

旱季云南松松针水势变化规律*

胡清^{1,2}, 吕军², 李水冰², 廖周瑜¹, 段焰青³, 刘建宏¹, 叶辉²

(1.西南林业大学 林学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224;

2.云南大学 生物入侵与跨境生态安全实验室, 云南 昆明 650091;

3.红云红河烟草(集团)有限责任公司 技术中心 云南 昆明 650202)

摘要:近年来云南发生干旱,造成不同面积的云南松林受损.松针水势是反映松树体内水分状况的一个重要指标,可在一定程度上反映松树水分代谢能力,与松树生长发育及抗逆程度密切相关,也是探索水分胁迫对树木抗性影响的主要参数之一.作者跟踪测定了旱季不同阶段云南松松针水势的日变化,检测了云南松树冠各层松针水势变化规律,研究了松针水势变化与光照、温度、湿度变化之间的关系.研究表明,松针水势日变化总体呈白天低夜间高的基本格局,其在6—8时达到最高值,下午14时出现最低值.松针水势因松枝所在树冠高度略有不同,大体是随树冠高度层下降而升高.研究揭示,松针水势日变化受光照、温度和湿度等因素影响,与光照、温度呈负相关,与湿度呈正相关.

关键词:云南松;水势;环境胁迫

中图分类号:S 718.43;S 791.257 **文献标志码:**A **文章编号:**0258-7971(2014)03-0433-06

松针水势是反映松树体内水分状况的一个重要指标,可在一定程度上反映松树水分代谢能力,与松树生长发育及抗逆程度密切相关,也是探索水分胁迫对树木抗性影响的主要参数之一^[1-2].

20世纪80年代以来,云南切梢小蠹(*Tomicus yunnanensis*)在云南中部地区暴发成灾,造成云南松(*Pinus yunnanensis*)林大面积被毁,给当地的林业生产和生态环境造成了严重影响^[3-5].云南切梢小蠹大发生成因复杂,涉及气候、寄主森林年龄结构、寄主树木抗御能力、云南切梢小蠹及所携带蓝污真菌的危害能力等诸方面^[6-11].干旱胁迫对云南松树木水分亏缺产生直接影响,并由此作用于云南松的物质代谢和抗御能力,被认为是导致切梢小蠹大发生的关键因素之一^[9-10].

作为云南松水分状况与云南松抗性关系系统研究的一部分,本文拟从云南松松针水分入手,探讨云南切梢小蠹严重蛀害季节内云南松松针水势的变化趋势及日变化规律,阐释干旱胁迫对云南

松树木水分的影响,为揭示云南松抗性机制提供科学数据.

1 材料与方法

本研究在玉溪市易门县小旧村后山(北纬24°40',东经102°09')进行.该地属亚热带季风气候区,年均温16.3℃,年均降雨量为856.9 mm.11月至次年5月为旱季,降雨量为231.3 mm,占全年降雨的27%.实验森林为云南松纯林,种植于20世纪50年代末期,海拔1 802 m.

云南松松针水势测试分别在旱季早期(1999年11月13日)、中期(2000年1月13日)和末期(2000年5月13日)进行.选取长势正常,株高7.6~8 m,胸径28~30 cm,树冠大小一致的3株云南松作为样树,用高位枝剪从每株样树树冠的上、中、下3层分别随机剪取健康松梢3枝,从每个松梢上取正常松针3针检测松针水势,每2 h测定松针水势1次,连续进行24 h.水势测定仪为ZLZ-4型,由兰

* 收稿日期:2013-03-03

基金项目:国家自然科学基金(31360183).

作者简介:胡清(1988-),女,重庆人,硕士生,主要从事森林保护学研究.E-mail:455796176@qq.com.

通信作者:叶辉(1956-),男,重庆人,博士,教授,主要从事入侵生态学研究.E-mail:yehui@ynu.edu.cn.

州大学实验工厂制造.在松针水分测试过程中,同时监测样地气温、湿度和光照.光照采用 TD-1A 型照度计测得,气温采用普通气温表测得,湿度采用通风干湿球湿度表测得.所获数据采用 EXCEL 进行统计分析,采用 OriginPro 9.0.0 进行作图分析,采用 SPSS17.0 进行数据相关性分析.

2 结果与分析

2.1 旱季不同时期松针水势日变化 将旱季早、中、末各时期测得上、中、下各层水势总和平均,得到云南松松针水势日变化(图 1).3 个检测时间内,松针水势日变化均呈现夜间高白天低的基本格局,反映旱季松针水势日变化规律基本一致(图 1).

各时期松针水势最小值在一天中出现时间相同,即当日下午 14 时;而其最大值出现的时间在旱季早、中期相同,即早上 8 时,但在旱季末期为上午 6 时,较前两者提前 2 h(图 1).

旱季早、中、末期日平均水势为 (-0.70 ± 0.51) , (-0.98 ± 0.49) , (-1.181 ± 0.40) MPa.该结果表明,旱季早期松针水势最高,末期水势最低,旱季早、中、末期水势呈逐渐下降的趋势.旱季早期松针水势的变化幅度最大,在一天中的最大值与最小值相差 1.40 MPa.旱季末期松针水势的变化幅度最小,在一天中最大值与最小值相差 1.07 MPa.

上述测试结果表明,持续的干旱已导致云南松水势显著降低,同时也反映出旱季末是云南松从外界获得水分最困难的时期.

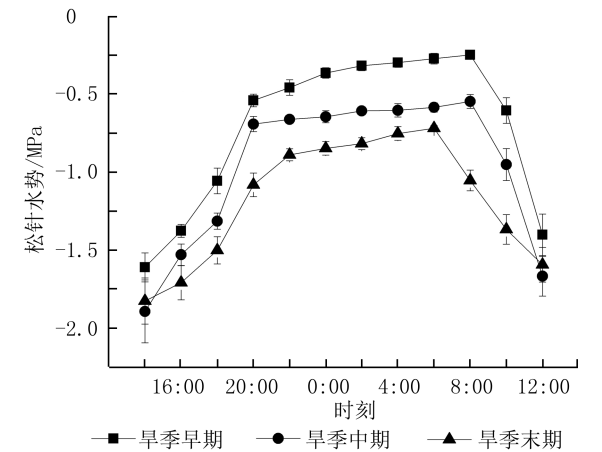


图 1 旱季早、中和末期云南松松针水势日变化

Fig.1 Daily variation of needle water potential of Yunnan pine trees in the early, middle and later phases of drought season

2.2 树冠各层松针水势日变化 树冠各层松针水

势在一定程度上反映了树干不同高度的松针水势情况.树冠各层松针水势日变化基本一致,总体上呈现出白天低夜间高的松针水势日变化规律(图 2).各冠层松针水势在每天 14 时降到最低,然后随时间推移迅速上升,至次日的 6—8 时升到最大值,次日 8—14 时,松针水势急剧下降,至 14 时降至最低(图 2).

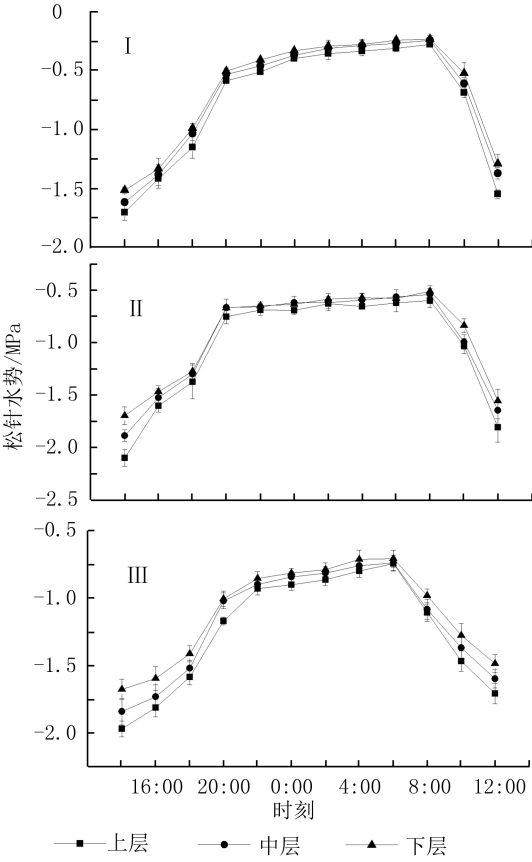


图 2 旱季早、中、末期云南松树冠各层松针水势日变化

Fig.2 Daily variation of needle water potential at different canopy heights of Yunnan pine trees in the early, middle and later phases of drought season

进一步分析表明,树冠各层松针水势最大值与最小值差异显著.就松针水势变化幅度而言,树冠各层松针水势在夜晚与白天相差明显.白天与夜晚相比,松针水势在白天变化幅度大,上午 8 时与下午 14 时相比,旱季早期上、中、下各层松针水势相差 1.42,1.38,1.28 MPa(图 2 I),旱季中期上、中、下各层松针水势相差 1.39,1.30,1.19 MPa(图 2 II),旱季末期上、中、下各层松针水势相差 0.86,0.76,0.69 MPa(图 2 III).

松针水势随树冠高度层而异.树冠上层松针水势最低,中层次之,树干下层的松针水势最高(图2).就树冠各层的水势变化比较而言,上层松针水势日变化最为强烈,中层次之,下层变化相较缓.14时为树冠水势变化最强烈的时期,此时树冠各层松针水势差异最大(如图2 I,在14时,上层松针水势与下层松针相比较而言,松针水势相差0.19 MPa).夜晚松针水势变化平缓(如图2 I,在20时,上层松针水势与下层松针相比较而言,松针水势相差0.08 MPa),树冠各层松针水势升高变缓,并相互接近,至每日6—8时露点时刻,树冠各层松针间的水势差异为全日最小.

2.3 松针水势与环境因素关系 对松针水势与湿度、光照及温度相关性分析表明,松针水势与大气湿度呈正相关,相关性显著性($y=0.03x-3.2, r=0.$

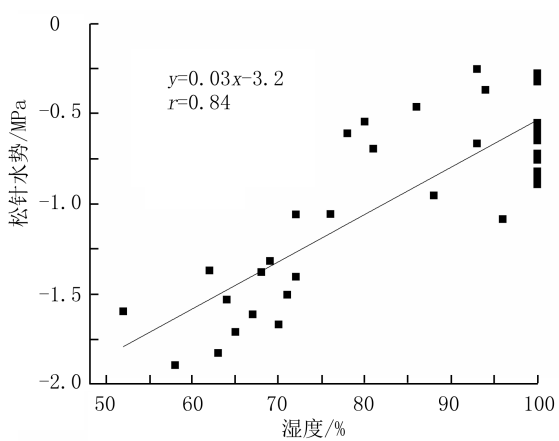


图3 松针水势与湿度变化关系
Fig.3 Diurnal changing curves of needle water potential of Yunnan pine trees and air humidity

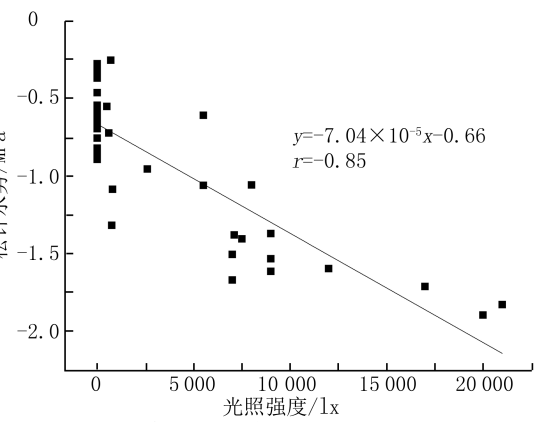


图5 松针水势与光照变化关系
Fig.5 Diurnal changing curves of needle water potential of Yunnan pine trees and light intensity

84, $p<0.01$),即松针水势随大气湿度增加而增大(图3).松针水势与温度呈负相关,相关性显著性($y=-0.05x-0.23, r=-0.83, p<0.01$),即松针水势随温度增高而降低(图4).松针水势与光照呈负相关,相关性显著性($y=-7.04\times10^{-5}x-0.66, r=-0.85, p<0.01$),即松针水势随光照增强而降低(图5).

3 讨论

水势是反映植物水分亏缺或水分状况的一个直接指标,它与土壤—植物—大气循环系统(SPAC)中的水分运动密切相关^[12].在干旱胁迫条件下,植物叶水势最敏感,在一定程度上可以作为反映树木水分代谢及抗御能力的基本参数^[13-14].

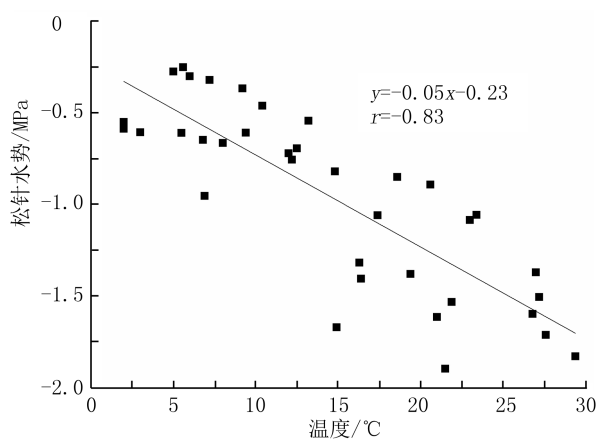


图4 松针水势与温度变化关系
Fig.4 Diurnal changing curves of needle water potential of Yunnan pine trees and air temperature

本实验研究云南松针水势变化,结果反映了云南松松针水势变化的基本规律,该规律不会由于时间的变化而发生变化,因此本实验数据仍然具有科学价值.

云南干湿季节分明,旱季出现时间大体为当年11月至次年4月,降水量仅为年降水量的10%左右^[15].本实验于旱季早、中和末期进行,首次检测了旱季3个节点时期水势的变化情况,揭示松针水势随干旱胁迫加大而明显下降,表明云南松水分获取随旱季推移趋于减少.同时,本研究揭示,云南松松针水势日变化呈现夜间高白天低的基本规律.松

针水势这一日变化特征与迄今报道的植物叶水势日变化趋势大体相同^[16-18], 桑叶水势、油松水势等日变化规律也呈现夜间高白天低的基本格局^[19-20]. 云南松松针水势白天变化剧烈, 夜间变化缓慢. 一天中, 松针水势变化范围很大, 表明松针水势的可塑性高即恢复到高水势的能力就强; 松针水势变化小, 表明松针受水分胁迫就越大. 旱季的不同时期, 松针水势变化幅度: 旱季早期为 1.40 MPa, 旱季中期为 1.36 MPa, 旱季末期为 1.07 MPa. 说明旱季末期松针受水分胁迫较大. 云南松松针水分含量影响着松脂分泌及松脂管道的形成, 而松脂对抗御云南切梢小蠹及其伴生菌发挥重要作用^[21-22]. 在干旱的季节或干旱生境中, 云南松水分含量低时, 其树脂分泌量及形成受到影响, 直接影响云南松的抗逆能力^[3, 11, 23]. 此外, 云南松松针水势的这一变化趋势与云南切梢小蠹蛀干危害期相吻合^[24]. 由此, 该研究结果为深入探索云南松抗御能力及云南切梢小蠹危害机制提供了有价值的线索.

清晨的水势可以很好地反映植物水分的恢复情况, 从而可以判断植物水分的亏损程度, 旱季的不同时期, 清晨松针恢复水势不同, 水势高低表现为旱季早期>旱季中期>旱季末期. 同时, 本研究证明, 松针水势在清晨变化趋缓, 尤其是不同树冠层的水势趋于一致, 故建议在研究松树水分状况时, 宜在清晨露点进行水势测定, 以便获得较为稳定的检测结果^[25].

旱季不同阶段云南松松针水势变化规律明显, 松针水势与光照和温度呈负相关, 与湿度呈正相关. 植物叶水势的变化规律是对外界环境条件变化的综合反映. 不同的土壤或盐分状态下, 光照、温度和湿度等气候因子对植物水势产生影响^[16, 26]. 本研究表明, 云南松松针水势与光照、大气相对湿度和大气温度都呈极显著相关, 这与阮成江、徐军亮、张鸣等^[26-28]研究结果一致. 此外, 本研究还发现针叶着生位置也对松针水势产生一定影响. 本研究结果不仅与过去同类研究相互佐证, 也为阐释松针水势的日变化规律提供了分析依据.

致谢: 诚挚感谢云南大学徐进及胡劲骥老师对英文摘要的修改.

参考文献:

- [1] 李德全, 邹琦, 程炳蒿. 测定植物组织的压力室法[J]. 山东农业科学, 1990(3): 46-48.
- [2] 廖周瑜, 叶辉, 吕军, 等. 不同温度下云南松对纵坑切梢小蠹半生菌的抗性变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1747-1750.
- [3] 叶辉. 纵坑切梢小蠹大发生的原因探讨[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1992, 14(2): 211-215.
- [4] 叶辉, 李隆术. 纵坑切梢小蠹蛀梢期空间分布[J]. 昆虫学报, 1994, 37(3): 311-315.
- [5] 叶辉. 纵坑切梢小蠹蛀梢期生物学特征[J]. 昆虫学报, 1996, 39(1): 58-62.
- [6] 廖周瑜. 纵坑切梢小蠹伴生菌——云南半帚孢(*Leptographium yunnanense*) 危害机理与云南松抗性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2002.
- [7] 叶辉, 吕军. 纵坑切梢小蠹蓝污真菌侵害云南松树组织解剖观察[J]. 林业科学, 2001, 37(6): 71-74.
- [8] 廖周瑜, 叶辉, 吕军. 温度对纵坑切梢小蠹伴生菌——云南半帚孢生长的影响[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 338-342.
- [9] LIAO Z Y, YE H, LYU J, et al. Effect of temperature resistance of *Pinus yunnanensis* to inoculation with *Leptographium yunnanense*, a pathogenic fungus associated with *Tomicus piniperda*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10): 1747-1750.
- [10] YE H. Approach to the reasons of *Tomicus Piniperda* (L.) population epidemic[J]. Journal of Yunnan University: Natural Science Edition, 1992, 14(2): 211-215.
- [11] 叶辉, 李隆术. 纵坑切梢小蠹蛀梢期空间分布[J]. 昆虫学报, 1994, 37(3): 311-315.
- [12] YE H, LI L S. The distribution of *Tomicus Piniperda* (L.) population in the crown of Yunnan Pine during the shoot feeding period[J]. Acta Entomologica Sinica, 1994, 37(3): 311-315.
- [13] 叶辉. 纵坑切梢小蠹蛀梢期生物学特征[J]. 昆虫学报, 1996, 39(1): 58-62.
- [14] YE H. Studies on the biology of *Tomicus Piniperda* (COL., Scolytidae) in the shoot-feeding period[J]. Acta Entomologica Sinica, 1996, 39(1): 58-62.
- [15] 廖周瑜. 纵坑切梢小蠹伴生菌——云南半帚孢(*Leptographium yunnanense*) 危害机理与云南松抗性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2002.
- [16] LIAO Z Y. Studies on the pathogenetic mechanism of *Leptographium yunnanense*, a fungus associated with *Tomicus piniperda*, and the resistance response of *Pinus yunnanensis* to the fungus[D]. Kunming: Yunnan University, 2002.
- [17] 叶辉, 吕军. 纵坑切梢小蠹蓝污真菌侵害云南松树组织解剖观察[J]. 林业科学, 2001, 37(6): 71-74.
- [18] YE H, LYU J. The histological observations on invasion of blue-stain fungi(*Leptographium Yunnanense*)[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(6): 71-74.
- [19] 廖周瑜, 叶辉, 吕军. 温度对纵坑切梢小蠹伴生菌——云南半帚孢生长的影响[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 338-342.
- [20] LIAO Z Y, YE H, LYU J. Influence temperature n the growth of fungus(*Leptographium yunnanense*) associated with *Tomicus piniperda*[J]. Forest Research, 2002, 15(3): 338-342.

- [9] 陈鹏,周楠,赵涛,等.云南松林分状况与松纵坑切梢小蠹危害的关系[J].东北林业大学学报,2004,32(5):13-15.
CHEN P,ZHOU N,ZHAO T,et al.Relationship between stand status of *Pinus yunnanensis* and damage of *Tomicus piniperda*[J].Journal of Northeast Forestry University,2004,32(5):13-15.
- [10] 李丽莎,刘宏屏,周楠,等.松小蠹综合控制技术研究[J].西部林业科学,2004,33(1):62-71.
LI L S,LIU H P,ZHOU N,et al.Study on the integrated control techniques of *Tomicus Piniperda*[J].Journal of West Forestry Science,2004,33(1):62-71.
- [11] 廖周瑜,叶辉,吕军,等.干季中云南松对纵坑切梢小蠹伴生菌(*Leptographium yunnanense*)抗性的变化[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(9):84-88.
LIAO Z Y,YE H,LYU J,et al.Resistance response of *Pinus yunnanensis* to inoculation with *Leptographium yunnanense*, a fungus associates with *Tomicus piniperda* during the drought season[J].Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition,2004,32(9):84-88.
- [12] 李洪建,王孟本,柴宝峰.黄土区4个树种水势特征的研究[J].植物研究,2001,21(1):104-110.
LI H J,WANG M B,CHAI B F.A study on water potential characteristics in four tree species in loess region[J].Bulletin of Botanical Research,2001,21(1):104-110.
- [13] 付爱红,陈亚宁,李卫红,等.干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展[J].中国沙漠,2005,25(5):744-749.
FU A H,CHEN Y N,LI W H,et al.Research advances on plant water potential under drought and salt stress[J].Journal of Desert Research,2005,25(5):744-749.
- [14] ZHU L H,PEPPEL A V D,LI X Y,et al.Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions[J].Scientia Horticulturae,2004,99(2):133-141.
- [15] 刘瑜,赵尔旭,黄玮,等.初夏孟加拉湾低压与云南雨季开始时期[J].高原气象,2007,26(3):572-578.
LIU Y,ZHAO E X,HUANG W,et al.The lows over the bay of Bengal in early summer and beginning time of rainy season of Yunnan Province[J].Plateau Meteorology,2007,26(3):572-578.
- [16] 刘玉燕,王艳荣,杨迎春.半干旱地区草坪草和主要杂草水势日变化特征分析[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2003,34(3):308-311.
LIU Y Y,WANG Y R,YANG Y C.An analysis of diurnal changes of water potential of lawn grass and weeds in semiarid zone[J].Journal of Inner Mongolia Agricultural University:Natural Science Edition,2003,34(3):308-311.
- [17] 白瑞琴,孙丽华,吕占江,等.不同砧木苹果树水势日变化的研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2000,21(1):63-68.
BAI R Q,SUN L H,LYU Z J.Study on daily variation of water potential of apple trees of different stocks[J].Journal of Inner Mongolia Agricultural University:Natural Science Edition,2000,21(1):63-68.
- [18] 杨丽涛,陈超军,李杨璐,等.甘蔗叶片气体交换及对光的影响应用水势的日变化[J].甘蔗,2002,9(2):1-9.
YANG L T,CHEN C J,LI Y L.Diurnal variation in gas exchange,water potential and light response curve in two sugarcane varieties[J].Sugarcane,2002,9(2):1-9.
- [19] 李卫国,杨吉华,冀宪领,等.不同桑树品种水分生理特性的研究[J].蚕业科学,2003,29(1):24-27.
LI W G,YANG J H,JI X L.Study on the characteristics of water physiology of different varieties of mulberry[J].Science of Sericulture,2003,29(1):24-27.
- [20] 王华田,马履一,徐军亮.油松人工林 SPAC 水势梯度时空变化规律及其对边材叶流传输的影响[J].植物生态学报,2004,28(5):637-643.
WANG H T,MA L Y,XU J L.Water potential and its impact on sapwood flow velocity[J].Acta Phytocologica Sinica,2004,28(5):637-643.
- [21] BIOS E,LIEUTIER F.Histological observations on the interaction between *Leptographium wingfieldii* Morelet and *Pinus sylvestris* L.[C]//LIEUTIER F,MATTSON W J,WAGNER M R:Physiology and Genetics of tree-phytophage interaction (international symposium).INRA,Paris,1997:91-99.
- [22] LIEUTIER F,BERRYMAN A A.Preliminary histological of the defense reaction on three pines to *Ceratodystis clavigera* and two chemical elicitors[J].Can J For Res,1988,18:1 243-1 247.
- [23] 李丽莎,王海林,柴秀山,等.纵坑切梢小蠹与环境关系研究[J].西部林业科学,2004,33(1):62-71.
LI L S,WANG H L,CHAI X S.Study on relationship between damage of *Tomicus Piniperda* and its environment[J].Journal of West China Forestry Science,2004,33(1):62-71.
- [24] 叶辉,吕军,陈鹏,等.云南切梢小蠹[M].昆明:云

- 南科技出版社,2012.
- YE H, LYU J, CHEN P, et al. *Tomicus yunnanensis* [M]. Kunming: Yunnan Science Press, 2012.
- [25] 段焰青, 李天星, 杨涛, 等. 云南松松针水势日变化[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1999, 21(5): 410-412.
- DUAN Y Q, LI T X, YANG T. A study on the daily water fluctuation of water potential in *Pinus Yunnanensis* needles[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 1999, 21(5): 410-412.
- [26] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘叶水势及其影响因子[J]. 陕西林业科技, 2000(1): 1-4.
- RUAN C J, LI D Q. Leaf water potential of seabuckthorn and influence factors in the semiarid loess hilly region [J]. Shanxi Forest Science and Technology, 2000(1): 1-4.
- [27] 徐军亮, 马履一, 王华田. 油松人工林 SPAC 水势梯度的时空变异[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(5): 1-5.
- XU J L, MA L Y, WANG H T. Spatial-and-temporal variation laws of SPAC water potential gradient of *P. tabulaeformis* plantation[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(5): 1-5.
- [28] 张鸣, 张仁陟, 蔡立群. 不同耕作措施下春小麦和豌豆叶水势变化及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1467-1474.
- ZHANG M, ZHANG R Z, CAI L Q. Leaf water potential of spring wheat and field pea under different tillage patterns and its relationships with environmental factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1467-1474.

Fluctuation of needle water potential in *Pinus yunnanensis* trees during the drought season

HU Qing^{1,2}, LYU Jun², LI Shui-bing², LIAO Zhou-yu¹, DUAN Yan-qing³, LIU Jian-hong¹, YE Hui²

(1. Faculty of Forestry, Southwest Forestry University, Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, Kunming 650224, China;

2. Laboratory of Biological Invasion and Transboundary Ecoscience, Yunnan University, Kunming 650091, China;

3. Technology Center of Hongyunhonghe Tobacco Group, Kunming 650202, China)

Abstract: The pine forests were damaged in various degrees because of the drought in Yunnan Province in recent years. Water potential of pine needle is an important index of water content of pine trees, which reflects the water metabolism of pine trees to a certain degree. Pine needles' water potential is closely related to the pine trees' growth and adversity resistance and is one of the main parameters for estimating how water stress influences the drought resistance of the trees. The daily fluctuation of water potential in needles from different positions of Yunnan pine (*Pinus yunnanensis* Franchet) trees was measured during different stages of a dry season in this study. The relationships between needles' water potential and the changes of illumination, temperature or humidity were also analyzed and discussed. The results indicated that the diurnal variation of needles water potential was affected by biotic and abiotic factors such as trees height, illumination, temperature and humidity. The results also showed that needles water potential was positively correlated to humidity, but negatively correlated to temperature, illumination and the pine needles' positions on a tree. The water potential had a diurnal decrease and a nocturnal increase, which peaked from 6 a.m to 8 a.m and declined to the minimum at 2 p.m.

Key words: *Pinus yunnanensis*; water potential; environment stress