

泡桐林生产潜力估算及气候影响

景元书¹⁾ 杜 进²⁾ 全文伟³⁾

(1) 南京气象学院应用气象学系, 南京 210044, 2) 广元市气象局, 广元 628000, 3) 新安县气象局, 新安 471800)

摘 要 根据泡桐生理生态特性和分布区 20 个站点辐射、温度、降水等气候资料, 得出泡桐在不同地理区的气候生产潜力和分布规律。分析了未来气候变化对我国泡桐生产影响的一般情形和相应对策, 为更好地开发利用泡桐林生态系统提供依据。
关键词 泡桐林, 生产潜力, 气候变化
分类号 S162

泡桐属(*Paulownia*) 是我国特有的主要速生用材树, 因材质优、用途广, 而成为出口商品木材之一。泡桐分布广泛, 北自山海关, 沿长城走向, 经过晋中、陕北、甘南、川西直至云南省西部的东北-西南线东侧的平原、丘陵与低山区。近年来, 泡桐林营造规模不断扩大, 营林后各地生产量差异是林业经营关注的问题^[1], 也是产量生态学的重要研究内容。一些学者曾用 Miami 模式和筑后模式来建立我国森林生产力数学模型, 但因植被层次和具体树种等的不同出现较大偏差, 气候水热条件与植物生产力之间的数量关系显得粗略与不足^[2-4]。本文综合全国泡桐林分布区 20 个站点气象资料、生长量资料及边界约束条件, 构建各地区多因子泡桐气候生产力模式, 并分析气候变化对其影响, 为评价各地区泡桐林生产潜力及合理地泡桐林生态系统布局提供指导。

1 气候生产潜力模型的建立

1.1 光合生产潜力 TSP_Q

TSP_Q 指泡桐林群体结构合理、环境因素处于最佳状态、充分利用生长期间的光能资源、单位面积上所形成的最高产量。它主要由泡桐林冠层所接受的辐射能 Q_i 和光能利用率 E 所决定

$$TSP_Q = \sum TSP_{Qi} = EQ_i \quad i = 1, 2, \dots, 36(\text{旬}) \tag{1}$$

= $K/[C(1-I)(1-J)]$, 其中, 为泡桐主干占全株生物量比例, 取平均值 0.70^[5]; K 是将 $g \cdot cm^{-2}$ 换算成 $t \cdot hm^{-2}$ 的系数; C 为每形成 1g 干物质所需热量 ($KJ \cdot g^{-1}$); I 是泡桐无机养分含量, 取 0.05^[6]; J 是风干泡桐中的含水率 (0.05)。由于泡桐属于强阳性树种, 可不考虑超光饱和损失量, 故光能利用率 E 为

$$E = (1 - R)(1 - t)(1 - n)(1 - R_s)(1 - N_s) \tag{2}$$

式中, 为光合有效辐射 (PAR) 占总辐射的比率 (0.49); R 取 PAR 测量仪在冠层上 1m 处多

点测定反射率的平均值(0.14); t 是泡桐群体平均透光率测定值(0.10); n 是光合器官的无效吸收率(0.10); R_s 是泡桐林呼吸作用所消耗能量占光合作用合成量百分比,取温带森林值0.40^[6]; N_s 是枯枝落叶占全株总生物量比率^[6]; 为量子效率。将泡桐分布区20个站点辐射资料代入(1)、(2)式中,结果见表1。 TSP_Q 在大连、成都、昆明为80.1~83.6 $m^3 \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 的低值区,在福州、广州、南宁为高值区,平均为113.0 $m^3 \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。

表1 泡桐分布区生产潜力($m^3 \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)比较

	目前气候			未来气候			变化值		
	TSP_Q	TSP_t	TSP_C	TSP_Q	TSP_t	TSP_C	TSP_Q	TSP_t	TSP_C
大连	80.07	23.39	10.21	89.82	46.85	1.11	9.75	23.46	9.57
北京	100.97	3.19	1.03	110.61	19.68	19.78	9.64	16.49	5.45
郑州	95.34	52.60	21.89	103.63	68.64	6.48	8.29	16.04	6.23
太原	84.91	9.70	3.19	95.09	28.14	28.12	10.18	18.44	5.88
西安	85.32	35.30	14.26	97.25	45.54	9.07	11.93	10.24	7.99
兰州	86.90	20.32	4.14	101.15	49.28	22.25	14.25	28.96	8.85
济宁	86.97	43.05	17.85	98.26	61.95	12.99	11.29	18.90	9.32
合肥	94.32	37.40	17.99	100.76	47.27	27.17	6.44	9.87	1.99
南京	89.11	65.46	26.59	98.82	54.44	19.96	9.71	- 11.02	- 2.47
上海	90.62	63.20	29.37	100.58	51.96	24.12	9.96	- 11.24	- 4.02
杭州	88.66	61.69	32.79	94.83	50.27	25.35	6.17	- 11.42	- 5.14
武汉	101.84	59.36	28.80	107.66	53.98	27.65	5.82	- 5.38	- 2.35
长沙	93.36	67.39	36.60	99.09	46.89	26.45	5.73	- 20.50	- 11.54
南昌	105.63	71.03	33.05	110.87	54.60	25.06	5.24	- 16.43	- 6.30
成都	83.56	58.24	34.70	92.77	70.37	26.75	9.21	12.13	8.41
贵阳	76.74	49.40	30.51	88.61	68.23	43.11	11.87	18.83	11.79
昆明	80.93	24.87	10.47	109.79	58.83	42.30	28.86	33.96	15.34
福州	101.64	76.48	38.08	113.27	60.50	25.81	11.63	- 15.98	- 5.41
广州	117.88	88.66	44.37	135.25	73.24	32.67	17.37	- 15.42	- 7.04
南宁	119.55	95.35	45.95	139.63	88.21	37.33	20.08	- 7.14	- 1.63
平均	92.25	47.92	22.95	103.40	52.44	44.32			

1.2 光温生产潜力 TSP_t

在自然条件下水分供应适宜或通过人工措施可使水肥满足林木生长发育的需要,但很难保证热量条件处于最适状态。温度直接影响泡桐生长发育和干物质积累,这与其喜温特性有关。泡桐一般分布在一月均温大于- 8 地区,最低气温小于- 20 易受冻害,其年生育期由暖温带200 d左右延长至亚热带300 d上下。实验观测发现:气温15 时泡桐树木开始缓慢生长,21 时生长加快,日均温25 左右生长最快,其后随着温度上升生长速度缓慢下降,日均温达30 时停止生长。气候生产力温度 t 订正函数 $f(t)$ 由两段构成:15~21 为线性变化,21~30 范围内为二次曲线。具体形式可表示成

$$f(t)=\begin{cases}0.09(t-15) & 15 < t < 21 \\ -9.51+0.82t-0.016t^2 & 21 \leq t < 30 \\ 0 & t \leq 15, t \geq 30\end{cases}\tag{3}$$

为反映温度过低时泡桐树木受的伤害,采用 $f(t_m)$ 来表示最冷月份极端最低气温订正系数

$$f(t_m)=\begin{cases}1 & t_m > -15 \\ (28+t_m)/13-28 & -28 \leq t_m \leq -15 \\ 0 & t_m < -28\end{cases}\tag{4}$$

亦即光温生产潜力为

$$TSP_t=\sum TSP_{ti}=\sum TSP_{Qif}(t)f(t_m)\tag{5}$$

将(3)、(4)式代入(5)式,计算得我国泡桐分布区 TSP_t (见表1)。其分布趋势基本与 TSP_Q 相似,只是北京地区因冬季极端低温限制泡桐生长, TSP_t 值很小;地势较高的太原地区 TSP_t 值稍大,但整个冬季在强盛的干冷大陆性气团控制下气温较低,使光温生产潜力仅为 $9.7\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;地处亚热带的昆明站点虽无极端最低温危害,可高海拔引起降温效应和阴雨天气较多的夏温偏低($\bar{t}<21$),呈现出明显低于周围地区的 TSP_t 值。

1.3 气候生产潜力 TSP_c

如果土壤水分不处于最佳状态,则泡桐树木体内营养物质的吸收和运转受到直接影响。水分收支状况影响干物质累积过程可用水分订正函数 $f(w)$ 来反映。若取泡桐林冠截留降水的百分率为0.20,则林地内地面实际降水量为降雨量 r 的0.8倍,即

$$f(w)=\begin{cases}0.8\frac{r}{E_0} & 0.8r < E_0 \\ 1.0 & 0.8r \geq E_0\end{cases}$$

式中, E_0 为某一地区旬蒸散量,可用修正后的Penman公式求得, TSP_c 多因子解析式为

$$TSP_c=\sum TSP_{ci}=\sum TSP_{tif}(w)$$

各地泡桐 TSP_c 值如表1所示。其中处于黄土高原西部的兰州站点距海遥远,气候干旱,受水分限制较大, TSP_c 只达到 $4.41\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,为最大 TSP_c 的南宁站点的9.01%。

2 实际气候生产潜力 TSP_a

泡桐林是不同于粮食作物的多年生植物群体,不同生育期生长速度差异很大。在 TSP_c 基础上需分析泡桐林生长规律,计算现实生长量和平均生长量的最大值差。我们由泡桐分布区生长量($X/10^{-3}\text{m}^3$)资料,得到现实生长量和平均生长量随任意树龄(t/a)变化的三次回归方程(见表2)。

表2 生长量经验方程及极值

Table 2 Empirical expression and maximum of the growth of paulownia

		拐点(a)	极值($\times 10^{-3}\text{m}^3$)
现实	$x=-164.26t+18t-51t^2+2.75t^3$	10, 2	25.74
平均	$\bar{x}=114.42-90t+24.3t^2-1.2t^3$	11, 2	22.02

泡桐林生长最快时期的现实生长量为气候生产潜力 TSP_c 。为得到实际气候生产潜力,还应根据树木生物学特性,建立包括年幼期或生产衰退年份在内的多年平均生产量方程。从表2

可见, 平均生长量最大值为现实生长量最大值的 86%, 亦即以 0.86 折算 TSP_c 可得实际生产潜力 TSP_a 。图 1 显示 TSP_a 年总量地理分布自南向北递减, 等值线走向与中国年均温度和年降水量分布格局基本一致, 反映出泡桐 TSP_a 大小与分布主要取决于生长环境的水热条件。不同地区生产潜力与目前泡桐林生产情况趋向一致, 4 个测点系统资料说明模式估算信度在 81.7% ~ 88.9%, 其误差是土壤及其他生态因子影响的结果。以各地区气候条件指标和对应的泡桐生产力水平为标准^[7], 将中国泡桐生产力划分为 4 个产量大区: (1) 南温带半湿润区, TSP_a 小于 $10.0\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 极端最低温 t_m 在 $-30 \sim -20$, 年均降水

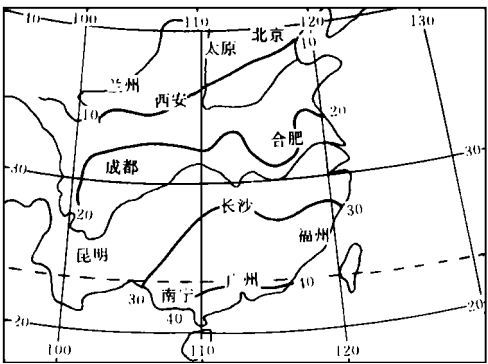


图 1 TSP_a 地理分布图
Fig. 1 Geographical distribution of TSP_a

量 R 在 $400 \sim 800\text{mm}$; (2) 暖温带半湿润、湿润区及北亚热带湿润区, TSP_a 在 $10.0 \sim 20.0\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, t_m 值 $-20 \sim -10$, R 值 $500 \sim 1\,000\text{mm}$; (3) 北、中亚热带湿润区, TSP_a 值在 $20.0 \sim 30.0\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, t_m 值在 $-10 \sim -5$, R 值 $800 \sim 1\,200\text{mm}$; (4) 中、南亚热带湿润区、热带湿润区, TSP_a 值大于 $30.0\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, t_m 大于 -5 , R 值大于 $1\,200\text{mm}$ 。这一区计算站点中, 福州、广州、南宁三地区的 TSP_a 为高值, 平均为 $36.7\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3 气候变化对气候生产潜力的影响

当前分析气候变化对气候资源的影响多数是以 GCM 模型输出结果为背景值(见表 3)。在泡桐品种等影响因子不变时, 计算出 CO_2 倍增情景下泡桐的气候生产潜力(表 1)。 CO_2 浓度倍

表 3 CO_2 倍增对中国气温、降水影响

Table 3 Influence of CO_2 doubling on temperature and precipitation over the country						
	年均气温变化 ()	12~2 月气温变化 ()	6~8 月气温变化 ()	年均降水量变化 (mm)	12~2 月降水变化 (mm)	6~8 月降水变化 (mm)
东北	2.72	3.08	2.45	77.8	13.5	28.2
华北	2.56	2.84	2.31	98.2	- 6.3	16.3
华东	2.40	2.87	2.05	211.3	15.3	59.8
华中	2.64	2.82	2.09	169.4	5.4	67.7
华南	2.42	3.17	1.81	251.5	27.9	86.9
西南	3.04	3.01	2.62	140.2	14.4	25.7
西北	3.02	2.85	3.15	77.0	8.1	0.46

增时泡桐分布区平均生育期延长, 光合生产潜力总体提高 12.1%。光温生产潜力与目前气候条件下分布类同, 最大值出现在广州、南宁附近, 但气温增高加大了泡桐的呼吸消耗, 影响了光合速率, 减少了 7、8 月份的干物质累积。除西南站点外, TSP_t 变化值在亚热带湿润区为负值, 最高值降低 $7.14 \sim 15.42\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。 CO_2 倍增引起温度上升对南温带区泡桐生长有利, 提高了光能利用率, TSP_t 变化值为正。昆明、兰州、太原及北京 TSP_t 值增加一倍以上, 且随纬

度增加变化率增大。以 TSP_t 为基础的泡桐气候生产潜力 TSP_c 在未来气候条件下平均可提高 9.5%。由于水分条件改善, 西北半干旱地区的 TSP_c 有较大提高, 其中兰州站点可增值 213.8%。另外, 气候变化使 TSP_c 在温带增加和南亚热带减少, 致使 TSP_c 地区间波动减小。

4 结 语

多因子气候学 TSP_c 模式基本反映了光温水对泡桐生长发育和产量形成的影响程度, 但土壤及其他生态因子也制约着泡桐生产力的大小, 尚有待更系统地收集资料来反映环境变量的权重叠加作用。为提高泡桐气候生产潜力和适应气候变化, 可保持泡桐群体合理结构, 培育耐高温、抗干旱的优良品种, 加强热害、旱涝对泡桐生产危害机理研究, 调整泡桐生产布局, 以有利于泡桐产量和品质的较大提高。

参 考 文 献

1 顾万春. 主要阔叶树速生丰产培育技术. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 23 ~ 25
2 陈国南. 用迈阿密模型测算我国生物生产量的尝试. 自然资源学报, 1987, 2(3): 270 ~ 278
3 侯光良, 游松才. 用筑后模式估算我国植物气候生产力. 自然资源学报, 1990, 5(1): 60 ~ 65
4 霍治国. 亚热带山区杉木气候生产力模式研究. 见: 中国自然资源研究会主编. 资源、环境与农业发展. 北京: 中国科技出版社, 1992. 34 ~ 38
5 陆新育, 陈绍信, 李森泉, 等. 农桐间作泡桐生物量研究. 泡桐与农用林业, 1990, (1): 12 ~ 22
6 宛志沪. 皖西山区黄山松与华山松的气候生产潜力. 中国农业气象, 1993, 14(3): 36 ~ 38
7 刘世荣, 徐德应, 王 兵. 中国森林第一性生产力模拟. 林业科学研究, 1994, 7(4): 425 ~ 430

EVALUATION OF PAULOWNIA FOREST POTENTIAL
PRODUCTIVITY AND CLIMATIC EFFECT

Jing Yuanshu

(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Du Jin

(GuangYuan Meteorological Bureau, Guangyuan 628000)

Tong Wenwei

(Xin'an Weather Station, Xin'an 471800)

Abstract According to the physiology/ecology, and records of radiation, temperature and rainfall from 20 stations in different climatic zones, climatic potential productivity of paulownia is estimated together with its spatial pattern. Also, investigation is made of the general situation of the growth in future climate alongside countermeasures, thereby providing a basis for exploiting the ecological system of paulownia forest.

Keywords paulownia forest, potential productivity, climatic change