

# 黄土高原主要能源林树种速生性研究

王哈生 周泽生 李 立 弋效刚\*

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

## 摘 要

采用 logistic 方程模拟树种生长过程,确定了 10 个能源林树种的速生期并划分出短速型、持续型和中间型 3 个高生长类型。根据生长和平茬效果,选择了沙棘等 7 个抗旱适应性及萌蘖性强、较速生的能源林树种。

关键词 能源林 logistic 方程 速生性

黄土高原地区“三料”俱缺,燃料奇缺尤为严重,而营造能源林是解决农村能源紧缺的有效途径。能源林树种应具有速生、萌蘖能力强等特点,因此,研究树种的速生特性及其生长发育规律对能源林树种的选择及其栽培经营有着重要的意义和参考价值。

速生轮伐期短的能源林,追求较高的生物量。树高或地径生长量越大,说明干物质积累越多,产量越高,也即速生。一般地说,生长量大速生的树种也就是较理想的能源林树种。

## 1 试验区自然条件和调查研究方法

试验区位于宁夏回族自治区彭阳县境内,系黄土丘陵区,水土流失严重,海拔 1 500~1 700m。该区植被具有灌丛草原特征,属温带半干旱气候,年降水量 350~450mm;年平均温度 6.5~7.2℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 2 376℃~2 581℃;  $\geq 10^\circ\text{C}$  持续日数为 153 天,无霜期 150~160 天;土壤为细黄土。

试验林主要布设于梁顶退耕地。供试树种的树龄和造林密度见表 1。山桃(*Amygdalus davidiana*)和部分沙棘(2)(*Hippophae rhamnoides*)布设于荒山,刺槐(2)(*Robinia pseudoacacia*)布设于沟底,沙柳(2)(*Salix mongolica*)造林密度为 3 330 株/ha,紫穗槐(2)(*Amorpha fruticosa*)造林密度为 19 995 株/ha。

选择供试树种生长健壮的 10 株林木作为标准株,于 1989 年生长萌动期(4 月中下旬)开始,每隔半月测定一次,量测其树高和地径生长量。乔木树种量其主干高度,灌木树种量其能代表灌丛高度的枝条离地面的高度。

采用 logistic 生长曲线模拟各树种的生长过程。logistic 方程为:

表1 供试树种的树龄和密度

树 种	树龄 (a)	密 度 (株/ha)	树 种	树龄 (a)	密 度 (株/ha)
沙棘(1)	3	9990	火炬树	4	9990
刺槐(1)	6	4995	柠条锦鸡儿	3	9990
山 杏	6	4995	小叶锦鸡儿	3	9990
杜 梨	6	9990	沙柳(1)	6(平茬第2年)	19995
山 桃	4	6660	紫穗槐(1)	6(平茬第2年)	3220

$$y = c / [1 + \exp(a - bx)] \quad (1)$$

式中  $x$  和  $y$  分别为时间和树高生长量,以 5 月 1 日为第 1 天计数生长天数;  $a$  和  $b$  为待定参数;  $c$  为确定的已知常数(等差三点法确定),是林木生长的极限生长量。

## 2 结果及分析

### 2.1 logistic 方程的模拟

(1)式经线性变换,用最小二乘法原理,就可确定出参数  $a$  和  $b$ 。通过对树种高生长方程的推算,可揭示树种生长发育的特性。

#### 2.1.1 高生长方程

经统计计算,可得各树种的树高生长方程,见表 2。统计检验,相关系数均达极显著水准( $\alpha = 0.01$ ),表明用 logistic 方程描述各树种的生长过程是适宜的。

表2 10 种树木高生长方程参数表

树 种	$a$	$b$	$c$	$n$	$r$
沙棘(1)	3.669	0.047	52.093	10	0.994
刺槐(1)	3.854	0.073	50.506	8	0.992
山 杏	2.512	0.082	35.089	7	0.971
杜 梨	2.879	0.059	12.188	8	0.986
山 桃	3.211	0.179	12.001	5	0.965
火炬树	4.553	0.221	18.000	5	0.966
柠条锦鸡儿	3.644	0.059	15.714	8	0.989
小叶锦鸡儿	2.419	0.041	18.316	8	0.988
沙柳(1)	3.860	0.099	12.308	5	0.998
紫穗槐(1)	2.719	0.062	28.141	8	0.979

注:  $n$  为样本容量;  $r$  为相关系数

#### 2.1.2 最大生长速率和速生期的确定

对(1)式求其一阶导数,可得各树种的高生长速率方程:

$$V = cb \exp(a - bx) / [1 + \exp(a - bx)]^2 \quad (2)$$

再对  $V$  求一阶导数,并令  $V' = 0$ ,得驻点:

$$x = a/b \quad (3)$$

经检验  $V$  在此驻点取得极大值,极大值为:

$$V_{\max} = cb/4 \quad (4)$$

由此可得各树种的最大生长速率。驻点时,林木生长量已达极限生长量的一半( $c/2$ ), (3)

式也因此被称为速增点。同样,再求  $V$  的二阶导数  $V''$ ,并令  $V''=0$ , 经检验可得  $V$  两拐点的横坐标和二者之差:

$$X_1 = (a - 1.317)/b \text{ 和 } X_2 = (a + 1.317)/b$$
$$\Delta X = 2.634/b \tag{5}$$

有人用 logistic 方程讨论了树木生长发育的速增性,确定了体现树木速增性的速增点和速增期<sup>[1]</sup>。确定树木速生期的数学依据是:在树木最大高生长日(速增点)附近有一个生长高峰,这是高生长的速生期,也正是高生长过程 S 形曲线最陡的一段。在数学上拐点是凸凹曲线的连接点,在此可解释为高生长变化量发生转折的地方,即高生长由慢到快或由快到慢的转折点。因此,可把生长速率方程  $V$  两拐点的横坐标定义为速生期的始末端,也即速生期历时时间可由(5)式算得。生长缓慢时期的生长速率均低于速生期生长速率下限,如沙棘低于 0.41cm/d(表 3)。

表 3 10 种 树 木 高 生 长 特 点

树 种	最大生长速率 (cm/d)	速 增 点	速生期生长速率 范围 (cm/d)	速生期历时时间 (d)	占生长季百分数 (%)
沙棘(1)	0.61	7月18日	0.41~0.61	56	36.6
刺槐(1)	0.92	6月21日	0.62~0.92	36	23.5
山 杏	0.72	5月31日	0.48~0.72	32	20.9
杜 梨	0.18	6月18日	0.12~0.18	45	29.4
山 桃	0.54	5月18日	0.36~0.54	15	9.3
火炬树	0.99	5月21日	0.66~0.99	12	7.8
柠条锦鸡儿	0.23	7月 1日	0.16~0.23	45	29.4
小叶锦鸡儿	0.19	6月28日	0.13~0.19	64	41.8
沙柳(1)	0.30	6月 8日	0.20~0.30	27	17.6
紫穗槐(1)	0.44	6月13日	0.29~0.44	42	28.1

各树种由于其生长节律不一样,树高生长呈现不同的特点。由表 3 可看出,10 个树种,按最大生长速率的大小,顺序依次是火炬树(*Rhus typhilla*)、刺槐、山杏(*Armeniaca sibirica*)、沙棘、山桃、紫穗槐、沙柳、柠条锦鸡儿(*Catagana korshinskii*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)和杜梨(*Pyrus betulaefolia*)。最大生长速率最高的是火炬树,其次为刺槐、山杏、沙棘和山桃,最大生长速率不低于 0.50cm/d,其余树种最大生长速率则低于 0.50cm/d。10 个树种,速生期较长的是小叶锦鸡儿和沙棘,山桃和火炬树较短,其余树种介于这两者之间。

理想的树种,即生长效果好的树种,应是速生期长和生长速率高的树种,按此综合考虑选择树种,沙棘、刺槐、山杏和紫穗槐生长较突出,山桃和火炬树生长次之。

供试树种多数生长高峰出现在生长旺盛季节 6 月和 7 月上中旬,有些出现在 5 月,较早,如山桃、火炬树和山杏。由此可见,为促进树木生长而采取的各种栽培经营措施(如松土、除草、施肥等),应根据各树种的生长特点在速生期的早期进行,延长速生期和加快速生期,以达到应有的生长效果。

各树种的生长节律,不仅与其遗传特性有关,环境及栽培措施也对其有深刻的影响。黄土丘陵区,土壤水分是影响林木生长的重要生态因子。由表 4 可见,沙棘和刺槐,由于立地条件不同,土壤水分好的,表现较高的生长值;速生期长,最大生长速率高以及显著高

表4 沙棘等4种树木高生长特点

树 种	树龄 (a)	密度 (株/ha)	立地特征	最大生 长速率 (cm/d)	速增点	速生期生 长速率范 围(cm/d)	速生期历 时时间 (d)	占生长季 百分数 (%)	年生长量 (cm)
沙棘(1)	3	9990	梁顶退耕地	0.61	7月18日	0.41~0.61	56	36.6	50
沙棘(2)	4	4995	荒 山	0.58	8月27日	0.38~0.58	46	30.1	39
刺槐(1)	6	4995	梁顶退耕地	0.92	8月21日	0.62~0.92	36	23.5	50
刺槐(2)	6	4995	沟 底 地	1.18	7月3日	0.79~1.18	40	26.1	71
紫穗槐(1)	6(平茬第2年)	3330	梁顶退耕地	0.44	6月13日	0.29~0.44	43	28.1	28
紫穗槐(2)	6(平茬第2年)	19995	梁顶退耕地	0.38	5月31日	0.25~0.38	42	27.5	24
沙柳(1)	6(平茬第2年)	19995	梁顶退耕地	0.30	6月8日	0.20~0.30	27	17.6	12
沙柳(2)	6(平茬第2年)	3330	梁顶退耕地	0.30	6月18日	0.20~0.30	38	24.8	17

的年生长量。对于紫穗槐和沙柳,造林密度高的,由于林木对水分的竞争,土壤水分不能满足林木生长的需要,表现较小的生长值;速生期短,最大生长速率低和年生长量小。由表4还可看出,同一树种在不同立地条件或不同密度下,立地条件好或密度小的,树高生长高峰出现的时间晚一些。

综合上述,半干旱黄土丘陵区,只要水分条件能满足树木的需要,则会有较大的生长潜力。通过选择适宜的造林密度和采取有效的栽培措施,可满足树木对水分的需要,以延迟生长高峰出现的时间,延长速生期和加快速生期,从而促进树木生长。

2.1.3 高生长类型划分

有人曾将速生期历时天数占全年生长季(日均温持续超过10℃天数合计)总天数的百分数作为划分的依据,将树高生长划分为三个类型:持续型、短速型和中间型<sup>[2]</sup>。分析比较这种差异,划分的标准确定为:占生长季天数10%以下者为短速型,占生长季天数25%以上者为持续型,10%~25%间者为中间型。由表3和表4可看出,沙棘、杜梨、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和紫穗槐为持续型,山桃和火炬树为短速型,山杏和沙柳为中间型,刺槐有持续型,也有中间型,立地条件好的(主要为水分条件)为持续型,反之,为中间类型,由于不同树种年生长量差异明显,高生长类型与树种最大生长速率(最大日生长量)之间,比较最大生长速率绝对值意义不大,用最大相对生长速率(最大日生长量与年生长量的比值)比较,可以明显看出高生长类型不同,最大相对生长速率间的差异(表5)。短速型最大相对生长速率高,持续型的低,中间型的介于二者之间。短速型的为中间型的2~3倍,为持续型的3~5倍。

表5 不同高生长类型树种最大相对生长速率

类型	树 种	最大相对生长速率
短速型	火 炬 树	0.99/18 = 0.055
	山 桃	0.54/12 = 0.045
中间型	沙柳(1)	0.30/12 = 0.025
	山 杏	0.72/35 = 0.021
	沙柳(2)	0.30/17 = 0.018
	刺槐(1)	0.92/50 = 0.018
持续型	刺槐(2)	1.18/71 = 0.017
	紫穗槐(2)	0.38/24 = 0.016
	紫穗槐(1)	0.44/28 = 0.016
	沙棘(2)	0.58/39 = 0.015
	杜梨	0.18/12 = 0.015
	柠条锦鸡儿	0.23/15 = 0.015
	小叶锦鸡儿	0.19/17 = 0.011
	沙棘(1)	0.61/50 = 0.012

2.2 年均生长量

以上虽对各树种的生长节律作了分析,但同一树种不同年份生长有所不同,有快有慢,年均生长量的大小能直观地说明其速生特性。就树种各年份生长的平均状况来说,沙

棘、刺槐、山杏、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、沙柳和紫穗槐 7 种树高生长量较大(表 6), 年均生长量大于 29cm; 杜梨、山桃和火炬树生长较差, 年均生长量低于 24cm。生长最为突

表 6 沙棘等 10 种树种年均高生长量

树 种	树龄 (a)	年均生长量 (cm)	树 种	树龄 (a)	年均生长量 (cm)
沙棘(1)	3	49.7	火 炬 树	4	21.3
沙棘(2)	4	38.0	柠条锦鸡儿	3	39.0
刺槐(1)	6	44.5	小叶锦鸡儿	3	35.7
刺槐(2)	6	47.3	沙柳(1)	2	58.5
杜 梨	6	23.3	沙柳(2)	2	69.0
山 杏	6	29.5	紫穗槐(1)	2	44.5
山 桃	4	23.8	紫穗槐(2)	2	42.5

出的为沙柳, 其次为沙棘、刺槐和紫穗槐。可见这 7 种树种是较速生的树种。沙柳和紫穗槐早期速生, 对短轮伐能源林有着重要意义。沙棘、刺槐、沙柳和紫穗槐, 同一树种由于立地条件好或造林密度小, 其年均生长量也较大。对不同能源林植物抗旱能力研究结果<sup>[3][4]</sup>表明: 沙棘、刺槐、山杏、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿、沙柳和紫穗槐有较强的抗旱适应性, 故在黄土丘陵区大气、土壤时常干旱的条件下也能生长良好, 如沙棘在水分条件较差的荒山, 仍有较高的年均生长量, 其值为 38.0cm。

### 2.3 平茬效果

萌蘖力强也是选择能源林树种的重要指标。表 7 可见平茬对树木所产生的生长效果,

表 7 山杏等 7 种树木平茬效果

树 种	平 茬	树 龄 (a)	年均生长量 (cm)		平茬与对照比值		平均萌条数 (条)
			树高	地径	树高	地径	
山 杏	对照	5	28.2	0.48	2.7	1.7	1.5
	处理	5(平茬第 2 年)	76.1	0.80			
沙 柳	对照	4	51.9	0.32	2.2	2.2	9.2
	处理	5(平茬第 2 年)	111.8	0.70			
紫 穗 槐	对照	4	32.6	0.40	1.5	1.5	3.3
	处理	5(平茬第 2 年)	49.6	0.60			
刺 槐	对照	5	42.0	0.60	2.7	2.7	1.5
	处理	5(平茬第 2 年)	113.7	1.60			
柠条锦鸡儿	对照	3	43.6	0.49	3.2	2.5	2.2
	处理	3(平茬第 1 年)	138.0	1.25			
小叶锦鸡儿	对照	3	29.3	0.30	3.3	3.2	6.2
	处理	3(平茬第 1 年)	96.0	0.98			
沙 棘	对照	3	58.3	0.80	1.8	1.5	3.6
	处理	3(平茬第 1 年)	102.0	1.21			

同一树种平茬的年均生长量大于对照, 山杏、沙柳、紫穗槐、刺槐、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和沙棘树高年均生长量经过平茬的分别为对照的 2.7 倍、2.2 倍、1.5 倍、2.7 倍、3.2 倍、3.3 倍和 1.8 倍, 地径年均生长量分别为未平茬的 1.7 倍、2.2 倍、1.5 倍、2.7 倍、2.5 倍、3.2 倍和 1.5 倍。由此可见, 平茬能促进生长, 平茬后沙柳等 5 种灌木树种萌条数多, 如沙柳有健壮

萌条 9.2 条,紫穗槐有健壮萌条 3.3 条,从而提高了生物产量。

### 3 结 论

3.1 树木速生性的研究,很少运用数学方法进行描述,一般都采用直观定性分析方法。确定速生期,如有以全年高生长量的 10%~90%作为速生期的始终点<sup>[2]</sup>。通过 logistic 方程,分析了树木速生性,并确定了树木的速生期及其历时时间为:

$$\Delta X = 2.634/b$$

3.2 供试的 10 个树种,由于种间生长节律的不同,同一树种由于立地条件或造林密度的不同,其生长特征即最大生长速率以及出现的时间和速生期长短有明显的差异。火炬树、刺槐、山杏、沙棘和山桃的最大生长速率均大于 0.5cm/d,最大生长速率最高的是刺槐(立地为沟底),为 1.18cm/d,其次为火炬树,其值为 0.99cm/d,梁顶退耕地上的刺槐,为 0.92cm/d。速生期较长的是小叶锦鸡儿和沙棘,分别为 64 天和 56 天,山桃和火炬树较短,分别为 15 天和 12 天。多数树种生长高峰出现在生长旺盛季节的 6 月和 7 月上中旬,有些出现较早,在 5 月,如山桃、火炬树和山杏。

3.3 半干旱黄土丘陵区,为促进树木生长,发挥树木的生长潜力,可通过选择适宜的造林密度和采取有效的栽培措施(如速生期早期松土除草、采用抗旱保水剂、施肥以肥调水等),以满足树木对水分的需要。

3.4 试验表明,山桃和火炬树为短速型,沙棘、杜梨、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和紫穗槐为持续型,山杏和沙柳为中间型。立地水分条件好的刺槐为持续型,反之,为中间型。不同类型之间,其最大相对生长速率差异明显。

3.5 沙棘、刺槐、山杏和紫穗槐速生期长,且生长速率高;沙棘、刺槐、山杏、沙柳、紫穗槐、柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿较速生,并且萌芽性强,沙棘根蘖能力强,这些树种适宜于作能源林树种。

### 参 考 文 献

- [1] 张纪林等. 树木生长速增性的数学模型探讨. 林业科技通讯, 1990 年第 8 期(总 238 期)
- [2] 周晓峰等. 几个主要用材树种的生长节律(一). 东北林学院学报, 1981 年第 2 期
- [3] 周泽生等. 黄土高原能源林植物选择研究(一)——19 种旱生植物叶片解剖特征的镜检. 水土保持学报, 1989 年第 1 期
- [4] 傅左等. 黄土高原能源林植物选择研究(二)——主要能源林植物水分状况及其抗旱性比较. 水土保持学报, 1989 年第 8 期

## THE STUDY ON THE RAPID GROWTH BEHAVIOUR OF MAIN ENERGY FOREST SPECIES OF THE LOESS PLATEAU

Wang Hansheng   Zhou Zesheng   Li Li   Yi Xiaogang  
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the  
Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water  
Conservancy Yang Ling·Shaanxi·712100)

### Abstract

In this paper the rapid growth period of 10 anergy plantation species was determined by simulation of growth period with logistic equation. They were classified into 3 high growth types, i.e., short-term rapid growth type, long-term rapid growth type and intermediate type. 7 species including Common Seabuckthorn, Black Locust, etc. were selected for energy plantation according to their drought tolerance, rapid growth behaviour and vigorous sprouting ability.

**Key words** energy forest   logistic equation   rapid growth behaviour

---

(continued from p96)

rate of 7 plants used for energy-forest and their photosynthetic rate, transpiration rate, transpiration coefficient. The result shows, the net-photosynthetic rate of energy-forest plants is greatly influenced by the surrounding factors around them in arid region of the loess plateau. *Armeniaca sibirica* Linn., *Hippophae rhamnoides* Linn. and *Robinia pseudoacacia* Linn. have the character of higher netphotosynthetic rate and lower transpiration rate. *Cargana Korshinskii* Kom. and *Cargana microphylla* Lam. belong to the varieties of higher photosynthetic rate and transpiration rate. Six plants mentioned above, having lower transpiration coefficient, are fine energyforest plants which have the character of stronger adaptability to surroundings and higher photosynthetic rate.

**Key words** net-photosynthetic rate   transpiration rate   transpiration coefficient   water utilization ratio.