

# 灌木林的生长和生产力

周泽生 王晗生 李立 傅佐

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
水利部

**摘要** 采用 Logistic 方程模拟,揭示了沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、山杏 (*Prunus armeniaca*) 等 10 个树种的生长发育特性。以试验数据分析了造林密度、施肥、平茬与灌木林产量的密切关系。

**关键词** 黄土高原 灌木林 生长 生产力

## Study on the Shrubbery Growth and Productivity

Zhou Zesheng Wang Hansheng Li Li Fu Zuo

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** By using the Logistic simulation method, the results indicated the growing and developing characteristics of ten kinds of trees such as *Hippophae rhamnoides*, *Robinia pseudoacacia* and *Prunus armeniaca* etc. The close relationship among afforested density, fertilizer amount, felling and shrubbery production was analyzed.

**Key words** Loess Plateau shrubbery growth productivity.

黄土高原地域辽阔,是我国民族文化的摇篮和农业的发祥地,在国民经济建设中具有重要的战略地位。长期以来,由于土地利用不合理,植被稀少,气候干旱,水土流失严重,强烈的土壤侵蚀,使土地资源的再生能力横遭摧残,生态环境恶化。而要改善该区生态环境条件,是需要一定的条件和过程的,即必须按照自然规律和经济规律,实行开发利用灌木林资源的技术方针,则是改善和治理黄土高原生态环境最有效的措施。这是由于灌木林具有许多优异的特性和经济价值,它耐干旱、耐贫瘠、适应性强,易繁殖,生长快、生物产量高,一般 3~5 年即可提供“三料”,茎叶含有较丰富的营养物质,固氮能力强,是良好的饲料和有机肥料;萌生能力强,热值高,平茬后可以复壮,可以连续多年取用燃料,是一种优良的再生能源;根系发达、枝叶繁茂,具有防风固沙、保持水土、改善生态环境的作用;即可作小径材,也是很好的编织材料和蜜源植物,同时还可生产油料、医药、纤维、化工等重要原料,具有较高的经济价值。因此,开展灌木林资源开发利用及其生长和生产潜力的研究,对加速黄土高原的治理具有重要的作用和意义。

# 1 灌木林的生长特性

深入系统地研究灌木林的生长特性及其生长发育规律,对建立速生、高产的灌木林以及提高灌木林的生产力和经济水平可提供依据。

## 1.1 灌木林的速生法

1.1.1 Logistic 方程模拟 对树木速生性的研究,很少运用数学方法进行描述,一般多采用直观定性分析方法。我们采用 Logistic 生长曲线模拟各树种的生长过程。其 Logistic 方程为:

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

式中:  $x$  和  $y$  分别为时间和树高生长量,以 5 月 1 日为第一天计数生长天数;  $a$  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。

(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。

经统计计算,可得各树种的高生长方程(见表 1)。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 1 各种树种高生长方程参数表

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。

1.1.2 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:

$$x_1 = (a - 1.317)/b \text{ 和 } x_2 = (a + 1.317)/b \\ \Delta x = 2.634/b \quad (5)$$

张纪林等用 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 $0.41\text{cm/d}$ (见表2)。

表2 不同树种高生长特点

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	9.8
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	43	28.1

由表2可看出,各树种由于其生长节律不一样,树高生长呈现不同的特点,按最大生长速率的大小,其顺序依次是:火炬树、刺槐、山杏、沙棘、山桃、紫穗槐、沙柳、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和杜梨。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,其最大生长速率不低于 $0.50\text{cm/d}$ ,其余树种最大生长速率则低于 $0.50\text{cm/d}$ 。上述10种树种,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中沙棘、刺槐、山杏和紫穗槐生长突出,山桃和火炬树生长次之。

树种的生长节律,大多数生长高峰期出现在生长旺盛季节6月和7月上中旬,山桃、火炬树和山杏,出现在5月中下旬。由此可见,为促进树木生长而采取的各种栽培经营措施,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。

1.1.3 年均生长量 同一树种在不同的年份其生长量有所不同而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看,沙棘、刺槐、山杏、柠条锦鸡儿、沙柳和紫穗槐高生长量较大,年均生长量大于 $29\text{cm}$ (见表3),杜梨、山桃和火炬树生长次之,年均生长量低于 $24\text{cm}$ 。生长最为突出的为沙柳,其次为沙棘、刺槐和紫穗槐。而生长在立地条件较好的(沟底)刺槐或造林密度较小的沙柳、紫穗槐,其平均生长量也较大。

表3 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

1.1.4 高生长类型划分 周晓峰等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>。分析比较过三种类型划分的标准为: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%之间者为中间型。

由表4可看出,沙棘、杜梨、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和紫穗槐为高生长持续型,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(主要为水分条件)为持续型,反之,水分条件较差的为中间型。

表4 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
	刺槐(2)	1.18/71=0.017
持续型	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

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,可以看出高生长类型不同,其最大相对生长速率间的差异明显(表4)。其中短速型最大相对生长速率高,持续型较低,中间型介于两者之间,短速型为中间型的2~3倍,为持续型的3~5倍。

## 2 灌木林的生产潜力

实行科学合理的造林密度和施肥,提高林地土壤肥力和水分条件以及适时进行平茬复壮等经营措施,促进林木的生长,则是提高灌木林产量的有效途径。

### 2.1 造林密度与产量

树木要求一定的生存空间,确定适宜的造林密度是促进灌木林速生和提高其产量的重要措施。

表5 不同造林密度对灌木林产量(鲜重)的影响 kg/hm<sup>2</sup>

树种	年龄(a)	密度(m)					备注
		1m×0.5m	1m×1m	1m×1.5m	1m×2.0m	1m×2.5m	
山桃	3	11080	6000	3990	3400	2970	
沙棘	3	6090	3605	2130	1740	1500	
柠条	3	4190	2800	1530	1360	1140	
沙柳	7	833	511				213
紫穗槐	7	522	255				189

表5说明,不同造林密度对灌木林的产量有显著的影响。一般规律是随着造林密度的增大

而提高。其中以  $1\text{m} \times 0.5\text{m}$  密度的产量为最高(山桃、沙棘、柠条每公顷产量分别为 11 080, 6 090 和 4 190kg), 是该区一般造林密度( $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ )的 3 倍。 $1\text{m} \times 1\text{m}$  密度次之, $1\text{m} \times 2.5\text{m}$  密度产量最低。说明灌木林采用高密度短轮伐期经营, 在较短时间内, 则会获得较高单位面积的产量。但是, 在半干旱黄土丘陵地区, 由于树木受土壤水分和肥力条件的限制, 在幼龄期植株小, 个体需要的营养条件不发生激烈的竞争, $1\text{m} \times 0.5\text{m}$  初植密度还是可行的。随着年龄的增加, 林木所需要的生存空间也随之扩大, 灌木林的密度则不宜扩大。因此, 为提高灌木林的单位面积的生产潜力和土地利用效率, 应根据各种灌木树种本身的遗传特性, 在造林初期(2~4 年), 柠条、沙棘采用  $1\text{m} \times 0.5\text{m}$  和山桃采用  $1\text{m} \times 1\text{m}$  较大的造林密度是可行的。

## 2.2 施肥与产量

由表 6 可知, 施肥对灌木林有明显的增产作用。其中以山桃产量最高, 增产率 43.6%~78.9%(每公顷施氮肥 150kg, 磷 75kg); 沙棘增产率为 28.2%~100%(每公顷施氮 75kg, 磷 15kg); 柠条增产率 48%~109.2%(每公顷施氮 75kg, 磷 150kg)。由于树种不同, 施用的氮磷肥比例对其增产的效果也不同, 其中氮肥对山桃的产量影响较大, 而磷肥对沙棘和柠条的增产作用显著。

表 6 施肥地灌木林产量(鲜重)的影响  $\text{kg}/\text{hm}^2$

树种年龄 (a)	密度 (m)	施氮量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	施磷量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	山桃		沙棘		柠条	
				产量	增产率 (%)	产量	增产率 (%)	产量	增产率 (%)
3	$1 \times 1.5$	150	75	7140	78.9	2820	32.40	2670	74.5
3	$1 \times 1.5$	75	150	6810	70.70	4260	100.00	3210	109.8
3	$1 \times 1.5$	75	75	5730	43.60	2730	28.20	2265	48.0
3	$1 \times 1.5$	0	0	3990	0	2130	0	1530	0

表 7 平茬对灌木林生长的影响

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			
沙棘	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	0.50			
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	0.30	1.8	1.5	3.6
	处理	3(平茬第 1 年)	102.0	1.21			

## 2.3 平茬效果

由表 7 可见平茬对灌木林生长和产量的影响。一般规律是同一树种经过平茬的平均生长量均大于对照。其中经平茬的山杏、沙柳、紫穗槐、刺槐、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和沙棘的树高年均生长量分别为对照的 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

能促进灌木林的生长,平茬后的沙柳等5种灌木萌条数增多,如沙柳有健壮萌条9.2条,紫穗槐有健壮萌条3.3条,从而提高了灌木林的生物产量。

#### 2.4 净同化率(NAR)和叶面积系数(LAI)

净同化率高的树木,干物质积累快,生产量高,并有较高的生产潜力,反之,产量就低。叶片是植物的光合器官,叶面积的大小与植物干物质的积累有密切关系。单位土地面积上的叶面积被定义为叶面积指数(LAI),叶面积指数越大,光合产物就越多,单位土地面积上的产量就越高。

表8 灌木树种净同化率(NAR)和叶面积系数(LAI)

树种	间隔时间 ( $t_2 - t_1$ ) (d)	单株叶面积( $\text{cm}^2$ )		单株总干重(g)		NAR * $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	LAI
		$S_1$	$S_2$	$W_1$	$W_2$		
山桃	120	9555	21158	180.4	436.5	1.10	1.41
沙棘		4928	9944	102.8	174.5	0.82	0.66
柠条锦鸡儿		1003	2353	70.5	102.8	1.62	0.15
小叶锦鸡儿		1365	2650	73.1	99.2	1.12	0.17

表9 灌木树种各年产量对照

树种	立地条件	单株重(g)		产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )					
		鲜重	干重	鲜枝重	鲜叶重	总鲜重	干枝重	干叶重	总干重
山桃	1 西南坡中部	20	10	86.6	46.7	133.3	46.7	20.0	66.7
	2 西南坡中部	194	136	732.0	559.5	1291.5	499.5	273.0	772.5
	3 西南坡中部	1055	520	3930.0	3037.5	6467.5	2331.6	1132.5	3464.1
	4 西南坡中部	2145	1318	9157.5	5128.5	14286.0	6526.5	2251.5	8778.0
沙棘	1 西南坡上部	18	10	59.6	59.6	119.2	33.3	33.3	66.6
	2 西南坡上部	255	120	952.5	747.0	1699.5	477.0	333.0	810.0
	3 西南坡上部	360	150	1170.0	840.0	2120.0	600.0	405.0	1005.0
	4 西南坡上部	1167	738	5994.0	1779.0	7773.0	4129.5	753.3	4882.8
柠条锦鸡儿	1 西南坡中上部	35	17	166.5	66.6	233.4	86.5	26.7	113.3
	2 西南坡中上部	111	61	546.0	193.5	739.5	183.3	223.5	406.8
	3 西南坡中上部	472	330	2704.5	453.6	3157.5	1998.0	199.5	2197.5
	4 西南坡中上部	648	387	3796.5	519.0	4315.5	2371.5	207.0	2578.5
小叶锦鸡儿	2 西南坡中上部	92	60	379.5	231.0	610.5	313.5	87.0	400.5
	3 西南坡中上部	438	280	2464.5	453.0	2917.5	1665.0	199.5	1864.5
	3 西南坡中上部	438	280	2464.5	453.0	2917.5	1665.0	199.5	1864.5
	4 西南坡中上部	675	343	3663.0	832.5	4495.5	1897.5	387.0	2284.5

表8、表9表明,山桃和沙棘有较高的叶面积指数,所以,其产量高于柠条的产量。因此采取有关技术措施增大叶面积,提高叶面积指数,则可增加灌木林的产量。上述灌木林树种均有一定的生产潜力。

#### 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, (2)
- 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, (2)
- 3 王晗生, 周泽生等. 黄土高原几种能源林树种高生长分析. 西北林学院学报, 1991, (3)
- 4 傅佐等. 黄土高原主要能源林树种生长特性及其生产潜力的研究. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1992, (15)