

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107281110

赵英,汪有科,韩立新,汪星. 山地枣树茎直径对不同生态因子的响应. 生态学报, 2012, 32(17): 5476-5483.

Zhao Y, Wang Y K, Han L X, Wang X. Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5476-5483.

山地枣树茎直径对不同生态因子的响应

赵 英^{1,2}, 汪有科^{1,3,*}, 韩立新³, 汪 星¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100; 2. 杨凌职业技术学院, 杨凌 712100;

3. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 杨凌 712100)

摘要:以山地梨枣为试材,进行了枣树茎直径对土壤水势(WPs)、太阳辐射(Rs)、气温(Ta)、空气相对湿度(RH)等生态因子的响应试验研究。试验共设 4 个 WPs 区间的处理,连续测定枣树茎直径及不同生态因子的动态变化。结果表明:在果实膨大期,在 -41—-390 kPa 范围内, WPs 越高的处理,其枣树茎直径(TD)越大;不同处理间枣树最大茎直径($MXTD$)存在显著性差异,较高的 WPs 区间有利于茎直径的增加; $MXTD$ 是该期较为适宜的水分信息诊断指标。晴天时,茎直径日收缩幅度大;雨天白天时,茎直径基本处于同一水平,收缩不明显。 TD 与 RH 呈极显著正相关,与 Ta 呈极显著负相关关系,与 Rs 间无显著相关关系, RH 与 Ta 是影响茎直径变化的最主要气象因子。综合考虑,枣树茎直径的微变化同时受到各种生态因子的影响,尤以 RH 、 Ta 、 WPs 的影响更为显著; WPs 高时, WPs 为影响茎直径变化的主要因子; WPs 低时, RH 成为影响茎直径变化的主要因子。

关键词:枣树;茎直径;土壤水势;空气相对湿度;生态因子

Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors

ZHAO Ying^{1,2}, WANG Youke^{1,3,*}, HAN Lixin³, WANG Xing¹

1 College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 Soil and Water Conservation and Ecological Environment Research Center, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: The jujube industry is highly developed in the Yulin district of northern Shaanxi Province. Because jujube fruit yield is often affected by variation in precipitation throughout the year, accurate irrigation is an important method for increasing the potential of the local jujube industry.

Water demand in jujube trees is most critical during two stages: 1) anthesis and fruit set and 2) fruit development. In this study, the effect of different ecological factors, such as soil water potential (WPs), solar radiation (Rs), air temperature (Ta), and air relative humidity (RH), on jujube trunk diameter (TD) contraction during fruit development was investigated. In addition, the most suitable indicator of TD contraction was determined for use in accurate irrigation management.

Research was conducted in a rainproof shed at the micro-irrigation demonstration station in Mengcha, Yinzhou, Mizhi, Yulin, China. Three-year-old pear-jujube trees were studied using four different WPs treatments: -41 to -51 kPa (T_1), -68 to -84 kPa (T_2), -96 to -135 kPa (T_3), and -311 to -390 kPa (T_4). Individual test plots, separated by cement enclosures and containing three jujube trees, were 6 m long $\times$ 1 m wide $\times$ 1 m high. Each treatment was applied to three test plots. WPs was monitored continuously with an EQ15 equilibrium tensiometer and controlled automatically using a

基金项目:863 计划(2010AA10A302-1);国家农业转化资金课题(2009GB2G000359)

收稿日期:2011-07-28; 修订日期:2012-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gjzwyk@vip.sina.com

drip irrigation system that supplied water whenever *WPs* reached a minimum value. *TD* was continuously measured with a linear variable displacement transducer (LVDT); atmospheric factors were recorded using an automated weather station. Collected data were analyzed using DPS statistics software, and figures and tables were generated with Excel.

The results showed that jujube *TD* contraction followed a U-shaped curve over the course of a day. In general, trunk diameter shrank during the day, reaching a minimum trunk diameter (*MNTD*) at 17:00–19:00; at night, trunk diameter expanded, with the maximum diameter (*MXTD*) occurring at 7:00–9:00. The interval between *MNTD* and *MXTD* was about 12 h. *TD* trended differently depending on growing period, weather, and *WPs* treatment. During fruit development, when *WPs* ranged from –41 to –390 kPa, *TD* increased with increasing *WPs*. *MXTD* was significantly different between the treatments, and higher *WPs* ranges resulted in increased trunk diameter. *MXTD* was an appropriate water-level diagnostic indicator at this stage. Trunk diameter growth (*DG*) increased at moderate *WPs* levels (T2 and T3), but was inhibited when *WPs* was excessively high (T1) or low (T4). *DG* was also influenced by weather conditions, increasing greatly on rainy days because of the higher *RH*. In contrast, the *TD* daily shrinking range was larger on sunny days, with no increase observed on rainy days. *TD* had a significant positive correlation with *RH* (correlation coefficient ca. 0.9) and a significant negative correlation with *Ta* (correlation coefficient ca. –0.75), but little correlation with *Rs*. Thus, *RH* and *Ta* were the major atmospheric factors influencing *TD* contraction. Overall, jujube *TD* contraction was influenced simultaneously by various ecological factors, most significantly *RH*, *Ta*, and *WPs*. At higher *WPs* ranges, *WPs* had the greatest direct influence on *TD* contraction, followed by *RH*; at lower *WPs* ranges, *RH* was the primary factor, followed by *WPs*. *TD* was not directly affected by *Ta*, regardless of *WPs* level.

Key Words: jujube tree; trunk diameter; soil water potential (*WPs*); air relative humidity (*RH*); ecological factors

植物的生长发育和形态结构的建成受周围环境中多种因子的综合影响。陕北榆林地区光照充足,昼夜温差大,是公认的红枣优生区,红枣产业也成为当地的主导产业,发展规模日益扩大。但当地年内降水不均衡,往往不能满足枣树开花坐果期和果实膨大期两个需水关键期之需求,且当地灌水设施不完备,枣树开花坐果率和最终的经济产量受到影响。研究并掌握枣树在各物候期的需水规律,结合各生态因子的实际状况,对枣树实施精确的补充灌溉,可以进一步挖掘当地红枣产业潜能,提高农民收益。

用茎直径微变化来反映植物水分状况具有不破坏植株组织、适合长期自动监测的优点,可以作为指导灌溉的指标,因此受到许多科研工作者的重视,在棉花^[1-3]、玉米^[4-5]、番茄^[6]、茄子^[7-8]、辣椒^[9]、苹果树^[10]、桃树^[11-14]、罗布麻^[15]、珍珠梅和榆叶梅^[16]等植物上进行了初步研究。张平^[17]等对榆林山地枣树开花坐果期的水分信息诊断指标做了适宜性分析,初步认为茎直径最大日收缩量(*MDS*)是比较适宜的指标。

已有研究显示,植物茎直径微变化受多种因子影响,在不同植物、不同发育阶段、不同环境中的变化规律不同。研究榆林山地枣树各物候期茎直径对不同生态因子的响应规律,筛选适宜的指导灌溉指标,可进一步丰富枣树生态生理和灌溉理论,并对推动红枣产业的发展具有较强的现实意义。本试验以榆林山地梨枣为对象,研究果实膨大期枣树茎直径对周围多种生态因子变化的响应,探求其间关系,以进一步完善枣树精确灌溉的研究。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

在枣树果实膨大期设定并控制 4 个不同的土壤水势(*WPs*)区间:(–41—–51) kPa、(–68—–84) kPa、(–96—–135) kPa、(–311—–390) kPa,对应于土壤水分特征曲线的土壤含水量区间分别为:75%—80%、60%—65%、45%—50%、35%—32%,分别标记为 T1、T2、T3、T4,研究在不同土壤水势条件下枣树茎直径的变化规律。在气象自动观测站采集相关数据,分析不同气象因子影响下枣树茎直径的变化规律,综合探究枣树茎直径对各生态因子的响应规律。

试验小区采用水泥砌墙,将每个小区砌成长 6 m、宽 1 m、高 1 m 的封闭系统,以防止小区与周围土壤发生水分交换。每个处理 3 次重复,每次重复 3 棵树,每个小区一次重复。各小区在试验初期(枣树萌芽展叶期)的土壤水势基本一致,之后开始控制灌水,使之到果实膨大期进入并维持在设定的土壤水势范围。

1.2 试验方法

试验于 2010 年 5 月—9 月在陕北榆林米脂县银州镇孟岔村山地微灌枣树示范基地防雨棚内进行,小区内枣树为 3 年生梨枣。本区位于东经 110°23',北纬 37°78',海拔 870 m,是典型的黄土高原丘陵沟壑区。试验地土质为黄绵土,容重 1.31 g/cm^3 ,0—100 cm 计划湿润层的田间持水量为 23.8% (质量含水量)。

试验利用土壤水势仪监测土壤水分,并与 GP1 相连自动控制灌溉。每个小区布设 2 个土壤水势仪探头,分别布设在左距中间枣树 50 cm、右距中间枣树 20 cm 处,埋深均为 30 cm,其中一个探头与 DL2e 型数据采集器(英国剑桥,Delta Device)相连,自动记录数据;另一个探头则与 GP1 相连,用来控制灌溉。

灌溉采用滴灌,每个处理小区布设两条毛管,每个毛管上等间距安装 6 个滴头,滴头流量为 4 L/h。当土壤水势低于设定的下限值时,GP1 便将此信号传递给电磁阀,电磁阀将打开并自动灌水 5 min;半小时后,若测得的土壤水势仍低于设定的下限值,将重复以上过程,直到满足设定的土壤水势范围;若高于设定的上限值则停止灌溉。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤水势

采用平衡式土壤水分张力计(EQ15:Equilibrium Tensiometer)监测,测量范围为-1500—0 kPa。

1.3.2 茎干直径微变化

采用 DD 型线性差分径向变化仪(简称 LVDT,德国 Ecomatik 公司生产)连续测定。在每棵样树主干距地面 15 cm 处的北向,安装探头。安装前先用木锉轻刮树干的死皮,以确保 LVDT 不胀钢框架安装牢固,同时使探头与主干接触良好;用隔热铝箔纸将探头包住,以防止风、气温和降雨等对探头的直接影响。

用于数据采集的土壤水势仪和 LVDT,其探头均与 DL2e 型数据采集器(英国剑桥,Delta Device)相连,每 30 min 自动记录 1 次数据。

LVDT 直接测定的是茎干日最大直径(maximum trunk diameter, MXTD)与茎干日最小直径(minimum trunk diameter, MNTD),通过二者计算得出茎干日增长量(diameter growth, DG):

$$DG = \text{当天 MXTD} - \text{前一天 MXTD}$$

采用 EXCEL 绘制曲线,用 DPS 数据处理系统进行分析。

1.3.3 其他生态因子

采用气象自动观测仪监测太阳辐射、气温、空气湿度等,每 30 min 自动记录 1 次。

2 结果

2.1 枣树茎直径逐日变化动态

以 8 月 9 日 0 时的茎直径为基准(标定为零),4 个处理的枣树茎直径(TD, Trunk diameter, 实际为相对茎直径。

$$TD = \text{实测茎直径} - 8 \text{ 月 } 9 \text{ 日 } 0 \text{ 时茎直径}$$

逐日变化动态如图 1 所示。

由图 1 可知,枣树 TD 在 1 天中的变化趋势基本符合“U”型曲线。茎直径一般白天收缩,到 17:00—19:00 达最小值;傍晚、夜间复原或膨胀,到第 2 天早晨 7:00—9:00 达最大值。1 天中,茎直径从最小值到最大值所需的时间大致在 12 h 左右,但不同发育阶段、不同天气、不同土壤水势处理下的 TD 变化趋势有所差异。

2.2 枣树茎直径对不同土壤水势的响应

整体来看(图 1),T1、T4 的日最大茎直径(MXTD)表现为增加—减小—增加的趋势,但 T1 由减小趋势恢复至增加趋势所需的时间明显短于 T4;T2 表现为稳步增加;T3 则表现为增加—平衡—增加。8 月 9 日—8 月

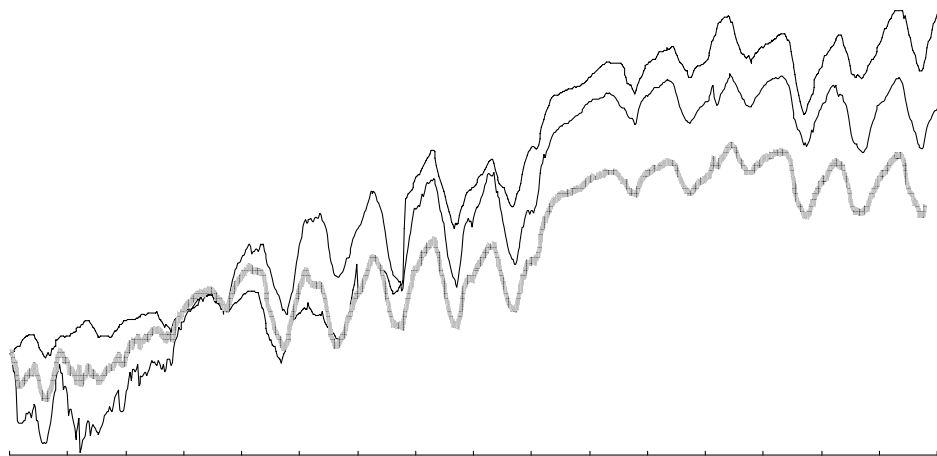


图1 枣树茎直径逐日变化动态趋势
Fig. 1 Daily change trend of trunk diameter of jujube tree

24 日,TD 增加量依次为 $T1>T2>T3>T4$,即在 $-41\sim-390$ kPa 的土壤水势范围内,在果实膨大期尤其是膨大后期,土壤水势越高,除供给果实膨大所需水分外,还有较多的水分供应给茎干,使得枣树茎直径越大。

不同发育时间不同处理间的 TD 表现不同。8 月 12 日前,TD 表现为 T4 处理与 T1 处理相差不大,甚至微大于 T1,二者明显大于 T3,T2 最小;到 12 日时,4 个处理的 TD 逐渐趋于一致,到当天 18:00 左右均达到最低且基本相等。此后至 24 日,均表现为 $T2>T3>T4$;而 T1 在 12 日—13 日与 T4 表现出相似的变化趋势,在 13 日 16:50 左右 TD 达最小值且 $T1>T4$,二者的 TD 均低于 T3;之后,T1 的 TD 逐渐接近 T3,在 14 日 12 时达到 T3 水平,15 日 8 时后稳定超过 T3 并在 19:00 超过 T2,此后到 24 日均表现为最高水平,明显高于其他 3 个处理。

不同处理的茎直径日增长量(DG)变化趋势不同(图2)。由图可知,除了 8 月 18 日因为雨天缘故而使不同处理的 DG 突然增大外,T2、T3、T4 处理的 DG 基本表现为先快速增加后快速减小、之后增减交替波动变化的趋势,但三者快速增加时的速度表现为 $T2>T3>T4$,后期波动幅度则表现为 $T4>T3>T2$;T1 处理的土壤水势最高,但其 DG 却与 T4 相差不大。结合方差分析(表1)可知,T2 的平均 DG 极显著大于其他处理;T3 极显著大于 T4;T1 与 T4 间无显著性差异。说明适宜的 WPs 区间(T2、T3)有利于提高茎直径的

日增长量,过高(T1)或过低(T4)的 WPs 区间均会使茎直径的日增长量受到抑制。WPs 过高,枣树枝繁叶茂且结果数量多,对水分的消耗量大,茎干所竞争到的水分很少,导致 DG 较小;WPs 过低,茎干所得到的绝对水量就很少,极大地限制了茎直径的日增长量。另外,DG 还受到天气的影响,下雨天气空气相对湿度大,DG 大

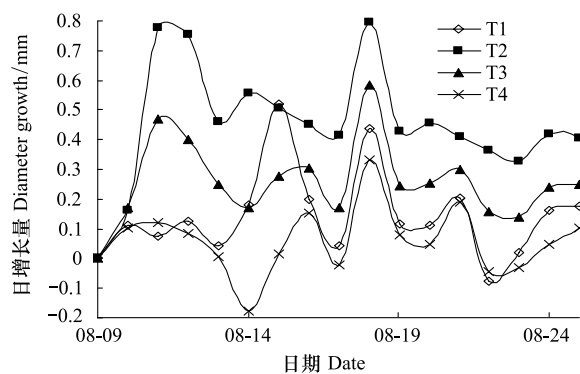


图2 不同处理枣树茎日增长量变化趋势
Fig. 2 Change trend of daily jujube trunk diameter growth in different treatments

表1 不同处理的枣树茎日增长量比较
Table 1 Comparison of daily jujube trunk diameter growth in different treatments

土壤含水量/kPa Soil water content	茎日增长量 DG/mm Diameter growth
-41—-51(T1)	0.1472 bcBC
-68—-84(T2)	0.4430 aA
-96—-135(T3)	0.2577 bB
-311—-390(T4)	0.0682 cC

不同字母间表示差异显著。

幅度提高。

由图 3 可知,在同一土壤水势范围的处理中,随着土壤水势的降低,枣树最大茎直径 (MXTD) 均明显增大,说明较低的土壤水势有利于茎直径的生长,但其发育特性也是重要原因;不同处理下的土壤水势与 MXTD 间均存在良好的负相关关系,相关系数除 T4 为 0.83 外,其余 3 个处理均在 0.91 以上,4 个处理的相关性均达到极显著水平。

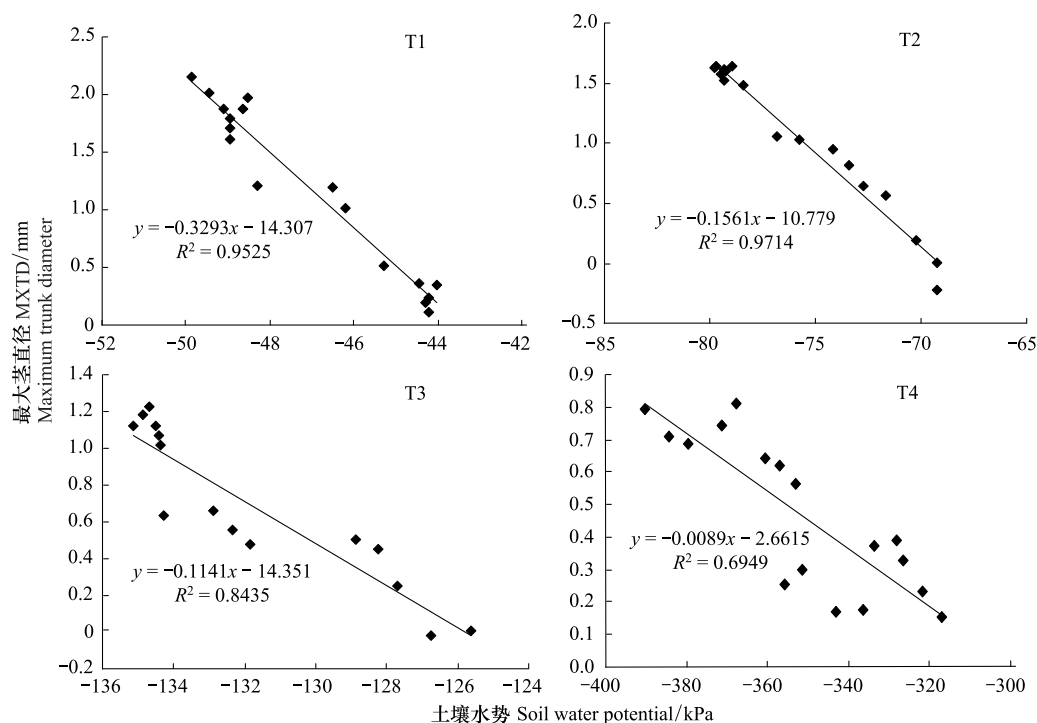


图 3 不同处理土壤水势与枣树最大茎直径间的关系

Fig. 3 Relationship between soil potential and MXTD of jujube in different treatments

对 8 月 9 日—24 日不同处理间的枣树 MXTD 分别取平均值进行方差分析 (表 2), 结果表明, 不同土壤水势范围对枣树茎直径的生长具有显著影响。其中 T1、T2 间无显著性差异; 二者极显著大于 T3、T4, T3 又显著大于 T4, 说明土壤水势是影响枣树茎直径生长的主要因素之一, 土壤水势越高越有利于茎直径的增加, 但高于 (-68—-84) kPa 以上则不再显著增加。

综上所述, 枣树茎干的生长同时受到多种因子的综合影响, 但土壤水势是主要因素之一, 在果实膨大期尤其是膨大后期, 在 -41—-390 kPa 的范围内, 土壤水势越高, 枣树茎直径越大。

2.3 气象因子对枣树茎直径变化的影响

8 月 17 日—19 日分别为典型的晴天、雨天、晴天, 图 4 为连续测得的太阳辐射 (R_s)、气温 (T_a)、空气相对湿度 (RH) 及枣树茎直径 (TD) 日变化。结果

显示, T_a 与 R_s 的变化趋势基本一致, T_a 的变化滞后于 R_s ; RH 与 T_a 的变化趋势正好相反, 但时间上保持一致; 枣树 TD 的变化基本与 RH 的变化一致。

相关性分析结果表明 (表 3), 枣树 TD 与 RH 间存在极显著正相关关系, 相关系数在 0.9 左右; 与 T_a 间则存在极显著负相关关系, 相关系数在 -0.75 左右; 与 R_s 无明显相关性。

由图 3 可知, 不同天气条件下的枣树茎直径变化曲线存在明显差异。比较 17 日与 18 日可知, 晴天时 R_s

表 2 不同处理间枣树最大茎直径的比较

Table 2 Comparison on jujube MXTD between different treatments

处理 Treatments	最大茎直径 MXTD/mm
T1	1.1879 aA
T2	1.0441 aA
T3	0.7450 bB
T4	0.4658 cB

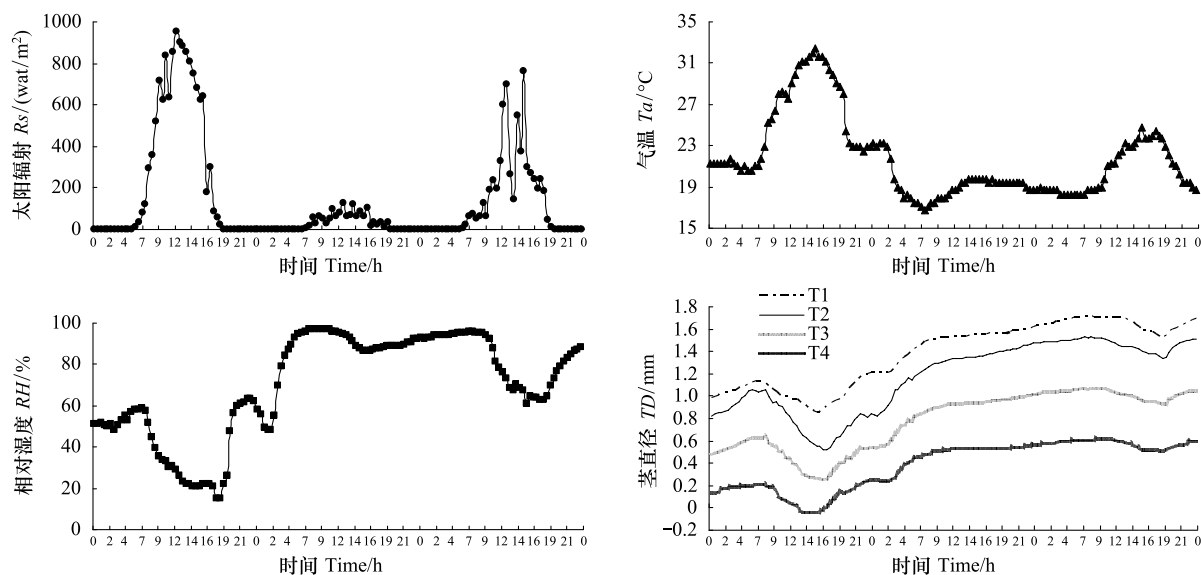
图4 不同天气太阳辐射(R_s)、气温(T_a)、相对湿度(RH)及枣树茎直径(TD)日变化

Fig. 4 Daily change of solar radiation, temperature, relative humidity and jujube trunk diameter under different weather conditions

远远大于阴天, T_a 也高于阴天, 而 RH 却明显低于阴天, 三者综合影响着枣树茎直径的收缩, 使其在 8:00 左右达到最大值, 17:00—19:00 达到最小值, 日茎直径变化幅度大; 雨天时, 茎直径复原至前一天最高值后, 再没有明显的收缩变化, 一直到第二天中午时都基本处于同一水平。结合相关性分析, 认为枣树茎直径的收缩受各种气象因子的综合影响, 但 RH 与 T_a 为两个最主要的影响因子。

表3 不同处理枣树 TD 与 T_a 、 RH 的关系Table 3 Relationship between jujube TD and T_a , RH in different treatments

处理 Treatments	TD 与 T_a 的关系 Relationship between TD and T_a		TD 与 RH 的关系 Relationship between TD and RH	
	关系式 Formula	相关系数 Coefficient	关系式 Formula	相关系数 Coefficient
T1	$y = -0.0518x + 2.5127$	-0.7212	$y = 0.01x + 0.6833$	0.8811
T2	$y = -0.0595x + 2.4762$	-0.7526	$y = 0.0109x + 0.4135$	0.8752
T3	$y = -0.0504x + 1.8803$	-0.7643	$y = 0.0093x + 0.1323$	0.8924
T4	$y = -0.0412x + 1.2844$	-0.7698	$y = 0.0076x - 0.149$	0.9037

2.4 主要生态因子对枣树茎直径的影响

由以上分析可知, 土壤水势、 T_a 和 RH 是影响枣树茎直径生长的几个重要生态因子。将三者作为自变量, 枣树 TD 作为因变量进行通径分析后发现(表4), 当土壤水势范围高(T1)时, 影响茎直径生长最主要的因子为土壤水势, 其次为 RH ; 当土壤水势范围低(T4)时, 影响茎直径生长最主要的因子为 RH , 其次为土壤水势; 不论土壤水势高低, T_a 影响茎直径生长的直接作用均较小。

表4 土壤水势、气温、空气相对湿度与枣树茎直径之间关系的通径系数

Table 4 Path coefficients between the soil water potential, T_a , RH and jujube TD

处理 Treatments	直接通径系数 Direct path coefficients		
	土壤水势 WPs	气温 T_a	空气相对湿度 RH
T1	0.9439	0.1056	0.4083
T2	0.7881	-0.0936	0.2151
T3	0.7778	-0.1698	0.2051
T4	0.5965	0.2291	0.9141

3 讨论与结论

植物茎直径变化的过程主要由韧皮部和木质部收缩完成,但在不同植物中完成该收缩过程的主要角色不同。已有研究显示,珍珠梅和榆叶梅茎直径的微变化主要由木质部直径的变化引起,韧皮部直径无明显变化^[16],而番茄茎直径的收缩过程则由韧皮部和木质部的收缩同步构成,但恢复过程却不同步,木质部恢复较快^[18]。二者在引起枣树茎直径微变化中的角色还需进一步研究探讨。

植物茎直径的变化受到周围生态环境的影响,但引起变化的主要因子有异。已有研究显示,有效辐射是导致桶栽棉花茎直径变化的主因^[3];饱和水汽压差对夏玉米茎直径变化的影响最大,其次是温度、太阳辐射和风速^[4];罗布麻茎直径的变化则主要受太阳总辐射、土壤湿度和风速的影响^[15]。大田桃树在充分灌溉条件下,全生育期内茎直径的变化最主要受温度的影响^[13],而影响其 MDS 最主要且最直接的因子则是正午气温和太阳净辐射^[12];盆栽桃树茎直径的变化主要受太阳辐射和空气相对湿度的影响^[14]。

李晓彬等^[19]对充分灌溉条件下枣树 MDS 与参考作物蒸发蒸散量(ET_0)、日均温度(T_m)、日正午温度(T_{md})、水汽压亏缺日均值(VPD_m)、正午水汽压亏缺值(VPD_{md})、太阳辐射(R_s)等气象因子之间的关系进行了通径分析,结果表明 VPD_m 、 R_s 是影响枣树 MDS 的主要气象因子。

本研究则对枣树茎直径与土壤水势(WP_s)、太阳辐射(R_s)、气温(T_a)、空气相对湿度(RH)的关系进行了分析,结果表明, RH 、 T_a 极显著地影响着枣树茎直径的微变化,是两个重要的影响因子,但二者的变化又受到太阳辐射、风速、表层土壤水分等因子的影响;本试验中的气象数据来自气象站,与茎干周围的微环境还有所差异;同时,枣树茎直径的变化还受到发育时间的影响,因此应进一步试验研究,找出茎直径与 RH 、 T_a 、土壤水势、发育时间等生理生态因子间的函数关系,寻求不同环境下能良好反应植物水分的茎直径指标,为最终的实践应用提供依据。

本研究表明,在枣树果实膨大期,不同土壤水势范围内 MDS 变化没有明显规律;同一处理中,随着土壤水势的降低,MDS 变化规律性不强,可能是试验时间较短所致。试验中,日最大茎直径(MXTD)对土壤水势的变化反应敏感,在不同土壤水势范围间存在显著性差异,认为适合作为这一时期的水分信息诊断指标。张平等^[17]研究认为,茎直径最大日收缩量(MDS)是枣树开花坐果期比较适宜的水分信息诊断指标;张寄阳等^[20]则认为,在棉花生长阶段 MDS 不适合作为水分诊断指标。可见,茎直径微变化受到不同作物、不同发育阶段乃至不同气候等的影响,具体到某种环境下应采用哪一指标来进行水分信息的诊断,还需要做大量的深入研究工作。

综上所述,在果实膨大期,山地枣树茎直径主要因空气相对湿度、温度、土壤水势等生态因子而不断地收缩膨胀;土壤水势高时,土壤水势为影响茎直径生长的最主要因子;土壤水势低时,空气相对湿度则成为最主要因子。晴天时,一般在 17:00—19:00 茎直径收缩至最小,第 2 天清晨 7:00—9:00 达到最大值,茎直径收缩幅度大;阴天白天时,茎直径收缩幅度小,基本保持在同一水平。综合考虑,认为 MXTD 适合作为该时期的水分信息诊断指标。

References:

- [1] Zhang J Y, Meng Z J, Duan A W, Liu Z G, Chen J P, Liu Z D. Research on diagnosis of soil water deficit of cotton based on variation of stem diameter. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2005, 24(2): 35-38.
- [2] Zhang J Y, Duan A W, Meng Z J, Liu Z G. Rational indicators for irrigation scheduling of cotton based on micro-changes of stem diameter. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(12): 86-89.
- [3] Wang X S, Meng Z J, Duan A W, Liu Z G. Stem diameter variation subjected to full irrigation and drought stress in cotton. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2009, 28(5): 75-78.
- [4] Zhao Y L, Liu Y, Cai J B. The movements and relationships between the stem diameter variation and sap flow for summer maize. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2010, 29(3): 24-28.
- [5] Li H, Liu Y, Cai J B, Mao X M. Change of sap flow rate and stem diameter micro-variation of summer maize and influenced factors. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(10): 187-191.
- [6] Meng Z J, Duan A W, Bian X M, Liu Z G, Zhang J Y. Diagnosis of crop moisture condition from variable differential in stem diameter of tomato.

- Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(3): 40-43.
- [7] Meng Z J, Duan A W, Liu Z G, Zhang J Y, Bian X M. The relationship between the change of stem diameter and plant water content of eggplants: an experimental study. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2516-2522.
- [8] Wang X S, Meng Z J, Duan A W, Liu Z G. Stem diameter variation characteristics during different growth stages of eggplant in greenhouse and its relation to meteorological factors. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(4): 106-111.
- [9] Meng Z J, Duan A W, Liu Z G, Zhang J Y, Chen J P. Relation between minute changes in stem diameter and moisture content of hot pepper. *China Rural Water and Hydropower*, 2004, (2): 28-30.
- [10] Kang M, Du T S, Liu C W. Research on stem diameter variation rule of apple tree and response to environmental factors in northwest arid region. *Water Saving Irrigation*, 2009, (9): 4-7.
- [11] Yun X F, He J Q, Wu P T, Wang Y K. Effect of soil water potential on the trunk diameter variation of peach tree in spring. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2009, 28(4): 70-74.
- [12] Zhang P, Wang Y K, Zhan J W, Zhang L J. Simulation of stem diameter maximum daily shrinkage for peach under full irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(3): 38-43.
- [13] Zhan J W, Wang X, Wang Y K, He J Q, Zhang P. Variations of peach tree stem diameter and its relation to meteorological factors. *Ecological Economy*, 2009, (5): 28-32, 36-36.
- [14] Zhan J W, Wang Y K, Zhang L J, Zhang P, He J Q. Micro-variation in peach stem diameter and its relationship with soil water potential and meteorological factors. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(3): 489-494.
- [15] Lu X H, Pan C D. Analysis on correlation between day process of stem diameter and sap flow variations of *Apocynum venetum* L. and their environmental factors. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2009, 46(1): 8-12.
- [16] Liu Z H, Li Q F, Ma C C, Zhang J H. Stem diameter micro-changes of *Sorbaria sorbifolia* and *Prunus triloba* and the causes. *Journal of Tianjin Normal University: Natural Science Edition*, 2010, 30(4): 46-49.
- [17] Zhang P, Wang Y K, Zhan J W, Zhang L J. The suitability analysis of indicators diagnosing water information of jujube in flowering and fruit setting periods. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2010, 29(3): 94-97.
- [18] Wang X S, Meng Z J, Duan A W, Liu Z G. Mechanism and methodology for monitoring tomato water content based on stem diameter variation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(12): 107-113.
- [19] Li X B, Wang Y K, Zhang P. Dynamic changes of pear jujube stem diameter and path analysis of MDS influencing factors with full irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(4): 88-93.
- [20] Zhang J Y, Duan A W, Meng Z J, Liu Z G, Chen J P, Liu Z D. Stem diameter variations of cotton under different water conditions. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(5): 7-11.

参考文献:

- [1] 张寄阳, 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵, 陈金平, 刘占东. 茎直径变化诊断棉花水分亏缺程度的试验研究. *灌溉排水学报*, 2005, 24(2): 35-38.
- [2] 张寄阳, 段爱旺, 孟兆江, 刘祖贵. 基于茎直径微变化的棉花适宜灌溉指标初步研究. *农业工程学报*, 2006, 22(12): 86-89.
- [3] 王晓森, 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵. 充分灌溉和干旱胁迫对棉花茎直径变化的影响. *灌溉排水学报*, 2009, 28(5): 75-78.
- [4] 赵永玲, 刘钰, 蔡甲冰. 夏玉米茎流和茎直径变化规律及其关系分析. *灌溉排水学报*, 2010, 29(3): 24-28.
- [5] 李会, 刘钰, 蔡甲冰, 毛晓敏. 夏玉米茎流速率和茎直径变化规律及其影响因素. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 187-191.
- [6] 孟兆江, 段爱旺, 卞新民, 刘祖贵, 张寄阳. 番茄茎直径变差法诊断水分状况试验. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(3): 40-43.
- [7] 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵, 张寄阳, 卞新民. 温室茄子茎直径微变化与作物水分状况的关系. *生态学报*, 2006, 26(8): 2516-2522.
- [8] 王晓森, 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵. 温室茄子不同生育期茎直径变化特征及其与气象因子的关系. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(4): 106-111.
- [9] 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵, 张寄阳, 陈金平. 辣椒植株茎直径微变化与作物体内水分状况的关系. *中国农村水利水电*, 2004, (2): 28-30.
- [10] 康敏, 杜太生, 刘春伟. 西北旱区苹果树茎干直径变化规律及其对环境因素的响应研究. *节水灌溉*, 2009, (9): 4-7.
- [11] 员学锋, 贺军奇, 吴普特, 汪有科. 土壤水势对春季桃树茎干变化的影响研究. *灌溉排水学报*, 2009, 28(4): 70-74.
- [12] 张平, 汪有科, 湛景武, 张陆军. 充分灌溉条件下桃树茎直径最大日收缩量模拟. *农业工程学报*, 2010, 26(3): 38-43.
- [13] 湛景武, 汪星, 汪有科, 贺军奇, 张平. 桃树茎直径变化及其与气象因子关系. *生态经济*, 2009, (5): 28-32, 36-36.
- [14] 湛景武, 汪有科, 张陆军, 张平, 贺军奇. 桃树茎直径微变化与土壤水势及气象因子的关系. *中国生态农业学报*, 2009, 17(3): 489-494.
- [15] 路兴慧, 潘存德. 罗布麻茎直径和茎流变化日过程及其与环境因子的关系分析. *新疆农业科学*, 2009, 46(1): 8-12.
- [16] 刘志宏, 李清芳, 马成仓, 张建华. 珍珠梅和榆叶梅茎直径微变化及其原因. *天津师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 30(4): 46-49.
- [17] 张平, 汪有科, 湛景武, 张陆军. 红枣开花坐果期水分信息诊断指标适宜性分析. *灌溉排水学报*, 2010, 29(3): 94-97.
- [18] 王晓森, 孟兆江, 段爱旺, 刘祖贵. 基于茎直径变化监测番茄水分状况的机理与方法. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 107-113.
- [19] 李晓彬, 汪有科, 张平. 充分灌溉下梨枣树茎直径动态变化及 MDS 影响因子的通径分析. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 88-93.
- [20] 张寄阳, 段爱旺, 孟兆江, 刘祖贵, 陈金平, 刘战东. 不同水分状况下棉花茎直径变化规律研究. *农业工程学报*, 2005, 21(5): 7-11.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元