

滨海盐碱地不同衰退程度刺槐树干液流规律

秦永建¹, 贾波², 毛培利², 曹帮华²

(1. 山东省林木种苗和花卉站, 山东 济南 250014; 2. 山东农业大学, 山东 泰安 271018)

摘要:以滨海盐碱地 31 a 衰退刺槐为研究对象,采用 TDP 树干液流测定系统测定树干边材液流变化规律,同时进行全自动微型气象站全天候检测林分气象和土壤生态环境因子。结果表明:衰退树木同方位同高度液流速率降低,高度愈大下降愈快,树木衰退与液流速率呈显著相关。正常树体液流速率日变化呈宽峰曲线,随着衰退程度的增加逐渐变为窄峰,树体液流启动时间晚,开始迅速,下降时间早;正常树体 1.5 m 处液流启动时间在每天 7:00 左右,12:30 左右出现峰值,19:00 左右开始迅速下降,中等衰退树体在 7:30 左右启动,13:30 左右出现峰值,18:30 左右迅速下降,严重衰退树体在 9:30 左右启动,12:00 左右出现峰值,17:30 左右迅速下降,随高度增加,启动时间、峰值出现时间和下降时间提前。北侧液流速率显著高于南侧,随着衰退程度增加,南北侧液流速率相差减小。健康木不同高度液流速率 6 m>4 m>1.5 m,随着衰退程度增加,6 m 和 4 m 液流速率减小,不同高度速率差异变小。南北方位液流速率相差显著,北侧显著大于南侧。

关键词:滨海盐碱地;刺槐;树干液流;TDP

中图分类号:S718.512 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)06-0045-05

A Study on Variation of Stem Sap Flow of Declined *Robinia pseudoacacia* in Costal Saline Soil

QIN Yong-jian¹, JIA Bo², MAO Pei-li², CAO Bang-hua²

(1. Shandong Forestry Seed and Flower Station, Jinan, Shandong 250014, China;

2. Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: Taking the 31 a black locust growing in the coastal saline-alkali area as research objects, variations of stem sap flow were measured by TDP (thermal dissipation sap flow velocity probe). Meanwhile, meteorological and soil ecological and environmental factors were measured by the automatic micro-weather station. The sap flow velocity of declined black locust at the same direction and height decreased, the higher the tree height, the faster the decrement. There were significant correlations between declined black locust and sap flow velocity. The daily variation of normal black locust sap flow velocity could be described with a broad peak. But with the increase of the declining degree, the curve turn to be a narrow peak, and the sap flow started later, then decreased rapidly. The sap flow of normal black locust at 1.5 m started to increase at about 7:00, and reached to the peak value at about 12:30, then decreased quickly at about 19:00. The sap flow of black locust with mediate decline degree started to increase at about 7:30, and reached to the peak value at about 13:30, then decreased quickly at about 19:00. The sap flow of the trees close to death started to increase at about 9:30, and reached to the peak value at about 12:00, then decreased quickly at about 17:30. With the increase of the tree height, starting time, reaching peak time, and decreased time were advanced. The sap flow in the north side was significant higher than in the south side, with the increase of the

收稿日期:2016-03-25 修回日期:2016-07-18

基金项目:国家自然科学基金(30950016)。

作者简介:秦永建,男,工程师,研究方向:森林培育、林木遗传育种、林木种苗。E-mail:qinyjlab@126.com

declining degree,the value of difference of the sap flow between two sides decreased. The sap flow of different heights was in the order of $6 > 4 > 1.5$ m,with the increase of the declining degree,the sap flow of 6 m and 4 m decreased. There were significant differences between the sap flow in two sides,and the sap flow in the north side was significant higher than in the south side.

Key words:coastal saline-alkali area; *Robinia pseudoacacia* ; stem sap flow; thermal dissipation probe

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是黄河三角洲滨海盐碱地地区最主要的造林树种,占造林总面积的90%以上。刺槐以其生长速度快、耐干旱、耐瘠薄的特点,已成为干旱半干旱地区的水土保持树种和主要造林树种^[1-2]。

热扩散技术是在基本保持树木自然生活状态不变的条件下,根据电热转换和能量平衡原理测定树干边材液流的运移速率,求得单木整株液流量。环境条件对液流的影响非常大,树干液流内的养分含量因为植被类型和树种的不同而差异很大^[3],对森林土壤的影响也不同^[4],但不同环境因子影响程度和影响方式不同^[5-6]。本研究采用 TDP 液流系统测定不同衰退程度刺槐边材液流,研究盐逆境条件下不同衰退程度刺槐树干液流特征,分析林分退化发生的液流条件,对探讨林木枯萎死亡及退化机制及防止刺槐林衰退具有实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在山东省河口区进行,该地地处黄河三角洲东北部,属华北半湿润大陆性气候,年平均气温 12.1℃,年降水量 574.4 mm,年蒸发量 1 860.4 mm,无霜期 198 d。试验区为冲积性黄土母质在海浸母质上沉积而成,机械组成以粉沙为主,沙粘相间,层次变化复杂。由于土壤发育时间相对较短,尚未形成良好结构。地下水位约 1.5 m,水质矿化度较高。天然植被以盐生、湿生的禾本科芦苇、茅草以及田旋花、狗尾草为主。气象资料由试区气象站提供。

1.2 试验林分概况

刺槐纯林于 1985 年春季采用 1 年生苗营造,株行距为 2.5 m×3 m,翌年用同龄苗进行补植,造林当年林地间作豆类,第 2、3 年进行机械除草 1 次。由于缺乏经常性的管护,目前林分生长状况一般。

1.3 研究方法

以树干衰退程度结合侧枝状况将衰退刺槐分为健康木、中等木和濒死木(表 1)。根据测定对象胸径,选择标配 10 cm 探针,选取树干通直、不偏心、不偏冠的刺槐单株作为试验对象,对树木表面的安装位置进行处理。削去树皮,清理出适合面积,将定位

器平放,打孔。将探头插入树干,连接好其他各部分。设置时间梯度为 30 min。测定不同高度(1.5、4.0、6.0 m)、南北方位边材液流。同时,在样地内安装自动气象站,实现树干液流和气象因子数据的同步自动采集,采集时间间隔为 30 min。采集大气温度(X_{Temp})、相对空气湿度(X_{RH})、20 cm 土壤温度(X_{ST})、风速、太阳总辐射(X_{SR})、有效净辐射(X_{PAR})等因子。

表 1 不同衰退单株生长调查

Table 1 Characteristics of the sample of different declining degrees

单木类型	树高/m	胸径/cm	冠幅/m ²
健康木	10.15	14.6	3.4×2.8
中等木	10.20	14.4	2.8×2.6
濒死木	10.05	14.5	2.1×2.3

2 结果与分析

2.1 不同衰退程度刺槐树干液流差异

选取 5 个典型连续晴天的液流速率的日变化,不同衰退程度的不同高度南北方位的液流速率(图 1)表明,不同衰退程度刺槐各高度和方位树干边材液流速率有明显差异,相同高度液流速率,健康木>中等木>濒死木,北侧液流速率>南侧。健康木液流速率随高度增加而速率增大,以健康木为对照,中等木 6.0 m 高处液流速率降低,4.0 m 和 1.5 m 的液流速率变化较小,液流速率:4.0 m>6.0 m>1.5 m;濒死木 6.0 m 和 4.0 m 液流速率下降明显,6.0 m 下降剧烈,液流速率:1.5 m>4.0 m>6.0 m,同时出现 1.5、6.0 m 与 4.0 m 液流速率值出现交叉现象。夜间也有液流,但流速较小,与樊敏^[7]研究相差较大,这可能与滨海盐碱地土壤条件造成根压较小所致。

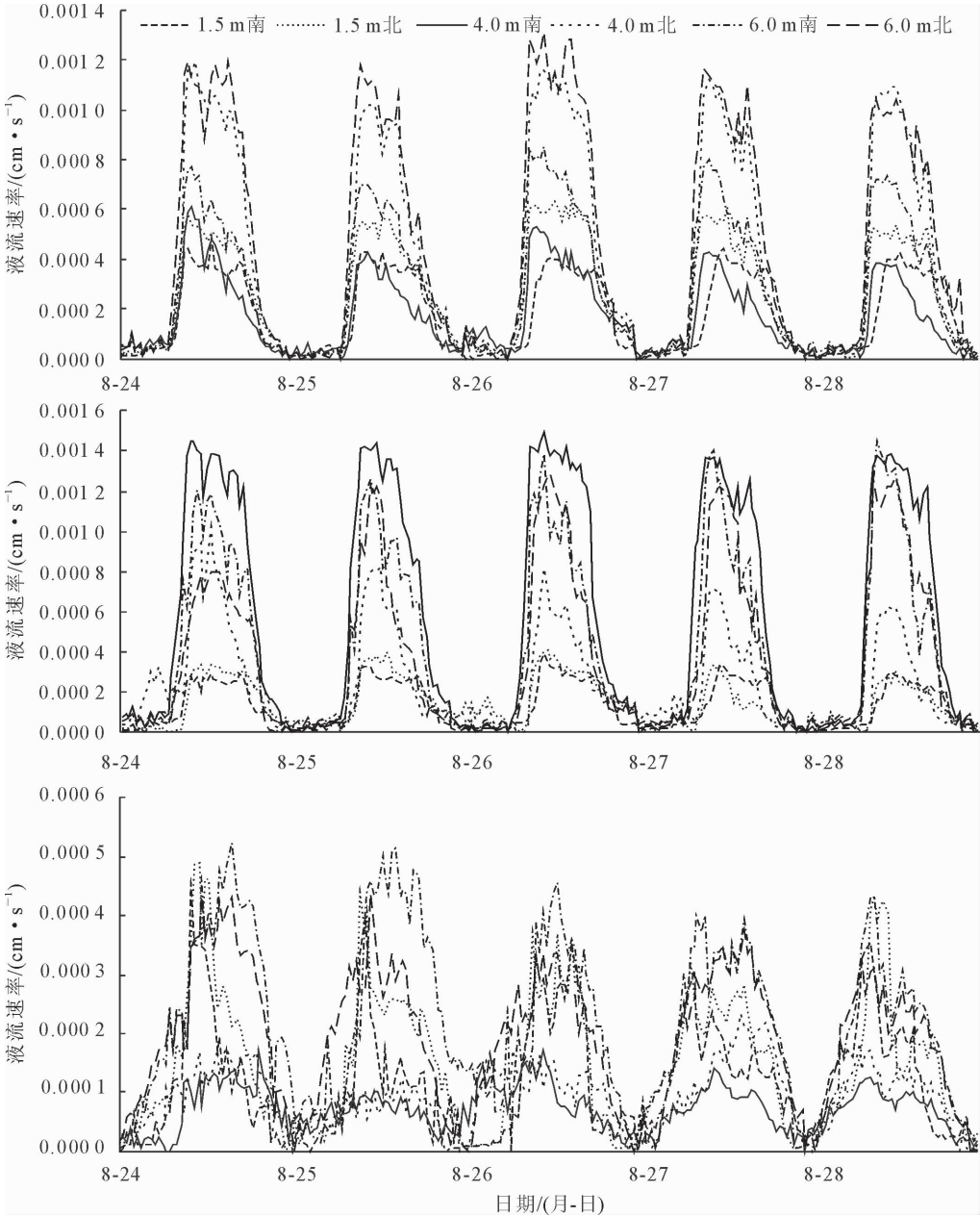
2.1.1 不同高度刺槐树干液流速率变化 树高 1.5 m 处健康刺槐液流曲线为宽峰曲线,宽峰值之间有波动,每天 7:00 左右启动,12:30 左右出现峰值,19:00 左右始迅速下降;中等衰退树体在 7:30 左右启动,13:30 左右出现峰值,18:30 左右迅速下降;严重衰退树体在 9:30 左右启动,12:00 左右出现峰值,17:30 左右迅速下降。

4.0 m 处健康刺槐峰值变宽,液流高速时间长,启动、到达峰值和迅速下降时间基本不变;中等木峰

值变窄,呈单峰趋势,启动时间提前约 30 min,达到峰值时间 12:00 左右,19:00 左右迅速下降;濒死木液流曲线呈明显的单峰曲线,启动时间推迟,迅速下降时间提前,保持高速液流时间缩短。

6.0 m 处健康木液流曲线呈现双峰趋势,在 8:00 和 15:00 左右各出现峰值,高速液流保持时间增

加;中等木曲线呈单峰曲线,峰值出现时间推迟,迅速下降时间提前;濒死木曲线不规则,呈现“V”型趋势,启动时间在 5:00—7:00,峰值出现时间不确定,一般出现在 9:00—15:30,迅速下降时间在 18:30 左右。



注:从上到下依次为健康木、中等木和濒死木。

图 1 衰退刺槐不同高度、方位树干液流速率

Fig. 1 Sap flow velocity of declind black locust of different heights and positions

2.1.2 不同方位刺槐树干液流速率变化 南北方位液流速率差异明显,1.5 m 处北侧液流速率明显>南侧,健康木南北差异小,峰值出现时间不同,南面峰值较北面滞后 30 min 左右,中等木北面液流速率显著高于南面,濒死木则出现相对不规则,高于 6.0 m 南面液流。中等木 6.0 m 南北面液流速率出

现交叉现象,但总体北面高于南面,濒死木出现异常,南面液流速率>北面,但峰值相差不大。

2.2 大气因子与刺槐树干液流速率的相关分析

大气温度(X_{Temp})、相对空气湿度(X_{RH})、20 cm 土壤温度(X_{ST})、风速、太阳总辐射(X_{SR})、有效净辐射(X_{PAR})均呈显著相关(表 2)。当前树干液流速率

的高低很可能受之前的环境因子的影响^[8-9],现存环境因子同步分析结果表明,液流速率的变化曲线与大气温度、土壤温度(20 cm)、风速、太阳总辐射、有效净辐射呈同步趋势。

通过树干液流速率与相关显著因子进行逐步回归分析,树高 1.5 m 处北侧液流与气象因子的回归方程为:

健康木: $Y=0.000\ 900\ 78+0.000\ 029\ 63X_{Temp}-0.000\ 002\ 21X_{RH}-0.000\ 046\ 73X_{ST}-0.000\ 000\ 38$

X_{PAR}

中等木: $Y=0.005\ 77+0.000\ 059\ 46X_{Temp}-0.000\ 003\ 57X_{RH}-0.000\ 253\ 31X_{ST}+0.000\ 001\ 45X_{SR}$

濒死木: $Y=0.001\ 78+0.000\ 008\ 84X_{Temp}-0.000\ 080\ 53X_{ST}+0.000\ 001\ 10X_{SR}-0.000\ 000\ 63$

X_{PAR}

式中, y 为因变量, x 为自变量, $Temp$ 为温度, RH 为相对湿度, ST 为土壤温度, SR 为太阳总辐射, PAR 为有效净辐射, E 为风速。

表 2 树干液流与大气因子相关系数

Table 2 Matrix of coefficients between sap flow velocity and atmospheric factors

	方位	高度 /m	温度	相对湿度	土壤温度 (20 cm)	风速	土壤含水量 (20 cm)	太阳总辐射	净辐射
健康木	南侧	1.5	0.861**	-0.826**	-0.304**	0.605**	0.034	0.676**	0.710**
		4.0	0.723**	-0.705**	-0.535**	0.664**	-0.111	0.769**	0.746**
		6.0	0.794**	-0.759**	-0.550**	0.642**	0.031	0.809**	0.800**
	北侧	1.5	0.834**	-0.807**	-0.499**	0.644**	0.035	0.772**	0.776**
		4.0	0.844**	-0.818**	-0.489**	0.687**	-0.027	0.839**	0.843**
		6.0	0.846**	-0.809**	-0.500**	0.652**	-0.010	0.802**	0.807**
中等木	南侧	1.5	0.837**	-0.816**	-0.374**	0.596**	0.016	0.700**	0.726**
		4.0	0.860**	-0.826	-0.476**	0.648**	-0.004	0.817**	0.821**
		6.0	0.830**	-0.807	-0.494**	0.647**	0.005	0.851**	0.851**
	北侧	1.5	0.739**	-0.781**	-0.387**	0.592**	-0.093	0.676**	0.688**
		4.0	0.730**	-0.736**	-0.420**	0.639**	-0.209**	0.797**	0.771**
		6.0	0.804**	-0.776**	-0.500**	0.610**	0.083	0.825**	0.839**
濒死木	南侧	1.5	0.577**	-0.532**	-0.598**	0.502**	0.094	0.671**	0.612**
		4.0	0.475**	-0.590**	-0.356**	0.334**	-0.008	0.527**	0.533**
		6.0	0.718**	-0.758**	-0.341**	0.540**	-0.098	0.592**	0.598**
	北侧	1.5	0.708**	-0.717**	-0.478**	0.631**	-0.010	0.707**	0.668**
		4.0	0.553**	-0.557**	-0.340**	0.373**	0.082	0.486**	0.516**
		6.0	0.716**	-0.750**	-0.384**	0.488**	-0.110	0.651**	0.648**

注: * * 示极显著相关($P<0.01$)。

3 结论与讨论

滨海盐碱地刺槐健康木边材液流的日变化呈宽峰形曲线,液流启动时间在每天 7:00 左右,12:30 左右出现峰值,19:00 左右开始迅速下降。不同树高处液流速率大小:6 m>4 m>1.5 m。随衰退程度增加,6.0 m 和 4.0 m 树高处液流速率变化较大。这与多个树种的树干液流特征相似^[10-11]。南北方位液流速率总体为北侧>南侧。也有研究表明,液流速率与方位的显著性关系与树种有关^[12-13]。

树干边材液流速率与衰退存在明显的相关性。高度愈大,相关性愈大。刺槐个体衰退首先从高处开始,体现液流速率下降。这与树体衰退的表观相符合,个体衰退是从高处开始,随后向下进行。而个体边材液流速率高度愈大,相对正常个体下降愈大,基部速率下降相对较小。

刺槐树干边材液流速率与多个大气因子显著相关。通过对 3 种类型刺槐进行逐步回归分析,可得

1.5 m 处北侧液流与环境因子方程。

阴天时刺槐边材液流速率无规律,夜间存在较大液流,无明显启动时间、峰值到达时间和迅速下降时间,与天目山柳杉树干液流变化不同,阴天日变化呈单峰曲线^[14]。

由于条件限制,不同直径衰退个体的边材液流速率的变化未能同时测定,通过本试验测定,边材液流速率大的衰退部位下降愈大,边材液流速率大的部位愈易衰退,依据刺槐不同直径液流速率的研究,直径愈小,液流速率愈大。也有研究发现,树干液流量与树种、冠幅等密切相关^[15],影响树体内离子分布^[16],据此推测同年份树体,直径小的衰退个体边材液流速率下降愈快,小直径的个体愈容易衰退。刺槐春季边材液流速率>秋季,以此推测,衰退刺槐个体在春季边材液流速率下降幅度大。同时,研究发现刺槐混交林树干液流速率>纯林刺槐^[17],在滨海盐碱地营造混交林在衰退角度效果优于纯林。

参考文献:

[1] 茹桃勤,李吉跃,孔令省,等. 刺槐耗水研究进展[J]. 水土保持研究,2005,12(2):135-140.

[2] 单长卷. 土壤干旱对刺槐幼苗水分生理的影响[J]. 安徽农业科学,2005,33(10):1852-1853.

[3] 李海涛,韩兴国,陈灵芝. 华北暖温带山地落叶阔叶混交林的茎流研究[J]. 生态学报,1997,17(4):371-376.
LI H T, HAN X G, CHEN L Z. A study on the stemflow of the deciduous broad-leaver mixed forest in the warm temperate zone of northern China [J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17 (4): 371-376. (in Chinese)

[4] 叶激华,吴初平,张 骏,等沿海防护林主要树种的树干液流特性[J]. 浙江林业科技,2015,35(2):22-26.

[5] 孙鹏森. 京北水源保护林树种不同尺度耗水特性及林分配置的研究[D]. 北京:北京林业大学,2000.

[6] 王华田. 林木耗水性研究述评[J]. 世界林业研究,2003,16(2):23-27.

[7] 樊敏,马履一,王瑞辉. 刺槐春夏季树干液流变化规律[J]. 林业科学,2008,44(1):41-45.
FAN M, MA L Y, WANG R H. Variation of stem sap flow of *Robinia pseudoacacia* in spring and summer[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(1): 41-45. (in Chinese)

[8] 王慧梅,孙伟,祖元刚,等. 不同环境因子对兴安落叶松树干液流的时滞效应复杂性及其综合影响[J]. 应用生态学报,2011,22(12):3109-3116.
WANG H M, SUN W ,ZU Y G, *et al.* Complexity and its integrative effects of the time lags of environment factors affecting *Larix gmellnll* stem sap flow [J]. Chinese Journal of Applled Ecology, 2011, 22(12): 3109-3116. (in Chinese)

[9] 王华,欧阳志云,郑华,等. 北京绿化树种油松、雪松和刺槐树干液流的空间变异特征[J]. 植物生态学报,2010,34(8):924-937.
WANG H, OUYANG Z Y, ZHENG H, *et al.* Characteristics of spatial variations in xylem sap flow in urban greening tree species *Pinus tabulaeformis*, *Cedrus deodara* and *Robinia pseudoacacia* in Beijing, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(8): 924-937. (in Chinese)

[10] 李广德,付海曼,贾黎明. 银杏树干边材液流及水容特性研究 [J]. 西北林学院学报,2014,29(4):54-58.
LI G D, FU H M, JIA L M. Studies on the characteristics of xylem sap flow and water capacitance of *Ginkgo bilaba* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(4): 54-58. (in Chinese)

[11] 殷秀辉,程飞,张硕新. 油松树干液流特征及其与环境因子的关系[J]. 西北林学院学报 2011,26(5):24-29.
YIN X H, CHENG F, ZHANG S X. Variation of stem sap flow of *Pinus tabulaeformis* and its impact factors[J]. Journal of North-west Forestry University, 2011, 26(5): 24-29. (in Chinese)

[12] LU P, MULLER W J, CHACKO E K. Spatial variations in xylem sap flux density in the tuunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions[J]. Tree Physiology, 2000, 20(10): 683-692.

[13] 马玲,赵平,饶兴权,等. 马占相思树干液流特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,2005,25(9):2145-2151.
MA L, ZHAO P, RAO X Q, *et al.* Effects of environment factors on sap flow in *Acacia manglum* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2145-2151. (in Chinese)

[14] 杨广远,张涛,戴锋,等. 天目山柳杉树干液流春秋季节特征及影响因素分析[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):8-14.
YANG G Y, ZHANG T, DAI F, *et al.* Characteristics of stem sap flow of *Cryptomeria fortunei* and relevant factor analysis in spring and autumn at Mount Tianmu [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 8-14. (in Chinese)

[15] 郑金萍,赵东宁,张宁,等. 天然次生林群落不同树种树干茎流研究[J]. 北华大学学报:自然科学版,2013,14(1):77-81.
ZHENG J P, ZHAO D N, ZHANG N. *et al.* On stem flow for different tree species in natural secondary forest [J]. Journal of Beihua University: Natural Science, 2013, 14(1): 77-81. (in Chinese)

[16] 李从娟,雷加强,徐新文,等. 树干液流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制[J]. 生态学报,2012,32(5):4821-4826.
LI C J, LEI J Q, XU X W, *et al.* The effects of stemflow on the formation of fertile island and salt island for *Haloxyylon ammodendron* Bge [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 4821-4826. (in Chinese)

[17] 唐全,曹帮华,张玉娟,等. 两种小环境下刺槐树干液流变化规律的研究[J]. 山东大学学报:理科版,2011,46(1):6-10.
TANG Q, CAO B H ,ZHANG Y J, *et al.* Studies on variation of sap flow of *Robinia pseudoacacia* in two microenvironments [J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2011, 46(1): 6-10. (in Chinese)

[14] 邱媛,管东生. 经济快速发展区域的城市植被叶面降尘粒径和重金属特征[J]. 环境科学学报,2007,27(12):2080-2087.
QIU Y, GUAN D S. Particulate size and heavy metal accumulation in foliar dust from urban vegetation in rapidly developing cities [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(12): 2080-2087. (in Chinese)

[15] SÆBØ A, POPEK R, NAWROT B, *et al.* Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces [J]. Science of the Total Environment, 2012, 427/428: 347-354.

[16] 王会霞,王彦辉,杨佳,等. 不同绿化树种滞留 PM_{2.5} 等颗粒污染物能力的多尺度比较[J]. 林业科学,2015,51(7):9-20.
WANG H X, WANG Y H, YANG J, *et al.* Multi-scale comparisons of particulate matter and its size fractions deposited on leaf surfaces of major greening tree species [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(7): 9-20. (in Chinese)

[17] GRANTZ D A, GARNER J H B, JOHNSON D W. Ecological effects of particulate matter [J]. Environment International, 2003, 29(2): 213-239.

[18] 谢英赞,何平,方文,等. 北碚城区不同绿地类型常用绿化树种滞尘效应研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2014,39(1):1-8.
XIE Y Z, HE P, FANG W, *et al.* On dust retention effect of common greening tree species in Beibei District [J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2014, 39(1): 1-8. (in Chinese)

(上接第 44 页)