

黄土高原主要能源林树(草)种生长特性 及其生产潜力的研究

傅 左 李 立 汪有科 杨 光

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要

本文研究了黄土高原半干旱黄土丘陵区主要能源林植物的年生长节律、产量和生产潜力,利用生长分析法对能源林植物的相对增长率(RGR)、种群增长率(CGR)、净同化率(NAR)和叶面积系数(LAI)进行了分析研究。结果表明:山桃、沙棘、柠条、小叶锦鸡儿和沙打旺是适于半干旱黄土丘陵区种植的优良能源林树(草)种。

关键词 生长节律 相对增长率 净同化率 叶面积系数 林草混交

选择速生、高产的能源林树、草种是发展和营造能源林的主要技术关键。从1987—1990年我们在半干旱黄土丘陵地区的西吉县兴平乡韩垵村设立试验基点,对主要能源林树草种的生长特性及其生产潜力进行了试验,并利用“生长分析法”进行综合分析,以期选择优良的能源林树草种提供科学依据。

1 试验地区自然条件

试验区位于宁南山区西南部的西吉县,该区属黄土丘陵区,海拔1800~2200m,气候干旱,年干燥度1.45~2.66,年干旱频率50%~70%,年降水量330~430mm,多集中在7—9三个月,约占全年降水量60%左右,年平均气温5.3℃,≥10℃积温为2260℃;无霜期100~120天。年平均日照时数为2322.3h,日照百分率为53%,总辐射量为512.46 kJ/mm²·a。土壤为侵蚀黑垆土,肥力差,有机质含量低(0.7%)。常见植物有:长芒草、百里香、冷蒿等。覆盖度0.4~0.5。

2 试验树(草)种和方法

2.1 试验树草种

山桃 *Prunus davidiana*.

沙棘 *Hippophae rhamnoides* Linn.

柠条锦鸡儿 *Caragana korshinskii* Kom.

小叶锦鸡儿 *Garagana microphylla* Lam.

沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.

2.2 测定方法

生长量测定：各树种选 10 株标准株，分别测株高、地径、冠幅，从 4 月到 9 月，各月测定一次。

产量测定：每年 9 月底分别测定各树种的叶片、枝干的鲜重和干重，沙打旺取样方测定。

叶面积测定：对供试各树草种分别选 5 株标准株，用 LI-3000 便携式叶面积仪测定每株叶面积取其平均值。

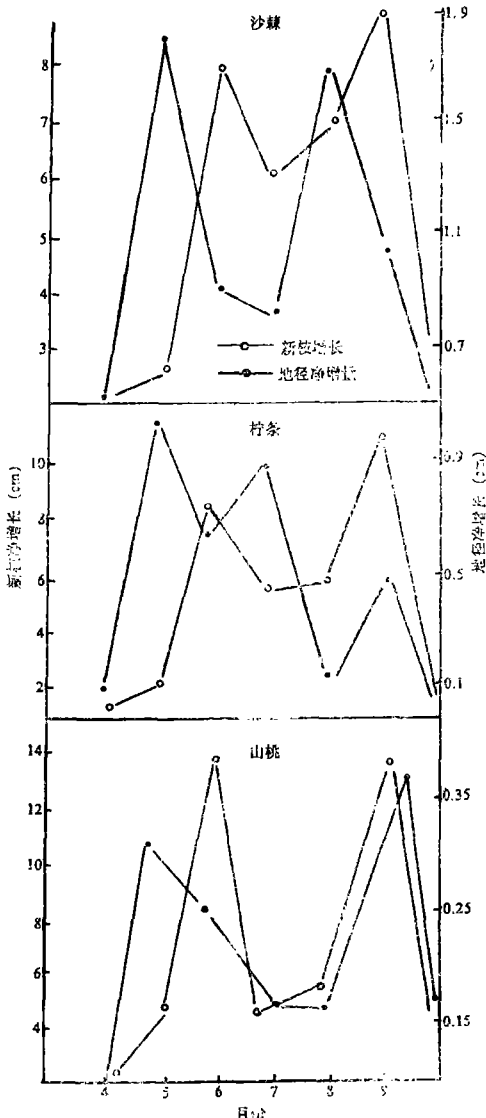


图1 山桃、柠条、沙棘年生长节律

—○—新枝增长 —●—地径净增量

3 试验结果与分析

3.1 供试树草种生长特性

在半干旱黄土丘陵地区，水分是影响植物生长的主要生态因子。由图 1、图 2 可看出，沙棘、柠条和山桃的生长节律从 5—6 月开始进入第一次生长高峰期，到 7—8 月又进入第二次高峰期。因此时正值水热条件好，温度高、降雨多、土壤水分含量高(见图 3)能较好地满足树木生长的需要，从而株高、地径增长迅速。进入 9 月随着气温下降，生长开始变慢，10 月份生长停止。草本植物沙打旺的年生长节律与木本植物不同，生长曲线为单峰，但生长速率仍以水热条件较好的 7—8 月为最快(图 2)。

树木生长的快慢除受外界环境条件的影响外，与树木本身的遗传特性有密切关系。表 1 表明，在同一立地条件下，以年平均净生长量比较，沙棘、柠条的高生长量为最高(分别为 29.3 和 29cm)，其次为山桃(26.3cm)。但地径生长以山桃最高(0.69cm)，而且冠幅大，第 4 年达 1.5m²。沙打旺生长情况见表 2。

从表 3 可知，各树种每年的枝叶比值都有不同程度的变化，二种柠条和沙棘的枝/叶呈逐年上升趋势，说明随着树木年龄的增长，它们的枝条生长速度大于叶片增长速度而山桃第 2~3 年的

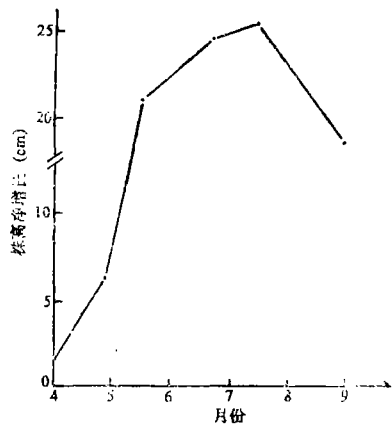


图2 沙打旺生长节律

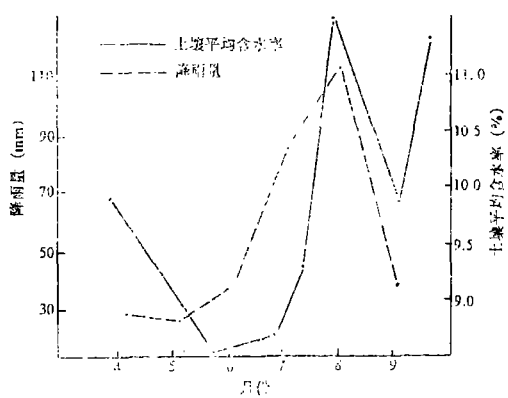


图3 1989年4—9月份降雨量和土壤含水率变化

表1 参试树种各年生长情况比较 (cm)

| 树 种 | 1 年 | | 2 年 | | | | 3 年 | | | | 4 年 | | | |
|-------|-----|------|-----|------|---------|-----|-----|------|---------|-----|-----|------|---------|-----|
| | 株 地 | | 株 地 | | 年 净 | | 株 地 | | 年 净 | | 株 地 | | 年 净 | |
| | 高 | 径 | 高 | 径 | 生 长 量 | 株 地 | 高 | 径 | 生 长 量 | 株 地 | 高 | 径 | 生 长 量 | 株 地 |
| 山 桃 | 53 | 0.90 | 75 | 1.18 | 22 0.28 | | 100 | 3.24 | 25 2.06 | | 158 | 3.64 | 58 0.40 | |
| 沙 棘 | 37 | 0.65 | 81 | 1.53 | 44 0.35 | | 99 | 1.71 | 18 0.18 | | 154 | 2.63 | 55 0.92 | |
| 柠条锦鸡儿 | 35 | 0.60 | 84 | 1.03 | 49 0.48 | | 138 | 1.27 | 54 0.24 | | 151 | 1.23 | 13 0.10 | |
| 小叶锦鸡儿 | 33 | 0.58 | 44 | 0.71 | 11 0.13 | | 73 | 1.27 | 29 0.56 | | 96 | 1.29 | 23 0.02 | |

| 树 种 | 4 年 生 长 量 | | | | 冠 幅 变 化 | | 分枝增加数 | |
|-------|-----------|------|-------|------|---------|---------|-------|-------|
| | 株高 | | 地径 | | 第一 年 | | 第一 年 | |
| | 年 平 均 | | 年 平 均 | | 第 一 年 | 第 四 年 | 第 一 年 | 第 四 年 |
| 山 桃 | 105 | 26.3 | 2.74 | 0.69 | 82×84 | 169×172 | 1 | 5 |
| 沙 棘 | 117 | 29.3 | 1.96 | 0.50 | 91×88 | 118×136 | 1 | 4 |
| 柠条锦鸡儿 | 116 | 29.0 | 0.68 | 0.17 | 43×39 | 44×91 | 1 | 3 |
| 小叶锦鸡儿 | 63 | 15.8 | 0.71 | 0.18 | 35×32 | 94×104 | 1 | 14 |

表2 沙打旺各年生长情况比较

| 植 物 | 生活年限 | 样方内株数 (株/m ²) | 株高(cm) | 分 枝 数 | 盖度(%) |
|-----|------|------------------------------|--------|-------|-------|
| 沙 | 1 | 141.0 | 24.0 | 2 | 44 |
| 打 | 2 | 60.5 | 71.5 | 4 | 62.5 |
| 旺 | 3 | 33.0 | 92.8 | 5 | 93.3 |

枝/叶比值均小于第1年和第4年,说明山桃第二三年的生长主要是叶量的增加。

3.2 生长分析

采用测定株高、地径等经典的产量测定方法比较树木的生长速率有很大的局限性。因为树木株高、地径的增加量与树木的重量增加量——即产量并不十分一致。经典的产量测定虽然比较直观,但树木同化速率的大小以及增产潜力因素并没有表现出来。因此,我们

表3 参试树种各年度枝叶比较 (单位: g)

| 树龄(年) | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | |
|-------|----|----|----|------|-----|-----|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|
| | | 叶片 | | 枝/叶 | 叶片 | | 枝/叶 | 叶片 | | 枝/叶 | 叶片 | | 枝/叶 |
| | | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 | 枝干 |
| 山桃 | 鲜重 | 13 | 7 | 1.86 | 110 | 84 | 1.31 | 590 | 465 | 1.27 | 1375 | 770 | 1.79 |
| | 干重 | 7 | 3 | 2.33 | 75 | 41 | 1.83 | 350 | 170 | 2.06 | 980 | 338 | 2.90 |
| 沙棘 | 鲜重 | 9 | 9 | 1.00 | 143 | 112 | 1.28 | 180 | 126 | 1.43 | 900 | 387 | 2.32 |
| | 干重 | 5 | 5 | 1.00 | 70 | 50 | 1.40 | 90 | 60 | 1.50 | 620 | 213 | 2.91 |
| 柠条锦鸡儿 | 鲜重 | 25 | 10 | 2.50 | 111 | 50 | 2.83 | 406 | 68 | 5.97 | 570 | 78 | 7.31 |
| | 干重 | 13 | 4 | 3.25 | 82 | 29 | 2.22 | 300 | 30 | 10.00 | 356 | 31 | 11.48 |
| 小叶锦鸡儿 | 鲜重 | | | | 57 | 35 | 1.63 | 370 | 68 | 5.44 | 550 | 125 | 4.40 |
| | 干重 | | | | 47 | 13 | 3.60 | 250 | 30 | 8.33 | 285 | 58 | 4.91 |

用生长分析法,对参试树种的相对生长率和净同化率等指标进行分析比较,其结果如下:

3.2.1 相对生长率(RGR)

相对生长率是干物质生产的基本度量,在同一生境条件下或严格规定的条件下可以用做指标来比较物种的表现或处理的影响,其定义为整个植物体在单位时间内的生产量。计算公式为:

$$RGR = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{w_1}^{w_2} d(\ln w)$$

式中 w_1 、 w_2 分别为在时间 t_1 、 t_2 时植物的总干重。计算结果见表4表5。由表4可知,山桃相对生长率最大,每天增长0.73%,沙棘次之,小叶锦鸡儿RGR最小(0.25%/天)。沙打旺相对生长率高于4种木本植物为1.6%/天。

表4 参试树种相对生长率(RGR)

| 树 种 | 树 龄 | 测定时间 | | t_2-t_1 | 单株干重 (g) | | RGR |
|-------|-----|-------|-------|-----------|----------|-------|------|
| | | t_1 | t_2 | | (d) | W_1 | |
| | | | | | | | |
| 山 桃 | 3 | 5月20日 | 9月6日 | 120 | 180.4 | 436.5 | 0.73 |
| 沙 棘 | 3 | " | " | 120 | 162.8 | 174.5 | 0.44 |
| 柠条锦鸡儿 | 3 | " | " | " | 70.5 | 162.8 | 0.31 |
| 小叶锦鸡儿 | 3 | " | " | " | 73.1 | 99.2 | 0.25 |

表5 沙打旺相对生长率(RGR)

| 生活年限 (年) | 样方面积 (m ²) | 样 方 株 数 (株/m ²) | 测定时间 | | t ₁ —t ₂ (d) | 干重(g/m ²) | | RGR (%/d) |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| | | | t ₁ | t ₂ | | W ₁ | W ₂ | |
| | | | | | | | | |
| 3 | 1 | 33 | 5月15日 | 9月6日 | 84 | 176.7 | 700.0 | 1.64 |

3.2.2 种群生长速率(CGR)

树木的种群生长率可定意为单位时间内单位土地面积干物质增加量,可由下式得出:

$$CGR = \frac{(w_2 - w_1)}{A(t_2 - t_1)}$$

式中 A 为土地面积。计算结果见表 6。山桃 CGR 最大, 每平方米每年可以产生 113g 干物质, 其次是沙棘, 柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿。

表 6 参 试 树 种 种 群 生 长 速 率 (CGR)

| 树 种 | 种植密度 (m) | 生长年限 | 土地面积 (m ²) | 产量(kg/亩) | | CGR g/m ² ·年 |
|-------|-------------|------|---------------------------|----------|-------|----------------------------|
| | | | | 1987年 | 1989年 | |
| 山 桃 | 1×1.5 | 3 | 666 | 4.44 | 230.9 | 113.0 |
| 沙 棘 | " | " | " | 4.44 | 145.2 | 70.5 |
| 柠条锦鸡儿 | " | " | " | 7.6 | 146.5 | 69.5 |
| 小叶锦鸡儿 | " | " | " | 26.8 | 124.3 | 48.8 |

根据以上结果, 参试树种的生长量大小可以排为: 山桃、沙棘、柠条、小叶锦鸡儿。同时 CGR 也表明了各树种的生产潜力。因为随着树木的生长, 每年的 CGR 都有增加。以山桃为例: 九龄以后山桃的干物质种群生长率 CGR 都在 113.0g/m²·a 以上, 是产量较高的树种。而小叶锦鸡的产量较低, 种植四五年后的小叶锦鸡儿 CGR 只有 50g/m²·a 左右。

3.2.3 净同化率(NAR)

虽然 RGR 表明了各树种生长的差异, 但没有表明哪些因素决定了物种生长的表现。除了环境因素的影响外, 表现差异的生理因素主要是由各树种的遗传特性所决定。既由同化率的大小和叶面积的差异造成。净同化率高的树木、干物质积累快, 生产量高, 并有较高的增产潜力, 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意为叶面积指数(LAI)。LAI 越大, 光合产物就越多, 单位土地面积上的产量就越高。一般来说, 在同一立地条件下, LAI 较大的植物有较高的生产量, 净同化率和叶面积系数可由下式得出:

$$NAR = \frac{(w_2 - w_1)(lns_2 - lns_1)}{(t_2 - t_1)(s_2 - s_1)}$$

$$LAI = \frac{S}{A}$$

式中 w_1 、 w_2 为时间, t_1 、 t_2 为单株总干重, s_1 、 s_2 为单株叶面积, S 为土地面积 A 上的总叶面积。计算结果见表 7。分析计算的结果表明: 4 种树种中, 柠条净同化率最高, 为 1.62g 干物质·m⁻²·d⁻¹, 小叶锦鸡儿次之, 山桃 NAR 值低于二种柠条, 沙棘 NAR 最低 (0.82g/m²·d)。叶面积系数以山桃为最高, 沙棘 LAI 只有山桃的 1/2, 小叶锦鸡儿的 LAI 比柠条的大, 因此, 尽管二种柠条有较高的净光合速率, 可是它们的叶面积系数远低于山桃和沙棘, 致使柠条的生长量和单位面积上的产柴量都远低于山桃和沙棘。

3.3 参试树草种的年产量及生产潜力

参试树草种各年产量见表 8、表 9。从表 8 可知, 造林初期第一二年各树种产量差别较小, 产量的高低与栽植苗的大小有密切关系, 树苗大产量高, 反之则低。随着树龄的增

表7 参试树种净同化率(NAR)和叶面积系数(LAI)

| 树 种 | 间隔时间 (t_2-t_1) (d) | 单株叶面积(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 |

* NAR = $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$

表8 参试树种各年产量对照表

| 树种树龄(a) | | 立地条件 | 单株重(g) | | 产 量 ($\text{kg}/\text{亩}$) | | | | | |
|---------|---|--------|--------|------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 鲜重 | 干重 | 鲜枝干 | 鲜叶片 | 总鲜重 | 干枝干 | 干叶片 | 总干重 |
| 山 桃 | 1 | 西南坡中部 | 20 | 10 | 5.77 | 3.11 | 8.88 | 3.11 | 1.33 | 4.44 |
| | 2 | " " | 194 | 136 | 48.8 | 37.3 | 86.1 | 33.3 | 18.2 | 51.5 |
| | 3 | " " | 1055 | 520 | 262.0 | 202.5 | 464.5 | 155.4 | 75.5 | 230.9 |
| | 4 | " " | 2145 | 1318 | 610.5 | 341.9 | 952.4 | 435.1 | 150.1 | 585.2 |
| 沙 棘 | 1 | 西南坡上部 | 18 | 10 | 3.97 | 3.97 | 7.94 | 2.22 | 2.22 | 4.44 |
| | 2 | " " | 255 | 120 | 63.5 | 49.8 | 113.3 | 31.8 | 22.2 | 54.0 |
| | 3 | " " | 360 | 150 | 78.0 | 56.0 | 134.0 | 40.0 | 27.0 | 67.0 |
| | 4 | " " | 1167 | 738 | 399.6 | 118.6 | 518.6 | 275.3 | 50.2 | 325.5 |
| 柠条锦鸡儿 | 1 | 西南坡中上部 | 35 | 17 | 11.1 | 4.44 | 5.55 | 5.77 | 1.78 | 7.60 |
| | 2 | " " | 111 | 61 | 36.4 | 12.9 | 49.3 | 2.22 | 4.90 | 27.1 |
| | 3 | " " | 472 | 330 | 180.3 | 30.2 | 210.5 | 133.2 | 13.3 | 146.5 |
| | 4 | " " | 648 | 387 | 253.1 | 34.6 | 287.7 | 158.1 | 13.8 | 171.9 |
| 小叶锦鸡儿 | 2 | " " | 92 | 60 | 25.3 | 15.4 | 40.7 | 20.9 | 5.8 | 26.8 |
| | 3 | " " | 438 | 280 | 164.3 | 30.2 | 104.5 | 111.0 | 13.3 | 124.8 |
| | 4 | " " | 675 | 343 | 244.2 | 55.5 | 299.7 | 126.5 | 25.8 | 152.3 |

注：植苗造林，密度 $1\text{m}\times 1.5\text{m}$

表9 沙打旺各年产量

| 生活年限 | 样方面积 m^2 | 样方产量(kg/m^2) | | 亩产量($\text{kg}/\text{亩}$) | |
|------|----------------------|--------------------------------|------|-----------------------------|-------|
| | | 鲜重 | 干重 | 鲜 重 | 干 重 |
| 1 | 1 | 1.38 | 1.74 | 229.2 | 72.5 |
| 2 | 1 | 6.00 | 1.78 | 991.7 | 344.9 |
| 3 | 1 | 8.00 | 2.80 | 1333.3 | 466.5 |

加,产量差异加大,所以在造林初期适当密植,不但可提早郁闭林地,并能增加单位面积产柴量。

测定结果表明：山桃和沙棘有较高的叶面积指数,二者的 RGR、CGR 值也比柠条高,所以其产量也高于柠条的产量。Gurumurtik 等人的研究表明,能源林营造中桉树的总生物量与叶的生物量有直接的相关性^[4]。McConnel W.V. 在《能源林栽培方法》的研究中指出：灌溉和施肥可提高能源林产量^[5]。因此,在无灌溉条件下,除了在造林初

期适当增大造林密度外,通过提高土壤肥力,以促进树木生长,扩大 LAI,增加干物质生产量是提高能源林产量的有效途径。

林草混交可大大提高能源林的产薪量,尤其是在造林初期,沙打旺生长快,且因其种植在隔坡带上,不会影响能源林幼林的生长,从而提高了土地利用率和能源林前期的经济效益,林草混交产量见表 10。

表 10 林草混交产量对照表

| 混交树草种 | | 山桃 + 沙打旺 | | | 沙棘 + 沙打旺 | | |
|--------|----|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | | 1 年 | 2 年 | 3 年 | 1 年 | 2 年 | 3 年 |
| 产 量 | 鲜重 | 119.1 | 538.9 | 898.9 | 118.6 | 552.5 | 733.7 |
| (kg/亩) | 干重 | 38.9 | 198.2 | 348.7 | 38.5 | 199.5 | 266.8 |

| 混交树草种 | | 柠条锦鸡儿 + 沙打旺 | | | 小叶锦鸡儿 + 沙打旺 | |
|--------|----|-------------|-------|-------|-------------|-------|
| | | 1 年 | 2 年 | 3 年 | 1 年 | 2 年 |
| 产 量 | 鲜重 | 117.4 | 520.5 | 771.9 | 516.2 | 722.2 |
| (kg/亩) | 干重 | 440.1 | 186.6 | 306.5 | 185.9 | 295.7 |

4 小 结

4.1 通过 4 年试验表明,山桃、沙棘、柠条、锦鸡儿、小叶锦鸡儿、沙打旺是适于半干旱黄土丘陵地区种植的优良的能源林树草种。它们的生长节律除受季节的调节外,主要受降雨和土壤水分的影响。每年 5—8 月是树、草生长旺盛的季节。山桃、沙棘生长较快,柠条生长较慢。

4.2 生长分析的结果表明,四种主要能源林树种都有一定的增产潜力。以干物质增加作为指标的相对生长率和种群生长率以山桃为最高,其次是沙棘、柠条、小叶锦鸡儿。柠条锦鸡儿净同化率最高,其次是小叶锦鸡儿和山桃,沙棘同化率最小。山桃和沙棘单位土地面积产量高于柠条的原因是由于前者具有较高的叶面积系数。因此,采取有关技术措施增大叶面积,提高 LAI 可增加能源林产量。

4.3 随着树龄的增加,各树种的产量差异加大。4 年生山桃林产量最高,其次是沙棘、柠条、小叶锦鸡儿。在造林初期适当增加栽植密度,施肥等技术措施,可增加能源林产量。林草混交既可提高能源林产量,也能增加营林早期的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 周泽生等. 黄土高原优良能源林植物选择的研究. 水土保持学报, 1990 年 2 期
- [2] 丁·库期姆编著, 邱国雄等译. 生物生产力和光合作用测定技术. 科学出版社, 1986
- [3] Chapman S B (阳含照译). 植物生态学的方法. 科学出版社, 1980
- [4] Gurumurti K Kimothi M; "Biomass Production and energy conversion efficiency by Eucalyptus in energy Plantations," Indian Forestry 1984; 110(2): 150~170
- [5] McGonell W V; "Options in energy wood farming," Southern Journal of Applied Forestry 1984; 8(3): 149~152

A STUDY ON THE GROWTH CHARACTER AND THE PRODUCTIVE POTENTIALITY OF MAJOR ENERGY-FOR-EST PLANTS IN SEMI-ARID REGIN OF THE LOESS PLATEAU

Fu Zuo Li Li Wang Yuke Yang Guang

(Northwestern Institute of soil and water conservation, the chinese

Academy of sciences and the Ministry of water conservancy

Yangling•Shaanxi•712100)

Abstract

In this article, we studied the growth rhythm, production and productive potentiality of 5 species plants used for energy forest in semi-arid region of the loess plateau. Utilizing the way of Growth Analysis, we studied their relative growth rate(RGR), crop growth rate (CGR), net-assimilation rate(NAR) and leaf area index (LAI). The result shows: the five plants, *Amygdalus davidiana* (Carr). C. de Vos., *Hippophae rhamnoides* Linn., *Caragana Korshinskii* Kom., *Caragana microphylla* Lam. and *Astragalus adsurgens* Poll., are good plant species which grow well in semi-arid loess hill region.

Key words Growth rhythm Relative growth rate Net-assimilation rate Leaf area index Mixed forest and herbage