

杨树无性系蒸腾速率及其影响因子的研究^{*}

陈安强¹, 房 用², 慕宗昭³, 马 啸⁴, 杨吉华¹

(1. 山东农业大学 林学院水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 山东省林业科学 研究院, 济南 250014; 3. 山东省林
业引用外资项目办公室, 济南 250014; 4. 山东省阳谷县 林业局, 山东 阳谷 252300)

摘 要:对山东省高密市栽植的 7 个杨树无性系的蒸腾速率及其影响因子进行了研究, 结果表明: 7 个杨树无性系的气孔导度与蒸腾速率变化趋势基本一致, 白天变化趋势均成单峰型, 7 个杨树无性系的最大蒸腾速率大小顺序为: I-107 > NL95 > L35 > L323 > 中林 46 > 中天杨 > NL895, 白天测定时段的平均蒸腾速率大小顺序为: I-107 > L35 > NL95 > L323 > 中林 46 > 中天杨 > NL895, 蒸腾速率与气孔导度的相关性最显著, 气孔导度和蒸腾速率与各影响因子呈很好的多元线性函数关系, 7 个杨树无性系的蒸腾速率与树高、胸径和单株材积呈正相关关系。

关键词: 杨树无性系; 气孔导度; 蒸腾速率; 影响因子; 单株材积

中图分类号: S715.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0157-04

Studies on Transpiration Rate and Its Influencing Factors of Seven Poplar Clones

CHEN An-qiang¹, FANG Yong², MU Zong-zhao³, MA Xiao⁴, YANG Ji-hua¹

(1. Soil and Water Conservation Department of Forest College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Shandong Academy of Forest Sciences, Ji'nan 250014, China; 3. Foreign Affairs Office at Shandong Forestry Department, Ji'nan 250014, China; 4. Forestry Bureau of Yanggu County, Yanggu, Shandong 252300, China)

Abstract: The transpiration rate with their influencing factors was studied based on the observation and research of the samples selected from 7 varieties of poplar clones induced in Gaomi city in Shandong province. The results show that general daily changing tendency of 7 poplar clones is generally unanimous with single-apex curve. In addition, changing tendency of transpiration rates is just the same as that of the stomatal conductance. The daily the biggest transpiration rates are of the following order, TrI-107 > Tr NL95 > Tr L35 > Tr L323 > Trzhonglin46 > Trzhongtianyang > Tr NL895, The daily average transpiration rates are of the following order, Tr I-107 > Tr L35 > Tr NL95 > Tr L323 > Trzhonglin46 > Trzhongtianyang > Tr NL895. The mutuality between transpiration rate and stomatal conductance is the most prominent. The relationship between stomatal conductance and transpiration rate with their influencing factors are multivariate linear function, transpiration rates of 7 poplar clones have positive correlation with the H, D and V.

Key words: poplar clones; stomatal conductance; transpiration rates; influencing factors; single volume

蒸腾作用是植物体内水分以气体状态向外界散失的过程, 植物吸收的水分绝大部分消耗在蒸腾作用过程中。蒸腾速率是反映植物蒸腾作用的一个重要指标, 它能调节植物体的生理机制, 使植物适应环境变化^[1]。蒸腾强度影响着植物的水分状况, 在一定程度上反映了植物调节水分损失的能力, 蒸腾强度的高低, 从一个侧面反映植物适应环境能力的大小。蒸腾速率不仅受植物体本身的生物学特性的影响, 也受外界环境因子的制约^[2]。研究不同杨树无性系蒸腾速率的变化规律及其影响因子, 不仅可以掌握不同杨树无性系耗

水量, 确定合理的造林密度, 而且还能确定适宜本地区生长的优良杨树无性系。

杨树是我国北方地区的主要造林树种, 为满足人类对木材日益增长的需要和尽可能地保护天然林, 营造杨树速生丰产林是一项最主要的途径。本研究选用在山东省高密市平原地区推广面积较大的 7 个杨树无性系, 进行蒸腾速率及其影响因子的研究, 探讨蒸腾耗水特性与环境因子的关系, 了解不同杨树无性系蒸腾速率与单株材积的关系, 确保杨树人工林的速生丰产, 为杨树丰产林的营造提供科学依据。

^{*} 收稿日期: 2007-11-22

基金项目: 世界银行贷款资助项目“杨树优质种质光合、蒸腾和生理水分研究”

作者简介: 陈安强(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事流域综合治理方面的研究。E-mail: jhyang@sdaa.edu.cn

通信作者: 杨吉华(1957-), 男, 教授, 主要从事土壤侵蚀与流域综合治理的教学和科研工作。E-mail: jhyang@sdaa.edu.cn

1 研究区概况

高密市位于山东半岛西部,地理位置东经 119°26'16" - 120°00'38",北纬 36°08'44" - 36°41'20",属暖温带半湿润季风区大陆气候,四季分明,春季温和,风多雨少;夏季炎热,雨量集中;秋季凉爽,少雨干旱;冬季寒冷,雨雪稀少。年平均气温 12.1℃,极端最高温度 40.8℃,极端最低温度 - 14.5℃,10℃的积温 4 089.2℃,无霜期 208 d,年日照时数 2 349.4 h,年降雨量 674 mm,夏季降水量占全年降水量的 62.8%。试验地位于高密市东南 13 km 处的苗圃地内,土壤类型为河潮土,质地为沙壤。杨树试验林内设计 7 个无性系,随机区组排列,9 株小区,3 次重复,每个杨树无性系 27 株,共计 189 株,2004 年春,选用 2 年根 1 年干的苗木造林,株行距 3 m × 4 m,840 株/hm²。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验选用 4 年生 3 m × 4 m 杨树试验林内的 L35、I-107、中林 46、NL95、NL895、L323 和中天杨等 7 个杨树无性系;根据山东省林科院提供的单株材积计算公式如式(1)。

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

式中: $f = 0.42$; $\pi = 3.14$; V ——单株材积(m³); D ——胸径(cm); H ——树高(m)。各杨树无性系生长情况见表 1。

表 1 7 个杨树无性系 3 a 生长情况调查表(3 m × 4 m)

无性系	平均胸径/cm	平均树高/m	单株材积/m ³	每公顷年蓄积量/(m ³ ·hm ⁻² ·a ⁻¹)	林木蓄积量/(m ³ ·hm ⁻²)
L35	12.492	13.5	0.069	19.44	57.878
I-107	11.887	13.3	0.062	17.355	51.631
中林 46	10.070	12.9	0.043	12.075	35.941
NL95	12.375	13.4	0.068	18.945	56.381
NL895	9.688	12.6	0.039	10.92	32.489
L323	10.628	13	0.048	13.56	40.343
中天杨	6.767	11.4	0.017	4.815	14.341

注:2006 年 11 月 30 日测定 7 个杨树无性系的胸径、树高,计算单株材积和蓄积量。

2.2 试验方法

2.2.1 标准木的选取

在试验区内分别测量 7 个杨树无性系各林木的树高、胸径和冠幅,计算各无性系的平均树高、平均胸径、平均冠幅和单株材积,每个杨树无性系选取标准木 3 株。

2.2.2 蒸腾速率及其影响因子的测定

在 2007 年 7 月选择典型的晴朗天气,在 7:00、9:00、11:00、13:30、15:30 和 17:30 用 PMR-3 型稳态气孔计测定叶片的蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、光合有效辐射(PAR)、大气温度(T_a)、叶面温度(T_L)、大气 CO₂ 浓度(C_a),并用 DHM2 型通风干湿表同时测定林分内的空气相对湿度(R_H)。在杨树无性系标准木林冠层选择上、中、下、外、中、

内 6 个不同部位的叶片,做 3 个重复,取平均值。平均蒸腾速率为白天所测时间段内 6 次蒸腾速率的平均值。

2.2.3 数据处理

测定结束后,用 SPSS12.0 和 Excel 统计软件进行处理。

3 结果与分析

3.1 不同杨树无性系气孔导度变化规律

气孔是蒸腾过程中水汽的主要出口,也是光合作用吸收空气中 CO₂ 的主要进口。一方面 CO₂ 通过气孔进入植物的叶肉细胞,另一方面叶肉细胞及表皮细胞的水分通过气孔散失到大气中。气孔随叶片所处的环境条件时刻发生着变化,巧妙地在植物“饥”与“渴”之间起平衡调节作用,气孔的运动状况一定程度反应了植物体内的代谢情况。我国学者对气孔导度的日动态变化进行了大量研究,认为气孔导度的日变化呈单峰型和双峰型^[3]。气孔导度反映了气孔开启的变化,植物通过调节其气孔导度的变化,可以调控水分的蒸腾和植物的光合作用。

3.1.1 不同杨树无性系气孔导度的白天动态变化

由图 1 知 7 个杨树无性系的气孔导度均呈单峰型。清晨气温较低,光照强度弱,大气相对湿度大因此在 7:00 - 9:00 气孔导度值较低,随着光照的不断增强,气孔导度不断增大,在 9:00 - 11:00 气孔导度值较大,其中 L35 和 I-107 增长最快,其它 5 个无性系增长相对较慢,在 11:00 - 13:30 气孔导度值达到一天的最大值,主要是在土壤水分供应充足的情况下,中午温度最高、光合有效辐射最强,空气相对湿度最低,增大了叶内外水汽压梯度,这些因子的变化直接促使了气孔受光照、温度、湿度变化的影响而张开,气孔导度达到最大。随后由于气温降低,光照减弱,叶水势降低引起气孔导度的减小,到 17:30 气孔导度达到测定时段的最小值。不同杨树无性系气孔导度最大值的排序为:I-107 > L35 > NL95 > 中林 46 > L323 > NL895 > 中天杨。

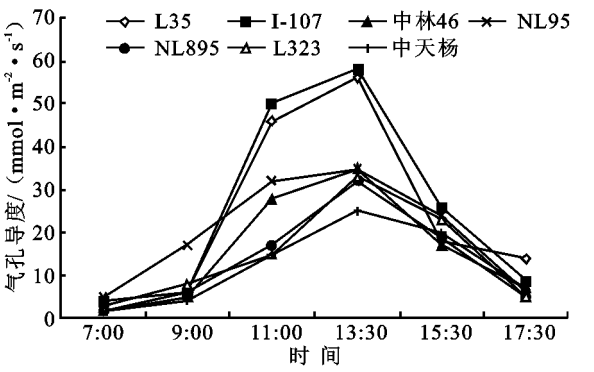


图 1 不同杨树无性系气孔导度白天测定时段的动态变化

3.1.2 不同杨树无性系白天测定时段平均气孔导度比较

从图 2 看出,I-107、L35 和 NL95 的白天测定时段平均气孔导度明显高于其它杨树无性系,其它无性系日均气孔导度相差不大,都在 12 ~ 15 mmol/(m²·s)之间,其中 I-107 最大,平均气孔导度为 25.5 mmol/(m²·s),其次是 L35,平均气孔导度为 23.67 mmol/(m²·s),最小的为中天杨,平均气孔导度为 12.17 mmol/(m²·s)。7 个杨树无性系白天测定时段平均气孔导度大小排序为:I-107 > L35 >

NL95 > 中林 46 > L323 > NL895 > 中天杨。

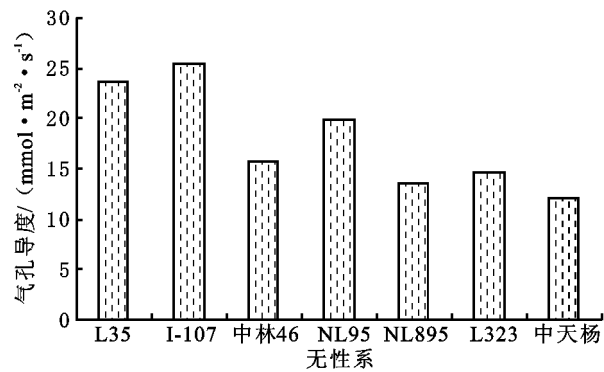


图 2 不同杨树无性系白天测定时段的平均气孔导度

3.2 不同杨树无性系蒸腾速率变化规律

蒸腾速率既可表示植物的耗水状况,又可表示被动吸水的原动力,蒸腾速率大,往往吸水也多,水分代谢速度也较快。蒸腾速率的大小在一定程度上反映了植物调节水分损失的能力、适应环境的方式和为植物生长提供水分和养分的能力。

3.2.1 不同杨树无性系蒸腾速率白天测定时段的动态变化

由图 3 可见,蒸腾速率的变化与气孔导度的变化基本一致,说明蒸腾速率变化与气孔导度的变化总呈正相关。清晨 7:00 左右蒸腾速率较低,一般都在 0.1 mmol/(m²·s) 左右,随光照增强,气孔导度增大,林内空气相对湿度的逐渐降低,增大了叶内外的水汽压差,蒸腾能力增强,蒸腾速率不断提高,在 9:00 - 11:00 这一时段各无性系的蒸腾速率增长都较快,在 13:30 左右蒸腾速率达到最大值,主要是在水分充足的条件下,在 13:30 左右太阳净辐射强度加强,气温达到一天的最大值,林内空气相对湿度也降到最低,叶内外水汽压差变大,空气蒸腾拉力增强,叶片蒸腾加快,在这时不同杨树无性系蒸腾速率峰值的排序为:I-107 > NL95 > L35 > L323 > 中林 46 > 中天杨 > NL895。以后随着光照和气温的降低,空气相对湿度的上升,气孔导度的降低,蒸腾速率逐渐减小,在下午 17:30,蒸腾速率降至测定时段内的最低值。

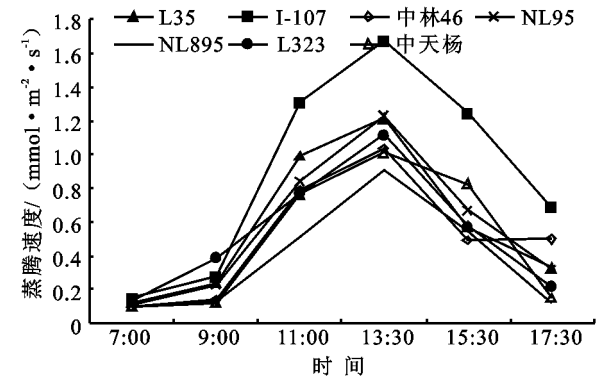


图 3 不同杨树无性系蒸腾速率白天测定时段的动态变化

3.2.2 不同杨树无性系白天测定时段平均蒸腾速率比较

从图 4 可以看出,I-107 的白天测定时段平均蒸腾速率明显高于其它的无性系,平均蒸腾速率为 0.89 mmol/(m²·s),NL895 平均蒸腾速率最低为 0.39 mmol/(m²·s),而 L35、NL95、L323、中林 46、中天杨的平均蒸腾速率都相差不

大,都在 0.5 ~ 0.6 mmol/(m²·s) 之间,7 个杨树无性系白天测定时段平均蒸腾速率大小排序为:I-107 > L35 > NL95 > L323 > 中林 46 > 中天杨 > NL895。

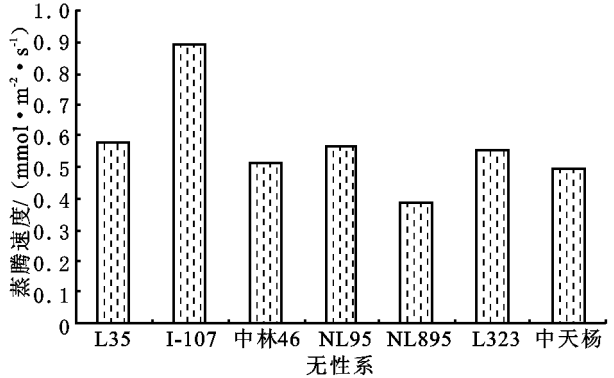


图 4 不同杨树无性系白天测定时段的平均蒸腾速率

3.3 不同杨树无性系蒸腾速率与影响因子的关系

蒸腾速率的大小除受自身生物学特点(气孔构造、叶片形态和组织结构等)的制约外,各种生态因子(光合有效辐射、大气温度、叶面温度、CO₂ 浓度、空气相对湿度和土壤含水量等)也是影响其蒸腾速率的重要方面。在土壤水分供应充足的情况下,影响蒸腾的环境因子主要是气象因子^[4]。对蒸腾速率(T_r)与气孔导度(G_s)、光合有效辐射(PAR)、大气温度(T_a)、叶面温度(T_L)、大气 CO₂ 浓度(C_a)和空气相对湿度(R_H)进行相关性分析见表 4,7 个杨树无性系的蒸腾速率与气孔导度和光合有效辐射呈极显著性正相关,这是因为气孔是植物与大气进行水汽和 CO₂ 交换的通道,气孔的开闭会对植物叶片的蒸腾产生重要影响,光合有效辐射是蒸腾作用的动力,强烈的光照可以使叶温高于气温,使叶内外蒸汽压差变大,促进水分的蒸发,提高蒸腾速率,同时光照也影响气孔的开放,从而加速蒸腾。除了 NL95 的蒸腾速率与气温和叶温呈显著性正相关外,其余无性系的蒸腾速率与气温和叶温都呈极显著性正相关,主要是由于气温和叶温的升高,增大了叶内外的水汽压梯度,蒸腾速率增大。除了中天杨和 NL95 的蒸腾速率与大气 CO₂ 浓度呈正相关不显著外,其它 5 个无性系的蒸腾速率与大气 CO₂ 浓度都呈负相关,其中 I-107 和中林 46 的蒸腾速率与大气 CO₂ 浓度呈极显著性负相关,NL895 的蒸腾速率与大气 CO₂ 浓度呈显著性负相关,L35 和 L323 的蒸腾速率与大气 CO₂ 浓度呈负相关但不显著。7 个杨树无性系的蒸腾速率与空气相对湿度呈极显著性负相关,主要是因为夏季降雨量大,早晚空气湿度较大,而中午光照强度大,气温高,空气相对湿度降低,加大了叶片内外水汽压差,水汽压差越大,蒸腾速率越大。从表 2 看出,蒸腾速率与各影响因子的相关程度依次为:气孔导度 > 空气相对湿度 > 光合有效辐射 > 大气温度 > 叶面温度 > 大气 CO₂ 浓度。

进一步分析蒸腾速率与各影响因子的关系,对不同杨树无性系的蒸腾速率与各影响因子进行多元线性回归分析,建立多元线性回归方程见表 3,复相关系数都在 0.95 以上,经过对相关系数的检验,上述回归方程达到极显著水平,这表明蒸腾速率与各影响因子关系非常密切。

表 2 7 个杨树无性系蒸腾速率与影响因子的相关系数

无性系	气孔 导度	光合有 效辐射	大气 温度	叶面 温度	大气 CO ₂ 浓度	大气相 对湿度
L35	0.941 **	0.885 **	0.722 **	0.714 **	- 0.397	- 0.844 **
I- 107	0.898 **	0.734 **	0.831 **	0.814 **	- 0.615 **	- 0.826 **
中林 46	0.891 **	0.800 **	0.730 **	0.709 **	- 0.774 **	- 0.869 **
NL95	0.915 **	0.842 **	0.599 *	0.578 *	0.343	- 0.910 **
NL895	0.918 **	0.815 **	0.682 **	0.651 **	- 0.560 *	- 0.915 **
L323	0.878 **	0.889 **	0.766 **	0.748 **	- 0.400	- 0.856 **
中天杨	0.956 **	0.695 **	0.727 **	0.700 **	0.296	- 0.916 **

注: ** 在 0.01 水平上极显著性相关, * 在 0.05 水平上显著性相关

表 3 7 个杨树无性系蒸腾速率与影响因子的多元回归分析

无性系	回归方程	复相关系数
L35	$Y = 1.313 + 0.011 X_1 + 0.001 X_2 + 0.554 X_3 - 0.551 X_4 - 0.002 X_5 - 0.003 X_6$	0.971
I- 107	$Y = 4.807 + 0.011 X_1 + 0.0001 X_2 + 1.043 X_3 - 1.044 X_4 + 0.007 X_5 - 0.085 X_6$	0.989
中林 46	$Y = 2.847 + 0.007 X_1 + 0.002 X_2 + 0.575 X_3 - 0.581 X_4 + 0.003 X_5 - 0.044 X_6$	0.953
NL95	$Y = 10.168 + 0.005 X_1 + 0.002 X_2 + 0.069 X_3 - 0.101 X_4 - 0.004 X_5 - 0.086 X_6$	0.966
NL895	$Y = 6.352 + 0.01 X_1 + 0.02 X_2 + 0.137 X_3 - 0.169 X_4 + 0.0001 X_5 - 0.057 X_6$	0.988
L323	$Y = 0.979 + 0.014 X_1 + 0.003 X_2 + 0.125 X_3 - 0.125 X_4 - 0.001 X_5 - 0.006 X_6$	0.949
中天杨	$Y = 1.071 + 0.038 X_1 + 0.002 X_2 + 0.078 X_3 - 0.11 X_4 + 0.002 X_5 - 0.009 X_6$	0.980

注: Y 为 T_r 与 $G_s(X_1)$ 、 $PAR(X_2)$ 、 $TC(X_3)$ 、 $TL(X_4)$ 、 $Ca(X_5)$ 和 $RH(X_6)$ 进行的多元回归分析

3.4 不同杨树无性系蒸腾速率与林木生长量的关系

对所测得的各无性系的胸径、树高和单株材积与平均蒸腾速率(每天测定时段内 6 次蒸腾速率的平均值)进行相关性分析,发现蒸腾速率与各杨树无性系的树高、胸径和单株材积呈正相关关系,其中 L35、I- 107、NL95 和 L323 的蒸腾速率和树高、胸径和单株材积呈极显著性相关,除了中天杨的蒸腾速率与树高呈正相关不显著外,其余各无性系的蒸腾速率和树高、胸径和单株材积呈显著性相关。L35、L323 和中林 46 蒸腾速率与胸径的相关性最密切,其次是单株材积和树高。I- 107、NL95、NL895 和 中天杨蒸腾速率与单株材积的相关性最密切。因此从蒸腾速率与生长量的相关程度可以看出,满足 L35、I- 107、NL95 和 L323 的生长所需要消耗的水分要多于中林 46、NL895 和 中天杨生长所消耗的水分。

表 4 7 个杨树无性系蒸腾速率与生长量的相关系数

无性系	树高/ m	胸径/ cm	单株材积/ m ³
L35	0.867 **	0.900 **	0.890 **
I- 107	0.894 **	0.810 **	0.911 **
中林 46	0.709 *	0.7472 *	0.7469 *
NL95	0.818 **	0.8202 **	0.8203 **
NL895	0.748 *	0.697 *	0.761 *
L323	0.818 **	0.861 **	0.852 **
中天杨	0.659	0.679 *	0.733 *

注: ** 在 0.01 水平上极显著性相关, * 在 0.05 水平上显著性相关

4 结论与讨论

4.1 结 论

7 个杨树无性系的气孔导度的白天测定时段的变化均呈单峰型,不同杨树无性系气孔导度最大值的排序为:I-

107>L35>NL95>中林 46>L323>NL895>中天杨。平均气孔导度大小依次为:I- 107>L35>NL95>中林 46>L323>NL895>中天杨。

7 个杨树无性系的蒸腾速率与气孔导度变化趋势基本一致,白天测定时段的变化呈单峰型,不同杨树无性系蒸腾速率最大值的依次为:I- 107>NL95>L35>L323>中林 46>中天杨>NL895。平均蒸腾速率大小顺序为:I- 107>L35>NL95>L323>中林 46>中天杨>NL895。

蒸腾速率与气孔导度的相关性最显著,对各影响因子与蒸腾速率的相关程度依次为:气孔导度>大气相对湿度>光合有效辐射>大气温度>叶面温度>大气 CO₂ 浓度,经多元线性回归分析,7 个杨树无性系的蒸腾速率与各影响因子呈很好的线性函数关系,回归方程均达到极显著水平。

7 个杨树无性系的蒸腾速率与树高、胸径和单株材积呈正相关关系,其中 L35、I- 107、NL95 和 L323 的蒸腾速率和树高、胸径和单株材积呈极显著性相关,除了中天杨的蒸腾速率与树高呈正相关不显著外,其余各无性系的蒸腾速率和树高、胸径和单株材积呈显著性相关。

4.2 讨 论

各杨树无性系的蒸腾速率和气孔导度在水分供应充足的条件下日变化呈单峰型,苏东凯等^[5]在不同杨树品种光合生理生态特性的研究中也证明了这一点,即使在中午也未出现气孔导度的降低以此来减少蒸腾耗水来适应高温的环境这一状况。从蒸腾速率与生长量的相关程度看出,蒸腾耗水对各无性系生长的贡献情况,但是本次试验所用的蒸腾速率数据是夏季测得,一般来说,夏季植物蒸腾速率最高,生长也是最快,但是春季和秋季的蒸腾速率以及 3 个季节的平均蒸腾对生长量的影响是否和夏季一样明显,还需要进一步研究。

(下转第 164 页)

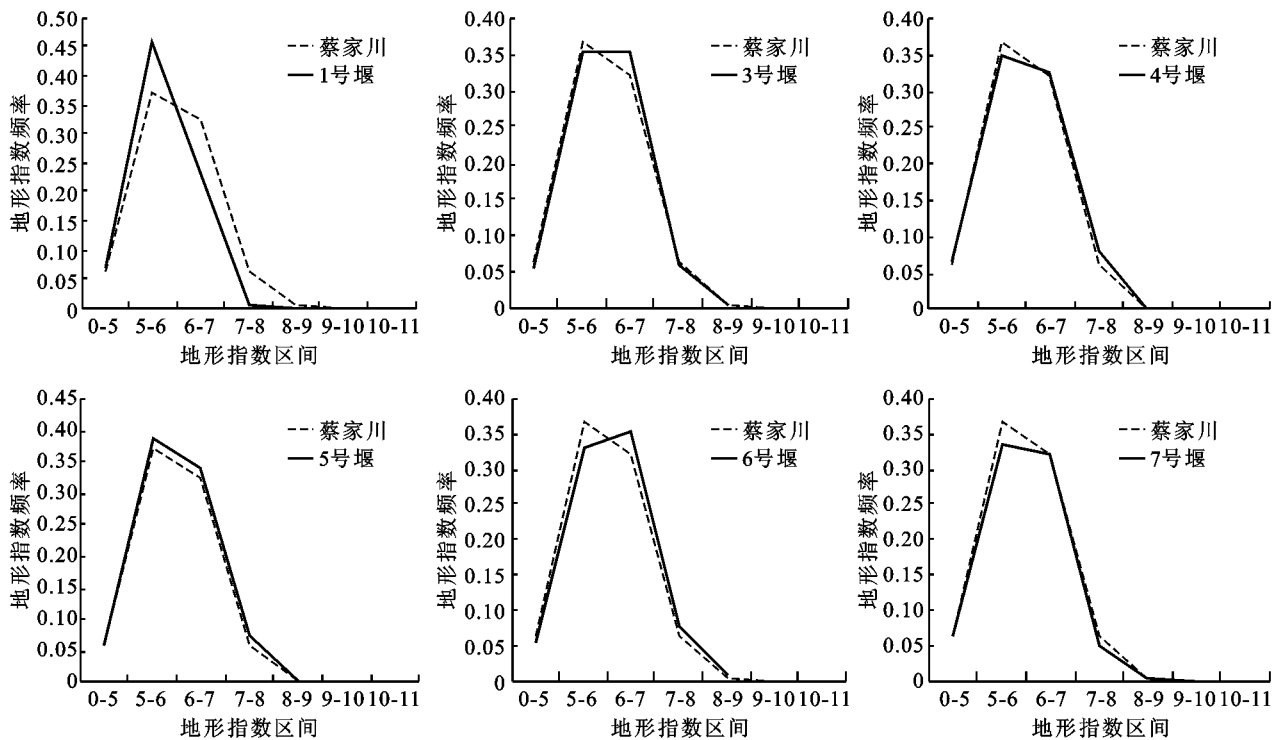


图 8 小流域与子小流域地形指数累积频率分布比较

等因素的假定下,两个流域若具有相同或相似的地形指数频率分布,则这两个流域的水文响应性相同或相似”,那么我们可以认为 4 号、5 号、7 号子小流域与蔡家川小流域水文响应性相似。

参考文献:

[1] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技

大学出版社,2002.

[2] 邓慧平,李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展,2002,21(2):103-110.
[3] 孔凡哲,芮孝芳. TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨[J]. 水科学进展,2003,14(1):41-45.
[4] 孔凡哲,芮孝芳. 基于地形特征的流域水文相似性[J]. 地理研究,2003,23(6):709-715.

(上接第 160 页)

在水分供应充足的条件下,I-107、L35 和 NL95 的日均气孔导度和蒸腾速率明显高于其它杨树无性系,生长量与蒸腾速率相关性也最明显,蒸腾耗水量也较多,3 个杨树无性系的单株材积也明显高于其它杨树无性系,说明在水分供应充足的林地,应选择蒸腾速率高、生长快的杨树无性系栽植,如 I-107、L35 和 NL95;在水分匮乏的条件下,选择蒸腾速率低的杨树无性系,如 L323、中林 46 和 NL895。

参考文献:

[1] 李洪建,柴宝峰,王孟本,等. 北京杨水分生理特性研究[J]. 生态学报,2000,20(3):417-422.

[2] 李海梅,何兴元,陈玮. 沈阳城市森林主要绿化树种丁香的光合特性研究[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2245-2249.
[3] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘气孔导度及其影响因素[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1078-1084.
[4] 郭连生,刘亮. 9 种阔叶幼树的蒸腾速率、水势和环境因子关系的研究[J]. 生态学报,1992,12(1):47-52.
[5] 苏东凯,周永斌,唐庆华,等. 不同杨树品种光合生理生态特性的研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(2):39-41.