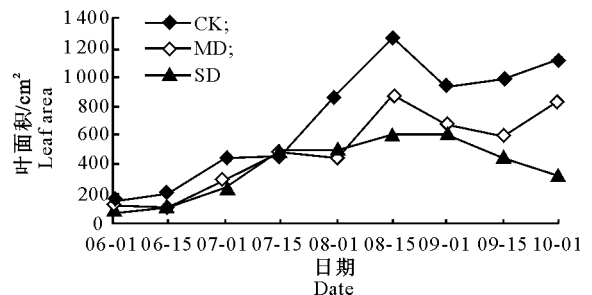


图 7 不同土壤水分条件下酸枣叶面积的变化

Fig. 7 Changes of leaf area of wild jujube on different soil water contents

较大;而在夜间气孔关闭,蒸腾速率降低,耗水量变小。但随着叶龄的增加和温度的下降,酸枣叶片开始衰老,叶片调节气孔开闭的能力下降,致使耗水量反常增加。酸枣 8 月的日耗水量变化还显示,在夏季中午时段,酸枣的耗水量几乎保持稳定,说明酸枣存在明显的“午休”现象。

不同土壤水分条件下生长的植物,由于植株生长量不同,耗水量也有很大差异^[14,18-21]。土壤水分条件适宜的酸枣,叶片数多,叶片面积大,生长旺盛,耗水量大;相反,干旱条件下生长的酸枣,植株矮小,叶片面积小,叶片数少,耗水量小。当土壤水分含量较高时,酸枣对水分的消耗较多;相反,土壤水分含量较低时,酸枣对水分的消耗亦随之大幅降低。酸枣耗水量的动态变化还会受到天气的影响,在气温高、空气相对湿度低的情况下,酸枣的耗水量也会大大增加,而且此时因光照增强导致气孔开放,从而增加了植物的耗水量。

酸枣植株的组织含水量较普通植物低,一般植物的组织含水量为 700~900 g/kg^[22],而酸枣为 500~700 g/kg,且在不同水分条件下生长酸枣的组织含水量差异很大,水分供应越少酸枣组织含水量越低。即使在适宜的土壤水分条件下,酸枣仍能保持较低的组织含水量,这为其抵御干旱逆境提供了生理基础。

不同土壤水分条件下,酸枣地上、地下部分生长状况差异很大^[22-24]。6 月是酸枣的旺盛生长期,水分供应充足的酸枣会保持较高的生长速度直到 7 月

底,但在干旱胁迫条件下,酸枣在 7 月初就停止了生长,过早的停止生长也是干旱导致酸枣植株生长矮小的主要原因。

[参考文献]

[1] 周俊义,杨 雷,刘 平,等. 酸枣种质资源果实主要数量性状变异及相关性研究 [J]. 中国农学通报,2005,21(10):271-275. Zhou J Y, Yang L, Liu P, et al. Variation and correlation research of main quantitative characters of wild jujube germplasm resource [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21 (10):271-275. (in Chinese)

[2] 杨 雷,周俊义,刘 平,等. 酸枣种质资源矿质元素的含量研究 [J]. 烟台果树,2005(3):3-4. Yang L, Zhou J Y, Liu P, et al. The research of mineral element contents of wild jujube germplasm resource [J]. Yantai Fruit Trees, 2005(3):3-4. (in Chinese)

[3] 毕春侠. 酸枣资源利用研究的现状 [J]. 陕西林业科技, 2000 (1):49-52. Bi C X. The present situation of wild jujube resource research [J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2000(1):49-52. (in Chinese)

[4] 李会军,李 萍,余国奠. 酸枣的研究进展及开发前景 [J]. 中国野生植物资源,1999,8(3):15-19. Li H J, Li P, Yu G D. Advance of research and prospect of development of *Zizyphus jujuba* var. *Spinosa* (Bunge) Hu ex H F Chou [J]. Chinese Wild Plant Resources, 1999, 8(3):15-19. (in Chinese)

[5] 彭智聪,朱建军. 酸枣仁化学成分及药理研究进展 [J]. 时珍国医国药,2001,12(1):86-87. Peng Z C, Zhu J J. Development research of chemical composition and pharmacology of wild jujube seeds [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2001, 12(1):86-87. (in Chinese)

[6] 任风芝,栾新慧,赵毅民. 酸枣仁药理作用及其化学成分的研究进展 [J]. 基层中药杂志,2001,15(1):46-47. Ren F Z, Luan X H, Zhao Y M. Development research of pharmacology and chemical composition of wild jujube seeds [J]. Primary Journal of Chinese Materia Medica, 2001, 15(1):46-47. (in Chinese)

[7] 郑 晔,钱苏瑜,游自立. 酸枣仁药理作用研究进展 [J]. 四川生理科学杂志,2006,28(1):35-37. Zheng Y, Qian S Y, You Z L. Advances in study on pharmacological effects of semen *Zizyphi spinosae* [J]. Sichuan Journal of Physiological Sciences, 2006, 28(1):35-37. (in Chinese)

[8] 赵启铎. 酸枣仁油中不饱和脂肪酸的药理实验研究 [J]. 天津中医药,2005,22(4):331-333. Zhao Q D. Pharmacologic action of unsaturated fatty acid in oil of semen *Zizyphi spinosae* [J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2005, 22(4):331-333. (in Chinese)

[9] 刘学师. 野生酸枣抗旱性研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2003.

Liu X S. Studies of drought of wild jujube [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2003. (in Chinese)

[10] Liang Z S, Yang J W, Shao H B, et al. Investigation on water consumption characteristics and water use efficiency of poplar under soil water deficits on the Loess Plateau [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2006, 53:23-25.

[11] 孙洪仁,刘国荣,张英俊,等. 紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究 [J]. 草业科学, 2005, 22 (12):24-30. Sun H R, Liu G R, Zhang Y J, et al. Water requirement, water consumption, water requirement rate, water consumption rate and water use efficiency of alfalfa [J]. Pratacultural Science, 2005, 22(12):24-30. (in Chinese)

[12] 孙 群,胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:165-170. Sun Q, Hu J J. Plant physiology research technology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2006:165-170. (in Chinese)

[13] 郭孟霞,毕华兴,刘 鑫,等. 树木蒸腾耗水研究进展 [J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4):114-120. Guo M X, Bi H X, Liu X, et al. Review on the water consumption of tree transpiration [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(4):114-120. (in Chinese)

[14] 韩蕊莲,梁宗锁,侯庆春,等. 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. Han R L, Liang Z S, Hou Q C, et al. Water consumption properties of adaptable nursery stocks on Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(2):210-213. (in Chinese)

[15] 李文华,刘广权,马松涛,等. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水和生长的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2004, 32 (1):61-65. Li W H, Liu G Q, Ma S T, et al. Effect of drought stress on transpiration and grow the characteristics of young plant [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2004, 32 (1):61-65. (in Chinese)

[16] 杨建伟,韩蕊莲,魏宇昆,等. 不同土壤水分状况对杨树、沙棘水分关系及生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2002, 22(3):579-586. Yang J W, Han R L, Wei Y K, et al. Water relation and growth of seabuckthorn and poplar under different soil water content [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2002, 22(3):579-586. (in Chinese)

[17] 李丽霞,梁宗锁,韩蕊莲. 土壤干旱对沙棘苗木生长及水分利用的影响 [J]. 西北植物学报, 2002, 22(2):296-302. Li L X, Liang Z S, Han R L. Effect of soil drought on the growth and water use efficiency of seabuckthorn [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2002, 22(2):296-302. (in Chinese)