

基于标准枝浸水法测定的不同杨树无性系蒸腾耗水特性^{*}

王德鹏¹, 房用², 王月海², 杨吉华¹, 陈安强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)

摘要:以山东省高密市林业局苗圃内进行区域适宜性试验的8个杨树无性系为研究对象, 对不同杨树无性系蒸腾耗水特性进行了研究, 结果表明: 8个杨树无性系叶片蒸腾耗水速率日动态变化均呈单峰曲线; 8个杨树无性系的叶片蒸腾耗水速率与环境因子相关程度依次是光照> 空气相对湿度> 空气温度> 土壤含水量; 8个杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量大小次序为 L35> I-107> NL895> 中林46> I-109> L323> 中绥12> NL95; 依据单株蒸腾耗水量和单株材积对8个杨树无性系进行聚类分析, 可分为5类, A类 L35 属于高材积量、高耗水型; B类 L323、NL95 和 I-109 属于中等材积量、较低耗水型; C类 NL895 为较低材积量、低耗水型; D类 I-107 为较高材积量、较高耗水型; E类中林46、中绥12 为低材积量、中等耗水型。

关键词: 杨树无性系; 标准枝浸水法; 蒸腾耗水速率; 蒸腾耗水量

中图分类号: S715.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0182-05

Characteristics of the Water Consumption for Transpiration of Different Poplar Clones by Soaking Method of Standard Branch

WANG De-peng¹, FANG Yong², WANG Yue-hai², YANG Ji-hua¹, CHEN An-qiang¹

(1. Soil and Water Conservation Department of Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong 271018, China; 2. Shandong Academy of Forest Sciences, Jinan 250014, China)

Abstract: The transpiration characteristic and its samples selected from 8 varieties of poplar clones were studied based on the observation induced in Gaomi city east of Shandong province. The results show that the rate of water consumption by transpiration daily changing tendency of 8 poplar clones is generally unanimous with single apex curve. The order of the size of the rate of water consumption by transpiration and environmental factors associated analysis is: illumination> air relative humidity> temperature> soil moisture content. The water consumption of transpiration is of the following order, L35> I-107> NL895> Zhonglin46> I-109> L323> Zhongsui12> NL95. All of 8 poplar clones can be categorized into five groups according to water consumption of transpiration and volume increment, L35 belongs to the highest water consumption of transpiration and volume increment; L323, NL95 and I-109 belong to medium volume increment and lower water consumption of transpiration; NL895 belongs to lower volume increment and the lowest water consumption of transpiration; I-107 belongs to higher volume increment and water consumption of transpiration; Zhonglin46 and Zhongsui12 belong to the lowest volume increment and medium water consumption of transpiration.

Key words: poplar clones; soaking method of standard branch; water consumption of transpiration; rate of water consumption by transpiration

蒸腾耗水是蒸腾作用的一个重要指标^[1], 它是植物调节体内水分平衡的主要环节, 是植物对变化环境的适应^[2]。植物蒸腾耗水过程是一个极其复杂的植物生理过程和水分运动的物理过程, 受树种、时

间、空间及其生长环境等多种因素的控制^[3]。蒸腾耗水量的大小能够直接反映出植物调节水分损失能力的大小及适应逆境的能力, 是植物水分生命表征的直接体现^[4]。因此研究不同杨树无性系的蒸腾耗

* 收稿日期: 2008-08-26

基金项目: 世界银行贷款资助项目“杨树优质种质蒸腾耗水和水生理特性研究”。

作者简介: 王德鹏(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事林业生态工程的研究。E-mail: depeng_306@163.com

通信作者: 杨吉华(1957-), 男, 教授, 主要从事林业生态工程的教学和科研工作。E-mail: jhyang@sdau.edu.cn

水特性, 具有重要的水文学和生态学意义。杨树是北方平原与沙区营造防护林和用材林的主要树种, 随着造纸、胶合板等木材加工业及生物质能源产业的发展, 杨树作为优良的原料, 需求量越来越大, 这必将极大地促进杨树的发展。本项研究以山东省高密市林业局苗圃内进行区域适宜性研究的 8 个杨树无性系为研究对象, 分析不同杨树无性系的蒸腾耗水特性与林木生长量的关系, 为杨树人工林确定灌溉定额和速生丰产提供科学的理论依据。

1 试验地概况

试验地位于山东省高密市林业局苗圃内, 地理位置处于东经 $119^{\circ}26'16''$ - $120^{\circ}0'38''$, 北纬 $36^{\circ}08'44''$ - $36^{\circ}41'20''$, 属暖温带半湿润季风区大陆气候, 年平均气温 12.1°C , 极端最高温度 40.8°C , 极端最低温度 -14.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $4\,089.2^{\circ}\text{C}$, 无霜期 208 d, 年日照时数 $2\,349.4\text{ h}$, 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 处的市苗圃内, 土壤类型为河潮土, 质地为沙壤。杨树无性系试验林内设计 8 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 216 株。2004 年春选用 2 年根 1 年干的苗木造林, 株行距 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$, $840\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

以高密市林业局苗圃内进行区域适宜性研究的 8 个杨树无性系 L35、L323、NL895、NL95、I- 107、I- 109、中林 46、中绥 12 为研究对象, 分析各杨树无性系的蒸腾耗水特性与林木生长量的关系, 林木生长状况见表 1。

表 1 8 个杨树无性系 4 a 生长量调查表

杨树无性系	胸径/ cm	树高/ m	平均冠幅/ m	单株材积/ m^3
L35	15.7	14.80	4.30	0.12197
L323	12.4	11.88	3.92	0.08620
NL895	13.8	12.11	4.03	0.08019
NL95	13.0	12.49	3.92	0.07023
I- 107	14.0	13.38	3.17	0.08622
I- 109	12.8	11.56	3.41	0.06237
中林 46	12.5	11.84	3.65	0.06239
中绥 12	9.7	8.60	2.41	0.02660

2.2 研究方法

2.2.1 叶面积的测定 采用标准枝和网格法测定叶面积。在标准木内, 分别选取大、中、小各 3 个标

准枝, 在每一个标准枝上均匀选取 9 个典型叶片, 每株树共选 81 个典型叶片, 根据测定的叶片长、宽和所测定单叶面积, 建立不同杨树无性系单叶面积的回归方程。利用杨树无性系单叶面积回归方程, 根据标准枝的叶片数量、叶长、叶宽, 将标准枝的叶片逐一代入方程, 分别求得单叶面积, 将单叶面积累加计算出标准枝叶面积, 然后根据标准木的标准枝数量, 计算出单株叶面积。

2.2.2 蒸腾耗水速率及蒸腾耗水量的测定 2008 年 5 月选择典型天气, 在 4 a 生杨树冠层内选择大、中、小各 3 个标准枝, 每个杨树无性系标准木共 9 个标准枝, 在标准枝的底部锯断后移入林内盛水的容器中, 间隔 2 h 向桶内加水至初始水位的位置, 并记录注水量与时间, 即为该时段标准枝的耗水量, 然后再根据计算的叶面积, 计算出单株蒸腾耗水量; 根据蒸腾耗水量与叶面积和时间的比值计算出蒸腾耗水速率。每日的测定时间是从 6:00- 18:00, 每隔 2 h 测定一次。

2.2.3 土壤含水量的测定 分别在每个杨树无性系周围选取 3 个测点, 用铝盒分别取 0- 20 cm、20 - 40 cm 和 40- 60 cm 3 层土壤, 每层 3 个重复, 将土样带回实验室, 用烘干法测定土壤含水量。

2.2.4 小气候因子的测定 在试验林内的林冠下、中、上三个部位, 用 SH- DHM2 型通风干湿表测定空气温度和空气湿度, 通过查相对湿度表, 求得空气相对湿度。用 AR823 型照度计测定光照强度。小气候因子测定与蒸腾耗水量测定同步进行。

2.2.5 数据处理和计算 用 Excel 2003 对原始数据进行初步处理、制作图表, 用 SPSS 12.0 对数据进行相关分析和回归分析。

3 结果与分析

3.1 不同杨树无性系蒸腾耗水速率研究

3.1.1 不同杨树无性系蒸腾耗水速率日变化规律 由图 1 看出, 8 个杨树无性系叶片蒸腾耗水速率日动态变化均呈单峰曲线。清晨 6:00- 8:00, 这个时段内太阳辐射弱, 气温低, 相对湿度高, 叶片气孔导度低, 叶片的蒸腾耗水速率维持在一个较低的水平。除了 I- 107 蒸腾耗水速率为 $0.021\text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 外, 其它杨树无性系蒸腾耗水速率均在 $0.01\text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 左右。8:00- 12:00 这一时段, 由于光照增强、大气温度增高和空气相对湿度的降低, 叶表面与空气中的水汽压梯度变大, 在这一时段内各杨树无性系的叶片蒸腾耗水速率上升幅度明显增大, 其中 I- 107 的上升幅度最大为 39.2% 明显高于其它杨树无性系, 上升幅度最小

的 L35 仅为 3.9%。12:00–14:00 这一时段,由于光照最强,大气温度最高,空气相对湿度最低,叶片蒸腾耗水速率上升达到一天中的最大值。从峰值来看, I–107 最大为 0.041 7 kg/(m²·h), 其次是中林 46 为 0.028 3 kg/(m²·h), 最小的是中绥 12 为 0.018 4 kg/(m²·h), 最大峰值与最小峰值相差 0.023 3 kg/(m²·h), 可见, 8 个杨树无性系间叶片蒸腾耗水速率的差异明显。8 个杨树无性系叶片蒸腾耗水速率峰值大小排序为: I–107> 中林 46> NL895> NL95> L323> L35> I–109> 中绥 12。14:00 以后由于光合有效辐射和温度降低, 空气相对湿度增加, 蒸腾耗水速率也随之下降, 至 18:00, 蒸腾耗水速率降至测定时段内的较低值。

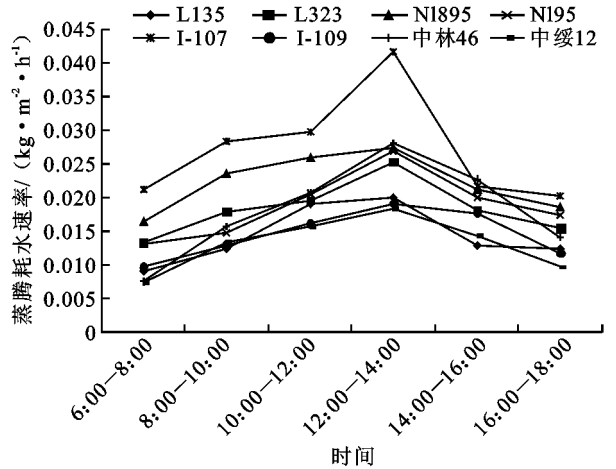


图 1 不同杨树无性系蒸腾耗水速率日动态变化曲线

3.1.2 不同杨树无性系蒸腾耗水速率与其影响因子的相关性分析 对 8 个杨树无性系蒸腾耗水速率与土壤含水量、光照、空气温度、空气相对湿度作相关分析见表 2, 可以看出, 8 个杨树无性系蒸腾耗水速率与光照和空气温度均呈显著性正相关, 与空气相对湿度均呈显著性负相关。其中 L35、L323、NL895、

I–107 和中绥 12 的蒸腾耗水速率与光照呈极显著正相关; NL895、NL95、I–109 和中林 46 的蒸腾耗水速率与空气相对湿度均呈极显著负相关。8 个杨树无性系中除 NL895 和 I–109 与土壤含水量呈不显著负相关外, 其余 6 个杨树无性系均与土壤含水量呈显著负相关。由此可以看出, 影响杨树蒸腾耗水速率最为显著的环境因子是光照。强烈的光照可以使叶温高于气温, 促使水分的蒸发, 提高蒸腾耗水能力, 同时光照也能影响气孔的开放, 从而加速蒸腾。蒸腾速率与各个环境因子的相关程度依次为: 光照> 空气相对湿度> 空气温度> 土壤含水量。

表 2 不同杨树无性系蒸腾耗水速率与影响因子相关性分析

杨树无性系	土壤含水量	光照	空气温度	空气相对湿度
L35	- 0.993**	0.929**	0.835*	- 0.871*
L323	- 0.875*	0.988**	0.822*	- 0.914*
NL895	- 0.839	0.908*	0.853*	- 0.974**
NL95	- 0.872*	0.931**	0.858*	- 0.967**
I–107	- 0.840*	0.938**	0.898*	- 0.908*
I–109	- 0.804	0.865*	0.871*	- 0.952**
中林 46	- 0.898*	0.908*	0.845*	- 0.983**
中绥 12	- 0.848*	0.956**	0.866*	- 0.843*

注: ** 表示在 0.01 水平上相关性极显著, * 表示在 0.05 水平上相关性显著, 下同。

为进一步分析蒸腾耗水速率与各环境因子的相关关系, 对不同杨树无性系的蒸腾耗水速率与各环境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。8 个杨树无性系叶片蒸腾耗水速率与土壤含水量、光照、空气温度、空气相对湿度的复相关系数都在 0.98 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, 这表明蒸腾耗水速率与各影响因子关系非常密切。

表 3 不同杨树无性系蒸腾耗水速率与各影响因子的回归方程和相关系数

杨树无性系	回归方程	相关系数 R
L35	$y = -0.00623x_1 - 3.67E-05x_2 + 4.512E-05x_3 + 9.283E-05x_4 + 0.051$	0.997
L323	$y = 0.00213x_1 + 0.00017x_2 + 8.276E-06x_3 - 0.00071x_4 + 0.045$	0.999
NL895	$y = -0.0005x_1 + 1.527E-05x_2 - 62.05E-06x_3 - 0.00047x_4 + 0.063$	0.985
NL95	$y = 0.00032x_1 + 0.00028x_2 - 0.00051x_3 - 0.00059x_4 + 0.07$	0.998
I–107	$y = -0.0044x_1 + 0.00037x_2 - 0.00015x_3 - 0.00144x_4 + 0.171$	0.997
I–109	$y = 0.00257x_1 + 0.00027x_2 + 1.474E-07x_3 - 0.00051x_4 + 0.018$	0.984
中林 46	$y = -0.00135x_1 - 8.31E-05x_2 - 4.67E-05x_3 - 0.00103x_4 + 0.12$	0.994
中绥 12	$y = -0.00022x_1 + 6.511E-05x_2 + 0.00029x_3 - 7.11E-05x_4 + 0.01$	0.995

注: y——蒸腾耗水速率; x₁——土壤含水量; x₂——光照; x₃——空气温度; x₄——空气相对湿度。

3.2 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量研究

3.2.1 不同杨树无性系单株叶面积的计算 蒸腾

耗水量的大小决定于蒸腾耗水速率和单株叶面积大小。由于不同杨树无性系有不同的叶面特征, 因此,

通过网格法计算出标准枝上典型叶片的叶面积, 根据叶长、叶宽和单叶面积进行逐步回归, 建立不同杨树无性系单叶面积的回归方程见表 4。由表 4 看出, 不同杨树无性系的单叶面积与叶长和叶宽呈较好的多元线性函数关系, 复相关系数除了 NL895、NL95 和 I- 109, 其他无性系都在 0.9 以上, 表明叶

长和叶宽与单叶面积关系非常密切。

运用上述所求得单叶面积回归方程, 将标准枝上的叶片长、宽代入单叶面积回归方程分别求得标准枝各叶片单叶面积, 再将单叶面积累加计算出标准枝叶面积, 最后再根据标准枝的类型(大、中、小)和标准枝的数量求得单株叶面积见表 5。

表 4 单叶面积计算的回归方程及相关系数

杨树无性系	单叶面积回归方程	复相关系数 R	偏相关系数	
			R_{x_1}	R_{x_2}
L35	$y = 2.891x_1 + 3.803x_2 - 30.027$	0.979	0.744	0.592
L323	$y = 2.739x_1 + 4.108x_2 - 31.326$	0.995	0.473	0.433
NL895	$y = 5.202x_1 + 2.749x_2 - 36.938$	0.712	0.623	0.438
NL95	$y = 7.85x_1 + 2.731x_2 - 58.078$	0.987	0.804	0.704
I- 107	$y = 4.707x_1 + 2.060x_2 - 23.231$	0.954	0.461	0.454
I- 109	$y = 6.155x_1 - 6.484x_2 + 19.038$	0.866	0.814	0.491
中林 46	$y = 9.359x_1 + 1.972x_2 - 58.542$	0.981	0.799	0.433
中绥 12	$y = 6.250x_1 + 1.567x_2 - 24.310$	0.97	0.747	0.477

注: y —— 单叶面积; x_1 —— 叶长; x_2 —— 叶宽。

表 5 不同杨树无性系单株叶面积计算

杨树无性系	类型	叶片数量	单叶面积/cm ²	叶面积/cm ²	数量	单株叶面积/m ²
L35	大	681	24.31	16552.84	36	102.95
	中	300	30.11	9033.12	40	
	小	131	22.06	2889.97	25	
L323	大	228	30.59	6974.68	20	26.87
	中	176	32.73	5760.74	19	
	小	71	27.76	1970.62	10	
NL895	大	148	54.86	8119.29	30	41.94
	中	75	47.87	3590.32	18	
	小	41	54.23	2223.45	50	
NL95	大	120	63.97	7676.38	16	21.46
	中	113	28.16	3182.02	9	
	小	88	55.15	4853.48	13	
I- 107	大	351	29.94	10510.27	19	51.62
	中	277	24.65	6828.32	31	
	小	75	23.29	1746.64	60	
I- 109	大	303	41.72	12641.31	20	46.51
	中	140	45.73	6402.23	25	
	小	56	31.05	1738.97	30	
中林 46	大	277	48.82	13523.75	18	37.78
	中	146	57.65	8416.54	8	
	小	72	46.56	3352	20	
中绥 12	大	498	28.93	14407.32	13	33.33
	中	300	27.20	8161.03	7	
	小	296	21.45	6350.44	14	

3.2.2 不同杨树无性系单株日蒸腾耗水量研究

单株蒸腾耗水量真实地反映了一个树种在一定年龄

阶段及个体大小的耗水特征。由图 2 看出, 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量差异较大, L35 的白天单株日蒸腾耗水量明显高于其他杨树无性系, 达到 105.6 kg, NL95 最小, 仅为 29.1 kg, 8 个杨树无性系白天日蒸腾耗水量大小次序为 L35> I- 107 > NL895> 中林 46> I- 109> L323> 中绥 12> NL95。从图 1 和图 2 可以看出, 杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量的大小不仅取决于植物的蒸腾耗水速率, 而且单株叶面积是影响单株蒸腾耗水量的重要因素。蒸腾耗水速率是植物固有的水分生理特性, 而单株叶面积是随着林龄增长和林冠的增加不断变化的。因此, 从 8 个杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量的差异性来看, 单株叶面积对白天单株日蒸腾耗水量的影响要比蒸腾耗水速率的影响大。

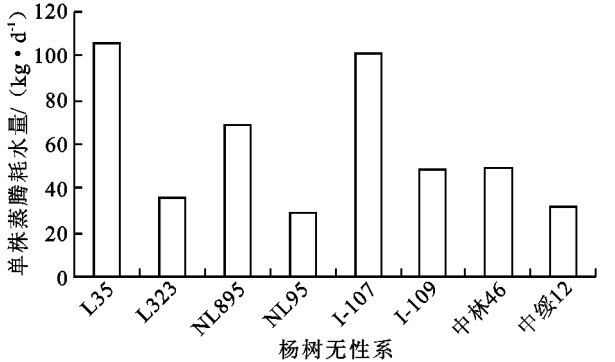


图 2 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量

3.3 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积关系研究

3.3.1 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量对单株材积的影响

对不同杨树无性系白天单株日耗

水量与单株材积进行分析(表 6)。8 个杨树无性系单株日蒸腾耗水量与单株材积的相关系数均在 0.90

以上,在 8 个杨树无性系中,除 I- 109 呈显著相关以外,其余 7 个杨树无性系呈极显著相关。

表 6 不同杨树无性系单株白天日蒸腾耗水量与单株材积的相关性分析

杨树无性系	L35	L323	NL895	NL95	I- 107	I- 109	中林 46	中绥 12
相关系数	0.964**	0.941**	0.943**	0.973**	0.990**	0.907*	0.979**	0.932**

为进一步研究不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积的关系,对不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积进行线性回归分析,建立线性回归方程见表 7。相关系数 R^2 都在 0.82 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,这也进一步表明白天单株日蒸腾耗水量与单株材积的关系十分密切。

表 8 8 个杨树无性系单株材积与日蒸腾耗水量类型间差异

类群	杨树无性系	单株 材积/ m^3	白天单株日蒸腾 耗水量/kg
A	L35	0.1298	105.56761
B	L323, NL95, I- 109	0.0530	37.63750
C	NL895	0.0476	29.11682
D	I- 107	0.0560	101.03721
E	中林 46, 中绥 12	0.0262	40.38254

表 7 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积的回归方程

杨树无性系	回归方程	相关系数 R^2
L35	$y = 0.0015x - 0.0356$	0.9290
L323	$y = 0.001x + 0.0205$	0.8864
NL895	$y = 0.0025x - 0.0793$	0.8898
NL95	$y = 0.001x + 0.0203$	0.8792
I- 107	$y = 0.0004x + 0.138$	0.9798
I- 109	$y = 0.0011x + 0.0024$	0.8256
中林 46	$y = 0.00007x - 0.0056$	0.9582
中绥 12	$y = 0.0008x + 0.0011$	0.8692

4 结 论

注: y ——单株材积; x ——白天单株日蒸腾耗水量。

3.3.2 不同杨树无性系白 天单株日 蒸腾耗水量与单株材积聚类分析 依据杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量和单株材积两个指标,对 8 个杨树无性系进行聚类分析见图 3。将 8 个无性系分为 5 类, L35 为 A 类, L323、NL95、I- 109 为 B 类, NL895 为 C 类, I- 107 为 D 类, 中林 46、中绥 12 为 E 类。从表 8 可以看出, A 类 L35 的单株材积和白天单株日蒸腾耗水量的类平均值都是最高的, 分别是 0.130 m^3 , 105.57 kg, 属于高材积量、高耗水型; B 类 L323、NL95 和 I- 109 属于中等材积量、较低耗水型; C 类 NL895 为较低材积量、低耗水型; D 类 I- 107 为较高材积量、较高耗水型; E 类中林 46、中绥 12 为低材积量、中等耗水型。

(1) 8 个杨树无性系叶片蒸腾耗水速率日动态变化均呈单峰曲线, 12:00- 14:00 叶片的蒸腾耗水速率上升并达到一天中的最大值。这时不同杨树无性系叶片蒸腾耗水速率峰值大小排序为 I- 107> 中林 46> NL895> NL95> L323> L35> I- 109> 中绥 12。8 个杨树无性系蒸腾耗水速率与光照和空气温度均呈显著性正相关, 与空气相对湿度均呈显著性负相关, 与土壤含水量呈负相关, 相关程度不显著。蒸腾耗水速率与影响因子的相关程度排序依次为: 光照> 空气相对湿度> 空气温度> 土壤含水量。

(2) 不同杨树无性系的叶面积与叶长和叶宽呈较好的多元线性函数关系, 复相关系数除了 NL895、NL95 和 I- 109, 其他无性系都在 0.9 以上, 经过对相关系数检验, 回归方程都达到极显著水平。将标准枝上的叶片长、宽代入单叶面积回归方程分别求得标准枝上各叶片单叶面积, 再将单叶面积累加计算出标准枝叶面积, 最后再根据标准枝的类型(大、中、小)和标准枝的数量求单株叶面积。

(3) 8 个杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量差异较大, L35 的白天单株日蒸腾耗水量明显高于其他杨树无性系, 达到 105.6 kg, NL95 最小, 仅为 29.1 kg, 8 个杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量大小次序为 L35> I- 107> NL895> 中林 46> I- 109> L323> 中绥 12> NL95。

(4) 对 8 个杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积进行相关性分析, 相关系数均在 0.90 以上。依据杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量和单株材积两个指标进行聚类分析, 可分为 5 类。A 类 L35 属于高材积量、高耗水型; B 类 L323、NL95 和

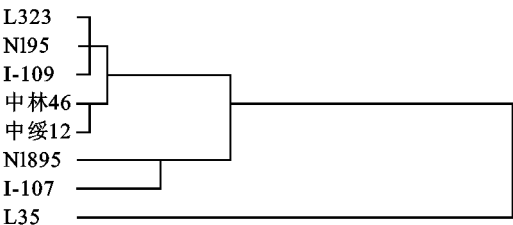


图 3 不同杨树无性系白天单株日蒸腾耗水量与单株材积的聚类分析

方案③ 该方案增加农业投资, 作物单产和畜牧业实现 2% 的增长速度; 同时增加耕地、草地和园地的面积, 林地的面积有所减少, 但林用地比例依然高于 28% 的最低限。此方案下, 米脂县可于 2016 年达到温饱水平, 2022 年实现小康, 2028 年左右总体上可达到较富裕的生活水平。

方案④ 该方案在方案③的基础上继续追加农业投资, 作物单产提高率和畜牧业发展速度达到 3%; 耕地、草地和园地的面积都超过方案ⅰ和③而林用地的比例是三个方案中最低的, 且低于 28% 的低限。此方案下, 米脂县可在 2013 年达到温饱水平, 2018 年实现小康, 2023 年可基本上达到富裕水平。

三个方案相比较, 方案 iv 中生态用地的林地面积得到最大保证, 但是农地承载力提高速度较慢, 难以满足人民生活水平提高的需要; 方案④农地承载力提高速度虽较快, 当地生活水平在未来 15 a 即可实现较富裕的目标, 但耕地、草地和园地的增长对作为生态用地的林地挤占较大, 势必造成水土流失的加重, 作物单产的过快提高往往依靠大量化肥农药的施用, 又将对环境造成危害, 此方案是一种不可持续的发展模式。相比之下, 方案③中林用地的比例高于 28% 的最低限, 在保证水土保持等生态用地需求的前提下, 农地承载力实现较快增长, 为此模型的优选方案。

4 结论与建议

通过对米脂县农地承载力系统动力学模型的分析, 发现目前该县依靠自身农地产出难以承载现有人口; 农地资源开发速度和结构是影响农地系统承载力的重要因素, 农业投资, 灌溉条件, 科学技术等外部因子也对农业生产水平和承载能力产生重要影响; 林用地等生态用地是生态环境良性循环的前提和基础, 农地资源的开发和系统承载力的持续提高必须保障生态用地。

针对当前米脂县农地承载状况, 笔者提出如下政策建议: 首先保护生态环境, 巩固退耕还林(草)的成果, 加强天然林保护和三北防护林建设工程, 实现经济环境和谐发展; 其次, 增加农业投入, 提高作物单产, 加强农业基础设施建设, 尤其是灌溉设施, 充分利用无定河及各支毛沟水资源, 同时发展农业节灌技术, 增施化肥并完善化肥的施用结构, 有效防止病虫害, 增加农业技术投入, 强化对农民的技术培训, 建设高产草地, 提高牧草的单产水平; 再次, 合理规划农用地结构, 保证生态用地, 针对不同地形地貌, 宜农则农、宜林则林、宜草则草。

参考文献:

[1] 陈百明. 我国的土地资源承载能力研究[J]. 自然资源, 1989(1): 5-26.

[2] 张传国, 方创林, 全华. 干旱区绿洲承载力研究的全新审视与展望[J]. 资源科学, 2002, 26(2): 549-555.

[3] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options ECCO[M]. The Resource Use Institute, 1990.

[4] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 西南喀斯特区域农业生态系统承载力系统动力学分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 312-323.

[5] 周立花. 靖边县生态与经济系统 SD 模型研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.

[6] 陈传美, 郑垂勇, 马彩霞. 郑州市土地承载力系统动力学研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27(1): 53-56.

[7] 陈图深, 童玉芬, 曾序春. 深圳市人口承载力分析及对策研究[J]. 西北人口, 2008, 29(3): 27-30.

[8] 陈克坚, 彭补拙, 濮励杰. 干旱区绿洲土地资源人口承载力研究[J]. 安徽师大学报: 自然科学版, 1998, 21(2): 170-174.

[9] 杨秀杰, 罗文锋, 周世星. 云阳县生态安全承载力的系统动力学分析[J]. 生化研究, 2005, 21(3): 98-102.

[10] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.

[11] 王国宏. 黄土高原植被恢复与新产业带形成的生态学基础研究[M]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2003.

(上接第 186 页)

I-109 属于中等材积量、较低耗水型; C 类 NL895 为较低材积量、低耗水型; D 类 I-107 为较高材积量、较高耗水型; E 类中林 46、中绥 12 为低材积量、中等耗水型。

参考文献:

[1] 苏建平, 康博文. 我国树木蒸腾耗水研究进展[J]. 水土

保持研究, 2004, 11(2): 178-179.

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

[3] 王颖. 林木蒸腾耗水研究综述[J]. 河北林果研究, 2007, 22(1): 39-43.

[4] 牛丽丽, 张学培, 曹奇光. 植物蒸腾耗水研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 158-163.